Institut für Ingenieurbiologie
und Landschaftsbau

Universität für Bodenkultur Wien
Department für Bautechnik und
Naturgefahren

ALNUS ssp.

ZUR RUTSCHUNGSAUFFORSTUNG AM BEISPIEL DER STAMBACH-MURE, OBERÖSTERREICH

EINE QUANTIFIZIERUNG DER INGENIEURBIOLOGISCHEN LEISTUNG VON ERLENBESTÄNDEN

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades an der Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau

Eingereicht von

DI ROSEMARIE STANGL

Betreuer:	O.Univ.Prof. Dr.phil. FLORIN FLORINETH
	Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau
Zweitbetreuer:	Ao.Univ.Prof.DI Dr. Willibald LOISKANDL
	Institut für Hydraulik und landeskulturelle Wasserwirtschaft

Wien, März 2008

DANKSAGUNG

Viele Personen haben sich in die Entstehung dieser Dissertation involviert.

Für die inhaltlichen Ratschläge, die fachlichen Diskussionen und insbesondere für Eure Freundschaft und moralische Unterstützung danke ich von ganzem Herzen!

FLORIN FLORINETH (Inst. für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau, BOKU)

WILLI LOISKANDL (Inst. für Hydraulik und landeskulturelle Wasserwirtschaft, BOKU)

GRAEME BUCHAN (Soil and Physical Sciences Group, Lincoln University)

IAN WOODHEAD (Inst. of Electrical and Electronic Engineers, Lincoln University)

FRANZ OTTNER (Inst. für angewandte Geologie, BOKU)

EDI HOCHBICHLER (Inst. für Waldbau, BOKU)

HELMUT SCHUME (Inst. für Waldökologie, BOKU)

CHRISTIAN HOLTERMANN (Inst. für Freiraumgestaltung und Landschaftspflege, BOKU)

MICHAEL SCHIFFER (GBBL Salzkammergut, FTD für WLV)

KARIN, KARIN und **EDITH**

ANITA und **SILVIA**

KLAUS und **PANI**

CHRISTIAN

und

HANS PETER!

ABSTRACT

Afforestation of slopes damaged by mass movements is an essential part of technical stabilisation and drainage measures. Plants are important structural components of soil bioengineering systems. Due to their technical and biological qualities they are used to stabilise damaged land and to prevent natural hazards. The use of pioneer plant species initialises the forest growth and abbreviates natural colonization processes.

At the Stambachmure (Upper Austria), indigenous alders (*Alnus* ssp.) were used to re-establish a vegetation cover after a large-scale slide that occurred in 1982. The following thesis was carried out to quantify the soil bioengineering performance of the now 20 years old alder stand, and to demonstrate the interactions between soil status, stand and biomass structures and the hydrological functions on difficult sites. Within the soil bioengineering discipline this approach provides a first step to understanding the growth performance and the dynamics and processes of soil bioengineering systems in slopes.

Soil physical and mineralogical analyses were carried out to describe the current conditions of the former slide body and its potential as a plant site. Stem reduction served to validate the short-term effects of stand management on the local water balance and the regeneration capacity after coppicing. During 2001 and 2002 soil water content and interception were measured continuously. Soil specific linear and multiple regression models were developed to calibrate the soil moisture sensors (CS 615 Water Content Reflectometer) using field data. Using the water balance equation, evapotranspiration rates of selected periods were generated for the untreated and the coppiced stands.
The stand analyses were based on sample plot surveys. A series of biometric parameters were evaluated. The stand diagnostics served as a basis for the assessment of the above ground biomass components. Using the regression analytical method, allometric functions between ln-transformed tree parameters and the biomass fractions (stem and branch wood, twigs and leaves) were computed. The leaf area was measured by means of a leaf areameter, the leaf area index (LAI) was then calculated.

The soil of the former landslide is classified as a Clayic Stagnosol (Thaptomollic). Saturated conditions are characteristic throughout the year and limit the development of vegetation. The soil texture is clay (clay fractions up to 89 %), and its mineralogical components are dominated by swelling clay minerals (Vermiculite and Smectite). Saturated hydraulic conductivity (k-value) was found to be << 10^{-7} m sec^{-1}, the mean void ratio (e) was 2.17. The maximum soil water level (θ_v up to 0.79 m^3 m^{-3}) was reached in late autumn in both years and remained throughout the winter.
Interception rates of the control stand were observed to be 19.2 and 26 % during the two research periods. Stem reduction reduced interception to 13.3 % in the first year, while sprout development and enhanced growth of the herb layer after coppicing raised the interception level close to that of the control stand in the second year. Increased evaporation after coppicing widely balanced the restricted interception and transpiration. In 2002, interception up to 258.3 mm and evapotranspiration up to 731.8 mm represented a successful buffer of the high precipitation input (994.6 mm).
At 7,023 stems (all trees >20cm height) per hectare, the total stand biomass equated to 18 t ha^{-1} having an LAI of 1.5. The biomass of the coppice sprouting accounted for 0.37 t ha^{-1} at 640 stumps per hectare. Full pole wood removal proved to be more advantageous than partial coppicing.
The results show that despite unfavourable site conditions the alder stand produced considerable above ground biomass. Hence, it can be deduced that the water regime of former land slides can be efficiently influenced by artificial establishment of alder forests. Due to high seedling ratios (82.5 %) and good regeneration capacity after coppicing, an increment of the leaf biomass will expectedly lead to an increase in interception and transpiration rates within the next years at the Stambachmure.

KURZFASSUNG

Aufforstungen von durch Massenbewegungen beeinträchtigten Flächen mit Pioniergehölzen stellen eine wichtige ingenieurbiologische Ergänzung zu Stabilisierungs- und Entwässerungsmaßnahmen technischer Natur dar. Die Initiierung von Beständen dient der Abkürzung der natürlichen Wiederbewaldung. Die Nutzung der technisch-biologischen Leistungen der Pflanzen für Stabilisierungsmaßnahmen zur Vorbeugung von Naturgefahren ist seit jeher wichtiger Bestandteil der Wildbach- und Lawinenverbauung und im Wassebau.
Anhand des Untersuchungsgebietes Stambachmure (OÖ), das nach Massenbewegungen im Jahr 1982 mit heimischen Erlen (*Alnus* ssp.) aufgeforstet wurde, wurde versucht, die ingenieurbiologische Leistung der Erlen zu quantifizieren und die Interaktionen zwischen Bodenstatus, Bestandes- und Biomassestrukturen sowie den Wasserhaushalt an Problemstandorten aufzuzeigen. Dieser Ansatz stellt innerhalb der Ingenieurbiologie eine erste Grundlagenarbeit zum Verständnis der Dynamik und Prozesse ingenieurbiologischer Systeme in Hängen dar.

Die Status-Quo-Analyse einer Reihe von bodenphysikalischen und mineralogischen Parameter diente dazu, den gegenwärtigen Zustand des ehemaligen Rutschkörpers und seine Vorraussetzungen als Pflanzenstandort ausreichend zu beschreiben. Um die kurzfristigen Auswirkungen von Pflegeeingriffen auf den lokalen Wasserhaushalt und die Regenerationsfähigkeit einschätzen zu können, wurden Stammzahlreduktionen unterschiedlichen Ausmaßes durchgeführt. Mittels Daten aus Bodenwasservorrats- und Interzeptionsmessungen über den Zeitraum 2001 bis 2002 wurden mit Hilfe der Wasserbilanz Evapotranspirationsraten für ausgewählte Perioden für den Bestand und die reduzierten Varianten generiert. Zur bodenspezifischen Feldkalibrierung der Bodenfeuchtesensoren (CS 615 Water Content Reflectometer) wurden lineare und multiple Regressionsmodelle entwickelt.
Mittels festem Probekreisverfahren wurde eine Bestandesanalyse durchgeführt und eine Reihe von biometrischen Kennwerten diskutiert. Die Bestandesdiagnostik bildete die Grundlage für die Schätzung der oberirdischen Biomassekomponenten. Über die regressionsanalytische Methode wurden allometrische Beziehungen zwischen ln-transformierten Baumparametern und den Biomassesegmenten Schaft- und Astholz, Zweige und Blätter entwickelt. Der Blattflächenindex (LAI) wurde mittels Leaf Areameter erhoben.

Der Bodentypus Stagnogley determiniert die ganzjährig nassen Bodenkonditionen, die als limitierend für die Vegetationsentwicklung einzustufen sind. Bei der Bodentextur Ton (Tonanteil bis 88,6 %) werden die mineralogischen Komponenten weitgehend von quellbaren Tonmineralen dominiert (Vermikulit und Smektit). Geringe Wasserleitfähigkeit ist charakteristisch (k-Wert << 10^{-78} m sec^{-1}), die mittlere Porenzahl (e) beträgt 2,17. Der Bodenwassergehalt erreichte in beiden Untersuchungsjahren sein Maximalniveau (θ_v bis 0,79 m^3 m^{-3}) im Herbst, das über den ganzen Winter gehalten wurden.
Stammentnahmen verringerten die Interzeption im ersten Jahr von 19,1 auf 13,3 %, bereits im zweiten Jahr erhöhte sich die Interzeption durch Stockausschlag und besserer Krautschichtentwicklung annähernd auf das Niveau des unbehandelten Bestandes. Die Erhöhung der Evaporation durch die Freistellung glich die eingeschränkte Interzeption und Transpiration weitgehend aus. Interzeptionsraten bis 258,3 mm und Evapotranspirationsraten bis 731,8 mm (Messperiode 2002) im Gesamtbestand pufferten den hohen Niederschlagseintrag (994,6 mm) erfolgreich ab.
Bei 7.023 Stämmen pro Hektar bildeten sich 18 t ha^{-1} oberirdische Biomasse bei einem LAI von 1,5. Die Biomasse für den Stockausschlag im zweiten Jahr nach dem Schnitt betrug 0,37 t ha^{-1} bei 640 Stöcken am Hektar. Großflächige Stangenholzentnahme erwies sich für die Regeneration als vorteilhafter.
Die Erlenaufforstung leistet einen wesentlichen Beitrag zur Beeinflussung des Wasserhaushaltes auf der ehemaligen Rutschfläche. Der hohe Jungwuchsanteil (82,5 %) und die gute Regenerationsfähigkeit durch Stockausschlag lassen eine Zunahme der Laubmasse und des LAI und somit eine Steigerung der Interzeptions- und Transpirationsleistung erwarten.

INHALTSVERZEICHNIS

BLOCK A: EINFÜHRENDE KAPITEL 6

A.1 PROBLEMSTELLUNG 8
A.2 DEFIZITANALYSE 9
A.3 ZIELFORMULIERUNG 10
A.4 DATENGRUNDLAGEN UND ARBEITSSTRUKTUR 12
A.4.1 Datengrundlagen 12
A.4.2 Gliederung der Arbeit 12
A.5 DIE ERLEN DER STAMBACHMURE 16
A.5.1 Allgemeines zur Gattung Alnus 16
A.5.2 Vorkommen und Bedeutung von Alnus incana (L.) Moench - Grauerle 17
A.5.2.1 Verbreitung 17
A.5.2.2 Wurzelsystem 18
A.5.2.3 Holzeigenschaften und forstwirtschaftliche Bedeutung 18
A.5.3 Vorkommen und Bedeutung von Alnus glutinosa (L.) Gärtn. – Schwarzerle 19
A.5.3.1 Verbreitung 19
A.5.3.2 Wurzelsystem 20
A.5.3.3 Holzeigenschaften und forstwirtschaftliche Bedeutung 21
A.5.4 Vorkommen von Alnus x pubescens Tausch - Hybriderle 21
A.6 BEDEUTUNG DER ERLEN FÜR DIE INGENIEURBIOLOGIE 22
A.6.1 Allgemeines zum ingenieurbiologischen Einsatz 22
A.6.2 Allgemeine Überlegungen zur Herkunftsfrage 23
A.6.3 Sprosswurzelbildung von Erlen 23
A.6.4 Stockauschlagvermögen von Erlen 25
A.6.4.1 Generelle Mechanismen des Stockausschlags nach BLAKE (1983) 25
A.6.4.2 Stockausschlag der Erlen 27
A.6.5 Auszugwiderstand, Transpiration, Überflutungstoleranz und hydraulische Eigenschaften 27

BLOCK B: DIE STAMBACHMURE - GEOLOGISCHE UND BODENKUNDLICHE ASPEKTE 30

B.1 ZUSAMMENFASSUNG 31
B.2 DAS EINZUGSGEBIET 32
B.2.1 Geographische Lage 32
B.2.1.1 Geologischer Überblick 33
B.2.2 Geologie des Stambachtales 34
B.2.3 Böden und forstliches Wuchsgebiet 35
B.2.4 Klima 36
B.2.5 Wildbachcharakteristik des Stambaches 36
B.3 DIE STAMBACHMURE 37
B.3.1 Ereignis 1982 37
B.3.2 Maßnahmenkatalog des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinenverbauung 39
B.3.2.1 Überprüfung der Auslösefaktoren 39
B.3.2.2 Sanierungsziele 40
B.3.2.3 Bautechnische Maßnahmen und Sofortmaßnahmen 40
B.3.2.4 Nachhaltig wirksame flächenwirtschaftliche Maßnahmen 40
B.3.3 Geologie des Schuttstroms 41
B.3.3.1 Geologie der Bergsturzmassen 41
B.3.3.2 Geologie der Rutschmassen 42
B.4 MATERIAL UND METHODEN 45
B.4.1 Bodenansprache und Profilbeschreibung im Gelände 45
B.4.2 Korngrößenverteilung (KGV) 45
B.4.3 Wasserleitfähigkeit (k-Wert) 46
B.4.4 Porenzahl (e), Porenanteil (n) und Trockendichte (ρ_d) 47
B.4.5 Gesamtmineralanalyse 48
B.4.6 Tonmineralanalyse 48
B.4.7 Kationenaustauschkapazität (CEC, Cation Exchange Capacity) 49
B.4.8 Anorganischer und organischer Kohlenstoffgehalt (C_{anorg}, C_{org}) 49
B.5 ERGEBNISSE 50

B.5.1 Bodentyp ... 50
B.5.2 Korngrößenverteilung und Bodenart ... 53
B.5.3 Wasserleitfähigkeit und Kennwerte des Bodengefüges ... 54
B.5.4 Mineralkomponenten, Tonmineralogie und Kationenaustauschkapazität ... 55
B.6 DISKUSSION ... 58
B.6.1 Bodentyp ... 58
B.6.2 Bodenart und Kennwerte des Bodengefüges ... 59
B.6.3 Mineralogie ... 61
B.6.4 Kationenaustauschkapazität ... 63
B.6.5 Bedeutung für die Hangstabilität ... 64
B.6.6 Bedeutung für die Vegetation ... 64

BLOCK C: KALIBRIERUNG DER BODENFEUCHTESENSOREN ... 66

C.1 ZUSAMMENFASSUNG ... 67
C.2 THEORETISCHE GRUNDLAGEN ... 68
C.3 CS 615 WATER CONTENT REFLECTOMETER (WCR) ... 69
C.3.1 Sensorbeschreibung und Messprinzip ... 69
C.3.2 Messproblematik ... 70
C.4 SENSORKALIBRIERUNG ... 71
C.4.1 Allgemeine Grundlagen ... 71
C.4.2 Publizierte Kalibrierungen für den CS 615 Water Content Reflectometer ... 72
C.5 MATERIAL UND METHODEN ... 77
C.5.1 Bodenfeuchtigkeitsmessungen ... 77
C.5.2 Laborkalibrierung (LK) ... 78
C.5.3 Feldkalibrierung (FK 01-03) ... 79
C.5.4 Erweiterte Feldkalibrierung (EFK 2005) ... 79
C.5.5 Datenanalysen ... 80
C.5.5.1 Kalibriervarianten ... 80
C.5.5.2 Regressionsstatistik ... 84
C.5.5.3 Qualitätsbewertung ... 85
C.6 ERGEBNISSE ... 86
C.6.1 Laborkalibrierung (LK) ... 86
C.6.2 Feldkalibrierung (FK 01-03) ... 86
C.6.2.1 Kalibriermodelle ... 86
C.6.2.2 Regressionsstatistik ... 89
C.6.2.3 Qualitätsbewertung ... 91
C.6.3 Erweiterte Feldkalibrierung (EFK 2005) ... 93
C.6.3.1 Kalibriermodelle ... 93
C.6.3.2 Regressionsstatistik ... 97
C.6.3.3 Qualitätsbewertung ... 99
C.7 DISKUSSION ... 102
C.7.1 Sensorreaktionen und Erörterung der Ursachen ... 102
C.7.1.1 Temperatureinfluss ... 102
C.7.1.2 Dielektrische Eigenschaften von Tonen ... 103
C.7.1.3 Mineralogische und chemische Einflüsse ... 104
C.7.2 Vergleich der Kalibriervarianten ... 105
C.7.2.1 Einfache Feldkalibrierung (FK 01-03) ... 105
C.7.2.2 Erweiterte Feldkalibrierung (EFK 2005) ... 106
C.7.2.3 Überlegungen zu den statistischen Analysen ... 107

BLOCK D: WASSERHAUSHALT UND WASSERBILANZ ... 110

D.1 ZUSAMMENFASSUNG ... 111
D.2 THEORETISCHE GRUNDLAGEN ... 112
D.2.1 Bodenwasserdynamik (BW) ... 112
D.2.2 Interzeption (I) ... 114
D.2.3 Evapotranspiration (ET) ... 115
D.2.4 Ermittlung der Evapotranspiration (ET) ... 116
D.2.5 Referenzevapotranspiration ET_0 ... 118
D.2.6 Publizierte Beiträge zur Interzeption und Evapotranspiration von Erlen ... 119

D.3 MATERIAL UND METHODEN ... 121
D.3.1 Pflegeeingriffe und Stammzahlreduktionen in der Stambachmure ... 121
D.3.2 Meteorologische Parameter ... 122
D.3.3 Interzeption I bzw. Bestandesniederschlag N_B ... 122
D.3.4 Bodenwasservorratsänderung ... 123
D.3.5 Bodenwasservorratsänderung ΔBW ... 124
D.3.6 Wasserbilanz und Evapotranspiration ET ... 125
D.3.7 Referenzevapotranspiration ET_0 ... 125
D.4 ERGEBNISSE ... 127
D.4.1 Witterungsverlauf und meteorologische Kenndaten ... 127
D.4.2 Interzeption ... 133
D.4.3 Bodenwasservorratsänderung ... 135
D.4.3.1 Variante V1 ... 135
D.4.3.2 Variante V2 ... 136
D.4.3.3 Variante V3 ... 138
D.4.3.4 Saisonale Bodenwasservorratsänderung ... 140
D.4.4 Wasserbilanz und Evapotranspiration ... 142
D.5 DISKUSSION ... 146
D.5.1 Interzeption ... 146
D.5.1.1 Interzeptionsraten 2001 und 2002 ... 146
D.5.1.2 Einschränkungen in Bezug auf die Interzeptionsresultate ... 146
D.5.2 Bodenwasserdynamik ... 147
D.5.2.1 Kleinräumige Charakteristika ... 147
D.5.2.2 Saisonale Bodenwasservorratsänderung ... 148
D.5.2.3 Plausibilität der Sensorwerte ... 150
D.5.3 Wasserbilanz und Evapotranspiration ... 151
D.5.3.1 Messsaison 2001 ... 151
D.5.3.2 Messsaison 2002 ... 152
D.5.3.3 Hydrologische Konsequenzen ... 152

BLOCK E: BESTANDES- UND BIOMASSESTRUKTUREN ... 156

E.1 ZUSAMMENFASSUNG ... 157
E.2 GRUNDLAGEN ZU BESTANDESERHEBUNGEN ... 158
E.2.1 Allgemeines zur Methodik ... 158
E.2.2 Biometrische Kenngrößen ... 158
E.3 GRUNDLAGEN ZUR BIOMASSE ... 159
E.3.1 Definition ... 159
E.3.2 Methoden zur Quantifizierung ... 160
E.4 GRUNDLAGEN ZUM BLATTFLÄCHENINDEX (LEAF AREA INDEX, LAI) ... 161
E.4.1 Definition ... 161
E.4.2 Methoden zur Blattflächenbestimmung ... 161
E.5 PUBLIZIERTE BEITRÄGE ZUR BIOMASSEENTWICKLUNG UND ZUM STOCKAUSSCHLAG VON ERLEN ... 162
E.6 MATERIAL UND METHODEN ... 165
E.6.1 Bestandeserhebungen ... 165
E.6.2 Biomasseerhebungen ... 167
E.6.2.1 Trockenmasse ... 167
E.6.2.2 Blattfläche ... 169
E.6.3 Datenanalysen ... 170
E.6.3.1 Allometrische Funktionen ... 170
E.6.3.2 Regressionsstatistik ... 171
E.6.3.3 Qualitätsbewertung ... 172
E.7 ERGEBNISSE ... 174
E.7.1 Bestandescharakteristik und Biometrie ... 174
E.7.2 Veränderung der Bestandesstruktur durch die Pflegeeingriffe ... 176
E.7.3 Allometrische Funktionen zur Biomasseberechnung des Erlenbestandes ... 178
E.7.4 Bestandesbiomasse ... 182
E.7.5 Allometrische Funktionen zur Biomasseberechnung des Stockausschlags ... 184
E.7.6 Biomasse durch Stockausschlag ... 189
E.7.7 Veränderung der Biomasse durch die Pflegeeingriffe ... 190
E.8 DISKUSSION ... 195
E.8.1 Bestandescharakteristik des Erlenbestandes ... 195

E.8.2 Qualität der Allometrischen Funktionen für den Erlenbestand ... 197
E.8.2.1 Beziehungen zwischen den Baumparametern und den Biomassekomponenten ... 197
E.8.2.2 Fehlerfortpflanzung und generelle Anwendbarkeit ... 198
E.8.3 Biomassecharakteristik des Erlenbestandes ... 199
E.8.3.1 Biomassecharakteristik ... 199
E.8.3.2 Bestandesbiomasse ... 200
E.8.3.3 Blattflächenkenngrößen ... 200
E.8.4 Qualität der Allometrischen Funktionen für den Stockausschlag ... 201
E.8.4.1 Beziehungen zwischen den Sprossparametern und den Biomassekomponenten ... 201
E.8.4.2 Vergleich der Schätzfunktionen für den Stockausschlag und den Jungwuchs ... 201
E.8.5 Biomasseverhalten der auf den Stock gesetzten Erlen ... 202
E.8.5.1 Biomassecharakteristik der Stockausschlagtriebe ... 202
E.8.5.2 Triebbildung und Stockmortalität ... 203
E.8.5.3 Ursachen des inhomogenen Stockausschlages ... 204
E.8.6 Auswirkung der Pflegeeingriffe auf die Bestandes- und Biomasseentwicklung ... 205
E.8.6.1 Bestandesreduktion ... 205
E.8.6.2 Standfestigkeit und Einfluss auf den Nährstoffhaushalt ... 206

BLOCK F: SYNTHESE UND CONCLUSIO ... 208

F.1 RESÜMEE DER RESULTATE ... 209
F.1.1 Resümee zu Block B – Geologische und bodenkundliche Aspekte ... 210
F.1.2 Resümee zu Block C – Kalibrierung der Bodenfeuchtesensoren ... 210
F.1.3 Resümee zu Block D – Wasserhaushalt und Wasserbilanz ... 211
F.1.4 Resümee zu Block E - Bestandes- und Biomassestrukturen ... 213
F.2 BEDEUTUNG DER RESULTATE FÜR DIE INGENIEURBIOLOGIE ... 215
F.3 CONCLUSIO ... 218
F.4 AUSBLICK ... 219

LITERATUR ... 222

ANNEX ... 236

ANNEX A: ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS ... 237

ANNEX B: TABELLEN UND ABBILDUNGEN ZU BLOCK B ... 240

ANNEX C: TABELLEN UND ABBILDUNGEN ZU BLOCK C ... 252

ANNEX D – TABELLEN UND ABBILDUNGEN ZU BLOCK D ... 278

ANNEX E: TABELLEN UND ABBILDUNGEN ZU BLOCK E ... 300

BLOCK A: EINFÜHRENDE KAPITEL

A.1 Problemstellung

Der Zweck von ingenieurbiologischen Maßnahmen nach Hangbewegungen jeder Art besteht darin, durch die Initiierung von Gehölzbeständen den Zeitraum des natürlichen Bewaldungsprozesses zu verkürzen. Die biologischen und technischen Eigenschaften von Pflanzen werden genutzt, um die Stabilität von Hängen und Böschungen kurz- und langfristig zu erhöhen. Oberflächenerosion und Hangbewegungen sind dynamische Prozesse, die einer großen zeitlichen und räumlichen Variabilität unterliegen. Die rasche Etablierung einer Gehölzvegetation reduziert das Risiko, dass aufgrund dieser Eigendynamik größere und benachbarte Flächen mitmobilisiert werden.

Augrund ihres Pioniercharakters gelten die heimischen Erlen (Gattung *Alnus* ssp.) als eine der wichtigsten Pflanzenarten für ingenieurbiologische Zwecke im mitteleuropäischen Raum. Das natürliche Vorkommen auf Erosions- und Rutschhängen und vernässten Standorten machte auf die Eignung zur Stabilisierung von labilem Gelände aufmerksam. Großflächige Erlenaufforstungen mobiler Zonen sind seit langem Bestandteil der Schutzwaldbewirtschaftung. In der Wildbach- und Lawinenverbauung dienen sie zur raschen und kostengünstigen Wiederbegründung von Beständen in Gebieten, in welchen durch Massenbewegungen die Altbestände zerstört wurden. In der Regel werden diese Aufforstungen als biologische Ergänzung zu den technischen Stabilisierungs- und Entwässerungsmaßnahmen gesehen, wie die Beispiele Stambachmure (Gemeinde Bad Goisern, Oberösterreich) und die Rutschung Fürwag (Gemeinde Anthering, Salzburg) zeigen (FIEBIGER, 2002; BAMMER, 1984b).

Die Große Mure Enterbach (Gemeinde Inzing, Tirol) und die Blaike Geroldsbach (Gemeinde Birgitz, Tirol) wiederum sind Beispiele, wo die biologisch-technische Funktionen der Pflanzen dazu benutzt wurden, neben der Initiierung eines Bestandes auf völlig vegetationslosen Steilhängen einen sofortigen, technischen Erosionsschutz zu bieten (HASSENTEUFEL, 1961; HAUZWICKA und HASSENTEUFEL, 1957 und 1959; SCHIECHTL, 2000). Die Verwendung von Grün- und Grauerlen in Form der ingenieurbiologischen Bauweise Heckenbuschlage führte zu großen und langfristigen Erfolgen bei der Eindämmung der dort seit Jahrzehnten herrschenden Muren- und Erosionsproblematik (STANGL, 2004; GRÜNWALD, 1990).

Bei Untersuchungen des Einflusses der Vegetation auf oberflächennahe Rutschprozesse konnte RICKLI (2001, S.88f) Zusammenhänge zwischen dem Waldzustand und der Rutschaktivität feststellen. In gut strukturierten, geschlossenen Beständen mit standortsgemäßen Baumarten wurden kaum Rutschvorgänge beobachtet. Die positive Wirkung der Vegetation auf die Bodenstabilität beschreibt FLORINETH (2004, S.17), wobei er neben der mechanischen Armierung durch Wurzeln die Erhöhung der Kapillarkohäsion durch Wasserentzug, die Aggregatbildung durch Wurzelausscheidung und Bodenaktivität sowie die Verringerung des Porenwasserdruckes hervorhebt. Häufig nachteilige Effekte wie den Anstieg der hydraulischen Leitfähigkeit innerhalb der Wurzelzone, die in erhöhter Infiltration bzw. einer Reduktion der Matrix-Saugkraft resultiert, werden nach WILKINSON et al. (2002, S.340) durch die Wurzelarmierung und die Erhöhung der Scherfestigkeit ausbalanziert. Die Bewurzelung fördert somit die effektive Kohäsion sowie die Interaktionen in der Wurzelzone-Gleitoberfläche. Für tiefgründige Hangbewegungen jedoch merkt RICKLI (2001, S.89) an, dass

> „[…] *unter anderem die Vegetationswirkungen im wesentlichen auf die Beeinflussung des Bodenwasserhaushaltes beschränkt sind.“* (RICKLI, 2001, S.89)

SCHUME et al. (2004, S.258f) zufolge zeigten Studien zur Einschätzung der Wirkung von Wäldern auf das Abflussregime, dass höhere Waldanteile den Abfluss in Wassereinzugsgebieten reduzieren. Die Abflusscharakteristika werden durch Artenzusammensetzung, Bestandesalter, Dichte, Bewirtschaftungsart und Erntemethoden beeinflusst. Je nach Manage-

mentziel können die Bestände hinsichtlich Wassermenge bzw. Abflussreduktion optimiert werden. Der Zustand der Bodenfeuchtigkeit determiniert in diesem Zusammenhang die Wasseraufnahme- bzw. Abflusspufferkapazität des Bodens. Je nach Bodentyp, Versickerung, Wurzeltiefen und Transpirationsraten wird der Bodenwasserspeicher unter räumlicher und zeitlicher Variabilität entleert. Kronenarchitektur und Interzeption wiederum, die starken artspezifischen Unterschieden ausgesetzt sind, beeinflussen die Wiederbefüllung des Bodenwasserspeichers.

Die Grundwassererneuerung von Nadelwäldern ist geringer als jene von Laubwäldern aufgrund höherer Interzeption. Die Interzeption für Laubwälder liegt in der Regel zwischen 20 % und 30 % (LADEKARL, 1998, S.228). STAELENS et al. (2008) untersuchten den Effekt der saisonalen Variation der Kronendecke von Buchen auf die Niederschlagsverteilung und stellten fest, dass der Grad der Belaubung die Interzeption bzw. den Kronendurchlass und den Stammabfluss entscheidend beeinflusst. Sie betonen, dass der Nettowasserinput unter Laubwäldern hochsensitiv auf das zeitliche Verteilungsmuster des Niederschlags reagiert.

Gegenüber anderen Vegetationsformen gilt die Evapotranspiration von Wäldern als größer. Nach BORONINA et al. (2005) beeinflussen Evaporation und Transpiration von Uferwäldern den täglichen Gewässerabflusszyklus. Eine direkte Vernetzung zwischen Gewässerabfluss und zur schwarzerlendominierten Uferbeständen (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) v.a. in den Sommerperioden sehen auch GRIBOVSZKI et al. (2005). LOTT und HUNT (2001) stellten in Feuchtgebieten variable Evapotranspirationsraten fest, da sie Einflüssen wie jenen von der Relation des Wasserstandes zur Wurzelzone und dem Entwicklungsstatus der Bestände unterliegen.

A.2 Defizitanalyse

In der Ingenieurbiologie dient die Kenntnis bzw. Quantifizierung der Biomasse und der hydrologischen Parameter dem Verständnis der Wachstumsdynamik und der Einschätzung der Leistung der Pflanze. Die Pflanzenleistung ist gleichzusetzen mit oberirdischem und Wurzelwachstum, was zur Stabilisierung der Bodenschichten und des Mikrokreislaufes im Boden beiträgt. Im Zuge von Befestigungen erodierter und zerstörter oder gefährdeter Hänge und Böschungen spielt eine rasche Kolonisation sowie eine Steigerung der physikalischen Leistungen der Pflanze eine wesentliche Rolle. Die Biomasse und die Blattausbildung stehen in direktem Zusammenhang mit den Parametern der Pflanzenhydrologie, Interzeption, Evaporation und Transpiration, die zugleich den Zustand des Bodens und dessen Wasserhaushalt beeinflussen (Abb. A-1).

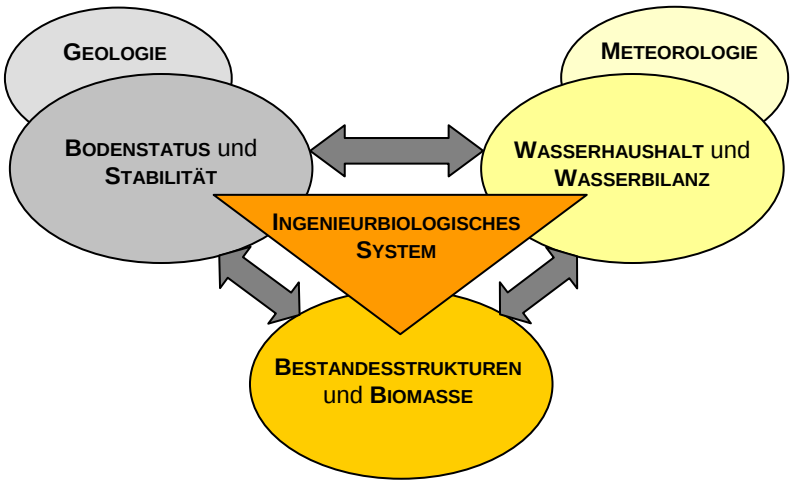


Abb. A-1: Wirkungsgefüge ingenieurbiologischer Systeme

Berichte über die Entwicklung von künstlich begründeten Erlenbeständen in Österreich sind rar, da sie forstwirtschaftlich geringe bis keine Bedeutung haben. Beiträge in der Literatur findet man im norddeutschen und skandinavischen Raum, wobei der Fokus der Untersuchungen im Allgemeinen in der ökologischen Bedeutung als Auenlebensraum (DANNOWSKY und DIETRICH, 2006a und 2006b; BORONINA et al., 2005; GRIBOVSZKI et al., 2005; ESCHENBACH und KAPPEN, 1999) oder auch im Potenzial und in der Eignung zur Bioenergieerzeugung liegt (JOHANSSON, 2005 und 2000; RYTTER et al, 2000; PROE et al., 1999; TELENIUS, 1999).

Die Quantifizierung der Leistung bezogen auf die Produktivität und die Verdunstung der Erlen spielt jedoch ebenso eine bedeutende Rolle, wo sie ingenieurbiologische und technische Funktionen zu erfüllen haben. Insbesondere an Rutschhängen nimmt die Leistung von Beständen in Bezug auf die Beeinflussung des Wasserhaushaltes durch Erhöhung der Evapotranspiration und Interzeption einen hohen Stellenwert ein. Da Wasser meist als die treibende Kraft bei Erosions- und Rutschprozessen genannt wird, ist das Ziel aller Sanierungsmaßnahmen, eine Entwässerung über technische und/oder biologische Mittel und damit eine Stabilitätserhöhung der labilen Massen zu erreichen.

Die Verwendung der Erlen für Drainagezwecke in Rutschzonen fußt auf ihrer guten Verträglichkeit von stark verdichteten und vernässten Böden (GERBER, 1998, S.235) sowie auf Überlieferungen im Zusammenhang mit ihrer hohen Transpiration bzw. auf die wenigen Veröffentlichungen zu diesem Thema (ESCHENBACH und KAPPEN, 1999; HERBST et al., 1999; SCHÜTT et al., 1994). Daten und Berichte im Zusammenhang mit Extremstandorten aus ingenieurbiologischer Sicht fehlen.

Um die Wirkung ingenieurbiologischer Systeme zu erfassen, ist es notwendig, die Interaktionen zwischen Bestand, hydrologischen Aspekten und Boden zu verstehen (Abb. A-1). Bislang gibt es in der ingenieurbiologischen Disziplin keine Arbeiten, die die Zusammenhänge zwischen Bodenstatus, Biomasseproduktivität und Drainagekapazität von Erlen aufzeigen.

Unklar sind weiters der mittel- bis langfristige Umgang mit erfolgreichen Aufforstungen und die Pflege und Durchforstung der Pionierbestände zur Aufrechterhaltung der Schutzfunktionen. Die Frage erhebt sich, ob diese Bestände erhalten oder ob ihre Funktion auf jene einer Vorwaldgesellschaft beschränkt werden soll. Über die Auswirkungen von Pflegeeingriffen wie Stockschnitt auf die Stabilität des Bestandes in Bezug auf das weitere Wachstum, den Oberflächenschutz, die Interzeption und Evapotranspiration kann bestenfalls spekuliert werden.

Zusätzliche weit verbreitete Zweifel an der Profitabilität von Laub-(Hart-)holz-Bewirtschaftungen hemmen das Interesse an ebensolchen. Die forstwirtschaftliche Politik legt zunehmend Wert auf Hartholz zur Förderung der Biodiversität. Die Kosten der Regenerationsmaßnahmen spielen dabei eine wesentliche Rolle. Informationen über extensive, kostengünstige, effektive Verjüngungsmethoden sind daher sehr wichtig (RYTTER et al., 2000, S.287).

A.3 Zielformulierung

Die vorliegende Arbeit soll dazu beitragen, den geringen Kenntnisstand über die Biomasseentwicklung und die Verdunstungsleistung von Erlenbeständen auf extremen bzw. rutschgefährdeten Standorten zu verbessern. Das Ziel besteht darin, die Wachstums- und hydrologische Leistung des Bestandes zu quantifizieren, um den Beitrag der Aufforstung zur Stabilisierung von Rutschflächen einschätzen zu können. Die Interaktionen Bodenstatus, Biomasseproduktivität, Interzeption und Evapotranspiration in Bezug auf die Drainagekapazität von Erlen auf Rutschmassen sollen aufgezeigt werden.

Um diesem Anspruch gerecht zu werden beinhalten die Arbeitsziele die Ermittlung folgender Faktoren:

- Entwicklungszustand des Erlenbestandes 20 Jahre nach der Aufforstung
- Interzeptions- und Evapotranspirationsraten des Gesamtbestandes
- Auswirkung unterschiedlicher Stammzahlreduktion auf Interzeption und Evapotranspiration des Bestandes
- Einfluss der Stammzahlreduktion auf das Bodenwasserregime
- Biomasseproduktivität der Erlen auf der ehemaligen Rutschfläche
- Biomasseproduktivität durch Stockausschlag zwei Jahre nach Stockschnitt
- Blattflächenindex für den Gesamtbestand und den Stockausschlag

Über eine Zustandsanalyse der Bodenverhältnisse und ein Monitoring des Wasserhaushaltes am Untersuchungsstandort Stambachmure (Bad Goisern, OÖ) wurden erstmals umfangreiche Daten zu diesen Themen gesammelt, die die Grundlagen für eine Wasserbilanz bilden. Die Bestandesdiagnostik gewährleistet einen Einblick in das Entwicklungsstadium der 20-jährigen Erlenaufforstung und stellt die unverzichtbare Basis für die Schätzung der oberirdischen Biomasse dar, die gemeinsam mit der Untersuchung der Wasserbilanzkomponenten den Schwerpunkt dieser Arbeit bildet. Gemäß dem Wirkungsgefüge ingenieurbiologischer Systeme (Abb. A-1) wurde eine Reihe von Parametern gewählt, die die ingenieurbiologische Leistung und die aktuellen Konditionen des Bestandes und des Standortes umfassend beschreiben (Abb. A-2).

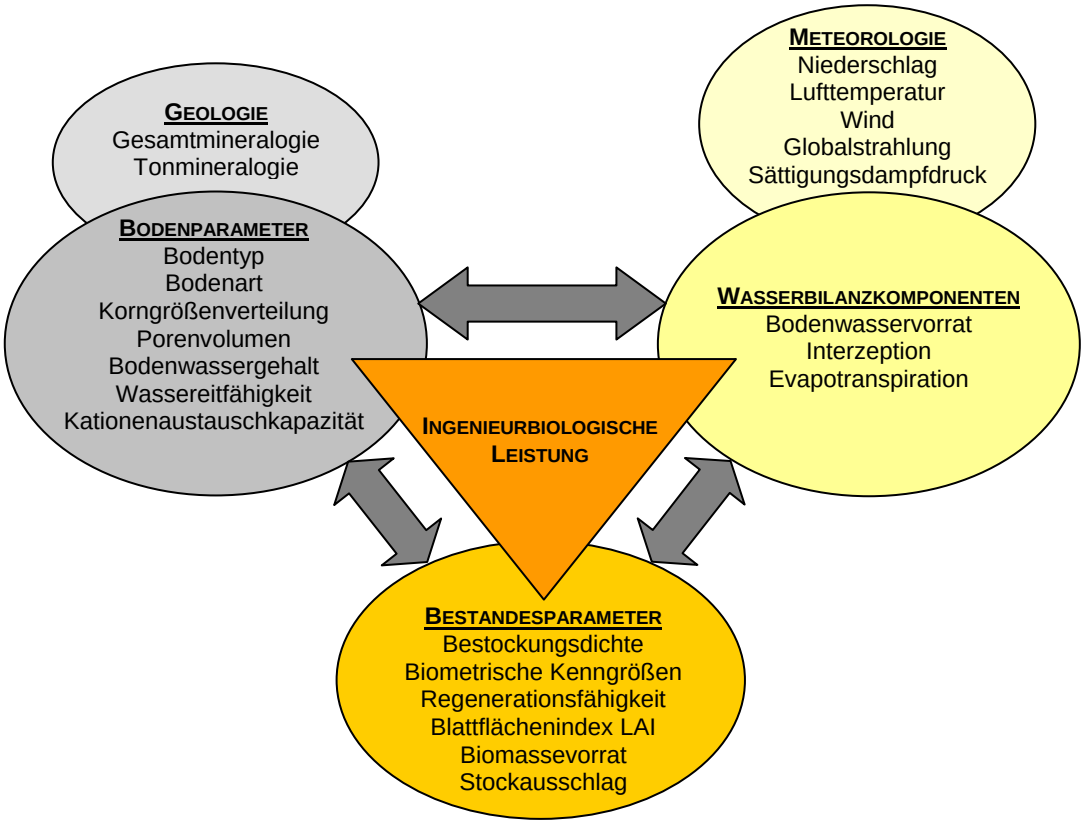


Abb. A-2: Erhebungsparameter zur Quantifizierung der ingenieurbiologischen Leistung des Erlenbestandes in der Stambachmure

Die Untersuchungen zur Biomasseentwicklung nach Stockschnitt lassen erste Erkenntnisse zur Regenerationsfähigkeit nach Schnittmaßnahmen in Erlenbeständen erwarten. Unterschiede im Austriebverhalten und in der Biomasseentwicklung, in Interzeption und Evapotranspiration in Bezug auf unterschiedliche Stammzahlreduktion werden aufgezeigt.

A.4 Datengrundlagen und Arbeitsstruktur

A.4.1 Datengrundlagen

Die Erhebung der Datengrundlagen erfolgte im Rahmen eines vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft finanzierten Projektes zum Thema „Wirksamkeit ingenieurbiologischer Maßnahmen zur Sicherung von erosions- und rutschgefährdeten Hängen in Wildbacheinzugsgebieten“ (STANGL, 2004), das am Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau an der Universität für Bodenkultur in den Jahren 2001 bis 2002 durchgeführt wurde. Ziel des Projektes war,

> „[…] *Sicherungsmaßnahmen zur Stabilisierung und Entwässerung von Hängen auf Basis von Lebendverbauungen hinsichtlich ihres gezielten Einsatzes, ihrer Wirkungsweise und ihres Pflegeaufwandes zum Schutz vor Erosionen anhand von Einzugsgebieten überprüfen zu lassen.“* (MAYER, in: STANGL, 2004, S.I)

Die Pilotstudie diente der Einschätzung der langfristigen Auswirkung von ingenieurbiologischen Maßnahmen auf rutsch- und erosionsgefährdeten Hängen und der Entwicklung der spezifischen geologischen und ökologischen Situation. Der Nutzen für die Praxis lag darin, aus der Erfahrung vergangener Maßnahmen einen sinnvollen Umgang mit ingenieurbiologischen Systemen abzuleiten, um deren Schutzwirkung langfristig zu erhalten.

Einige Ergebnisse dieses Projektes wie Daten aus den Bodenuntersuchungen, aus den Bestandeserhebungen, aus der Auswertung des Stockausschlagvermögens der Diplomarbeit von SAVERSCHEL (2003) oder meteorologische Daten dienten als Grundlage für die vorliegende Arbeit. Im Rahmen der Erarbeitung neuer Kalibriermodelle für die Bodenfeuchtesensoren wurden die in STANGL (2004) dargestellten Messwerte mithilfe einer verbesserten Kalibrierfunktion und in weiterer Folge die Wasserbilanz überarbeitet.

A.4.2 Gliederung der Arbeit

Die Annäherung an die in Kap. A.3 genannte Zielsetzung erfordert einen disziplinübergreifenden Ansatz, um jene Parameter und Faktoren zu erheben, die in starker Wechselwirkung zueinander stehen (Abb. A-1 und Abb. A-2). Die Arbeit ist nach den einführenden Kapiteln (BLOCK A) in vier Themenblöcke (BLOCK B bis E) gegliedert, die den relevanten Disziplinen zuzuordnen sind und in einer Synthese (BLOCK F) münden (Abb. A-3).

Jeder Themenblock für sich beinhaltet ein Grundlagenkapitel, die Darstellung der verwendeten Materialien und Methoden, die Ergebnisdokumentation und eine ausführlichen Diskussion der Resultate. Eingangs umreißt eine Kurzzusammenfassung die wesentlichen Inhalte, Resultate und Kernaussagen.

Zu jedem Themenblock wurden eingehende Literaturrecherchen durchgeführt. Da, wie bereits erwähnt, sowohl Publikationen über Erlen generell, im Zusammenhang mit der Stabilisierung von Sonderstandorten im Speziellen als auch Arbeiten über die verwendeten Sensoren rar sind, wurde den wenigen, verfügbaren Veröffentlichungen hohe Wichtigkeit einberäumt und sie blockspezifisch in eigenen Kapiteln übersichtlich zusammengefasst.

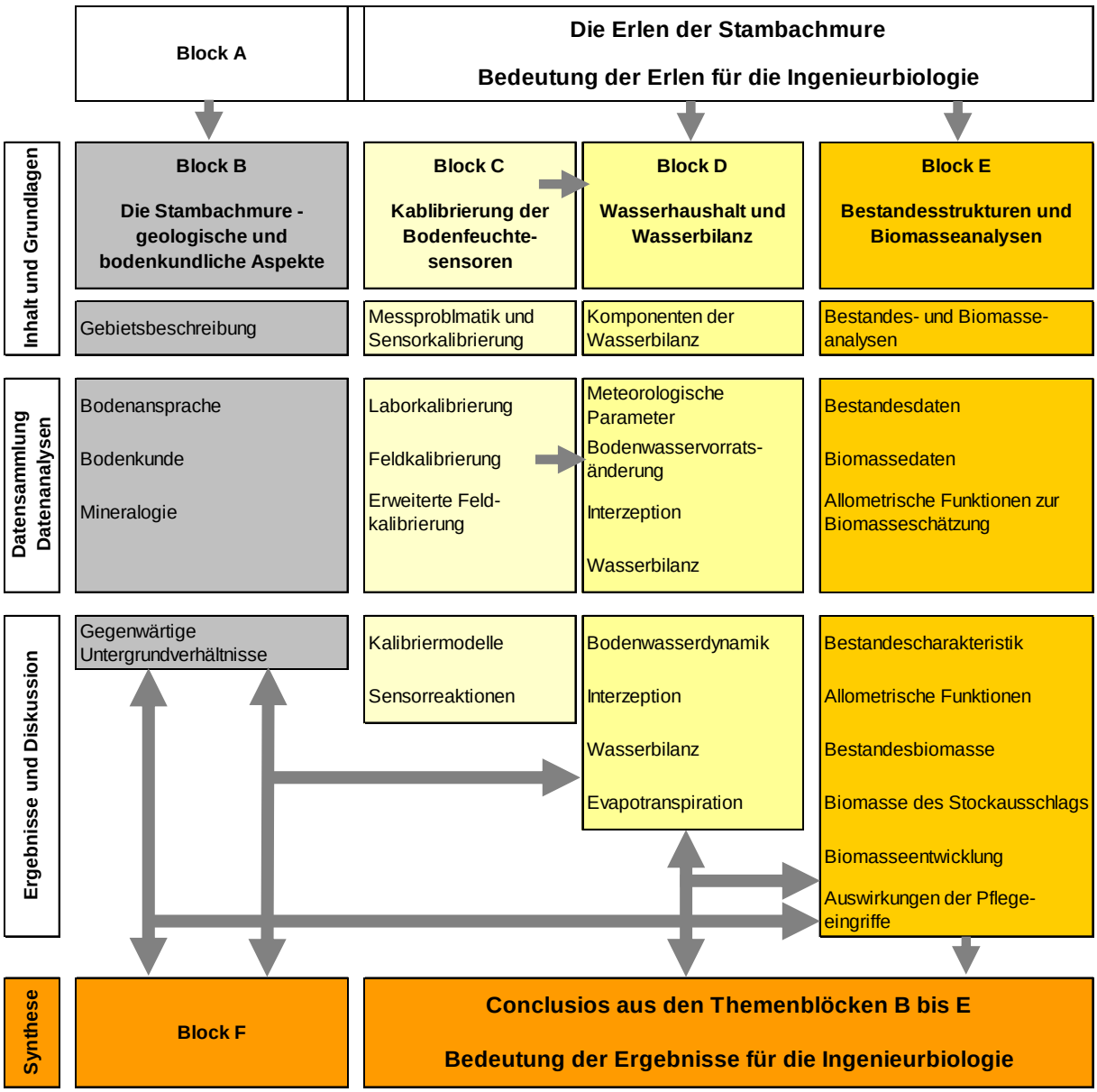


Abb. A-3: Arbeitsstruktur

BLOCK A:

Die Kapitel von BLOCK A umfassen eine eingehende Literaturstudie über die in der Stambachmure vorkommenden Erlenarten und ihre Bedeutung in der Ingenieurbiologie. Recherchiert wurden allgemeine Hinweise zum Vorkommen und Bedeutung der einzelnen Arten sowie ihre technisch-biologischen Eigenschaften wie die Sprosswurzelbildung, Stockausschlagvermögen, Auszugwiderstand, Transpiration und Überflutungstoleranz.

BLOCK B: Die Stambachmure – geologische und bodenkundliche Aspekte

BLOCK B beinhaltet die Aufarbeitung des Archivmaterials über das Rutsch- und Murenereignis im Jahr 1982 und eine Zusammenfassung der darauf folgenden Sanierungsmaßnahmen des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinenverbauung. Weiters folgt eine Beschreibung des Einzugsgebietes in geologischer und klimatischer Hinsicht sowie die Charakterisierung der forstlichen Wuchsgebiete der Umgebung und des Stambaches.

Die Erkenntnisse aus zahlreichen Bodenansprachen im Feld werden dokumentiert und geben eine Übersicht über die aktuelle Bodenform. Eine Status Quo-Analyse verschiedener bodenphysikalischer und mineralogischer Parameter ergänzt die detaillierten Hintergrundinformationen aus den Archivberichten. Das Ziel ist eine Darstellung der wesentlichen geologischen und bodenkundlichen Aspekte, die den gegenwärtigen Zustand des ehemaligen Rutschkörpers und seine Voraussetzungen als Pflanzenstandort ausreichend beschreiben.

BLOCK C: Kalibrierung der Bodenfeuchtesensoren

BLOCK C ist ein rein methodisches Kapitel, das die Vorraussetzung zu BLOCK D bildet. Im Zuge des Feldmonitorings über Dauerregistrierung zeigte sich, dass die Herstellerkalibrierung der verwendeten Bodenfeuchtesensoren (CS 615 Water Content Reflectometer) unzureichende Ergebnisse bei der Umrechnung der Sensorwerte in den Wasseranteil lieferte. Eine bodenspezifische Standardlaborkalibrierung schlug fehl aufgrund der schwierigen Verarbeitbarkeit des Bodenmaterials. Zum Zeitpunkt der Feldmessungen waren kaum Publikationen über die junge Sensorgeneration verfügbar, sodass auf veröffentlichte Kalibriermodelle nicht zurückgegriffen werden konnte. Da sich eindeutige Indizien für Bodenschicht- und –temperaturabhängigkeiten der Sensoren ergaben, musste auf eine aufwändige, messpunktspezifische Felddatenkalibrierung zurückgegriffen werden.

Die Erarbeitung linearer und multipler Regressionsmodelle unter Berücksichtigung verschiedener Bodenparameter versprach bessere Anpassungen als über Polynomregressionen. BLOCK C bietet die Analyse und Verifizierung der generierten Kalibriermodelle zweier verschiedener Ansätze mit Hilfe von Felddaten. Trotz der Schwierigkeiten, die Feldkalibrierungen mit sich bringen, konnten akzeptable Kalibrierlösungen für den gesamten Wassergehaltsbereich sowie für das spezifisch hohe Feuchtemilieu des Sonderstandortes entwickelt werden.

BLOCK D: Wasserhaushalt und Wasserbilanz

BLOCK D beschreibt die Grundlagen der Wasserbilanzkomponenten und beinhaltet die Aufarbeitung der Daten aus dem Feldmonitoring der Jahre 2001 und 2002. Neben Interzeptionsmessungen wurden meteorologische Parameter und die Bodenfeuchtigkeit im Erlenbestand der Stambachmure über Dauerregistrierung erfasst. Ziel war, nach verschiedenen Pflegeeingriffen zwei Vegetationsperioden zu beobachten, um die kurzfristigen Auswirkungen der Schnittmaßnahmen auf den lokalen Wasserhaushalt beurteilen zu können.

Die Pflegemaßnahmen konzentrierten sich auf den Stockschnitt des Bestandes zu Verjüngungszwecken, wobei eine Teilreduzierung (Variante V1) einer vollen Stammentnahme (Variante V2) sowie einer unbehandelten Variante (Variante V3) gegenüber standen. In BLOCK D werden die gewonnenen Messdaten dokumentiert und saisonale bzw. kleinräumige, variantenbedingte Muster von Interzeption und Bodenwasserdynamik der durchwurzelten Zone aufgezeigt und diskutiert. Mit Hilfe der Wasserbilanz werden Evapotranspirationsraten für ausgewählte Perioden generiert und der Referenzevapotranspiration gegenüber gestellt.

BLOCK E: Bestandes- und Biomassestrukturen

BLOCK E bietet Grundlagen zu Bestandes- und Biomasseerhebungen wie sie in der Forstwirtschaft zur Charakteristik der Bestandes- und Biomasseentwicklung üblich sind. Die bewährten, forstwirtschaftlichen Ansätze haben lange Tradition. Die Überlegung, diese auch für primär ingenieurbiologische Fragestellungen dieser Arbeit zu übernehmen, begründet sich im Ziel der Bestandesanalysen, das darin bestand, den Erlenbestand 20 Jahre nach der Aufforstung der ehemaligen Rutschfläche eingehend zu charakterisieren und den derzeitigen

Entwicklungszustand zu erfassen. Die Quantifizierung der oberirdischen Biomasse soll die Auswirkung der Maßnahmen durch Stockschnitt im Vergleich zum unbehandelten Bestand aufzeigen. Gleichzeitig wurden damit erstmalig Datengrundlagen über Biomassezuwächse künstlich begründeter Erlenbestände auf Problemstandorten gewonnen.

Über die regressionsanalytische Methode wurden eine Reihe von allometrischen Funktionen zur Schätzung der oberirdischen Biomasse und des Stockausschlags entwickelt. Die Beziehungen zwischen ln-transformierten Baumparametern und den Biomassesegmenten werden im Detail dargestellt. Die Qualität der Modellfunktionen für Stangenholz, Jungwuchs und Stockausschlag werden separat analysiert. Die Bestandesbiomasse und die Biomasse durch Stockausschlag werden generiert und das Biomasseverhalten der auf den Stock gesetzten Erlen bzw. die Auswirkungen der Pflegeeingriffe auf die Bestandesbiomasse diskutiert.

BLOCK F: Synthese

In BLOCK F wird versucht, eine Synthese aus den Erkenntnissen der vorangegangenen Themenblöcke zu bilden. Conclusios bringen die Kernaussagen der einzelnen Themen in Erinnerung, die schließlich in eine Gesamtdiskussion münden. Der Fokus liegt dabei in der Bedeutung der in dieser Arbeit gewonnenen Aussagen für ingenieurbiologische Zwecke.

A.5 Die Erlen der Stambachmure

A.5.1 Allgemeines zur Gattung *Alnus*

Nach DENGLER (1992, S.192) sind etwa 30 Arten, nach KRÜSSMANN (1976, S.138) und ROLOFF und BÄRTELS (1996, S.92) etwa 35 Arten der Gattung *Alnus* Mill. (Familie *Betulaceae*) bekannt. Die meisten von ihnen sind in den temperierten Laubwäldern und in den borealen Nadelwaldzonen der nördlichen Hemisphäre, aber auch in Südamerika zu finden. Die Arten *A. cordata* (Loisel.) Desf., *A. glutinosa* (L.) Gaertn., *A. incana* (L.) Moench und *A. viridis* (Chaix) DC. sind in Europa heimisch.

Die Erlen sind bis 25 m, nach SCHÜTT et al. (1994, S. III-2) sogar bis 40 m hohe, sommergrüne Bäume und Sträucher mit gestielten Winterknospen und gesägten oder gezähnten, wechselständigen Blättern. Die Blüten sind einhäusig, die Früchte sind flache, in holzigen Zäpfchen vereinte Nüsschen. Große Bedeutung kommt deren Schwimmvermögen zu. Berechnungen ergaben, dass sich damit die Arealgrenzen um etwa 200 m pro Jahr verschieben können (HECKER, 1998, S.205).

Die natürliche Variabilität aller Erlenarten in morphologischen Merkmalen widerspiegelt sich in einer Vielfalt von Varietäten und Formen. Durch spontane Mutation auftretende Abänderungen in Kronen- und Blattform, Größe und Farbe werden in gärtnerischen Kulturen geschätzt und als Cultivare gehandelt. Die intraspezifische Variabilität äußert sich zudem in ökophysiologischen Varianten in Form von Lokal- und Wuchsgebietsrassen (SCHMIDT, 1998, S.125).

Nach ROHDE et al. (2005) sind die Erlen auentypische Pflanzenarten. Im weiteren Sinn ist deren natürlicher Lebensraum die Au, heute treten sie aber auch in Sekundärhabitaten wie z.B Kiesgruben auf. Sie sind wenig frostempfindliche Lichtbaumarten und brauchen mittlere Nährstoffversorgung bei frischen bis nassen Wasserverhältnissen.

BRUNS (2006, S.55) weist auf die Bedeutung der Erlen im Garten- und Landschaftsbau aufgrund ihrer Frosthärte, Robustheit und der Überflutungstoleranz hin. Die bodenverbessernden Eigenschaften werden v.a. mit der raschen Streuzersetzung in Zusammenhang gebracht. Auf Problemstandorten außerhalb des Waldes (Geröllhalden, frische Böschungen), an Uferböschungen und auf Extremstandorten oberhalb der Waldgrenze fungieren die Erlen als Pionierpflanzen und festigen und verbessern den Boden (SCHÜTT et al., 1994, SIII-2 2ff).

Mit Hilfe von endosymbiontischen Aktinomyceten in ihren Wurzelknöllchen binden die Erlen freien Luftstickstoff. Durch den raschen Abbau der Blätter und Wurzeln sowie durch Auswaschung aus den Wurzelknöllchen wird der fixierte Stickstoff dem Ökosystem zugeführt. Die Stickstoffmengen, die auf diesem Weg dem Ökosystem zur Verfügung gestellt werden, hängen von der Anzahl der Erlen, ihrem Alter und den ökologischen, standörtlichen Bedingungen ab. Angaben schwanken von 40 – 300 kg pro Jahr und Hektar (DENGLER, 1992, S.193). Der Stickstoffanreicherung und Wuchsförderung der vergesellschafteten Pflanzen als positiver Effekt werden Nitratauswaschungen und Versauerung des Oberbodens bei großflächigen Erlenaufforstungen sehr oft als negativ gegenübergestellt. Diese Tendenzen konnten in hydromorph geprägten Böden nicht nachgewiesen werden, da der Nitrifikationsprozess durch sauerstoffarmes Wasser gehemmt ist (PRÖBSTLE, 1998, S.193). Tiefergehende Untersuchungen zur Stickstofffixierung wurden von JØRGENSON (2005), URI (2003), LUNDQUIST (2000) und HUSS-DANELL (1980) publiziert und diskutiert.

AUGUSTIN (2003, S.46) beschäftigte sich mit der potenziell klimatischen Relevanz von Erlen im Zusammenhang mit ihrer Fähigkeit, als Quelle und Senke der Treibhausgase (Kohlendioxid, Methan, Lachgas) wirken zu können. Die Erlenbruchwälder gelten als wichtige Stickstoff- und Kohlenstoff-Speicher. Die Einschätzung der Spurengasemissionen von Erlenbruchwäldern und die Bewertung der regionalen bzw. globalen klimatischen Wirksamkeit sind seiner Meinung nach jedoch eingeschränkt aufgrund extremer Variationsbreite.

A.5.2 Vorkommen und Bedeutung von *Alnus incana* (L.) Moench - Grauerle

A.5.2.1 Verbreitung

Die frostharte Grauerle ist ein Flussbegleiter der montanen Stufe (bis etwa 1600 m ü. NHN) in Mitteleuropa, wobei ihr Hauptareal in Nord- und Osteuropa liegt. Durch die Bevorzugung nordisch-kontinentaler Lagen in Eurasien fehlt sie im Mittelmeerraum und Westeuropa weitgehend. Die Grauerle kommt häufig auf Rohböden nach Hangrutschungen, Erosion, Steinschlag, Schneebewegungen und Anschwemmungen vor.

Sie ist lichtbedürftig und kommt mit unterschiedlichen Nährstoffgehalten und wechselnden Feuchtigkeiten gut zurecht. Hangfußlagen und Steilhänge in Ost- und Südostexpositionen besiedelt sie besonders gern (DENGLER, 1992, S.194, BRÄNDLI, 1996, S.208). Die obere Höhengrenze der Verbreitung der Grauerle liegt bei 1850 m ü. NHN (Graubünden).

Die Grauerle verträgt nach SCHÜTT et al. (1994, S.III-2 2ff) eine breite Skala von Klima- und Lichtbedingungen. Nach SCHWABE-KRATOCHWIL (1998, S.81) zeigt sie innerhalb der Laubholzarten die größte Widerstandsfähigkeit gegenüber Winterkälte. Gewässerbegleitende Grauerlenwälder beschreibt die Autorin als erstaunlich homogen und v.a. geprägt durch die Monodominanz von *A. incana*. ELLENBERG (1996, S.400) weist darauf hin, dass die Grauerle so stark schattet, dass alle Licht liebenden Pioniere zugrunde gehen.

Nach SCHADAUER (1994, S.99) besiedelt die Grauerle in Österreich vorwiegend frische und sehr frische Braunerden, Auböden und Pseudogleye in Meereshöhen von 750 bis 1350 m ü NHN. Sie ist damit primär in den Alpen- und Voralpentälern der alpinen und subalpinen Klimastufen vertreten. Im Leitfaden Natura 2000 wird die Grauerle als typischer Bestandteil für Erlen-Eschen-Weidenauen der Alpenvorlandflüsse beschrieben (LAND NIEDERÖSTERREICH, 2006). Sie stockt entlang von Gebirgsbächen und –flüssen bis 1600 m ü. NHN. Flussbauliche Maßnahmen beeinträchtigen diesen Lebensraumtyp, weshalb nur mehr Restbestände vorhanden sind.

AIGNER und EGGER (2002, S.29) erwähnen kleinflächige Grauerlenbestände entlang der Drau. Die Autoren betonen, dass unter natürlichen Bedingungen die Auenzonen der Drau über weite Bereiche von Grauerlen bestimmt wären. Mehr oder weniger regelmäßige Überflutungen, nährstoffreiche graue Auböden und hohe Bodenwasserspeicherkapazität durch hohe Schluffanteile kennzeichnen natürliche Grauerlenstandorte. Grauerlenuferbegleitsäume werden meist niederwaldartig bewirtschaftet und sind stark anthropogen beeinflusst (z.B. durch Kraftwerksbetriebe).

Über die Lebensdauer der Pionierbaumart herrscht in der Literatur Uneinigkeit. SCHIECHTL (1998, S.206) gibt sie mit 100 Jahren an, andere Autoren stufen sie mit einem Bestandesalter von 50 Jahren als kurzlebig ein (HECKER, 1998, S.205; SCHÜTT et al., 1994, S.III-2 2ff; HACKER und PAULSON, 1998, S.310). Die Grauerle hat ein rasches Jugendwachstum, das auch für Stockausschläge und Wurzelbrut gilt. Die Wuchsleistung ist stark arealabhängig. Die Gefährdung durch biotische oder abiotische Schadfaktoren ist gering. Die Grauerle wird kaum verbissen, jedoch gefegt bzw. geschält, was häufig zu Weißfäule führt. Auffällig ist eine hohe Empfindlichkeit gegen und starke Schädigungen durch Auftausalze.

Der Stickstoffgehalt des Grauerlenstammes und der Blätter wird mit 0,44 % bzw. 2,79 % als besonders hoch im Vergleich zu anderen heimischen Baumarten angegeben (SCHÜTT et al., 1994, S.III-2 9). Die Wurzelmasse und Streu sind leicht mineralisierbar. Damit hat der Baum besonders gute Meliorationseigenschaften und eignet sich zur Bepflanzung erosiver Rohbodenböschungen und Rutschhängen.

A.5.2.2 Wurzelsystem

Das Herzwurzelsystem der Grauerle wird als intensiv, aber nicht besonders tiefgehend beschrieben (BRUNS, 2006, S.58). Die seitliche Erstreckung bis zu 300 cm ist bei weitem größer als die Tiefenerstreckung bis zu nur 90 cm (SCHÜTT et al., 1994, S.III-2 4). Die Durchwurzelung von Pseudogleyen beschränkt sich auf den Oberboden. Anhand von mehreren Beispielen jedoch zeigt GERBER (1998, S.235ff), dass das Wurzelwachstum von *A. incana* nicht durch einen oberen Grenzwert der Trockendichte eingeschränkt wird. Nach bodenpyhsikalischen Gesichtspunkten gedeihen sie auch auf extrem dichten Böden.

Die Bildung von reichlich Wurzelbrut (Wurzelausläufern) führt zu starker Ausbreitung, was zur Befestigung von rutschenden Hängen und Böschungen von Vorteil ist (DENGLER, 1992, S.194). Die Grauerle gilt daher als Pionier auf Bergrutschflächen und wird zur Hangsicherung an Steilhängen angepflanzt. Nach SCHÜTT et al. (1994, S.III-2 4f) vermehrt sich die Art unter extremen Umweltbedingungen allein durch Wurzelbrut. Ihren Angaben zufolge beschränkt sich die Bildung von Wurzelbrut auf Bäume über 25 Jahre und auf Entfernungen bis 6 m vom Stamm.

Für die Grauerlen in der Stambachmure kann dies nicht bestätigt werden. Zum Zeitpunkt der Geländeaufnahmen hatte der Bestand ein Alter von 21 Jahren und wies besonders zahlreiche Sprossbildung aus Wurzelausläufern auf. Eigene Untersuchungen an Wurzelsystemen von 12 bis 20-jährigen Heckenbuschlagen und Holzkrainerwänden zeigten ebenfalls reichlich Wurzelbrutbildung der Grauerlen (STANGL et al.; 2007, S17f; STANGL, 2007, S.292f; STANGL und SCARPATETTI, 2005, S.29f).

KUTSCHERA und LICHTENEGGER, (2002, S.389) betonen die Anpassungsfähigkeit der Grauerlenwurzeln an strukturelle Veränderungen im Boden. Bei hohem Wasserstand und Verdichtungen überwiegt die flache Ausbreitung, wobei Richtungswechsel bis 180° auftreten können. Bei lockeren, tief erwärmten Schichten erstrecken sie sich vorwiegend in die Tiefe. Nach HACKER und PAULSON (1998, S.310) gehen die Wurzeln der Grauerle zwar nicht ins Grundwasser, ertragen jedoch größere Wasserschwankungen und Trockenfallzeiten. Bei Überschüttung bilden sich ringförmige Wurzelkränze. KUTSCHERA et al. (1998, S.53) erwähnen das Auftreten von Sprosswurzeln oberhalb des Stammgrundes.

Bei Grabungen in der Stambachmure zeigte sich der Wurzelstock einer 14-jährigen Grauerle im Kern sehr dicht und in der oberen Bodenschicht reich verzweigt mit weiter seitlicher Ausdehnung. In die Tiefe reichten die Wurzeln nicht weiter als bis 60 cm (SAVERSCHEL, 2003, S.87; STANGL, 2004, S.B33). Damit blieben sie oberhalb der meist wassergesättigten Zonen. Die Seitenwurzeln waren nicht besonders kräftig ausgebildet und blieben nahe der Oberfläche, Hauptwurzeln fehlten. Die mittlere horizontale Ausbreitung des freigelegten Wurzelraumes betrug 155 cm.

A.5.2.3 Holzeigenschaften und forstwirtschaftliche Bedeutung

Die Bedeutung der Grauerle in der Forstwirtschaft ist gering aufgrund ihrer Kurzlebigkeit und der eingeschränkten Dimensionen von verwertbarem Stammholz. Die Stammform der meist mehrstämmigen Grauerle ändert sich mit der Qualität des Standortes. Krumme, kurze, drehwüchsige und spannrückige Stammausformungen auf Standorten geringerer Bonitäten sind häufig (SCHÜTT et al., 1994, S.III-2 2). Zusätzlich wird die Wurzelbrut als lästig empfunden, weswegen die Bedeutung als Vorwaldbaumart trotz des raschen Jugendwachstums stark gesunken ist (DENGLER, 1992, S.194).

Berichte über die Holzeigenschaften der Grauerle sind daher rar. Aufbau, Erscheinungsbild und Anatomie werden meist als ähnlich jenen der Schwarzerle beschrieben. Die Holzeigenschaften und die Beständigkeit sind ungünstiger (HECKER, 1998, S.205). FLORINETH (2004, S.19f) berichtet von besseren Durchbiegungseigenschaften als bei

anderen Augehölzen. Die höhere Elastizität ist v.a. im Überflutungsbereich von Uferböschungen von Bedeutung.

Neben der Herstellung von Spielwaren, Holzschuhen und für Drechslerarbeiten wird die Grauerle primär als Brenn- und Faserholz verwendet. Laut SCHÜTT et al. (1994, S.III-2 2) liegt der Brennwert bei 19.000 MJ kg^{-1}. In Dänemark wird die Grauerle seit den 70iger Jahren im Energieforstprogramm getestet und als guter Kandidat für Ausgangsbrennstoffe zur Wärme- und Stromproduktion gesehen (JØRGENSON, 2005, S.246).

A.5.3 Vorkommen und Bedeutung von *Alnus glutinosa* (L.) Gärtn. – Schwarzerle

A.5.3.1 Verbreitung

Als Baum der planaren, kollinen und submontanen Stufe tritt die Schwarzerle in ganz Europa bis zum Süden Skandinaviens und bis zum Ural, welche als ihre Kältegrenzen zu sehen sind, auf. Oberhalb von 800 m ü. NHN ist sie eher selten zu finden, kommt aber in den Zentralalpen bis 1.800 m ü. NHN vor. Das größte zusammenhängende Schwarzerlengebiet in Mitteleuropa ist der Spreewald im Südosten Brandenburgs, wo Überschwemmungen durch erhöhten Grundwasserspiegel eine dauerhafte Versumpfung sicherstellen. Andere größere Vorkommen sind bekannt in Niedersachsen, im bayerischen Alpenvorland, in Slowenien und Kroatien (SCHÜTT et al., 1994, S.II-2 2; DENGLER, 1992, S.193).

Auf nassen bis feuchten organischen Substraten bzw. Niedermooren gilt die Schwarzerle als Waldbildner. Als Misch- und Begleitbaum anderer Waldgesellschaften zeigt sie sich auf mineralischen, nährstoffreichen, feuchten und nassen Böden (HOFMANN, 2003, S.19).

In Österreich kommt die Schwarzerle am häufigsten auf frischen und sehr frischen Pseudogleyen und Auböden in 450 – 750 m ü. NHN vor (SCHADAUER, 1994, S.103). Einzeln und gemischt ist sie bis auf 1.300 m ü. NHN zu finden. Ihre Hauptverbreitung ist in der Böhmischen Masse, im Alpenvorland (Salzburg bis Niederösterreich), im Wienerwald und im Südosten (Südburgenland, Oststeiermark und Südkärnten). Laut Leitfaden Natura 2000 ist die Schwarzerle die dominante Baumart der Lebensraumtypen Moorwälder und Erlen-Eschen-Weidenauen (LAND NIEDERÖSTERREICH, 2006). Erstere treten im Randbereich der Moore im Norden, Südwesten und Süden, in entwässerten Hochmooren auch in zentralen Bereichen auf. Letztere gelten als dynamische Waldgesellschaften im Überflutungsbereich von Flüssen und quelligen Tälern, wenn sie naturnah und die Wasserstände nicht durch Kraftwerksbetrieb reguliert sind. Ihre größten Bestände liegen in den Auen der großen Flüsse Donau, Mur und March.

Nach BRÄNDLI (1996, S.202) entfallen nur 2 % des Schwarzerlenvorkommens auf Alpenregionen. Er erwähnt die Schneebruchgefährdung in belaubten Zustand, was einer der limitierenden Faktoren für die Verbreitung in Nassschneelagen darstellt. Mehrheitlich besiedelt die Schwarzerle ebenes Gelände und Mulden, aber auch Hanglagen und Steilhänge, sofern die Wasserversorgung gesichert ist.

Die Schwarzerle zählt aufgrund ihres hohen Lichtanspruches, ihres schnellen Wachstums und ihrer hohen Fruktifikation zu den Pionierbaumarten von feuchten und nassen Standorten und gilt als Charakterbaum der Weichholzaue. Durch die Fähigkeit, nasse Standorte zu besiedeln, weicht sie der Konkurrenz anderer Baumarten aus. Überschirmung durch Nachbarbäume führt zum Absterben, der Lichtbedarf bei Jungbeständen beträgt 20 % der Freilandstrahlung (SCHÜTT et al., 1994, S.II-2 10). KRÜSSMANN (1976, S.139) erwähnt Stau-

[1] Laut RITTERSHOFER (2006) wird der Brennwert bei 0 % Wassergehalt am höchsten mit 18 MJ/kg für Laubholz und mit 18,72 MJ/kg für Nadelholz angegeben.

wasserunverträglichkeit und spricht hohen Wurzelausschlag an. SCHÜTT et al. (1994, S.III-28) hingegen betonen, dass sich die Schwarzerle nicht über Wurzelbrut vermehrt.

Altbestände im reifen Waldentwicklungsstadium stellen wertvolle Lebensräume für Arten, die an Alt- und Totholz gebunden sind, dar. Im Vordergrund steht daher häufig die Schutzfunktion von Schwarzerlenwäldern wie z.B. im Biosphärenreservat Spreewald bzw. als natürliche Lebensraumtypen der Natura 2000 Gebiete (LAND NIEDERÖSTERREICH, 2006; RUPP, 2003, S.111; LAND VORARLBERG, s.a.; LAND OBERÖSTESRREICH, s.a.).

Nach DENGLER (1992, S.192) ist die Schwarzerle die häufigste und waldbaulich bedeutendste Erle. Für 40-jährige Bestände geben sie 20,5 bzw. 22,6 m^2 ha^{-1} Grundfläche an. Gute Volumenerträge sind auf geeigneten Standorten zur verzeichnen, wobei das natürliche Alter nicht besonders hoch ist. Angaben über das Alter machen HECKER (1998, S.202), BRÄNDLI (1996, S.204) und SCHÜTT et al. (1994, S.III-2 2) mit 120 Jahren.

Eine Übersicht über auftretende Blatt-, Trieb- und Rindenkrankheiten sowie Fäuleerreger der Schwarzerle ist in HEYDECK (2003) zu finden. Das so genannte Erlensterben ist auf die Phytophtora-Wurzelhalsfäule zurückzuführen, deren Erreger pilzähnliche Organismen sind und erst 1993 in Großbritannien erstmals nachgewiesen wurden. Infiziert werden überwiegend Schwarzerlen. Die Ausbreitung der Erreger gilt in europäischen Ländern als besorgniserregend. Anfangs sind v.a. Erlen in überfluteten Gewässerbereichen betroffen, von wo aus eine epidemische Ausbreitung erfolgen kann. Da die Symptome okular nicht erkannt werden können, besteht nach STEIGLEDER und KÄTZEL (2003, S.107) auch die Gefahr, dass der Erreger über Baumschulpflanzen verbreitet wird.

A.5.3.2 Wurzelsystem

Nach DENGLER (1992, S.194) gilt das Wurzelsystem der Schwarzerle als eines der kräftigsten unter den Laubbaumarten. Sie dringt tief in vernässte Bodenschichten vor und hat dadurch drainende Wirkung. BRUNS (2006, S. 57) beschreibt ein glockenförmiges, intensives Herzwurzelsystem mit mittelstarken Senkerwurzeln und kaum ausgeprägten Horizontalwurzeln. Nach SCHÜTT et al. (1994, S.III-2 6) beträgt der Anteil an Vertikalwurzeln 70-90 %, wodurch die Durchwurzelung zwischen den Stämmen nur gering ist.

Von den heimischen Laubbäumen wurzelt sie am tiefsten, da sich die Wurzeln vorwiegend in vertikaler Richtung ausbreiten, angeregt durch die Schwankungen des Grundwasserstandes und der Wechselfeuchte. Tiefenangaben sammelten KUTSCHERA und LICHTENEGGER (2002, S.382). Etwa 70-jährige Bäume durchwurzelten Tonböden bis 220 cm Tiefe, die größte Wurzeltiefe lag bei 380 cm. KUTSCHERA und LICHTENEGGER (2002, S.382) sowie JOHANNSEN (1998, S.227) berichten auch von der freischwimmenden Ausbreitung und Mattenbildung der Wurzeln in Wasser. Unterschieden werden weiche, ins Grundwasser vordringende Wurzeln mit hohem Luftgehalt, die in Trockenzeiten der Wasserversorgung dienen und als Senkwurzeln die Verankerung übernehmen, und härtere, oberflächennahe, luftreiche Wurzeln zur Nährstoffaufnahme (SCHÜTT et al., 1994, SIII-2-6, HOFMANN, 2003, S.39).

SCHÜTT et al. (1994, S.III-2 7) betonen das besonders starke Wurzelwachstum. Rasches Tiefenwachstum in der Jugend führt zu Durchwurzelungen bis zu 150 cm bereits nach 10 Jahren, das auch im Alter weiter anhält.

JOHANNSEN (1998, S219ff) beschreibt neben dem bekannten, tief gehenden Herzwurzelwerk Besonderheiten bei der Wurzelausbildung an Gewässerstandorten. Die Umklammerung von Steinschüttungen, Faschinen und Buschmatten ist gut. Obwohl eine tiefe Verankerung in bestimmten Entwicklungsphasen eingeschränkt ist, übernimmt das Wurzelwerk die mechanische Wirkung vorübergehender Schutzbauten. Aus diesen Beobachtungen leitet der Autor Hinweise für die Planung von Ufersicherungen ab.

In der Stambachmure reichten die Wurzeln einer 12-jährigen Schwarzerle mit einer Tiefe von 100 cm am weitesten, also auch in die dichten, wassergesättigten Schichten des Hang-

pseudogleys (SAVERSCHEL, 2003, S.87; STANGL, 2004, S.B33). Das Kernvolumen war mit 1,2 m³ am größten, wobei jedoch der Feinwurzelanteil und die Feinverzweigung mit den Wurzelknöllchen in den oberen Bodenschichten größer waren. Im Wurzelstock wurden 8 Hauptwurzeln gezählt, die stark seitwärts mit rechtwinkeligen Knicks auswichen, die in etwa in der Tiefe des wassergesättigten Bodenhorizontes lagen. Starke Verformungen und Krümmungen auf dichtem Pseudogley bzw. flurnah bleibende Hauptwurzeln und gehemmtes Tiefenstreben auf Anmoor-Gley bestätigen auch KUTSCHERA und LICHTENEGGER (2002, S.383f).

A.5.3.3 Holzeigenschaften und forstwirtschaftliche Bedeutung

Das Erlenholz gehört zu den Splinthölzern ohne farblich abgesetzten Kern. Das nach dem Fällen durch Oxidation gelblich-rot gefärbte, leichte Holz der Schwarzerle ist unter Wasser ausgezeichnet dauerhaft (bis 100 Jahre nach HECKER, 1998, S.203), jedoch nicht wechselfeuchteverträglich und nicht witterungsfest. SACHSSE (1984, S.118) weist auf Anfälligkeit für Pilze und Insekten hin.

Mit Biegefestigkeiten bis 172 N mm^{-2} und Druckfestigkeiten bis 77 N mm^{-2} wird das Holz damit nicht besonders tragfähig, jedoch als biegsam, elastisch, fest und mechanisch belastbarer als z.B. die Schwarzpappel eingestuft (KRÜGER, 2003, S.124; SCHÜTT et al., 1994, S.III-2 6). FLORINETH (2004, S.19f) gibt Biegefestigkeiten bis 6.880 N mm^{-2}. Das Holz ist leicht zu trocknen, gut verarbeitbar, zu leimen, zu färben und zu polieren. Verwendung findet es daher im Möbelbau, zur Furnierherstellung, für Instrumentenkästen, als Modell-, Schnitz- und Drechslerholz (HECKER, 1998, S.203; BRÄNDLI, 1996, S.204; SACHSSE, 1984, S.118). Auf den Einsatz für Uferbefestigungen und langlebige Stützkonstruktionen im Wasserbau geht KRÜGER (2003, S.125f) ein, der außerdem übersichtliche Angaben zu den mechanischen, physikalischen und chemischen Holzeigenschaften macht.

Als Wirtschaftsbaumart gilt die Schwarzerle als Randerscheinung. In Deutschland stellt sie 12 % der Gesamtmenge des angebotenen Holzes, wobei sie etwa 6 % des Gesamterlöses erreicht (KRÜGER, 2003, S.127). Durch die vermehrte Nachfrage im Möbelbau bleibt das wirtschaftliche Interesse an astfreiem Stammholz der Schwarzerle im nordeuropäischen Hauptverbreitungsgebiet erhalten. Einschränkend sind die bringungstechnische Zugänglichkeit ihrer nassen und empfindlichen Standorte und die Angewiesenheit auf Bodenfrost zur Schlägerung (SCHÜTT et al., 1994, S.III-2 11). Wirtschaftliche Produktionszeiträume der Schwarzerle werden mit 60 – 90 Jahren angegeben (DENGLER, 1992, S.192). Frühe Ernteempfehlungen im Alter von etwa 65 Jahren sollen der Holzentwertung durch Stammfäule, die bei der Schwarzerlenbewirtschaftung problematisch ist, entgegenwirken (SCHÜTT et al., 1994, S.III-2 8f, LOCKOW, 2003, S.89). Qualitätsholzerwirtschaftung ist durch zeitige Auswahl und konsequenter Begünstigung von Elitebaumanwärtern gegeben.

Angaben zur Nutzung als Brennholz im amerikanischen Raum macht BRÄNDLI (1996, S.204). Die bedingte Eignung als Energieholz sprechen SCHÜTT et al. (1994, S.III-2 11) an. Der Energiehalt des Holzes liegt bei nur 4.700kcal kg^{-1}.

A.5.4 Vorkommen von *Alnus x pubescens* Tausch - Hybriderle

Laut SCHMIDT (1998, S.137) wurde die interspezifische Variabilität von heimischen Erlenarten bereits in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts beschrieben. Die Bastardbildung wurde durch zahlreiche Kreuzungsexperimente belegt, wobei die Kreuzungsfähigkeit nicht unbedingt artspezifisch ist, sondern auch individuell variiert.

Im Zusammenhang mit der hohen genetischen Vielfalt von Schwarzerlen wird von STEIGLEDER UND KÄTZEL (2003, S.101) die spontane Entstehung von Hybriden mit *Alnus incana*

hingewiesen. Der spontane Bastard *A. incana x A. glutinosa* (*A. x pubescens* Tausch, syn: *A. x hybrida* Braun et Reichenb.) trägt intermediäre Merkmale, bringt keimfähige Samen hervor und tritt im gesamten Gebiet der gemeinsamen Verbreitung beider Arten auf.

SCHÜTT et al. (1994, S.III-2 7) berichten ebenfalls von spontaner Hybridisierung der Elternarten. Sie weisen auf die eingeschränkte Fertilität bis hin zur Sterilität der Nachkommen der reziproken Kreuzungen hin. Die Höhen- und Durchmesserentwicklung des Bastards in baltischen Staaten waren bis zu 45 % größer als jene von Grau- und Schwarzerle. Das Verhältnis der Spreitenlänge und die Zahl der Seitennervenpaare 1. Ordnung eignen sich angeblich gut zur Identifizierung der sonst schwierig zu bestimmenden Artbastarde.

Ansonst wurden Hinweise über den Hybriden noch in KRÜSSMANN (1976, S.144) gefunden. Er meint, dass *A. x pubescens* zwischen den Eltern und unerkannt häufig auch in Baumschulen auf den Saatbeeten vorkommt, da sie sämtliche Übergänge zwischen den Elternarten zeigt.

A.6 Bedeutung der Erlen für die Ingenieurbiologie

A.6.1 Allgemeines zum ingenieurbiologischen Einsatz

KNAPP und HACKER (1998, S.40f) sprechen die Fähigkeit von Erlen an, ökologische Grenzbereiche zu besiedeln und dort Dominanzbestände zu bilden. Neben Weiden und Birken dringen sie am weitesten auf nasse und mechanisch bewegte Grenzstandorte vor und bieten sich als natürliche Alternative zu starren, harten Strukturen an. Wo andere Gehölze versagen, sind Erlen verwendbar.

Eigenschaften wie Raschwüchsigkeit in der Jugendphase, Bodenaufbereitung durch die Stickstofffixierung der Symbionten, leicht verrottbares Laub, kräftiges, tief greifendes Wurzelwerk, hohe vegetative Regenerationsfähigkeit, Elastizität und Verträglichkeit gegenüber mechanischen Beanspruchungen drängen die Nutzung in der Ingenieurbiologie auf. Das Aufgreifen ihrer natürlichen Strategien und Verbreitungsmechanismen und die differenzierte Verwendung können bedeutend zum erfolgreichen Einsatz beitragen.

> *„Für die Ingenieurbiologie spielt neben den biotechnischen Eigenschaften der Pflanzenarten das ökogeographische Verhalten eine wichtige Rolle, da nur unter Berücksichtigung beider Elemente zum einen, die Einbindung in den Naturraum zum anderen die Sicherungsaufgabe zu erfüllen sind." (KNAPP und HACKER, 1998, S.23)*

Über die Verwendung von Erlen in der Ingenieurbiologie zählt SCHIECHTL (1998, S.207) die Aussaat, das Verpflanzen von Wildlingen und die Auspflanzung von Ballen- Topf- und Containerpflanzen auf. Essentielle Bedeutung erlangte die Erle bei der Weiterentwicklung des Lagenbaus. Ursprünglich wurden die Buschlagen aus lebenden Weidenästen gebaut, erst die Beimengung von Erlenheistern spielte eine entscheidende Rolle beim Bauprinzip der Heckenbuschlagen.

Vor allem auf verdichteten Böden, zeigte *A. incana* längerfristig den größeren Wuchserfolg als Weiden (GERBER, 1998, S.235). Durch die Kombinationsmöglichkeit von Weidenästen mit bewurzelten Gehölzen können nach BEGEMANN und SCHIECHTL (1994, S.154f) Initial- und Folgevegetation in einem Arbeitsgang eingebaut werden. SCHIECHTL und STERN (1992, S.94) versprachen sich damit eine Steuerung bzw. eine Abkürzung der Sukzession.

SCHIECHTl (1998, S.308) weist darauf hin, dass bei der Verwendung der Erle der Deckungsgrad im Allgemeinen rasch steigt und im Durchschnitt nach 18 Jahren bereits 100 % erreicht. In den ersten 10 Jahren fliegen viele Arten aus der Umgebung spontan ein, durch die Be-

schattungskonkurrenz der Erlen nimmt aber die Gesamtartenzahl bald wieder ab. Evaluierungen an 50-jährigen Heckenbuschlagen mit Grau- bzw. Grünerlen und über 20 verschiedenen anderen Arten zeigten eine regressive Sukzession (STANGL, 2007, S.293). Ein Wechsel in Richtung Misch-Laubwälder entsprechend RASCHENDORFER's (1954) Szenario kann nicht erwartet werden, solange die Erlen dominieren. Ähnliche Schlussfolgerungen können auch aus Untersuchungen an anderen, jüngeren ingenieurbiologischen Bauweisen gezogen werden (STANGL, 2007; STANGL und ZENZ, 2005; STANGL und TESARZ, 2003).

Für die Ingenieurbiologie folgert SCHIECHTL (1998, S.209), dass ein zu dichter Besatz und ein Reinbestand vermieden werden sollte. Pflegeschnitte und Durchforstungen zur Erhaltung der Stabilität und des Verbauungszieles sieht er als umso dringender, je dichter die geschaffene Bestockung ist. KRAUSE (1998, S.259) wiederum weist darauf hin, dass der rasche Längenzuwachs innerhalb der ersten zwei Jahrzehnte endet. Wenn die erreichte Länge akzeptabel ist, sieht er vor allem im Uferbereich auch für später keinen Grund, wegen der Baumgröße in den Bestand einzugreifen.

A.6.2 Allgemeine Überlegungen zur Herkunftsfrage

Der Herkunftsfrage und der Frage nach dem Genotyp kommt beim forstlichen Anbau von Erlen-Populationen v. a. in Hinblick auf das Erlensterben, das zu Beginn des 20. Jahrhunderts auftrat, eine entscheidende Rolle zu (FRANKE, 1998, S.290; SCHMIDT, 1998, S.134). In Österreich sind sowohl *A. incana* als auch *A. glutinosa* in der Baumartenliste gemäß dem Forstlichen Vermehrungsgutgesetzes enthalten und damit Erzeugung, Einfuhr, Ausfuhr und In-Verkehr-Bringen geregelt (WURZER, 2006). Die Mindestanforderungen für die Zulassung von Ausgangsmaterial zur Erzeugung von Vermehrungsgut sind im Bundesgesetzblatt (BMLFUW, 2002, S. 3985ff) verankert. Rechtliche Normen für Verwendungszwecke außerhalb des Waldes gibt es jedoch nicht.

Wenn auch für die Ingenieurbiologie andere morphologische, physiologische und biotechnische Eigenschaften als für forstliche Zwecke wichtig sind, sollte dennoch für einen erfolgreichen Einsatz eine Orientierung an den forstlichen Herkunftsgebieten und eine Bevorzugung heimischer und lokaler Rassen der Vorzug gegeben werden, empfiehlt SCHMIDT (1998, S.134f). Über Herkunftsversuche berichtet FRANKE (1998, S.281), dass statistisch gesicherte, starke Unterschiede vor allem in der Wurzelentwicklung, die aus ingenieurbiologischer Betrachtungsweise eine besonders wichtige Rolle spielt, beobachtet wurden.

STEIGLEDER UND KÄTZEL (2003, S.102) betrachten die Beachtung der Herkunftsfrage für künstliche Neubegründung von Erlenbeständen ebenfalls als bedeutsam. Sie raten, von der natürlichen Verjüngung eines Bestandes zweifelhafter Herkunft Abstand zu nehmen und Material bekannter genetischer Vielfalt und Herkunft Vorrang zu geben. Von der Verwendung unbekannter oder fragwürdiger Erlen im Landschaftsbau und in der Ingenieurbiologie rät auch FRANKE (1998, S.291) ab. Er nennt die Gefährdung des Genpools, die nicht absehbaren genetischen, genökologischen und wirtschaftlichen Folgen als Argumente und empfiehlt zumindest die Beachtung der Herkunftsempfehlungen.

A.6.3 Sprosswurzelbildung von Erlen

Nach FLORINETH (2004, S.35) ist die Sprosswurzelbildung von Gehölzen die Fähigkeit

> „[…] *zusätzlich zum vorhandenen Wurzelsystem am überschütteten und mit Erde abgedeckten Stammabschnitt proventive oder adventive*

> *Wurzelanlagen, so genannte Sprosswurzeln, auszubilden."* (FLORINETH, 2004, S.35)

FINK (1980a, 1980b) unterscheidet in Anlehnung an HARTIG (1878) nach dem Gewebe proventive von adventiven Anlagen, die er bei *Populus*- und *Salix*-Arten als genetisch bedingte Ausformung interpretiert. SCHUBERT und WAGNER (1993, S.68) beschreiben Adventivwurzeln als „*Sprossbürtige Wurzeln, die aus Sprossachsen hervorgehen und für die Monokotyledonen und viele sich vegetativ vermehrende Dikotyledonen charakteristisch sind, sowie blattbürtige Wurzeln*". Laut SCHIECHTL und STERN (1992, S.145) lautet die Definition der Adventivwurzel: „[...] *Sprossbürtige Faserwurzel, die nicht aus einer Keimwurzel hervorgeht, sondern eine Bildung der Sprossachse ist.*" NULTSCH (2001, S.278) benutzt den Begriff Adventivwurzeln und bezeichnet sie als „*Wurzeln, die zu ungewöhnlicher Zeit an ungewöhnlichen Orten, etwa infolge von Verletzung oder Wuchsstoffbehandlung, gebildet werde*n".

Die Ausbildung von Sprosswurzeln durch äußere Einflüsse wie Verletzungen und Übererdung wird hormonellen Vorgängen zugeschrieben und ist notwendig bei Überschüttung von Gehölzeinlagen im ingenieurbiologischen Einsatz. Statt herkömmlichen Pflanzungen wird die Wurzelbildung entlang von Sprossen oder Ästen mancher Arten in Form von Steckholzpflanzungen oder als Einlagen genutzt, da Ast- oder Stammabschnitte vor allem kurz nach der Einbauphase zur Bewehrung des Bodens beitragen. Außerdem treiben die Pflanzen - häufig mehrstämmig - neu aus, die sich entwickelnden Wurzelsysteme bieten weitere Stabilisierung und Schutz vor Oberflächenerosion.

Die Vermehrung aus Steckhölzern im Gartenbau- und in forstlichen Vermehrungsbetrieben ist weit verbreitet. Spezifische Artcharakteristika der Elternpflanzen können beibehalten werden ohne das Risiko von möglichen Variationen. Zur kommerziellen Massenproduktion ist die Steckholzvermehrung kostengünstig und leicht durchführbar.

Über die vegetative Vermehrbarkeit der Erlen über Steckhölzer bzw. -stecklinge herrscht in der Literatur jedoch Uneinigkeit. Nach SCHÜTT et al. (1994, S.III-2 5) gelingt die Stecklingsbewurzelung von Grauerlen bei Verwendung von Grünstecklingen. MAC CÁRTHEIGH und SPETHMANN (2000, S.212) nehmen an, dass Steckholzvermehrung von *A. x spaethii* möglich ist, nennen die Ergebnisse von Kopfstecklingen von *A. cordata, A. glutinosa, A. incana* und *A. x spaethii* aber als nicht zufrieden stellend. BÄRTELS (1989, S.193) hingegen berichtet bei Verwendung von Wachstumshormonen von gutem Erfolg bei Kopfstecklingen von *A. incana* ‚Aurea', *A. glutinosa* ‚Laciniata' und , Aurea, *A. cordata* und *A. x spaethii*. DIRR und HEUSER (1987, S.90f) geben Bewurzelungsraten von 25 % bei behandelter *A. cordata*, von 65 % bei *A. glutinosa* und bis 52 % bei *A. incana* an.

FRANCIS et al. (2005) untersuchten Wachstums- und Überlebensraten von *A. incana*-Steckhölzern in Bezug auf variierende Wasserrationen in einem Glashausexperiment. Sie dokumentierten Totalausfall in Schottersubstrat und keine Anzeichen von Adventivwurzelwachstum bzw. hohe Mortalität (46 %) und reduziertes Wachstum in Sandsubstraten. 5 Tage Überflutung hatte signifikant höheres Wachstum in Bezug auf Gesamtstammlänge und Blattzahl zur Folge. Geht die Flutung über 10 Tage hinaus, scheint das Wachstum gehemmt zu werden. Die Autoren nehmen an, dass die Steckhölzer in natürlichen Flusssubstraten besser abschneiden und dass feinere Sandsedimente bessere Bedingungen für die Steckholzpflanzung darstellen und damit besser durch die Wurzeln stabilisiert werden können.

SCHLÜTER (1990, S.18) beobachtete ausreichendes Wurzelwachstum an oberirdischen Sprossen von Schwarzerlen bei Bodenbedeckung aber unzufrieden stellende Bewurzelung von Steckhölzern für ingenieurbiologische Zwecke. SCHIECHTL (1980, S.183f) erwähnt variierenden Erfolg bei Grau- und Schwarzerlensteckhölzern und empfiehlt nur die Verwendung von bewurzelten Pflanzen. FLORINETH (2004, S.35) gibt für Grau-, Grün- und Schwarzerlen sehr gute Sprosswurzelbildung von bewurzelten Gehölzen an.

Laut SCHWABE-KRATOCHWIL (1998, S.88) wird Akkumulation von der Grauerle fast schadlos überstanden aufgrund der Bildung von Adventivwurzeln, die sich bei wiederholter Erosion in die neue Bodenoberfläche legen und aktive Wurzelbrutbildung einsetzt. SCHÜTT et al. (1994, S.III-2 6) meinen, dass bei Schwarzerlen das Wachstum von Adventivwurzeln bis zu einer Woche nach plötzlichen Überflutungen anhält. Bei längeren Überflutungen ersetzen Nachbildungen abgestorbene Teile, vermindertes Triebwachstum und Chlorosen treten aber dennoch auf. Bei Grauerlen entstehen Adventivwurzeln bis 30 cm Stammhöhe und entwickeln sich später zu Stelzwurzeln. Die Überwallung von verletzten Stämmen führt ebenfalls zur Adventivwurzelbildung.

Wertvolle Informationen über die langfristige Entwicklung vom Sprosswurzelwachstum und die Ausprägung der Wurzelsysteme von Gehölzeinlagen wurden bei eigenen Untersuchungen an Heckenbuschlagen, bepflanzten Hangrosten und Holzkrainerwänden gesammelt (STANGL et al.; 2007; STANGL, 2007; STANGL und SCARPATETTI, 2005). An allen untersuchten Individuen konnten die ehemaligen Sprosse, die gemäß dem Lagenbau horizontal eingelegt wurden, identifiziert werden. Sie sind einheitlich die kräftigsten, quer in den Hang reichenden Wurzeln, die auch nach ihrer Vergrabung einem Dickenwachstum unterliegen. Ihnen entspringen die Stämme und aus ihnen entwickelt sich das eigentliche Wurzelsystem. Es bilden sich in der Regel keine Polwurzeln, die sprossbürtigen Grobwurzeln sind ähnlich dominant und breiten sich als dichter, kegelförmiger Umhang um den eingelegten Spross aus. Im gesamten Wurzelbereich entfalten sich reichliche Knöllchenbakterien.

Intraspezifische Wurzelverwachsungen innerhalb einer Art wurden bei allen Lagenbauweisen beobachtet. Kollektive aus Grauerlen von 14-jährigen Heckenbuschlagen bzw. Holzkrainerwänden bildeten beachtliche Wurzelkörper mit über 4 m Durchmesser und Trockengewichten bis zu 9 kg pro Individuum. Die wenigen sprossbürtigen Wurzeln zeigten bereits die arttypische Form eines konischen Mantels und reichten bis etwa einen dreiviertel Meter in die Tiefe. Die mehr als doppelt so hohe Gesamtbiomasse der einzelnen Kollektivpartner im Vergleich zu den Einzelindividuen bestätigt Angaben von POLOMSKI und KUHN (1998), wonach der gesamte Verbund durch die gemeinsame Nährstoffnutzung für die Biomasseentwicklung profitiert. Die Wurzelkörper erreichen damit hohe Stabilität, das Verbundwurzelgeflecht geht über die einzelnen Reihen der Krainerwände hinaus.

An den Untersuchungsobjekten wurden nur wenige Sprosswurzeln entlang der ursprünglichen Einlagen beobachtet, woraus gefolgert wird, dass das Wurzelwachstum im sprossbürtigen Bereich bald zu Ungunsten des Sprosswurzelwachstums entlang der Stammeinlage einsetzt (STANGL und SCARPATETTI, 2005, S.31). Da andere Autoren an jüngeren Individuen reichlich Sprosswurzelbildung darstellen (SCHLÜTER, 1971, S.57), stellt sich mit zunehmendem Alter vermutlich eine Regression ein, sobald sich die sprossbürtigen Wurzeln entfalten.

A.6.4 Stockauschlagvermögen von Erlen

A.6.4.1 Generelle Mechanismen des Stockausschlags nach BLAKE (1983)

Über die Mechanismen von Stockausschlag in Bäumen und die Terminologie in diesem Zusammenhang hat BLAKE (1983) umfangreiche Recherchen durchgeführt und zur Verfügung gestellt. Eine Zusammenfassung seiner Arbeit soll zu diesem Thema einen Überblick verschaffen.

Coppice-Aufforstung, d.h. Verjüngung durch Stockschnitt, nützt die natürliche Kapazität einiger Baumarten, aus dem Stock und dem Wurzelsystem erfolgreich oberirdische Biomasseproduktivität zu initiieren. Rasches Wachstum sowie verlässliche Regeneration sind das Ziel. Das Austreiben wird von der Genetik, den Umwelt- und Kulturfaktoren beeinflusst. Art, Sprossursprung, Schnittzeitpunkt, Durchmesser und Höhe der Stöcke und Position beeinflussen die Austriebfähigkeit bzw. das Ausmaß der Regeneration. Abhängig vom

Genotyp können abnehmende Wachstumsraten und frühzeitige Stockalterung die langfristige Produktion vor allem bei sehr engen Pflanzungen limitieren.

Fast alle Laubholzgattungen enthalten Arten, die nach Verletzungen wie Schneiden wieder austreiben. *Alnus* mit mehr als 30 Arten ist besonders wichtig, dabei in erster Linie *A. glutinosa, A. incana, und A. rubra.* Ebenfalls fördernd für die Triebbildung sind Wurzelschnitte.

Wo der Sprossursprung von Stockausschlägen liegt, wird in der Literatur konfus wiedergegeben. Aufgrund von kambialer Aktivität bei der Schnittfläche bildeten sich die Triebe von *Tectona* ssp. aus dem Kallusgewebe. In *Eucalyptus* ssp. entstanden Stockausschlagtriebe von versiegelten Knospen und Knospen produzierendem Meristemgewebe. Diese sind in geschützten Positionen der äußeren Cortex oder der inneren Rinde gelegen. Bei *Populus* ssp. entwickelten sich die Sprosse eher von unterdrückten Knospen als von adventiven Wundgeweben. Bei *Liquidambar* ssp. waren die schlafenden Knospen verantwortlich. Bei *Quercus* ssp. und *Carya* ssp. entwickelten sich die Triebe nahe der Stockbasis, wobei die Ursprungshöhe der Triebe variierte von untererdeten Zonen bis etwa 5 cm oberhalb der Basis.

In den 50iger Jahren entdeckte man, dass trotz Neuentwicklung von fibrösen Wurzeln primär das Elternwurzelsystem vom Stock genutzt wurde. In jüngeren Studien wird berichtet, dass Wurzelnähe und wurzelproduzierte Hormone die Jugendlichkeit erklären. Alternative Theorien sagen, dass das Schneiden jugendliche Knospen, die vernachlässigt an der Basis von aus Samen gezogenen Bäumen verweilen, zum Wachstum zwingt.

Saisonaler Einfluss des Schnittzeitpunktes wurde bei *Eucalyptus* ssp.*, Cornus* ssp., *Platanus* ssp., *Populus* ssp. beobachtet. Sie zeigten maximales Sprosswachstum bei Winterschnitten und minimales bei Sommerschnitten. Kaum Einfluss durch den Schnittzeitpunkt wurden über *Quercus* ssp.*, Liquidambar* ssp., *Nyssa* ssp. *und Cola* ssp. berichtet.

Einfluss des Stockdurchmessers auf die Vitalität ist von *Betula populifoila* und *Alnus rubra* dokumentiert. Sie hatten weniger als 5% Überlebensraten bei Durchmessern größer 22 bzw. 35 cm. Eine Sprossabnahme bei *Castanea* ssp. wurde über 35 cm beobachtet. Obwohl zunehmender Sprosstrieb mit zunehmendem Durchmesser assoziiert wird, ist an sich zunehmende Vitalität dafür verantwortlich.

Ältere Individuen treiben üblicherweise eingeschränkt, womit das Stockalter mit ausschlaggebend ist für den Austrieb. Starke Unterschiede werden in der Literatur je nach Art angegeben (zwischen 8 und 110 Jahren). Ein Zusammenhang wird mit abnehmender Vitalität bzw. einem Verlust an lebensfähigen schlafenden Knospen gesehen. Trotz generell inverser Beziehungen gibt es einige Arten, die bis ins hohe Alter gut treiben.

Die Stockalterung kann extrem unterschiedlich sein und hängt vom Genotyp, der Jahreszeit, Umweltfaktoren, der Rotationslänge, Pflanzdichte und Durchmesser ab. Sie kann unter Umständen sehr schnell eintreten bzw. bereits nach einem ersten guten Neuaustrieb.

Die Stockhöhe hat variable, artabhängige Effekte. Knapp über dem Boden geschnittene *Betula* ssp. hatte eine Sprosserhöhung zufolge, allerdings erhöhte sich die Stockmortalität nach dem 2. Schnitt bei *Populus* ssp.. Schnitt nahe dem Wurzelhals reduzierte die Sprossbildung. Keine Effekte wurden bei *Populus deltoides, Eucalyptus* ssp. und *Quercus* ssp. festgestellt. Bei *Fraxinus* ssp. erhöhte sich die Sprosszahl mit zunehmender Höhe bis 18 cm.

Der Stockschnitt stört viele physiologische Funktionen, weswegen eine Verschlechterung bzw. Mortalität nicht verwunderlich ist. In vielen Berichten wurde schwere Mortalität erwähnt, z.T. aufgrund von Infektionen oder auf feuchteren Standorten wegen Wurzelfäule. Baumstumpffäule kann jedoch reduziert werden bei niedrigem Schnitt, Abbrennen und Entfernen von neuen Sprossen. Viele Studien haben die Bedeutung des Pflanzabstands bewiesen in Bezug auf die Stockmortalität.

BLAKE (1983) schließt, dass die Regeneration nach Stockschnitt primär vom Wurzelsystem des Elternbaumes abhängt. Die höchste Triebbildung wird üblicherweise bei Stöcken bis zu 30 Jahren und Durchmessern von 20-30 cm erreicht.

A.6.4.2 Stockausschlag der Erlen

Die Bedeutung des guten Stockausschlags für die Ingenieurbiologie sieht BRÄNDLI (1996, S.204) insbesondere in der Sicherung von Bach- und Flussufern. Generell wird die hohe vegetative Regenerationsfähigkeit von allen Erlenarten auch zur Hangverbauung, zur Böschungssicherung, zur Besiedelung von Rohböden und als Vorwaldart sehr geschätzt (KNAPP und HACKER, 1998, S.41; SCHWABE-KRATOCHWIL, 1998, S.103).

Die Angaben zum Stockausschlag von Erlen in der Literatur sind zum Teil sehr widersprüchlich. DENGLER (1992, S.194) sprechen von einem starkem Stockausschlagvermögen der Schwarz- und Grauerle, wobei erstere reichlich Lichtversorgung benötigt. Nach HECKER (1998, S.205) verträgt die Grauerle ebenfalls starken Rückschnitt und reagiert mit hohem Stockausschlag. Dies berichtet SCHWABE-KRATOCHWIL (1998, S.89) auch von durch Hochwasser abgesplitterten Stämmen. HACKER und PAULSON (1998, S.310) hingegen geben eingeschränkte Ausschlagkraft an.

Gute Biomasse- und Sprossbildung bei Stockausschlag der Grauerle berichten RYTTER et al. (2000, S.290f). Bei *Alnus rubra* beobachteten PROE et al. (1999, S.144ff) hohe Mortalität (50 %) und anfänglich eingeschränktes Sprosswachstum. Dies holte aber rasch auf und war bald vergleichbar mit jenem von Einzelpflanzungen.

Nach SCHÜTT et al. (1994, S.III-2 8) bleibt das Stockausschlagvermögen bis zum 60. Lebensjahr erhalten, sie erwähnen jedoch ein herabgesetztes Alter der Ausschlagtriebe. Nach BLAKE (1983, S.286) ist die Stockalterung bei Coppice-Forstsystemen sehr unterschiedlich und hängt vom Genotyp, der Jahreszeit, Umweltfaktoren, der Rotationslänge, Pflanzdichte und Durchmesser ab. Sie kann sehr schnell bzw. bereits nach einem ersten guten Neuaustrieb eintreten.

KRAUSE (1998, S.255) weist auf die Fähigkeit von Schwarzerlen hin, bis ins hohe Alter aus schlafenden Augen am Stammfuß auszutreiben. Dafür kann das Erneuerungsgewebe mindestens 80 Jahre alt sein und voll entwicklungsfähig bleiben. Wirklich dauerhaft bleiben jedoch nur die tief sitzenden Stockausschläge, die sich im günstigsten Fall selbst bewurzeln, während der Stock unter ihnen verrottet. Zu hoch sitzende Triebe bergen die Gefahr, abzubrechen, daher müssen Erlen dicht am Boden geschnitten werden. Als brauchbares Orientierungsmaß für die Stockhöhe gibt der Autor den halben Stammdurchmesser an.

FLORINETH (2004, S.25) vertritt ebenfalls die Meinung, dass eine nachhaltige Verjüngung durch tiefen Schnitt garantiert wird. Er meint, dass

> „[…] *das Sprosswachstum nahe am Wurzelstock vom Abmorschen des Stammstummels nicht beeinträchtigt wird und die jungen Sprosse leichter mit Nährstoffen und Wasser versorgt werden* […]“ (FLORINETH, 2004, S.25)

A.6.5 Auszugwiderstand, Transpiration, Überflutungstoleranz und hydraulische Eigenschaften

Als **Auszugwiderstand** beschreibt FLORINETH (2004, S.22) die Kraft, die erforderlich ist, die Pflanze aus dem Boden zu reißen. Er betrachtet diese als Maß für die Stabilität der Boden-Wurzel-Matrix und damit für die festigende Wirkung der Einzelpflanze. Messungen des Auszugswiderstandes an Grauerlen entlang von Wildbächen ergaben 0,96 bis 20,41 kN.

Nach SCHUPPENER (1998, S.266) sind für den rechnerischen Standsicherheitsnachweis neben dem bodenmechanischen Berechnungsmodell und der Durchwurzelung auch die Festigkeit und Elastizität der Wurzeln erforderlich. Die Ermittlung erfolgt unter Zugbelastung und unter Angabe der maximalen Zugkraft bzw. der Verformung. Angaben über die **Zugfestigkeit** von Schwarzerlen finden sich in KRÜGER (2003, S.124), SCHUPPENER (1998, S.268) und SCHÜTT et al. (1994, S.III-2 6). Bis etwa 140 N mm^{-2} liegt sie in etwa so hoch wie jene der Traubenkirsche, aber unter jener von Birke oder Lärche. Die **Scherfestigkeit** wird mit 6,5 N mm^{-2} beziffert.

Die Schwarzerle gilt als die Baumart mit der höchsten **Transpiration** (SCHÜTT et al., 1994, S.III-2 9). Blätter aus dem Kroneninneren tragen zu den hohen Transpirationsraten bei. Bei Wasserstress führt dies zu sommerlichem Blattfall. Unter den heimischen Gehölzarten liegt *Alnus viridis* mit 0,46 cm sec^{-1} stomatäre Blattleifähigkeit für Wasserdampf im oberen Bereich (KÖRNER et al., 1979, S.52ff). Bei Trockenstress beschreiben LIANG und MARUYAMA (1994, S.358) eine Reduktion der Transpirationsraten von *Alnus firma*, was in direktem Zusammenhang mit der Abnahme der Blattleitfähigkeit bei Einsetzen der Trockenperiode gebracht wird.

ESCHENBACH und KAPPEN (1999, S.36) berichten von dem außergewöhnlichen Phänomen, dass weder unterschiedliche Bodenwasserkonditionen noch Unterschiede in den Baumgrößen die Transpirationsraten von Schwarzerlen beeinflussen. Sowohl Uferbäume im Wasserbereich als auch Erlenbüsche von Hecken ebenso wie Blätter verschiedener Kronenpositionen zeigen große Ähnlichkeiten. Konsequent hohe Transpirationsraten von 389 mm a^{-1} (HERBST et al., 1999) und bis 3,87 mm d^{-1} (ESCHENBACH, 1996) werden als Strategie zur Maximierung der Produktion interpretiert. Stomatäre Einschränkungen bei hoher Wasserverfügbarkeit sind gering. Gleichzeitig begrenzt dieser Mechanismus die Schwarzerle auf nasse Habitate, wo zumindest die tiefen Wurzeln Wasserzugang haben.

Funktionelle Mechanismen zum Gastransport in tiefe Wurzelbereiche sowie ein dimorphes Wurzelsystem verleihen der Schwarzerle eine gewisse **Überflutungstoleranz** bzw. ein hohes Anpassungspotenzial an überstaute, anaerobe Bedingungen. Die weitere Grundvoraussetzung für die Versorgung der Wurzel ist eine Sauerstoffquelle in Form von auffallend großen Lenticellen an der unteren Stammbasis. Sie dienen als Einstrittstelle des Sauerstoffes in das Interzellularsystem. Transportkraft ist der Sauerstoffgradient zwischen ober- und unterirdischen Pflanzenteilen (HOFMANN, 2003, S.41).

Als wesentliche **hydraulische Eigenschaften** gibt FLORINETH (2004, S.123f) die Elastizität und Biegsamkeit von Ufergehölzen an. Durch flächiges Niederlegen elastischer Ufervegetation wird der Boden vor Erosion geschützt, wobei Fließgeschwindigkeit, Durchflussfläche und Wasserabfluss nur wenig verringert werden im Vergleich zu starren, dicht oder einzeln stehenden Ufergehölzen. Die Biegefestigkeit von Schwarzerlen liegt im Bereich von jener von Weiden (*Salix* ssp.) (Kap. A.5.3.3). Durch ihre elastische und plastische Biegsamkeit kann vor allem die leicht verformbare Schwarzerle große Kräfte anströmenden Wassers aufnehmen und in den Boden ableiten (VOLLSINGER, 2000, S.21).

BLOCK B: DIE STAMBACHMURE - GEOLOGISCHE UND BODENKUNDLICHE ASPEKTE

B.1 Zusammenfassung

BLOCK B beschreibt die wesentlichen Hintergrundinformationen über das Einzugsgebiet der Stambachmure. Herausgearbeitet werden die geologischen und klimatischen Verhältnisse, das forstliche Wuchsgebiet und die Wildbachcharakteristik des Stambaches. Die Informationen aus den Archivunterlagen des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinenverbauung GBBL Bad Ischl über das Ereignis und den darauf folgenden Maßnahmen werden zusammenfassend dargestellt. Zur Feststellung der aktuellen Bodenkonditionen wurden neben zahlreichen Profilöffnungen und Bodenansprachen mineralogische Analysen mittels Röntgendiffraktometrie und Korngrößenuntersuchungen mittels einer Kombination von Nasssiebung und Sedigraphie durchgeführt. Die Wasserleitfähigkeit (k-Wert) wurde über die Methode mit aufsteigendem Wasserspiegel bestimmt.

Der Standort ist charakterisiert durch extreme Bodenkonditionen, die sich aus außergewöhnlich hohen Anteilen der Tonfraktionen (bis 88,6 %) ergeben. Die Tonfraktion beinhaltet große Mengen an quellbaren Tonmineralen (Smektit und Vermikulit), die den Bodentyp Stagnogley bedingen. Die Wasserleitfähigkeit ist zum Teil stark unterbunden (k-Wert << 10^{-7} m sec^{-1}). Stauwasser und anaerobe Verhältnisse bis an die Bodenoberfläche stellen limitierende Faktoren für die Vegetationsentwicklung in der Stambachmure dar.

B.2 Das Einzugsgebiet

B.2.1 Geographische Lage

Das ehemalige Rutsch- und Murgebiet befindet sich auf einer Seehöhe zwischen 920 und 1.110 m ü. NHN im oberen Einzugsgebiet des Stambaches, der bei Bad Goisern (Salzkammergut, OÖ) rechtsufrig in die Traun mündet. (Abb. B-1). Im Technischen Bericht von 1984 (BAMMER, 1984a, S.2f) werden die starken geologischen Abweichungen entlang der Grenzlinie Traun hervorgehoben. Die morphologischen Kontraste zu beiden Seiten dieser Linie werden im Bereich der Talweitung von Bad Goisern besonders auffällig. Die schroffen Wände des hochalpinen Ramsaugebirges am orografisch linken Traunufer stehen einer sanften, voralpenähnlichen Hügellandschaft gegenüber.

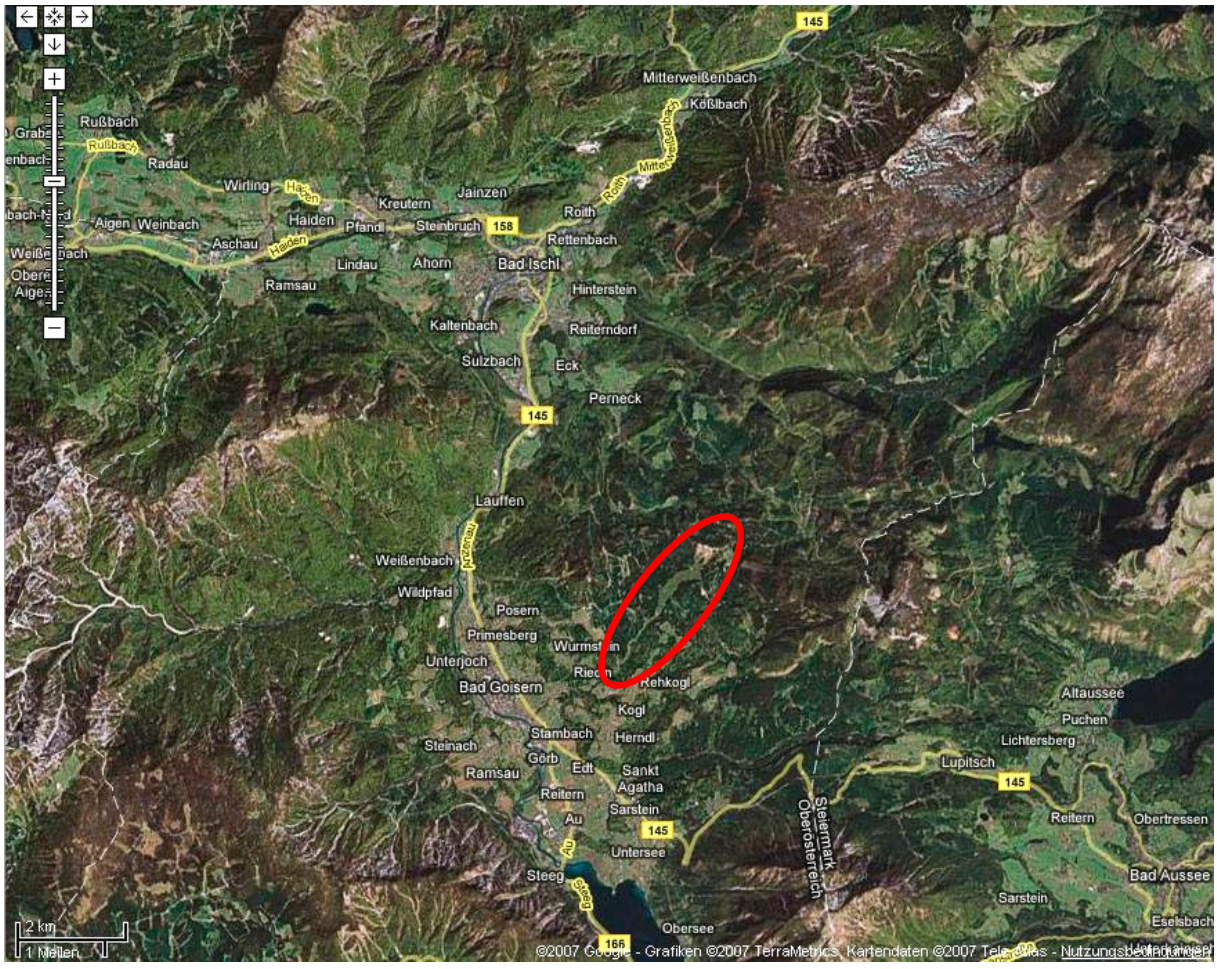


Abb. B-1: Geographische Lage der Stambachmure (© GOOGLE, TELEMETRICS und TELE ATLAS, 2007, verändert)

B.2.1.1 Geologischer Überblick

Das innere Salzkammergut liegt im Zentrum der nördlichen Kalkalpen am westlichen Rand der Hallstätter Zone von Bad Ischl-Bad Aussee, deren geologischer Aufbau von zahlreichen Autoren beschrieben wird (TOLLMANN, 1985, S.178ff; 1976, S.501ff; MANDL, 1984a, 1984b, 1982; PISTOTNIK, 1973/74). Ihre Eigenheiten wurden in Bezug auf die Stambachmure von ROHN (1991), BAMMER (1984a) und ANGERER (1983) im Detail diskutiert.

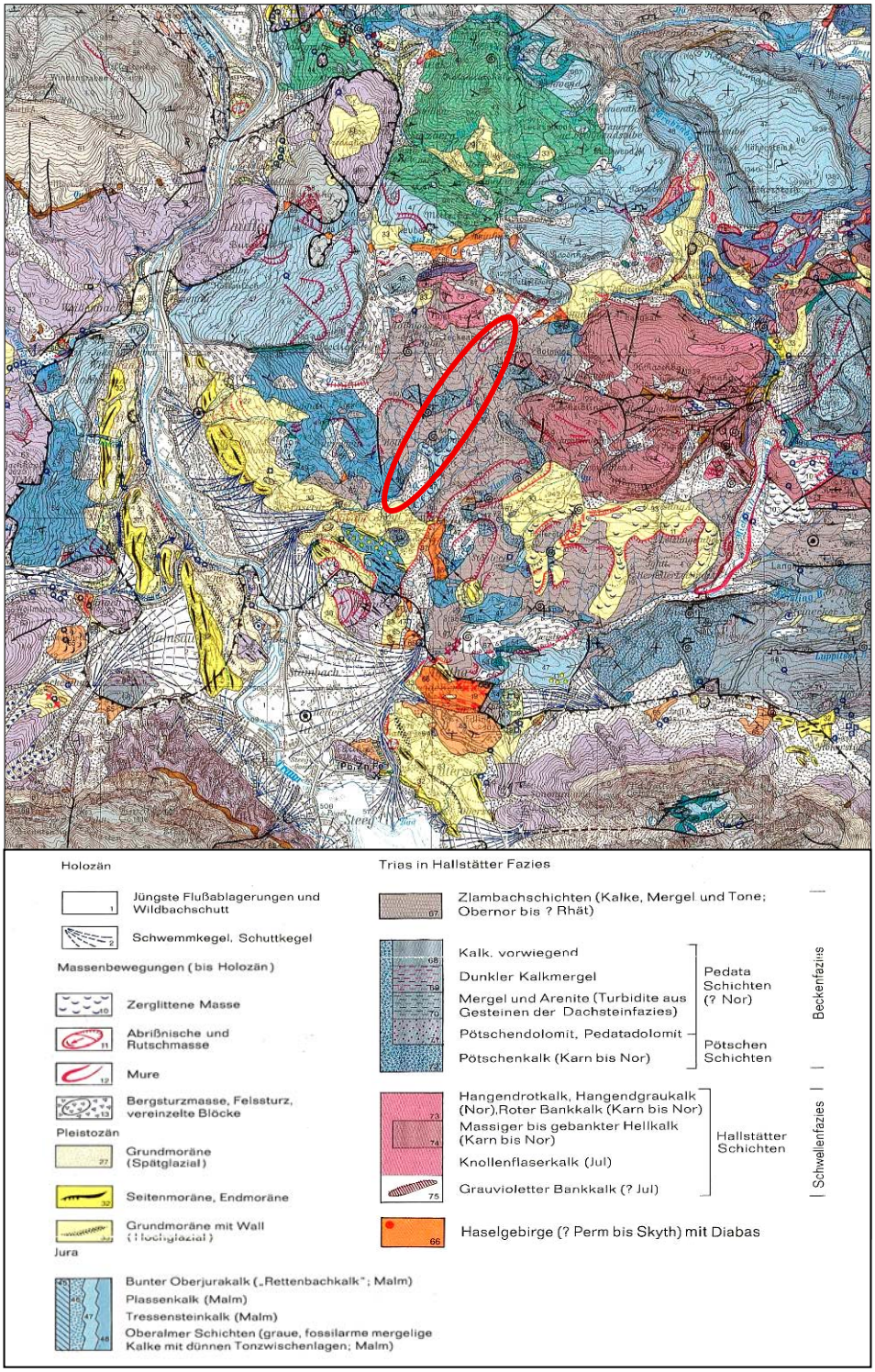


Abb. B-2: Geologische Karte im Bereich des inneren Salzkammergutes (© SCHÄFFER, 1982a, verändert)

Die Trias-Schichtenfolge der Hallstätter-Fazies setzt sich aus salzführendem Haselgebirge[1], Hallstätterkalken, Pötschenschichten und Zlambachschichten zusammen. Letztere sind Mergel-Kalkfolgen, die die Schwellen- und Beckenfacies der Hallstätterzone überlagern. Während der Ablagerung der Mergel und Kalke im Jura vollzog sich gleichzeitig das Eingleiten der Dachstein-Totengebirgs-Höllengebirgsdecke in ein Becken der Hallstätter Zone. Salinar beeinflusste Bruchtektonik und alpidische Einengungstektonik rufen hier große Materialgegensätze und komplizierte Lagerungsverhältnisse hervor.

In der Eiszeit fanden die letzten großen Umgestaltungen des Gebietes statt. Die Vergletscherung des Goiserer Beckens erreichte im Hochglazial der Rißzeit ihren Maximalstand. Der Wechsel von Abschmelzen und Gletschervorstößen im Spätglazial führte zu einer starken Verwitterung der vegetationslosen Oberfläche, rasche Erosion durch die Entwässerung war die Folge. Großflächige Moränenablagerungen im hinteren Trauntal zeugen vom Einfluss des Eisstromes des Traungletschers aus dieser Zeitspanne.

Das gegenwärtige morphologische Bild ist gekennzeichnet durch enge Einschnitte und übersteilte Lockersedimentauflagen sowie durch Mergelareale, die von Kalkschollen durchbrochen sind. Ständige Bewegungen und Bergstürze an Zwerchwand, Sandling und Predigtstuhl sind Auflösungserscheinungen dieser Kalkschollen. Die Unterlagerung mit wasserempfindlichen Mergeln führen zu Mobilität und großflächigen Hangbewegungen. Zahlreiche Vernässungen in den Hängen und aktive Rutschstrukturen sind auf tonreiche wassergesättigte Sedimente zurückzuführen. Historische Überlieferungen wie die „Lindwurmsage“ vom Wurmstein wiederspiegeln die permanente Rutschtendenz der labilen Hänge im Osten der Talweitung von Bad Goisern. Wiederkehrende Großmassenbewegungen, Murabgänge sowie zahlreiche kleinere Rutschungen sind charakteristisch in allen regenreichen Jahren (BAMMER, 1984a).

B.2.2 Geologie des Stambachtales

Oberhalb der Schwemmkegel und glazialen Seiten- und Grundmoränen bestehen die Hänge orografisch rechts der Traun aus den Zlambachschichten, (Mergel und Tone), die zum Teil von Kalkschichten überlagert sind (Abb. B-2 und Abb. B-3). Neben Kieselkalken finden sich der Pötschenkalk und die Knollenfaserkalke der Hallstätterschichten (SCHÄFFER, 1982a).

Oberhalb des Stambacheinzugsgebietes tritt unterhalb der Zwerchwand, einer Kalkscholle aus dem Jura, salzführendes Haselgebirge großflächig zutage (Abb. B-3). In der als „Ischler Salzberg“ bekannten Lagerstätte werden seit Mitte des 16. Jahrhunderts die oberflächennahen, vollständig ausgelaugten Salztone abgebaut (ROHN, 1991, S.12).

Nordseitig (orografisch rechts) des Stambachtales finden sich Fleckenmergel mit Bankungen bis zu maximal einem Meter. Die Kalkmergel-Tonschieferabfolgen liegen als Festgestein bis veränderlich festes Gestein vor. Die Bänke sind durch Tonfugen getrennt. Die Verengungen des Stambachtales am Gschwandtloch und Stambachstein sind dazwischengeschaltete verwitterungsresistentere Kalkbänke (ANGERER, 1983).

Die südseitige, linksufrige Flanke des Stambachgrabens ist charakterisiert durch glaziale Seeablagerungen. Die wassergesättigten, sehr weichen Sedimente zeigen oberflächliche Vernässungen, Rutschstrukturen und Kriechbewegungen.

[1] Der Begriff „Haselgebirge“ stammt aus der Bergmannsprache des frühen 19. Jahrhunderts, laut SCHAUBERGER (1953) umfasst er konglomeratisch-brekziös aussehende Gemenge aus Steinsalz mit Ton, Anhydrit und Gips. Im weiteren Sinn versteht man alpine Salzlagerstätten aus Gips, Anhydrit, Salzton, Sandstein und Steinsalz. ROHN (1991, S.6) verwendet den Begriff synonym für das ausgelaugte und das nicht ausgelaugte Haselgebirge. Nach TOLLMANN (1976) kommt ihm die geologische/tektonische Funktion eines Gleithorizontes an der Basis der kalkhochalpinen Decken zu.

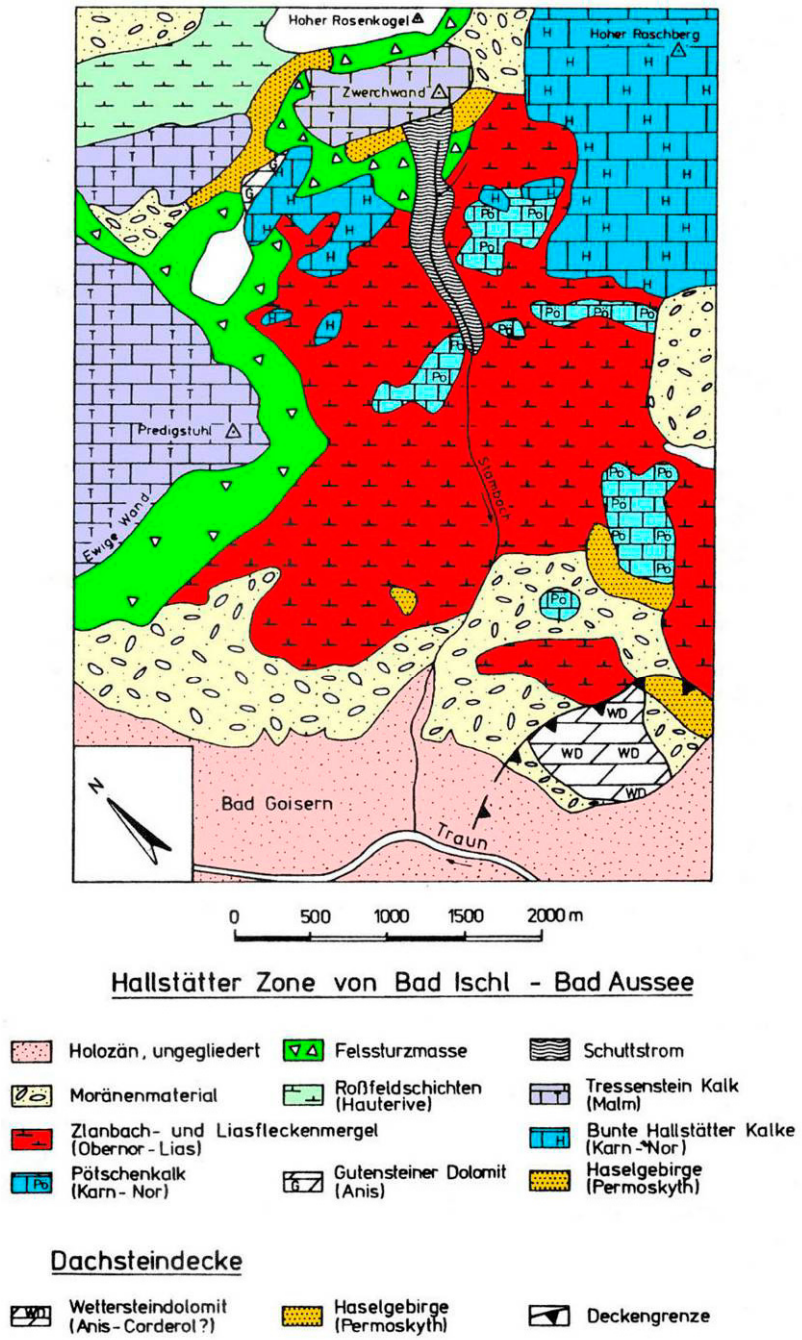


Abb. B-3: Geologische Detailkarte im Bereich der Stambachmure (© ROHN, 1991, S.11, verändert)

B.2.3 Böden und forstliches Wuchsgebiet

Der Raum Bad Goisern liegt im Zentrum der nördlichen Randalpen Westteil (Wuchsgebiet 4.1 nach KILIAN et al., 1994, S.30). Eine unterschobene, schmale Flyschzone östlich von Salzburg mit Mittelgebirgscharakter, bestehend aus weichen Sand- und Tonsteinen und Mergel, beeinflusst die Landschaft ebenso wie die sanfteren Gebirgsformen der leicht verwitterbaren Werfener und Gosauschichten. Die Böden sind von Pseudogleyen, Gleyen, bindigen, z.T. kalkhaltigen Braunerden und braunlehmartigen Mergelböden geprägt. In Tallagen sind Niedermoore und Anmoore häufig.

66 % des Einzugsgebietes des Stambaches sind Waldfläche, 20,6 % werden als Bergbauerngebiet mit Grünlandwirtschaft genutzt[1]. Gemäß den nördlichen Randalpenwuchsgebieten liegt es im Fichten-Tannen-Buchenwaldgebiet der mittel- bis hochmontanen Stufe (KILIAN et al., 1994, S.30). Das gesamte Waldgebiet weist einen hohen Tannenanteil auf und ist mit Weidebetrieb belastet. Außerdem ist der Bestand von zahlreichen Nasswiesen und Mooren unterbrochen[2]. Fichtenreinbestände im Einzugsgebiet neigen zu Windwürfen, Tanne und Ahorn verjüngen sich gut, leiden aber unter Wildverbiss, Lärche und Buche kommen nur eingesprengt vor. Esche und Grauerle sind auf versumpften, feuchten Zonen häufig angesiedelt (BAMMER, 1984a, S.9).

Gemäß GRUBER et al. (1998b, S.75ff) entspricht die Zone der Stambachmure den rutschgefährdeten Grauerlen- und Fichten-Tannen-Buchenwäldern auf rutschanfälligen, tonreichen Materialien in mittel- bis hochmontaner Lage. Wechselfeuchte Standorte und wiederholte Erosion verhindern die Bodenreifung. Trotz basen– und nährstoffreicher Verhältnisse sind die Wuchsverhältnisse schlecht. Ständige Rutschbelastung hemmt die Wuchsleistung (Geringe Oberhöhen, schlechte Qualitäten) ebenso wie Windwurf- und Schneebruchgefahr, Wurzelschäden und teilweise Schneeschub. Nach GRUBER et al. (1998b, S.75ff) ist die Stabilität gering, bei zu hohem Holzvorrat steigt die Rutschgefährdung. Die meist naturnahen Bestände zeigen aufgrund eingeschränkter Nutzung einen guten Verjüngungserfolg für Pionierbaumarten. Die potenziell natürliche Waldgesellschaft (PNWG) entspricht dem Grauerlen-Hangwald.

B.2.4 Klima

Das innere Salzkammergut gehört zur Klimazone der Randalpen. KILIAN et al. (1994, S.30) beschreiben das Randalpenklima als kühlhumid und durch NW-Staulagen geprägt. Der sogenannte „Schnürlregen“ ergibt eine große Variation der Jahresniederschlagssummen, die im Minimum 1.100 mm betragen. Ausgeprägte sommerliche Niederschlagsmaxima sowie Niederschlagsminima im Frühjahr und im Herbst kennzeichnen das Klima der nördlichen Randalpen.

Die Jahresamplitude der Temperatur wird im Vergleich zum kontinental gefärbten Innenalpenklima als gering beschrieben. Im Bereich der Salzkammergutseen ist ein deutlich frostmildernder Einfluss beobachtbar. GRUBER et al. (1998a, S.6) erklären dies im Zusammenhang mit erhöhter Verdunstung und Reflexion des Sonnenlichts über den Wasserflächen und damit Erhöhung der Luftfeuchtigkeit und Nebelbildung bzw. Intensivierung der Einstrahlung. Das hohe Verjüngungspotenzial von Buche, Bergahorn und Esche und stark reduziertes Auftreten der Weißkiefer widerspiegeln die klimatischen Besonderheiten des Äußeren und Inneren Salzkammergutes innerhalb der randalpinen Staulagen der Nördlichen Kalkalpen.

B.2.5 Wildbachcharakteristik des Stambaches

Das Einzugsgebiet des Stambaches umfasst eine Fläche von 5,8 km² und ist eingerahmt vom Predigtstuhl (1.278 m ü. NHN), der Zwerchwand (1.341 m ü. NHN) bzw. im Süden durch einen niedrigen Rücken vom Zlambachgebiet getrennt. Der Stambach entspringt auf den Almflächen der Rossmoosalm und tritt anschließend in ein gut bewaldetes Gebiet ein. Der Mittel- und Unterlauf sind mit den Ortschaften Kogl, Riedeln, Lasern und Wiesen dicht

[1] Der größte Flächenanteil von 63,4 % ist Eigentum der Österreichischen Bundesforste, 36,6 % befinden sich im Privatbesitz.

[2] Prioritäre Belange der Agrar- und Alpwirtschaft der letzten Jahrhunderte führten zu einer Verlichtung der Waldkrone und zu zahlreichen Blößen. Zunehmende Vernässungen und Versumpfungen können ohne künstliche Entwässerung nicht mehr unter Bestand gebracht werden.

besiedelt. Auf einer Seehöhe von 500 m ü. NHN etwa 500 m südlich der Marktgemeinde Bad Goisern mündet der Stambach rechtsufrig in die Traun.

Bei einer Bachlänge von ca. 5 km überwindet der Stambach etwa 700 Höhenmeter bei einem Durchschnittsgefälle von 14 %. Der Bachverlauf ist geprägt durch mehrfache Kaskadenunterbrechungen, die durch grobsteinige Geschiebeanhäufungen entstanden sind. Diese aus früheren Zeiten stammenden Murköpfe enthalten Gesteinstrümmer aus dem obersten Einzugsgebiet von mehreren hundert Kubikmetern Größe und liegen oberhalb der Ortschaft Riedeln beim Stambachstein. Die Hochwasserführung beträgt 85 m^3 sec^{-1} für das Höchsthochwasser, 55 m^3 sec^{-1} für 30-jährige und 25 m^3 sec^{-1} für 10-jährige Hochwässer.

Schutzmaßnahmen im Einzugsgebiet des Stambaches sind von alters her bekannt und bestanden hauptsächlich aus Holzlängs- und –querwerken bzw. Entwässerungen der vernässten Gebiete durch dichte Oberflächendrainagenetze. Erste Sanierungsprojekte der Wildbach- und Lawinenverbauung aus den Jahren nach 1912, die quellende Bodenverhältnisse, Bodenbewegungen und Rutschungen in den durchfeuchteten Einhängen sowie bedeutenden Geschiebetransport beschrieben, verfolgten die Verbesserung der Abflussverhältnisse und die nachhaltige Beeinflussung der Geschiebeerzeugung durch Sperrenbauten, Entwässerungsarbeiten und forstlich-biologische Maßnahmen (BAMMER, 1984a, S.30ff).

B.3 Die Stambachmure

B.3.1 Ereignis 1982

Nach mehreren vorangehenden Bergstürzen aus der Zwerchwand (Ereignischronik s. Tab. B-1) wurde im Jänner 1982 eine alte Rutschfläche reaktiviert und entwickelte sich im Februar 1982 im Stambachtal zu einem Murstrom, der in 20 Tagen 1,3 km zurücklegte (Abb. B-4 und Abb. B-5). Am 16. März 1982 kam der Murkopf etwa 600 m oberhalb der ersten gefährdeten Wohngebäude zum Stillstand.

Abb. B-4: Rutschfläche und oberer Teil des Murstroms (Archivbild, © Bammer 1984a)

Abb. B-5: Zwerchwand mit Bergsturzmassen (2002)

Bei diesem 2 Monate andauernden Rutschvorgang wurden auf einer Fläche von 35 ha ca. 11 Mio. m³ Gesteinsmassen bis zu einer Tiefe von 45 m in Bewegung gesetzt, die den gesamten Bestand mitrissen (BAMMER, 1984a). Ca. 600.000 m³ Material wurden über das Gschwandtloch, der Erosionsbasis der Rutschung, geschoben und haben sich im Mittellauf des Stambaches auf einer Länge von 1,3 km abgelagert, wo sie etwa 8 ha Fläche bedecken (Abb. B-6). Bis 1984 sind die Rutschmassen im Mittellauf des Stambaches zur Ruhe

gekommen, während bei refraktionsseismischen Messungen im oberen Einzugsgebiet nach wie vor Bewegungen registriert wurden.

Lt. SCHÄFFER (1982b, S.1) erstreckte sich die Rutschung von der Zwerchwand (1.220 m ü. NHN) bis oberhalb des Gschwandtloches (910 m ü. NHN) auf einer Länge von 1.550 m und einer durchschnittlichen Breite von 200 m. Am talseitigen Ende der Rutschung hatten sich zwei Stauwülste von etwa 25 m Mächtigkeit ausgebildet, die einer stabilen Kalkbarriere auflagen. Von hier wurde auf einer Länge von weiteren 1.400 m Murenmaterial in das Stambachtal geliefert bei einer Höhendifferenz von 200 m und einer Auflandung von vier bis fünf Metern. Refraktionsseismisch konnte die Massenbewegung von 1982 von älteren Rutschmassen nicht abgetrennt werden. In ihrem Stirnbereich oberhalb des Gschwandtloches erreichte sie eine Mächtigkeit bis zu 30 m, erst darunter wurde der gewachsene Fels vermutet (SCHÄFFER, 1982c, S.2; SCHÄFFER, 1982d, S.2). Abrisse älterer Massenbewegungen mit bis zu 15 m Höhen wurden an beiden Flanken, die als instabile Bereiche galten, beobachtet.

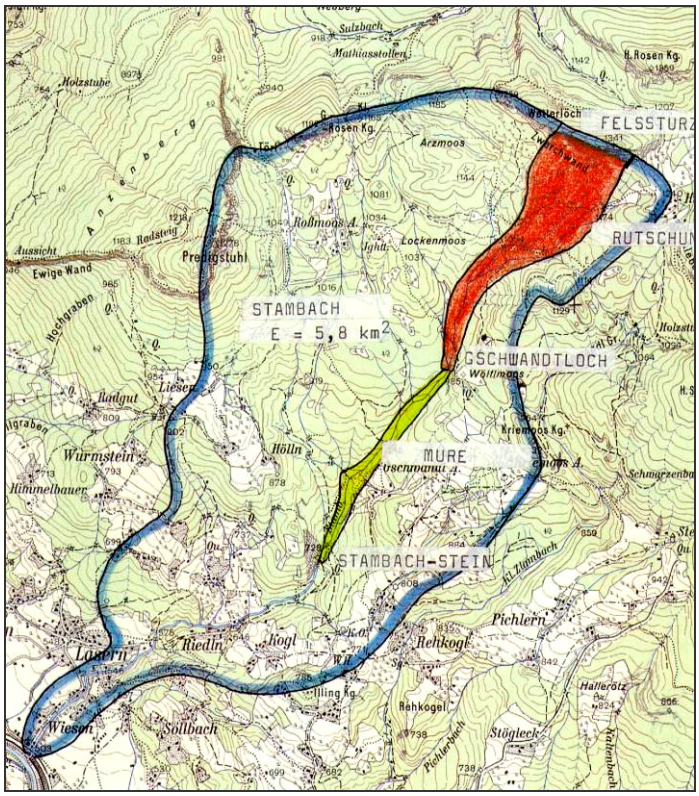


Abb. B-6: Einzugsgebiet der Stambachmure (Archivbild, © BAMMER, 1984)

Tab. B-1: Ereignischronik lt. Archivmaterial des FORSTTECHNISCHEN DIENSTES F. WLV (Bammer 1984a, S.11ff)

Jahr	Ereignis
1912 und 1954	Hinweise auf zahlreiche Rutschungen in Bachnähe in Projektunterlagen der Wildbach- und Lawinenverbauung
September 1978	Verstärkte Steinschlagtätigkeit aus der Zwerchwand
15.10.1978	Zwei Felsstürze im Nordwesten der Zwerchwand mit 50.000 - 60.000 m³ Bruchfels
22.02.1980	Bergsturz westlich der ersten Bruchstelle mit 40.000 m³ Bruchfels, erdbebenartigen Erschütterungen unterhalb der Absturzrichtung sowie Baumentwipfelungen durch eine Luftdruckwelle bis zu 400 m Entfernung
08.08.1980	Geringfügige Rutschbewegung im Bereich der Forststraße 450 m unterhalb der Felswand mit anschließender Ausdehnung auf ca. 20 ha
08.03.1981	Bergsturz aus der östlichen Abbruchsnische mit ca. 30.000 m³ Bruchfels
Jänner 1982	Neuerliche Rutschbewegungen 200 m unterhalb des ersten Rutschungsrandes und talwärtige Ausdehnung der ursprünglichen Rutschfläche bis zum Gschwandtloch
Februar 1982	Ausdehnung der Rutschmassen bis zum eigentlichen Tal des Stambaches und Weiterbewegung in Form einer 60 m breiten und 20 m hohen Mure
16.03.1982	Stillstand des Murkopfes beim Stambachstein etwa 600 m oberhalb des gefährdeten Siedlungsgebietes

Eine Überprüfung der Auslösefaktoren legte klar, dass der Gesteinsbestand, die tektonischen Gegebenheiten, die Morphologie und die hydrologischen Verhältnisse als die Hauptursachen der Massenbewegung gesehen werden konnten. Zusätzlichen entscheidenden Einfluss übten tektonische Spannungen der Erdkruste und Restspannungen aus früheren Ereignissen aus.

Als Hauptauslöser galten die durch die Bergstürze verursachten Erschütterungen und Belastungen sowie die Verschlechterung der pyhsikalischen Eigenschaften der Hangmassen durch verstärkte Wasseraufnahme in den Wintermonaten bzw. die zusätzlichen Schneelasten. Spezifische Gewichtsbestimmungen des Schnees ergaben Auflasten von etwa 0,69 t m^{-1} bei einer Schneedecke von durchschnittlich 1,5 m. Die Abflussmengen des Stambaches in den Tagen nach Stillstand der Rutschung wurden auf 500 l sec^{-1} bzw. mit Spitzen am 24.3. 1982 auf 110 l sec^{-1} geschätzt.

BAMMER (1984a, S.16) ging davon aus, dass sich die Rutschmassen in einem vorübergehenden Gleichgewicht befanden und jederzeit wieder aktiviert werden konnten. Es wurde angemerkt, dass im Jahr 1982 nur ein geringer Teil der labilen Hangmassen betroffen waren.

B.3.2 Maßnahmenkatalog des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinenverbauung

B.3.2.1 Überprüfung der Auslösefaktoren

Um die Ursachen und die Auslösefaktoren der Massenbewegung aufzuklären, wurden vom Forsttechnischen Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung umfassende Erhebungen und detaillierte Untersuchungen in Auftrag gegeben. Diese beinhalteten neben Bildflügen und der photogrammetrischen Auswertung der Luftbilder refraktionsseismische Untersuchungen, Kernrotationsbohrungen, bodenmechanische und tonmineralogische Laboranalysen, eine geologische Kartierung, Beregnungs- und Erosionsversuche, großräumige Einmessungen

von Zwerchwand und Predigtstuhl sowie eine geotechnische Parameteruntersuchung (BAMMER, 1984a und1984b; ANGERER 1983; SCHÄFFER, 1982b bis 1982d).

B.3.2.2 Sanierungsziele

Die Sanierungsziele konzentrierten sich im Wesentlichen auf den Schutz der Siedlungsräume im Mittel- und Unterlauf, auf den Schutz der Traun vor zu großen Geschiebeeinträgen und der Sanierung des Ökosystems des Einzugsgebietes. Bautechnische und flächenwirtschaftliche Maßnahmen ebenso wie die Erweiterung des Gefahrenzonenplans und Maßnahmen zur Früherkennung dienten der Zielerreichung.

Die Verbauungsgrundgedanken beinhalteten die Einschränkung der Geschiebeerzeugung durch Hangstabilisierung sowie die Schaffung eines leistungsfähigen Mittel- und Unterlaufs zum gefahrlosen Abtransport der potenziellen Geschiebemengen. Eine Tiefenentwässerung der Rutschmassen konnte aufgrund des sehr tonreichen und dichten Untergrundes mit ständigen Bewegungstendenzen nicht berücksichtigt werden (BAMMER, 1984a, S.17). Die Überzeugung war, einen aktiven Einfluss auf die Hangdynamik des Einzugsgebietes vor allem über den Wasserhaushalt zu erzielen.

B.3.2.3 Bautechnische Maßnahmen und Sofortmaßnahmen

Die Funktion der in Tab. B-2 genannten bautechnischen Maßnahmen wurde neben einem raschen Schutz der gefährdeten Infrastrukturen vor allem in der Grundvoraussetzung für und als Unterstützung der flächenwirtschaftlichen Maßnahmen gesehen.

Die Anlage eines Murbrechers im Bereich des Gschwandtloches bzw. eine Stabilisierung der Massenbewegung über das Injektionsverfahren wurden von den geotechnischen Gutachtern wiederholt abgelehnt (ANGERER, 1983; SCHÄFFER, 1982c und 1982d). Aufgrund der schwierigen geologischen Verhältnisse wurden die Festigkeitseigenschaften des Untergrundes und der Rutschmassen als unzureichend bzw. die Belastungen aus Sperrenauflast und Murdruck als zu hoch und nicht vertretbar eingestuft.

Tab. B-2: Zusammenfassung der bautechnischen bzw. Sofortmaßnahmen des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinenverbauung (nach BAMMER, 1983)

Sanierungen im Bachverlauf	Anlage eines Entwässerungsnetzes im Bereich der Rutschung 1982	Wiederherstellung einer Vegetationsdecke
Absenkung des Mündungsbereiches	Errichtung eines offenen Graben- und Muldensystems	Großflächige Aufforstung mit Grauerle über den gesamten Rutsch- und Murbereich von 1982,
Korrekturen des Bachbettes bzw. der Bachsohlen (Absenkung bzw. Anhebung)	Einbau von einfachen Holzquerwerken	Einbringung von Bergahorn und Eberesche auf besseren, trockeneren Standorten
Ufersicherung durch Blocksteinschlichtung	Freie Verlegung von flexiblen PVC-Schläuchen	
Erneuerung bzw. Ergänzung alter Bauwerke im Bachlauf (verfallene Holzwerke, Grundschwellen, Sperrenflügel)		
Erneuerung bzw. Errichtung von Betonsperren mit Murprofil bzw. von Konsolidierungssperren im Stirnbereich des Schuttstromes		
Anhebung der Erosionsbasis der Rutschung 1982		

B.3.2.4 Nachhaltig wirksame flächenwirtschaftliche Maßnahmen

Im gesamten Einzugsgebiet des Stambaches sind zahlreiche Indizien erkennbar, die auf alte Rutschbewegungen bzw. labilen und bewegungsaktiven Untergrund hinweisen (BAMMER, 1984, S.19ff). Die flächenwirtschaftlichen Maßnahmen wurden daher auf alle, unmittelbar an

die Rutsch- und Murzonen von 1982 angrenzenden Flächen des gesamten Einzugsgebietes ausgedehnt und umfassten die Inhalte dargestellt in Tab. B-3:

Tab. B-3: Zusammenfassung der flächenwirtschaftlichen Maßnahmen des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinenverbauung (nach BAMMER, 1983)

Einschränkung des Eindringens von Niederschlagswasser	Lösung des Waldweide- und Wildproblems	Verbesserung der Schutzfunktion des Waldes
Schaffung von Abflussmöglichkeiten	Weidefreistellung der Rutschzone von 1982 bis 2003	Erlenvorkulturen bzw. Hebung des Bestockungsgrades auf vernässten Flächen
Flächenwirksame Oberflächenentwässerung	Trennung von Wald und Weide	Einbringen von Tanne in die Vorkulturen
Ableiten von Oberflächenwässer in benachbarte Einzugsgebiete	Drainagierung vernässter Almflächen zur Konzentration des Weidebetriebes	Förderung der Naturverjüngung durch Einzelstammnutzung
	Turnusbeweidung	Förderung widerstandsfähiger Mischbestände aus Tanne, Fichte, Ahorn, Esche, Ulme und Erle
	Reduktion der Wilddichte	Gezielte Altholzschlägerung

Abb. B-7: Offenes Graben und Muldensystem zur Oberflächenentwässerung der Stambachmure (Archivbild, © Bammer 1984)

B.3.3 Geologie des Schuttstroms

B.3.3.1 Geologie der Bergsturzmassen

Im Norden wird die Stambachmure von den Bergsturzmassen der Zwerchwand begrenzt, die eine Scholle aus Jurakalken (Tressensteinkalk) ist, welche von Haselgebirge unterlagert ist. (ANGERER, 1983; BAMMER, 1984a). Das Auftreten brekzienreicher Buntkalke[1] verbindet MANDL (1984a, S.71) mit der Haselgebirgsaufwölbung Zwerchwand-Rosenkögel-Predigtstuhl. Die Überlagerung mit Tressensteinkalk zeigt das Freiliegen des Haselgebirges im höheren Malm (Oberer Jura) an.

Vom frischen Bergsturzmaterial der Zwerchwand erwähnt MANDL (1982, S.71) faust- bis kopfgroße Tongeröllfunde, die dem Haselgebirge zugeordnet werden. Zusätzlich wurden Sandsteinbröckchen der Werfener Schichten und vereinzelt schwarze Gutensteiner Kalkkomponenten beobachtet.

Geotechnische Kartierungen zeigten, dass die der Zwerchwand südlich vorgelagerten Felssturzmassen mit einer Kubatur von mehr als 600.000 m³ deutlich unterschiedliche Alter auf-

[1] Als Brekzienkomponenten von Buntkalken treten Dachsteinkalk, roter Crinoidenspatkalk, mergelige Rotkalke, mergelige bis kieselige Graukalke und meist graugrüner Radiolarit in Erscheinung (MANDL, 1984, S.71).

wiesen. Entsprechend ihrem Verwitterungsgrad ließen sich 13 verschiedene Felssturzereignisse unterscheiden. Großhangbewegungen im Traun- und Gosaugebiet werden mit den Rückzugsstadien der Eismassen korreliert. ROHN (1991, S.15) vermutet, dass ein Großteil dieser Bergsturzmassen aus der Zeit des Rückzugs der Würmgletscher stammt.

B.3.3.2 Geologie der Rutschmassen

Lt. ANGERER (1983, S.3f) besteht die steile Nordflanke des Stambachgrabens aus jurassischen Fleckenmergeln mit fein- bis mittelbankigen Kalkmergel-Tonschieferabfolgen. Gemäß seiner Interpretation der refraktionsseismischen Untersuchungen liegt im Bereich des Gschwandtlochs die oberste Lockergesteinszone bestehend aus aufgewitterten, wassergesättigten Seeablagerungen einem mächtigen Gesteinskörper auf. Dieser konnte als sicherer Fels angesprochen werden und liegt rechtsufrig etwa 35 m unter dem Talniveau, während er linksufrig bis knapp unter die Geländeoberfläche aufsteigt.

Rotationskernbohrungen im Bereich des Gschwandtloches und in den darüberliegenden Rutschmassen zeigten ähnliche Ergebnisse im Aufbau. Je nach Autoren wurden zwei bzw. drei Hauptkomplexe interpretiert, deren Eigenschaften in Tab. B-4 dargestellt sind.

Tab. B-4: Zusammenfassung der Gesteinseigenschaften der Massenbewegung (nach SCHÄFFER, 1982c, S.2f; ANGERER, 1983, S.16 und ROHN, 1991, S.90ff)

Geologische Material	Materialbeschreibung
Glaziale Seesedimente	Weiche, wassergesättigte Tone und Schluffe: Die starken Auflockerungen ermöglichen das Eindringen von Wasser, was zum Verlust der mechanischen Eigenschaften führt.
bis 2,20 m	Tonreiche Sedimente zeigen Vernässungen und Rutschungen (Kriechbewegung der Vegetation) an
bis 11 bzw. 16 m	Schluffe mit aufgewitterten Tonen, wechselnde Sand- Kies- und Steinführung*
Fleckenmergel	veränderlich festes Gestein mit Kalkbankungen und Tonzwischenlagen (durch Anwitterung der oberen Schichten hohe Wasserempfindlichkeit mit leichter bis mittelschwerer Lösbarkeit)
Felsuntergrund	

* Grobklastika: Kalkmergelbruchstücke der Fleckenmergel charakterisiert durch ein großes Spektrum an Karbonatkomponenten (Dolomit aus Raibler Schichten, Kössener Schichten, jurassischer Mikrit, Plassenkalk, Pötschenkalk, Dachsteinkalk, Lumachelle). Vereinzelt wurden vererzter Dolomit aus Arzmoos bzw. Werfener Schichten beobachtet.

Im vertikalen Profil bechreibt ROHN (1991, S.92) Schichtfolgen von Haselgebirge mit Felssturzschutt, dem an der Rutschungsbasis Moränenstreu beigefügt war, und Fleckenmergel mit Holzresten in unterschiedlichen Tiefenlagen. In den oberen 8 Metern dominierte Haselgebirge mit wechselnden Anteilen an entkalkten Fleckenmergeln, denen in den oberen 2 Metern junge Humusschichten mit frischen Holzresten dazwischengelagert waren. Holzreste aus älteren Rutschungen wurden in den vollkommen wassergesättigten Tonen aus Haselgebirge und Zlambachschichten mit weicher bis steifer Konsistenz bis 15 m Tiefe nachgewiesen (ANGERER, 1983, S.16).

Die bunte lithologische Zusammensetzung ließ auf eine Mitbeteiligung von Moränenmaterial schließen, wobei glaziale Seeablagerungen angesprochen wurden. Für das eingeschüttete Material wurde Sedimentationsmilieu angenommen, während die oberste, schluffreiche Seetonschicht auf ruhigere, gleichmäßigere Ablagerungsbedingungen zurückgeführt wurde (ANGERER, 1983, S.3f). SCHÄFFER (1982d, S.2f) geht von gleich bleibenden geologischen Verhältnissen talauswärts bis zur Ortschaft Riedln aus, wo die Seesedimente mit einem glazialen Schuttstrom zum Trauntal hin enden.

Das genaue Alter der Massenbewegungen Stambach-Zwerchwand ist unsicher, SCHÄFFER (1983) jedoch fand Hinweise auf Aktivitäten bereits im Mittelalter. Die grafische Darstellung der Massenbewegung von ROHN (1991, S.18) unterscheidet verschiedene Alterszonen der frühen Achtzigerjahre im oberen Bereich der Rutschmassen und beschreibt eine inhomogene Zusammensetzung in der Breitenausdehnung (1991, S.90ff).

Im Westteil dominieren ausgelaugtes Haselgebirge und eingelagerte Felssturzblöcke aus Tressensteinkalk, die im Zuge des Transportes zunehmend in den Schuttstrom eingesunken sind. Der Ostteil wurde ausschließlich von den verwitterten Fleckenmergeln der umgelagerten Zlambachschichten gespeist. Entsprechend dem wechselnden Verwitterungsgrad schwankte der Karbonatgehalt der Mergel. Im zentralen Bereich kam es zu einer Vermischung der unterschiedlichen Materialien, was einen heterogenen Aufbau zur Folge hatte.

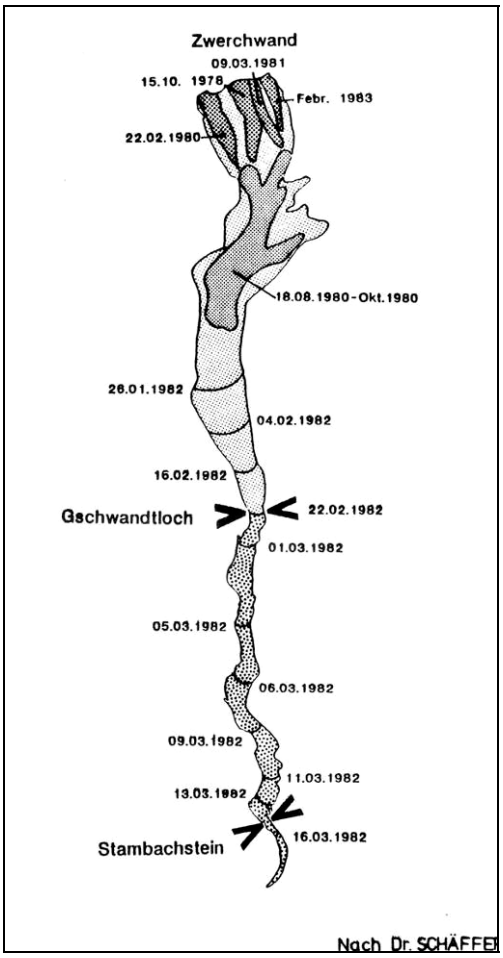


Abb. B-8: Abfolge der Massenbewegungen (© ROHN, 1991, S.18)

Tonmineralanalysen aus rechtsufrig anstehenden Tonschiefern sowie aus einer Bohrkernprobe brachten ähnliche Ergebnisse aus qualitativer und quantitativer Sicht (ANGERER, 1983, S.7; Tab. B-5 und Tab. B-6). Hochquellfähige Mixed-Layer-Typen und Montmorillonite kennzeichneten die Tonmineralzusammensetzung. ROHN (1991, S.143f) stellte an Haselgebirge und Fleckenmergel abweichende Mineralzusammensetzung fest. Während ersteres keine quellfähigen Tonminerale und kein karbonatisches Bindemittel besitzt, bezeichnet er den hohen Gehalt an Mixed-Layer Tonmineralen der Fleckenmergel und deren Karbonatgehalt als prägend für deren bodenmechanisches Verhalten.

Tab. B-5: Tonmineralanteile nach (ANGERER (1983, S.7), Angaben in %

Probe	Quarz	Calzit	Dolomit	Mont-morillonit	Chlorit, Kaolinit	Glimmer (Illite)	Feldspat	Lepido-krokit
LF 2 (Tonschiefer)	5	36	39	13	3	3	Spuren	3
LF 3 (Tonschiefer)	15	21	25	25	8	6	Spuren	-
K (Bohrkern)	9	34	27	18	8	3	Spuren	-

Tab. B-6: Mineralogische Analysen an Bohrkernen der Rutschmasse (ANGERER, 1983, S.18), Angaben in %

Probe	Glimmer	Hydro-glimmer	Chlorit	Mont-morillonit	Mixed Layer	Kalzit	Dolomit	Quarz	Amphibol	Gips	Diverses
P1	45		25	10				10		5	Kaolinit
P2	33	2	25			2		15	3	20	
P3	25		10	5					10		Pyrophyllit. Al-Silikat
P4	20		20	5		30		20		45	Al-Sulfat
P5	50	5	20		6			10		5	Bayerit, Hämatit, Alunit
P6	15		30		5	40	2	15			Kaolinit, Feldspat

Nach ANGERER (1983, S.17ff) weisen Haselgebirgstone hohe Konzentrationen von austauschbaren einwertigen Natriumionen auf. Aufgrund des hohen Anteils an kalkreichen Zlambachschichten folgert er jedoch einen natürlichen Ionenaustausch zwischen Na^{+} und Ca^{++}. Dementsprechend lehnte er eine Rutschungsstabilisierung mittels Injektionsverfahren aufgrund eines zu erwartenden Porenwasserüberdrucks und eine Herabsetzung der Scherfestigkeit, was seiner Meinung nach eine ausgedehnte Destabilisierung der Rutschmasse verursachen würde, ab. Zusätzlich befürchtete er eine Reaktion des Injektionsmittels mit den sulfathältigen Bodenwässern bzw. Gipsausfällungen.

B.4 Material und Methoden

B.4.1 Bodenansprache und Profilbeschreibung im Gelände

Zur Bodenansprache wurden im oberen Rutschbereich der ehemaligen Stambachmure zwischen 986 m und 1.096 m ü. NHN neun Proben und im angrenzenden Altbestand zwei Proben mittels Stechprofilbohrer (Durchmesser 7 cm, Länge 60 cm) gezogen (Abb. B-9). Im Zuge der Bodenfeuchtemessungen (s. BLOCK C) wurden zusätzlich zahlreiche Profilgruben geöffnet, die weitere Informationen lieferten.

Die Bodenansprache im Gelände erfolgte nach BLUM et al. (1996) bzw. ENGLISCH und KILIAN (1998). Die Bodenfarbe wurde an angefeuchteten Proben über die Standard Soil Color Charts von OYAMA UND TAKEHARA (2001) bestimmt. Zur Bodenklassifizierung und –typisierung dienten die Anleitungen von NESTROY (2000) und KILIAN et al. (2002) und das System der World Reference Base for Soil Resources der FAO (IUSS (2007).

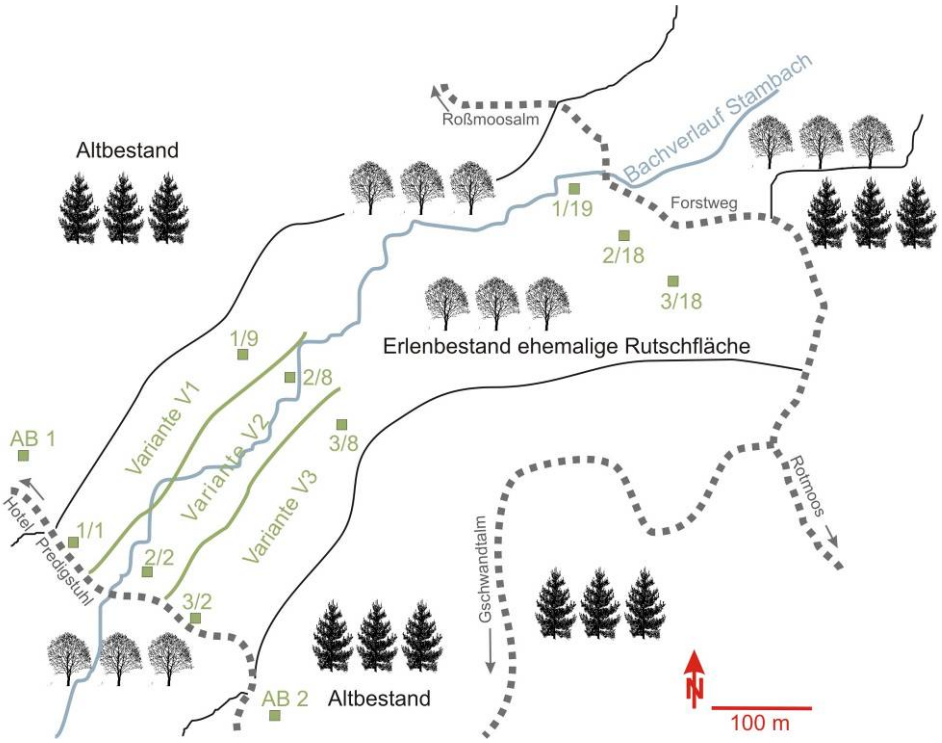


Abb. B-9: Lage der Bohrprofile 1/1, 2/2, 3/2, 1/9, 2/8, 3/8, 1/19, 2/18, 3/18, AB1 und AB2 im Untersuchungsgebiet der Stambachmure mit Variantengrenzen (vergleiche BLOCK C und D)

B.4.2 Korngrößenverteilung (KGV)

Die Korngrößenanalyse wurde an den Proben der Tonmineralanalyse durchgeführt. Die Korngrößenverteilung wurde mittels Nasssiebung und Sedigraphie (nach COAKLEY und SYVITSKI, 1991, S.129ff) bestimmt. Für die Siebung wurden Maschenweiten von 2.000, 630, 200, 63 und 40 µm benutzt. Die Fraktion kleiner 40 µm wurde im Sedigraph (Micromeritics 5000ET, Mönchengladbach, D) sedimentiert. In Tab. B-7 sind die Kornfraktionen der untersuchten Proben abzulesen.

Tab. B-7: Die Korngrößenklassen nach ÖNORM L 1050 (1999) und das jeweilige Bestimmungsverfahren

Korngrößenklasse	Fraktion	Verfahren
> 2.000 µm	Kies	Nasssiebung
2.000 - 630 µm	Grobsand	Nasssiebung
630 - 200 µm	Mittelsand	Nasssiebung
200 - 63 µm	Feinsand	Nasssiebung
63 - 40 µm	Grobschluff	Nasssiebung
40 - 20 µm	Grobschluff	SediGraph
20 - 6,3 µm	Mittelschluff	SediGraph
6,3 - 2 µm	Feinschluff	SediGraph
2 - 0,63 µm	Grobton	SediGraph
0,63 - 0,2 µm	Mittelton	SediGraph
< 0,2 µm	Feinton	SediGraph

B.4.3 Wasserleitfähigkeit (*k*-Wert)

Die Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwertes, der die Wasserleitfähigkeit bei voller Sättigung beschreibt (KASTANEK et al., 1980, S.64), wurde im Labor des Institutes für Hydraulik und landeskulturelle Wasserwirtschaft an der Universität für Bodenkultur über die Methode mit steigendem Wasserspiegel (instationär) durchgeführt. Dabei garantierte die Durchströmung von unten die vollständige Verdrängung der Bodenluft. Eine Apparatur zur Online-Erfassung der Messgrößen ermöglichte eine voll automatische Computerauswertung.

Zur k-Wert-Bestimmung wurden insgesamt 16 ungestörte Stechzylinderproben mit einem Durchmesser von 72 mm und einer Höhe von 49 mm in Nähe der Bohrprofilpunkte 1/1 (V1) und 3/3 (V3) aus den Bodentiefen 5/10 cm, 20/25 cm, 35/40 cm und 50/55 cm zu je zwei Wiederholungen entnommen. Die entsprechenden Proben wurden für die Bodenschichten 0-30 cm und 30 – 60 cm gemittelt.

Die Zylinderproben wurden in einer Wasserwanne von unten her mit entlüftetem Wasser gesättigt. Mittels eines Boyle-Mariotteschen Gefäßes wurde der Außenwasserspiegel in der Wasserwanne über der Oberkante der Bodenprobe konstant gehalten und das Ansteigen des Innenwasserspiegels im Probenzylinder gemessen. Mittels Ultraschallsensor wurde über einen Messkopf mit Nadelaufsätzen unterschiedlicher Längen an einer Winkelschienenhalterung die zeitliche Änderung der Wasserspiegelhöhe im Stechzylinder zur Wasserspiegelhöhe in der Wasserwanne online aufgezeichnet. Die Berechnung des k-Wertes erfolgt nach [B-1].

$$k = \frac{L}{t_2 - t_1} * \ln \frac{\Delta h_1}{\Delta h_2} \qquad \text{[B-1]}$$

mit:
k……Durchlässigkeitsbeiwert bei Sättigung
L……Probenhöhe
t_1.....Zeit des Erreichens des Wasserspiegels der ersten Nadelhöhe
t_2.....Zeit des Erreichens des Wasserspiegels der zweiten Nadelhöhe
Δh_1....Differenz der Innen- zur Aussenwasserspiegelhöhe zum Zeitpunkt t_1
Δh_2....Differenz der Innen- zur Aussenwasserspiegelhöhe zum Zeitpunkt t_1

Abb. B-10: Apparatur zur k-Wert-Messung

Abb. B-11: Messköpfe mit Nadelaufsätzten und gesättigte Proben zur k-Wert-Messung

B.4.4 Porenzahl (e), Porenanteil (n) und Trockendichte (ρ_d)

Die Porenzahl e bezeichnet das Verhältnis des Porenvolumens zum Feststoffvolumen und wird über die Formeln [B-2] und [B-3] nach MCLAREN und CAMERON (1996, S.58f) errechnet. Bei Lockerungs- oder Verdichtungsvorgängen ändert sich das Feststoffvolumen nicht, daher wird die Porenzahl in der Bodenmechanik als Maß der Porosität häufig vorgezogen.

$$e = \frac{V_p}{V_s} = \frac{n}{1-n} \qquad \text{[B-2]}$$

mit: e.....Porenzahl
V_p....Porenvolumen
V_s....Feststoffvolumen
n.....Porenanteil

$$n = \frac{V_p}{V} = \frac{m_w}{\rho_w \cdot V} \qquad \text{[B-3]}$$

mit: n.....Porenanteil
V_p.....Porenvolumen
V.....Gesamtvolumen
m_w…Masse Wasser
ρ_w.....Dichte des Wassers

Die Trockendichte ρ_d (engl. dry bulk density) bezeichnet das Verhältnis der Feststoffmasse zum Gesamtvolumen und wird über die Formel [B-4] errechnet.

$$\rho_d = \frac{m_s}{V} \qquad \text{[B-4]}$$

mit: ρ_d.....Trockendichte [kg m^{-3}]
m_s….Feststoffmasse
V……Gesamtvolumen

Der Porenanteil [B-2] und die Trockendichte [B-3] wurden an den vollständig gesättigten, ungestörten Stechzylinderproben zur *k*-Wert-Bestimmung ermittelt. Die Massen der Proben wurden im gesättigten und im ofentrockenen Zustand bestimmt.

B.4.5 Gesamtmineralanalyse

Zur Bestimmung der Hauptmineralkomponenten wurden von den 9 Stechbohrprofilen der ehemaligen Rutschmassen die Profile 1/1, 2/2, 2/8, 2/18 und 3/2[1] ausgewählt. Nach einer geometrischen Horizontierung der Profile in Stufen von 10 cm wurden 30 Feinbodenpulverpräparate hergestellt.

Dazu wurden 50 g der Proben bei 80° C im Trockenschrank getrocknet und anschließend in einer Scheibenschwingmühle fein gemahlen. Die Pulverproben wurden auf Plättchen gepresst und im Röntgendiffraktometer (Philips X-Ray-Diffractometer PW 1710, München, D) analysiert (2° bis 70° 2Θ). Zur Identifikation der Minerale nach MOORE und REYNOLDS (1989) und BRINDLEY und BROWN (1980) stellte dankenswerter Weise Dr. Franz Ottner (Institut für Angewandte Geologie, BOKU Wien) seine Hilfe zur Verfügung.

B.4.6 Tonmineralanalyse

Vertreter abweichender Hauptmineralzusammensetzung wurden für die Identifizierung der Tonminerale in der Tonfraktion herangezogen. Zur Differenzierung wurden Kalium- und Magnesiumpräparate, die unterschiedlichen Wärme- und chemischen Behandlungen (Ethylenglykol, Dimethylsulfoxid) ausgesetzt wurden, im Röntgendiffraktometer analysiert.

Die Tonmineralanalyse umfasste folgende Prozessschritte:

- Zerstörung der organischen Substanz und des Überzugs mittels Wasserstoffperoxidlösung (H_2O_2, 10 %)
- Ultraschallbehandlung zur Dispersion der Tonpartikel
- Anreicherung der Tonfraktion (< 2 µm) durch Zentrifugieren mit Calgon als Dispergierungsmittel
- Gefriertrocknung bei -15°C
- Kationenbesetzung mit 4 M KCl- und 2 M $MgCl_2$-Lösung. Die überschüssige Elektrolytlösung wurde abzentrifugiert.
- Etappenweise Sedimentation durch poröse Keramikplättchen in einer Absauganlage (nach KINTER und DIAMOND, 1956)
- Trocknung in Ammoniumnitratlösung (NH_4NO_3) im Eksikkator
- Analyse im Röntgendiffraktometer (Philips X-Ray-Diffractometer PW 1710, München, D) bei 2 bis 40° 2Θ.
- Expansionstest mit Ethylenglykol und Dimethylsulfoxid und Kontraktionstest durch Erhitzen auf 300 bzw. 550° C
- Analyse im Röntgendiffraktometer bei 2 bis 40° bzw. 2-14° 2Θ

[1] Die Bezeichnung der Bodenprofile bezieht sich auf die zur Bestandesaufnahme festgelegten Stichprobenkreise (s. BLOCK D), wobei die erste Ziffer die Variantennummer und die letzte Ziffer die Stichprobennummer kennzeichnen.

B.4.7 Kationenaustauschkapazität (CEC, Cation Exchange Capacity)

An ausgewählten Proben wurde die Kationenaustauschkapazität des Feinbodens bzw. der Tonfraktion über die CU(II)-Triethylentetramin-Methode nach MEIER und KAHR (1999) bestimmt. Diese Methode, die speziell für Tonminerale entwickelt wurde, erlaubt eine schnelle Bestimmung der Kationenaustauschkapazität durch einfache photometrische Differenzkonzentration. Die Entfärbung einer intensiv blauen CU(II)Triethylentetramin-Lösung durch den äquivalenten Tausch der adsorbierten Kationen gegen CU(II)-Komplexionen steht in linearem Zusammenhang mit der Kationenaustauschkapazität.

B.4.8 Anorganischer und organischer Kohlenstoffgehalt (C_{anorg}, C_{org})

Der Kalkgehalt wurde nach Zerstörung der Karbonate durch Salzsäure gasvolumetrisch nach Scheibler (DIN 18129) ermittelt. Die Umrechnung in C_{anorg} [%] erfolgte über den Faktor 0,12.

Der Gesamtkohlenstoffgehalt C_{ges} wurde mittels Verbrennungsanalyse im Kohlenstoff-Schwefel-Analysator LECO-SC444 ermittelt. Zur Berechnung von C_{org} wurde C_{anorg} von C_{ges} subtrahiert.

B.5 Ergebnisse

B.5.1 Bodentyp

In Tab. B-8 ist die Beschreibung jener Profile abzulesen, an denen die geologischen Analysen durchgeführt wurden (Profile 1/1, 2/2, 2/9, 2/19 und 3/2). Die Profile 1/9, 1/19, 3/8 und 3/18 sowie AB1 und AB2 aus dem Altbestand außerhalb des Rutschgeländes befinden sich in Tab. Annex B - 1. Abb. B-12 bis Abb. B-16 zeigen die Stechbohrprofile der zu den Mineralanalysen herangezogenen Profile. Die übrigen Profile sind in Abb. Annex B - 1 und Abb. Annex B - 2 zu finden.

Tab. B-8 Beschreibung der Bodenprofile 1/1, 2/2, 3/2, 2/8 und 2/18.

Profil / Standort	Bodentyp	FAO-Klassifikation (IUSS, 2007)	Horizont	Horizonttiefe	Bodenart (Fingerprobe)	Bodenart (nach ÖNORM L 1050)	Durchwurzelung	Struktur	Skelettanteil	Färbungen	Bodenfarbe (nach OYAMA und TAKEHARA, 2001)	Bemerkungen
1/1												keine Auflage
Messstation Variante V1	Stagnogley	Clayic Stagnosol (Thaptomollic)	Ah,b	0-4cm	tL	T	schwach	krümelig			10YR 4/3	
			AP	4-15cm	lT		schwach	krümelig - blockig	-	stark rostfleckig	2,5Y 3/3	
			P	15-40cm	T	T	schwach bis nicht	blockig-scharfkantig, schneidbar	-		2,5Y 3/3	Holzeinlagerungen, verwitterte Fleckenmergel
			Pgd	40-57cm	T	T	schwach bis nicht	blockig-scharfkantig, schneidbar	-	Reduktions-merkmale	5Y4/1	
2/2			L-F	1-0cm								hydromorpher Mull, lockere Laubstreu
Messstation Variante V2	(gestörter) Stagnogley	Clayic Stagnosol (Thaptomollic)	AP	0-7cm	tL-T	T	mittel	krümelig		rostfleckig	10YR 4/3	hydromorph geprägt
			P	7-9cm	T		schwach	blockig-scharfkantig, schneidbar	-		5Y 5/2	Humuseinwaschungen
			Holzlage	9-18cm								
			P1gd	18-29cm	T		schwach		-	stark rostfleckig, Reduktions-merkmale	5Y 4/1	
			Holzlage	29-31cm								
			P2gd	35-47cm	T	T	schwach		-		5Y 4/1	
2/8	(gestörter) Haft-nässepseudogley	Clayic Stagnosol (Thaptomollic)	L-F	1-0cm								hydromorpher Mull, lockere Laubstreu
			P1	0-12cm	T		stark	blockig-scharfkantig, schneidbar	-	rostfleckig	2,5Y 4/2	
			P2	12-38cm	T		schwach bis nicht		-		2,5Y 4/4	
			AbegP	38-48cm	lT			krümelig bis blockig-scharfkantig	-	Reduktions-merkmale	2,5 Y 2/1	überlagerte Schicht aus organischem Material
2/18	(gestörter) Stagnogley	Clayic Stagnosol (Thaptomollic)	L-F	2-0cm								hydromorpher Mull, lockere Laubstreu
			P1gd	0-10cm	T		stark	blockig-scharfkantig, schneidbar	-	stark rostfleckig, Reduktions-merkmale	2,5Y 5/1	
			P2gd	10-30cm	T		schwach bis nicht		-		2,5Y 5/2	kleine Holzeinlagerungen
			AbegPgd	30-40cm	lT			krümelig bis blockig-scharfkantig	-		2,5 Y 2/1	überlagerte Schicht aus organischem Material
3/2												keine Auflage
Messstation Variant	(gestörter) Stagnogley	Clayic Stagnosol (Thaptomollic)	AP	0-8cm	tL	T	mittel	krümelig		stark rostfleckig, Reduktions-merkmale	2,5Y 3/2	hydromorph geprägt
			APgd	8-34cm	T	T	mittel	blockig, schneidbar, tw. plattig	<1%		5Y 5/1	Mischhorizont mit Mergeleinlagerungen
			AbegPgd	34-46cm	T	T	schwach	krümelig bis blockig-scharfkantig	<1%		2,5Y 3/3	überlagerte Schicht aus org. Material
			Pgd	46-58cm	T	T	schwach	blockig-scharfkantig, schneidbar	3%		5Y 5/1	Mergeleinlagerungen, Fossilreste

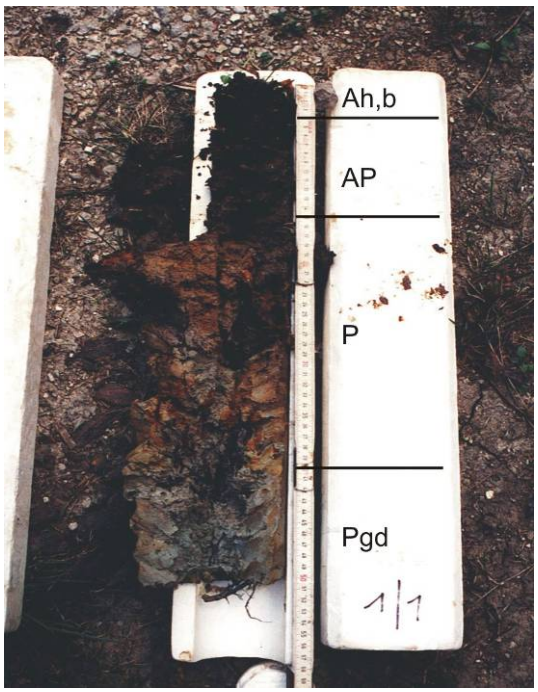
Die Bodenbilder aller gezogenen oder geöffneten Profile folgen einem einheitlichen Muster. Die typische Horizontfolge A-P1-P2 klassifiziert den Bodentypus Pseudogley, wobei die Varianten Haftnässepseudogley (Profile 2/8, 3/2, AB1 und AB2) und Stagnogley auftreten, die jedoch durch den Rutschprozess häufig gestört sind. Bis auf die Profile 2/8 und 3/18 wurden wiederholt überlagerte A-Horizonte angereichert mit organischem Material (Abeg)

bzw. Holzeinlagerungen beobachtet. Der A-Horizont ist teilweise abgetragen, häufig tritt ein AP-Mischhorizont auf. Als Auflagehumusform, soweit vorhanden, findet sich hydromorpher Mull.

In den P-Horizonten mit allmählichen bzw. welligen Übergängen überwiegen die Nass- und Feuchtphasen. Das Stagnationswasser verursacht Redoxprozesse, die typische Pseudovergleyungserscheinungen hervorrufen. Konkretionen, Rostflecken und fauliger Geruch zeugen sowohl von oxidativen als auch reduktiven Verhältnisssen. Die Farbnuancierung liegt im gelblich-bräunlichen bis gräulichen Bereich (niedrige Chromawerte der Farbtöne Hue 2,5Y oder 5Y). Die geringmächtigen A-Horizonte sind um eine Nuance rötlicher beeinflusst (Hue 10YR).

Die Durchwurzelung nimmt nach unten rasch ab. Blockig-massive Strukturen sind für die schweren, vernässten Tonböden mit plastisch-breiiger Konsistenz charakteristisch. Scharfkantige, nußschalenartige Bruchflächen zeigen meist glänzende Oberflächen.

Abb. B-12: Stechbohrprofil 1/1: Stagnogley (2001)



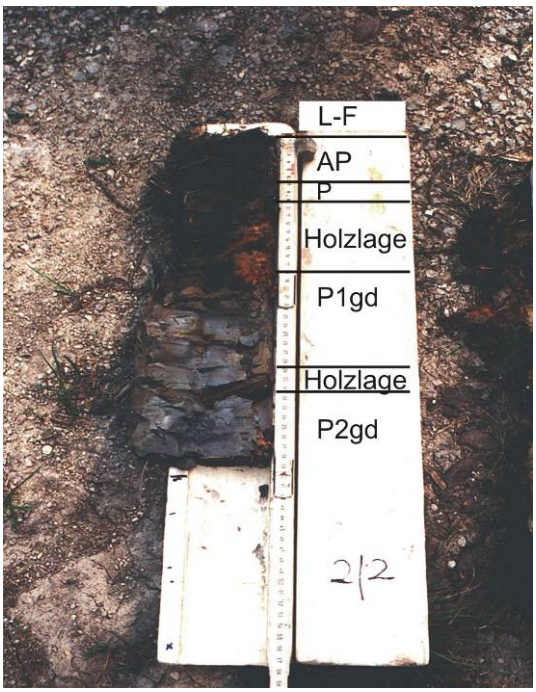
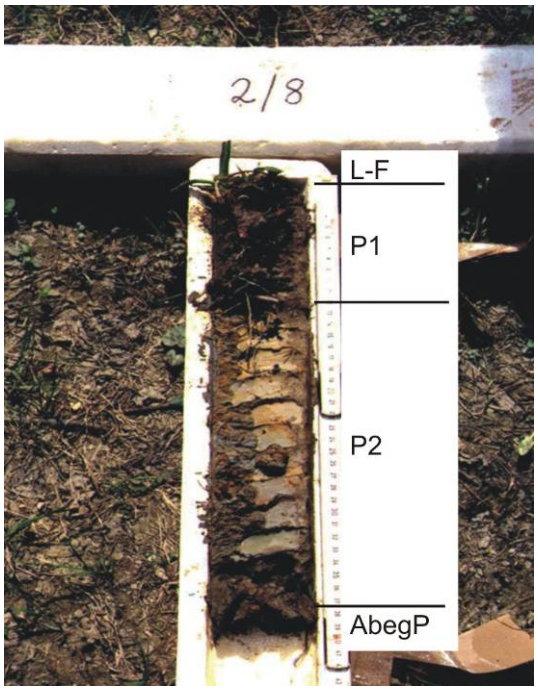


Abb. B-13: Stechbohrprofil 2/2: gestörter Stagnogley mit Holzeinlagerungen (2001)

Abb. B-14: Stechbohrprofil 2/8: gestörter Haftnässepseudogley mit überlagertem AP-Horizont (2001)



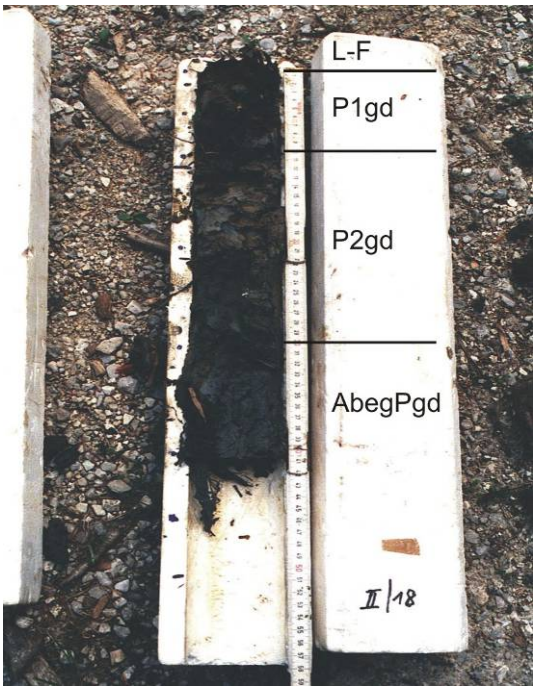
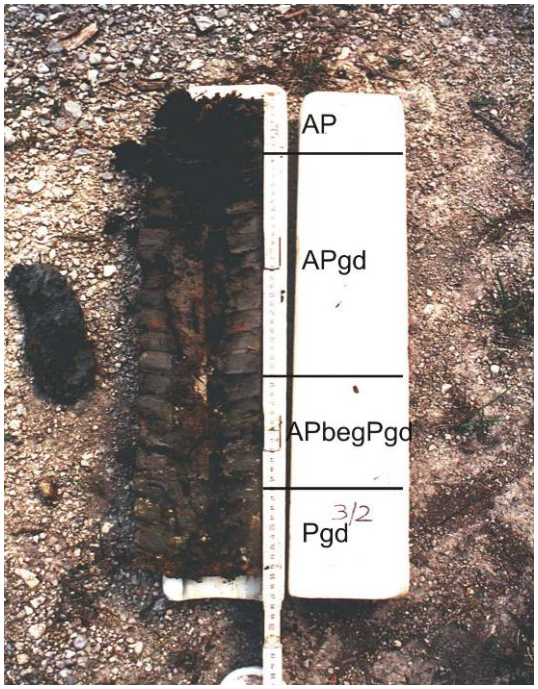


Abb. B-15: Stechbohrprofil 2/18: gestörter Stagnogley (2001)

Abb. B-16: Stechbohrprofil 3/2: gestörter Stagnogley (2001)



B.5.2 Korngrößenverteilung und Bodenart

Die Kornverteilung (Abb. Annex B - 6 und Abb. Annex B - 7), die an den Proben der Tonmineralanalyse überprüft wurde, zeigt eine starke Überpräsenz der Tonfraktionen in allen Profilen und Horizonten von 64,2 bis 88,6 %, wobei besonders hohe Tonanteile von über 80 % in den Profilen 1/1 und 3/2 sowie im untersten Horizont von Profil 2/18 nachgewiesen wurden. Die Schlufffraktion schwankt zwischen 8,7 % und 30,8 %, Kies- und Sandanteile bleiben in allen Proben unter 4 %.

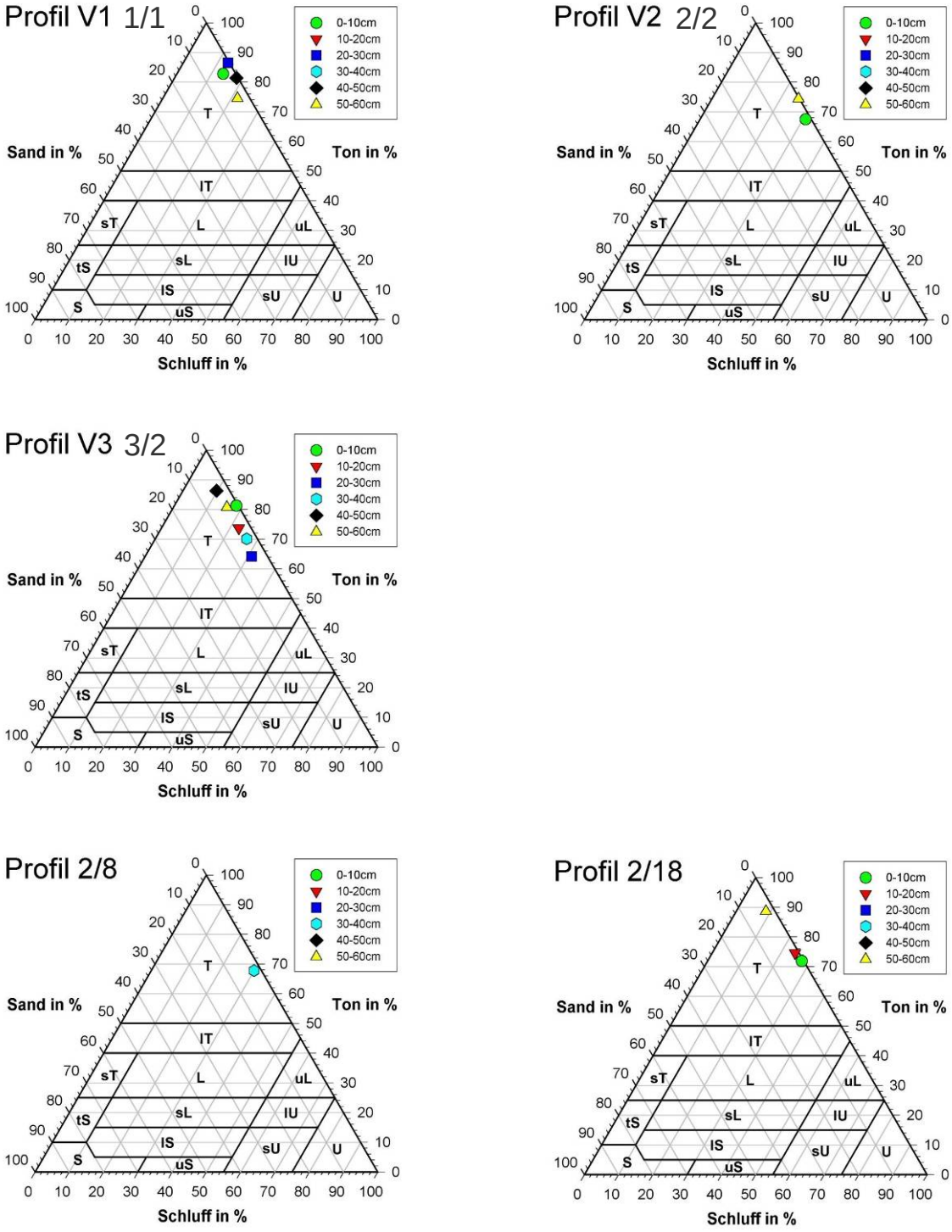


Abb. B-17: Bodenart der Stambachproben nach ÖNORM L 1050

Die vertikale Verteilung der Kornfraktionen unterliegt keinem einheitlichen Muster. Während in Profil 1/1 eine leichte Zunahme der Tonfraktion in den mittleren Bodenschichten auffällt, nimmt sie im selben Bereich des Profils 3/3 um fast 20 % zugunsten der Schlufffraktion ab.

Anhand des österreichischen Texturdreiecks nach ÖNORM L1050 (Abb. B-17) lässt sich für alle untersuchten Proben eindeutig die Bodenart Ton zuteilen.

B.5.3 Wasserleitfähigkeit und Kennwerte des Bodengefüges

Tab. B-9 zeigt die Parameter Durchlässigkeitsbeiwert (k-Wert), Porenzahl, Porenanteil und Trockendichten ausgewählter Proben aus der Stambachmure sowie deren Wasseranteil im gesättigten Zustand. Die k-Werte variieren zwischen $3{,}6*10^{-3}$ und $4{,}5*10^{-7}$ m sec^{-1}. An vier Proben von V3 war die Wasserleitfähigkeit zur Gänze unterbunden. Proben mit höherer Durchlässigkeit waren gekennzeichnet durch Vergrößerung der Hohlräume der Pflanzenwurzeln, da die Entnahme ungestörter Proben durch das stark plastische Verhalten stark eingeschränkt war. Der Wasseranteil im gesättigten Zustand betrug bis 0,80 $m^3 m^{-3}$ θ_v.

Die Trockendichten ρ_d liegen zwischen 0,67 und 1,12 kg m^{-3}. Die Proben zeigen eine Tendenz zu höheren Werten in tieferen Schichten in V1. Auffällig ist eine Abnahme der Trockendichten ab einer Tiefe von 35 cm im Profil V3.

Die Porenzahl e schwankt zwischen 1,48 und 3,91 bei Porenanteilen zwischen 0,59 und 0,77. Während im Profil V3 kein Tiefenmuster ablesbar ist, fällt bei Profil V1 eine Verringerung der Porenzahl in der tiefsten Entnahmestufe auf.

Tab. B-9: Wasserleitfähigkeit, Porenzahl, Porenanteil, Trockendichte und Wasseranteil gesättigter Proben aus der Stambachmure

Probe	k-Wert [m/s]	Porenzahl e	Porenanteil n	Trockendichte ρ_d [kg/m^{-3}]	Wasseranteil θ [m3 m^{-3}]
V1 5/10cm a	keine Durchl.k.	1,87	0,65	0,89	0,6515
V1 5/10cm b	$2{,}1*10^{-5}$	2,56	0,72	0,71	0,7194
V1 20/25cm a	$5{,}4*10^{-4}$	2,53	0,72	0,70	0,7169
V1 20/25cm b	$5{,}5*10^{-6}$	3,91	0,80	0,73	0,7964
V1 MW 0-30cm	**$1{,}9*10^{-4}$**	**2,72**	**0,72**	**0,76**	**0,72**
V1 35/40cm a	$4{,}7*10^{-4}$	3,30	0,77	0,74	0,7673
V1 35/40cm b	$8{,}5*10^{-6}$	2,82	0,74	0,67	0,7380
V1 50/55cm a	$3{,}0*10^{-3}$	1,56	0,61	1,12	0,6092
V1 50/55cm b	$4{,}5*10^{-7}$	1,48	0,60	1,04	0,5960
V1 MW 30-60cm	**$8{,}6*10^{-4}$**	**2,29**	**0,68**	**0,89**	**0,68**
V3 5/10cm a	$3{,}6*10^{-3}$	1,97	0,66	0,78	0,6634
V3 5/10cm b	$5{,}0*10^{-5}$	2,10	0,68	0,82	0,6778
V3 20/25cm a	keine Durchl.k.	1,50	0,60	1,04	0,5994
V3 20/25cm b	$3{,}3*10^{-6}$	1,89	0,65	0,95	0,6542
V3 MW 0-30cm	**$1{,}2*10^{-3}$**	**1,87**	**0,65**	**0,90**	**0,65**
V3 35/40cm a	keine Durchl.k.	1,46	0,59	1,12	0,5936
V3 35/40cm b	keine Durchl.k.	2,12	0,68	0,90	0,6795
V3 50/55cm a	keine Durchl.k.	1,63	0,62	0,86	0,6201
V3 50/55cm b	$3{,}7*10^{-5}$	2,05	0,67	0,77	0,6722
V3 MW 30-60cm	**$3{,}7*10^{-5}$**	**1,82**	**0,64**	**0,91**	**0,64**
MW		*2,17*	*0,67*	*0,87*	*0,67*
SD		*0,70*	*0,06*	*0,15*	*0,06*

B.5.4 Mineralkomponenten, Tonmineralogie und Kationenaustauschkapazität

Abb. B-18 bis Abb. B-19 zeigen Beispieldiagramme der Röntgendiffraktometeranalysen. Die Diffraktogramme des Feinbodens und der Tonfraktion sind in Abb. Annex B - 3 und Abb. Annex B - 4 dargestellt. Die semiquantitativen Auswertungen wurden in Tab. B-10 und Tab. B-11 zusammengefasst.

Tab. B-10: Ergebnisse der Gesamtmineralanalyse (GMA) am Feinboden im Röntgendiffraktometer und Kohlenstoffgehalt (C_{anorg}, C_{org})

Labor-Nr. GMA	Probe	Schicht-silikate	Glimmer	Quarz	Feldspat	Calcit	Dolomit	Kaolinit	Chlorit	Illit	Smectit	C_{anorg} [%]	C_{org} [%]
5342	1/1-1 (0-10 cm)	xxx		x	Sp.			Sp.		xxx	xx	-	
5343	1/1-2 (10-20cm)	xxx		x	Sp.			Sp.		xxx	xx	-	
5344	1/1-3 (20-30cm)	xxx		x	Sp.			Sp.		xxx	xx	-	
5345	1/1-4 (30-40cm)	xxx		x	Sp.			Sp.		xxx	xx	-	
5346	1/1-5 (40-50cm)	xxx		x	Sp.	x		Sp.		xxx	xx	1,4	0,8
5347	1/1-6 (50-60cm)	xxx		x	Sp.	x		Sp.		xxx	xx	1,1	0,9
5348	2/2-1 (0-10 cm)	xxx		x	Sp.			x	x	xx	x	-	
5349	2/2-2 (10-20cm)	xxx		x	Sp.			x	x	xx	x	-	
5350	2/2-3 (20-30cm)	xxx		x	Sp.			x	x	xx	x	-	
5351	2/2-4 (30-40cm)	xxx		x	Sp.			x	x	xx	x	-	
5352	2/2-5 (40-50cm)	xxx		x	Sp.			x	x	xx	x	-	
5353	2/2-6 (50-60cm)	xxx		x	Sp.			x	x	xx	x	-	
5360	2/8-1 (0-10 cm)	xxx			Sp.			x	x	xx	x	-	
5361	2/8-2 (10-20cm)	xxx			Sp.			x	x	xx	x	-	
5362	2/8-3 (20-30cm)	xxx			Sp.			x	x	xx	x	-	
5363	2/8-4 (30-40cm)	xxx			Sp.			x	x	xx	x	-	
5364	2/8-5 (40-50cm)	xxx			Sp.			x	x	xx	x	-	
5365	2/8-6 (50-60cm)	xxx			Sp.			x	x	xx	x	-	
5366	2/18-1 (0-10 cm)	xxx						Sp.	x	xx	Sp.	-	
5367	2/18-2 (10-20cm)	xxx			x			Sp.	x	xx	Sp.	-	
5368	2/18-3 (20-30cm)	xxx						Sp.	x	xx	Sp.	-	
5369	2/18-4 (30-40cm)	xxx						Sp.	x	xx	Sp.	-	
5370	2/18-5 (40-50cm)	xxx						Sp.	x	xx	Sp.	-	
5371	2/18-6 (50-60cm)	xxx				x		Sp.	x	xx	Sp.	0,6	2,9
5354	3/2-1 (0-10 cm)	xxx		x	Sp.	Sp.		Sp.			xxx	0,2	6,0
5355	3/2-2 (10-20cm)	xxx		x	Sp.	x		Sp.			xxx	0,8	6,6
5356	3/2-3 (20-30cm)	xxx		x	Sp.	x	Sp.	Sp.		xxx		1,4	6,4
5357	3/2-4 (30-40cm)	xxx		x	Sp.	Sp.				xxx		0,2	27,6
5358	3/2-5 (40-50cm)	xxx		x	Sp.						xxx	-	
5359	3/2-6 (50-60cm)	xxx		x	Sp.			Sp.		xxx		-	
Sp.	Spuren	x	schwach vertreten		xx	mäßig vertreten		xxx	stark vertreten				

In der Zusammensetzung der Hauptmineralkomponenten wurden zwei unterschiedliche Muster festgestellt. Die Proben 1/1 und 3/2 sind geprägt von stark quellfähigen Schichtsilikaten in allen Horizonten. Neben schwachen Quarzanteilen wurden Spuren von Feldspat und Kaolinit identifiziert. Spuren von Calzit sind in der Probe 1/1 nur in den unteren 2 Horizonten anzutreffen und in 3/2 nur im oberen Bodenbereich vertreten. Illite und Smectite dominieren das gesamte Profil 1/1. Im Profil 3/3 ist ihre Anwesenheit unregelmäßig über die Bodentiefe verteilt.

Abweichend von diesem Bild zeigen sich die Proben 2/2, 2/8 und 2/18. Neben der starken Dominanz der Schichtsilikate fällt die Präsenz des primären Chlorits in allen Bodenschichten auf. Im glimmer- und calzitfreien Material sind Kaolinit und Smectite schwach vertreten, Illite sind stärker präsent. In den Profilen 2/2 und 2/8 wurden noch Feldspatspuren identifiziert.

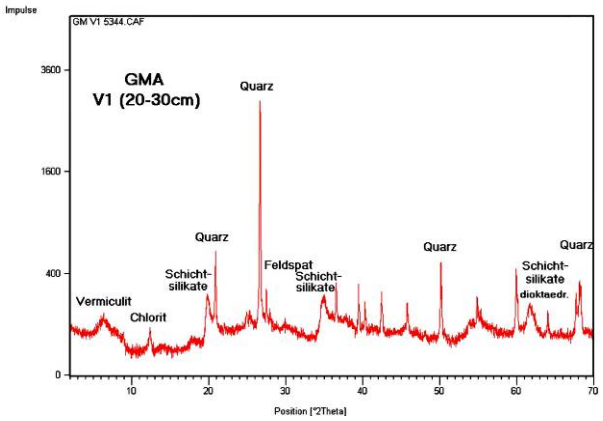


Abb. B-18: Röntgendiffraktogramm der Feinprobe (Gesamtmineralanalyse GMA) Beispiel Profil 1/1, Horizont 20-30cm

Die Tonmineralanalysen bestätigen das Bild zweier unterschiedlicher Materialkomplexe (Tab. B-11). Schwer dominant sind Vermikulit und Lepidokrokit in den Profilen 1/1 und 3/2. Auffällig ist auch die Anwesenheit von Illit, Kaolinit und Mixed Layer-Typen. In einzelnen Bodenschichten sind Spuren von Smektiten zu finden, während primäre bzw. sekundäre Chlorite nur vereinzelt in Spuren vorkommen.

Die Tonmineralzusammensetzung in den Profilen 2/2, 2/8 und 2/18 ist ident mit hohen Anteilen an Illiten. Die Expansionstests der Präparate mit Ethylenglykol und Dimethylsulfoxid bewirkte keine Veränderungen in den Diffraktogrammen. Somit konnten keine aufweitbaren Dreischichtminerale nachgewiesen werden. Heraus sticht die Präsenz primärer Chlorite. Kaolinit und Lepidokrokit sind unregelmäßig und schwach vertreten.

Abb. B-19: Röntgendiffraktogramm der Tonfraktion (Tonmineralanlyse TMA) Beispiel Profil 1/1, Horizont 0-10cm

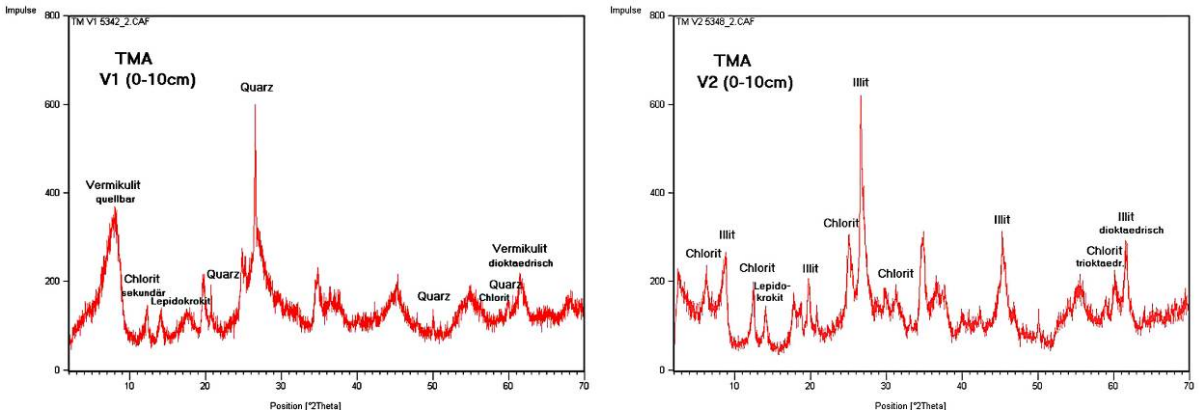


Abb. B-20: Röntgendiffraktogramm der Tonfraktion Beispiel Profil 2/2, Horizont 0-10cm

Tab. B-11: Ergebnisse der Tonmineralanalyse (TMA) an der Tonfraktion im Röntgendiffraktometer und Kationenaustauschkapazität (CEC)

Labor-Nr. TMA	Probe	Smectit	Vermiculit	Illit	Kaolinit	Lepidokrokit	prim. Chlorit	sek. Chlorit	Mixed Layer	CEC Feinboden [$cmol_c\ kg^{-1}$] Cu(II)-Komplex	CEC Tonfraktion ($cmol_c\ kg^{-1}$)
5342	1/1-1 (0-10 cm)		xxx	x	x	xxx			Sp.	41,1	51,8
5343	1/1-2 (10-20cm)										
5344	1/1-3 (20-30cm)		xxx	x	x	xxx					
5345	1/1-4 (30-40cm)										
5346	1/1-5 (40-50cm)		xxx			xxx		Sp.	Sp.		
5347	1/1-6 (50-60cm)	x	xx	x	Sp.	xxx		Sp.	x	34,0	52,9
5348	2/2-1 (0-10 cm)			xxx	Sp.		xx			9,8	26,4
5349	2/2-2 (10-20cm)										
5350	2/2-3 (20-30cm)										
5351	2/2-4 (30-40cm)										
5352	2/2-5 (40-50cm)										
5353	2/2-6 (50-60cm)			xxx		Sp.	xx				
5360	2/8-1 (0-10 cm)										
5361	2/8-2 (10-20cm)										
5362	2/8-3 (20-30cm)										
5363	2/8-4 (30-40cm)			xxx	Sp.	xxx	xx				
5364	2/8-5 (40-50cm)										
5365	2/8-6 (50-60cm)										
5366	2/18-1 (0-10 cm)			xxx		Sp.	xx				
5367	2/18-2 (10-20cm)			xxx			xx			15,1	22,7
5368	2/18-3 (20-30cm)										
5369	2/18-4 (30-40cm)										
5370	2/18-5 (40-50cm)										
5371	2/18-6 (50-60cm)			xxx			xx				
5354	3/2-1 (0-10 cm)		xxx	x	x				x		
5355	3/2-2 (10-20cm)	x	xx	x	x	x					
5356	3/2-3 (20-30cm)	x	xx	x	x	Sp.	x		x	40,0	44,0
5357	3/2-4 (30-40cm)	Sp.	xxx	x	x				x		
5358	3/2-5 (40-50cm)		xxx	x	x	xxx			x		
5359	3/2-6 (50-60cm)		xxx	x		Sp.			x	52,2	45,3

Sp. Spuren x schwach vertreten xx mäßig vertreten xxx stark vertreten

Anorganische Karbonatanteile (Kalkgehalt nach Scheibler) wurden entsprechend dem Calzitvorkommen in den tieferen Horizonten von Profil 1/1 und im Oberboden von Profil 3/2 nachgewiesen, wobei die Werte zwischen 1,4 % und 11,8 % schwanken. Die Anteile von C_{anorg} liegen zwischen 0,2 % – 1,4 %, jene von C_{org} zwischen 0,8 % und 27,6 %. Die hohen C_{org}-Werte sind im begrabenen Horizont AbegPgd von Profil 3/2 zu finden.

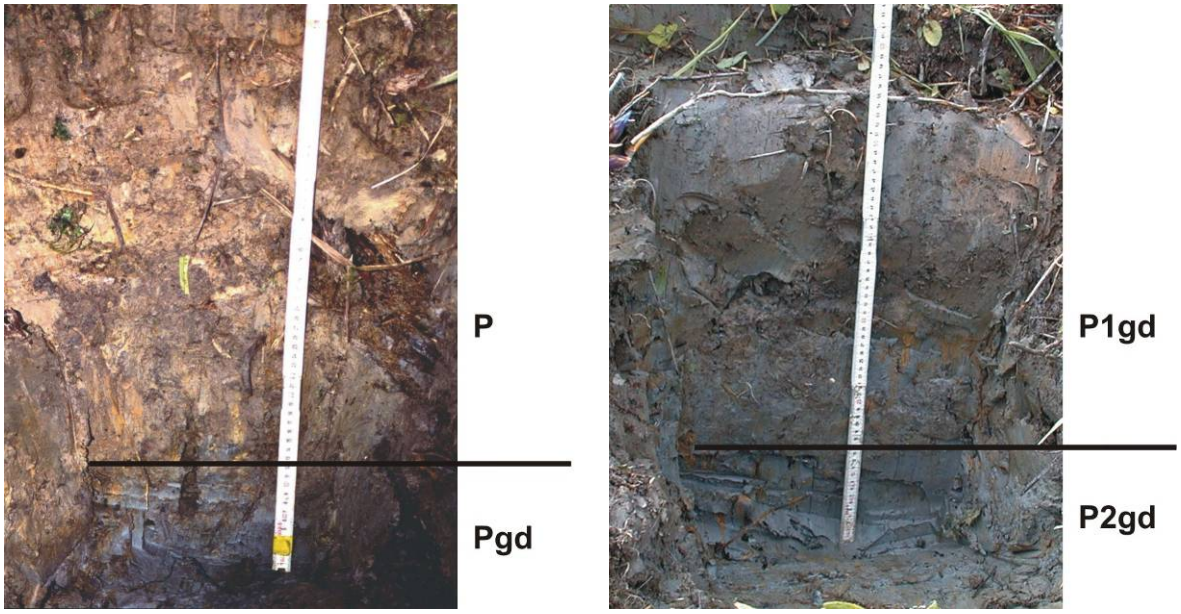
Die Kationenaustauschkapazitäten des Feinbodens als auch der Tonfraktion wurden an ausgewählten Proben überprüft. Sie sind, äquivalent zur starken Präsenz der aufweitbaren Mehrschichttonminerale, in den Profilen 1/1 und 3/2 zwei- bis dreimal so hoch wie in den vermikulitfreien Profilen.

B.6 Diskussion

B.6.1 Bodentyp

Der Boden im Untersuchungsgebiet der Stambachmure ist ein durch die Rutschprozesse massiv gestörter Boden. Weitgehend ist der ursprüngliche Typus des Haftnässepseudogleys, wie er im angrenzenden Fichten-Tannenwaldbestand zu finden ist, erkennbar. Die Zuordnung ist insofern beeinträchtigt, dass die Turbulenzen im Zuge der Massenbewegung zur Verlagerung von Humushorizonten in tiefere Bodenschichten führten bzw. es zu einer Aufmischung der Horizonte kam (Abb. B-22). Holzeinschlüsse und Stammreste, vermutlich aus dem ursprünglichen Waldbestand, unterbrechen die Bodenschichten wiederholt. Der Auflagehumus, meist hydromorph geprägter bis moderartiger Mull, sowie die geringmächtigen A-Horizonte sind weitgehend abgetragen.

Abb. B-21: Bodentyp Stagnogley, linke Abb.: Profilgrube V1 (Nähe Profil 1/1, 2002), rechte Abb.: Profilgrube V2 (Nähe Profil 2/2, 2002)



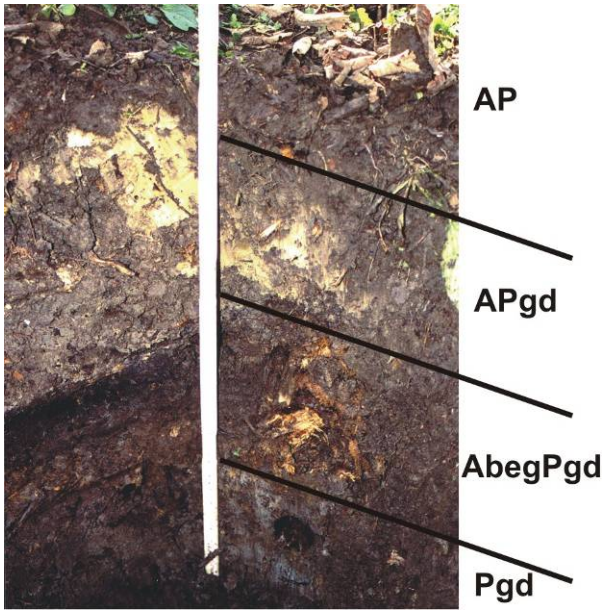


Abb. B-22: Profilgrube V3 Nähe Bohrprofil 3/2 (2002): Typisch für den Standort sind durch den Rutschprozess abgetragene bzw. überlagerte Humushorizonte (Abeg). Gley-ähnliche Stagnationshorizonte (Pgd) kennzeichnen die extreme Form der Pseudovergleyung durch Haftwasser.

Die ehemalige Rutschfläche ist charakterisiert durch eine extreme Variante der Pseudovergleyung, die nach der Österreichischen Bodensystematik als eigener Bodentyp Stagnogley definiert ist (KILIAN et al., 2002, S.37, NESTROY, 2000; Abb. B-21 und Abb. B-22). Lang andauernde Vernässungen durch gestautes Tagwasser rufen gleyähnliche Reduktionserscheinungen bis in den Oberboden hervor. An vielen Stellen wurde in der Stambachmure vollständige Wassersättigung mit den klassischen Merkmalen von Sauerstoffmangel, die sich in Geruch und Farbe ausdrücken, in einer Bodentiefe ab etwa 40 cm beobachtet. Lang anhaltende anaerobe Phasen mit reduktiven Verhältnissen lösen eine Eisenmobilisierung aus. Nach dem Wasserrückgang oxidiert die nachdringende Bodenluft das in der Matrix gelagerte Eisen, was sich in starker Rostfleckigkeit um die Wurzelkanäle äußert.

Trotz fehlendem Staukörper[1] ist der Boden der Stambachmure bis oberhalb der Mineralbodenkante von Stauwasser geprägt, was auf eine übermäßige Speicherung von Niederschlagswasser zurückzuführen ist. Dieses Phänomen ergibt sich aus dem hohem Feinporenanteil des Ausgangsmaterial und der damit verbundenen hohen Wasserhaltekapazität und geringen Wasserleitfähigkeit. Eine Versickerung des Niederschlagswassers ist nicht oder nur bedingt möglich. Das Niederschlagswasser wird als Haftwasser zurückgehalten. Abweichend zu ENGLISCH und KILIAN's Angaben (1999, S.75) ist auch der Oberboden geprägt von schwerem Tonmaterial, das unter den stark vernässten Bedingungen zähplastisch und kaum bearbeitbar ist.

Gemäss der World Reference Base for Soil Resources (WRB) der FAO (IUSS, 2007) ist der Boden als ***Clayic Stagnosol (Thaptomollic)*** zu klassifizieren. Während der Specifier „Thapto-" die Bodenstörung ausreichend kennzeichnet und auf begrabene Horizonte hinweist, zeigt die österreichische Bodenklassifikation (KILIAN et al., 2002; NESTROY, 2000) Einschränkungen in Bezug auf Störungen im Profil und deren Ursachen. Sie bietet keine ausreichende deskriptive Benennung, die auf natürlich bedingte, nicht anthropogen beeinflusste Mobilitäten im Hang und damit verbundenen Umlagerungs- bzw. Erosionsprozessen hinweist. Damit gehen grundlegende Informationen sowohl in Bezug auf die Entstehung der aktuellen Bodenform, die Qualität als Pflanzenstandort als auch auf die Standortstabilität verloren. Da zur exakten Klassifizierung im vorliegenden Fall ein Terminus fehlt, der die durch die Rutschung verursachte Problematik hervorhebt, wurde in Tab. B-8 und Tab. Annex B - 1 die Bezeichnung ‚gestört' hinzugefügt.

B.6.2 Bodenart und Kennwerte des Bodengefüges

Der Boden im Untersuchungsgebiet ist gekennzeichnet durch absolute Dominanz der Tonfraktion in der Kornverteilung mit Anteilen zwischen knapp 65 % und knapp 90 %. Dem Schluff ist mit Anteilen von 8,7 % bis 31,1 % keine besondere Bedeutung zuzuschreiben Das Muster der Kornverteilungen ist einheitlich über alle Profile. Trends innerhalb der Profile sind zufälliger Natur und auf Transport, Viskosität und Vermischungsprozesse während des Rutschvorganges zurückzuführen.

Abweichungen bei ROHN's Untersuchungen (1991, S.147) äußern sich in höheren Sandanteilen und in einer Dominanz der Schlufffraktion bis annähernd 70 %. Unveröffentlichte Analysen (OTTNER und KEUSCH, 2007) von Probenmaterial aus dem Untersuchungsgebiet zeigten teilweise Übereinstimmungen zu ROHN's Darstellungen. Haselgebirgston aus dem Bergsturzmaterial wies geringere Tonanteile mit 31,4 % bis 53,6 % zugunsten der Schlufffraktion (46,2 % bis 68,4 %) auf. Proben, die jedoch unmittelbar in der Nähe zu den Positionen der Profile 1/1 und 2/2 entnommen wurden, bestätigten deren hohen Tongehalte mit 85,4 % bzw. 68,1 %. In verwitterten Fleckenmergelproben aus dem Schuttstrom wies

[1] Bei Rotationskernbohrungen (BAMMER, 1984; ROHN, 1991) wurden die wasserstauenden Rutschmassen bis in Tiefen von 27 m nachgewiesen, darunter erst folgte anstehender Fleckenmergel (s. Kap. B.3.3).

ROHN (1991, S.147) nur etwa 42 bzw. knapp 60 % Ton nach, jedoch machte er keine genauen Angaben zur Entnahmetiefe.

Die Unterschiede in den Korngrößen widerspiegeln zum einen die Variabilität der Sedimente und der Sedimentationsprozesse auch auf kleinem Raum, zum anderen sind sie auf die unterschiedlichen Analyseverfahren zurückzuführen. Während OTTNER und KEUSCH (2007) ebenfalls mit Nasssiebung und Sedigraphie arbeiteten, führte ROHN (1991, S.147) seine Analysen mittels Aräometerverfahren durch. Im Zuge der Kalibrierarbeiten der Feuchtesensoren (s. Teil C) wurde das Sedimentationsverfahren nach Kubiena (ÖNORM L 1061-2, 2002) angewendet und Tonanteile von nur 56,2 und 34,6 % trotz ähnlicher Probenposition festgestellt.

Unter den automatisierten, indirekten Methoden zur Korngrößenbestimmung gilt die Sedigraph-Technik[1] (COAKLEY und SYVITSKI, 1991, S.129ff) speziell für Tonböden als besonders genaue und robuste Methode (DUCK, 1992). BUCHAN et al. (1993) berichten von einer systematischen Überschätzung der Massen der Sedimentationsfraktionen im Vergleich zum Pipettenverfahren als Standardmethode. Bei den vorliegenden Analysen wurde im Zuge der Probenaufbereitung durch Ultraschall und Einsatz von Dispersionsmittel auf eine gute Dispersion der kleinen Korngrößen geachtet. Mit Hilfe der Sedigraph-Methode konnten die Massen der Tonfraktionen der Stambachproben differenziert werden (Abb. Annex B - 7).

Innerhalb der Profile zeigen die Stambachproben schwankende Porenzahlen (1,46 – 3,91) bzw. Trockendichten (ρ_d = 0,67 - 1,12 kg m^{-3}) ohne konkretes Muster, die die Wertebereiche für Tonböden in SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL (1998, S.147) übersteigen. Bei Proben der Arbeiten für die Sensorkalibrierung (BLOCK C), die zu unterschiedlichen Zeitpunkten entnommen wurden, wiederholen sich die starken Schwankungen, lediglich die Werte der V2-Proben sind einheitlicher (Tab. Annex C - 7). Die große Variation widerspiegelt vor allem kleinräumige Heterogenitäten, die vermutlich auf die Umlagerungsprozesse während des Rutschvorganges zurückzuführen sind. Die Schrumpfungs- und Quellungsdynamik bedingt außerdem eine ständige Veränderung der Porosität.

Der Boden in der Stambachmure ist gekennzeichnet durch stark eingeschränkte Durchlässigkeit. Die k-Wert-Messungen ergaben Durchlässigkeitsbeiwerte << $4{,}5*10^{-7}$ m sec^{-1}, jedoch wurde bei mehreren Proben keine Durchlässigkeit registriert. Höhere k-Werte bis $3{,}6*10^{-3}$ m sec^{-1} sind auf die Anwesenheit von Wurzeln zurückzuführen, die durch die Probenentnahme eine Vergrößerung der Hohlräume verursachten und somit zu einer erhöhten Wasserleitfähigkeit führten. Außerdem verformte sich das stark plastische Material im Zuge der Probennahme, wodurch sich die Probenmasse z.T. von der Zylinderwand ablöste. Eine einwandfreie, ungestörte Probenentnahme war aufgrund der schweren Verarbeitbarkeit des Materials nicht möglich, die Resultate der k-Wert-Messungen sind daher nur bedingt verlässlich. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Durchlässigkeit im Gelände bei ungestärten Bodenbedingungen stark unterbunden ist, was auch ROHN (1991, S.151) bestätigt. Lediglich innerhalb der überlagerten Humushorizonte v.a. mit Holzeinlagerung ist eine höhere Wasserleitfähigkeit bzw. ein Interflow anzunehmen. Eine vertikale Infiltration bzw. Versickerung ist jedoch weitgehend auszuschließen. ROHN (1991, S.151) stellte k-Werte von nur $9{,}1\text{-}10^{-11}$ m sec^{-1} fest und merkte an, dass sowohl Haselgebirge als auch die Fleckenmergel sehr schwach durchlässig sind. Herkömmliche Drainagemethoden betrachtete er daher als nicht erfolgversprechend.

[1] Die analytische Methode der Sedigraphie besteht in der Zuordnung der Korngrößen über ihre Absetzgeschwindigkeit. Die Bestimmung erfolgt über die Suspensionsdichte und deren relative Absorption von Röntgenstrahlen niedriger Energie, wobei die Fraktionsmassen in Prozent gegenüber dem Logarithmus der äquivalenten Durchmesser aufgezeichnet werden (WEBB, 2004; BUCHAN et al., 1993).

B.6.3 Mineralogie

Der riesige Pool der Tonminerale, der in der Tonfraktion gelagert ist, charakterisiert die mineralogische Zusammensetzung des Rutschkörpers. Anhand der Ergebnisse der Gesamt- und Tonmineralanalysen sind zwei Teile des untersuchten Schuttstroms klar unterscheidbar:

- Die Randzonen (Profile 1/1 und 3/2) sind geprägt von chlorit- und glimmerfreien Materialien, bei denen stark quellfähige Dreischichtsilikate[1] (Smektite und Vermikulite) dominieren. Letztere sind v.a. in der Tonfraktion gelagert, im Schluff sind sie nicht so stark vertreten. Horizonte mit Lepidokrokit deuten auf Staunässe hin.
- In der zentralen Zone dominieren frischere Materialien mit primären Chloriten[2] (Profile 2/2, 2/8 und 2/18). Innerhalb der Profile sind die Proben sehr homogen, was auch nach der Tonmineralanalyse bestätigt werden konnte. Der primäre Chlorit wurde überall durchgehend sowohl im Feinboden als auch in der Tonfraktion eindeutig nachgewiesen. Illit ist nur in der Tonfraktion aufgetreten. Auch hier ist Lepidokrokit nachweisbar.

Auffällig ist die hohe Präsenz der Dreischicht-Tonminerale in den Randzonen. Aufgrund ihrer geringen Korngrößen (<< 2µm) zeichnen sich die Tonminerale durch besonderes bodenmechanisches Verhalten aus. Sie sind hoch plastisch mit geringer Scherfestigkeit und spielen bei Hang-(In-)Stabilitäten und Massenbewegungen eine wesentliche Rolle (MOORE und REYNOLDS, 1989, S.15ff).

Aus der dichten Lagerung der quellbaren Tonminerale, dem hohen Feinporenanteil und der damit verbundenen enormen Wasserhaltekapazität ergibt sich das Phänomen der Pseudovergleyung. Durch die Schwammwirkung fehlen Trockenphasen im Boden. Diese Tendenzen werden von den ganzjährig außergewöhnlich hohen Wasseranteilen von bis zu 0,79 m^3m^{-3} θ_v (vergl. BLOCK C) bestätigt.

ROHN (1991, S.143) wies bei seinen Untersuchungen Lepidokrokit nur bei den verwitterten Fleckenmergelproben nach, während dieser bei den vorliegenden Analysen in allen Bereichen der Rutschmasse auftrat. Als Eisenhydroxid bildet sich der Lepidokrokit vorwiegend bei Wasserüberschuss und ist farbgebend. Seine Omnipräsenz, die durch gelb-orange Färbungen offensichtlich ist, ist ein eindeutiger Hinweis darauf, dass der Mineralboden bis zur Oberkante von Stagnationswasser beeinflusst wird. Im rückenartigen Gelände des Mittelteils sind die Stauphasen verkürzt. Lepidokrokit kommt hier in geringeren Mengen vor.

Die vorliegende Arbeit zeigt, dass sich im untersuchten Gelände die quellfähigen Tonminerale auf den Außenbereich beschränken. Ihr Fehlen in der zentralen Zone, die charakterisiert ist durch die Präsenz des frischeren Chlorits, könnte daher auf die Dominanz von Haselgebirgstonen hinweisen, was durch jüngere Analysen von OTTNER und KEUSCH (2007) bestätigt werden konnte. Ihre Ergebnisse zeigten, dass die Haselgebirgstone hauptsächlich

[1] Während die Illite, die als Glimmer der Tonfraktion gelten, aufgrund stabiler Zwischenschichtkationen nicht quellfähig sind, zählen die Smektite und Vermikulite zu den Tonmineralen äußerst variabler chemischer Zusammensetzung und besonders hoher Quellfähigkeit. Die Ionen (Mg/Al/Fe) der Zwischenschichten werden von Hydrathüllen umgeben und aufgeweitet. Dadurch steigt ihre Plastizität. Die chemische Stabilität beider Arten ist mäßig bis gering. Hohe Kationenaustauschkapazitäten kennzeichnen besonders die Vermikulite (100 - 200 $cmol_c$ kg^{-1}, MCLAREN und CAMERON, 1996, S.171). In Böden weit verbreitet sind Wechsellagerungsminerale (Mixed-Layer-Tonminerale). Heterogene Folgen von Illit, Vermikulit oder Smektite treten in Form von Schichtpaketen auf (MOORE UND REYNOLDS, 1989, S.130ff).

[2] Chlorite sind Vierschichtminerale (Dreischichtminerale mit Aluminium-Hydroxidzwischenschichten), wobei primäre Chlorite in Metamorphiten auftreten und sekundäre Chlorite in sauren Böden gebildet werden (MOORE UND REYNOLDS, 1989, S.130ff).

aus Quarz, Glimmer und Chloriten mit Spuren von Hämatit, Pyrit und Kalifeldspäten bestehen. In der Tonfraktion (< 2µm) konnten nur Illit und Chlorit jedoch keine quellbaren Tonminerale nachgewiesen werden, was sich mit ROHN's Angaben (1991, S.143) deckt. Nach OTTNER und KEUSCH (2007) repräsentieren Proben aus der Murenmitte sehr deutlich die Zusammensetzung des Haselgebirgstones, während Proben aus dem seitlichen Bereich durch den bereits in der Pulveraufnahme eindeutigen Nachweis von quellbaren Tonmineralen anderen Materialien zuzuordnen sind (Abb. B-23). ROHN (1991, S.144) unterstreicht die starken Unterschiede der mineralogischen Komponenten von Haselgebirge und Fleckenmergel, die sich vor allem in der hohen Präsenz von Mixed-Layer-Tonmineralen in letzteren äußert.

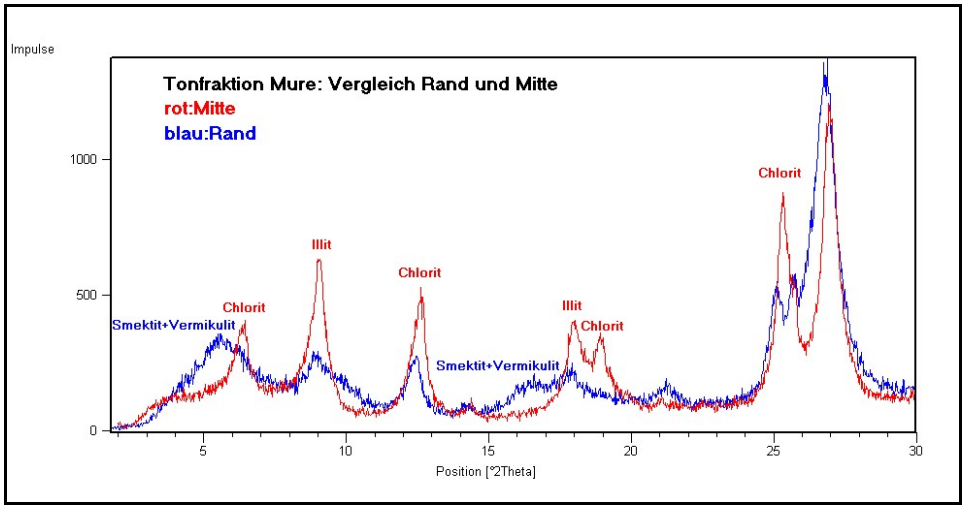


Abb. B-23: Vergleich der Diffraktogramme von Proben aus der Murenmitte und vom Murenrand (jüngere Analysen von OTTNER und KEUSCH, 2007): Die rote Linie repräsentiert die Zusammensetzung des Haselgebirgstones, während die blaue Linie mit den quellfähigen Tonmineralen vermutlich dem Fleckenmergel zuzuordnen ist.

Es erscheint plausibel, dass ältere Materialien vorangegangener Rutschungen im Mittelbereich durch die Rutschmassen von 1982 überlagert wurden. Berücksichtigt man die Morphologie des Geländes, so fällt auf, dass der zentrale Bereich durch ein leicht rückenartiges Relief geprägt ist (Abb. B-24). Dieses Erscheinungsbild unterstreicht die Theorie der Überlagerung zweier Schuttströme, die auch in der Darstellung der Abfolge der Massenbewegungen von ROHN (1991, S.18, Abb. B-8) hervorgeht. Der Mittelteil wird einer Bewegung aus dem Jahr 1980 zugeteilt, während die jüngere Rutschung von 1982 flächenmäßig darüber hinausgeht. Möglich ist, dass dabei jüngeres Material von oben nachgeschoben wurde und gleichzeitig im Seitenbereich Material von wesentlich früheren Ereignissen mobilisiert wurde. Dies würde die unterschiedliche Zusammensetzung der Ablagerungen in den oberen Bodenschichten erklären.

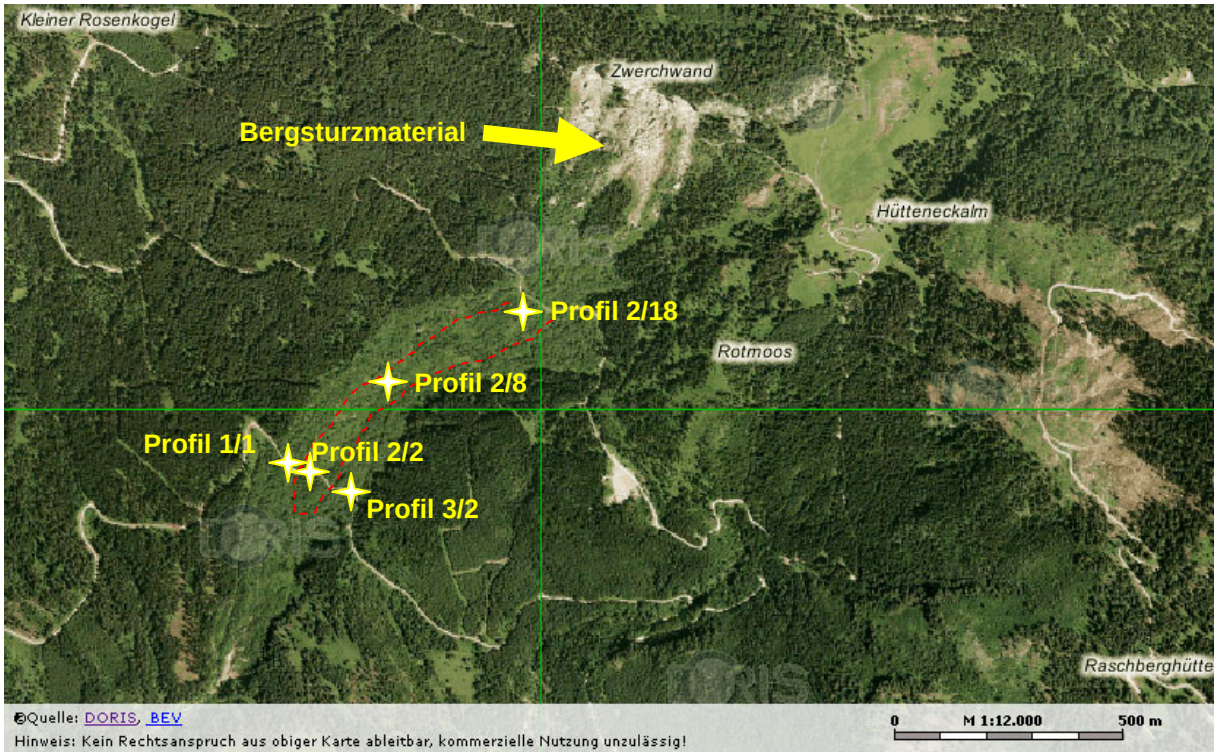


Abb. B-24: Orthofoto aus dem Jahr 2005 (© DORIS und BEV, 2006, verändert): Ein leicht rückenartiges Relief (rote Markierung) weist auf eine Schuttstromüberlagerung in der Murenmitte hin. Dies könnte die unterschiedliche mineralogische Zusammensetzung erklären.

B.6.4 Kationenaustauschkapazität

Die Überprüfung der Kationenaustauschkapazität bestätigte den Zwei-Zonen-Trend. Der mit quellfähigen Vermikuliten angereicherte Außenbereich wies eine bedeutend höhere Konzentration austauschbarer Kationen sowohl im Feinboden (<52,2 $cmol_c\ kg^{-1}$) als auch in der Tonfraktion (<52,9 $cmol_c\ kg^{-1}$) auf als die dreischichtmineralfreien Profile der mittleren Zone. Höhere Schichtladung und somit Austauschkapazitäten weisen auf stärkere Verwitterung hin. Der hohe Verwitterungsgrad lässt daher auf ältere Materialien in den Randzonen schließen.

Vergleiche mit Werten derselben Proben von STANGL (2004, S.B53) ergeben keinen Konsens in der Zwei-Zonen-Theorie. Die Kationenaustauschkapazitäten im $BaCl_2$-Auszug der Stauhorizonte liegen zwar im vergleichbaren Bereich mit den hier angeführten Ergebnissen, zeigen jedoch deutliche vertikale Trends. Im humosen Oberboden sind die Werte erwartungsgemäß höher. Besonders auffällig sind erhöhte Konzentrationen von 118 $cmol_c\ kg^{-1}$ in den begrabenen Humushorizonten.

Die scheinbaren Unstimmigkeiten dieser Ergebnisse liegen in der Methodikwahl. Die zur vorliegenden Arbeit ausgewählte Analysemethode nach MEIER und KAHR (1999) wurde speziell für Tonminerale entwickelt. Entsprechend der Präparation der Proben für die Tonmineralanalysen wurden die organischen Substanzen ausgedampft (vergl. Kap. B.4.6), sodass in die Ergebnisse nur mehr die Kationenaustauschkapazitäten der anorganischen Kolloide einfließen. Die im Vergleich zur Tonfraktion niedrigeren Kapazitäten im Feinboden sind durch die Anwesenheit geringer Anteile von Sand erklärbar, da Sand keine negative Ladung besitzt und daher keine Kationen bindet. Differenzen in den Humushorizonten bis zu fast 60 $cmol_c\ kg^{-1}$ im $BaCl_2$-Auszug können der organischen Substanz zugeschrieben werden.

B.6.5 Bedeutung für die Hangstabilität

In der Stambachmure sind Haselgebirge, der Fleckenmergel und deren Verwitterungsprodukte ausschlaggebend für den Bodentyp (Kap. B.6.1.) und tragen grundlegend zu den aktuellen Bodenkonditionen bei. Als prägend für das bodenmechanisches Verhalten nennt ROHN (1991, S.144) vor allem den hohen Gehalt an Mixed-Layer-Tonmineralen der Fleckenmergel, da an den Haselgebirgsproben keine quellfähigen Tonminerale nachweisbar sind. Durch die reichliche Anwesenheit der mehrschichtigen, aufweitbaren Tonminerale wird Wasser außergewöhnlich stark in der Bodenmatrix gehalten. Hohe Niederschlagswerte belasten das Gebiet zusätzlich und verursachen ein Überwiegen der Nassphasen.

Jüngere Arbeiten von ADAMCOVÁ et al. (2007) belegen, dass die Anwesenheit der quellbaren Tonminerale im Seitenbereich die mechanischen Parameter eindeutig negativ beeinflussen. Im Zusammenhang mit den höheren Wassergehalten weisen bei ihren Proben Fließgrenze [<134,9 %], Plastizitätszahl [<80,8 %] und Ausrollgrenze [< 54,1 %] deutlich ungünstigere Werte auf als die tonmineralfreien Proben.

Geologisch liegt das Problem in der Schichtung festen Kalkgesteins auf weichen Zlambachlagen. Die geotechnische Bedeutung der Gesteinstypen des Stambachtales wird von ROHN, (1991, S.28f), der den Schuttstrom selbst nur als zentralen Teil eines zusammenhängenden Hangbewegungssystems sieht, erläutert. Die Verwitterung der Fleckenmergel geht einher mit dem Verlust von als Bindemittel fungierenden Karbonats, was bedeutende Hangbewegungen zur Folge hat. Auch Haselgebirgsvorkommen sind stets mit ausgedehnten Massenbewegungen verknüpft. Dazwischengeschaltete verwitterungsresistentere Kalkbänke am Gschwandtloch und am Stambachstein stellen natürliche Barrieren dar, die die Taleintiefung verhindern bzw. Schuttstromgeschiebe zurückgehalten haben. Die Talflanken aus Fleckenmergel und Moränenstreu sind ebenfalls potenziell rutschgefährdet. Stabilisierend wirken auftretende feste Kalkbereiche. An der linken Talflanke wird die Kalkunterlage durch rückschreitende Massenbewegungen entfernt.

BAMMER (1984a, S.16) vertrat die Ansicht, dass sich die Rutschmassen in einem nur vorübergehenden Gleichgewicht befänden. Die ungünstigen geologischen Voraussetzungen gepaart mit den lokalen Klimaverhältnissen schränkten die Möglichkeiten von technischen Mitteln zur Stabilisierung des Rutschkörpers bedeutend ein. Der Bau eines Murbrechers bzw. die Stabilisierung über das Zementinjektionsverfahren wurden von verschiedenen Gutachtern mehrfach abgelehnt (ANGERER, 1983; SCHÄFFER, 1982c; SCHÄFFER, 1982d). ANGERER (1983, S.17) bezeichnete die Rutschmasse aufgrund ihres hohen Tonanteils und riesigen Volumens als nicht entwässerbar.

BAMMER (1984a, S.16) sah die Initialisierung eines Vegetationsbestandes als eines der wesentlichsten Sanierungsziele, was erfolgreich gelungen ist. Da eine Entwässerung des mächtigen Rutschkörpers technisch nicht realisierbar ist, ist eine dauerhafte Drainage zumindest der oberflächennahen Schichten über einen leistungsfähigen Baumbestand die einzig verbleibende Möglichkeit, einen Einfluss auf das Wasserregime der Rutschmasse auszuüben. Es gilt, zusätzliches Wasser, das die treibende Kraft für deren Mobilität darstellt, vom ohnehin fast gesättigten Boden nach Möglichkeit fernzuhalten.

Zum jetzigen Zeitpunkt kommt daher der Erhaltung des geschlossenen Bestandes und der Förderung seiner entwässernden Funktionen besondere Bedeutung zu. Die Abgabe von Wasser durch Evapotranspiration bzw. die Einschränkung eindringenden Wassers durch Interzeption stellen die wichtigsten Funktionen dar, die es zu erhalten und zu fördern gilt.

B.6.6 Bedeutung für die Vegetation

Nährstoffanalysen an den Stambachproben in STANGL (2004, S.B52ff) zeigten, dass sich der 2-Zonen-Trend der geologischen Verhältnisse nicht fortsetzt. Die Werte im Gelände sind verhältnismäßig einheitlich.

Die C/N-Verhältnisse sind durchwegs eng (meist <13,3, STANGL, 2004, S.B20), was auf hohe biologische Aktivität und eine günstige Stickstoffverfügbarkeit hindeutet. Die Wurzelknöllchen der Erlen begünstigen vermutlich die Stickstoffanreicherung. Es muss jedoch davon ausgegangen werden, dass die niedrigen C/N-Werte der unteren Horizonte auf der Nichtberücksichtigung des mineralisch gebundenen NH_4^+ beruhen, da lt. SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL (1992, S.264) in Mineralböden v.a. mit hohem Tongehalt nicht nur mineralisierter, sondern auch fixierter Stickstoff mit erfasst wird.

Aufgrund der hohen Tonmineralanteile dominiert Aluminium bei den Gesamtgehalten, seine Mobilität steigt aber nur dort, wo die pH-Werte fallen. Im $BaCl_2$-Auszug werden alle Profile vom Kalzium dominiert (STANGL, 2004, S.B52ff). Sie sind daher durchwegs von hoher Basensättigung (99 bzw. 100 %) geprägt. Lediglich Profil 1/1 zeigt im unteren Horizont niedrigen pH-Wert und somit niedrigere Basensättigung von nur 73 %. Trotz der sonst günstigen Basensättigung ist die Nährstoffversorgung durch die ganzjährige Vernässung jedoch eingeschränkt und der Standort durch mögliche Versauerung gefährdet.

Eine leichte Versauerung im oberen Bereich von Profil V2 ist möglicherweise auch auf die Wurzelausscheidungen des wurzelangereicherten Oberbodens zurückzuführen (SCHÄFFER und SCHACHTSCHABEL, 1992, S.114f). Bei allen Profilen nimmt die Durchwurzelung mit der Bodentiefe stark ab. Wurzelgrabungen in der Stambachmure ermöglichten einen Einblick in die Wurzeltendenzen innerhalb der ehemaligen Rutschmasse (STANGL, 2004, S.B31ff; SAVERSCHEl, 2003, S.87ff). An den freigelegten Wurzelkörpern war gut erkennbar, dass die Hauptwurzelmasse oberhalb des gesättigten Bereiches bleibt. Dieser beschränkte sich auf den oberen Meter der Rutschmasse.

Pseudogleye gelten generell als limitierte Pflanzenstandorte (IUSS, 2007, S.91). Der Grund dafür liegt im Sauerstoffmangel, der aus stagnierendem Wasser und dichtem Unterboden resultiert. Bei nicht standortangepasster Bestockung und Bewirtschaftung drohen qualitative Einbußen. Durch Kahlstellung kann die Stauzone beachtlich ansteigen und zu periodischer. oberflächlicher Vernässung führen. Dies wiederum ruft Komplikationen bei der Wiederaufforstung hervor.

Die geologischen Verhältnisse und die damit verbundenen Bodenbedingungen in der Stambachmure können als limitierend für die Vegetationsentwicklung betrachtet werden. Das Tiefenwachstum der Vegetation ist eindeutig eingeschränkt. Selbst die als Tiefwurzler bekannten Schwarzerlen, die zwar die voluminösesten Wurzelkörper mit dem größten Tiefgang in der Stambachmure aufwiesen (STANGL, 2004, S.B31ff), zeigten klare Restriktionen in Bezug auf die Durchwurzelungskapazitäten vor allem in den stark verdichteten, stauwassergeprägten Horizonten.

Scherversuche an Proben aus der Stambachmure haben gezeigt, dass mit zunehmender Durchwurzelung von Gräsern und Kräutern die Scherfestigkeit eindeutig steigt (ADAMCOVÁ, 2007). Es ist davon auszugehen, dass die Wurzeln des Erlenbewuchses diese Wirkung verstärken. Trotz Einschränkungen in der Wurzeltiefe gewährleistet der Erlenbestand eine gute mechanische Stabilisierung zumindest in den durchwurzelten Horizonten.

Bestandesumwandlungen der Erlenvorkultur in tannenreiche Mischbestände, wie sie im Technischen Bericht des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinenkunde vorgesehen waren (BAMMER, 1984, S.19ff), werden als problematisch betrachtet. Die forstwirtschaftlichen Konzepte und Pflegeeingriffe erfordern große Sensibilität in Bezug auf die Aufrechterhaltung der derzeitigen Stabilität der labilen Massen. Unter diesem Aspekt und der Tatsache, dass der Standort als Extremstandort mit limitierenden Bedingungen für viele Arten zu sehen ist, besitzen die Erhaltung des Erlenbestandes und die Förderung seiner Funktionen oberste Priorität.

BLOCK C: KALIBRIERUNG DER BODENFEUCHTE-SENSOREN

C.1 Zusammenfassung

Das Feldmonitoring des Wasseranteils θ_v im Boden der Stambachmure wurde über Dauerregistrierung mittels CS 615 Water Content Reflectometer (WCR) durchgeführt. Die Herstellerkalibrierung erwies sich aufgrund von hohen Überschätzungen des θ_v als unbrauchbar. Für eine bodenspezifische Feldkalibrierung wurden Datensätze der Jahre 2001-2003 und 2005 herangezogen. Auf Basis der Felddaten wurden Polynomregressionen- und Lineare Regressionsmodelle erarbeitet und über Bias, die mittlere quadratische Abweichung (MSE) und die mittleren absoluten Differenzen (MD) validiert.

Über lineare und multiple Regressionsmodelle konnten bessere Anpassungen als über Polynomregressionen erzielt werden. Die Berücksichtigung von Temperatur und Porenanteil reduzierte den Messfehler weitgehend. Trotz der Schwierigkeiten, die Feldkalibrierungen mit sich bringen, konnten akzeptable Kalibrierlösungen für den gesamten Wassergehaltsbereich sowie für das spezifisch hohe Feuchtemilieu des Sonderstandortes entwickelt werden.

Ungünstige Bodeneigenschaften wie sehr feuchtes Milieu und hohe Tongehalte demonstrieren die Limits der Anwendbarkeit des WCR. Messpunktspezifische Abhängigkeiten sowie partiell nicht erfüllte Vorraussetzungen der Regressionsanalysen lassen vermuten, dass komplexe Interaktionen zwischen den Bodenkomponenten und deren dielektrischen Eigenschaften die Sensorreaktionen wesentlich beeinflussen.

C.2 Theoretische Grundlagen

Der Wasseranteil ist definiert als das Volumen des Bodenwassers bezogen auf das Gesamtvolumen (KASTANEK et al., 1980, S.59). Die direkte, thermogravimetrische Bestimmung erfordert die Trocknung definierter Probenvolumina bei 105° C. Diese klassische Methode ist zeitaufwändig und destruktiv in Bezug auf den beprobten Boden und damit ungeeignet für repetitive Messungen. Daher entwickelten sich in den letzten Jahrzehnten zahlreiche indirekte, nicht destruktive Ansätze wie z.B. radioaktive bzw. dielektrische und kapazitive Methoden u.v.a. (WALKER et al., 2004, S.86, SUMNER, 2000, S.A-55ff, DIRKSEN, 1999, S.24ff). Diese technischen Systeme werden in der Regel über die Referenzmethode der Thermogravimetrie evaluiert und kalibriert.

Speziell im Zuge von Monitoringprogrammen zur Dauerregistrierung der Bodenwasservorratsänderung etablierte sich die Time Domain Reflectometry (TDR) als eine der beliebtesten Methoden, die darauf beruht, dass Wasser eine höhere Dielektrizitätskonstante ($\varepsilon_w \approx 80$) hat als trockener Boden ($\varepsilon_s \approx$ 3-5, abhängig von dessen Konstituenten) oder Luft ($\varepsilon_a = 1$). Es wird die Ausbreitungsgeschwindigkeit und die Abschwächung einer elektromagnetischen Welle hoher Frequenz (GHz) entlang eines Wellenleiters, meist Metallstäbe der Länge L, gemessen. Dabei ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit, die stark von der Wassermenge im Boden abhängt, eine Funktion der Dielektrizitätskonstante ε_s des Bodens [C-1].

$$\varepsilon_s = \left[\frac{ct}{2L} \right]^2 \qquad \textbf{[C-1]}$$

mit: ε_s....Dielektrizitätskonstante des Bodens
c.....Geschwindigkeit der elektromagnetischen Welle in Vakuum ($3*10^8$ m s^{-1})
t.....Ausbreitungszeit des Impulses entlang des Sensors und zurück
L.....Sensorlänge

Der Durchbruch der TDR-Technik in den Geowissenschaften gelang TOPP in den 80iger Jahren (TOPP et al., 1980, S.580). Er stellte die ersten empirisch ermittelten Zusammenhänge zwischen ε_s und dem Wasseranteil im Boden θ_v her und fand gute Übereinstimmungen mittels Polynomen 3. Ordnung. Mit der Kurve der Form [C-2] stellten TOPP et al. (1980, S.580) eine für den Wassergehaltsbereich < 0,5 m^3m^{-3} θ_v universell anwendbare Kalibriergleichung für Böden mineralischer Natur zur Verfügung.

$$\theta_v = -5{,}3*10^{-2} + 2{,}92*10^{-2} K_a - 5{,}5*10^{-4} K_a^2 + 4{,}3*10^{-6} K_b^3 \qquad \textbf{[C-2]}$$

mit: K_a.....apparent dielectric constant

Damit wurden TDR-Sonden zur indirekten Bestimmung des Bodenwassergehaltes salonfähig und erfreuten sich zunehmender Attraktivität. Insbesondere als nicht gesundheitsgefährdende Alternative zur nicht destruktiven, aber radioaktiven Neutronensonde, die zur Anwendung und zum Transport Sondergenehmigungen erfordert und als automatische Messeinrichtung schwierig zu installieren ist, ermöglichen registrierbare TDR-Systeme über Datenlogger Untersuchungen mit guter zeitlicher und räumlicher Auflösung.

C.3 CS 615 Water Content Reflectometer (WCR)

C.3.1 Sensorbeschreibung und Messprinzip

Der Campbell CS 615 Water Content Reflectometer (WCR), der lt. CAMPBELL SCIENTIFIC (1998, S.1) ebenfalls auf der TDR-Methode basiert, besteht aus 2 parallelen Niro-Stahlstäben von 30 cm Länge, die an eine Leiterplatine in einem Epoxid-Block angeschlossen sind. Bei Änderung des Schaltzustandes sendet ein Multivibrator ein elektromagnetisches Signal in die Stäbe. Die Signalenergie polarisiert die Wassermoleküle im umgebenden Material, wodurch die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Signals beeinflusst wird.

An den Enden der so genannten Wave Guides wird das Signal reflektiert und zurückgeschickt, wodurch am Multivibrator wiederum das nächste Signal ausgelöst wird. Elektronisch wird der Multivibrator-Output in eine für Datenlogger messbare Frequenz reduziert. Der eigentliche Sensor-Output ist die Frequenz [Hz], deren Kehrwert die Wellenlaufzeit τ ergibt [C-3]. Mit derer Hilfe wird schließlich ein mathematischer Zusammenhang mit dem Wasseranteil hergestellt, der für die loggerinterne Umrechnung verwendet wird.

$$\tau[m\,\mathrm{sec}] = \frac{1}{Hz} * 1000 \qquad \textbf{[C-3]}$$

QUINONES und RUELLE (2001, S.35) sowie STENGER et al. (2005, S.607) weisen darauf hin, dass innerhalb der Sondenplatine ein eigener Generator nicht nur der Auslösung des Signalimpulses sondern auch der Aufzeichnung des Signaloutputs dient. Dies bietet gegenüber herkömmlichen TDR-Sensoren den Vorteil, dass die Messungen nicht von der Kabellänge beeinflusst werden.

VELDKAMP und O'BRIEN (2000, S.1549) sowie SUMNER (2000, S.A-62f) ordnen den CS 615-Water Content Reflectometer aufgrund der Frequenzmessung den FDR-Systemen (Frequency Domain Reflectometry) zu. SEYFRIED und MURDOCK (2001, S.28) meinen, dass der Sensor grundsätzlich dem kapazitiven Funktionsprinzip nachkommt mit jedoch zwei wesentlichen, dem TDR-System entsprechenden Unterschieden: zum einen der direkte Kontakt der Wave Guides mit dem Boden sowie die Methode der Impulsgenerierung. CHANDLER et al. (2004, S.1501) unterscheiden die TDR- und die WCR-Methode voneinander anhand der Höhe der Messfrequenz, die bei ersterer bis zu 1 GHz beträgt und bei letzterer mit 15 bis 45 MHz deutlich darunter liegt.

Die genannten Autoren sprechen verschiedene Vorteile des Sensors gegenüber anderen Produkten hinsichtlich Stromverbrauch, Vergrabbarkeit und Resistenz gegen raue Umweltbedingungen sowie hohe Kosteneffektivität an. Die Attraktivität des WCR für kontinuierliche Beobachtung des Bodenwasservorrats an mehreren Positionen im Gelände ist damit unumstritten. In Kombination mit den VF-Datenloggermodellen der Fa. EMS, die in der vorliegenden Arbeit verwendet wurden, war neben der unverhältnismäßigen Kostengünstigkeit v.a. die Stromversorgung mit Batterien von einzigartigem Vorteil gegenüber anderen Systemen wie Trase (Soilmoisture Equipment Corp.) oder Logger von Campbell Scientifics. Bei einer Auflösung im Stundentakt konnte bis zu 4 Monate wartungsfrei durchgemessen werden.

C.3.2 Messproblematik

Als äußerst erschwerend erwiesen sich Probleme des verwendeten Sensors bei hohen Tongehalten, wie sie in der Stambachmure vorkommen (vergl. BLOCK B). Der Wasseranteil wurde jenseits der Toleranzgrenze mit θ_v bis weit über 1 m^3m^{-3} überschätzt (Kap. C.6). QUINONES et al. (2003, S.214) berichten ebenfalls von Überschätzungen des WCR bei Anstieg der Bodenfeuchtigkeit. Bei WALKER et al. (2004, S.98) überschritten die WCR-Wassergehalte die Porenanteile während der Sättigungsphasen. VELDKAMP und O'BRIEN (2000, S.1552) hingegen beobachteten bei ihren Untersuchungen den gegenläufigen Effekt der Unterschätzung im gesamten gemessenen Feuchtigkeitsbereich.

Der bis zum Beginn des Monitoringprogrammes geringe Einsatz der verhältnismäßig „jungen" Sensoren erwies sich diesbezüglich als nachteilig. Es fehlte die Erfahrung bezüglich der Reaktion in unterschiedlichen Substraten. Der Hersteller weist auf die Sensitivität des Sensors bei elektrischen Leitfähigkeiten über 1dS/m sowie auf hohen Ton- oder Quarzanteil und vermehrter organischer Substanz hin. Für erstere stellt Campbell verschiedene Kalibriergleichungen zur Verfügung (CAMPBELL SCIENTIFIC, 1998, S.3, 8f), während für letztere keine Hilfestellung geboten wird. Es wird der Einfluss der Kräfte, die sich auf die Polarität der Wassermoleküle auswirken, angesprochen. Neben der hohen Polarität von Tonen spielt in diesem Zusammenhang ihre starke Adsorptionsfähigkeit von Wasser in den Zwischenschichten eine Rolle, wodurch der Effekt entsteht, dass Wasser sozusagen „versteckt" wird. Dadurch wird die Polarisierung durch das Sensorsignal verhindert. Der Wassergehalt organischer und vulkanischer Böden sowie Böden mit sehr hohen Tongehalten wird häufig unterschätzt, was meist auf das stark gebundene Adsorptionswasser zurückgeführt wird. Von Überschätzungen bei TDR-Messungen im hohen Feuchtigkeitsbereich von Tonböden berichten GONG et al. (2003, S.3613), wobei das Ausmaß des Einflusses vom Tontypus abhängig sei. BENSON und BOSSCHER (1999) beobachteten Überschätzungen in verdichteten Tonböden und schrieben dies den Leitungseffekten von Tonen zu. DIRKSEN und DASBERG (1993, S.665f) weisen auf den Einfluss der Tonmineralogie auf die dieelektrischen Eigenschaften des Bodens hin.

Im Manual für die verbesserten Nachfolgegenerationen CS 616 und CS 625 (CAMPBELL SCIENTIFIC, 2002-2004, S.34f) wird auf die frequenzabhängige Signalabschwächung, die eine geringere Reflexionsamplitude und eine erhöhte Rücklaufzeit des Impulses zur Folge haben, aufmerksam gemacht. Abgeschwächte Reflexionen werden daher später registriert, wodurch der nächste Impuls verzögert wird. Dies wiederum führt zu einer Senkung der Frequenz [Hz] bzw. einer Erhöhung der Wellenlaufzeit τ [msec].

Für CS 616 wird mehr Information über die Kalibrierung des Sensors zur Verfügung gestellt als für CS 615, wobei diese auf den Wassergehaltsbereich < 0,5 m^3m^{-3} θ_v beschränkt ist (CAMPBELL SCIENTIFIC, 2002, S.4). Eine Verlängerung der Polynomkurven für unterschiedliche Leitfähigkeiten (σ), mit σ = 1,8 dS m^{-1} im Folgenden als Standardkalibrierung des Herstellers (CS SK) bezeichnet, zeigt, dass diese v.a. im oberen Feuchtigkeitsbereich sehr weit auseinanderdriften (Abb. Annex C - 1).

SEYFRIED und MURDOCK (2001, S.33) berichten von einer hohen Präzision verschiedener CS 615 Sensoren mit Messunterschieden im Bereich von < 0,02 m^3m^{-3} θ_v. Bei ihren Untersuchungen stellte sich heraus, dass die Herstellerkalibrierung ausreichend gut im Sand übereinstimmte, jedoch für die anderen Substrate als „[…] *in krassen Fehlern* […]" resultierend beschrieben wurde. Der Sensor reagierte signifikant auf Temperatureinflüsse, was sich bei Erhöhung des absoluten Wassergehaltes verstärkte. Die Autoren merkten an, dass Böden mit Eigenschaften, die von niedrigen Wassergehalten, Trockendichten und elektrischen Leitfähigkeiten sowie niedrigen Temperaturvariationen abweichen, dazu neigen, spezifische Kalibrieransätze zu erfordern.

Der Hersteller weist auf die Temperaturempfindlichkeit der Sensoren hin und gibt eine Temperaturkorrekturgleichung an [C-4] (CAMPBELL SCIENTIFIC, 1998, S.4).

$$\theta_{\text{v corrected}} = \theta_{\text{v uncorrected}} \ (\text{T - 20}) * \text{Coef}_{\text{temperature}} \quad \textbf{[C-4]}$$

mit: $\text{Coef}_{\text{temperature}} = -3{,}46*10^{-4} + 0{,}019\theta_v - 0{,}045\theta_v^2$
θ_v….Wasseranteil
T.....Temperatur

Die Temperatursensitivität wurde auch von STENGER et al. (2005, S.609) und KIM und BENSON, (2002 S.19) beobachtet, wobei die Anwendung der Temperaturkorrektur [C-4] meist nicht zufrieden stellend war. Da Sensormessungen in Luft keine Temperaturabhängigkeiten indizieren, wird angenommen, dass diese nicht auf die elektronischen Komponenten des Sensors sondern auf bodenspezifische Eigenheiten zu schließen seien. STENGER et al. (2005, S.608) heben hervor, dass der höhere Einfluss von umgebenden Faktoren auf die Sensoren auf die niedrigen Frequenzen zurückzuführen ist. Auf die Notwendigkeit der Kalibrierung wird wiederholt deutlich hingewiesen.

C.4 Sensorkalibrierung

C.4.1 Allgemeine Grundlagen

Die Genauigkeit von Bodenwassergehaltsmessungen hängt einerseits von der Messgenauigkeit des jeweils verwendeten Sensors und andererseits von der Kalibrierung, die zur Umrechnung des gemessenen Signals in den Wassergehalt θ_v verwendet wird, ab. Für die Umrechnung wird eine mathematische Beziehung zwischen dem Sensoroutput und θ_v von empirisch gesammelten Werten hergestellt. Die je nach Beschaffenheit der Daten bestangepasste Kurve, die diese Daten beschreibt, wird, wie von MALICKI (1996, S.357) definiert, als Umrechnungsfunktion herangezogen.

ARMITAGE und COLTON (1998, S.461f)) definieren die Kalibrierung als inverse Regression und beschreiben sie als Zweistufenexperiment, bestehend aus der Kalibrierungsstufe und der inversen Vorhersagestufe. Dabei wird in der Regel die Messgröße als abhängige Variable *y* gewählt und ihre Art der Abhängigkeit von der unabhängigen Variable *x* (im konkreten Fall der Wassergehalt θ_v) über eine Regressionsanalyse festgestellt. In der Kalibrierungsstufe wird damit die Regressions- oder Kalibrierungsfunktion erarbeitet. In der inversen Vorhersagestufe wird davon die inverse Form als Auswertungs- oder Vorhersagefunktion abgeleitet, die schließlich dazu dient, unbekannte Werte x_0 einer neuen Stichprobe durch Messungen von y_0 zu schätzen. Vereinfacht ausgedrückt wird die Auswertungsfunktion zur Rückrechnung der Sensorwerte auf den Wassergehalt verwendet.

Für einfache Böden sind die mathematischen Zusammenhänge als simple Kurven in Form von Polynomen 2. und 3. Ordnung, die den Vorteil bieten, dass die Bestimmung zusätzlicher Bodenparameter nicht erforderlich ist, meist gut beschreibbar. TOPP et al. (1980, S.580) erarbeiteten für mineralische Böden bei Wassergehalten < 0,5 m^3m^{-3} θ_v eine universell anwendbare, kubische Funktion mit θ_v als von ε_s abhängige Variable, die auf rein empirischen Beobachtungen beruhte und oftmals evaluiert und bestätigt wurde ([C-2], s. Kap. C.2).

Aufbauend auf die Topp-Gleichung werden für Böden komplexerer Natur häufig theoretische Modelle herangezogen, die bodenphysikalische Eigenschaften in Betracht ziehen. In Mehrphasenmischmodellen wird angenommen, dass sich der Boden aus zufällig verteilten Konstituenten mit spezifischen dielektrischen Eigenschaften zusammensetzt. Über Geometriefaktoren werden weniger leicht evaluierbare Parameter wie der Porenanteil oder die Dielektrizitätszahl des Bodens geschätzt (WOODHEAD et al. 2003; TOMER et al., 1999; DIRKSEN UND DASBERG, 1993; ROTH et al., 1990).

Spezifische Beziehungen zwischen ε_s und θ_v sind nach QUINONES UND RUELLE (2001, S.205) zweckdienlicher als universelle Kalibriergleichungen. Die Notwendigkeit der individuellen Sensorkalibrierung speziell bei abweichenden bodenphysikalischen Eigenschaften sprechen auch andere Autoren an (STENGER et al., 2005, S.612ff; LOISKANDL et al., 2003, S.204; TOMER, 1999, S.781; WEGEHENKEL, 1998, S.582; JACOBSEN und SCHJØNNING, 1993a, S.159), wobei unterschiedliche Methoden zum Einsatz kommen (WALKER et al., 2004; GONG et al., 2003, S.3603f; PONIZOVSKY et al., 1999, S.37f; O'CONNOR und DOWDING, 1999, S.55f; PERDOK et al., 1996, S.368f; HEIMOVAAR, 1993, S.110f). Es gilt, vom untersuchten Substrat unterschiedliche Feuchtegrade herzustellen, um Datenpaare von den jeweiligen Messwerten und Wassergehalten zu erhalten.

Viele Autoren setzen die Datenpaare in Beziehung, indem ε_s oder der Messwert als vom herrschenden Wassergehalt abhängige Variable gewählt werden (WOODHEAD, 2003, S.209ff; LIN 2003, S.727; SEYFRIED und MURDOCK, 2001, S.31; ROTH et al. 1990, S.2269; JACOBSEN und SCHJØNNING, 1993a, S.150; CAMPBELL, 1990, S.335; PERDOK et al., 1996, S.369; PONIZOVSKY, 1999, S.38; DIRKSEN und DASBERG, 1993, S.662; WHITE et al., 1994, S.507). In anderen Arbeiten sowie vom Hersteller des CS 615 WCR wird θ_v als abhängige Variable verwendet und als Funktion des jeweiligen Messwertes ausgedrückt (STENGER et al., 2005, S.610; CHANDLER et al., 2004, S.1503; QUINONES et al., 2003, S.210; CAMPBELL SCIENTIFIC, 2002-2004, S.27ff, 2002, S.6, 1998, S.8; KIM und BENSON, 2002, S.56f; QUINONES und RUELLE, 2001, S.40; TOMER et al., 1999, S.780; WILPERT et al. 1997, S.180; ELLER und DENOTH, 1995, S.140f). Es geht jedoch in keiner der genannten Publikationen hervor, ob die wie oben nach ARMITAGE und COLTON (1998, S.461f) beschriebene Zweistufigkeit der Kalibrierung eingehalten wurde bzw. ob die dargestellten Kalibrierungsfunktionen den inversen Vorhersagefunktionen entsprechen.

C.4.2 Publizierte Kalibrierungen für den CS 615 Water Content Reflectometer

3-Phasen-Misch-Modell nach VELDKAMP & O'BRIEN (2000)

VELDKAMP & O'BRIEN (2000, S.1550) kalibrierten CS 615-Messfühler für sehr feuchte Böden (θ_v > 0,5 m^3m^{-3}) mit hohen Tongehalten (> 60 %). Aufbauend auf das physikalische Modell von ROTH et al. (1990, S.2268f) gehen die Autoren davon aus, dass der Sensoroutput aus der dieelektrischen Wechselwirkung der unabhängigen Konstituenten im Boden, der Bodenmatrix, Wasser und Luft, resultiert. Der Porosität wird dabei die Funktion einer Trennkomponente zwischen Bodenmatrix und den mit Wasser bzw. Luft gefüllten Bodenporen zugeteilt. Der Geometriefaktor α erklärt die spezifische Bodenstruktur und definiert die Form der Gleichungskurve.

Der Sensoroutput Perw,s,a der Gleichung [C-5] entspricht den jeweiligen Dieelektrizitäts-konstanten der festen, flüssigen und gasförmigen Phase aus ROTH's Gleichung (1990, S.2268) als fixe Komponenten, für die lt. SUMNER (2000, S.A-61) als häufige Konstanten ε_W = 81, ε_S = 4 und ε_a = 1 verwendet werden bzw. sich für α = 0,5 eine Kurve ähnlich dem Polynom 3. Ordnung nach TOPP et al. (1980, S.580) für Wassergehalte < 0,5 m^3m^{-3} θ_v erhalten wird.

$$\theta = \frac{\left[x^{\alpha} - (1-\phi)Per_s^{\alpha} - \phi Per_a^{\alpha}\right]}{\left(Per_w^{\alpha} - Per_a^{\alpha}\right)} \qquad \textbf{[C-5]}$$

mit:
θ……Wasseranteil
χ……Sensor Output [msec]
α……Geometriefaktor
ϕ……Porenanteil

Per_s…….spezifischer Sensoroutput für die Bodenmatrix [msec]
Per_a…….spezifischer Sensoroutput für Luft [msec]
Per_w…….spezifischer Sensoroutput für Wasser [msec]

VELDKAMP und O'BRIEN (2000, S.1551) halten fest, dass dem skalierten Sensoroutput (Frequenz in Hz) keine bodenphysikalische Bedeutung zugeschrieben wird. Demnach kann kein theoretischer Wert für die drei Bodenphasen abgeleitet werden. Jedoch ergeben Messungen in Wasser bzw. Luft spezifische Sensoroutputs für diese beiden Phasen (Per_w und Per_a). Den Parameter für die Bodenphase sowie den Geometriefaktor α leiten die Autoren empirisch über das 3-Phasen-Misch-Modell ab, wobei sie die Methode der kleinsten Quadrate zur Parameteroptimierung verwenden.

VELDKAMP und O'BRIEN (2000, S.1552f) merken an, dass der Offset von der Standardkalibrierung nicht linear ist, weshalb diese Funktion für ihre Böden mit Tongehalten über 65 % bei Porenanteilen von > 0,58 und Trockendichten zwischen 0,75 und 1,097 nicht anwendbar ist.

Per_s und Per_a wurden soweit optimiert, dass die Quadratsummen der Differenzen zwischen gemessenen und berechneten Wassergehalten minimiert wurden. Sie erhielten bessere Ergebnisse bei separater Kalibrierung der oberen und der unteren Bodenschichten. Der negative Wert für α im Vergleich zu anderen Mischphasenmodellen für TDR werden durch die abweichende Kurvenform des Sensors erklärt. Die Unterschiede in Per_s für die verschiedenen Bodenschichten werden auf die unterschiedlichen organischen Anteile zurückgeführt und nicht auf die Porosität, da diese bereits in der Partition zwischen der Bodenmatrix und den Poren enthalten ist und demnach diese Unterschiede wahrscheinlich nicht verursacht.

Die Autoren heben den Vorteil von Mischmodellen gegenüber empirischen Kalibrierfunktionen hervor, da die Porosität für die volumetrische Partitionierung innerhalb der Bodenkomponenten bereits enthalten ist, wodurch das Modell weitläufiger anwendbar ist. Die limitierte Anwendbarkeit des Sensors für Böden mit hohem Tongehalt bzw. viel organischer Substanz kann ihrer Meinung nach über das 3-Phasen-Misch-Modell gelöst werden, da die robustere Kalibrierfunktion bodenphysikalische Eigenschaften mitberücksichtigt. Für die vorliegenden Daten kann das Modell nicht verwendet werden, da die erhaltenen Sensorperioden im untersuchten Boden höhere Werte als für reines Wasser ergaben.

Kalibriervergleich verschiedener Böden von SEYFRIED und MURDOCK (2001)

Für ihre getesteten Böden konnte von SEYFRIED und MURDOCK (2001, S.31) für den CS 615 WCR bei gleichem Wassergehalt eine Rangreihe erstellt werden in Bezug auf die Messwerte τ [msec], wodurch die Notwendigkeit einer bodenspezifischen Kalibrierung klar demonstriert wurde. Ausschließlich die Messungen in Sand stimmten mit der Herstellerkaliberierung überein.

Die Autoren stellten einen kleinen, statistisch signifikanten Effekt der Temperatur auf den Output fest, wobei dies der Messelektronik zugeordnet wurde, da ε_b in Luft temperaturunabhängig ist. Mit der Standardkalibrierung des Herstellers resultierte dies in Unterschieden von etwa 0,02 m^3m^{-3} θ_v, was meistens vernachlässigbar ist und aufgrund der linearen Abhängigkeit leicht korrigiert werden kann.

Der Temperatureinfluss erhöhte sich bei hohem θ_v linear und wurde für alle Böden festgestellt. Dabei war aber der Unterschied mittels der Herstellerkalibrierung viermal so hoch wie bei den spezifischen Kalibrierungen. In trockenen Böden konnte dieser Effekt durch die Temperaturkorrektur des Herstellers gut ausgeglichen werden. Die Autoren folgten dem Ansatz von PEPIN et al. (1995) und verwendeten deren Mehrphasenmischmodell [C-6] mit Werten von DASBERG und HOPMANNS (1992), um die Dielektrizitätskonstante des Bodens (K_α^β) zu errechnen.

$$K_a^\beta = V_w \varepsilon_w (T)^\beta + V_m \varepsilon_m^\beta + V_a \varepsilon_a^\beta \quad \textbf{[C-6]}$$

Die primäre Ursache für Unterschiede wird Interaktionseffekten zwischen flüssiger und fester Phase, insbesondere an der Oberfläche der Feststoffe, zugeteilt, die die Rotationsfreiheit von adsorbiertem Wasser einschränkt. Dementsprechend erhöht sich das gebundene Wasser bei größeren Oberflächen (wie z.B. bei Ton) und ε_b erniedrigt sich. Allerdings wurde das Gegenteil beobachtet und daher andere Mechanismen vermutet, die die Unterschiede auslösten. Gebundenes Wasser wird freigesetzt, wenn sich die Temperatur erhöht. Damit steigt ε_b. Das Ausmaß der Temperaturabhängigkeit stuften die Autoren bei WCR als höher als bei TDR-Sensoren ein.

Vergleich verschiedener Laborkalibrierungen nach QUINONES und RUELLE (2001)

Die Autoren weisen darauf hin, dass die Beziehungen publizierter Kalibrierungen und solchen, die von den jeweiligen Herstellern zur Verfügung gestellt werden, für viele Böden nicht zufrieden stellend und daher spezifische Kalibrierungen erforderlich sind. Sie stellen schnell durchführbare, computerunterstützte Methoden vor: die schrittweise Befeuchtung einer trockenen Zylinderprobe, die kontinuierliche Erhöhung des Wassergehaltes durch Wasserzufuhr von oben sowie die progressive Einführung der Sensoren in ein homogen feuchtes Substrat, wobei für die jeweils eingetauchte Länge x ein äquivalenter θ_v nach [C-7] berechnet wurde.

$$\theta_2 = \frac{x}{L}\theta_1 \quad \text{[C-7]}$$

mit: θ_1....gravimetrisch erhobener Wassergehalt bei Sättigung
θ_2....gemessener Wassergehalt

Diese Kalibrierung basiert auf der Hypothese der linearen Integration des Signals entlang der Sensorstäbe. In Anlehnung an den Hersteller wurden Polynome 2. Ordnung über die Schwingungsdauer τ und θ_v den Daten eingepasst, wobei mehr als 99 % der Variabilität durch das Modell erklärt werden konnten. Die Polynomgleichungen [C-8] und [C-9] für aeolischen Sand waren hoch signifikant korreliert und stimmten gut mit konventionellen Methoden bzw. gravimetrischen Feldmessungen überein.

$$y = -0{,}1877x2 + 0{,}9412x - 0{,}5963 \quad \textbf{(schrittweise Substratbefeuchtung)} \quad \textbf{[C-8]}$$

$$y = -0{,}1561x2 + 0{,}8497x - 0{,}5339 \quad \textbf{(kontinuierliche Sensoreinführung)} \quad \textbf{[C-9]}$$

QUINONES und RUELLE (2001, S.34) schlossen natürliche oder künstliche Trocknung der Zylinderproben aus, da sie einen wichtigen achsensymmetrischen Feuchtigkeitsgradienten beobachteten. Unter solchen Umständen korrelieren die Messungen nicht mit dem mittleren Wassergehalt der Bodenprobe aufgrund der Zylindercharakteristik und seinen Einfluss auf die Messsensorik.

Kalibrierevaluierung unter Berücksichtigung der elektrischen Leitfähigkeit von KIM und BENSON (2002)

WCR wurden zum Monitoring von 28 verschiedenen Böden unterschiedlicher Texturen verwendet. In einem ersten Schritt wurde der Einfluss der Größe der Probenzylinder getestet. Es stellte sich heraus, dass die Sensorperioden zunahmen bei Vergrößerung der Zylinderdurchmesser bis 150 mm, sich jedoch bei weiterer Vergrößerung auf 300 mm nicht

mehr wesentlich veränderten. Damit wurden Durchmesser ab 150 mm als ausreichend für die Kalibrierung akzeptiert.

Für die Kalibrierung wurden Zylinderproben unterschiedlicher Feuchtigkeitsstufen hergestellt. Um zusätzlich den Temperatureffekt zu überprüfen, wurden die Proben gekühlt oder erwärmt. Mittels Kovarianzanalyse wurde der Kurvenanstieg einer generellen Kalibrierung mit den individuellen Kalibrierungen verglichen und auf statistische Unterschiede überprüft.

Sowohl lineare als auch quadratische Funktionen stellten sich als gut korreliert heraus. Aufgrund ausreichender Verlässlichkeit und einfacherer Handhabung verwendeten KIM und BENSON (2002, S.49) die linearen Zusammenhänge für die Kalibriertests.

Ihre Kalibrierkurven zeigten weniger steile Anstiege als die Herstellerkalibrierungen. Höhere elektrische Leitfähigkeiten, die typisch bei höheren Tongehalten, organischen Gehalten, Fließgrenzen und Plastizitätsindizes auftraten, verursachten höhere Sensorperioden. Damit korrespondierten niedrigere Kalibrierkurven. Die Tonfraktion wurde als einflussreicher interpretiert als die Schlufffraktion, da mit zunehmenden Fein- und Tonanteilen der Anstieg der Kalibrierkurven kleiner wurde. Zusätzlich stellten die Autoren fest, dass τ bei Erhöhung der Temperatur fast linear anstieg. Dieser Effekt war jedoch streng substratabhängig.

WCR-Neutronensonden-Vergleichsmessungen von QUINONES et al. (2003)

QUINONES et al. (2003, S.206ff) führten zusätzlich zu den in QUINONES und RUELLE (2001) bereits vorgestellten Laborkalibrierungen an verschiedenen Böden Vergleichsmessungen mit Neutronensonden durch. Für starke Tonböden musste aufgrund der mangelnden Handhabbarkeit die erste Methode der Laborkalibrierung ausgeschlossen werden. Die erhaltenen Polynome [C-8] und [C-9] korrelierten gut für alle Bodentypen.

Bei den Feldmessungen wurden nicht signifikante Messunterschiede zwischen der WCR-Methode und der Neutronensonde bzw. den gravimetrisch ermittelten Wassergehalten festgestellt, wobei die Daten der Laborkalibrierung des CS 615-WCR mit den Feldmessungen gut übereinstimmten. Die Herstellerkalibrierung überschätzte den Anstieg der Bodenfeuchtigkeit.

Die Autoren meinen, dass es unmöglich erscheint, die Einflüsse von Temperatur, Textur und Struktur sowie Boden- und Bodenwassereigenschaften auf die elektromagnetische Wellenausbreitung im Sensor quantitativ zu evaluieren und zu erfassen. Sie weisen darauf hin, dass für die meisten Böden die Anwendung genereller Kalibrierbeziehungen nicht angemessen ist und die Erarbeitung empirischer Beziehungen spezifisch für jeden Boden notwendig ist. Ihre Kalibrierungen, die über schwierige, langsame und komplexe Prozesse erarbeitet wurden, ermutigen nicht zur generalisierten Anwendung.

WCR-Kalibrierung über TDR-Messungen von CHANDLER et al. (2004)

CHANDLER et al. (2004, S.1502ff) testeten kontinuierliche CS 615 WCR-Messungen gegenüber punktuellen TDR-Messungen und verifizierten mittels Laborkalibrierung. Die Zusammenhänge wurden mittels linearen Regressionen quantifiziert mit dem TDR-Signal als abhängige Variable, da die quadratischen Beziehungen keine bessere Anpassung ergaben. Der Maximum Standard Error der individuellen Vorhersagewerte wurde benutzt, um Unsicherheiten der Feldmessungen zu schätzen.

Generell resultierten höhere Tongehalte in höherem τ. Für individuelle Sensorkalibrierungen entsprachen einfache lineare Modelel den Daten besser als die Standardkalibrierung des Herstellers.

Nach CHANDLER et al. (2004, S.1507) variieren WCR–Kalibrierungen entsprechend den unterschiedlichen Bodeneigenschaften, wobei Abweichungen dazu neigen, sich bei Vergrößerung der Tongehalte zu erhöhen bzw. auch sensorspezifische Variationen möglich

sind. TDR-WCR-Kalibrierungen sind in Böden höherer Leitfähigkeiten oder Tongehalten unrealistisch. Inter-Sensor-Variabilität kann aber ausreichend gut kalibriert werden. Nach den Autoren müssen Vor- bzw. Nachteile von der destruktiven gravimetrischen Methode bzw. Kostenaufwand der TDR-Messung abgewogen werden. Inhomogene Konditionen in Bezug auf Vegetation, Horizontierung, Tongehalt etc. können die Kalibrierungen wesentlich beeinflussen.

Ssensorvergleich von WALKER et al. (2004)

Aufgrund mangelnder Erfahrungen mit quantitativen Vergleichsmessungen verschiedener Messtechniken wurden unterschiedliche Sensoren (Virrib, Trase-TDR, CS 615-WCR sowie thermogravimetrische Messungen) in einer Feldstudie getestet. Vom CS 615-WCR wurden θ_v bis 0,7 m^3m^{-3}, die für die untersuchten Böden bei Porenanteilen von 0,6 unrealistisch waren, aufgezeichnet. Dabei wurden in nassen Perioden höhere Gehalte als bei den Vergleichssensoren und in trockenen Perioden niedrigere Wassergehalte beobachtet, was auf die geringe Positionstiefe im Boden zurückgeführt wurde. Zwischen CS 615 und den vergrabbaren TDR-Sensoren (Trase) wurde gute Übereinstimmung festgestellt.

Die Autoren interpretierten Messunterschiede teilweise durch die Bodenstörung während der Sensorinstallation, die auch noch 9 Monate später zuordenbar war, andere Unterschiede v.a. für die TDR-Systeme wurden auf zu geringen Bodenkontakt der Messfühler zurückgeführt, was sich bei Sensoren mit drei Messfühlern stärker auswirkte als Sensoren mit 2 Messfühlern wie z.B. CS 615.

Lysimeterversuche von STENGER et al. (2005)

STENGER et al. (2005, S.608ff) führten ein Monitoring des Bodenwassergehaltes mittels CS 615 WCR in einem Lysimeter-Versuch durch. U.a. wurden Tonböden mit 50 und 70 % Tongehalten mit vorwiegend Smektiten als Haupttonmineralkomponente getestet. Zur Verifikation wurden der RMSE (root mean squared error) als Maß für die Streuung der Residuen unter Berücksichtigung der mittleren Werte verwendet. Die durchschnittliche Diskrepanz zwischen Vorhersagen und Beobachtungen wurde als ME (mean error) angegeben, wobei bei ME von 0,0 % sich Über- und Unterschätzungen aufhoben bzw. kein Bias vorhanden war.

Bei der Laborkalibrierung zeigte der Tonboden eine systematische Messabweichung mit Überschätzungen von 0,1 m^3m^{-3} θ_v. Die Standardkalibrierung des Herstellers überschätzte θ_v bis 0,29 m^3m^{-3}. Sehr hohe Perioden bis 2,4 msec wurden im dritten Horizont des Gley-Lysimeters gemessen. Für den Gley waren ME und RMSE höher als für die anderen Böden. Die Herstellertemperaturkorrektur war unpassend für die getesteten Böden bzw. Wassergehalte. Höhere θ_v ergaben sich, wenn die Temperatur unterhalb der Referenztemperatur von 20° lag. Darüber führte die Temperaturkorrektur zu niedrigeren Gehalten, was im Zusammenhang mit der quadratischen Kalibrierfunktion gesehen wird.

Bei Vergleichsmessungen zwischen einzelnen Sensoren innerhalb eines Horizontes wurden Maximalunterschiede bis nur 0,14 msec erfasst. Die Inter-Sensor Variabilität war in Wasser höher als in Luft mit Standardabweichungen von 0,05 msec.

Die Autoren erarbeiteten horizont- und profilspezifische quadratische Gleichungen, wobei jedoch die meisten linearen Fits ohne Bias nur marginal schlechter waren als die quadratischen. Die Laborkalibrierungen waren in der Regel konvex im Gegensatz zu den konkaven Standardkalibrierungen des Herstellers. Die Autoren führten die konvexen Formen auf andere dieelektrische Eigenschaften der organischen Substanz v.a. in den oberen Horizonten zurück. Für den Gley wurden Reduktions- und Oxidationsprozesse, dabei v.a. die Eisenausscheidungen als ausschlaggebend interpretiert.

C.5 Material und Methoden

C.5.1 Bodenfeuchtigkeitsmessungen

Für die permanente Aufzeichnung der Bodenfeuchtigkeit in der Stambachmure wurden Water Content Reflectometer der Marke Campbell CS 615 verwendet (Campbell Scientific, Inc., Leicestershire, UK, Abb. C-1), die an die Datenlogger, Modell EMS Minicube VF (EMS Brno, Brünn, CZ), angeschlossen wurden. An jeder der drei Bodenstationen gemäß den Pflegevarianten V1, V2 und V3 (vergl. BLOCK D Kap. D.3.1) wurden die Bodenfeuchtigkeits-sensoren in zwei Messpunkten vertikal in den Bodentiefen 0 – 30 cm und 30 – 60 cm installiert (Abb. C-2).

Abb. C-1: Campbell CS 615 Water Content Reflectometer

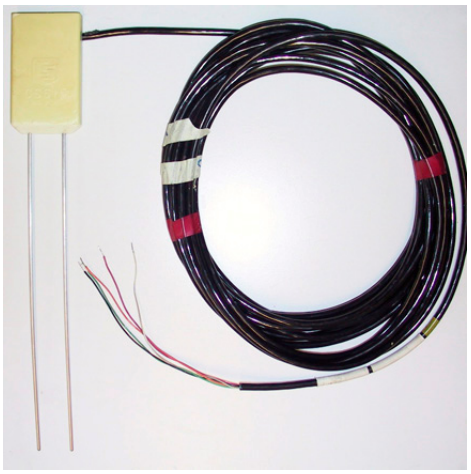


Abb. C-2: Platzierung der CS 615-Sensoren in den Bodenschichten 0-30 und 30 – 60 cm

Da bereits während der ersten Feldbegehungen starke Messunterschiede zwischen den einzelnen Sensoren beobachtet wurden, wurde die Kalibrierung getrennt nach Subsets entsprechend den einzelnen Messpunkten und –tiefen (Tab. C-1) durchgeführt

Tab. C-1: Beschreibung der Subsets für die Sensorkalibrierung

Subsets	Variante	Beschreibung	Sensortiefe
V1 0-30cm	V1	Teilreduktion des Erlenbestandes um etwa 70 %	0 - 30 cm
V1 30-60cm	V1	Teilreduktion des Erlenbestandes um etwa 70 %	30 - 60 cm
V2 0-30cm	V2	Vollreduktion aller Erlen mit Brusthöhendurchmesser > 4cm	0 - 30 cm
V2 30-60cm	V2	Vollreduktion aller Erlen mit Brusthöhendurchmesser > 4cm	30 - 60 cm
V3 0-30cm	V3	Null-Variante ohne Pflegeeingriffe	0 - 30 cm
V3 30-60cm	V3	Null-Variante ohne Pflegeeingriffe	30 - 60 cm

Zur gravimetrischen Bodenwassergehaltsbestimmung wurden ungestörten Zylinderproben nach geometrischer Horizontierung in Stufen von 10 cm entnommen und im Labor bei 105° C getrocknet. Der Wasseranteil θ_v wurde mit der Formel [C-10] errechnet. Um θ_v mit den Sensorwerten $\theta_{v\,Cs615}$ vergleichen zu können, wurden die Werte für die Bodenschichten 0 – 30 cm und 30 – 60 cm gemittelt.

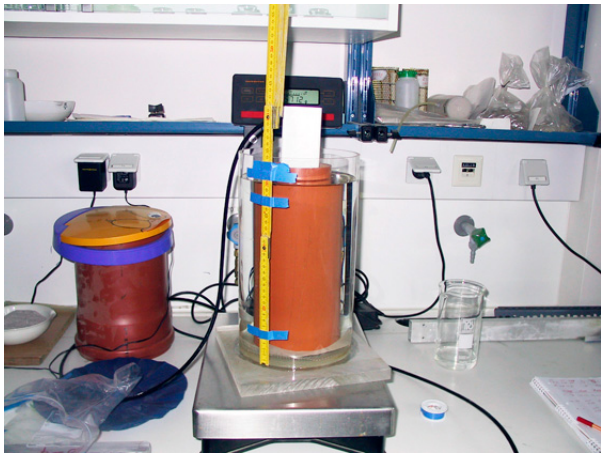
$$\theta_v = \frac{m_w}{\rho_w * V} \qquad \textbf{[C-10]}$$

mit: m_w...Masse Wasser
ρ_w.....Dichte Wasser
V.....definiertes Volumen der Probenzylinder

C.5.2 Laborkalibrierung (LK)

Dazu wurden Mischproben der Varianten V1 und V3 ofengetrocknet und händisch im Mörser aufgemahlen. Das feingemahlene, homogen vermischte Substrat wurde in 35 cm lange Kunststoffrohre mit Durchmessern von 100 mm gefüllt und in Abständen von 5 cm-Schichten mit einem aus konstanter Höhe fallenden Gewicht nachverdichtet (vergl. DIRKSEN, 1999, S.51). Der CS 615-Sensor wurde vorsichtig in der Mitte der Bodensäule eingeführt und an den Datenlogger Modell EMS Minicube VF angeschlossen. Die Bodensäule wurde in einen Plexiglasbehälter gestellt, der mit Wasser gefüllt wurde, und das gesamte Konstrukt auf einer Waage platziert (Abb. C-3). Der durch die zunehmende Aufsättigung hervorgerufene Wasserverlust im Plexiglasbehälter wurde durch Nachfüllen wieder ausgeglichen. Registriert wurden die Volumsveränderungen im Plexiglasbehälter, die Gewichtszunahme durch das Nachfüllen sowie die Sensorwerte über den Datenlogger. Um das Wasser vor Verdunstung zu schützen, wurde der gesamte Behälter mit einer Plastikfolie abgedeckt.

Abb. C-3: Vorrichtung für die Laborkalibrierung



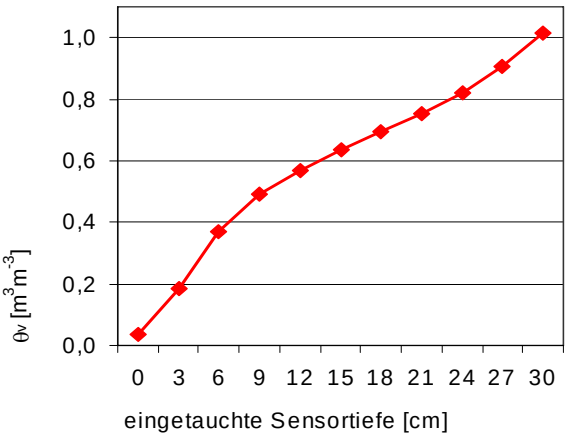


Abb. C-4: Reaktion des CS 615-Sensors in Wasser

Dem Versuch der Laborkalibrierung, die weitgehend in Anlehnung an GONG et al. (2003, S.3603f) durchgeführt wurde, lag die Überlegung zugrunde, mithilfe der Kapillarwirkung die Bodenprobe von unten aufzusättigen, während gleichzeitig die Gewichtsveränderung sowie

der steigende Wassergehalt registriert wurden. Nachteilig im Vergleich zur häufig üblichen Methode der schrittweisen Anfeuchtung der trockenen Probe bis zur Sättigung durch Mischen (QUINONES und RUELLE, 2001, S.5ff., JACOBSON und SCHJØNNING, 1993b, S.148f) ist dabei, dass keine homogene Feuchtigkeitsverteilung innerhalb des Substrates erreicht werden kann. Während der untere Teil der Bodensäule bereits nass ist, bleibt der obere Teil bis zur vollständigen Sättigung trocken. Da im Zuge einer Vorprüfung bei kontinuierlichem Eintauchen des Sensors in Wassers eine annähernd lineare Reaktion festgestellt wurde (Abb. C-4), konnte über diesen Umstand hinweggesehen werden. Jeodch gestaltete sich das gemahlene Probenmaterial bei steigender Feuchtigkeit als auch die feuchten Proben bei Austrocknung als zunehmend unbearbeitbar, womit ein homogenes Mischen und ein wiederholtes Füllen der Probenzylinder unterbunden waren.

C.5.3 Feldkalibrierung (FK 01-03)

Während der Sommerperioden 2001 bis 2003 wurden im Zuge der Feldbegehungen in der Stambachmure wiederholt ungestörte Bodenproben zur Wassergehaltsbestimmung im Labor genommen. Dazu wurden im Umkreis von 2 m von den fix installierten Sonden der Varianten V1 bis V3 Profile bis 60 cm Bodentiefe geöffnet, Zylinderproben in geometrischen Horizonten von 10 cm entnommen und der Wassergehalt θ_v im Labor ermittelt (Kap. C.5.1 und Abb. C-5). Die Werte für die Bodenschichten 0 - 30 cm und 30 – 60 cm wurden gemittelt, um diese mit den zeitlich korrespondierenden Messwerten der vertikal eingebrachten CS 615-Sonden vergleichen zu können.

Auf diese Weise standen insgesamt 35 Datenpaare für eine Feldkalibrierung zur Verfügung, wobei davon jedem Subset nach Tab. C-1 vier bis sechs Datenpaare zugehörig waren (Tab. Annex C - 7). Zusätzlich wurden die bei der Laborkalibrierung ermittelten Sensorwerte für die ofentrockenen Proben als Null-Werte (Kap. C.5.2) herangezogen, wodurch sich der Gesamtstichprobenumfang auf 37 Werte erhöhte.

Abb. C-5: Getrocknete und gesättigte Zylinderproben aus der Stambachmure für die Feldkalibrierung (FK 01-03)

C.5.4 Erweiterte Feldkalibrierung (EFK 2005)

Aufgrund der lokalen Witterungsbedingungen in den Jahren 2001 bis 2002 herrschten in der Stambachmure vorwiegend sehr feuchte Bodenverhältnisse, weswegen im Zuge der Feldkalibrierung (Kap. C.5.3) lediglich ein Feuchtigkeitsbereich von 0,51 bis 0,77 m^3m^{-3} θ_v abgedeckt werden konnte. Die Feldkalibrierung wurde erweitert, um Sensorreaktionen im weniger feuchten Bereich zu erhalten. Dazu wurden Proben definierten Volumens mit ausreichender

Größe zur Installation der Sensoren ausgehend vom feuchten Zustand getrocknet. Gleichzeitig wurde der Gewichtsverlust beobachtet und Sensormessungen durchgeführt.

Abb. C-6: Quaderprobe der erweiterten Feldkalibrierung (EFK 2005)

Abb. C-7: Mess- und Wiegevorrichtung für die erweiterte Feldkalibrierung (EFK 2005)

Im April 2005 wurden von jedem Messpunkt der Varianten V1 bis V3 schmelzwasserfeuchte, großvolumige Proben gestochen und im Labor auf Quader mit Maßen von etwa 34x13x13 cm zugeschnitten (Abb. C-6). Das Volumen der Quader wurde durch exaktes Nachmessen bestimmt und betrug im Durchschnitt 6.260 cm³. Die CS 615-Sensoren wurden entsprechend der vertikalen Position im Gelände in der Mitte der Quader eingeführt. Anschließend wurden die Proben im Trockenschrank bei 50° C schonend getrocknet.

Die Wassergehaltsabnahme im Verlauf der Trocknung wurde gravimetrisch über den Gewichtsverlust bestimmt. Zu jedem Zeitpunkt der Gewichtsregistrierung wurden die Sensoren an den Datenlogger angeschlossen (Abb. C-7) und für jedes Subset nach Tab. C-1 drei Sensorwerte aufgezeichnet, die gemittelt wurden. Somit standen für die erweiterte Feldkalibrierung insgesamt 96 Datenpaare im Feuchtigkeitsbereich < 0,6 m^3m^{-3} θ_v zur Verfügung, wovon je 16 Wertepaare den einzelnen Subsets zuzuordnen sind (Tab. Annex C - 8).

C.5.5 Datenanalysen

C.5.5.1 Kalibriervarianten

In einem ersten Schritt wurden von den Messdaten die Wassergehalte θ_v nach den vom Hersteller angegebenen Kalibriergleichungen für unterschiedliche Leitfähigkeiten (Tab. C-2) errechnet. In weiterer Folge wurde als Standardkalibrierung (CS SK) die vom Hersteller selbst als solche bezeichnete Gleichung für 1,8 dS m^{-1} verwendet.

Für die Daten der Feldkalibrierung (FK 01-03) sowie der erweiterten Feldkalibrierung (EFK 2005) wurden die Beziehungen zwischen den Messwerten und θ_v sowohl für das gesamte Datenset als auch getrennt nach Subsets (vergl. Tab. C-1) in mehreren Schritten überprüft. In Tab. C-3 und Tab. C-4 ist eine Übersicht der Kalibrierungsvarianten mit den jeweiligen Kalibrier- und Vorhersagefunktionen aufgelistet.

Tab. C-2: Kalibriergleichungen für unterschiedliche Leitfähigkeiten nach CAMPBELL SCIENTIFIC (1998, S.9)

Kurzbezeichnung	elektrische Leitfähigkeit [dS m^{-1}]	Kalibriergleichungen
CS SK1	≤ 1,0	$\theta_v(\tau) = -0{,}187 + 0{,}037*\tau + 0{,}335*\tau^2$
CS SK	1,8	$\theta_v(\tau) = -0{,}207 + 0{,}097*\tau + 0288*\tau^2$
CS SK3	3,0	$\theta_v(\tau) = -0{,}298 + 0{,}361*\tau + 0{,}096*\tau^2$

Für die Lineare Regression (LR), die Polyomfunktionen 2. Ordnung (P2) und die Multiplen Regressionen (MR) wurde der Sensoroutput τ als die vom herrschenden Wassergehalt θ_v abhängige Variable verwendet. Die den Daten angepasste Kurve wird als Kalibrierfunktion ausgedrückt und über ihre inverse Form als sogenannte Auswertungsfunktion (vergl. Kap. C.4.1) zur Rückrechnung der Sensorwerte auf den Wassergehalt eingesetzt. Um Vergleiche mit der Standardkalibrierung (CS SK) und der Temperaturkorrekturgleichung (CS TK) des Herstellers (CAMPBELL SCIENTIFIC, 1998, S.8) zu ermöglichen, wurde für die linearen Zusammenhänge (CS L) und die Zusammenhänge 2. und 3. Ordnung (CS P2 und CS P3) θ_v als Funktion des Messwertes τ ausgedrückt. Dem umgekehrten Abhängigkeitsverhältnis entsprechend entfällt die inverse Rückrechnung auf θ_v, da die erhaltenen Koeffizienten direkt in die Kalibrierfunktion eingesetzt werden können.

Für die multiplen Regressionsmodelle wurden die Zusammenhänge des Signaloutputs mit der Bodentemperatur (T) und dem Porenanteil (P) als zusätzliche unabhängige Variablen geprüft.

Tab. C-3: Übersicht der Kalibrierungsvarianten der Feldkalibrierung (FK 01-03)

Proben-material	Kurzbe-zeichnung	Beschreibung	Datengrundlage	abhängige Variable	unabhängige Variablen	Kalibrierungsfunktion	Vorhersagefunktion
FK 01-03 Feldkalibrierung mit Stechzylinderproben von 2001-2003	CS SK	Campbell Scientific Standardkalibrierung (1998)	-	θ_v	τ [msec]	$\theta_{v\,CS615} = -0{,}207 + 0{,}097*\tau + 0{,}288*\tau^2$	
	CS TK	Campbell Scientific Temperaturkorrektur (1998)	-	θ_v	τ [msec]	$\theta_{v\,corr.temp.} = \theta_{v\,uncorr.} - (T\text{-}20)*Coef_{temp}$ mit $Coef_{temp} = -3{,}64*10^{-4} + 0{,}190\theta_v - 0{,}045\theta_v$	
	CS L D	Lineare Funktion in Anlehnung an Campbell Scientific (1998)	gesamtes Datenset	θ_v	τ [msec]	$\theta_v = x*\tau + c$	
	CS L S	Lineare Funktion in Anlehnung an Campbell Scientific (1998)	getrennt nach Subsets	θ_v	τ [msec]	$\theta_v = x*\tau + c$	
	CS P2 D	Polynomfunktion 2. Ordnung in Anlehnung an Campbell Scientific (1998)	gesamtes Datenset	θ_v	τ [msec]	$\theta_v = x*\tau^2 + y*\tau + c$	
	CS P2 S	Polynomfunktion 2. Ordnung in Anlehnung an Campbell Scientific (1998)	getrennt nach Subsets	θ_v	τ [msec]	$\theta_v = x*\tau^2 + y*\tau + c$	
	LR D	Lineare Regression	gesamtes Datenset	τ [msec]	θ_v	$\tau = \theta_v*x + c$	$\theta_{v\ corr.lin.} = (\tau - c)/x$
	LR S	Lineare Regression	getrennt nach Subsets	τ [msec]	θ_v	$\tau = \theta_v*x + c$	$\theta_{v\ corr.lin.} = (\tau - c)/x$
	P2 D	Polynomfunktion 2. Ordnung	gesamtes Datenset	τ [msec]	θ_v	$\theta_v = x*\tau^2 + y*\tau + c$	
	P2 S	Polynomfunktion 2. Ordnung	getrennt nach Subsets	τ [msec]	θ_v	$\theta_v = x*\tau^2 + y*\tau + c$	
	MR T D	Multiple Regression unter Berücksichtigung der Temperatur	gesamtes Datenset	τ [msec]	θ_v, T	$\tau = \theta_v*x + T*y + c$	$\theta_{v\ corr.mult.} = (\tau - T*y - c)/x$
	MR T S	Multiple Regression unter Berücksichtigung der Temperatur	getrennt nach Subsets	τ [msec]	θ_v, T	$\tau = \theta_v*x + T*y + c$	$\theta_{v\ corr.mult.} = (\tau - T*y - c)/x$
	MR P D	Multiple Regression unter Berücksichtigung der Porosität	gesamtes Datenset	τ [msec]	θ_v, P	$\tau = \theta_v*x + P*y + c$	$\theta_{v\ corr.mult.} = (\tau - P*y - c)/x$
	MR P S	Multiple Regression unter Berücksichtigung der Porosität	getrennt nach Subsets	τ [msec]	θ_v, P	$\tau = \theta_v*x + P*y + c$	$\theta_{v\ corr.mult.} = (\tau - P*y - c)/x$
	MR TP D	Multiple Regression unter Berücksichtigung von Temperatur und Porosität	gesamtes Datenset	τ [msec]	θ_v, T, P	$\tau = \theta_v*x + T*y + P*z + c$	$\theta_{v\ corr.mult.} = (\tau - T*y - P*z - c)/x$
	MR TP S	Multiple Regression unter Berücksichtigung von Temperatur und Porosität	getrennt nach Subsets	τ [msec]	θ_v, T, P	$\tau = \theta_v*x + T*y + P*z + c$	$\theta_{v\ corr.mult.} = (\tau - T*y - P*z - c)/x$

Tab. C-4: Übersicht der Kalibrierungsvarianten der erweiterten Feldkalibrierung (EFK 2005)

EFK 2005	Proben-material	Kurzbe-zeichnung	Beschreibung	Datengrundlage	abhängige Variable	unabhängige Variablen	Kalibrierungsfunktion	Vorhersagefunktion
Erweiterte Feldkalibrierung mit Quaderproben von 2005		**CS SK**	Campbell Scientific Standardkalibrierung (1998)	-	θ_v	τ [msec]	$\theta_{v\ CS615}$ = -0,207 + 0,097*τ +0,288*τ^2	
		CS TK	Campbell Scientific Temperaturkorrektur (1998)	-	θ_v	τ [msec]	$\theta_{v\ corr.temp.}$ = $\theta_{v\ uncorr.}$ -(T-20)*Coef $_{temp.}$ mit $\theta_{v\ CS615}$ =-3,64*10^{-4}+0,190$_v$-0,045θ_v	
		CS L D	Lineare Funktion in Anlehnung an Campbell Scientific (1998)	gesamtes Datenset	θ_v	τ [msec]	θ_v = x*τ+c	
		CS L S	Lineare Funktion in Anlehnung an Campbell Scientific (1998)	getrennt nach Subsets	θ_v	τ [msec]	θ_v = x*τ+c	
		CS P2 D	Polynomfunktion 2. Ordnung in Anlehnung an Campbell Scientific (1998)	gesamtes Datenset	θ_v	τ [msec]	θ_v = x*τ^2+y*τ+c	
		CS P2 S	Polynomfunktion 2. Ordnung in Anlehnung an Campbell Scientific (1998)	getrennt nach Subsets	θ_v	τ [msec]	θ_v = x*τ^2+y*τ+c	
		CS P3 D	Polynomfunktion 3. Ordnung in Anlehnung an Campbell Scientific (1998)	gesamtes Datenset	θ_v	τ [msec]	θ_v = x*τ^3+y*τ^2+z*τ+c	
		CS P3 S	Polynomfunktion 3. Ordnung in Anlehnung an Campbell Scientific (1998)	getrennt nach Subsets	θ_v	τ [msec]	θ_v = x*τ^3+y*τ^2+z*τ+c	
		LR D	Lineare Regression	gesamtes Datenset	τ [msec]	θ_v	τ = θ_v*x+c	$\theta_{v\ corr.lin.}$=(τ-c)/x
		LR S	Lineare Regression	getrennt nach Subsets	τ [msec]	θ_v	τ = θ_v*x+c	$\theta_{v\ corr.lin.}$=(τ-c)/x
		P2 D	Polynomfunktion 2. Ordnung	gesamtes Datenset	τ [msec]	θ_v	θ_v = x*τ^2+y*τ+c	
		P2 S	Polynomfunktion 2. Ordnung	getrennt nach Subsets	τ [msec]	θ_v	θ_v= x*τ^2+y*τ+c	
		MR T D	Multiple Regression unter Berücksichtigung der Temperatur	gesamtes Datenset	τ [msec]	θ_v, T	τ = θ_v*x+T*y+c	$\theta_{v\ corr.mult.}$=(τ-T*y-c)/x
		MR T S	Multiple Regression unter Berücksichtigung der Temperatur	getrennt nach Subsets	τ [msec]	θ_v, T	τ = θ_v*x+T*y+c	$\theta_{v\ corr.mult.}$=(τ-T*y-c)/x
		MR P D	Multiple Regression unter Berücksichtigung der Porosität	gesamtes Datenset	τ [msec]	θ_v, P	τ = θ_v*x+P*y+c	$\theta_{v\ corr.mult.}$=(τ-P*y-c)/x
		MR P S	Multiple Regression unter Berücksichtigung der Porosität	getrennt nach Subsets	τ [msec]	θ_v, P	τ = θ_v*x+P*y+c	$\theta_{v\ corr.mult.}$=(τ-P*y-c)/x
		MR TP D	Multiple Regression unter Berücksichtigung von Temperatur und Porosität	gesamtes Datenset	τ [msec]	θ_v, T, P	τ = θ_v*x+T*y+P*z+c	$\theta_{v\ corr.mult.}$=(τ-T*y-P*z-c)/x
		MR TP S	Multiple Regression unter Berücksichtigung von Temperatur und Porosität	getrennt nach Subsets	Porosität für Subsets konstant, wurde daher aus der Analyse gelöscht.			

C.5.5.2 Regressionsstatistik

Die Regressionsanalysen wurden mit dem Programm SPSS Version 12 über die Menüs Lineare Regression und Kurvenanpassung durchgeführt. Das Ergebnisprotokoll beinhaltet die Modellzusammenfassung, die F-Statistik der Varianzanalyse (ANOVA) und die T-Statistik der Koeffizienten (Tab. C-5).

Tab. C-5: Analyseparameter der Regressionsmodelle, der ANOVA und der ermittelten Koeffizienten

	Analyseparameter		Erläuterungen
Modellzusammenfassung	Bestimmtheitsmaß	r^2	Misst den Anteil der erklärten Streuung an der Gesamtstreuung.
	korrigiertes Bestimmtheitsmaß	r^2_{korr}	Berücksichtigt die Anzahl der erklärenden Variablen.
	Standardfehler der Schätzung	SE	
ANOVA	Mittel der Quadrate der Residuen	MS_{Res}	H_0 (Nullhypothese): Alle partiellen Steigungen entsprechen 0. Ist die Regression signifikant (P ≤ 0,05), kann H_0 abgelehnt werden. Es gibt einen statistisch gesicherten Beweis, dass der entsprechende Fit eine nützliche Beschreibung der durchschnittlichen Beziehung darstellt.
	F-Wert		
	P-Wert		
	Signifikanz F	mit α = 0,05	
	Freiheitsgrade mit Regressoren	df	
	kritischer F-Wert	F_{krit}	
Koeffizienten	nicht standardisierte Koeffizienten	B	Ist der Koeffizient signifikant (P ≤ 0,05), kann H_0 abgelehnt werden. Es gibt einen statistisch gesicherten Beweis für einen Einfluss der betroffenen Variablen.
	Standardfehler der Koeffizienten	SE B	
	standardisierte Koeffizienten	β	
	T-Wert	H_0: β=0	
	Signifikanz T	mit α = 0,05	
	95%-Konfidenzintervall der Koeffizienten mit Ober- und Untergrenzen		

Die Modellvoraussetzungen der linearen und multiplen Regression (Tab. C-6) wurden über eine Residuenanalyse geprüft. Die Residuen repräsentieren die Abweichung der Beobachtung vom vorhergesagten Mittel der Schätzung. In Anlehnung an FAHRMEIR et al. (2003, S.12ff) und STAHEL (1999, S.275ff) wurden die Residuen-Diagnoseplots, die im SPSS Ergebnisprotokoll inkludiert sind, zur Analyse herangezogen und interpretiert.

Tab. C-6: Modellvorraussetzungen für die lineare Regression (ARMITAGE und COLTON, 1998, S. 2273, STAHEL, 1999, S.275ff)

Modellannahmen
Normalverteilung der Residuen
Varianzhomogenität der Residuen
Unabhängigkeit der Residuen
Der Erwartungswert der Residuen ist 0.

C.5.5.3 Qualitätsbewertung

Die über das jeweilige Kalibriermodell korrigierten Wassergehalte ($\theta_{v\ CS\ 615}$) werden den wahren, gravimetrisch ermittelten Wassergehalten θ_v gegenübergestellt. Das Bestimmtheitsmaß r^2 dient dazu, die Nähe zur 1:1-Geraden zu beschreiben.

Um die durchschnittliche Diskrepanz zwischen $\theta_{v\ CS\ 615}$ und θ_v auszudrücken, werden ihre Differenzen bezogen auf den Stichprobenumfang, berechnet nach [C-11] und im folgenden Bias genannt, verwendet. ARMITAGE und COLTON (1998, S.303) definieren das Bias als die erwartete Abweichung eines Schätzers von der Quantität, die geschätzt werden soll. Es bezieht sich nicht auf zufällige sondern auf systematische Fehler. Ein Bias von $\theta_v = 0$ bedeutet, dass sich Über- und Unterschätzungen aufheben bzw. dass das Kalibriermodell keinen systematischen Fehler aufweist.

$$Bias = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(\theta_{vCS615i} - \theta_{vi}) \qquad \textbf{[C-11]}$$

Die Standardabweichung σ gibt das Maß für die Streuung der einzelnen Abweichungen um ihren Mittelwert an [C-12].

$$\sigma_{(Bias)} = \frac{1}{n-1}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2} \qquad \textbf{[C-12]}$$

mit: $x_i = \theta_{vCS615i} - \theta_{vi}$

Als Kriterium zur Beurteilung der Qualität der untersuchten Regressionsmodelle wird letztlich die mittlere quadratische Abweichung, im Weiteren als MSE angegeben (engl. „*mean squared error*“), verwendet. Bei statistischen Modellverfahren wird MSE als die Summe der quadrierten Bias und der Varianz bezogen auf den Stichprobenumfang gesehen [C-13]. Der MSE stuft die Qualität eines Schätzers in Bezug auf die Präzision (Streuung) und seinen systematischen Fehler ein. Ein guter Schätzer hat einen kleinen MSE. Es sei angemerkt, dass MSE nicht äquivalent ist mit dem erwarteten Wert des absoluten Fehlers.

$$MSE\left(\hat{\theta}\right) = E\left(\left(\hat{\theta} - \theta\right)^2\right) = Var\left(\hat{\theta}\right) + \left(Bias\left(\hat{\theta}, \theta\right)\right)^2 \qquad \textbf{[C-13]}$$

Der definierte MSE ist eine Zufallsvariable, die selbst üblicherweise über das Mittel der Stichprobe geschätzt werden muss [C-14].

$$MSE\left(\hat{\theta}\right) = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}\left(\theta_{vCS615\,j} - \theta_{vj}\right)^2 \qquad \textbf{[C-14]}$$

mit: θ_j als Realisationen des Schätzers $\hat{\theta}$ der Größe *n*.

Bias und MSE liefern keine Auskunft über die Messabweichungen. Die mittleren absoluten Differenzen von $\theta_{v\ CS\ 615}$ zu θ_v, im Weiteren MD (engl. „*mean difference*“) genannt [C-15], werden daher herangezogen, um die mittleren Abweichungen der über die Kalibriermodelle errechneten $\theta_{v\ CS\ 615}$ zu θ_v zu erfassen.

$$MD = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|\theta_{vCS615i} - \theta_{vi}\right| \qquad \textbf{[C-15]}$$

C.6 Ergebnisse

C.6.1 Laborkalibrierung (LK)

Der Versuch der Laborkalibrierung scheiterte an der Tatsache, dass die geringe Durchlässigkeit eine vollständige Sättigung der Proben vereitelte. Die starke Quellung des tonmineralreichen Substrates (s. BLOCK B Kap. B.5.4) verursachte eine vollständige Verdichtung bereits im unteren Drittel der Bodensäule, weswegen die Prozedur der Aufsättigung nach 4 Monaten unveränderten Wassergehaltes abgebrochen werden musste.

Eine Überprüfung der k-Werte an ungestörten Zylinderproben ergab Durchlässigkeitsbeiwerte << $4{,}5*10^{-7}$ m s^{-1} (s. BLOCK B Kap B.5.3). Das Material erscheint dadurch am ersten Blick nicht besonders dicht, jedoch wurden Werte konnte an einigen Proben kein Durchfluss gemessen werden. Da sich aufgrund der hochplastischen Eigenschaften die Bodensäule bei der Probenentnahme von der Zylinderwand häufig löste bzw. in den Proben zahlreiche Wurzeln waren, ist anzunehmen, dass die höheren Durchlässigkeitsbeiwerte auf Hohlraumbildung innerhalb der Zylinder zurückzuführen sind. In der im Labor aus vorab getrocknetem, fein gemahlenem Substrat hergestellten Bodensäule führte die Aufsättigung des tonigen Materials zu einer raschen Quellung und damit zu einer Volumszunahme, die im Probenzylinder den kapillaren Wasseraufstieg unterband.

Die erzielten Feuchtigkeitsgehalte im Bereich bis nur 0,3 m^3m^{-3} θ_v reichten für eine Kalibrierung nicht aus, da damit der im Gelände vorrangig auftretende Feuchtigkeitsbereich von 0,5 – 0,75 m^3m^{-3} θ_v nicht abgedeckt werden konnte. Die gewonnenen Daten mussten von weiteren Analysen ausgeschlossen werden, jedoch wurden die Sensorwerte für die trockenen Proben für die alternativ dazu eingesetzte Methode der Feldkalibrierung verwendet.

C.6.2 Feldkalibrierung (FK 01-03)

C.6.2.1 Kalibriermodelle

Für die Feldkalibrierung konnten Messdaten von jenen Tagen zwischen 2001 und 2003 herangezogen werden, an denen im Zuge von Feldbegehungen ungestörte Zylinderproben vom Untersuchungsstandort gewonnen wurden und im Labor der Wasseranteil (θ_v) mittels Ofentrocknung bestimmt wurde. Die Zylinderproben wurden immer von jedem der 6 Messpunkte entnommen. Aufgrund der feuchten Standortverhältnisse beschränkt sich die Feuchtigkeitsspanne des verfügbaren Datensatzes auf den Bereich von 0,5 – 0,7 m^3m^{-3} θ_v. Da Bezugspunkte im trockeneren Milieu fehlten, wurden als Nullwerte die für die Laborkalibrierung ermittelten Messwerte in den ofentrockenen Proben herangezogen.

Aus Abb. C-8 geht die Unstimmigkeit zwischen den vom Campbell Sensor CS 615 gemessenen $\theta_{v\ CS\ 615}$ (CS SK) und den per Ofentrocknung ermittelten θ_v deutlich hervor. Bis auf eine Ausnahme liegt eine starke Überschätzung der Sensorwerte vor, wobei die durchschnittliche Abweichung bei 0,191 m^3m^{-3} θ_v liegt (Tab. C-9) und Maximalabweichungen bis 0,67 m^3m^{-3} θ_v, also weit über der 100 %-Grenze auftreten. Die Anwendung der von CAMPBELL SCIENTIFIC (1998, S.4) zur Verfügung gestellten Temperaturkorrektur (CS TK) [C-4] ergibt zwar eine Verbesserung der Daten bei einer Reduktion der mittleren Abweichung auf 0,082 m^3m^{-3} θ_v. Die Maximalabweichung beträgt aber nach wie vor noch 0,34 m^3m^{-3} θ_v. Zusätzlich nachteilig wirkt sich aus, dass θ_v durch die Temperaturkorrektur teilweise unterschätzt wird bei Abweichungen bis zu -0,12 m^3m^{-3} θ_v.

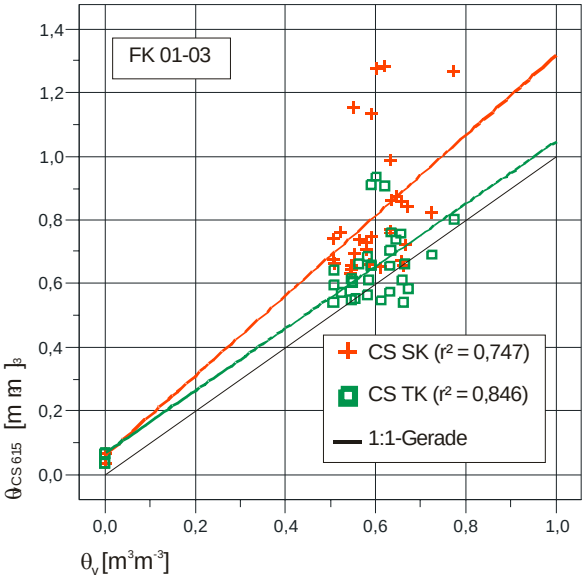


Abb. C-8: Wasseranteil θ_v versus gemessener Wassergehalt θ_{vCS615} gemäß der Standardkalibrierung (CS SK) und der Temperaturkorrektur (CS TK) von CAMPBELL SCIENTIFIC (1998) für die Daten der Feldkalibrierung (FK 01-03)

Die Überprüfung der elektrischen Leitfähigkeiten der Proben für die Laborkalibrierung ergab mit 1,2 bzw. 1,7 dS m^{-1} keine besonderen Anomalitäten (Tab. Annex C - 1), dementsprechend glichen die vom Hersteller zur Verfügung gestellten Gleichungen für abweichende elektrische Leitfähigkeiten die Überschätzungen nicht zufrieden stellend aus (Abb. Annex C - 2). Sowohl die Herstellerkalibrierung für niedrige Leitfähigkeiten CS SK1 als auch die dazugehörige Temperaturkorrektur CS TK1 verschlechtern die Daten. Die Herstellerkalibrierung für höhere Leitfähigkeiten CS SK3 und CS TK3 verbessern die Daten insofern, dass die starken Überschätzungen des Subsets V1 30-60cm abgeschwächt werden, jedoch werden die Werte der übrigen Subsets bis 0,23 m^3m^{-3} θ_v unterschätzt.

Bei Durchsicht der gemessenen Wassergehalte fällt eine auffällig hohe Überschätzung in der Messvariante V1 in 30 – 60 cm Bodentiefe aber auch in den Messvarianten V2 und teilweise in V3 ebenfalls in 30 bis 60 cm Bodentiefe auf. Die Messgenauigkeit der verwendeten 6 Sensoren für Luft liegt bei ±0,0006 m^3m^{-3} θ_v, für Wasser bei ±0,0358 m^3m^{-3} θ_v, Die Vermutung liegt daher nahe, dass die Sensorreaktionen einer standort- bzw. messpunktspezifischen Abhängigkeit unterliegen, weswegen folgende Überlegungen und Analysen einheitlich sowohl für das gesamte Datenset als auch getrennt für 6 Subsets gemäß den 6 Messpunkten im Gelände durchgeführt wurden.

Abb. C-9 zeigt die linearen und quadratischen Zusammenhänge zwischen den Sensoraufzeichnungen (Frequenz umgerechnet in Wellenlaufzeit τ [msec]) als abhängige Variablen und den durch Ofentrocknung ermittelten θ_v als unabhängige Variablen. Aufgrund nicht verfügbarer Werte im trockeneren Bereich sind die Kurvenformen der quadratischen Anpassung nicht eindeutig genug festgelegt, obwohl das Einhängen in den Messwert für die trockene Probe das Polynom fixiert. Zusätzlich zeigen die Kurven der Subsets bis auf V1 0-30 cm und V2 0-30 cm ihr Maximum innerhalb des Messbereiches, was bei der inversen Rückrechnung über die Vorhersagefunktion zwei Lösungen liefert. Zusätzlich besonders auffällig sind die stark voneinander abweichenden Geraden bzw. Kurven der einzelnen Subsets bzw. deren deutlich bessere Bestimmtheitsmaße r^2, die vorläufig zu einer ersten Qualitätsbeurteilung herangezogen werden.

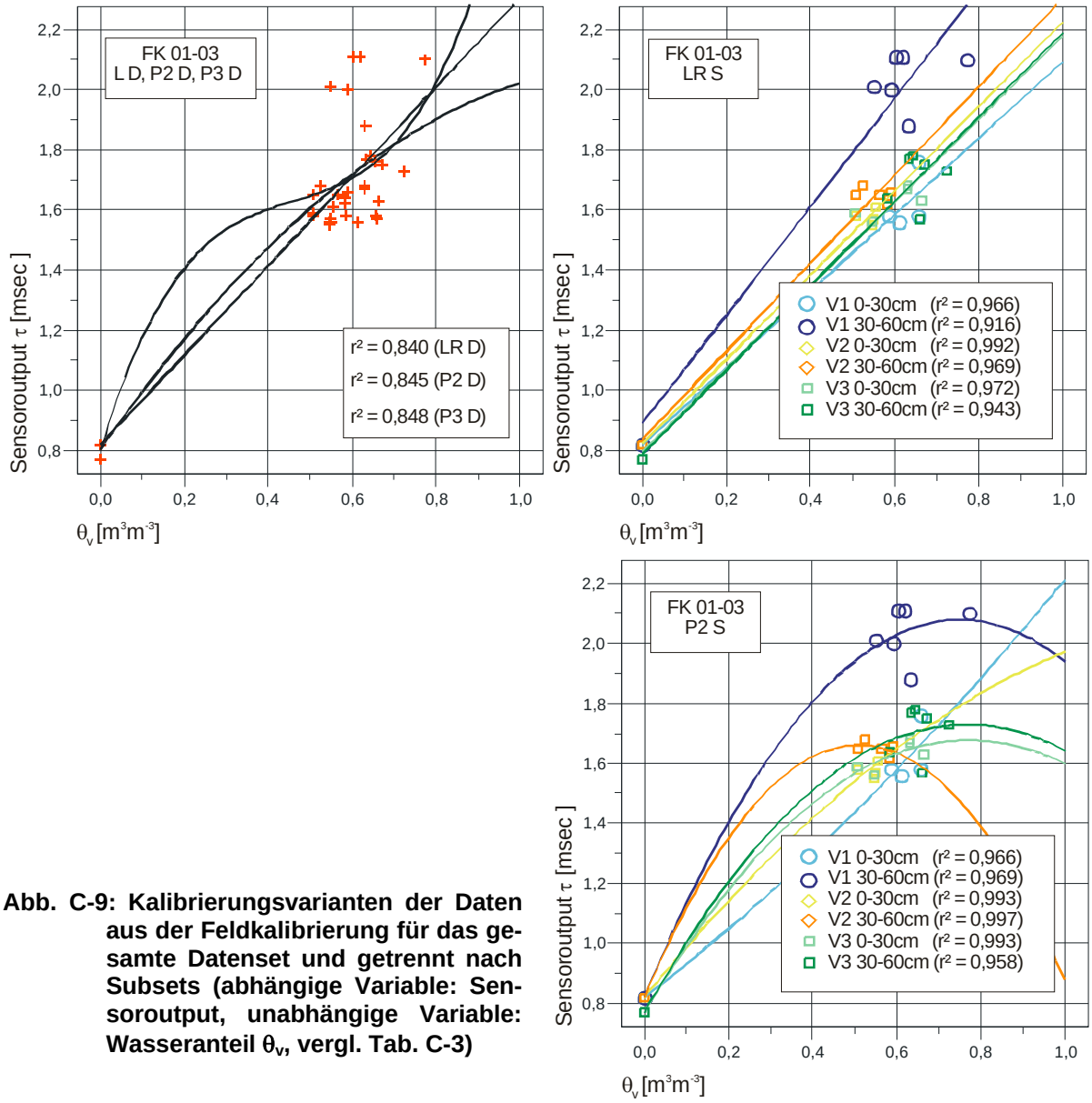


Abb. C-9: Kalibrierungsvarianten der Daten aus der Feldkalibrierung für das gesamte Datenset und getrennt nach Subsets (abhängige Variable: Sensoroutput, unabhängige Variable: Wasseranteil θ_v, vergl. Tab. C-3)

In Anlehnung an die Kalibrierangaben in CAMPBELL SCIENTIFIC (1998, S.8f) wurde der quadratische Zusammenhang zwischen Sensoroutput τ [msec] als unabhängige Variable und θ_v als abhängige Variable überprüft (Abb. C-10). Im Gegensatz zu den Kalibrierkurven von CAMPBELL SCIENTIFIC (1998, S.8) weisen die Polynomkurven 2. Ordnung für beide Abhängigkeitsverhältnisse konvexe Formen auf sowohl für das gesamte Datenset als auch für die einzelnen Subsets. Bei den Subsets V1 0-30cm, V2 30-60cm und V3 30-60cm sowie beim gesamten Datensatz zeigen die quadratischen Kurven im Messbereich ebenfalls ein Maximum. Durch das umgekehrte Abhängigkeitsverhältnis entfällt die Rückrechnung mittels inverser Funktion, für die Berechnung von θ_v werden die Koeffizienten direkt in die Kalibrierungsfunktion eingesetzt. Das Problem von zwei möglichen Lösungen tritt dadurch zwar nicht auf, allerdings unterstellen diese Polynomkurven ein maximales θ_v von etwa 0,7 m^3m^{-3} bzw. liefern zwei Sensorwerte denselben Wassergehalt.

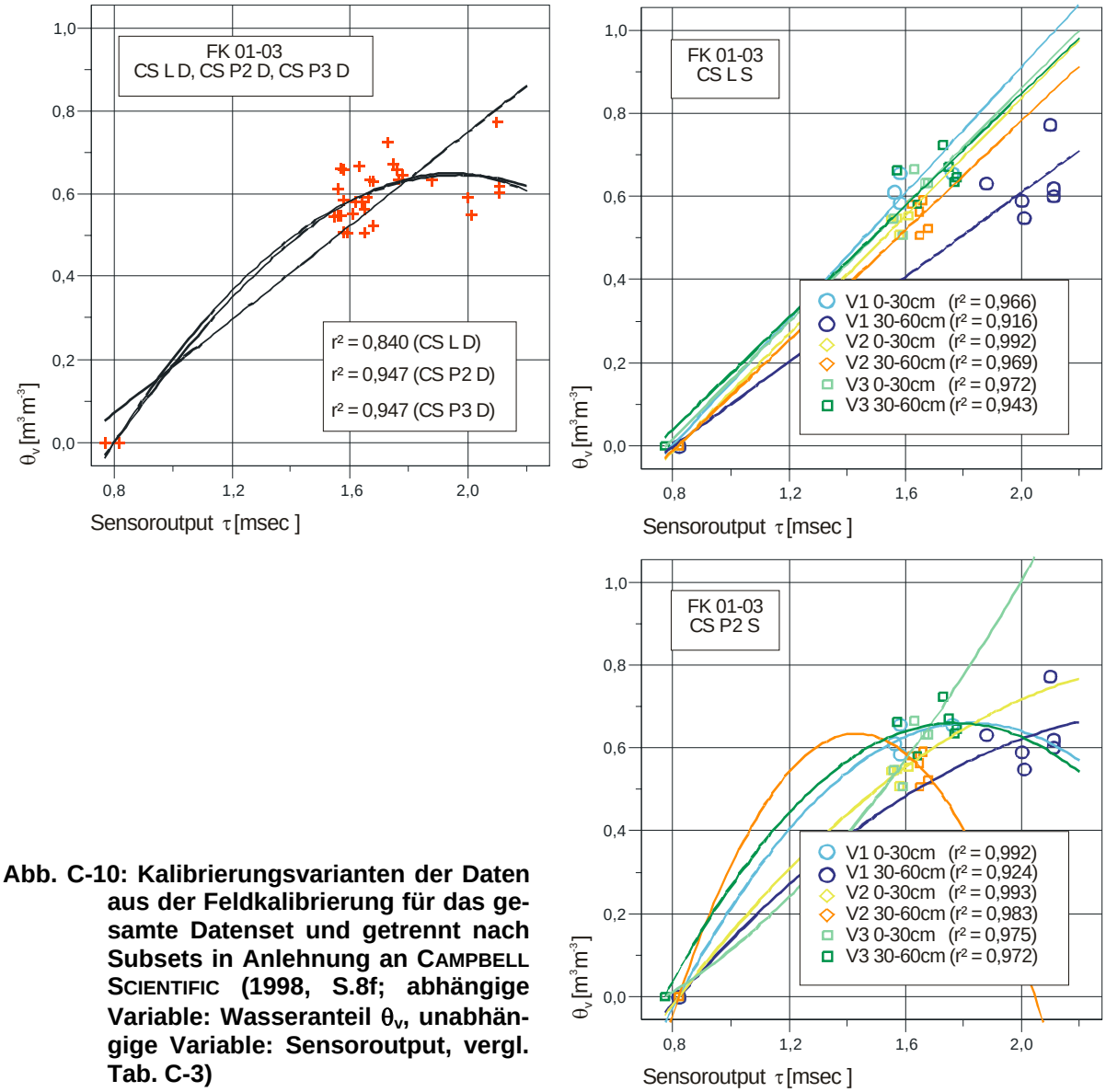


Abb. C-10: Kalibrierungsvarianten der Daten aus der Feldkalibrierung für das gesamte Datenset und getrennt nach Subsets in Anlehnung an CAMPBELL SCIENTIFIC (1998, S.8f; abhängige Variable: Wasseranteil θ_v, unabhängige Variable: Sensoroutput, vergl. Tab. C-3)

C.6.2.2 Regressionsstatistik

Aus den Ergebnissen des F-Testes (Tab. C-7 und Tab. Annex C - 2) lässt sich schließen, dass die untersuchten Modelle eine gute Anpassung der Daten darstellen. Die in den Modellen verwendeten erklärenden Variablen haben demnach einen signifikanten Einfluss auf die Abhängige und scheinen für die untersuchten Vorhersagevarianten geeignet. Lediglich das Subset V1 0-30cm erreicht für die multiplen Regressionsmodelle MR T S, MR P S und MR TP S nicht den geforderten Signifikanzlevel. Im Kalkulator für den kritischen F-Wert nach SOPER (2006) lässt sich dieser nur für die einfachen linearen Modelle berechnen (Tab. Annex C - 1). Die Berechnung schlägt ebenfalls fehl bei der Variante MR TP S für alle Subsets, da aufgrund der eingeschränkten Stichprobenzahl die Anzahl der Regressoren (unabhängigen Variablen) jener der Freiheitsgrade entspricht oder diese übersteigt.

Tab. C-7: Korrigiertes Bestimmtheitsmaß und Signifikanz[11] der Regressionsmodelle aus der F-Statistik (Signifikanzniveau α = 0,05) für die Daten der Feldkalibrierung FK 01-03 (vergl. Tab. C-3)

	r^2_{korr}	FK 01-03						
		CS L	CS P2	LR	P2	MR T	MR P	MR TP
Subsets	V1 0-30	0,954	0,983	0,954	0,932	0,973	0,975	0,992
	V1 30-60	0,900	0,886	0,900	0,953	0,981	0,902	0,871
	V2 0-30	0,990	0,989	0,990	0,988	0,992	0,988	0,984
	V2 30-60	0,961	0,972	0,961	0,996	0,971	0,978	0,968
	V3 0-30	0,966	0,958	0,966	0,988	0,990	0,964	0,977
	V3 30-60	0,932	0,958	0,932	0,938	0,963	0,947	0,967
Datenset gesamt		0,835	0,944	0,835	0,836	0,831	0,837	0,836

	Signifikanz F	FK 01-03						
		CS L	CS P2	LR	P2	MR T	MR P	MR TP
Subsets	V1 0-30	**	**	**	*	n.s.	n.s.	n.s.
	V1 30-60	***	**	***	***	**	**	*
	V2 0-30	***	***	***	***	***	***	**
	V2 30-60	***	**	***	***	**	***	*
	V3 0-30	***	**	***	***	***	**	*
	V3 30-60	***	***	***	**	***	***	**
Datenset gesamt		***	***	***	***	***	***	***

Tab. C-8: Überblick der Signifikanzen[12] der Koeffizienten aus der T-Statistik der ANOVA (Signifikanzniveau α = 0,05) für die Varianten der Feldkalibrierung FK 01-03 (vergl. Tab. C-3)

	Modell-variante	Signifikanz der Koeffizienten	Anmerkungen
FK 01-03	CS L S	***	
	CS L D	***	
	CS P2 S	n.s.	
	CS P2 D	***	
	LR S	**	V2 0-30 ***
	LR D	***	
	P2 S	n.s.	Subsets tw. ** bzw. *
	P2 D	n.s.	θ_v^2 *
	MR TP S	n.s.	
	MR TP D	n.s.	
	MR T S	n.s.	
	MR T D	n.s.	
	MR P S	n.s.	
	MR P D	n.s.	

Hinweise, dass die zusätzlich aufgenommenen Variablen zumindest teilweise eine Verbesserung des einfachen linearen Modells bewirken, liefern die korrigierten Bestimmtheitsmaße r^2_{korr} (Tab. C-7). Sie werden für alle Subsets der Variante MR T S, jedoch nur für einzelne Subsets der übrigen Varianten größer. Für die gesamten Datensets hingegen ist nur bei der Variante MR T D eine Verschlechterung des r^2_{korr} zu finden, während sich die übrigen verbessern.

Die Überprüfung der T-Werte der Koeffizienten ergibt signifikante Testergebnisse für die einfachen linearen Modelle und CS P2 D, für die übrigen Modellvarianten sind sie nicht signifikant (Tab. C-8). Obwohl die Gleichungen multiple bzw. polynomiale Zusammenhänge vorschlagen, gibt es keine ausreichenden statistischen Beweise für eine wahre Beziehung. Es kann davon ausgegangen werden, dass die zusätzlich aufgenommenen erklärenden Variablen der Polynomfunktionen und der multiplen Regressionsmodelle eher unbe-

[11] nicht signifikant(n.s.), signifikant (*),sehr signifikant (**), höchst signifikant (***)

deutenden Einfluss ausüben. Zur Vorhersage könnten diese Variablen daher auch unberücksichtigt bleiben. Hoch signifikante Beziehungen gibt es für die Koeffizienten der Varianten CS L S, CS L D, CS P2 D, LR S und LR D.

Die Diagnose der Residualplots der linearen und multiplen Regressionsmodelle (Abb. Annex C - 6) lässt für die Variante CS L D keine Verletzung der Modellannahmen erkennen. In den übrigen Varianten deuten die Residuen einen linearen Anstieg an, was ein Hinweis auf Autokorrelation der Residuen oder auf einen nicht-linearen Einfluss der erklärenden Variablen bedeuten kann. Abweichungen von der Normalitätsgeraden deuten Einschränkungen in der Normalverteilung an. Für die Varianten der Subsets ist die Residuenanalyse aufgrund der geringen Datenzahlen stark eingeschränkt. Die Residualplots erscheinen fast einheitlich ohne erkennbares Muster. Eine Verletzung der Normalitätsvorraussetzung kann anhand der Histogramme angenommen werden, ist jedoch durch die geringen Stichprobenzahlen vorsichtig zu interpretieren.

C.6.2.3 Qualitätsbewertung

Entsprechend den Vorhersagefunktionen in Tab. C-3 wurde $\theta_{v\ CS\ 615}$ für die jeweiligen Kalibriermodelle neu berechnet und in Abb. C-11 den per Ofentrocknung ermittelten θ_v gegenüber gestellt. Die Koeffizienten für die jeweiligen Kalibrierungsvarianten wurden im Tab. Annex C - 2 zusammengefasst. Der Ausgleich über Polynome 2. Ordnung der Varianten CS P2 D, CS P2 S sowie P2 S wird für die Kalibrierung als ungeeignet bewertet, da die Polynomkurven ihr Maximum innerhalb des Messbereiches aufweisen. Sie werden daher von der Korrekturberechnung von $\theta_{v\ CS\ 615}$ bzw. von der Qualitätsbewertung ausgeschlossen.

Für alle Varianten gilt einheitlich, dass die Korrekturen getrennt nach Subsets mit Bestimmtheitsmaßen $r^2 > 0{,}957$ deutlich bessere Ergebnisse liefern als die jeweiligen Korrekturen für die Gesamtdatensets mit $r^2 < 0{,}886$. Auffällig dabei ist, dass die Regressionsmodelle der Gesamtdatensets nicht in der Lage sind, die besonders stark nach oben ausschlagenden Werte ausreichend zu korrigieren. Die beste Annäherung der Sensorwerte an die tatsächlichen Wassergehalte stellt die Variante MR TP S mit $r^2 = 0{,}984$ zur Verfügung. Die mittleren Abweichungen (MD) können damit von 0,191 m^3m^{-3} (CS SK) auf 0,021 m^3m^{-3} θ_v mit einer Standardabweichung $\sigma_{(MD)}$ von 0,021 m^3m^{-3} reduziert werden (Tab. C-9). Die Variante LR D weist als einzige keinen systematischen Fehler (Bias) auf, d.h. dass sich Über- und Unterschätzungen hier aufheben. Jedoch ist die Standardabweichung im Vergleich zu den anderen Modellen mit $\sigma_{(Bias)}$ = 0,102 m^3m^{-3} eher hoch. Die mittleren quadratischen Abweichungen (MSE), die sowohl das Bias als auch die Streuung berücksichtigen (Kap. C.5.5), sind ex aequo für die Varianten MR P S und MR TP S mit 0,001 m^3m^{-3} und $\sigma_{(MSE)}$ = 0,002 m^3m^{-3} am geringsten. Kaum Verbesserungen im Vergleich zu den Herstellerkalibrierungen CS SK und CS TK bieten die Varianten CS LD und P2 D. Sie resultieren in auffällig hohen Werten bei allen Qualitätskriterien (Tab. C-9).

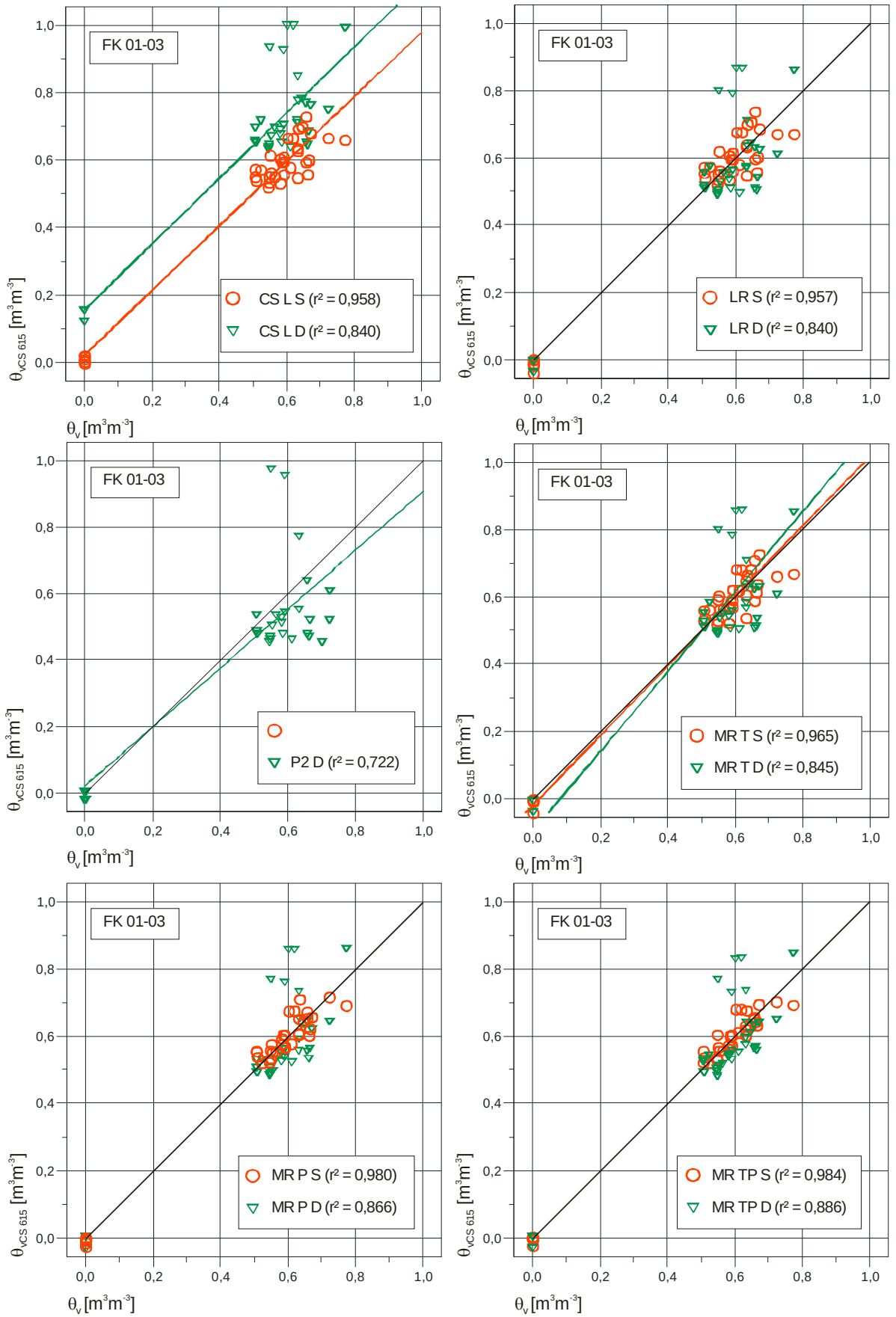


Abb. C-11: Wasseranteil θ_v versus korrigierte Wassergehalte θ_v CS 615 gemäß den Kalibrierungsvarianten für die Daten der einfachen Feldkalibrierung FK 01-03 (vergl. Tab. C-3)

Tab. C-9: Systematischer Fehler (Bias), mittlere quadratische Abweichungen (MSE) und mittlere absolute Abweichungen (MD) sowie die jeweiligen Standardabweichungen [m³m⁻³] für die Varianten der einfachen Feldkalibrierung FK 01-03 (vergl. Tab. C-3)

	Kalibrier-variante	r^2	Bias	σ (Bias)	MSE	σ (MSE)	MD	σ (MD)	N	Mittelwert θ_{vCS615}	σ θ_{vCS615}	Mittelwert θ_v	σ θ_v
FK 01-03	**CS SK**	0,747	0,19054	0,179	0,068	0,122	0,191	0,179	37	0,696	0,337	0,505	0,233
	CS TK	0,846	0,05838	0,098	0,013	0,027	0,082	0,079	37	0,563	0,246		
	CS L D	0,840	0,14351	0,099	0,030	0,042	0,144	0,098	37	0,648	0,247		
	CS L S	0,958	0,00081	0,047	0,002	0,003	0,035	0,030	37	0,505	0,228		
	CS P2 D	wegen Kurvenmaximum im Messbereich ausgeschlossen											
	CS P2 S	wegen Kurvenmaximum im Messbereich ausgeschlossen											
	LR D	0,840	**0,00000**	0,102	0,010	0,019	0,068	0,075	37	0,505	0,253		
	LR S	0,957	0,00054	0,049	0,002	0,003	0,038	0,029	37	0,505	0,238		
	P2 D	0,722	-0,01835	0,124	0,015	0,037	0,081	0,095	37	0,473	0,253		
	P2 S	wegen Kurvenmaximum im Messbereich ausgeschlossen											
	MR T D	0,845	-0,00243	0,100	0,010	0,018	0,069	0,072	37	0,503	0,253		
	MR T S	0,965	-0,00081	0,045	0,002	0,003	0,035	0,028	37	0,505	0,236		
	MR P D	0,866	-0,00054	0,092	0,008	0,016	0,064	0,065	37	0,506	0,250		
	MR P S	0,980	0,00027	0,033	**0,001**	**0,002**	0,024	0,022	37	0,505	0,235		
	MR TP D	0,886	0,00135	0,084	0,007	0,014	0,059	0,058	37	0,506	0,247		
	MR TP S	**0,984**	0,00162	**0,030**	**0,001**	**0,002**	**0,021**	**0,021**	37	0,506	0,233		

C.6.3 Erweiterte Feldkalibrierung (EFK 2005)

C.6.3.1 Kalibriermodelle

In Abb. C-12 ist der Trocknungsverlauf der Subset-Proben für die erweiterte Feldkalibrierung dargestellt. Die Anfangswassergehalte lagen zwischen 0,6044 und 0,4688 m^3m^{-3} θ_v, wobei der größte Unterschied mit 0,1356 m^3m^{-3} θ_v zwischen den Subsets V1 0-30cm und V2 0-30cm zu finden war. Die Trocknung der Quaderproben beanspruchte etwa 50 Tage, die Restwassergehalte von V1 30-60cm und V2 30-60cm lagen bei 0,0024 und 0,0029 m^3m^{-3} θ_v. Subset V3 30-60cm wies einen Restwassergehalt von 0,0229 m^3m^{-3} θ_v auf.

Die Sensorüberschätzung der Anfangswassergehalte liegt durchschnittlich bei 0,3538 m^3m^{-3} $_v$ und ist bei Subset V1 30-60cm mit 0,4422 m^3m^{-3} θ_v am höchsten. Auffällig ist ein Anstieg der Sensorwerte bei der 3. und 4. Messung, der in klarem Zusammenhang mit dem Temperaturverlauf innerhalb der Proben steht (Abb. C-12). Nach einem nicht erklärbaren Temperaturabfall bei der 2. Messung von durchschnittlich 1,55° C stieg die Probentemperatur bis zur 4. Messung von durchschnittlich 16,17 auf 35,79° C stark an, erhöhte sich weiterhin gleichmäßig bis zur 9. Messung auf 38,33° C und blieb während der restlichen Trocknungsphase weitgehend konstant. Der starke Temperaturanstieg in der Anfangsphase in Kombination mit dem sehr feuchten Substrat hatte offenbar einen großen Einfluss auf die

Sensorfrequenzen, die bei Anwendung der Standardkalibrierung CS SK in einer Überschätzung der Wassergehalte bis 0,8464 m^3m^{-3} θ_v ausartete.

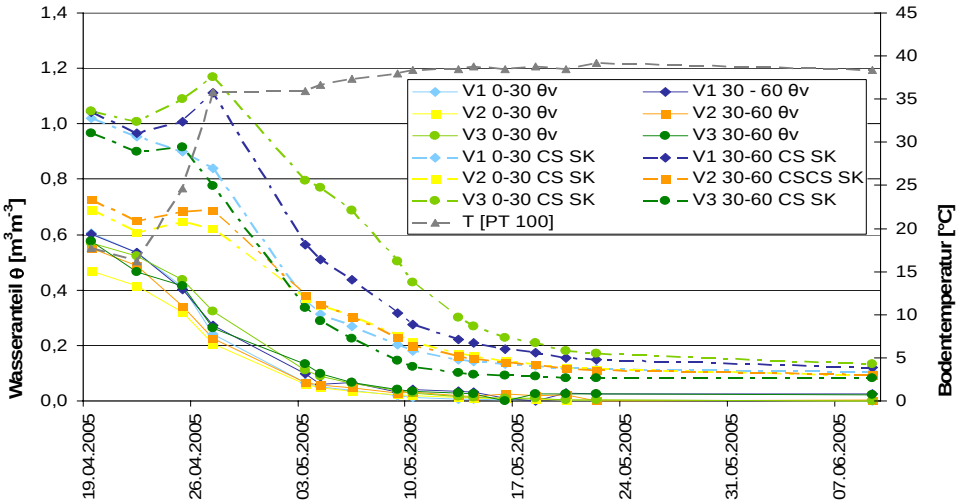


Abb. C-12: Wassergehaltsabnahme durch Ofentrocknung und Temperaturverlauf der Quaderproben aus der erweiterten Feldkalibrierung EFK 2005

Abb. C-13 zeigt θ_v der Daten der erweiterten Feldkalibrierung berechnet nach der Standardkalibrierung sowie der Temperaturkorrektur von CAMPBELL SCIENTIFIC (1998, S.8f). Letztere liefert ebenfalls Wassergehalte jenseits der akzeptablen Grenze mit durchschnittlichen Überschätzungen von 0,2733 m^3m^{-3} θ_v. Die Absolutüberschätzungen sind besonders hoch im sehr feuchten Milieu > 0,5 m^3m^{-3} θ_v und nehmen im trockenen Bereich direkt proportional ab. Die Gleichung der Temperaturkorrektur, die für einen Temperaturbereich von 10 – 30° C erarbeitet wurde (CAMPBELL SCIENTIFIC, 1998, S.8f), erwies sich dementsprechend als ungeeignet, was besonders bei jenen Messungen mit den hohen Temperaturanstiegen auf 35° C zum Ausdruck kam. Für die Subsets V1 30-60cm und V3 0-30cm führt die Anwendung der Temperaturkorrektur zu Überschätzungen von über 1,3535 m^3m^{-3} θ_v. Die Kalibriergleichungen für elektrische Leitfähigkeiten ≤ 1 bzw. >3 dSm^{-1}(CS SK1, CS SK3, Tab. Annex C - 3) ergeben nur unwesentliche Verbesserungen. Das Muster der Überschätzungen ist vergleichbar mit der Standardkalibrierung CS SK.

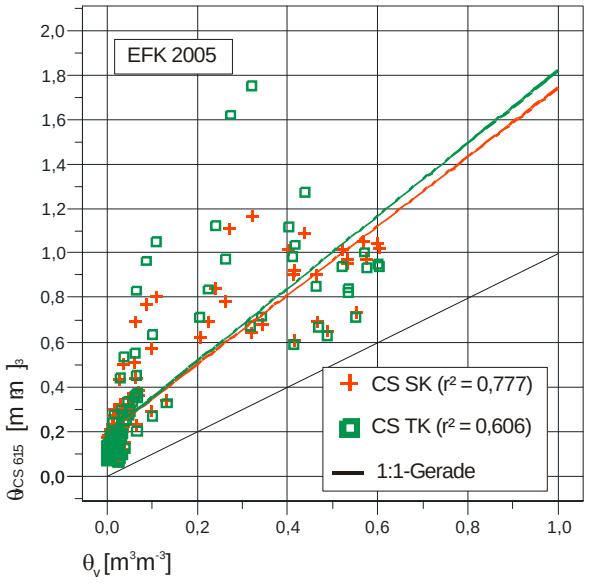


Abb. C-13: Wasseranteil θ_v versus gemessener Wassergehalt θ_{vCS615} gemäß der Standardkalibrierung (CS SK) und der Temperaturkorrektur (CS TK) von Campbell Scientific (1998) für die Daten der erweiterten Feldkalibrierung EFK 2005

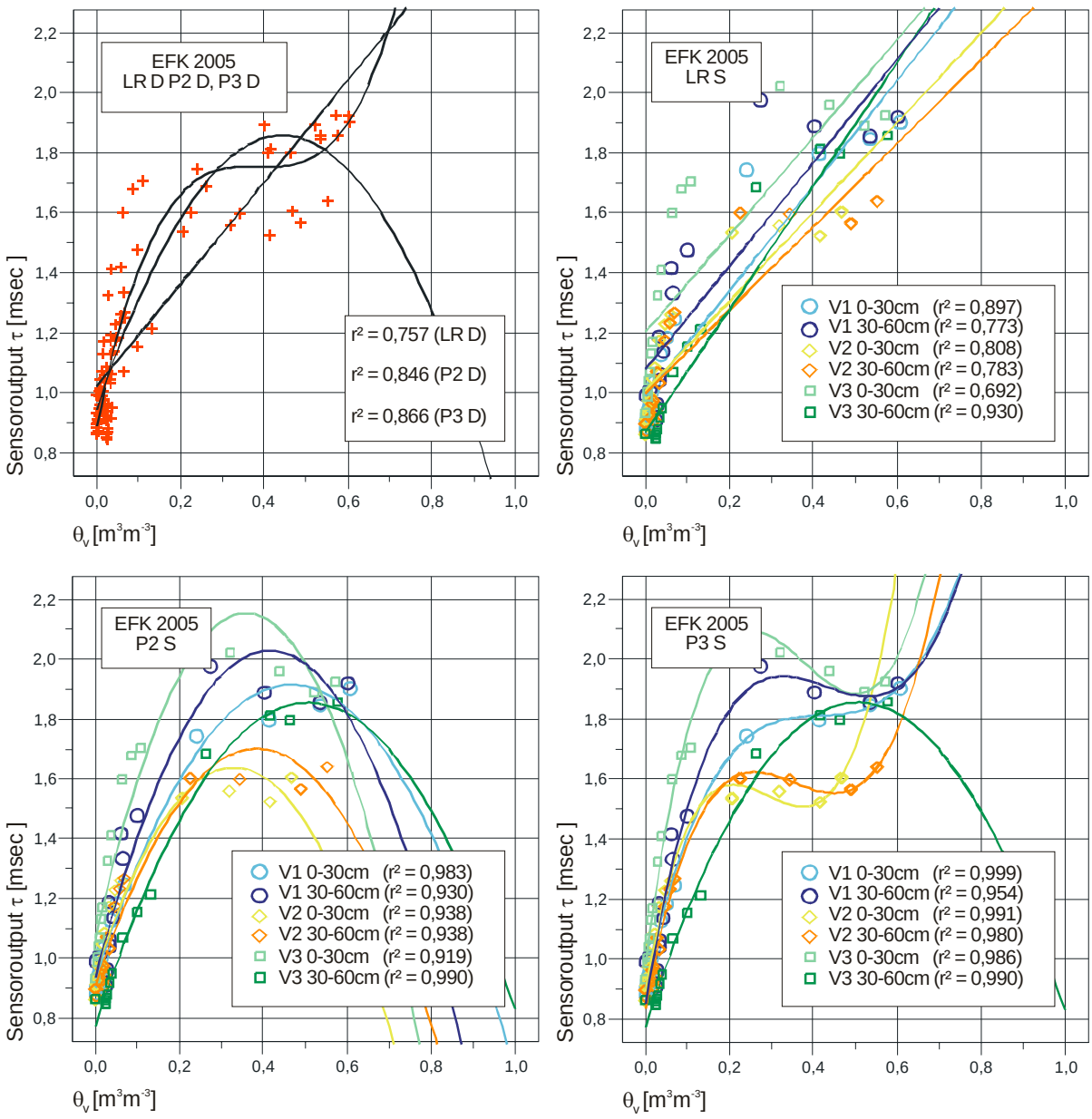


Abb. C-14: Kalibrierungsvarianten der Daten aus der erweiterten Feldkalibrierung EFK 2005 für das gesamte Datenset und getrennt nach Subsets (abhängige Variable: Sensoroutput, unabhängige Variable: Wasseranteil θ_v, vergl. Tab. C-4)

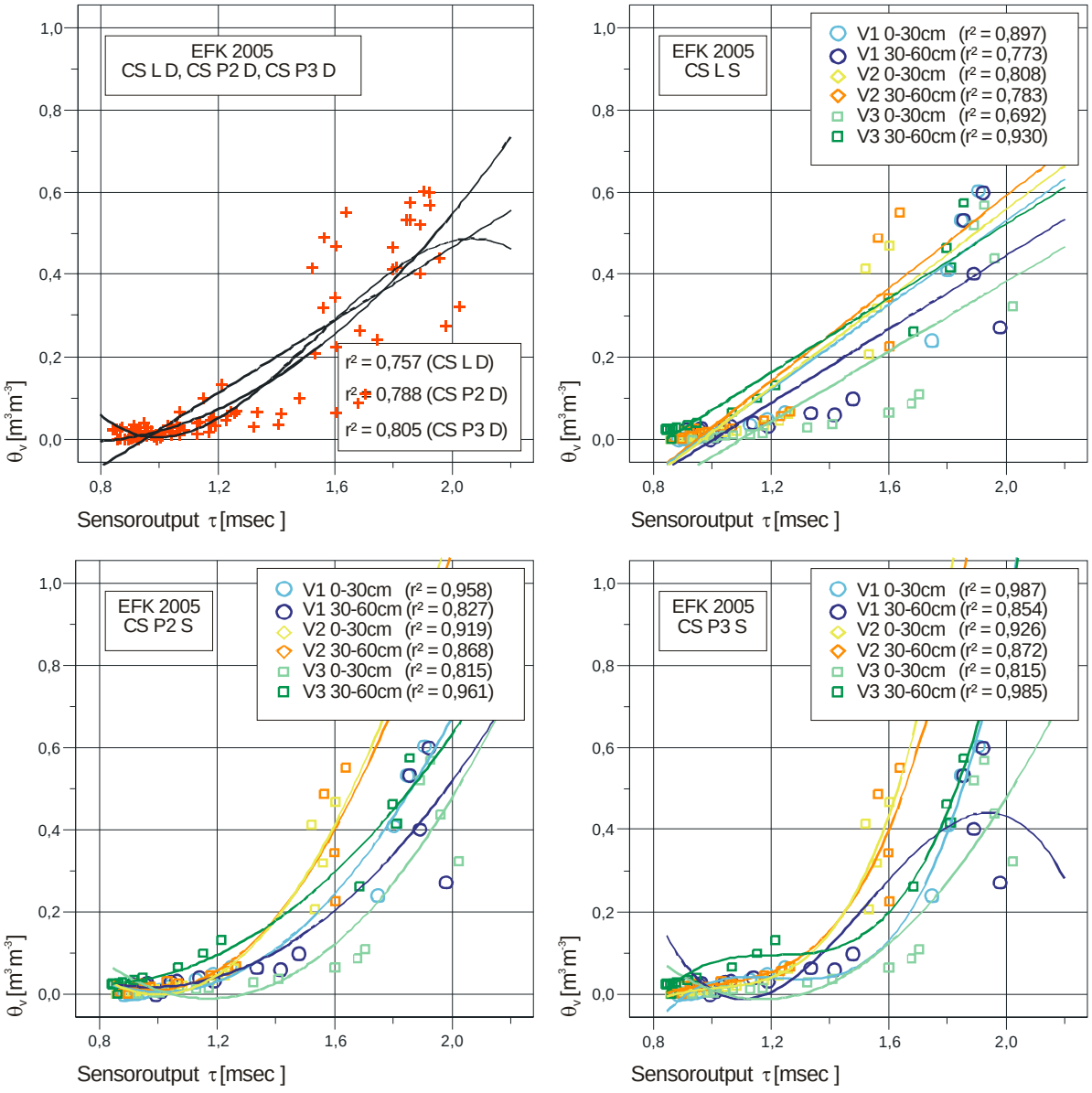


Abb. C-15: Kalibrierungsvarianten der Daten aus der erweiterten Feldkalibrierung für das gesamte Datenset und getrennt nach Subsets in Anlehnung an CAMPBELL SCIENTIFIC (1998, S.8f; abhängige Variable: Wasseranteil θ_v, unabhängige Variable: Sensoroutput, vergl. Tab. C-4)

In Abb. C-14 sind die Sensorfrequenzen ausgedrückt in msec als abhängige Variablen von θ_v als unabhängige Variable gegenübergestellt und die linearen und polynomischen Zusammenhänge dargestellt. Auffällig ist, dass sich der Sensor im Feuchtigkeitsbereich bis etwa 0,15 m^3m^{-3} θ_v beinahe streng linear bei jedoch sehr steilem Anstieg verhält. Darüber nimmt die Streuung stark zu, und es sind wie bei den Daten der Feldkalibrierung (FK 01-03) messpunkt- bzw. probenspezifische Muster klar unterscheidbar. Sowohl die quadratische als auch die kubische Anpassung ergibt für alle Subsets wenig zufrieden stellende Kurven. Das Polynom 2. Ordnung erreicht im gemessenen Feuchtigkeitsbereich ein Maximum, wodurch jeder Sensorwert dementsprechend zwei mögliche Wassergehalte liefert. Das Polynom 3. Ordnung ergibt sogar 3 Werte im Messbereich. Beide Polynommodelle sind daher für eine Datenkorrektur nicht anwendbar und werden bei nachfolgenden Analysen nicht weiter berücksichtigt.

Abb. C-15 zeigt die Zusammenhänge zwischen Sensoroutput τ [msec] als unabhängige Variable und θ_v als abhängige Variable in Anlehnung an CAMPBELL SCIENTIFIC (1998, S.8f). Die polynomischen Anpassungen erreichen mit $r^2 > 0{,}815$ erwartungsgemäß höhere Zusammenhänge als das lineare Modell, jedoch ergeben die vorgeschlagenen Kurven für die meisten Subsets 2 oder mehr Lösungen. Die Anwendung des Programmsystems SPSS Version 12 für die kubische Kurvenanpassung schließt zusätzlich bei jedem Subset aufgrund Toleranzüberschreitungen eine der Variablen aus der Gleichung aus und reduziert die Modelle auf eine quadratische Anpassung (Tab. Annex C - 2), womit die Gültigkeit eines Zusammenhangs 3. Ordnung entkräftigt wird.

Die multiple Regressionsanalyse ergibt für die Subsets der Varianten MR P S und MR TP S keine Ergebnisse, da der Porenanteil n_p innerhalb der Subsets nach der Formel [C-16] nur über eine konstante Trockenmasse errechnet werden kann und somit auch für die einzelnen Messwerte konstant bleibt. Dadurch wird die Variable P (Porenanteil) aus der Regressionsanalyse ausgeschlossen.

$$n_p = 1 - \frac{\rho_d}{\rho_s} \qquad \textbf{[C-16]}$$

mit: ρ_d...Trockendichte und ρ_s...Feststoffdichte

C.6.3.2 Regressionsstatistik

Alle untersuchten Regressionsmodelle sind einheitlich hoch signifikant (Tab. C-10 und Tab. Annex C - 1), womit für alle Varianten die Null-Hypothese, dass die Koeffizienten keine Steigungen aufweisen bzw. Null entsprechen, verworfen werden kann. Demnach ist statistisch der Beweis erbracht, dass die Modelle die Zusammenhänge ausreichend gut darstellen.

Das korrigierte Bestimmtheitsmaß r^2_{korr} wird für drei Subsets des Modells CS P3 S sowie für CS P3 D kleiner (Tab. C-10). Die Aufnahme der zusätzlichen Variablen ist hier nicht unbedingt von Vorteil, was sich auch im T-Wert widerspiegelt. Die anderen Modelle zeigen Erhöhungen in r^2_{korr} und somit Verbesserungen durch die zusätzlichen erklärenden Variablen an.

Die T-Statistik ergab für alle linearen und multiplen Regressionsmodelle sowie für die Polynommodelle P2 und P3 hoch signifikante Koeffizienten (Tab. Annex C - 4). Für die Modelle CS P2 und CS P3 sind zumindest 3 der Subsets bzw. einer der Koeffizienten nicht signifikant. Es ist anzunehmen, dass sie keinen bedeutenden Einfluss ausüben und somit für die Vorhersage unberücksichtigt bleiben können. Aufgrund von Überschreitungen der Toleranzlimits, die bei hoher Korrelation von erklärenden Variablen auftreten, wurde vom verwendeten Programm SPSS 12 bereits je eine Variable pro Subset des Modells CS P3 S ausgeschlossen (Tab. Annex C - 4). Dieses Modell kann demnach als ungeeignet für die Beschreibung der Beziehung der Daten erachtet werden.

Die Residualplots (Tab. Annex C - 6) zeigen einheitlich lineare Trends zumindest im unteren Bereich, für CS LD auch im oberen Datenbereich, wodurch der lineare Einfluss der erklärenden Variablen angezweifelt werden muss. Die als keilförmig interpretierbare Aufweitung der Residuen kann aber auch ein Zeichen für die Verletzung der Varianzhomogenität darstellen. Die Vorraussetzung der Normalverteilung zeigt sich eingeschränkt erfüllt. Die Abweichungen von der Normalitätsgeraden sind für die einzelnen Subsets von MR T S unterschiedlich abweichend und am geringsten für die Varianten MR T D und MR TP D.

Tab. C-10: Korrigiertes Bestimmtheitsmaß und Signifikanz[12] der Regressionsmodelle aus der F-Statistik (Signifikanzniveau α = 0,05) für die Daten der erweiterten Feldkalibrierung EFK 2005 (vergl. Tab. C-4)

	r^2_{korr}	EFK 2005								
		CS L	CS P2	CS P3	LR	P2	P3	MR T	MR P	MR TP
Subsets	V1 0-30	0,890	0,952	0,961	0,890	0,981	0,998	0,938		
	V1 30-60	0,757	0,800	0,796	0,757	0,919	0,942	0,824		
	V2 0-30	0,794	0,906	0,910	0,794	0,929	0,988	0,827	Porenanteil P =	
	V2 30-60	0,768	0,848	0,850	0,768	0,929	0,975	0,840	konstant	
	V3 0-30	0,670	0,786	0,785	0,670	0,906	0,983	0,755		
	V3 30-60	0,925	0,955	0,960	0,925	0,988	0,987	0,935		
Datenset gesamt		0,755	0,784	0,781	0,755	0,839	0,862	0,797	0,798	0,842

	Signifikanz F	EFK 2005								
		CS L	CS P2	CS P3	LR	P2	P3	MR T	MR P	MR TP
Subsets	V1 0-30	***	***	***	***	***	***	***		
	V1 30-60	***	***	***	***	***	***	***		
	V2 0-30	***	***	***	***	***	***	***	Porenanteil P =	
	V2 30-60	***	***	***	***	***	***	***	konstant	
	V3 0-30	***	***	***	***	***	***	***		
	V3 30-60	***	***	***	***	***	***	***		
Datenset gesamt		***	***	***	***	***	***	***	***	***

Tab. C-11: Überblick der Signifikanzen[13] der Koeffizienten aus der T-Statistik der ANOVA (Signifikanzniveau α = 0,05) für die Varianten der erweiterten Feldkalibrierung EFK 2005 (vergl. Tab. C-4)

	Modell-variante	Signifikanz der Koeffizienten	Anmerkungen
EFK 2005	CS L S	***	
	CS L D	***	
	CS P2 S	n.s.	Subsets tw. ** bzw. *
	CS P2 D	n.s.	τ_V^2 **
	CS P3 S	n.s.	Variablenausschluss im Programmprotokoll
	CS P3 D	n.s.	
	LR S	***	
	LR D	***	
	P2 S	***	
	P2 D	***	
	P3 S	***	V3 30-60 n.s. V1 30-60 * V2 30-60 **
	P3 D	***	
	MR TP S	Porenanteil P für Subsets konstant - Regression nicht berechnet	
	MR TP D	***	
	MR T S	***	
	MR T D	***	
	MR P S	Porenanteil P für Subsets konstant - Regression nicht berechnet	
	MR P D	***	

[12] nicht signifikant(n.s.), signifikant (*),sehr signifikant (**), höchst signifikant (***)

C.6.3.3 Qualitätsbewertung

Abb. C-16 stellt die entsprechend den Vorhersagefunktionen in Tab. C-3 errechneten $\theta_{v\ CS\ 615}$ für die jeweiligen Kalibriermodelle den per Ofentrocknung ermittelten θ_v gegenüber. Wie für die einfache Feldkalibrierung gilt, dass die Korrekturen getrennt nach Subsets mit Bestimmtheitsmaßen $r^2 > 0{,}806$ deutlich bessere Ergebnisse liefern als die jeweiligen Korrekturen für die Gesamtdatensets mit $r^2 > 0{,}757$.

Das lineare und das quadratische Modell CS L und CS P2 sowie das lineare Modell LR mit dem Sensoroutput als abhängige Variable liefern unzureichende Korrekturwerte mit großen Streuungsbereichen sowie Unterschätzungen des Wassergehaltes im oberen Feuchtigkeitsmilieu (Abb. C-16). Zusätzlich werden im Besonderen die hohen Sensorwerte der 3. und 4. Messung zu geringfügig ausgeglichen, was auch für das multiple Regressionsmodell MR P D mit dem Porenanteil als zusätzlicher erklärender Variable zutrifft.

Tab. C-12: Systematischer Fehler (Bias), mittlere quadratische Abweichungen (MSE) und mittlere absolute Abweichungen (MD) sowie die jeweiligen Standardabweichungen [m^3m^{-3}] für die Varianten der erweiterten Feldkalibrierung EFK 2005 (vergl. Tab. C-4)

	Kalibrier-variante	r^2	Bias	σ (Bias)	MSE	σ (MSE)	MD	σ (MD)	N	Mittelwert θ_{vCS615}	σ θ_{vCS615}	Mittelwert θ_v	σ θ_v
EFK 2005	**CS SK**	0,777	0,26531	0,183	0,104	0,143	0,265	0,183	96	0,393	0,323		
	CS TK	0,606	0,27438	0,268	0,147	0,321	0,274	0,268	96	0,402	0,385		
	CS L D	0,757	**0,00000**	0,091	0,008	0,014	0,066	0,062	96	0,129	0,161		
	CS L S	0,814	0,00031	0,079	0,006	0,009	0,059	0,052	96	0,129	0,166		
	CS P2 D	0,788	0,00021	0,085	0,007	0,016	0,051	0,068	96	0,129	0,129		
	CS P2 S	wegen Kurvenmaximum im Messbereich ausgeschlossen											
	CS P3 D	wegen Kurvenmaximum im Messbereich ausgeschlossen											
	CS P3 S	wegen Kurvenmaximum im Messbereich ausgeschlossen											
	LR D	0,757	0,00031	0,105	0,011	0,019	0,080	0,067	96	0,129	0,212		
	LR S	0,806	**-0,00010**	0,091	0,090	0,011	0,074	0,052	96	0,128	0,205	0,129	0,184
	P2 D	wegen Kurvenmaximum im Messbereich ausgeschlossen											
	P2 S	wegen Kurvenmaximum im Messbereich ausgeschlossen											
	P3 D	wegen Kurvenmaximum im Messbereich ausgeschlossen											
	P3 S	wegen Kurvenmaximum im Messbereich ausgeschlossen											
	MR T D	0,957	**0,00010**	0,038	**0,001**	**0,002**	**0,029**	0,024	96	0,129	0,180		
	MR T S	**0,962**	0,00052	**0,036**	**0,001**	**0,002**	0,030	**0,020**	96	0,129	0,188		
	MR P D	0,789	-0,00021	0,095	0,009	0,012	0,076	0,056	96	0,128	0,208		
	MR P S	Porenanteil P für Subsets konstant - Regression wurde nicht berechnet											
	MR TP D	0,940	-0,00604	0,047	0,002	0,003	0,038	0,028	96	0,123	0,191		
	MR TP S	Porenanteil P für Subsets konstant - Regression wurde nicht berechnet											

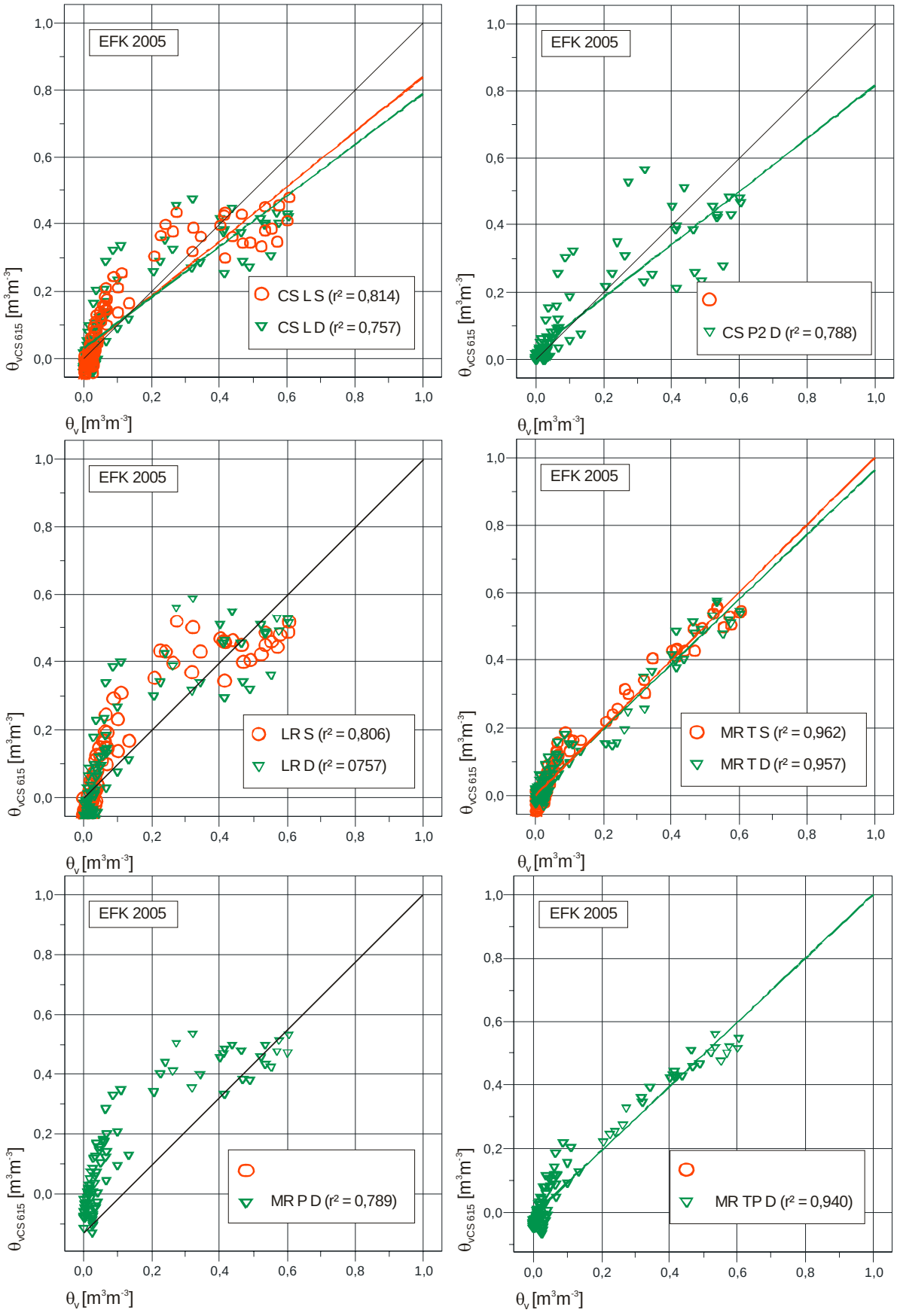


Abb. C-16: Wasseranteil θ_v versus korrigierte Wassergehalte $\theta_{v\ CS\ 615}$ gemäß den Kalibrierungsvarianten für die Daten der erweiterten Feldkalibrierung EFK 2005 (vergl. Tab. C-4)

Die Varianten MR T S, MR T D und MR TP D, die die Probentemperatur berücksichtigen, schätzen die gemessenen Wassergehalte in zufrieden stellendem Maße, wobei sowohl das multiple Regressionsmodell MR T sowohl für das gesamte Datenset als auch getrennt nach Subsets mit der Temperatur als zusätzlicher erklärender Variable die engsten Annäherungen an die tatsächlichen Wassergehalte herstellt. Mit r^2 von 0,957 (MR T D) bzw. 0,962 (MR T S) werden die mittleren Abweichungen des $\theta_{v\ CS\ 615}$ von 0,265 (CS SK) auf 0,029 bzw. 0,030 m^3m^{-3} mit Standardabweichungen $\sigma_{(Bias)} < 0{,}020\ m^3m^{-3}$ reduziert (Tab. C-12). Die Variante CS LD hat keinen systematische Fehler (Bias), Über- und Unterschätzungen heben sich ausgleichend auf. Die mittleren quadratischen Abweichungen (MSE) sind jedoch ex aequo für MR T D bzw. MR T S 0,001 m^3m^{-3} und $\sigma_{(MSE)} = 0{,}002\ m^3m^{-3}$ am geringsten. Dies bedeutet, dass beide Varianten die günstigste Kombination von geringem Bias und geringer Streuung zur Verfügung stellen.

C.7 Diskussion

C.7.1 Sensorreaktionen und Erörterung der Ursachen

C.7.1.1 Temperatureinfluss

Ähnlich den Erfahrungen von VELDKAMP und O'BRIEN (2002, S.1553), QUINONES und RUELLE (2001, S.205) und SEYFRIED und MURDOCK (2001, S.33) erwies sich die Standardkalibrierung CS SK des CS 615 WCR für die Messungen in der Stambachmure als ungeeignet. An den verschiedenen Messpunkten wurden individuelle Überschätzungen des θ_v beobachtet und zeigten sich besonders hoch in der Bodenschicht 30 – 60 cm. In reinem Wasser liegen die Wellenlaufzeiten des Sensors bei τ = 1,9 msec, während die aufgezeichneten Werte im stark tonhältigen Boden der Stambachmure Laufzeiten mit bis zu 2,1 msec deutlich darüber lagen. Der Grund dafür wird vermutet, dass der Sensor bei sehr feuchten Tonsubstraten mit einer besonders starken Temperatursensitivität reagiert, was sich in überhöhten Wellenlaufzeiten ausdrückt.

Für die Temperaturkorrektur nach der Herstellergleichung (CS TK) wurden die relevanten, in der Stambachmure gemessenen Bodentemperaturen in 0 - 5 cm verwendet. Damit konnte zwar eine geringfügige Verbesserung der Daten erzielt werden, die neu errechneten Messwerte des besonders problematischen Bodenhorizontes V1 30-60 cm blieben aber dennoch viel zu hoch. Vergleichsberechnungen für die Temperaturstufen 0°, 5°, 10° und 15° C machten nicht nur die starke Temperaturabhängigkeit augenscheinlich, sondern zeigten auch, dass v.a. für die besonders hohen Messwerte (θ_v bis etwa 1,3 m^3m^{-3}) Korrekturen mit niedrigen Temperaturen eine deutliche Unterschätzung des Wassergehaltes ergab (Abb. Annex C - 1).

Ähnliche Erfahrungen machten STENGER et al. (2005, S.609f). Höhere θ_v ergaben sich, wenn die Temperatur unterhalb der Referenztemperatur von 20° lag bei unkorrigierten θ_v von < 0,4 m^3m^{-3}. Darüber führte die Temperaturkorrektur zu niedrigeren Gehalten, was im Zusammenhang mit der quadratischen Kalibrierfunktion gesehen wird. SEYFRIED und MURDOCK (2004, S.31f) berichten von einer linearen Erhöhung des Temperatureinflusses bei hohem θ_v. KIM und BENSON (2002, S.71f) stellten ebenfalls eine fast lineare Abhängigkeit der Sensorperioden des WCR fest. Zusätzlich kamen sie zu dem Schluss, dass dieser Effekt bodentypabhängig ist. In kieshältigem Ton war die Temperaturempfindlichkeit zweimal so hoch wie in Schluff. Der Temperaturfehler, der zudem noch größer war bei höherem θ_v, war erwartungsgemäß in jenen saisonalen Perioden am größten, wenn die Differenz der Feld- zur Referenztemperatur am höchsten war. QUINONES und RUELLE (2003, S.205) vermuten die Temperaturabhängigkeit der Dielektrizitätskonstante ε_b als Fehlerquelle bei Outdoormessungen. ε_b sinkt bei steigender Temperatur. Da die Wasserphase in der Bodenmatrix primär für Veränderungen von ε_b des Bodens verantwortlich ist, ist es ihrer Meinung nach begründet anzunehmen, dass ε_b von nassen Böden eben so reagiert.

Die Sensorabhängigkeit von der Substrattemperatur erscheint als wesentlich und nicht vernachlässigbar. Standardmäßig wurde CS 615 vom Hersteller auf 20° C kalibriert, was v.a. im Gelände unter ganzjährigem Einsatz aber unrealistisch ist. Der Hersteller merkt an, dass eine Korrektur im Hinblick auf die Messgenauigkeit und die geringe räumliche Temperaturvariabilität entlang der Sonde nicht notwendig sei (CAMPBELL SCIENTIFIC, 1998, S.4). Beim Outdoor-Monitoring jedoch treten jahreszeitliche Bodentemperaturschwankungen bis hinunter zu Bodenfrost auf, die keinesfalls unbeachtet bleiben können, da sie den Sensoroutput wesentlich beeinflussen (Abb. Annex C - 5).

C.7.1.2 Dielektrische Eigenschaften von Tonen

Der limitierende Effekt von Tonen für TDR-Methoden ist allgemein bekannt, wobei im Besonderen stark gebundenes Adsorptionswasser dafür verantwortlich gemacht wird. GONG et al. (2003. S.3609) meinen, dass Adsorptionswasser von Tonpartikeln ein deutlich niedrigeres ε_s als freies Wasser hat, was eine schnellere Ausbreitung von elektromagnetischen Wellen und damit Unterschätzungen von θ_v verursacht. Umgekehrt sei die elektrische Leitfähigkeit von Tonen, die aus der Ionenkonzentration in der Bodenlösung und der Ladung der Partikeloberflächen resultiert, für eine Signalabschwächung und eine Wassergehaltsüberschätzung speziell im hohen Feuchtigkeitsbereich, wo die elektrische Leitfähigkeit hoch und das Verhältnis freies zu gebundenem Wasser niedrig ist, verantwortlich. Die Autoren nennen einen Schwellenwert von etwa 0,25 m^3m^{-3} θ_v, bei dem der Effekt des gebundenen Wassers durch den Effekt der elektrischen Leitfähigkeit aufgehoben wird. Darüber kommt es zu Überschätzungen von θ_v.

SAARENKETO (1998, S.81f) fand einen Zusammenhang der dielektrischen Eigenschaften des gebundenen Wassers mit der Kationenaustauschkapazität (CEC) von Tonböden. Bei steigender CEC wird die Molekülstruktur der gebundenen Wasserschicht gestört, wodurch die Dielektrizitätswerte steigen. Sobald freies ungebundenes Wasser die Zwischenschichten füllt, steigt die Leitfähigkeit sprunghaft an. In Übereinstimmung mit der Theorie der elektrischen Doppelschicht sind die dielektrischen Eigenschaften sowohl des Adsorptions- als auch des Kapillarwassers auf eine innere und eine äußere Ebene aufteilbar. Die dielektrische Dispersion findet im locker gebundenen Adsorptionswasser und im äußeren Kapillarwasser statt, die beide als Übergangszone zum stärker gebundenen Wasser agieren. Der Grad der Verdichtung und in weiterer Folge die Fließgrenze und die Frostanfälligkeit haben einen erheblichen Einfluss auf die dielektrischen Eigenschaften.

LIN (2003, S.727) wies hingegen höhere ε_s bei höheren Tongehalten nach und argumentiert mit der höheren Dispersion und elektrischen Leitfähigkeit von Feinböden bei hohen Wassergehalten. Ebenso stellte CAMPBELL (1990, S.335) eine Erhöhung von ε_s von Tonen bei zunehmendem Wassergehalt fest. Diese war bei niedrigen Frequenzen (1 MHz) mit ε_s >90 am höchsten. Zusätzlich untersuchte er den Einfluss der Temperatur auf ε_s und ermittelte für Schluffe eine Zunahme von ε_s, was er mit dem Anstieg der elektrischen Leitfähigkeit des Porenwassers bei Temperaturerhöhung erklärt. Der Autor ist der Meinung, dass die dielektrischen Eigenschaften von Böden bei niedrigen Frequenzen von der elektrischen Leitfähigkeit dominiert und verkompliziert werden.

ESMER (2004, S.19f) stellte bei modifizierten Tonen (Fe-Sepiolite) eine Steigung der elektrischen Leitfähigkeit aufgrund permanenter Polarisierung durch das elektrische Magnetfeld fest. Die O-H-Dipolmomente sind zufällig orientiert. Eine Polarisierung wird induziert durch die elektrische Feldfrequenz, was wiederum die Freisetzungsdauer verzögert. Die Rolle von Partikeloberflächen und vom Bodengefüge beim Ionentransport ist noch nicht geklärt und könnte Erklärungen für die Beziehungen zwischen Leitfähigkeit und Freisetzungsprozessen liefern.

ISHIDA und MAKINO (1999, S.160) untersuchten die dielektrische Dispersion und Adsorptionskurven von drei verschiedenen Tonsuspensionen. Sie interpretierten die Molekülorientierung des gebundenen Wassers an der Tonoberfläche als verantwortlich für die Freisetzungsprozesse. Da bei Dispersion von Tonpartikeln freies Wasser zunehmend stärker adsorbiert wird, wird angenommen, dass Wassermoleküle in der Nähe von Tonformationen eine wichtige Rolle zur Stabilisierung dieser Verbunde spielen. Gebundenes Wasser beeinflusst die Verbundstrukturen und reagiert pH-abhängig in Bezug auf die Freisetzungsintensität.

Die Regressionsresultate von JACOBSON und SCHJØNNING (1993b, S.151) unterstützen die Hypothese, dass hohe spezifische Oberflächen von Tonen und organischen Substanzen niedrige ε_s nach sich ziehen. Allerdings können sie keine kausalen Beziehungen zwischen dem Wassergehalt und dem Tongehalt nachweisen. Nachdem der Einfluss der Textur in der

Regression eher gering ist, schlagen sie vor, diese Variable aus der Kalibrierung auszuschließen, außer wenn hohe Präzision für die Schätzung des Wassergehaltes gefordert ist. Die Autoren verweisen auf Recherchen, die die Reduktion von ε_s von reinem Wasser auf ε_s = 75 bei Temperaturerhöhungen von 10 auf 36° C beschreiben.

SEYFRIED und MURDOCK (2001, S.33) bringen die Freisetzung von gebundenem Wasser mit Temperaturerhöhung in Verbindung, wodurch ε_s und die elektrische Leitfähigkeit steigen. Sie fügen an, dass das Ausmaß der Temperaturabhängigkeit bei WCR-Sensoren höher ist als bei TDR-Systemen.

C.7.1.3 Mineralogische und chemische Einflüsse

Die Rolle der Mineralogie im Zusammenhang mit dielektrischen Reaktionen ist bislang wenig erforscht. GONG et al. (2003, S.3609) führen an, dass Kaolinite und Illite geringere spezifische Oberflächen und Kationenaustauschkapazitäten als z.B. Montmorillonite haben, womit sie weniger gebundenes Adsorptionswasser in Verbindung bringen. Temperaturerhöhung führt zu einer Freisetzung des gebundenen Wassers.

DIRKSEN UND DASBERG (1993, S.665) vermuten, dass die Hauptkomponenten der Tonfraktion bei Gibbsit im ursächlichen Zusammenhang mit Ergebnisunterschieden ihrer Kalibrierungen stehen. Sie nehmen an, dass Aluminiumhydroxide ähnliche Dielektrizitätskonstanten wie Metalloxide erwarten lassen (ε_s = 15). ROBINSON et al. (1994, S.172f) wiederum stellten fest, dass Eisenminerale (Magnetit, Hämatit, Goethit) großen Einfluss auf ε_s ausüben. Anwesenheit von 15 % Magnetit verursachten bis zu 60 % Schätzunsicherheiten von θ_v von TDR- und kapazitiven Sensoren, wodurch eine bodenspezifische Kalibrierung unumgänglich wird. Irritierend finden die Autoren die Erhöhung des Effekts bei steigendem Wassergehalt, den sie bei rein dielektrischen bzw. magnetischen Ursachen nicht erwarten würden. Die Erhöhung der elektrischen Leitfähigkeiten bei Wasserzugaben erscheint ihnen als Ursache eher nachvollziehbar.

Die Überprüfung der elektrischen Leitfähigkeit ergab keine außergewöhnlichen Werte bei den Stambachproben, wodurch die Theorie, dass hohe Leitfähigkeiten die Anomalien der Sensorwerte verursachen könnten, nicht bestätigt werden kann. Chemische Analysen der untersuchten Böden zeigten, dass der Messpunkt mit der höchsten Überschätzung von θ_v (V1 30-60cm) geringfügige Abweichungen der folgenden Parameter aufwies: geringster pH-Wert in $CaCl_2$ (4,5), geringste Basensättigung (73 %), gelöstes Aluminium und niedrigste Calciumkonzentration im BaCl-Auszug (0,93 mg g^{-1} bzw. 4,79 mg g^{-1}, STANGL, 2004, S.B52ff). Saure Bedingungen setzen mehr Hydroniumionen frei, während monovalente Kationen die elektrischen Doppelschichten verstärken. Folgend der Hypothese, dass zunehmende Azidität die Abstände in den Tonpartikeln aufweitet und eine Veränderung der Polarisation nach sich zieht, wird damit auch die Ausbreitung von elektromagnetischen Wellen beeinflusst. Ebenso lässt die Erhöhung des Dipolmoments der Tonpartikeloberflächen eine Veränderung der Freisetzungsprozesse erwarten.

Schwarzerlen können durch eine Sauerstoffabgabe im anaeroben Bereich Zonen erhöhter Sauerstoffkonzentrationen und Redoxpotenzial entstehen lassen (HOFMANN, 2003, S.41). Einerseits schützt diese Zone vor dem Kontakt mit toxischen Substanzen, andererseits werden reduzierte Fe- und Mg(II)-Verbindungen und –Aufnahmen verhindert. Mikrobielle und chemische Prozesse in der Rhizosphäre der Senkerwurzlen senken den pH-Wert und erhöhen die Fe(II)- und Nitratgehalte. Eine Akkumulation von CO_2, der Abbau organischer Substanz und die Reduktion von Eisen-, Mangan- und Schwefelverbindugnen findet statt (HOFMANN, 2003, S.41).

Die Vermutung liegt nahe, dass derlei im Substrat auftretende chemische Verbindungen bzw. Metaboliten das dielektrische Verhalten v.a. auch im Zusammenhang mit Temperaturveränderungen und damit die Sensorreaktion stark beeinflussen. Denkbar ist, dass gleichzeitig Interaktionen mit dem in CAMPBELL SCIENTIFIC (2002-2004, S.34f) diskutierten Effekt

der frequenzabhängigen Signalabschwächung vorliegen (Kap. C.3.2). Es erscheint plausibel, dass verminderte Reflexionen zu Impulsverzögerungen führen, die in einer Frequenzsenkung bzw. Erhöhung der Wellenlaufzeit [τ] des WCR resultieren. Ausgehend von der Theorie, dass die Messfehler von der Signalabschwächung abhängen, ist der Ausgleich über Regressionsfunktionen ein viel versprechender Lösungsansatz.

C.7.2 Vergleich der Kalibriervarianten

C.7.2.1 Einfache Feldkalibrierung (FK 01-03)

Die hohen Überschätzungen von θ_v mit der Herstellerstandardkalibrierung können über die linearen und multiplen Regressionsmodelle der FK 01-03 weitgehend zufrieden stellend kompensiert werden. Die besten Annäherungen an die wahren θ_v bietet die Kalibrierung getrennt nach Subsets über das multiple Regressionsmodell MR TP S der Feldkalibrierung (FK 01-03), das die Parameter Temperatur und Porenanteil berücksichtigt. Mit $r^2 = 0{,}984$ weist es die günstigste Kombination von geringem systematischem Fehler (Bias) bei geringer Varianz (MSE = 0,002 m^3m^{-3}) sowie kleinster mittlerer Abweichung (MD=0,021 m^3m^{-3}) auf.

Kritisch zu bewerten ist die Tatsache, dass sich die verfügbaren Wertepaare der Feldkalibrierung auf den hohen Feuchtigkeitsbereich beschränken. Das Fehlen von Daten im trockenen Milieu erschwert die Anpassung über quadratische bzw. kubische Polynome. Aus der grafischen Darstellung der Beziehungen geht klar hervor, dass die Kurven trotz Fixieren an den Nullwerten sozusagen in der Luft hängen. Die Polynome 2. Ordnung zeigen zusätzlich ihre Maxima innerhalb des Messbereichs, womit die Rückrechnung der Messwerte über die inverse Vorhersagefunktion zwei verschiedene Wassergehalte ergäbe. Damit werden die Kurvenfunktionen für die Kalibrierung über die verfügbaren Felddaten unbrauchbar. Der Lösungsansatz über lineare Modelle ist augenscheinlich zielführender.

Gute Übereinstimmungen für die CS 615-Kalibrierung mittels linearen Regressionsgleichungen wurden bereits auch von anderen Autoren festestellt. KIM und BENSON (2002, S.52) verweisen darauf, dass ihre linearen Kalibrierungen trotz geringfügig kleineren r^2 genauer und einfacher in der Anwendung sind als die Polynome und beschränken sich mit diesem Argument auf deren Verwendung. CHANDLER et al. (2004, S.1503) fanden ebenfalls gute lineare Anpassungen zur WCR-TDR-Kalibrierung und verweisen auf die unkompliziertere Form im Vergleich zur quadratischen Gleichung des Herstellers. STENGER et al. (2005, S.611) geben an, dass die lineare Anpassung ihrer Daten nur marginal schlechtere Ergebnisse als die quadratischen ergaben, wobei beide Varianten keine systematischen Fehler aufwiesen.

Anzumerken ist, dass die genannten Autoren θ_v direkt über die Regressionsgleichung schätzen, was in der Literatur häufig üblich ist (QUINONES et al., 2003, S.210; CAMPBELL SCIENTIFIC, 2002-2004, S.27ff, 2002, S.6, 1998, S.8; TOMER et al., 1999, S.780; WILPERT et al. 1997, S.180; ELLER und DENOTH, 1995, S.140f). In diesen Studien wurde der Sensoroutput als unabhängige und θ_v als abhängige Variable gewählt. Selbst TOPP et al. (1980, S.580), die zwar Beziehungen mit ε_b als Abhängige präsentieren, rechnen für die praktische Anwendung mit dem ungekehrten Abhängigkeitsverhältnis. Dies lässt vermuten, dass die geforderte Zweistufigkeit der Kalibrierung (vergl. Kap. C.4.1) nicht immer korrekt eingehalten wird, was kritisch zu beurteilen ist. Der Sensoroutput ist in jedem Fall als vom herrschenden Wassergehalt im Boden bzw. anderer, oft schwierig zu erfassender Parameter abhängig zu betrachten.

Für Vergleichszwecke v.a. mit der Standardkalibrierung des Herstellers wurden die umgekehrten Abhängigkeitsverhältnisse in der vorliegenden Arbeit ebenfalls überprüft. Auffällig dabei ist, dass beide quadratische Varianten (CS P2 und P2) konvexe Kurvenformen vor-

schlagen, was in Widerspruch zu den Herstellerkurven steht. Konvexe Polynome wurden auch von STENGER et al (2005, S.613) beobachtet, die diese in Zusammenhang mit abweichenden dielektrischen Eigenschaften der organischen Substanz bringen. Für ihren Gley wurden Reduktions- und Oxidationsprozesse, dabei v.a. die Eisenausscheidungen als ausschlaggebend interpretiert. Bei den vorliegenden Daten ist eher anzunehmen, dass dieses Phänomen auf das Fehlen von Wertepaaren im trockeneren Bereich zurückzuführen ist, zumal es bei den Daten der erweiterten Feldkalibrierung (EFK 2005) nicht auftritt. Der ähnliche quadratische Ausgleich für beide Abhängigkeitsverhältnisse veranschaulicht umso deutlicher, dass die Polynombeziehungen unpassend sind für die Daten der Feldkalibrierung (FK 01-03).

C.7.2.2 Erweiterte Feldkalibrierung (EFK 2005)

Bei der EFK 2005 wiederholen sich die Muster, die sich bereits bei den Feldmessungen abgezeichnet haben. Die Absolutüberschätzungen von θ_v der Herstellerstandardkalibrierungen sind besonders hoch im sehr feuchten Milieu und nehmen im trockenen Bereich direkt proportional ab. Messpunktspezifische Abweichungen sind klar unterscheidbar. Im Messverlauf wurde eine auffällige Erhöhung der Sensorwerte beobachtet, die in eindeutigem Zusammenhang mit der raschen Temperaturzunahme in diesem Zeitraum steht. Generell fällt auf, dass sich der Sensor bis 0,15 θ_v streng linear bei sehr steilem Anstieg verhält, darüber nimmt die Streuung stark zu.

Während der Trocknungsphase wurde ein geringer Temperaturabfall mit darauf folgendem starken Anstieg beobachtet. Es gab keine eindeutigen Hinweise für die Ursache dieses Verlaufes, jedoch wird vermutet, dass ein Gerätefehler des Trockenschrankes dafür verantwortlich ist. Zum einen ist die rasche Temperaturerhöhung als Nachteil für die Qualität der Kalibrierung zu sehen, zum anderen wurde damit die Temperaturanfälligkeit des Sensors ab etwa 20 °C offensichtlich demonstriert, was in Einklang steht mit Berichten von STENGER et al. (2005, S.609f) und KIM und BENSON (2002, S.71f). Jedes Subset reagierte unmittelbar mit mehr oder weniger stark erhöhten Peaks.

Als zusätzlich einschränkend für die Kalibrierqualität ist der zunehmende Volumsverlust der Proben während des Trocknungsverlaufes zu bewerten. Durch den Wasserverlust reagierte das Substrat mit starken Schrumpfvorgängen, was zu ausgeprägter Rissbildung führte. Dadurch waren bis gegen Ende des Kalibriervorganges wiederholte Teilabschnitte der Sensoren vom Substrat freigelegt. Es muss davon ausgegangen werden, dass dies großen Einfluss auf die Ausbreitung der elektromagnetischen Welle und damit den Sensoroutput ausübte. Zusätzlich stellt die Volumsminderung eine Beeinträchtigung der Zuverlässigkeit der gravimetrischen Daten dar. Für die gravimetrische Wassergehaltsbestimmung sind definierte Probenvolumina gefordert.

Die Regressionsstatistiken für die Modelle der EFK 2005 lieferten ausreichende Beweise für gute Beschreibungen der Beziehungen. Sowohl die F-Tests für die Regressionen als auch die T-Tests für die Koeffizienten waren hoch signifikant. Einzige Ausnahme bildeten die Modelle CS P2 S und CS P3 S. Einige der Subsets lieferten Indizien dafür, dass die quadratischen bzw. kubischen Terme einen unbedeutenden Beitrag zur Vorhersage leisten. Die Gültigkeit eines Zusammenhangs 3. Ordnung wird außerdem entkräftigt durch Variablenausschluss bei der Kurvenanpassung. Die verwendete Software SPSS 12 wies Kollinearitäten zwischen den erklärenden Variablen durch Unterschreitung der Toleranzlimits des VIF (Variance Inflation Factor) nach. STAHEL (1999, S.271) merkt an, dass kleine Toleranzen zu großen Ungenauigkeiten bei der Schätzung der betroffenen Koeffizienten und damit zu Schwierigkeiten bei der Interpretation führen. Bei Programmen, die selbständig einen Variablenausschluss durchführen, sei jedoch Vorsicht geboten, da es meistens vom Zufall abhängig ist, welche Variablen als erste weggelassen werden. Da die Modelle CS L, CS P2 und CS P3 nur für Vergleichszwecke mit den Herstellergleichungen dienten, an sich aber

nicht der geforderten Zweistufigkeit für Kalibrierungen folgen, wird darauf verzichtet, ihre Gültigkeit bzw. Fehlerbehaftung ausführlich zu diskutieren.

Die besten Annäherungen wurden über die multiplen Modelle mit Temperatur bzw. Porenanteil als zusätzliche Variable erzielt. Der MSE der Herstellerkalibrierung (CS SK) konnte damit von 0,104 auf 0,001 m^3m^{-3} θ_v und MD von 0,265 auf 0,030 m^3m^{-3} θ_v reduziert werden (MR T D). Die Aufsplittung nach Subsets bot dabei keine wesentlichen Vorteile im Unterschied zur oben beschriebenen einfachen Feldkalibrierung. Der Grund dafür könnte im erweiterten Bereich der verfügbaren Datenpaare liegen.

Die Residuendiagnoseplots der EFK 2005 legen teilweise Verletzungen der Voraussetzung der Normalverteilung und der Varianzhomogenität der Fehler nahe. STAHEL (1999, S.272) diskutiert die Vielfalt der multiplen linearen Regressionsmodelle und merkt an, dass Annahmen über die erklärenden Variablen nicht voraus gesetzt sind. Ihre Fehler müssen keiner bestimmten Verteilung folgen, wodurch das Modell an Flexibilität gewinnt. Genauso beschreibt er für multiple Tests die übliche Regel, auf die Signifikanz der einzelnen Terme zu achten, als fragwürdig. Jedoch führt er trotzdem die Prüfung der Modellannahmen meistens als wesentlich an, um nach besseren Modellen zu forschen, während Signifikanzprüfungen in der konfirmatorischen Datenanalyse im Vordergrund stehen. Derlei Angaben in der Literatur verwirren und können durchaus als widersprüchlich ausgelegt werden. In jedem Fall veranschaulichen sie den großen Freiraum bei der Anwendung statistischer Vorgaben bzw. der Interpretation und den damit verbundenen Schwierigkeiten im Umgang mit den Resultaten.

C.7.2.3 Überlegungen zu den statistischen Analysen

Das Aufsplitten der Datenmenge auf Subsets, dessen Notwendigkeit sich durch eindeutige Indizien von messpunktspezifischen Abhängigkeitsmustern ergibt, reduziert die Stichprobenzahl auf ein Minimum. Dadurch werden die Vorraussetzungen der Regressionsstatistiken nur eingeschränkt erfüllt. Die Residuenanalysen geben Hinweise auf partielle Verletzungen der linearen und multiplen Regression zugrunde liegenden Modellannahmen bezüglich der Residuenverteilung (ARMITAGE und COLTON, 1998, S.2273, QUINN und KEOUGH, 2002, S.92). Die Form der Verteilung der Fehler wird als wesentlich für Vorhersagezwecke, insbesondere für Prognoseintervalle angegeben (STAHEL, 2003, S.275). Bei allfälligen Abweichungen wird empfohlen, mittels robusteren Methoden oder Transformationen andere Modelle zu entwickeln, die den Daten besser entsprechen.

Im vorliegenden Fall behindert der geringe Stichprobenumfang die Interpretation der Fehleranalysen und der Testergebnisse. Die T-Statistiken der Koeffizienten der multiplen Regressionsmodelle mit der Temperatur und dem Porenanteil als zusätzliche, unabhängige Variablen vermitteln den Eindruck, dass diese keinen signifikanten Einfluss auf die Messsignale ausüben. Aufgrund fehlender ausreichender statistischer Beweise könnten daher die erwähnten Variablen unberücksichtigt bleiben. Die Testresultate der Koeffizienten schlagen einzig die einfachen linearen Modelle als die weitgehend abgesicherten Varianten mit ausreichenden Nachweisen für lineare Abhängigkeiten vor. Die F-Werte der Regressionen hingegen sind für alle Varianten großteils hoch signifikant, womit die Beziehungen als statistisch bewiesen gelten. Eine Ausnahme bildet das Subset V1 0-30cm, das bei den multiplen Modellen nicht signifikante Werte liefert. Dies ist im Zusammenhang mit der geringen Anzahl der Freiheitsgrade zu sehen, wodurch sich der kritische F-Wert nicht berechnen lässt (SOPER, 2006). Dies trifft auch alle Subsets der Variante MR TP S, da die Anzahl der unabhängigen Variablen die Freiheitsgrade teilweise übersteigen, was die Gültigkeit des multiplen Regressionsmodells im Ansatz in Frage stellt.

Für Eichungen bzw. inverse Kalibrierungen beschreibt STAHEL (2006, S.113) die Resultate als brauchbar, wenn die Zusammenhänge eng sind, d.h. wenn $r^2 > 0,95$ ist. Laut seinen Angaben sind Messwerte von Kalibriergeraden vereinbar im Sinne des Tests, wenn die Punkte mit Wahrscheinlichkeiten $P \geq 0,95$ im Vorhersageintervall liegen. TOWNEND (2001, S.142)

hingegen weist darauf hin, dass die inverse Rückrechnung die Angabe von Konfidenz- und Vertrauensintervallen für Kalibrierungen verkompliziert.

Im vorliegenden Fall erscheint es gerechtfertigt, darüber hinwegzusehen, dass eine differenzierte statistische Analyse nur eingeschränkt durchführbar ist. Die Rückrechnung auf $\theta_{v\ CS\ 615}$ über die messpunktspezifischen Subsets des multiplen Ansatzes der Feldkalibrierung liefert ohne Zweifel eine weit engere Anpassung an die wahren Wassergehalte als die einfache lineare Regression getrennt nach Subsets bzw. die entsprechenden Modelle für den gesamten Datensatz, obwohl die angesprochene Problematik bezüglich des Stichprobenumfangs hier nicht gegeben ist. Diese Überlegung wird untermauert durch den Vergleich der systematischen Fehler, der Varianzen und der mittleren Absolutabweichungen. Die Modelle für den gesamten Datensatz sind nicht in der Lage, die besonders hohen Überschätzungen ausreichend zu kompensieren, bzw. weist das einfache Regressionsmodell LR S eine zu hohe Streuung der korrigierten $\theta_{v\ CS\ 615}$ auf. Die Kalibrierung über den multiplen Ansatz MR TP S hingegen findet gut angepasste Werte für den relevanten Feuchtigkeitsbereich. Grundsätzlich sollte in Erwägung gezogen werden, die Daten über die Möglichkeit der Variablentransformation bzw. die Anwendung von anderen statistischen Methoden wie die „*high breakdown point regression*“ oder „*bounded influence regression*“, die nach STAHEL (1999, S.288) hohe Robustheit erreichen lassen, zu überprüfen, um möglicherweise bessere Anpassungen als die Diskutierten zu erhalten.

BLOCK D: WASSERHAUSHALT UND WASSERBILANZ

D.1 Zusammenfassung

Zur Einschätzung der hydrologischen Reaktionen unterschiedlich reduzierter Bestände wurde versucht, die Komponenten der Wasserbilanz zu quantifizieren. Das Monitoring der Bodenwasservorratsänderung und der Interzeption in zwei äußerst niederschlagsreichen Jahren erlaubte Einblicke in die saisonale und räumliche Variabilität des Sonderstandortes. Meteorologische Parameter wurden über eine Klimastation aufgezeichnet. Der Bestandesniederschlag und die Interzeptionsraten wurden für jede Pflegevariante separat erhoben. Die Bodenwasservorratsänderung wurde über Dauerregistrierung mittels fix installierten Datenloggersystemen und CS 615-Water Content Reflectoren ebenfalls für jede Variante erfasst. Über die Wasserbilanzgleichung wurden die Evapotranspirationsraten der unterschiedlichen Pflegevarianten evaluiert.

Stagnierende Bodenwasserbedingungen und maximale Feuchtigkeitslevel bis 0,79 θ_v waren charakteristisch während des gesamten Untersuchungszeitraumes. Unterschiede in den Wassergehaltsreaktionen wurden für die obere und untere Bodenschicht (bis 0,3 bzw. 0,6 m) sowie aufgrund von Geländeinhomogenitäten wie Buckel oder Mulden festgestellt. Die Interzeptionsraten der Baumschicht lagen zwischen 9 und 48 %. Die Interzeption des unbehandelten Gesamtbestandes betrug für die Messsaisonen 2001 und 2002 219,2 bzw. 26 %. Stammentnahmen verringerten die Interzeptionsleistung im ersten Jahr um bis zu 13 %. Im zweiten Jahr wurde beinahe die Leistung des unbehandelten Bestandes durch bessere Entwicklung der Krautschicht und durch zunehmenden Stockausschlag erreicht. Für die niederschlagsreiche Saison 2002 (994,6 mm) betrug die Evapotranspiration des unbehandelten Bestandes 731,8 mm bei Tagesraten von 4,9 mm d^{-1}. Stammzahlreduktionen wirkten sich in erhöhter Evapotranspiration durch Erhöhung der Evaporation aus. Die gewonnenen Resultate demonstrieren, dass der Erlenbestand einen effizienten Wasserpuffer gegenüber hohe Niederschlagsinputs über den Zeitraum der Vegetationsperiode darstellt.

D.2 Theoretische Grundlagen

D.2.1 Bodenwasserdynamik (BW)

Bodenwasser ist eine hochdynamische Einheit mit großer räumlicher und zeitlicher Variabilität v.a. in Oberflächen- und Wurzelnähe (SUMNER, 2000, S.A-53). Das Pflanzenwachstum ist stark abhängig von der zeiltichen Veränderung des Bodenwassergehaltes und seines Energiestatus. Eine Reihe von Bodeneigenschaften wie Konsistenz, Plastizität, Verdichtbarkeit und Durchwurzelbarkeit steht in direktem Zusammenhang mit dem Wassergehalt. In Tonböden verursachen Wasserzufuhr und –entzug Quell- und Schrumpfprozesse, wodurch wiederum Porenanteil, Dichte und Durchlässigkeit variieren und damit Gasaustaustausch und chemische Prozesse gesteuert werden (HILLEL, 1998, S.129). Wurzelatmung und die Aktivität der Mikroorganismen werden über die Bodenwasserdynamik und den damit verbundenen Änderungen der mechanischen, physyikalischen und chemischen Bodeneigenschaften reguliert.

Der Begriff Bodenwasser repräsentiert die flüssige Bodenphase, die in der Regel eine Wasserlösung aus Salzen, organischen Substanzen und Gasen darstellt. Der Bodenwasserstatus ist definiert über den Bodenwassergehalt, der den Massen- oder Volumsanteil des Wassers im Boden ausdrückt, und das Bodenwasserpotenzial, das den physikochemischen Zustand und die Bewegung des Wassers im Boden beschreibt (HILLEL, 1998, S.129ff). Die Anwendung des Potenzialkonzeptes auf das Bodenwasser erlaubt die Charakterisierung aller Wasserbewegungen im Boden wie Infiltration, Dränung und kapillarer Aufstieg (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 1992, S.174).

Unter den verschiedenen Potenzialkomponenten manifestiert das Matrixpotenzial die Energie, mit der Wasser von der Bodenmatrix festgehalten wird. Das Matrixpotenzial resultiert aus Adsorptionskräften der Bodenpartikel und der Kapillarität in den Poren ((HILLEL, 1998, S.129ff; MCLAREN und CAMERON, 1996, S.77). Bodenwassergehalt und Matrixpotential stehen in Beziehung zueinander, die von der Porengrößenverteilung und dem Porenvolumen abhängig ist und sich in den verschiedenen Horizonten der Böden unterscheidet. Diese Beziehung, meist in Form der Wasserspannungskurve dargestellt, ist charakteristisch für jeden Boden und lässt Rückschlüsse auf seinen Wasserhaushalt bzw. Speichereigenschaften, Entwässerung oder Pflanzenverfügbarkeit zu (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL, 1992, S.177).

Wasserbewegungen im Boden sind gemäß dem Gravitationspotenzialgradienten vertikal gerichtet, bodenoberflächenparallele Flüsse sind aufgrund der fehlenden Gravitationskraft geringer. In Hängen jedoch verursacht die zusätzliche Schwerkraftkomponente der Neigung hangabwärtsgerichtete Querbewegungen (Interflow). Die treibende Kraft der Wasserbewegung in ungesättigten Böden stellen die unterschiedlichen Potenzialgradienten verschiedener Zonen oder Schichten dar (MCLAREN und CAMERON, 1996, S.90). Der Einfluss des Matrixpotenzialgradienten übertrifft häufig jenen des Gravitationspotenzialgradienten, was in Abhängigkeit von der Kapillarität in auf- oder seitwärts gerichteten Fließbewegungen resultiert.

Die Flussrate im Boden wird durch Darcy's Law beschrieben und als gesättigte Wasserleitfähigkeit bzw. Durchlässigkeitskoeffizient (k-Wert) angegeben. Die Wasserleitfähigkeit beschreibt die Fähigkeit, Wasser in Abhängigkeit vom Porensystem weiterzuleiten. Körnung und Gefüge des Bodens haben einen Einfluss auf die Wasserleitfähigkeit des Bodens (SUMNER, 2000, S.A-88). Bei Sättigung sind die Poren wassergefüllt, die Porenluft wird verdrängt, was bei den meisten Böden ein nur vorübergehender Zustand ist, da durch Abfluss und Versickerung die Luft wieder in die Makroporen zurückfließt. Der Boden erreicht die Feldkapazität. Dies dauert bei Anwesenheit von Staukörpern länger oder kann sogar unterbunden sein. Bei ausgeprägten Tonböden mit hohem Porenvolumen ist die Feldkapazität hoch, jedoch der pflanzenverfügbare Wasseranteil nur mäßig, da das Wasser stark adsorbiert wird und die Pflanzen dem Ton das Wasser nur schwer entziehen können

(MCLAREN und CAMERON, 1996, S.93f, SUMNER, 2000, S.A-65). Die Wasserspeicherung und damit der Bodenwasservorrat im Profil sind im Wesentlichen von der Textur, der Struktur, dem organischen Anteil, der Bodentiefe, den Profilschichten und dem Steingehalt als Hauptfaktoren abhängig. Die Wasserspeicherkapazität von Tonen oder Böden mit Tonschichten, die den Abfluss behindern, ist effektiv größer jene anderer Bodenarten.

In Tonböden ist die gesättigte Wasserleitfähigkeit ausgesprochen niedrig und kann k-Werte von nur 10^{-8} m sec^{-1} erreichen (MCLAREN und CAMERON, 1996, S.93f), wodurch bei Niederschlag sehr rasch Wasserstau auftritt. Die kapillare (ungesättigte) Leitfähigkeit in Tonböden verringert sich nach BOOGARD (2001, S.32) bei einer nur geringen Abnahme des Wassergehaltes bedeutend. ČUSTOVIC und HAKL (2003) stellten über Lysimeterversuche mit Ton- und Sandböden signifikant geringere Durchflussraten der halb gesättigten Tonböden fest.

Infiltratation bezeichnet den Prozess des Wassereintritts in den Boden bzw. die vertikale Bewegung des Sickerwassers innerhalb des Profils. Die Infiltrationsrate in Bezug zum Wassereintrag determiniert den Anteil der Wasseraufnahme im Boden. Sobald der Niederschlag die Infiltrationsrate übersteigt, beginnt der Oberflächenabfluss (Runoff), der in weiterer Folge Gewässerabfluss und Oberflächenerosion beeinflusst (HILLEL, 1998, S.385ff; MCLAREN und CAMERON, 1996, S.93f). SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL (1992, S.185) nennen die Infiltration als Folge von Niederschlägen bzw. Beregnung und Überstauung und das Porenvolumen, den Anfangswassergehalt, die Verschlämmung und die Veränderung der Wasserleitfähigkeit als maßgebend. Bei Tonböden regulieren Größe und Struktur der Makroporen weitgehend die Infiltrationsprozesse (HILLEL, 1998, S.416). Die Bedeutung der Makroporen für die Aufnahme von Regenwasser vor allem in Tonböden mit konstant hohen Wasserverhältnissen sprechen REID und PARKINSON (1987) an. BOOGARD (2001, S.32) betont, dass Rutschhänge neben dem Einfluss der Makroporen auf die Infiltration zusätzlich durch den Wechsel von Öffnen und Schließen von Bodenrissen durch die Bewegungsprozesse geprägt sind.

Der Wasseranteil im Winter ist generell am höchsten und im Sommer am niedrigsten außer in Perioden von Intensivniederschlägen, während Frühjahr und Herbst als Übergangsperioden bezeichnet werden (ENDALE et al., 2006). REID und PARKINSON (1987) berichten von geringer Variabiltät des Wasserlevels von Tonböden in den Wintermonaten, wenn diese zu Beginn der Saison gründlich durchfeuchtet waren. Marginale Austrocknung auf wöchentlicher Basis trotz beachtlicher Regenmengen bringen sie in Zusammenhang mit höherem Ausgangswassergehalt als der Saisondurchschnitt. Die Konstanz des mittleren Winterwassergehaltes bezeichnen sie als praktikables Maß der Feldkapazität bzw. des pflanzenverfügbaren Wassers.

ENDALE et al. (2006) nennen die Variation des Bodenwassergehalts als abhängig von Niederschlag und Evaporation. Die Wassergehaltsbnahme im Sommer ordnen sie in den oberen 100 cm großteils der Wurzelaufnahme, in den darunterliegenden Schichten zusätzlich dem Kapillaraufstieg zu. BOOGARD (2001, S.32) hingegen sieht die Wasserfügbarkeit in den oberen Zentimetern als die Evapotranspiration kontrollierend. Der Wassertransport zwischen Boden und Pflanze wird nach MCLAREN und CAMERON (1996, S.95f) von zwei treibenden Kräften verursacht. Bei geringen Transpirationsraten wird das Wasserpotenzial der Wurzeln aufgrund von Lösungskonzentrationen im Xylem niedriger als jenes von der Bodenmatrix. Durch osmotische oder aktive Absorption fließt Wasser vom Boden zu den Wurzeln. Bei hoher Transpiration wird die Lösung in den Wurzeln stark verdünnt, das Pflanzenwasserpotenzial sinkt. Durch die Potenzialdifferenz fließt Wasser schnell in Form von Massenfluss oder passiver Absorption in die Pflanze.

Über das Jahr betrachtet ist die Bodenwasservorratsänderung der Wurzelzone im Verhältnis zur Totalwasserbilanz klein. Nach HILLEL (1980, S.201) entspricht die Summe von Bewässerung und Regen annähernd der Summe von Evapotranspiration und Durchfluss. Für kürzere Perioden kann die Bodenwasservorratsänderung beachtlichere Ausmaße annehmen und muss daher gemessen werden. Auf die Möglichkeiten zur Messung des Bodenwassergehaltes wurde bereits in BLOCK C eingegangen. HILLEL (1980, S.202) betont,

dass die Messung des Wassergehaltes in der Wurzelzone oder des Unterbodens keine Informationen über die Richtung oder Rate der Bodenwasserbewegungen zulässt. Tensiometermessungen hingegen liefern Aussagen über die Richtung und das Ausmaß der hydraulischen Gradienten im Profil bzw. über die Wasserbewegungen im Hinblick auf die Wasserleitfähigkeit, die Saugspannung oder den Feuchtigkeitszustand bestimmter Schichten. Als die direkteste Methode zur Feldmessung der Wasserbilanz wird die Verwendung von Lysimetern gesehen (HILLEL ;1980, S.202; ČUSTOVIC und HAKL, 2003; KASTANEK et al., 2001).

Die Beobachtung der Bodenwasserdynamik dient häufig dazu, den Bodenwassergehalt in Relation zu oberirdischen Wasserzugaben zu setzen und somit Ertragserhöhungen in land- oder forstwirtschaftlichen Pflanzenbausysytemen steuern zu können. Präzise Messungen der Wasserstände und ihre räumliche Variation dienen als Grundlage zum Modellieren von Bodenwasservorratsänderungen und Abflussprozessen in Abhängigkeit vom Niederschlagsgeschehen (ENDALE et al., 2006; ARMSTRONG, 2006; SCHUME et al., 2004 und 2003; RIDOLFI et al., 2003; BOOGARD, 2001). Die Verbesserung des Verständnisses des Bodenwasserregimes ingenieurbiologischer Systeme wird als Beitrag und Entscheidungshilfe in Bezug auf differenzierte Stabilisierungsmaßnahmen, Erosionsschutz und Pflegeeingriffe gesehen.

D.2.2 Interzeption (I)

Nach DVWK (1986, S.1) ist als Interzeption jener Teil des Niederschlages definiert, der die Bodenoberfläche nicht erreicht, da Niederschlag an der Pflanzenoberfläche aufgefangen, teilweise vorübergehend gespeichert und verdunstet wird. Solange die Benetzungskapazität höher als der Regen ist, beträgt nach DENGLER (1992, S.294) die Interzeption fast 100 % und erst bei stärkerem Niederschlag gelangt Regenwasser durch das Kronendach zum Waldboden. Dabei üben die Dauer, Häufigkeit und Intensität der Niederschläge sowie meteorologische Parameter wie Wind, Temperatur und Strahlung entscheidende Einflüsse aus. Die Interzeption hängt zusätzlich stark vom Vegetationstyp und seinem Entwicklungsstatus ab, was üblicherweise durch den Blattflächenindex (LAI, s. BLOCK E) ausgedrückt wird (DINGMAN, 2002, S.301f).

Die Interzeption von Koniferen und Laubgehölzen unterscheidet sich deutlich. Nach DENGLER (1992, S.294) weisen Fichtenbestände um 10-15 % höhere Interzeptionsleistung als Laubwälder auf. MARKART (2000, S.15) bietet eine gute Übersicht über zahlreiche Arbeiten, die sich mit Interzeptionsraten von Koniferen auseinandersetzt, wobei eine Variationsbreite von 20 – 80 % auffällt. BRECHTEL und PAVLOV (1977, S.B/1ff) geben für Laubholzarten wie Hainbuchen 12 – 33 %, für Eichen 5 – 15 %, für Buchen 9 – 42 % bei 100 mm Niederschlag an. SCHUME (1998, S.109) hat an Hybridpappelbeständen 28 % bei 229 mm Niederschlag festgestellt, für Birken beobachteten GRANIER et al. (2000, S.296) 25 % – 30 % bei 5 – 15 mm Niederschlag.

DINGMAN (2002, S.301) spricht die Bedeutung der Interzeption zusätzlich zur Transpiration für die Evaluierung der Effekte von Vegetationsveränderungen auf die regionale Wasserbilanz an. Durch den Kontakt des Niederschlagswassers mit der Vegetation ändert sich außerdem dessen chemische Zusammensetzung signifikant. Damit wiederum werden Verwitterungsprozesse und Grundwasserqualität beeinflusst.

Die direkte Messung der Interzeption erfordert die Erfassung des Freiflächenniederschlags, des Bestandesniederschlags und des Stammabflusses. Erschwert wird diese Prozedur jedoch durch Messungenauigkeiten bei den Niederschlagsdaten, was sich vor allem bei niedrigen Niederschlägen und damit verbundenen hohen Interzeptionsraten auswirkt. Die hohe räumliche Variabilität des Kronendurchlasses sowie Schwierigkeiten bzw. der hohe Aufwand bei der Messung des Stammabflusses tragen ebenfalls zu Einschränkungen bei Interzeptionsmessungen bei (DINGMAN, 2002, S.302).

Die indirekte Evaluierung von Interzeptionsraten über mathematische Modellansätze unter Verwendung verschiedenster Parameter wie Blattflächenindex, Kronenspeicherkapazität und -leitfähigkeit, Evaporationsraten etc. neben diverser meteorologischer Parameter wurde in zahlreichen Arbeiten diskutiert (ANZHI et al., 2005; XIAO und MCPHERSON, 2002; VAN DIJK, 2002; LIU, 2001; MAHFOUF und JACQUEMIN, 1989). Zunehmender Beliebtheit zur Simulation von Interzeptionsdaten von diversen Waldbeständen erfreuen sich computerunterstützte Simulationsmodelle (FEDERER, 2002; DINGMAN, 2002, S.302; SCHUME, 1998; THOMSEN, 1994b).

D.2.3 Evapotranspiration (ET)

Unter Evapotranspiration versteht man die Summe aus der Verdunstung von Wasser (flüssige und feste Phase) und der Pflanzentranspiration, wobei Erstere die Wasserbewegung in die Luft vom Boden, von Wasserkörpern und durch Kroneninterzeption inkludiert. Zweitere steht für die Wasserbewegung innerhalb der Pflanzen und dem nachfolgenden Verlust als Wasserdampf über die Blattstomata. Beinahe alles Wasser, das mit den darin benötigten Nährstoffen über die Wurzeln aufgenommen und durch die Pflanze transportiert wird, wird, geregelt durch die Spaltöffnungsprozesse, über die Blätter ausgeschieden (FAO, 2007; DINGMAN, 2002, S.272f).

Die Energie, die benötigt wird, Wassermoleküle vom flüssigen in den gasförmigen Zustand zu versetzen, wird primär von der Sonneneinstrahlung und vom Wind, zu einem geringeren Ausmaß, von der umgebenden Lufttemperatur zur Verfügung gestellt. Die treibende Kraft, durch die der Wasserdampf von der verdunstenden Oberfläche in die Atmosphäre entweichen kann, ist ihr Dampfdruckgradient. Die ET hängt daher von folgenden Faktoren ab:

- Bodenwassergehalt
- Artengefüge und Intensität der Vegetation (Biomasseproduktion)
- Bodenbedeckung und Sonneneinstrahlung
- Luftfeuchtigkeit
- Temperatur der Erd- und Wasseroberfläche und der bodennahen Luftschichten
- Windgeschwindigkeit an der Erdoberfläche

Als die wichtigsten Bestandesmerkmale, die die ET beeinflussen, gibt LAGANIS (2007, S.15) Alter und Größe der Bäume, Bestandes- und Kronenstruktur, LAI und Bodentyp an. Die beeinflussenden physiologischen Faktoren sind die Regulierung der Spaltöffnungen, der Stomatawiderstand und die Leitfähigkeit innerhalb der Leitbahnen.

Das Ausmaß der Beschattung durch Vegetationsdecken und das Wasser, das in der verdunstenden Oberfläche verfügbar ist, lenken ebenfalls die Evaporationsprozesse. Häufiger Regen, Bewässerung, Wassertransport vom Grundwasser durch den Boden stellen Wasser zur Verfügung, das verdunstet werden kann. Ist die Wasserversorgung über den Boden schnell und ausreichend, wird die Evaporation ausschließlich von den meteorologischen Faktoren beeinflusst. Die Transpiration, die stomatär reguliert wird, hingegen hängt zusätzlich vom Vernässungsgrad und der Wasserleitfähigkeit des Bodens, der Bodenwassersalinität, von der Pflanzenart, vom Alter und Entwicklungszustand des Bestandes, von Umweltaspekten und der Art der Kultivierung ab. Evaporation und Transpiration treten immer gleichzeitig auf. Eine Trennung bzw. Unterscheidung beider Prozesse ist nur bedingt möglich (FAO, 2007).

In einem Einzugsgebiet bedeutet die ET einen signifikanten Wasserverlust, der vom Vegetationstyp und der Bewirtschaftung abhängt. Das Wasser, das über Pflanzen transpiriert wird, wird über die Wurzeln transportiert. Folglich können Tiefwurzler wie die meisten Gehölze mehr Wasser transpirieren. Koniferen haben in der Regel höhere ET-Raten als Laubwälder, da sie höhere Nadeloberflächen und damit mehr Transpirationsporen besitzen

bzw. mehr Tropfen im Nadelraum der Verdunstung freigesetzt sind. Neben dem Pflanzenentwicklungsstadium und der Bodenbedeckung beeinflussen vor allem die Faktoren Globalstrahlung, Feuchtigkeit, Wind und Temperatur ihre Evaporationsleistung.

In unbewässerten Gebieten ist die aktuelle ET in der Regel nicht größer als der Niederschlag mit einem zeitlichen Puffer in Abhängigkeit von der Bodenwasserhaltekapazität. Wasserverluste durch Infiltration und Oberflächenabfluss verringern somit die ET. Ausnahmen bilden Gebiete mit hohen Wasserständen, wo durch die Kapillarwirkung Grundwasser über die Bodenmatrix zur Oberfläche transportiert wird. Übersteigt die ET den Niederschlag, kommt es zur Austrocknung, sofern nicht bewässert wird (FAO, 2007; DINGMAN, 2002, S.272f).

SCHUME et al. (2004, S. 259) recherchierten zahlreiche Arbeiten über die Evapotranspiration verschiedener Bestände, die darauf hinweisen, dass Koniferen in der Regel über einen ökonomischeren Wasserkonsum verfügen als Laubgehölze, da ihre Interzeptionswirkung höher ist. Unterschiedliche Kronen-, Stamm- und Rindencharakteristika führen zu Unterschieden im Kronendurch- und im Stammabfluss. Abweichende Wurzelsysteme und –tiefen werden in den vertikalen bzw. horizontalen Bewegungsmustern des Bodenwassers widergespiegelt. Zusätzlich ist zu erwarten, dass die Bodenwasserdynamik und Wasseraufnahme auch Interaktionen zwischen den Arten in Mischbeständen unterliegen.

KOMATSU (2005) erarbeitete klare Unterschiede in Evaporationsraten von insgesamt 67 Laub- und Nadelbeständen mit größerer Variation zwischen den Individuen der Koniferen. Außerdem stellte er eindeutige Beziehungen zwischen der Höhe des Kronendaches und den Evaporationsraten der Nadelwälder fest.

D.2.4 Ermittlung der Evapotranspiration (ET)

Die direkte Messung der ET erfolgt über Lysimeter oder Evaporimeter (PAULIUKONIS und SCHNEIDER, 2001; MARTIN und STEPHENS, 2006). Erstere sind isolierte Tanks mit gestörtem oder ungestörtem Boden. Die Änderung der Masse entspricht dem Wasserverlust und wird durch genaue Wägung ermittelt. Bei letzterem ist Wasser der freien Verdunstung ausgesetzt, der Wasserverlust wird im 24-Stunden-Takt über Drucksensoren gemessen. Sie messen eigentlich die potenzielle Evapotranspiration (PET) und geben an, wie viel Wasser bei gegebenen Bedingungen und ausreichender Wasserverfügbarkeit verdunsten würde, wobei kein Rückschluss auf die reale Verdunstung zulässig ist aufgrund neu herangeführter, ungesättigter Luft.

Die direkte Messung der ET ist generell aufwändig und teuer. In der Regel wird sie indirekt über klimatische Faktoren n berechnet. Eine Reihe von mathematischen Modellen wurde entwickelt, die über die Verwendung leicht messbarer Parameter die ET auf Basis der PET (ET bei ausreichender Wasserverfügbarkeit) schätzen können.

Die Schätzung der ET über die Wasserbilanzgleichung eines Einzugsgebietes gleicht die Bodenwasservorratsänderung über die Wasserein- und Austräge (In- und Outputs) aus. Der Ansatz zur Bilanzierung von Wasserflüssen kann folgendermaßen dargestellt werden:

Input – Output = Bodenwasservorratsänderung ΔBW

Dabei inkludiert der Input den Freiflächenniederschlag, Zuflüsse und die Grundwasserverfügbarkeit. Als Output sind Interzeption, Abflüsse (Infiltration, Versickerung, Oberflächenabflüsse), Transpiration und Verdunstung (ET) zu subtrahieren. Die meisten Parameter können direkt gemessen werden, der unbekannte Faktor ET kann durch Umformung der Gleichung berechnet werden.

Die Wasserbilanzansatz stellt ein einfaches Konzept zur Ermittlung der ET dar, wobei die genaue Erfassung aller Bilanzkomponenten oft problematisch ist. Häufig unterliegen sie gewissen Ungenauigkeiten aufgrund von Messfehlern bzw. können nur in Form von

Schätzungen eingebracht werden. Die Wasserbilanzgleichung dient meist, in Abhängigkeit von der Verlässlichkeit der Bilanzparameter, als Vergleichsbasis für andere Modellansätze (DINGMAN, 2002, S.276).

Durch den Energieaustausch an der Vegetationsoberfläche werden die ET-Prozesse geregelt, aber durch die Energieverfügbarkeit auch limitiert. Diese Limitation ermöglicht die Schätzung der PET über die Energiebilanzformel, die das Prinzip der Energiekonservierung berücksichtigt (DINGMAN, 2002, S.281ff; HILLEL, 1998, S.598). Die Energie, die die Vegetationsoberfläche über einen bestimmten Zeitabschnitt erreicht, ist äquivalent zur Energie, die sie verlässt. Die Energiebilanz inkludiert die Nettostrahlung, die sensible Wärme, die Bodenwärmeströmung und die latente Wärmeströmung, wobei diese sowohl positiv als auch negativ sein können, jedoch nur vertikale Ströme berücksichtigen. Die latente Wärmeströmung kann aus der Gleichung geschätzt werden, die anderen Parameter werden gemessen oder über Klimaparameter ermittelt

Die Massentransfermethode berücksichtigt die vertikale Bewegung kleiner Luftpartikel, so genannter Eddies, über einer großen, homogenen Oberfläche (DINGMAN, 2002, S.277ff). Die Eddies transportieren Wasserdampf und Energie von und zur Verdunstungsoberfläche. Unter der Annahme stationärer Bedingungen kann die ET-Rate über die vertikalen Lufttemperatur- und Wasserdampfgradienten oder alternativ über die Windgeschwindigkeits- und Wasserdampfgradienten generiert werden. Dazu sind genaue Messungen vom Wasserdampf, der Lufttemperatur und der Windgeschwindigkeit in verschiedenen Ebenen oberhalb der Verdunstungsoberfläche erforderlich.

Die Kombination der Massentransfer- und der Energiebilanzformel wurde erstmals von Penman in den späten 1940iger Jahren eingeführt (FAO, 2007; DINGMAN, 2002, S.285f) da dies keine Oberflächentemperaturdaten erforderte. Die Gleichung wurde seither häufig überarbeitet und erweitert, um auch auf die Messung anderer Parameter verzichten zu können. Nach DINGMAN (2002, S.287) leistet die Penman-Kombinationsmethode gute Dienste zum Vergleich der Evaporation von Seen und Feuchtgebiete. Sie ist weitgehend anerkannt als das genaueste Modell und entwickelte sich zur Standardmethode zur Determination der freien Wasserevaporation, da die erforderlichen Eingangsdaten meist leicht verfügbar sind. LOTT und HUNT (2001) stellten fest, dass sie die ET natürlicher Feuchtgebiete unterschätzte. Sie verbinden dies mit der Oberflächenheterogenität und Rauigkeitseffekten, die die Gleichung nicht inkludiert.

Hydrologische Simulationsmodelle erfreuen sich zunehmender Beliebtheit zur Studie von Wasserhaushaltkomponenten, da sie auf prozessorientierter, parameterreicher und deterministischer Basis Ganzjahressimulationen vieler Oberflächenformen bieten. Nach SCHUME (1998, S.37) kann das Modell BROOK90 (FEDERER, 2002) beispielsweise diverse Parameter einstellen, die dem Untersuchungsstandort gerechter werden und entsprechen damit dem Bestandes- und standortspezifischen Ansatz der Verdunstungsrechnung besser. Bodenwasservorratsänderungen und Abflüsse können simuliert werden und den gemessenen Kontrollwerten gegenübergestellt werden. Eingangsdaten sind ausschließlich meteorologische Daten, die zu Tageswerten aufsummiert oder gemittelt werden.

Der Blattflächenindex LAI gilt unter den Bestandeseigenschaften als derjenige Parameter, der die ET am stärksten beeinflusst (LAGANIS, 2007, S.15). Er charakterisiert den aktuellen Entwicklungszustand der Vegetation. Bei Untersuchungen an Weidenbiomassebeständen stellte PERSSON (1995, S.272) als limitierenden Hauptfaktor für die ET die Wasserverfügbarkeit auf unbewässerten Boden fest. Ansonst nennt er nur den LAI ausschlaggebend für den Antrieb von ET und Interzeption. Nach LADEKARL (1998, S.231) verringert sich die Bodenevaporation mit steigendem LAI. Mit Hilfe des LAI kann die potenzielle Evaporation nach der Formel von BELMANS et al. (1983, in PFÜTZNER, 2007) über die PET des unbedeckten Bodens berechnet werden.

D.2.5 Referenzevapotranspiration ET_0

Um die Notwendigkeit zu umgehen, für jeden pflanzlichen Bestand und dessen Wachstumsphase spezifische Evaporationsparameter zu definieren. wurde das Konzept von Referenzoberflächen eingeführt. Anhand von Bestandeskoeffizienten können dabei die ET-Raten der jeweiligen Pflanzendecke in Bezug gesetzt werden zur ET-Rate der Referenzoberfläche (ET_0), für die lange Zeit eine offene Wasserfläche herangezogen wurde (vergl. D.2.4). Jedoch stellte sich der Einfluss der Pflanzen auf die Areodynamik und die Strahlungscharakteristiken im Vergleich zur freien Wasserverdunstung als nicht vernachlässigbar heraus.

Um daher die biologischen und physikalischen Prozesse von Oberflächen mit Pflanzenbewuchs zur berücksichtigen, wurde von der FAO (2007) weltweit die Verwendung eines Grasbestandes als Referenzoberfläche akzeptiert, wobei darunter eine ausgedehnte Grasfläche einheitlicher Höhe verstanden wird, die sich in der Wachstumsphase befindet, adäquat wasserversorgt ist und einen vollen Deckungsgrad aufweist. Die Beschaffenheit der Gras-Referenzfläche ist wie folgt definiert:

> *„A hypothetical reference crop with an assumed crop height of 0.12m, a fixed surface resistance of 70 s m^{-1} and an albedo of 0.23.'* (FAO, 2700)

Die Kulturevapotranspiration unter Standardbedingungen ET_C ist die ET von erregerfreien, gut gedüngten Kulturen in großen Feldern unter optimalen Bodenwasserkonditionen, die die volle Produktionen unter den gegebenen klimatischen Bedingungen erreichen. Suboptimale Bedingungen wie Krankheiten, Bodensalinität, geringe Fruchtbarkeit, Wassermangel und Vernässung resultieren in dürftiger Pflanzenentwicklung, geringer Pflanzendichte und reduzieren die ET-Rate. Die kulturspezifische Evapotranspiration (Et_c) berücksichtigt die phenologische Phase der Pflanzen und ist von praktischer Bedeutung im Management von Kulturen zur Steuerung der Bewässerungsanlagen, um optimale Ernten zu erzielen. Der Wasserbedarf ergibt sich aus der Subtraktion der aktuellen, kulturspezifischen von der potenziellen Evaporation. Für Forschungszwecke im Landwirtschafts- und Pflanzenbaumanagement dient die Berechnung eines Bestandeskoeffizienten K_c, der sich aus dem Verhältnis der gemessenen ET_c zur ET_0 ergibt, dazu, die physikalisch-physiologischen Unterschiede des jeweiligen Pflanzenbewuchses zum Referenzbewuchs auszudrücken.

Zur Schätzung der ET_0 wurde die ursprüngliche Penman-Monteith-Formel unter Berücksichtigung der Gleichungen für die Aerodynamik und der Oberflächenresistenz als FAO-Penman-Monteith-Methode adaptiert. Diese Formel stellt einen Standard-ET_0-Wert zur Verfügung, mit dem die ET verschiedener Jahresperioden oder Regionen verglichen werden kann bzw. die ET unterschiedlicher Pflanzenbestände in Bezug gesetzt werden können. Physikalische und physiologische Faktoren, die den Prozess der ET steuern, werden durch die Gleichung vereinfacht repräsentiert.

Die FAO (2007) empfiehlt, die FAO-Penman-Monteith-Methode als Standardmethode heranzuziehen und von der Verwendung älterer Methoden abzusehen. Die Penman-Monteith-Gleichung gilt als besonders verlässlich zur konsistenten Vorhersage der ET_0 in allen geographischen und Klimaregionen. Die Kalkulationsprozedur zur Berechnung der benötigten Parameter wird von der FAO (2007) im Detail beschrieben. Als Eingangsdaten benötigt die FAO-Penman-Monteith-Formel neben Angaben zur geographischen Breite und Höhenlage Daten von Lufttemperatur, relative Luftfeuchte, Strahlung und Windgeschwindigkeit auf täglicher, wöchentlicher, 10-tägiger oder monatlicher Basis.

D.2.6 Publizierte Beiträge zur Interzeption und Evapotranspiration von Erlen

Vergleich von Buchen- und Schwarzerlenbeständen in Bezug auf Transpiration, Boden und Interzeptionsevaporation von HERBST et al. (1999)

HERBST et al. (1999) veröffentlichten Daten eines 60-jährigen Schwarzerlenbestandes in Norddeutschland und berichten von einer durchschnittlichen Evapotranspiration von 768 mm bei einem Blattflächenindex LAI von 4,8. Bei unlimitierter Wasserverfügbarkeit und in Jahren mit hohem Strahlungsinput überstieg die Evapotranspiration den Freiflächenniederschlag. Die Transpiration (389 mm a^{1}) bzw. Interzeption (128 mm a^{-1}) beschreiben die Autoren als höher als durchschnittliche Raten mitteleuropäischer Wälder. Sie führen die hohe jährliche, wetterabhängige Variation in der Schwarzerlentranspiration auf eine geringere Stomataregulierung im Vergleich zu Buchen zurück.

Blattwasserbeziehungen der Schwarzerle von ESCHENBACH und KAPPEN (1999)

ESCHENBACH und KAPPEN (1999) untersuchten Leitfähigkeit, Transpiration und Wasserpotenziale von Schwarzerlenblättern zur Einschätzung der physiologischen Anpassungsmechanismen auf unterschiedlich nassen Standorten. Zusätzliche Stecklingsexperimente in Nährsubstraten zeigten, dass das Wasserpotenzial einen starken Einfluss auf die Blattleitfähigkeit und den Gasaustausch bei positivem Abhängigkeitsverhältnis ausübte. An den natürlichen Standorten wurden weder Abhängigkeiten der Blattregulation vom Wasserregime noch von der Baumgröße beobachtet. Hohe Blattwasserpotenziale standen in direkter Konsequenz zur Transpiration. Die stomatäre Leitfähigkeit wird über das Blattwasserpotenzial reguliert. Permanent hohe Blattleitfähigkeiten und Transpiration wurden als Strategie zur Produktivitätssteigerung gesehen, da die CO_2-Aufnahme erhöht wird. Dies könnte das gute Wachstum de Schwarzerlen auf wassergesättigten Standorten erklären, wo Sauerstoffarmut andere Arten ausschließt.

Aufforstung wiedervernässter Flachmoore mit Schwarzerlen von DANNOWSKY und DIETRICH (2006a)

DANNOWSKY und DIETRICH (2006a) stufen den Wasserkonsum von Schwarzerlen wieder vernässter Flachmoore kaum höher ein als jenen von intensivem Grasbestand. Verantwortlich dafür nennen sie den niedrigen Blattflächenindex (LAI ≤ 5) und halten sich dabei an Angaben aus der Literatur. Sie zitieren ESCHENBACH et al. (1996), die Tagestranspirationsraten zwischen 0,35 bis 3,87 mm d^{-1} eruierten. Durch den geringen Bedarf an zusätzlichem Wasser von 180 – 200 mm a^{-1} argumentieren sie die Wiederaufforstung von trockengelegten Sümpfen, da die Notwendigkeit eines Bewässerungsmanagements dadurch entfällt.

Emergy-Analysen an Schwarzerlenauwäldern von LAGANIS (2007)

LAGANIS (2007) fasst in seiner Dissertation über die Emergy-Synthese und Ökosystemfunktionen und ihre Einflüsse auf das jährliche Wachstum Arbeiten zusammen, die über hohe photosynthetische Fähigkeiten, hohe stomatäre Leitfähigkeit und kutikuläre Evapotranspiration bzw. ein geringes Ausmaß an Stomataregulation von Schwarzerlenblättern berichten. Angaben über hohe Evapotranspirationsraten findet er in einigen Publikationen. Bei ausreichender Wasserverfügbarkeit steigt die stomatäre Leitfähigkeit linear mit dem LAI. Transpirationsraten bis zu 11 mm d^{-1} bei uneingeschränkter Wasserverfügbarkeit wurden veröffentlicht, wobei die Regulierung der Spaltöffnungen strahlungs- und wasserdampfsättigungsdefizit-, jedoch nicht temperaturabhängig ist.

Der Einfluss unterschiedlicher Bodenfeuchten auf die Transpiration und das Wachstum verschiedener Nadel- und Laubgehölze nach TAKAHASHI (1972)

Bei Wachstums- und Transpirationsuntersuchungen verschiedener Sämlinge von TAKAHASHI (1972) zeigte die Schwarzerle die höchsten Wachstumsraten. Sie entwickelte die höchsten Blattflächen in nassem Substrat, die ihr Maximum im September erreichten, jedoch hatte die Schwarzerle die geringsten Transpirationsraten. Der Einfluss der Bodenfeuchtigkeit wirkte sich signifikant auf die Transpiration aus, die im Frühjahr sukzessive anstieg.

Jährliche Variabilität von Kronentranspiration und der Regulation der stomatären Leitfähigkeit nach EWERS et al . (2007)

Zur Quantifizierung der Variabilität der Bestandestranspiration von dominanten und untergeordneten Arten wurde von EWERS et al. (2007) ein einfaches pflanzenhydraulisches Modell getestet. Die Autoren geben für *Alnus rugosa* mittlere tägliche Transpirationsraten von 0,75 mm d^{-1} (pro Blattflächeneinheit) bzw. 0,9 mm d^{-1} (pro Grundflächeneinheit) an.

Die Verwendung von Pionierarten als Vorvegetation von Fichtenaufforstungen auf schlecht drainierten Standorten nach LANDHÄUSSER et al. (2003)

LANDHÄUSSER et al. (2003) testeten mehrere Pionierarten auf ihre Kapazität, den Wasserstand an nassen Standorten zu senken, wobei sie bei *Alnus crispa* im Vergleich zu *Salix planifolia* und *Calamagrostis canadensis* die höchsten Transpirationsraten bei undrainierten, warmen Bodenverhältnissen feststellten.

Pflanzenwasserbeziehungen von Auenarten nach NACHLINGER et al. (1989)

NACHLINGER et al. (1989) untersuchten die Tagesmuster von stomatärer Leitfähigkeit, Transpiration und Mikroklima des Blattes verschiedener Arten. Die stomatären Leitfähigkeiten erreichten ihre Maxima am frühen Morgen im Frühling und verringerten sich bei Temperaturanstieg bzw. steigenden Dampfdruckdifferenzen zwischen Blatt und Luft. Maximale Transpirationsraten wurden am Vormittag und im Hochsommer bei hohen Wasserdampfdruckdefiziten verzeichnet. *Alnus rhombifolia* zeigte mittelmäßige Transpirationsraten von 177 mol $m^{-2}d^{-1}$.

D.3 Material und Methoden

D.3.1 Pflegeeingriffe und Stammzahlreduktionen in der Stambachmure

Im Mai 2001 wurde ein Teil des aufgenommenen Erlenbestandes auf den Stock gesetzt. Priorität dabei war, den Bestand in unterschiedlichem Ausmaß zu reduzieren sowie verschiedene Schnittarten anzuwenden, um etwaige Vor- bzw. Nachteile bei Stockausschlag aufzeigen zu können.

Dazu wurden im Unterhang der Untersuchungsfläche drei verschiedene Pflegevarianten auf einer Fläche von je 2,5 ha angelegt (Tab. D-1 und Abb. D-1). Die Ergebnisse zum Stockausschlagverhalten sind in SAVERSCHEL (2003) und STANGL (2004) dokumentiert.

Tab. D-1: Beschreibung der Pflegevarianten

Pflegevariante	Beschreibung	
Variante V1	Auslichtung des Erlenbestandes um ca. 50% mit dem Ziel, genetisch gut veranlagtes Material im Bestand zu fördern.	
	Probekreis 1 - 5	Entfernung der Bäume die durch Wild beschädigt waren, fehlerhafte Stammausformung (z.B. starken Säbelwuchs) oder abnorme Kronenentwicklung aufwiesen.
	Probekreis 5 - 10	Zur Reduktion des Altbestandes wurden alle Bäume mit BHD > 10 cm auf den Stock gesetzt.
Variante V2	Entfernung aller Erlen mit Brusthöhendurchmesser BHD > 4 cm zur Förderung der Artenvielfalt und des Jungwuchses unter Berücksichtigung verschiedener Schnittebenen.	
	Probekreis 1 - 5	Schnittebene schräg (Schnitt ca. 45 ° zur Stammachse)
	Probekreis 6 - 10	Schnittebene radial (Schnitt rechtwinkelig zur Stammachse)
Variante V3	Null-Variante: Die Fläche wurde in ihrem natürlichen Zustand belassen.	

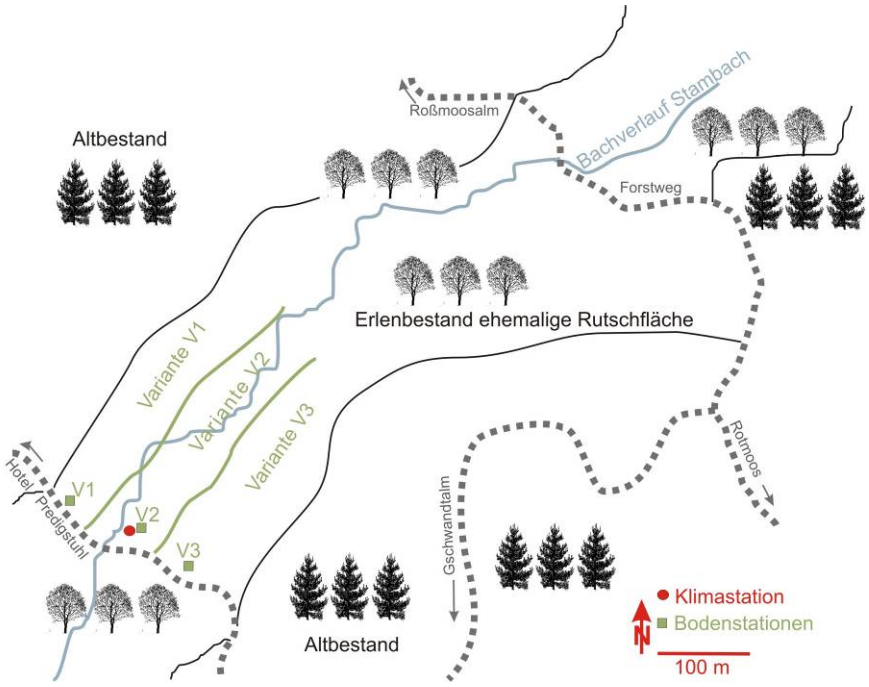


Abb. D-1: Lage der Untersuchungsfläche in der Stambachmure mit Variantenbegrenzung, Klima- und Bodenstationen V1, V2 und V3

D.3.2 Meteorologische Parameter

Für das Feldmonitoring wurde im Juli 2001 nach den Schnittmaßnahmen in der freigestellten Variante V2 eine Klimastation der Firma EMS Brno (Brünn, CZ) errichtet, über welche die Klimaparameter nach Tab. D-2 dauerregistriert wurden.

Tab. D-2: Komponenten der Klimastation, meteorologische Parameter und Aufzeichnungsintervalle

Klimaparameter	Fabrikat	Messintervall	Aufzeichnungsintervall
Freiflächenniederschlag N	Regenwippe MetOne 370		15 min-Summen
Lufttemperatur $T_{(Luft)}$ relativ Luftfeuchte rLF	EMS 32	1 Minute	15 min-Mittel
Globalstrahlung G	Pyranometer Li-200		
Windgeschwindigkeit $v_{(Wind)}$	Met One 014A		
Bodentemperatur $T_{(Boden)}$	PT 100/HEL		
Datenregistrierung	Datenlogger Modell Minicube VX (Fa. EMS Brno, Brünn CZ		

D.3.3 Interzeption I bzw. Bestandesniederschlag N_B

Der Bestandesniederschlag wurde getrennt nach Baumschicht (Kronendurchlass) und Krautschicht (Gesamtdurchlass) erfasst, wobei den Vorgaben der DVWK (1986) gefolgt wurde. Das Institut für Waldökologie der Universität für Bodenkultur stellte dazu Kunststoffrinnen mit 1 m Länge und 0,1 m Breite gemäß dem Konstruktionsprinzip der DVWK (1986, S.4) zur Verfügung. Die effektive Auffangfläche für den Kronendurchlass betrug 1 m², für den Gesamtdurchlass 0,5 m².

Tab. D-3: Anzahl der Sammelrinnen

Variante	Bestandesniedersschlag in 1 m Höhe $N_{(B1)}$	Bestandesniederschlag in 0,3 m Höhe $N_{(B2)}$
V1 teilreduzierter Bestand	10	5
V2 vollreduzierter Bestand	-	5
V3 unbehandelter Bestand	10	5

Die Verteilung der Sammelrinnen (Tab. D-3 und Abb. D-2) erfolgte nach dem Zufallsprinzip, wobei je zwei rechtwinkelig zueinander positioniert wurden (nach DVWK, 1986, S.6). In der Variante V1, wo eine Stammentnahme erfolgt war, wurde darauf geachtet, kronendichtere und lichte Stellen gleichermaßen repräsentativ zu erfassen. Im voll reduzierten Bestand V2 wurde über die Rinnen in 0,3 m Höhe mit dem Niederschlag unter der Krautschicht auch jener unter Stockausschlag erfasst.

Das Regenwasser wurde über Kunststoffschläuche, die aufgrund ausreichenden Gefälles zum Auffangbehälter stets vollständig entleert waren, in 35 l Kunststoffkanister geleitet. Zur Reduktion des Algenansatzes in den Kanistern sowie zur Vermeidung von Verdunstung des gesammelten Wassers wurden die Kanister in schwarzen Kunststoffsäcken gut verschlossen. Andere oft beschriebene Verlustquellen wie Verstopfung des Auslasses oder Verunreinigung der Rinnenkanten durch Vögel stellten keine Probleme dar.

Abb. D-2: Sammelrinnen und Auffangbehälter zur Interzeptionsmessung (Stambachmure, 2002)

Aufgrund der geographischen Distanz zum Versuchsstandort war es nicht möglich, eine geringe zeitliche Auflösung des Bestandesniederschlages einzuhalten. Nach Möglichkeit wurden die Sammelbehälter in 2-wöchigen, zumindest aber in 4-wöchigen Intervallen entleert. Die Ausliterung erfolgte über 5 l-Messbecher mit einer Genauigkeit von 100 ml.

Die Berechnung der Interzeption I erfolgte über Subtraktion der Bestandesniederschläge $N_{(B1)}$ und $N_{(B2)}$ vom Freiflächenniederschlag N.

D.3.4 Bodenwasservorratsänderung

Die Bodenwasservorratsänderung wurde über Dauerregistrierung erfasst. Dazu wurden in jeder Behandlungsvariante fixe Bodenstationen eingerichtet (Abb. D-1), die je aus einem Datenlogger des Modells EMS Minicube VF (Fa. EMS Brno, Brünn, CZ), 4 Sensoren à 30 cm Länge der Marke Campbell CS 615 Water Content Reflectometer (Campbell Scientific Ltd., Shepshed, GB) und zwei Bodentemperatursensoren PT100/HEL bestanden (Abb. D-3). Die Sensoren wurden pro Variante an zwei Messpunkten (MPa und MPb) im Abstand von ca. 15 m installiert, wobei die Bodentemperatursensoren in 15 und 45 cm Tiefe in der Nähe des hangabwärts positionierten MPb gesetzt wurden.

Die TDR-Sonden wurden vertikal von 0 - 30 cm und von 30 - 60 cm gesetzt, so dass pro Messpunkt der Wassergehalt θ_v bis zu einer Horizonttiefe von 60 cm erfasst werden konnte. Der Bodenwassergehalt wurde im Stundentakt aufgezeichnet. Zur Umrechnung der Sensorwerte (Wellenlaufzeiten in msec) wurde die in BLOCK C erarbeitete Kalibriervariante MR TP S (Multiples Regressionsmodell nach Subsets unter Berücksichtigung von Temperatur und Porosität) der Feldkalibrierung FK01-03 verwendet. Die Umrechnung erfolgte getrennt nach Subsets für die zwei Bodenschichten der jeweiligen Variante (Tab. D-4).

Für die Rückrechnung sind die aktuellen stündlichen Bodentemperaturen erforderlich, da bei der Verwendung von Temperaturmonatsmitteln die Tagesrhythmen verloren gehen. Die Verwendung bodenschichtspezifischer Werte erhöht die Genauigkeit. Bodentemperaturdaten fehlten für die Zeiträume 26.07. – 24.08. 2001 bzw. 17.02.-18.03. 2002 aufgrund verspäteter Sensorlieferung bzw. Loggerausfall. Als Ersatz wurden die gemittelten stündlichen Bodentemperaturen des jeweiligen Monats verwendet.

Die in der vorliegenden Arbeit applizierte Kalibriervariante MR TP S (s. BLOCK C) berück¬sichtigt neben der Bodentemperatur auch die Porosität. Für letztere wurden die für die jeweilige Bodenvariante gemittelten Werte aus der Feldkalibrierung eingesetzt (Tab. Annex C - 7).

Tab. D-4: Koeffizienten der Vorhersagefunktion MR TP S der Feldkalibrierung FK01-03 (vergl. BLOCK C) zur Rückrechnung der Sensorwerte (τ) auf den Wassergehalt θ_v (T: Bodentemperatur, P: Porosität).

MR TP (FK 01-03)		$\theta_{vcorr} = \frac{\tau - T * y - P * z - c}{x}$			
Variable		θ_v	T	P	Konstante
Koeffizienten		x	y	z	c
Subsets	V1 0-30	2,138	0,01	-1,735	1,414
	V1 30-60	2,129	-0,004	-1,128	1,468
	V2 0-30	1,518	0,003	-0,305	0,894
	V2 30-60	1,575	-0,001	-1,188	1,39
	V3 0-30	1,098	-0,012	0,366	0,852
	V3 30-60	1,887	0,012	-0,845	0,914

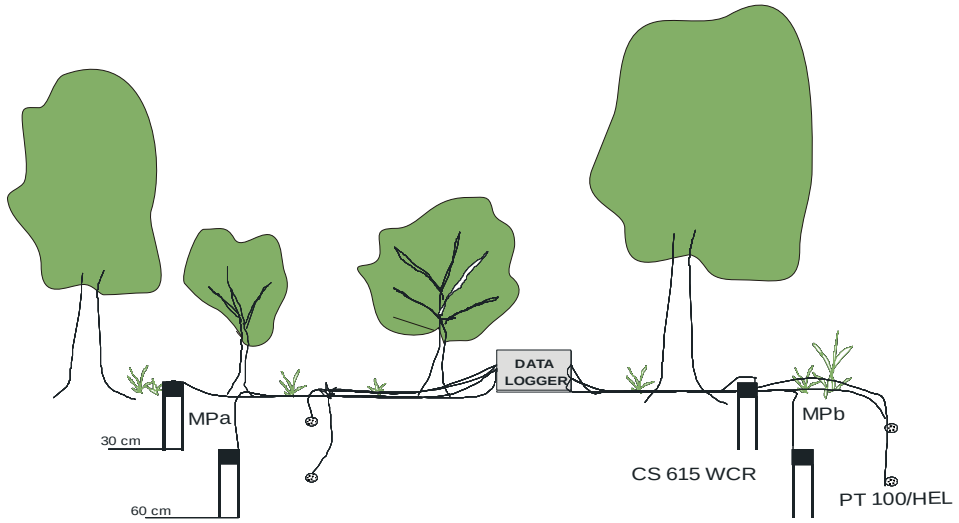


Abb. D-3: Vereinfachtes Schema der Bodenstationen zur Erfassung des Bodenwasservorrats in der Stambachmure

D.3.5 Bodenwasservorratsänderung ΔBW

Die Bodenwasservorratsänderung ergibt sich aus der Differenz der Wassergehalte θ_v zu Beginn und am Ende eines festgelegten Zeitraumes. Um die Bodenwasservorratsänderung innerhalb der gemessenen Bodenschichten mit dem Niederschlag in Bezug zu setzen und als Quantität auszudrücken, wurde der Wasseranteil θ_v in die Dimension der Niederschlagsdaten (mm) konvertiert [D-1] (nach SUMNER, 2000, S.A-54). Der Wassergehalt für die gemessenen Bodentiefen 0-30 cm und 30-60 cm wurde schließlich aufsummiert.

$$D_e = \sum_{i=1}^{n} \theta_{vi} D_i \qquad \text{[D-1]}$$

mit: D_e…Äquivalente Tiefe des Bodenwassers
θ_v....Wasseranteil
i.....Anzahl der gemessenen Bodenschichten
D…..Tiefe der Bodenschicht, entspricht der Sensorlänge von 0,3 m

D.3.6 Wasserbilanz und Evapotranspiration ET

Durch Umformung der Wasserbilanzgleichung der Form [D-2] wurde die Evapotranspiration ET für die Messperioden 2001 und 2002 ermittelt.

$$\Delta Bd = N + Z + GW - T_B - T_K - E_{Bd} - I - A \qquad \text{[D-2]}$$

mit:		
	ΔBd….Bodenwasservorratsänderung	gemessen
	N…….Freiflächenniederschlag	gemessen
	Z…….Zufluss	entspricht A
	GW….Grundwasser	keine Grundwasserbeeinflussung
	T_B…...Verdunstung Baumschicht	Restglied
	T_K…...Verdunstung Krautschicht	Restglied
	E_{Bd}…..Bodenevaporation	Restglied
	I……...Interzeption	Differenz von N und N_B
	A……..Abfluss	entspricht Z

Da Abflussmessungen im Zuge des Experimentes nicht realisierbar waren, musste die Annahme unterstellt werden, dass die Zuflüsse den Abflüssen entsprechen und sich in der Gleichung aufheben. Grundwassereintrag ist in der Hanglage nicht gegeben und entspricht daher Null.

Die Transpiration (T_B und T_K) und die Bodenevaporation wurden als gemeinsame Größe ET (Evapotranspiration) durch Vereinfachung der Wasserbilanzgleichung [D-3] abgeleitet, wobei für I die Gesamtinterzeption von Baum- und Krautschicht berücksichtigt wurde.

$$ET = N - I + \Delta Bd \qquad \text{[D-3]}$$

Nach FAO (2007) wird die ET-Rate üblicherweise in mm pro Zeiteinheit ausgedrückt. Sie entspricht dem Wasserverlust der jeweiligen Tiefe einer bepflanzten Oberfläche. Ein Verlust von 1 mm pro Tag ist equivalent zu 10 cm³ Wasser pro Hektar und Tag.

D.3.7 Referenzevapotranspiration ET_0

Zur Berechnung der ET_0 mit Gras als Referenzoberfläche wurde die Standardmethode nach Penman-Monteith (FAO, 2007) herangezogen [D-4].

$$ET_0 = \frac{0{,}408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_S - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0{,}34 u_2)} \qquad \text{[D-4]}$$

mit:
- ET_0….Referenzevapotranspiration [mm d^{-1}]
- R_n.....Nettostrahlung an der Pflanzenoberfläche [MJ m^{-2} d^{-1}]
- G.....Bodenwärmestromdichte [MJ m^{-2} d^{-1}]
- T.....mittlere tägliche Lufttemperatur in 2 m Höhe [°C]
- u_2.....mittlere Windgeschwindigkeit [m s^{-1}]
- e_s.....Sättigungsdampfdruck [kPa]
- e_a.....aktueller Dampfdruck [kPa]
- e_s-e_a....mittleres Sättigungsdampfdruckdefizit [kPa]
- Δ.....Anstieg der Dampfdruckkurve [kPa °C^{-1}]
- γ.....Psychrometerkonstante [kPa °C^{-1}]

Sättigungsdampfdruck E_S und aktueller Dampfdruck e wurden über die Gleichungen [D-5] und [D-6] ermittelt

$$e_S = 6{,}15014 * \exp^{\left[\frac{17{,}27*T}{237+T}\right]} \qquad \text{[D-5]}$$

$$e_a = e_S * \frac{rLF}{100} \qquad \text{[D-6]}$$

mit: e_s.....Sättigungsdampfdruck [kPa]
T.....mittlere tägliche Lufttemperatur in 2 m Höhe [°C]
e_a.....aktueller Dampfdruck [kPa]
rLF.....mittlere relative Luftfeuchte

D.4 Ergebnisse

D.4.1 Witterungsverlauf und meteorologische Kenndaten

Tab. D-5 bietet einen Überblick über die verfügbaren Datenreihen des gesamten Messzeitraumes getrennt nach den jeweiligen Parametern. Die Interzeptionsmessungen wurden über die Winterperioden eingestellt. Datenverluste der Klimastation im Februar und März 2002 sind auf mangelnde Stromversorgung, Verluste bei den Bodenwasservorratsdaten im Jahr 2002 auf Loggerausfälle zurückzuführen.

Die Intervalle der Interzeptionsmessungen (Juli bis November 2001 und Mai bis November 2002) dienen als Bemessungszeitraum der Vegetationsperioden. Ihre Messdaten werden in den folgenden Kapiteln für alle gemessenen Parameter dargestellt, die Messdaten der Wintermonate sind in Annex D dargestellt.

Tab. D-5: Übersicht über die Datenverfügbarkeit der gemessene Parameter

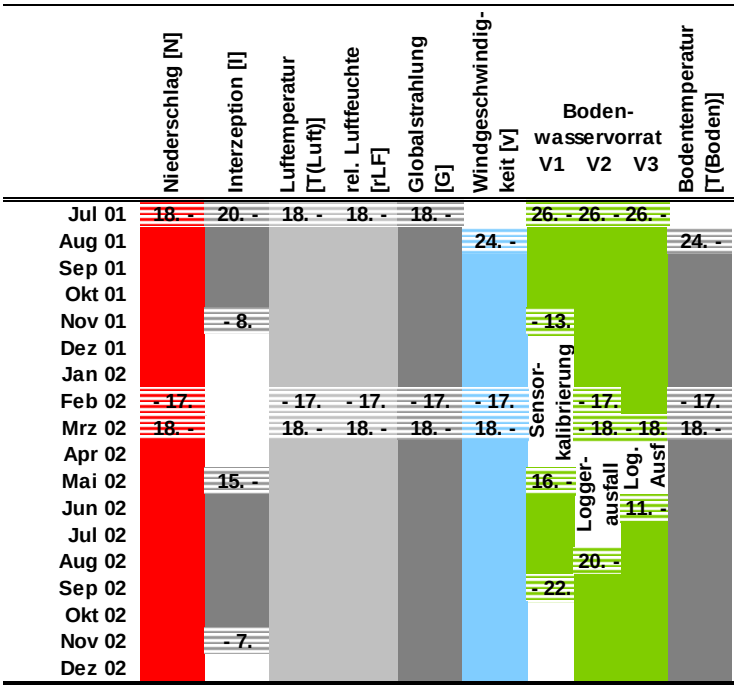


Abb. D-4 zeigt die Niederschlagssummen der im Juli 2001 errichteten Klimastation verglichen mit der Station der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik in Bad Goisern. Eine Korrelationsüberprüfung in STANGL (2004, S.B73ff) ergab eine sehr gute Übereinstimmung der Daten (r^2 = 0,96) abgesehen von jenen Monaten, in denen Datenverluste auftraten. Dies betrifft den Juli 2001 durch spätes Aufstellen der Station, die Monate November und Dezember 2001 bzw. 2002 durch Minustemperaturen, da kein beheiztes Regenmessgerät zur Verfügung stand, und die Monate Februar und März 2002 durch mangelnde Stromversorgung. Für die Sommerperioden 2001 und 2002 stehen ab Messbeginn am 18.7.2001 vollständige Datenreihen zur Verfügung.

Die meist höheren Niederschlagsmengen in der Stambachmure sind durch die geographische Distanz zur Station Bad Goisern von ca. 8 km Luftlinie, vor allem aber durch deren unterschiedliche Höhenlagen von etwa 500 m erklärbar. Im Jahr 2002 war die Gesamtniederschlagsmenge im Untersuchungsgebiet um 103 mm höher als in Bad Goisern wobei hier Datenverluste durch das unbeheizte Regenauffangsystem bzw. Loggerausfall

nicht miteinbezogen sind. Die Minusdifferenz von 135 mm zur Station Bad Goisern in den Monaten August – Dezember 2001 ist auf nicht registrierte Niederschlagsmengen in der kalten Jahreszeit (Nov. und Dez. 01) zurückzuführen.

Der Vergleich der Monatssummen mit dem 10-jährigen Mittel bringt die ausgesprochen nassen Witterungsverhältnisse vor allem der Monate Juni, August und Dezember 2001 sowie der Monate März und August bis Oktober 2002 deutlich zum Ausdruck. Weite Teile Österreichs waren in diesen Zeiträumen schweren Unwettern ausgesetzt, was zu zahlreichen Katastrophen- und Hochwassersituationen führte. In beiden Jahren lagen die Jahresniederschläge um knapp 500 mm höher als der 10-jährige Durchschnitt.

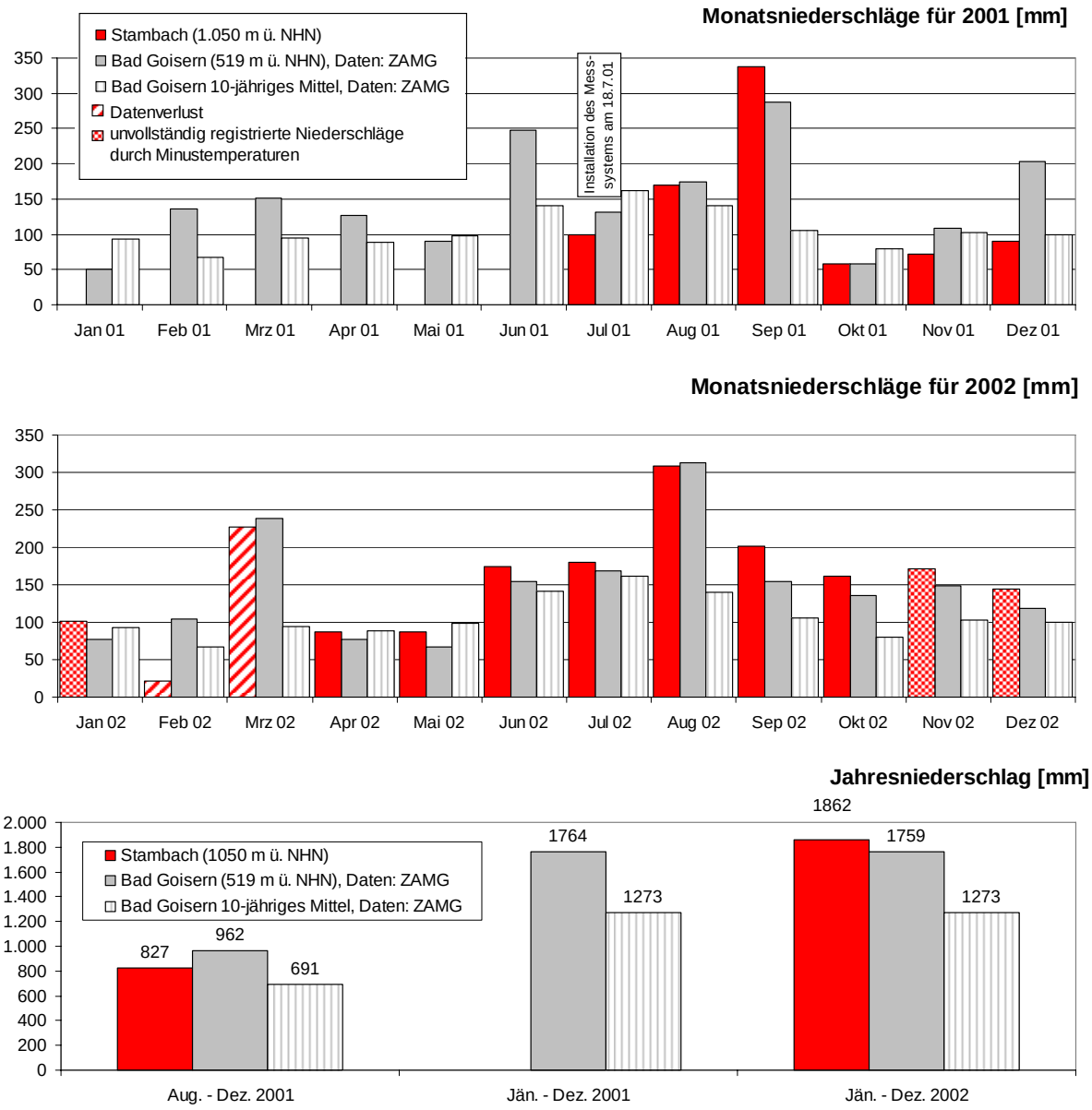


Abb. D-4: Monats- und Jahresniederschläge in der Stambachmure im Vergleich zu Daten der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik ZAMG

Im Jahr 2001 ist eine Niederschlagsspitze am 20.7.01 mit über 60 mm besonders auffällig. Die Gesamtniederschlagssumme des sonst eher trockenen Julis wurde damit jedoch nur unwesentlich beeinflusst (Abb. Annex D - 1). Eine zweiwöchige Regenperiode von 4.-18.9.01

mit insgesamt 260 mm Niederschlag verursachte etwa die 3-fache Niederschlagsmenge des 10-jährigen Septembermittels. Der restliche Herbst blieb eher trocken.

2002 wurden intensive Niederschläge vom 19.-22.3.02 mit einem Tagesmaximum von 92,8 mm am 20. März registriert. Weitere bemerkenswerte Spitzen sind jene am 7.6.02 mit 82,8 mm und am 12.8.02 nach bereits mehrtägigen starken Regenfällen der Tageshöchstwert der Untersuchungsperiode von 105 mm. Die Monatssumme für August 2002 erreichte damit mehr als 200 % des 10-jährigen Durchschnitts. Weitere längere Regenperioden vom 19.-28.9.02 sowie vom 4.-28.10.02 mit Tageswerten bis knapp über 30 mm erhöhten die September- und Oktoberniederschläge von 2002 ebenfalls auf etwa 200 % des 10-jährigen Durchschnitts.

Abb. D-5 bis Abb. D-8 zeigen die Tagesgänge der meteorologischen Parameter Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit, Wasserdampfsättigungsdefizit und Globalstrahlung der Messperioden 2001 und 2002. 2001 wurde ein Temperaturmaximum von 29° C im August registriert. Periodische Abkühlung an Regentagen führte zu Tageshöchstwerten von nur 10,6° C. Die Tagestemperaturschwankungen waren in diesem Monat mit bis zu 25° C am höchsten. Bereits im September sanken die Nachttemperaturen auf 1° C, ab 9. 11.2001 gab es durchgehend Frost.

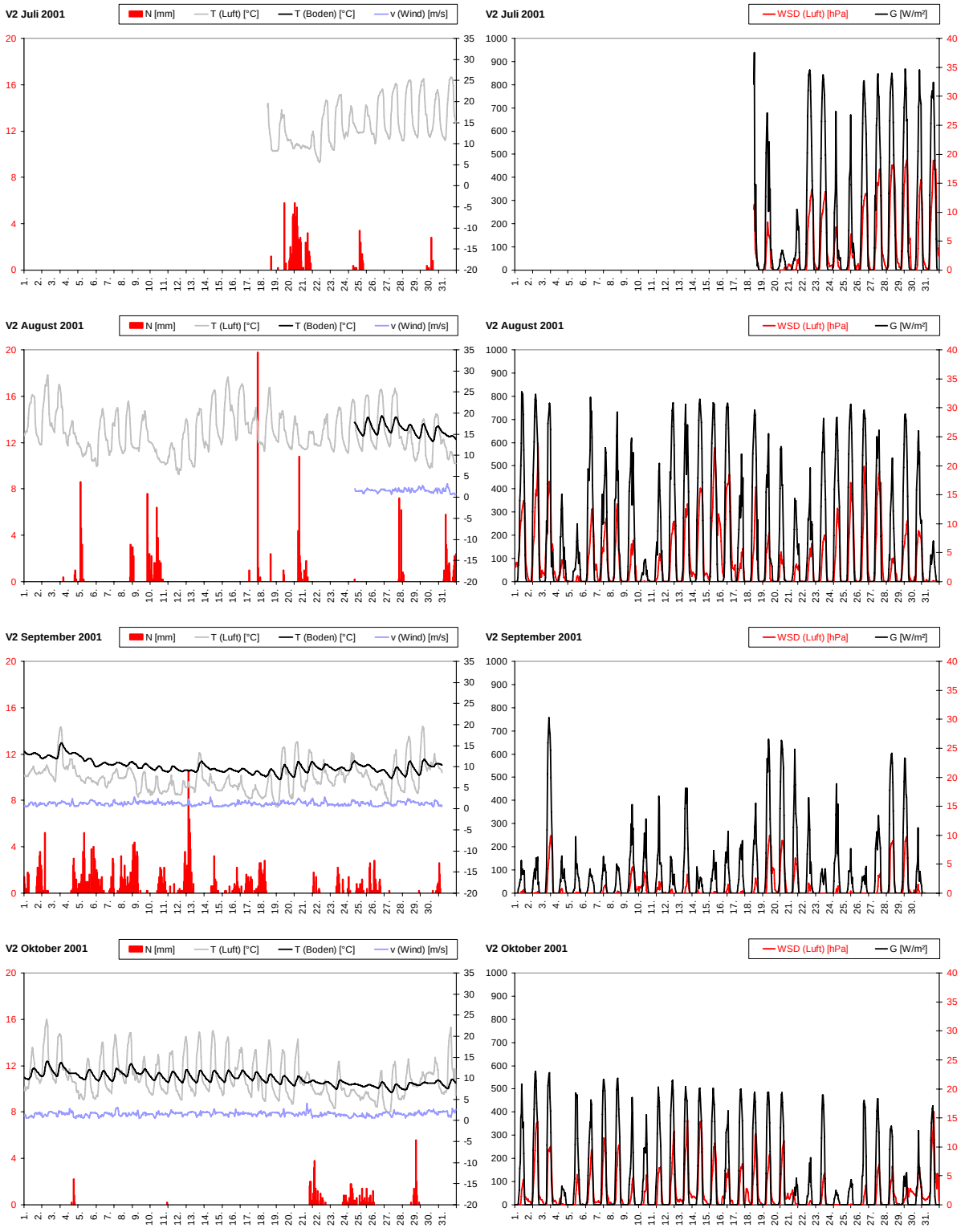
Im Mai 2002 lagen die Tagestemperaturen zwischen 2,9 und 24,2° C. Die heißeste Periode des Jahres im Juni 2002 führte zu Tagesmaxima von 29,6° C bei nächtlichen Abkühlungen auf nur 17° C. Niederschläge gegen Ende des Monats ließen die Temperaturen auf 3,7 °C sinken. Der Juli blieb bis auf wenige Tage durchgehend kühl und erreichte am 12. ein Tagesmaximum von nur 10,3° C. Die geringsten Tagesschwankungen von nur 15° C wurden im Oktober 2002 registriert, in dem es bereits fünfmal frostete. Nach einem kurzen Kälteeinbruch am 8.11.02 mit Tageshöchstwerten unter Null Grad folgte ein ausgesprochen warmer November mit Temperaturerhöhungen auf bis 20,6° C.

Die durchschnittlichen monatlichen Windgeschwindigkeiten lagen zwischen 1,26 und 1,61 m sec^{-1}. Windspitzen bis 4,5 m sec^{-1} wurden im September 2001 und im Juli und November 2002 verzeichnet.

Die Globalstrahlung erreichte 2001 im August Höchstwerte bis 951,7 W m^{-1}. Im regenreichen September 2001 waren die Sonnentage stark reduziert bzw. nahmen die Sonnenstunden bereits deutlich ab. Die Vegetationsperiode 2002 war geprägt von stark wechselnder Sonneneinstrahlung. Hohe Strahlungen bis über 900 W m^{-1} wurden im Mai, Juni und Juli, teilweise auch im August registriert. Die Strahlungsintensität verringerte sich ab Mitte September 2002 deutlich. Die Maximalwerte im November 2002 lagen mit knapp über 400 W m^{-1} unter jener vom Vorjahr.

Abb. D-5: Linke Spalte: Niederschlagsstundensummen (N) und Tagesgänge (Stundenmittelwerte) von Luft- und Bodentemperatur (T), und Windgeschwindigkeit (v) für die Vegetationsperiode 2001

Abb. D-6: Rechte Spalte: Tagesgänge (Stundenmittelwerte) von Wasserdampfsättigungsdefizit der Luft (WSD) und Globalstrahlung (G) für die Vegetationsperiode 2001



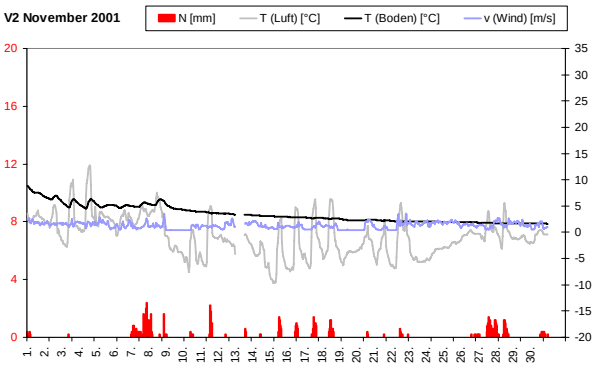


Abb. D-7: Linke Spalte: Niederschlagsstundensummen (N) und Tagesgänge (Stundenmittelwerte) von Luft- und Bodentemperatur (T) und Windgeschwindigkeit (v) für die Vegetationsperiode 2002

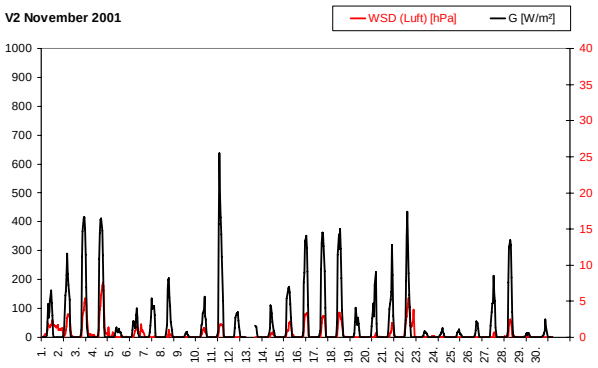
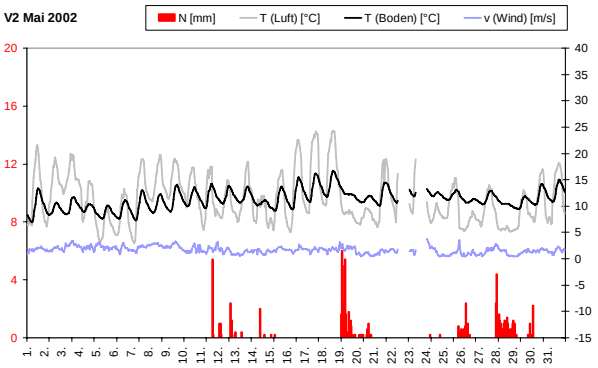
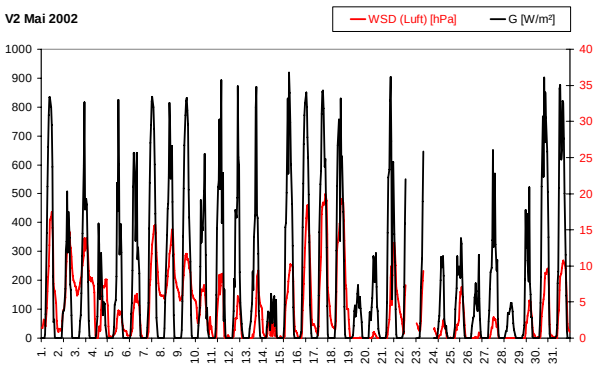
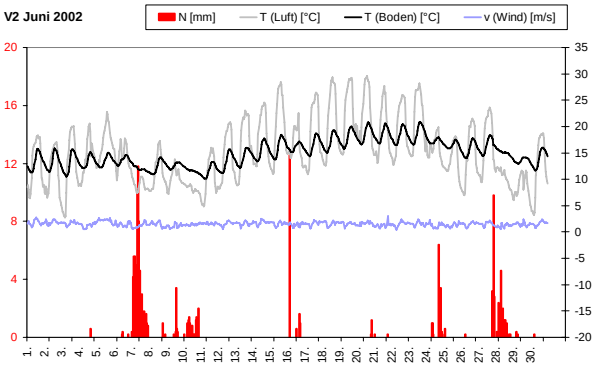
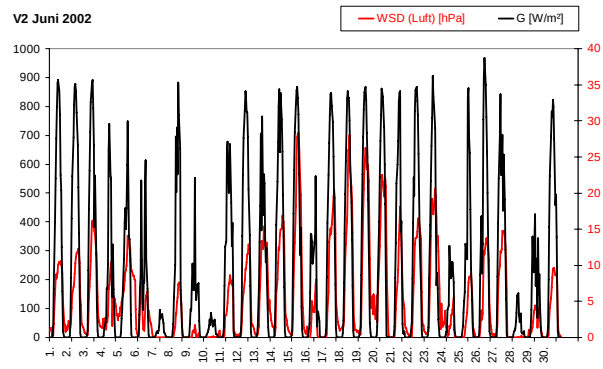


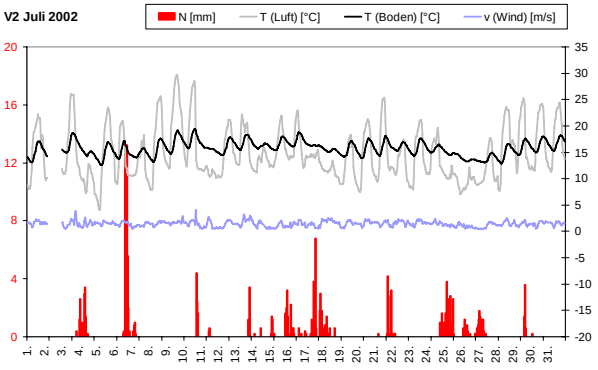
Abb. D-8: Rechte Spalte: Tagesgänge (Stundenmittelwerte) von Wasserdampfsättigungsdefizit der Luft (WSD) und Globalstrahlung (G) für die Vegetationsperiode 200

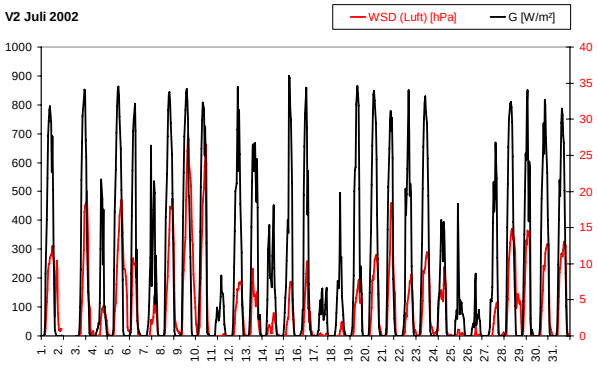


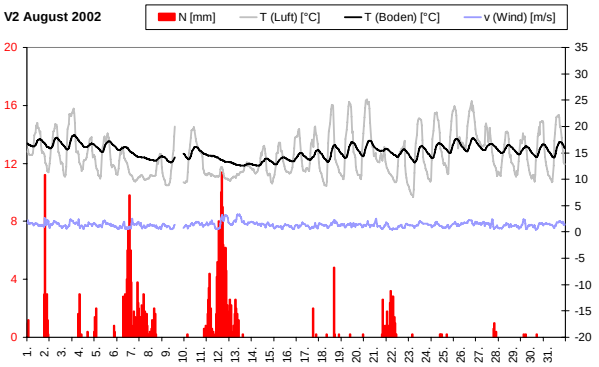


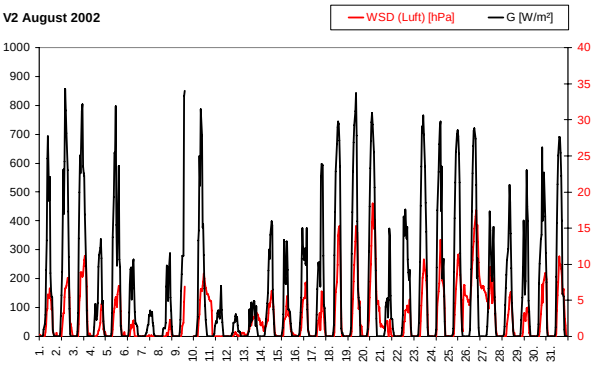


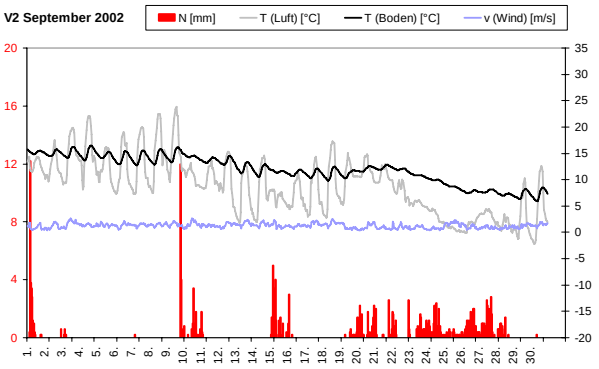


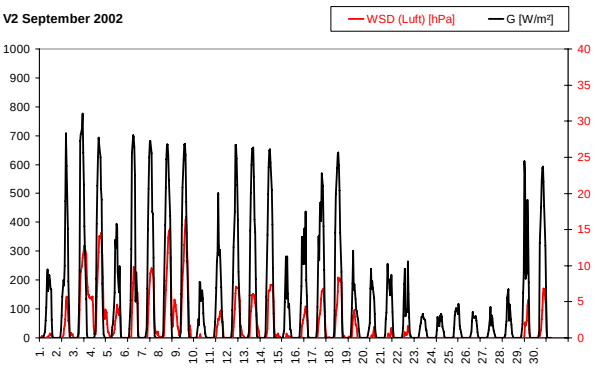


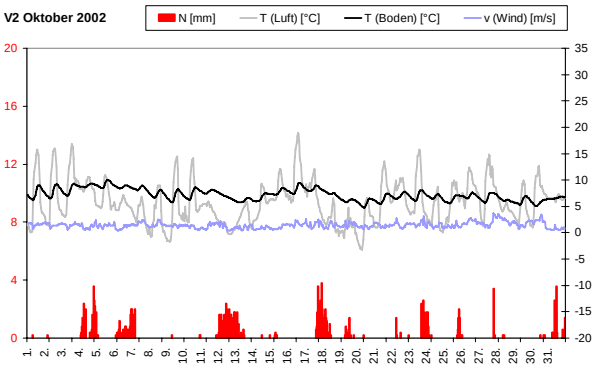


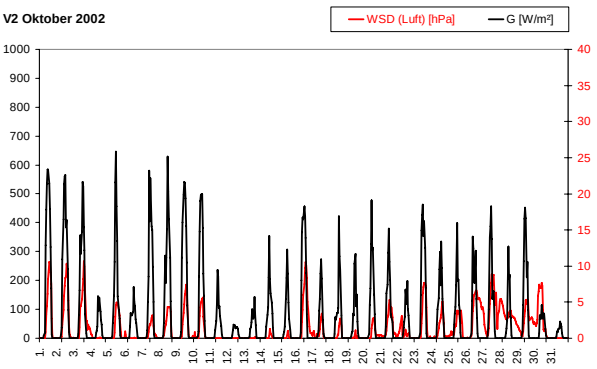

V2 August 2002
N [mm]
T (Luft) [°C]
T (Boden) [°C]
v (Wind) [m/s]

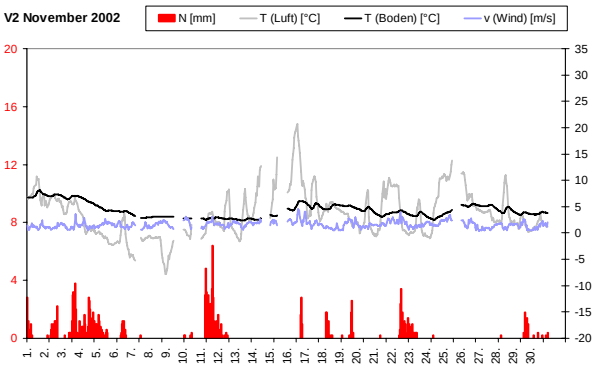

V2 August 2002
WSD (Luft) [hPa]
G [W/m²]

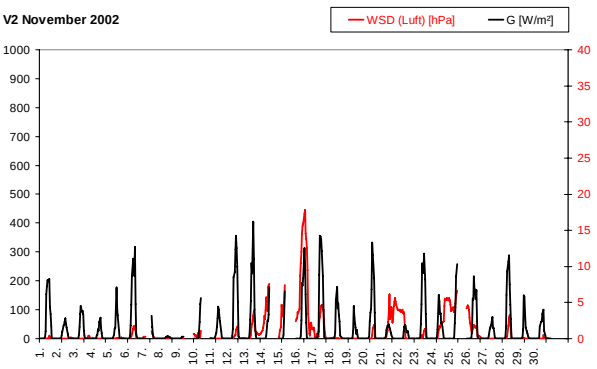

V2 September 2002
N [mm]
T (Luft) [°C]
T (Boden) [°C]
v (Wind) [m/s]


V2 September 2002
WSD (Luft) [hPa]
G [W/m²]


V2 Oktober 2002
N [mm]
T (Luft) [°C]
T (Boden) [°C]
v (Wind) [m/s]


V2 Oktober 2002
WSD (Luft) [hPa]
G [W/m²]


V2 November 2002
N [mm]
T (Luft) [°C]
T (Boden) [°C]
v (Wind) [m/s]


V2 November 2002
WSD (Luft) [hPa]
G [W/m²]

D.4.2 Interzeption

Der Kronendurchlass im reduzierten Bestand der Variante V1 ist mit Werten bis zu 24,5 mm generell höher als im unbehandelten Bestand von Variante V3. Die Korrelation wurde in STANGL (2004, S. B75f) überprüft und gute Übereinstimmung der Daten mit $r^2 > 0,96$ festgestellt. Im Durchschnitt beträgt die Differenz zwischen den Bestandesniederschlägen 7,4 % vom Gesamtniederschlag, wobei Spitzen bis zu 13,8 % erreicht wurden.

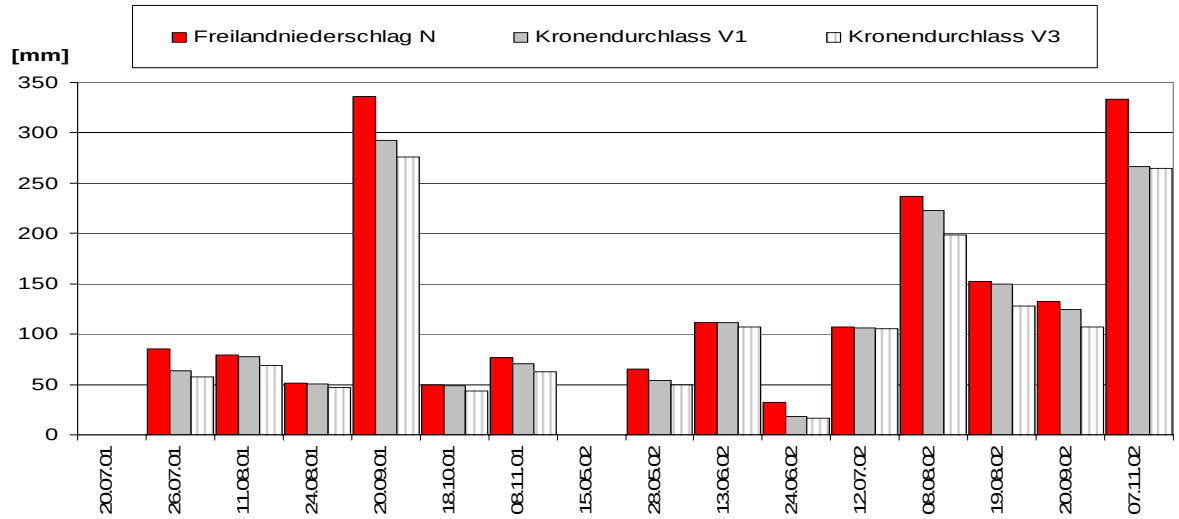


Abb. D-9: Freilandniederschlag und Kronendurchlass der teilreduzierten Variante V1 und der unbehandelten Variante V3

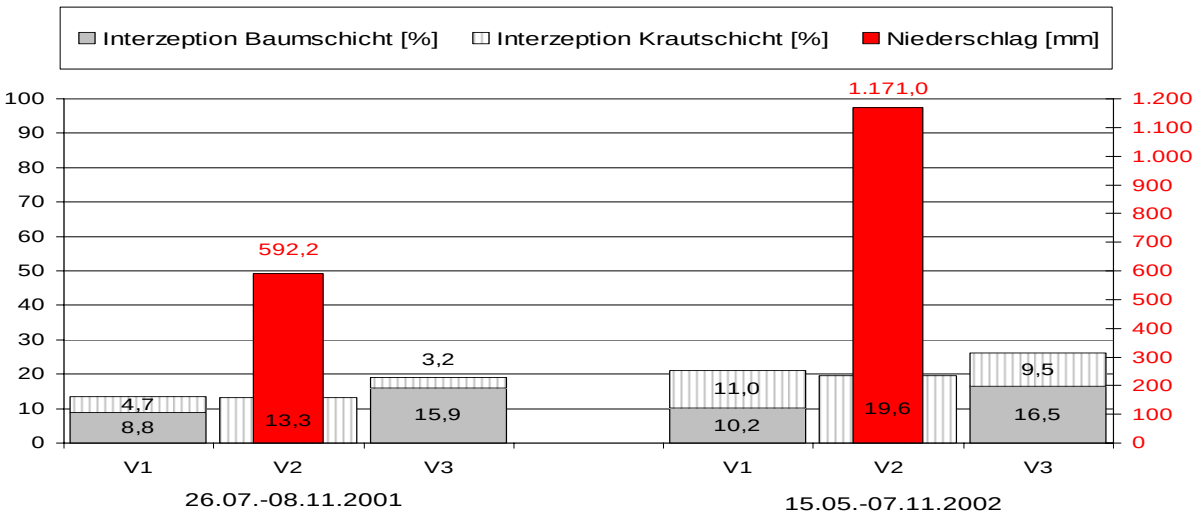


Abb. D-10: Interzeptionsraten der Vegetationsperioden 2001 und 2002 für die Varianten V1 (teilreduziert), V2 (vollreduziert) und V3 (unbehandelt) getrennt nach Baum- und Strauchschicht (in V1 und V2 inkludiert die Krautschicht den Stockausschlag)

Abb. D-10 zeigt die Interzeptionsraten der Vegetationsperioden 2001 und 2002. Tab. Annex D - 3 und Tab. Annex D - 4 beinhalten die Bestandesniederschlags- und Interzeptionswerte der Ausliterungsintervalle für die Varianten V1 bis V3.

Die Interzeptionsleistung der Baumschicht im unbehandelten Bestand beträgt 15,9 % bzw. 16,5 % (Messperiode 2001 bzw. 2002). Im teilreduzierten Bestand von V1 ist sie mit 8,8 % bzw. 10,2 % niedriger. Die Krautschichtinterzeption ist in V3 mit 3,2 % bzw. 9,5 % niedriger als in V1 (4,7 % bzw. 11,0 %). Auffällig ist die höhere Interzeption der Krautschicht von 13,3 % bzw. 19,6 % der voll reduzierten Variante V2, die den Stockausschlag beinhaltet.

Die Gesamtinterzeption (Baumschicht und Krautschicht) ist 2001 in V3 mit 19,1 % um 5,6 % höher als in V1. Für 2002 beträgt die Differenz 4,8 % bei Werten von 26 % bzw. 21,2 % (V3 bzw. V1). Im Durchschnitt ist die Interzeptionsleistung der Messperiode 2002 um 6,9 % höher als jene von 2001.

Die höchsten Interzeptionsraten bis zu 56 % wurden bei der geringsten Niederschlagsmenge von nur 33 mm beim Ausliterungsintervall 13.6.-24.6.02 registriert (Tab. D-6). Bei besonders hohen Niederschlagsmengen von über 300 mm lagen die Interzeptionsraten zwischen 21 % und 25 %. Ab Niederschlagsmengen von 132 mm, die bis auf eine Ausnahme durch andauernde Niederschläge über mehr als 20 Tage zustande kamen, betrugen die Interzeptionsraten über 20 %. Darunter war die Interzeption stark variabel.

Im Jahr 2001 war die Interzeption der behandelten Varianten um bis zu 16 % niedriger als jene der unbehandelten (V3). Eine Ausnahme bildete das Intervall 24.8.-20.9.01 mit einem Gesamtniederschlag von 336 mm und der höchsten Anzahl an Regentagen, bei dem die Inzerzeption für alle Varianten mit 21 % gleich hoch war.

Im Jahr 2002 waren bis Juli die Interzeptionsraten der behandelten Varianten um bis zu 18 % geringer als jene von V3. Danach betrug die Interzeption für alle Varianten mehr als 21 %. Deutlich geringere Interzeptionsraten für die behandelten Varianten V1 und V2 traten bei Niederschlagsmengen von 111 mm bzw. 107 mm auf, wobei erstere das Starkniederschlagsereignis vom 7.6.02 mit 82,8 mm Tagesniederschlag enthielt.

Tab. D-6: Interzeptionsraten für unterschiedlich reduzierte Erlenbestände (Varianten V1 = teilreduziert, V2 = vollreduziert, V3 = unbehandelt) getrennt nach Baumschicht (I_{BS}), Krautschicht (I_{KS}) und Gesamtinterzeption (I_{ges})

Entleerungs-intervall	N_{ges} [mm]	Anzahl Tage mit N	N_{max}/ Tag [mm]	V1 I_{BS} [%]	V1 I_{KS} [%]	V1 I_{ges} [%]	V2 $I_{KS}=I_{ges}$ [%]	V3 I_{BS} [%]	V3 I_{KS} [%]	V3 I_{ges} [%]
20.7.-26.07.01	**86**	4	**61,4**	26	-	**-**	**-**	33	-	**-**
26.7.-11.8.01	**79**	8	29,2	2	1	***4***	***3***	13	3	***16***
11.08.-24.08.01	**51**	6	22,4	1	0	***1***	***1***	8	1	***9***
24.08.-20.09.01	**336**	21	46,6	13	8	***21***	***21***	18	3	***21***
20.9.-18.10.01	**49**	9	10,2	0	1	***1***	***2***	11	4	***15***
18.10.-8.11.01	**77**	11	16,0	8	1	***8***	***7***	19	6	***24***
15.05.-28.05.02	**65**	7	28,4	17	5	***22***	***18***	23	13	***36***
28.05.-13.06.02	**111**	9	**82,8**	0	3	***3***	***6***	4	17	***21***
13.06.-24.06.02	**33**	4	15,8	45	0	***45***	***42***	48	7	***56***
24.06.-12.07.02	**107**	12	42,0	0	5	***6***	***14***	2	11	***13***
12.07.-08.08.02	**237**	21	51,4	6	17	***23***	***25***	16	11	***27***
08.08.-19.08.02	**152**	8	**104,6**	2	21	***23***	***16***	16	12	***28***
19.08.-20.9.02	**132**	22	25,8	6	32	***38***	***23***	19	7	***26***
20.09.-07.11.02	**334**	43	30,6	20	0	***21***	***21***	21	5	***25***
MW 2001				8	2	***7***	***7***	17	3	***17***
MW 2002				12	11	***23***	***21***	19	10	***29***
MW 2001+2002	***132***	*13*	*41*	10	7	***17***	***15***	18	8	***24***
SD 2001+2002	***100***	*11*	*27*	13	10	***14***	***12***	12	5	***12***

D.4.3 Bodenwasservorratsänderung

D.4.3.1 Variante V1

Zu Messbeginn am 26.7.01 war für V1 nur der Sensor für Messpunkt 1a in 30-60 cm Bodentiefe verfügbar. Beginnend bei einem Wassergehalt θ_v von 0,54 m^3m^{-3} reagierte der Sensor auf die trockene Periode bis 4.8.01 mit einer generellen Abnahme und zeigte Tagesschwankungen von etwa 0,014 m^3m^{-3} θ_v (Abb. D-11). Die Niederschläge im August 2001 verursachten deutliche Sensorrektionen mit Anstiegen bis auf 0,585 m^3m^{-3} θ_v. In den regenreichen Septembertagen blieb der Wassergehalt oberhalb von 0,55 m^3m^{-3} θ_v und sank nach einer dreiwöchigen Regenpause nur kurzfristig, um sich schließlich wieder auf demselben Niveau einzupendeln.

Die Sensoren am Messpunkt 1b wurden am 22.9.01 nachinstalliert. Der Sensor der unteren Bodenschicht zeigte hier geringfügig nassere Verhältnisse, blieb jedoch während der restlichen Vegetationsperiode auf demselben Niveau und reagierte kaum auf Trocken- bzw. Regenzeiten. Der Sensor der oberen Bodenschicht zeigte deutlich erhöhte Wassergehalte über 0,70 $m^3m^{-3}\theta_v$ sowie wesentlich stärker ausgeprägte Tagesgänge. Auf die Niederschläge im Oktober und November 2001 reagierte er mit Anstiegen auf 0,76 $m^3m^{-3}\theta_v$.

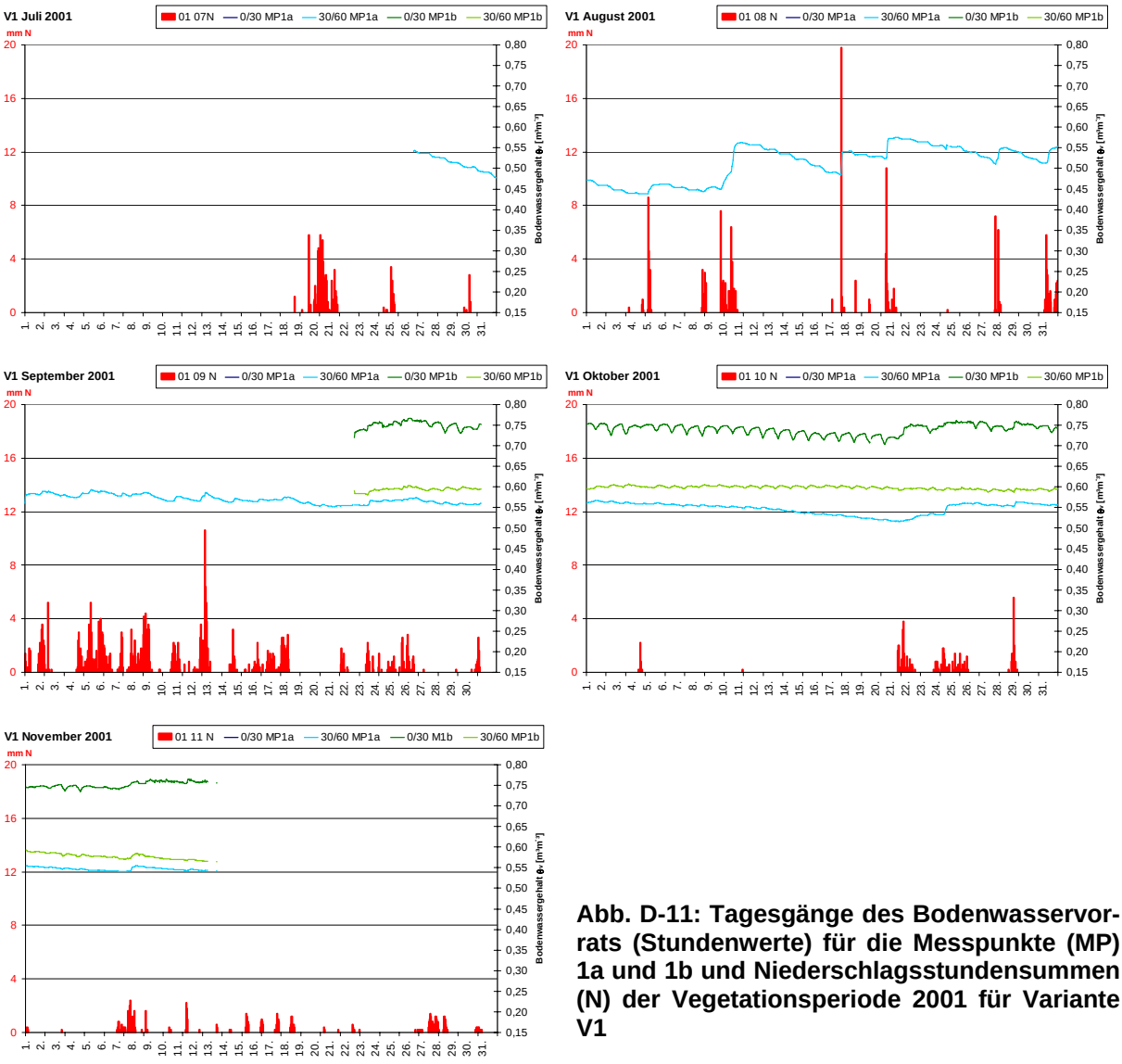


Abb. D-11: Tagesgänge des Bodenwasservorrats (Stundenwerte) für die Messpunkte (MP) 1a und 1b und Niederschlagsstundensummen (N) der Vegetationsperiode 2001 für Variante V1

In der Vegetationsperiode 2002 (Abb. D-12), von der Messdaten bis 22.9.02 verfügbar sind, blieben die Wassergehalte der unteren Bodenschicht ganzjährig auf einem Niveau oberhalb von 0,60 m^3m^{-3} θ_v (30/60MP1a) bzw. 0,68 m^3m^{-3} θ_v (30/60MP1b) und zeigten nur geringe Tagesschwankungen. Diese waren in der oberen Bodenschicht wesentlich sichtbarer ausgeprägt mit Differenzen bis 0,076 m^3m^{-3} θ_v. Die Bodenfeuchtigkeit verlief bei beiden Messpunkten weitgehend parallel, jedoch reagierte 0/30MP1b auf Niederschläge mit höheren Anstiegen. Auffällig waren die sichtbar feuchteren Verhältnisse an MP1b während des gesamten Messzeitraumes.

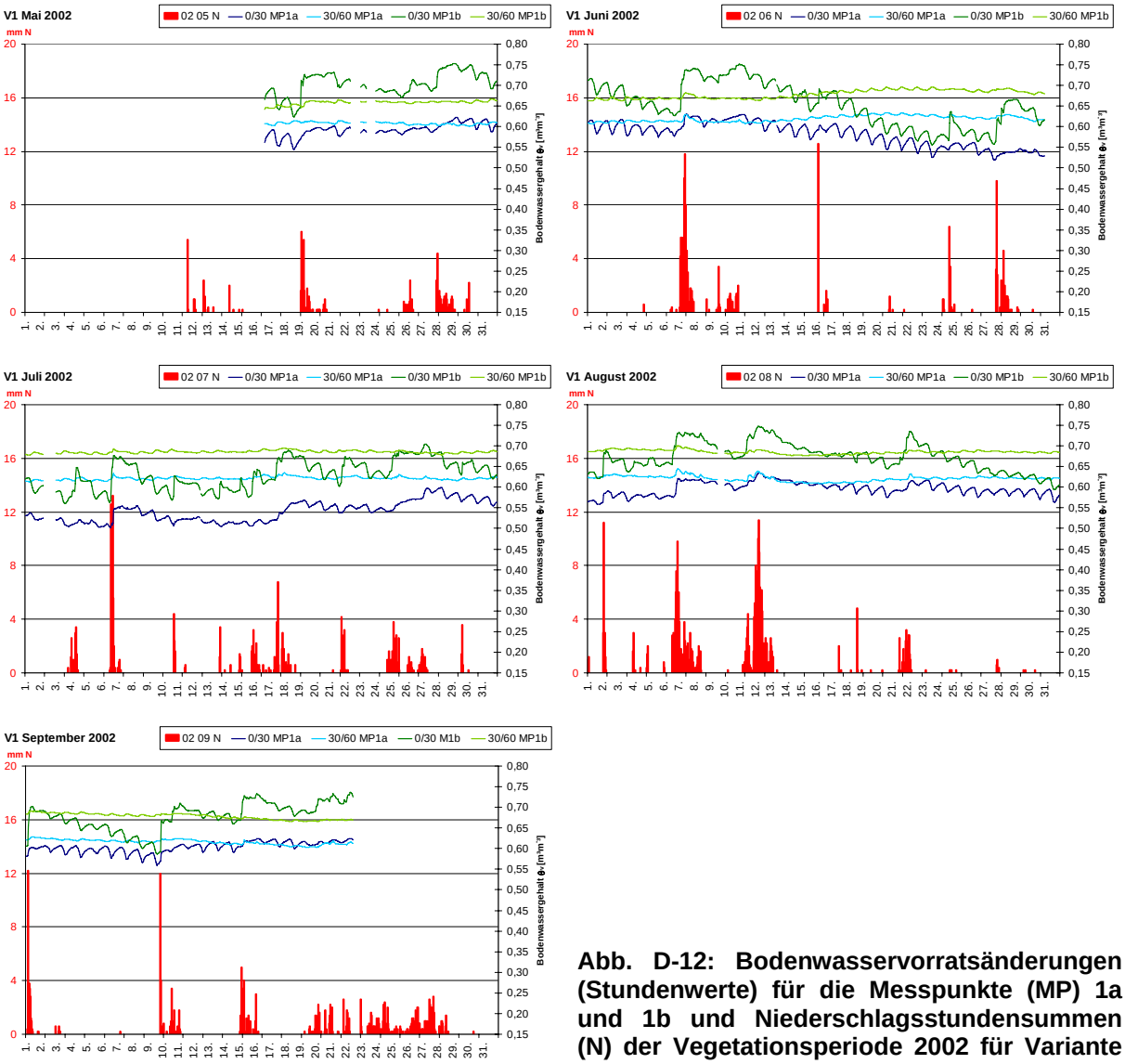


Abb. D-12: Bodenwasservorratsänderungen (Stundenwerte) für die Messpunkte (MP) 1a und 1b und Niederschlagsstundensummen (N) der Vegetationsperiode 2002 für Variante V1

D.4.3.2 Variante V2

In Variante V2 wurden zu Messbeginn am Messpunkt MP2b die Sensoren in beiden Bodenschichten eingebaut, an MP2a wurden sie am 21.9.01 nachinstalliert (Abb. D-13). Die tiefere Bodenschicht war gekennzeichnet durch konstante Wassergehalte von 0,520 bis 0,545 m^3m^{-3} θ_v (30/60MP2a) bzw. 0,55 bis 0,58 m^3m^{-3} θ_v (30/60MP2b) mit nur geringen

Tagesschwankungen. Die obere Bodenschicht zeigte stärkere Tagesgänge und deutliche Feuchtigkeitsanstiege bei Niederschlägen, v.a. jenen vom Oktober und November 2001. Der Bodenwassergehalt des Oberbodens von MP2b war anfänglich geringer, erhöht sich jedoch zunehmend in der Regenperiode vom September 2002 auf das Niveau der unteren Bodenschicht und stieg in den Wintermonaten Dezember 2001 bis März 2002 noch weiter an (Abb. Annex D - 2).

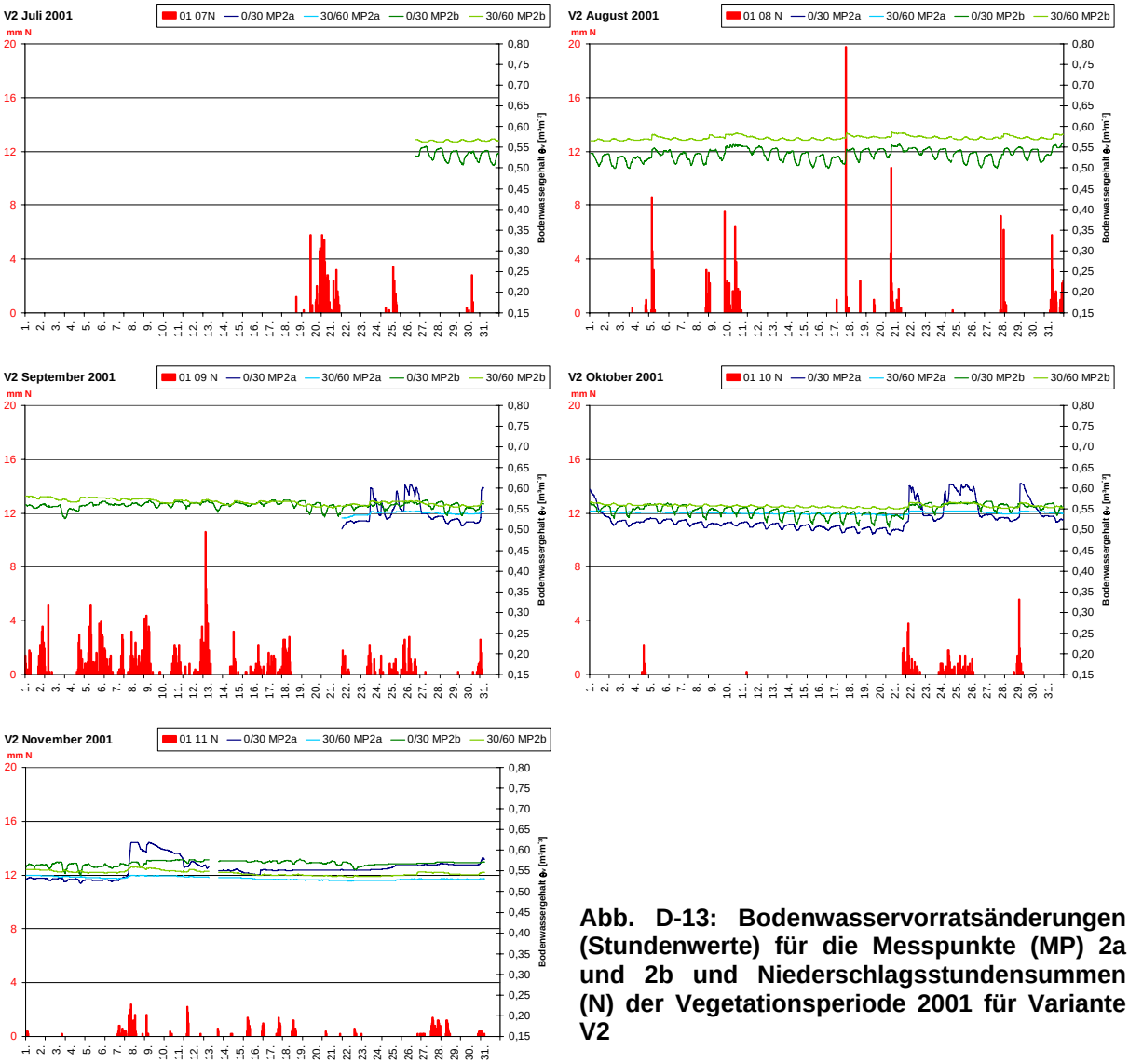


Abb. D-13: Bodenwasservorratsänderungen (Stundenwerte) für die Messpunkte (MP) 2a und 2b und Niederschlagsstundensummen (N) der Vegetationsperiode 2001 für Variante V2

Aufgrund des Loggerausfalls in V2 waren von der Vegetationsperiode 2002 Daten erst wieder ab 20.8.02 verfügbar. Das Muster der Tagesgänge wiederholte sich im Stil des Vorjahres. Während die tiefe Bodenschicht über den gesamten Zeitraum gleich bleibende Feuchtigkeitsverhältnisse aufwies, war die obere Bodenschicht sowohl von stärkeren Tagesschwankungen als auch von höheren Reaktionen bei Niederschlägen geprägt. In der trockeneren Phase von Ende August und Anfang September reduzierte sich der Wassergehalt auf 0,471 m^3m^{-3} θ_v, in der Feuchtphase des Herbstes verweilte er oberhalb von 0,55 m^3m^{-3} θ_v.

Bei Bodentemperaturen unterhalb von 5°C blieben die Tagesschwankungen sowohl der Temperatur als auch des Wassergehaltes weitgehend aus, dennoch stieg die Bodenfeuchtigkeit durch die Niederschläge im November 2001 deutlich sichtbar an. Das Absinken des Wassergehaltes im Dezember 2002 ist auf Bodenfrost in der Zeit vom 12. bis 22.12.02 zurückzuführen.

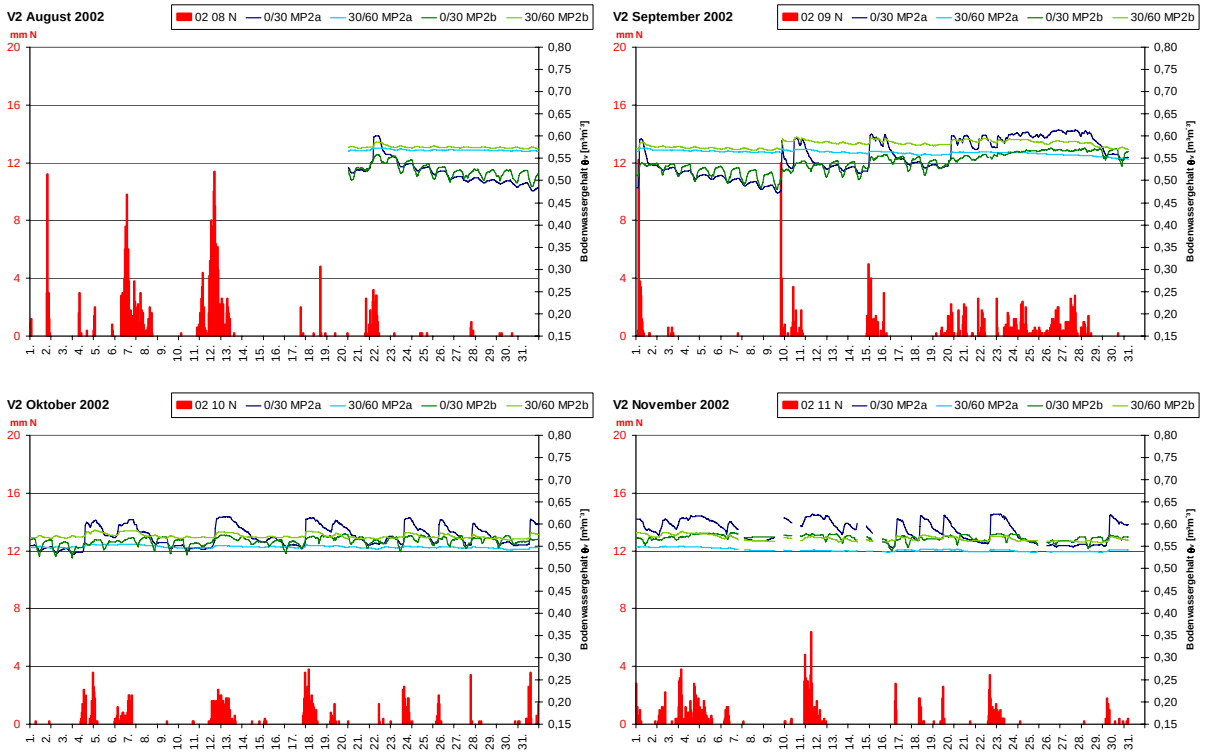


Abb. D-14: Bodenwasservorratsänderungen (Stundenwerte) für die Messpunkte (MP) 2a und 2b und Niederschlagsstundensummen (N) der Vegetationsperiode 2002 für Variante V2

D.4.3.3 Variante V3

Im Gegensatz zu Variante V1 und V2 wies V3 (Abb. D-15 und Abb. D-16) wesentlich stärkere Tagesschwankungen auch in der unteren Bodenschicht auf, die nur im Bodentemperaturbereich unterhalb von 5°C reduziert waren. Zusätzlich waren die Anstiege der Feuchtigkeit bei Niederschlägen besonders stark ausgeprägt.

So zeigte Messpunkt MP3b zu Messbeginn am 26.7.2001 im Oberboden einen Wassergehalt von 0,712 m^3m^{-3} θ_v, der jedoch in Trockenperioden von etwa nur 5 Tagen wie im August 2001 auf 0,425 m^3m^{-3} θ_v herabsank und bei jedem Regenereignis wieder sprunghaft in die Höhe schnellte. Durch den häufigen Regen im September 2001 blieb der Wassergehalt durchgehend sehr hoch mit Werten bis zu 0,751 m^3m^{-3} θ_v.

Die Sensoren von MP3a wurden am 22.9.2001 nachinstalliert. Der Oberboden zeigte hier jedoch eine engere Feuchtigkeitsamplitude von 0,556 bis 0,687 θ_v. Die tiefere Bodenschicht von MP3a war mit θ_v bis 0,687 m^3m^{-3} etwas weniger feucht als von MP3b, reagierte dafür jedoch stärker auf Niederschläge. Ab etwa 23.11.2001 erreichte die Bodenfeuchte mehr oder weniger konstante Verhältnisse mit nur wenigen Reaktionen, die über die Wintermonate erhalten blieben. Auffällig ist, dass die untere Bodenschicht mit Werten über 0,65 bzw. 0,70 m^3m^{-3} θ_v deutlich feuchter war.

Von 2002 sind durch einen Loggerausfall Daten erst wieder ab 11.6.2002 verfügbar. Die gesamte Vegetationsperiode war wiederum geprägt von starken Feuchtigkeitsschwankungen, die sich im Oberhorizont am MP3b zwischen 0,29 m^3m^{-3} und 0,79 m^3m^{-3} θ_v bewegten. Im Unterboden sind deutliche Tagesgänge zu erkennen, die Feuchtigkeitspanne schwankte jedoch weniger mit Werten oberhalb von 0,5 m^3m^{-3} θ_v. Ab September erhöhte sich

der Wassergehalt auf ein einheitliches Niveau bis 0,72 m^3m^{-3} θ_v, das in den Winter hinein erhalten blieb.

Eindeutig ablesbar ist, dass der Bodenfrost im Dezember 2002 für eine bedeutenden Abfall der Messwerte sorgte, die im Vergleich zu V1 und V2 niedrigen Werte im August und September 2002 jedoch nicht von der Bodentemperatur beeinflusst wurden (Abb. Annex D - 4).

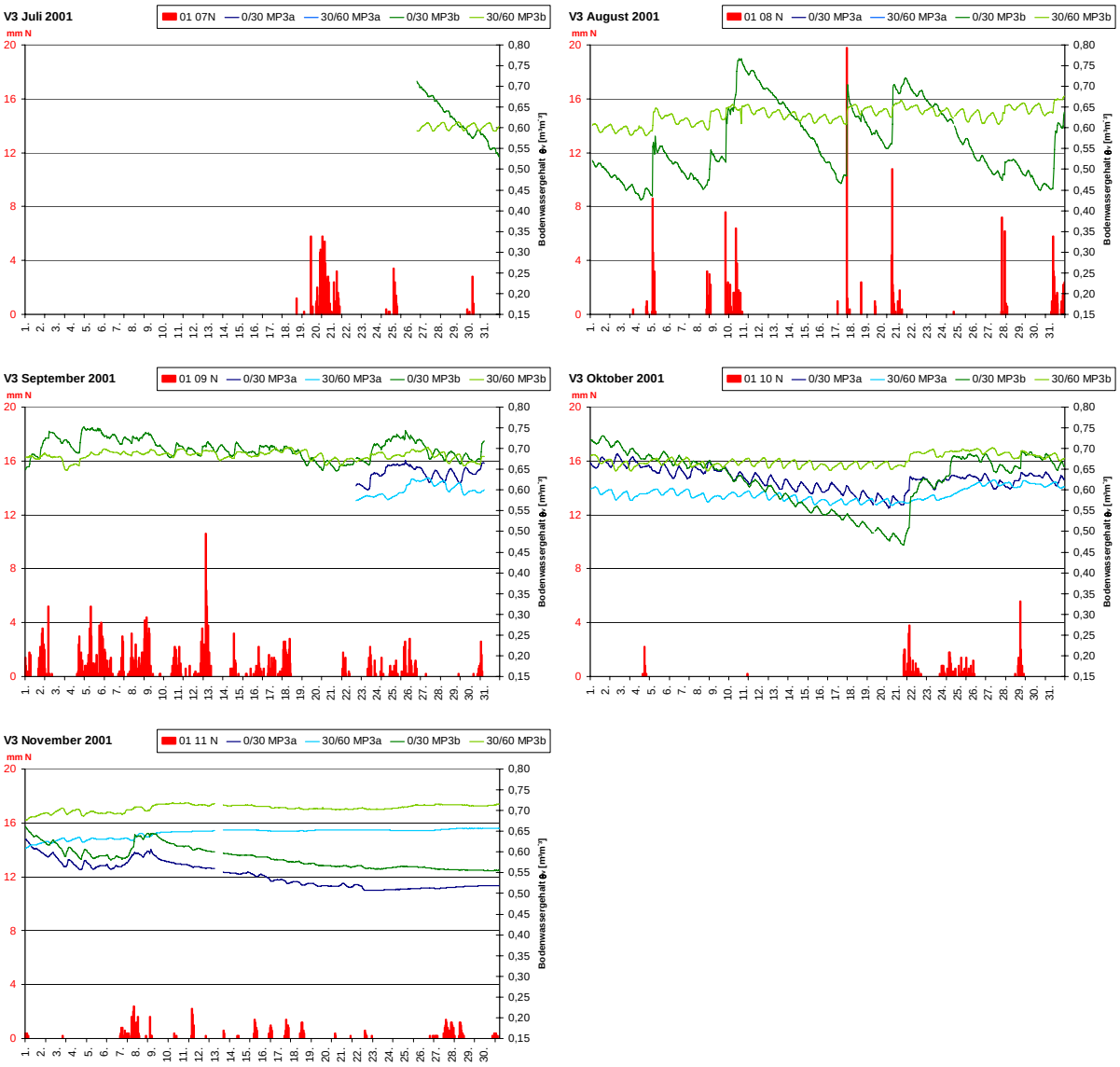


Abb. D-15: Bodenwasservorratsänderungen (Stundenwerte) für die Messpunkte (MP) 3a und 3b und Niederschlagsstundensummen (N) der Vegetationsperiode 2001 für Variante V3

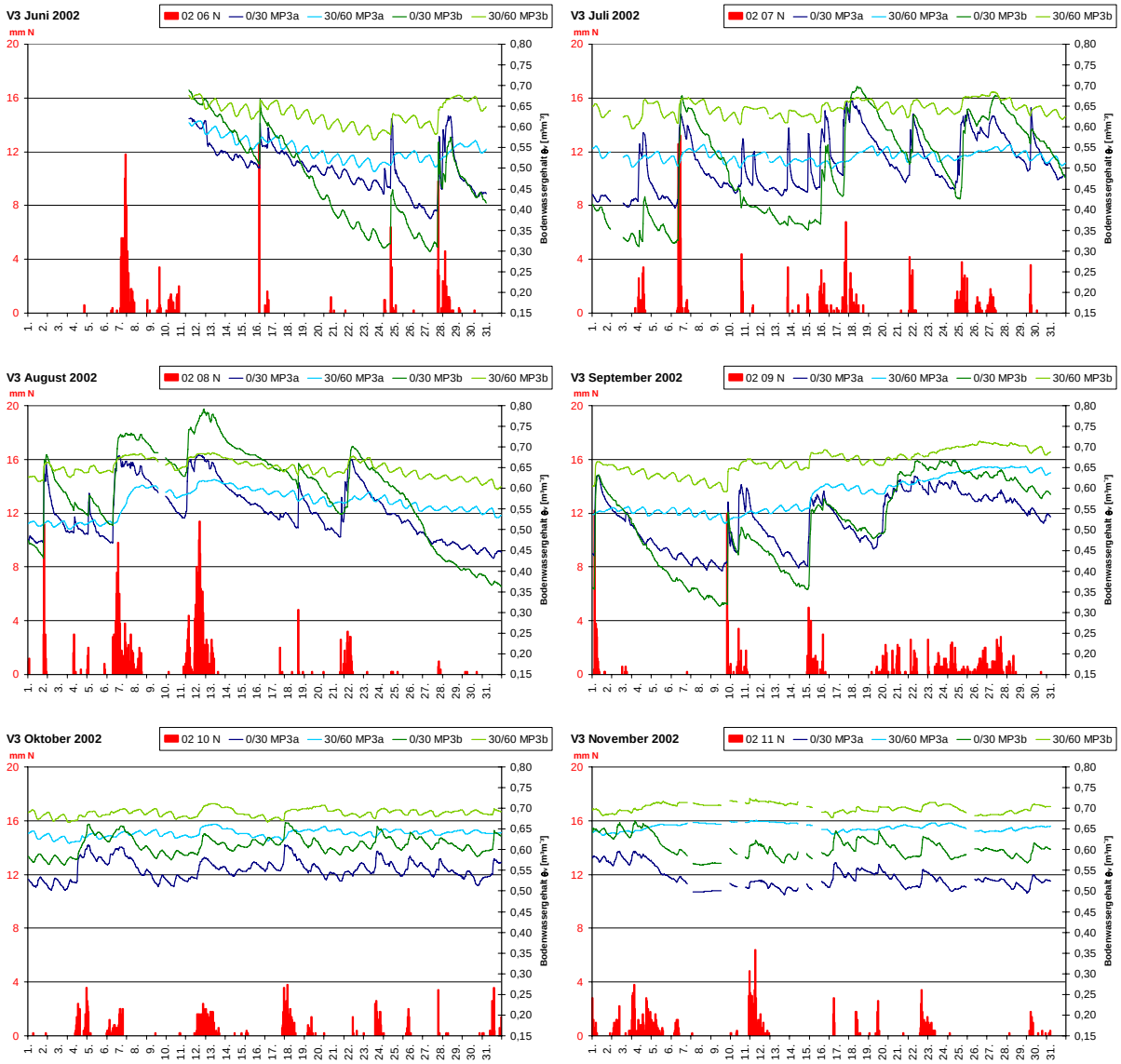


Abb. D-16: Bodenwasservorratsänderungen (Stundenwerte) für die Messpunkte (MP) 3a und 3b und Niederschlagsstundensummen (N) der Vegetationsperiode 2002 für Variante V3

D.4.3.4 Saisonale Bodenwasservorratsänderung

Abb. D-17 zeigt die saisonalen Bodenwasservorratsänderungen anhand von Monatsmittel, die erkennen lassen, dass die obere und die untere Bodenschicht v.a. der Varianten V1 und V2 mit unterschiedlichen Feuchtigkeitsschwankungen auf regenintensive bzw. regenarme Monate reagierten.

In V1 ist im niederschlagsreichen September 2001 ein deutlicher Peak des Monatsdurchschnitts im unteren Horizont auf 0,57 m^3m^{-3} bzw. 0,59 m^3m^{-3} θ_v erkennbar. In der oberen Bodenschicht war der Wassergehalt mit durchschnittlich 0,75 m^3m^{-3} θ_v besonders hoch. In der Folgesaison war ein Rückgang der Bodenfeuchtigkeit im Juli 2002 ablesbar, die aber durch die hohen Niederschläge im August 2002 den höheren Level der unteren Schicht erreichte.

V2 weist einheitlichere Durchschnittswerte auf, die sich generell in einem engeren Wassergehaltsbereich von nur 0,52 bis 0,58 m^3m^{-3} θ_v befinden. In Winter 2001 überstieg der Wassergehalt des Oberbodens jenen des unteren Horizontes mit bis zu 0,07 $m^3m^{-3}\theta_v$. Die

niederschlagsintensive Periode August bis November 2002 führte ebenfalls zu einer sukzessiven Erhöhung des monatlichen Durchschnitts im Oberboden auf bis zu 0,58 m^3m^{-3} θ_v.

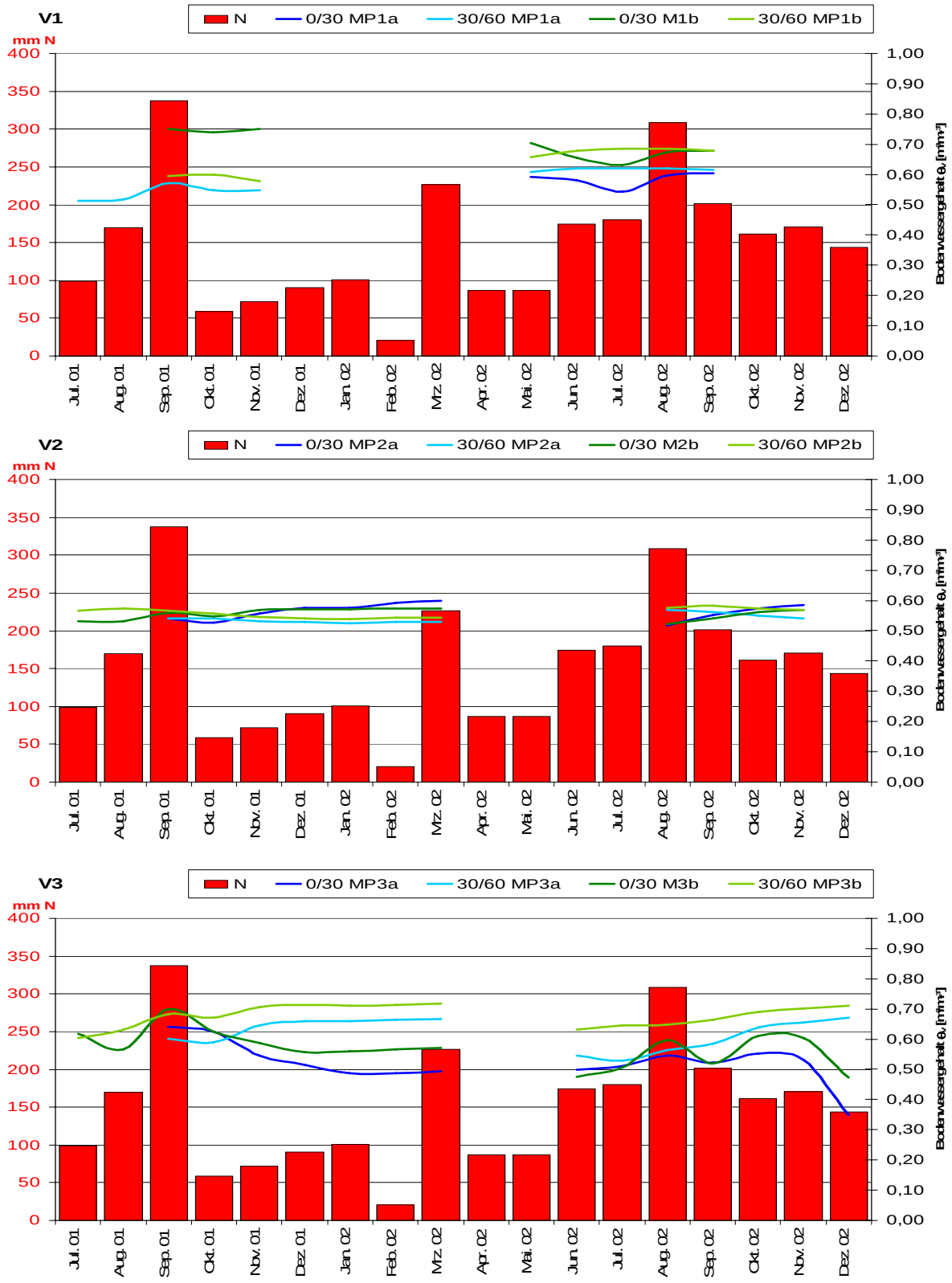


Abb. D-17: Saisonale Bodenwasservorratsänderungen (Monatsmittel) für die Varianten V1 bis V3 in der Stambachmure von Juli 2001 bis Dezember 2002

In V3 reagierte der Oberboden besonders heftig auf die Niederschläge vom September 2001. Der Monatsdurchschnitt stieg von 0,57 auf 0,70 m^3m^{-3} θ_v und ging im Winter auf 0,56 m^3m^{-3} θ_v zurück. Die Werte der unteren Bodenschicht hingegen stiegen kontinuierlicher von 0,60 auf 0,72 m^3m^{-3} θ_v in den Wintermonaten an, was sich in der Folgesaison wiederholte. Der niederschlagsstarke August 2002 führte in der oberen Bodenschicht ebenfalls zu einem Peak des Monatsdurchschnitts von 0,59 m^3m^{-3} θ_v. Am MP3b widerspiegeln sich an den Monatsmittel die starken Schwankungen besonders deutlich. Die starke Abnahme im Dezember 2002 im Oberboden ist besonders auffällig.

D.4.4 Wasserbilanz und Evapotranspiration

Abb. D-18 und Tab. D-7 beinhalten die Komponenten der Wasserbilanzen der Ausliterungsintervalle für 2001 und 2002. Beim Höchstniederschlag von 2001 im Intervall 24.8.-20.9.2001 war die Evapotranspiration ET für V1 mit 266,4 mm am höchsten, gefolgt von V2 mit 263,3 mm und 238,6 mm für V3. Der Bodenwasservorrat veränderte sich in V1 und V2 nur unwesentlich (+0,2 bzw. +3,5 mm), in V3 jedoch nahm er um 27,8 mm zu. Die Interzeptionsraten für diesen Zeitraum betragen 20,6 (V2) bzw. 20,7 % (V1, V3).

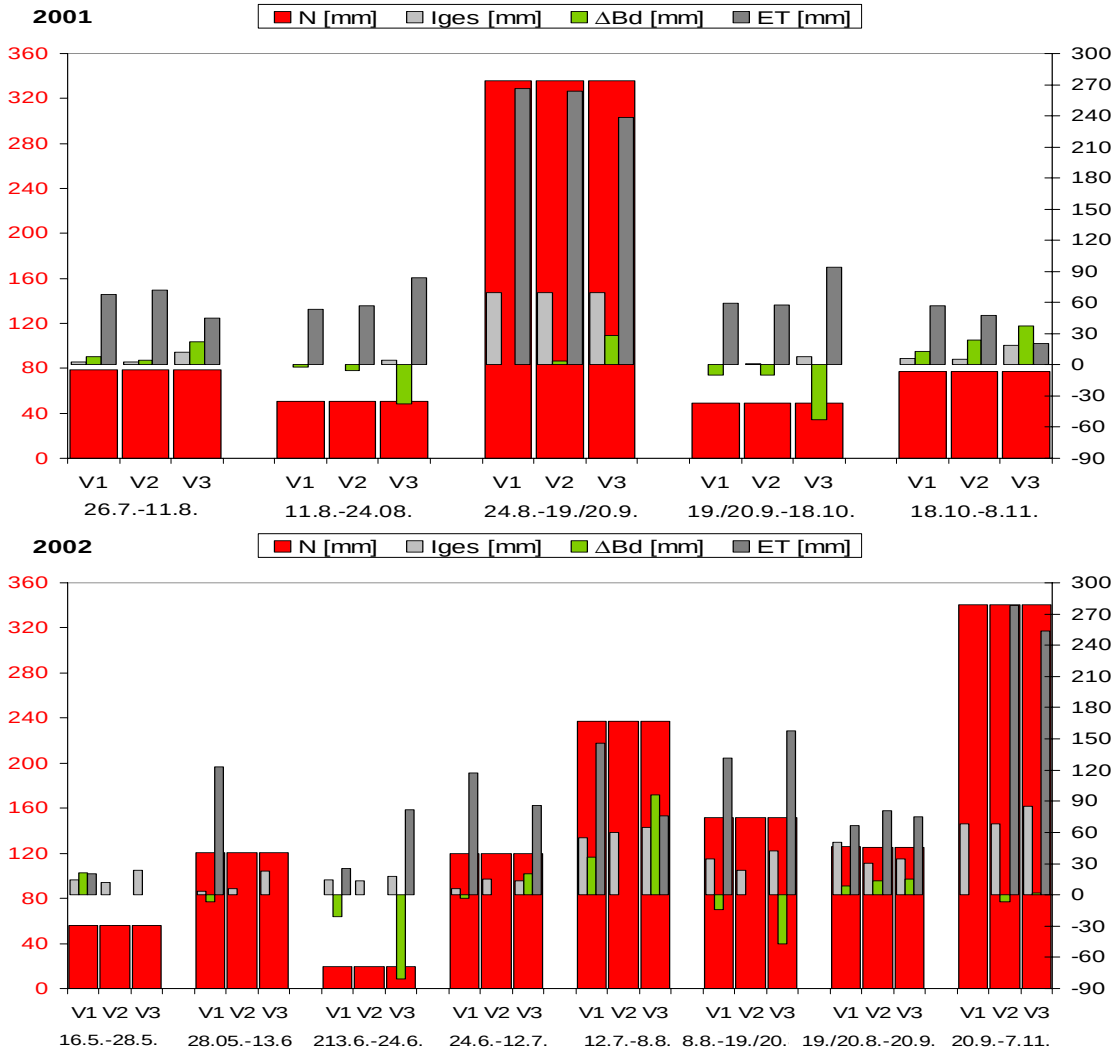


Abb. D-18: Wasserbilanzen der Ausliterungsintervalle in der Stambachmure für die Untersuchungsjahre 2001 und 2002 (mit N=Niederschlag, I_{ges}=Gesamtinterzeption, ΔBd=Bodenwasservorratsänderung, ET= Evapotranspiration)

Tab. D-7: Komponenten der Wasserbilanzen der Entleerungsintervalle für die Messperioden 2001 und 2002

Variante	Zeitraum	N [mm]	I_{ges} [mm]	ΔBd [mm]	ET [mm]	ET [mm d^{-1}]	ET_0[mm]	I_{ges} [%]
V1	26.7.-11.8.01	79,0	3,0	8,1	**67,9**	**4,0**	41,9	**3,8**
V2	26.7.-11.8.01	79,0	2,6	4,6	**71,8**	**4,2**	41,9	**3,3**
V3	26.7.-11.8.01	79,0	12,4	21,9	**44,7**	**2,6**	41,9	**15,7**
V1	11.8.-24.8.01	51,0	0,4	-2,6	**53,2**	**2,2**	32,6	**0,8**
V2	11.8.-24.8.01	51,0	0,4	-5,9	**56,5**	**2,4**	32,6	**0,8**
V3	11.8.-24.8.01	51,0	4,8	-37,3	**83,5**	**3,5**	32,6	**9,4**
V1	24.8.-20.9.01	336,0	69,4	0,2	**266,4**	**9,5**	32,3	**20,7**
V2	24.8.-19.9.01	336,0	69,2	3,5	**263,3**	**9,8**	30,3	**20,6**
V3	24.8.-19.9.01	336,0	69,6	27,8	**238,6**	**8,8**	30,3	**20,7**
V1	20.9.-18.10.01	49,4	0,4	-10,1	**59,1**	**2,8**	34,9	**0,8**
V2	19.9.-18.10.01	49,4	1,2	-9,7	**57,9**	**2,6**	36,8	**2,4**
V3	19.9.-18.10.01	49,4	7,6	-52,5	**94,3**	**4,3**	36,8	**15,4**
V1	18.10.-8.11.01	76,8	6,5	13,1	**57,2**	**2,6**	15,8	**8,5**
V2	18.10.-8.11.01	76,8	5,5	24,0	**47,3**	**2,2**	15,8	**7,2**
V3	18.10.-8.11.01	76,8	18,8	37,4	**20,6**	**0,9**	15,8	**24,5**
MW		*118,4*	*18,1*	*1,5*	***98,8***	***4,2***	*31,5*	***10,3***
SD		*113,3*	*27,0*	*23,7*	***83,3***	***2,8***	*9,0*	***8,5***

Variante	Zeitraum	N [mm]	I_{ges} [mm]	ΔBd [mm]	ET [mm]	ET [mm d^{-1}]	ET_0[mm]	I_{ges} [%]
V1	16.5.-.28.5.02	65,2	14,2	20,8	**30,2**	**2,3**	22,2	**21,8**
V2	16.5.-.28.5.02	65,2	12,0		Loggerausfall		22,2	**18,4**
V3	16.5.-.28.5.02	65,2	23,6		Loggerausfall		22,2	**36,2**
V1	28.5.-13.6.02	111,2	3,6	-6,2	**113,8**	**6,7**	39,7	**3,2**
V2	28.5.-13.6.02	111,2	6,2		Loggerausfall		39,7	**5,6**
V3	28.5.-13.6.02	111,2	22,8		Loggerausfall		39,7	**20,5**
V1	13.6.-24.6.02	32,6	14,8	-20,5	**38,3**	**3,2**	43,7	**45,4**
V2	13.6.-24.6.02	32,6	13,6		Loggerausfall		43,7	**41,7**
V3	13.6.-24.6.02	32,6	18,2	-80,6	**95,0**	**7,9**	43,7	**55,8**
V1	24.6.-12.7.02	106,8	6,2	-3,5	**104,1**	**5,5**	47,6	**5,8**
V2	24.6.-12.7.02	106,8	15,0		Loggerausfall		47,6	**14,0**
V3	24.6.-12.7.02	106,8	13,6	20,3	**72,9**	**3,8**	47,6	**12,7**
V1	12.7.-8.8.02	237,2	55,2	35,9	**146,1**	**5,2**	58,8	**23,3**
V2	12.7.-8.8.02	237,2	60,0		Loggerausfall		58,8	**25,3**
V3	12.7.-8.8.02	237,2	65,2	96,2	**75,8**	**2,7**	58,8	**27,5**
V1	8.8.-19.8.02	152,2	34,6	-14,5	**132,1**	**11,0**	16,4	**22,7**
V2	8.8.-20.8.02	152,2	23,8		Loggerausfall		19,7	**15,6**
V3	8.8.-20.8.02	152,2	42,0	-47,5	**157,7**	**12,1**	19,7	**27,6**
V1	19.8.-20.9.02	132,2	50,8	8,2	**73,2**	**2,2**	61,2	**38,4**
V2	20.8.-20.9.02	132,2	30,6	14,0	**87,6**	**2,7**	58,3	**23,1**
V3	20.8.-20.9.02	132,2	34,6	15,5	**82,1**	**2,6**	58,3	**26,2**
V1	20.9.-7.11.02	333,6	68,6		Loggerausfall		31,9	**20,6**
V2	20.9.-7.11.02	333,6	68,6	-6,7	**271,7**	**5,5**	31,9	**20,6**
V3	20.9.-7.11.02	333,6	84,8	2,1	**246,7**	**5,0**	31,9	**25,4**
MW		*146,4*	*32,6*	*2,2*	***115,2***	***5,2***	*40,2*	***24,1***
SD		*92,7*	*23,7*	*39,0*	***68,4***	***3,1***	*14,6*	***12,6***

N Niederschlag ΔBd Bodenwasservorratsänderung
I_{ges} Gesamtinterzeptior ET Evapotranspiration ET_0 Referenzevapotranspiration

Bei Niederschlägen unter 51 mm (Intervalle 11.8.-24.8.01 und 19./20.9.-18.10.01) zeigt V3 höhere ET (83,5 bzw. 94,3 mm), jeweils begleitet von einer Verringerung des Bodenwasservorrats um 37,3 bzw. 52,5 mm. Die Bodenwasservorratsänderung ΔBW betrug für V1 und V2 bis -5,9 mm für das erstere Intervall und bis -10,1 mm für das zweitere Intervall. Auffällig sind niedrige Interzeptionsraten in V1 und V2 (bis 2,4 %) im Vergleich zu V3 (9,4 bzw. 15,4 %).

Die Referenzevapotranspiration ET_0 für Gras beträgt für die Monate Juli bis Oktober 2001 zwischen 30,3 mm bis 41,9 mm und ist im letzten Ausliterungsintervall mit 15,8 mm deutlich verringert. Bis auf den ersten und letzten Termin von 2001, an dem die ET von V3 nur knapp über ET_0 liegt, sind die ET-Werte aller Varianten mit Abstand höher. Besonders auffällig ist dies für das Entleerungsintervall mit dem höchsten Niederschlag, bei dem die Differenzen zurET_0 zwischen 208,3 mm und 234,1 mm betragen.

Für die Vegetationsperiode 2002 ist die ET_0 am niedrigsten im Intervall 8.8.-19./20.8.02 mit 19,7 mm bzw. 16,4 mm und erreicht im Folgeintervall 19./20.8.-20.9.02 Höchstwerte von 61,2 mm bzw. 58,3 mm. Die Differenzen zu den für den Bestand ermittelten Werten betragen bis 239,8 mm.

In der Vegetationsperiode 2002 können die Varianten in Bezug auf die Entleerungsintervalle aufgrund von wiederholten Loggerausfällen nur eingeschränkt miteinander verglichen werden. Für den Höchstniederschlag von 2002 mit 333,6 mm zeigte sich die ET in V2 mit 271,7 mm höher als in V3 (246,7 mm) bei Interzeptionsraten von 20,2 bzw. 25,4 %. Vergleichsdaten für V1 fehlen. Im Zeitraum 8.8.-20.8.02 bewies V3 höhere ET bei einer ΔBW von -47,5 mm. Im Zeitraum mit dem geringsten Niederschlag (32,6 mm) war die ET von V3 im Vergleich zu V1 bedeutend höher (95,0 zu 38,3 mm).

In den Intervallen 28.5.-13.6.02, 24.6.-12.7.02 und 19./20.8-20.9 waren die Niederschlagsmengen vergleichbar hoch (106,8 bis 132,2 mm), wobei unterschiedliche ET ermittelt wurde. Im Frühsommer betrug die ET für V1 vergleichbare Werte von 113,8 und 104,1 mm, während im Spätsommer V2 den höheren Wert von 87,6 mm aufwies. Die Interzeptionsraten der genannten Intervalle differierten stark von 3,2 bis 38,4 %.

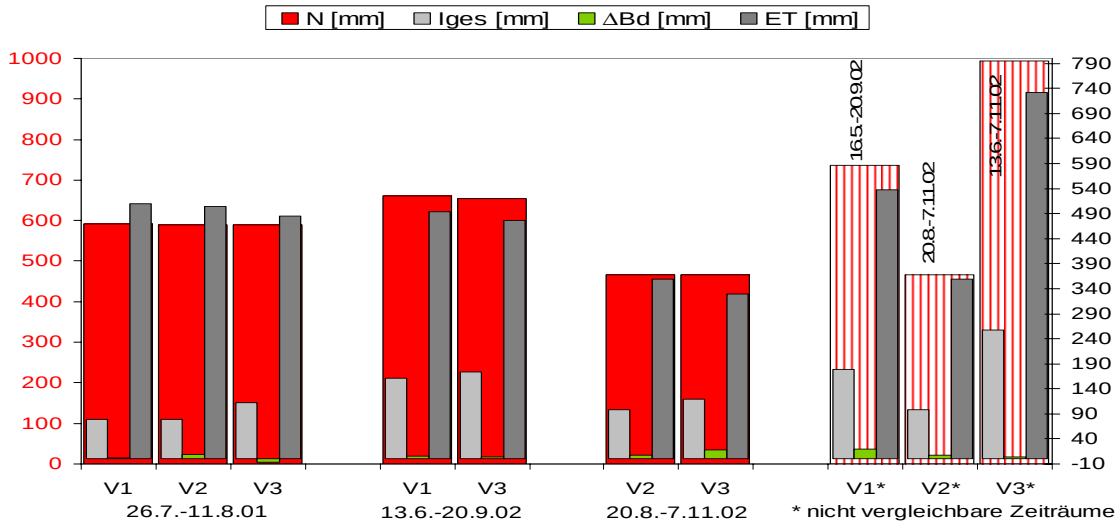


Abb. D-19: Wasserbilanzen der Varianten V1 bis V3 für die Vegetationsperioden 2001 und 2002 bzw. für verfügbare vergleichbare Zeiträume (mit N=Niederschlag, I_{ges}=Gesamtinterzeption, ΔBW=Bodenwasservorratsänderung, ET= Evapotranspiration)

Für die Vegetationsperiode 2001 (Gesamtniederschlag 592,2 mm) zeigte V1 die höchste ET mit 509,4 mm im Vergleich zu V3 mit 485,3 mm (Abb. D-19). Die Bodenwasservorratsänderung variierte von +3,1 bis -6,3 mm, die Interzeptionsraten lagen zwischen 13,4 und 19,2 %.

Für die Saison 2002 lassen sich V1 und V3 im Zeitraum 13.6.-20.9.02 mit Niederschlagsmengen von 661,0 mm vergleichen. Die ET war höher in V1 mit 493,8 mm bei geringfügiger Zunahme des Bodenwasservorrats um 5,6 bzw. 3,9 mm und vergleichbarer Interzeption von 24,7 bzw. 26,5 %. Im Zeitraum 20.8.-7.11.02 zeigte V2 die höhere ET mit 359,3 mm bei Niederschlägen von 465,8 mm. Der Bodenwasservorrat stieg um 7,6 mm (V2) bzw. 17,6 mm (V3) bei Interzeptionsraten von 21,3 bzw. 25,6 %.

Die Niederschlagsmengen der gesamten Periode ab 13.6.-7.11.02 erreichten 994,6 mm mit einer ET von 731,8 mm in V3 bei einem Anstieg des Bodenwasservorrats um 4,5 mm und einer Interzeptionsrate von 26,0 %. Die ET_0 für diesen Zeitraum lag bei 251,5 mm.

Tab. D-8. Komponenten der Wasserbilanz, Tagesevapotranspirationsraten und Referenzevapotranspiration für die Messperioden 2001 und 2002 und vergleichbare Perioden der Varianten V1 bis V3

Variante	Zeitraum	N [mm]	I_{ges} [mm]	ΔBd [mm]	ET [mm]	ET [mm d^{-1}]	ET_0 [mm]	I_{ges} [%]
V1			79,7	3,1	**509,4**	**4,8**	149,8	**13,5**
V2	26.7.-8.11.01	592,2	78,9	9,7	**503,6**	**4,8**	149,8	**13,4**
V3			113,2	-6,3	**485,3**	**4,6**	149,8	**19,2**
V1	13.6.-20.9.02	661,0	161,6	5,6	**493,8**	**4,9**	220,1	**24,4**
V3			173,5	3,9	**476,8**	**4,7**	220,1	**26,5**
V2	20.8.-7.11.02	465,8	99,2	7,3	**359,3**	**4,5**	89,7	**21,3**
V3			119,4	17,6	**328,8**	**4,2**	89,7	**25,6**
V1*	16.5.-20.9.02	737,4	179,4	20,2	**537,8**	**4,2**	281,5	**24,3**
V2*	20.8.-7.11.02	465,8	99,2	7,3	**359,3**	**4,5**	89,7	**21,3**
V3*	13.6.-7.11.02	994,6	258,3	4,5	**731,8**	**4,9**	251,5	**26,0**
MW		*379,0*	*136,2*	*7,3*	***478,6***	***4,6***	*169,2*	***21,6***
SD		*160,2*	*56,6*	*7,5*	***115,7***	***0,3***	*70,4*	***4,9***

N Niederschlag ΔBd Bodenwasservorratsänderung * nicht vergleichbare Zeiträume
I_{ges} Gesamtinterzeption ET Evapotranspiration ET_0 Referenzevapotranspiration

D.5 Diskussion

D.5.1 Interzeption

D.5.1.1 Interzeptionsraten 2001 und 2002

Die Gesamtinterzeption des unbehandelten Bestandes V3 (Baumschicht und Krautschicht) betrug in den Vegetationsperioden 2001 und 2002 19,1 bzw. 26 %. Die Interzeptionsraten der Baumschicht lagen für die einzelnen Entleerungsintervalle zwischen 9 und 48 % und bewegten sich damit in einem ähnlichen Bereich wie jene von Buchen (9 – 42 % bei 100 mm Niederschlag nach BRECHTEL und PAVLOV, 1977, S.B/1ff).

Erwartungsgemäß ist die Interzeption bei kleinen Niederschlagsmengen mit 45 % im reduzierten und mit 48 % im unbehandelten Bestand am höchsten, was auf die höhere Benetzungskapazität des Kronenlaubes bei beginnendem Regen zurückzuführen ist (DENGLER, 1992, S.294; KLAASEN et al., 1998, S.45). Die Auswirkungen durch die Schnittmaßnahmen im Frühjahr 2001 in der Variante V1 (teilreduziert) waren mit Differenzen zur unbehandelten Variante V3 bis 14 % deutlich zu erkennen. Dies deckt sich mit Angaben von HAGER (1988, S.157ff), der bei Untersuchungen an einer 14-jährigen Fichtendickung eine signifikante Abnahme der Interzeption nach Stammzahlreduktionen unterschiedlichen Ausmaßes beobachtete.

Die gewonnenen Daten veranschaulichen, dass der Krautschichtentwicklung nach der Freistellung nicht vernachlässigbare Bedeutung im Hinblick auf die Interzeptionsleistung zukommt. Nach Errichtung der Messvorkehrungen im Juli 2001 stieg während des Versuchszeitraumes der prozentuelle Anteil der Interzeption am Gesamtniederschlag für die Ausliterungsintervalle an. Im ersten Sommer nach den Schnitteingriffen blieb die Interzeption der Krautschicht bis auf einen Entleerungstermin unter 8 %. Im Jahr 2002 waren ab etwa Juli die Krautschichtentwicklung bzw. der Stockausschlag der voll reduzierten Variante V2 so stark vorangeschritten, dass sie einen ähnlichen Interzeptionspuffer wie der Gesamtbestand der unbehandelten Variante boten. Offenbar wird die Erholung der Krautschicht bzw. die Sprossentwicklung durch Stockausschlag nach den Arbeiten im Gelände widergespiegelt, die Leistungsfähigkeit ist bereits im zweiten Jahr deutlich angestiegen.

D.5.1.2 Einschränkungen in Bezug auf die Interzeptionsresultate

KLAASEN et al. (1998, S.45) beschreiben die Wasserspeicherung der Krone als den dominanten Prozess der Interzeption während des Niederschlags und erwähnen die Abhängigkeit von der Höhe des Blattflächenindexes. Sie beziehen sich jedoch auf dichte Nadelwälder und distanzieren sich von einer Generalisierung für andere Wälder bzw. Klimate. NACH TOBA und OHTA (2005, S. 208) haben meteorologische Variablen, vor allem Regen und Wind, einen größeren Effekt auf den Interzeptionsverlust als Unterschiede in der Kronenstruktur. DANNOWSKY und DIETRICH (2006a, S.98) machen Angaben zur saisonalen Interzeptionsleistung von Schwarzerlen, die im Juni am höchsten ist und bis zum Oktober sukzessive abnimmt.

Derlei Tendenzen können durch die vorliegenden Untersuchungen nicht bestätigt werden. Die vorhandenen Interzeptionsdaten scheinen einer hohen Variabilität zu unterliegen, jedoch können weder Abhängigkeitstendenzen von der Höhe der Gesamtniederschläge noch saisonale Muster abgelesen werden. Als nachteilig bei den Interzeptionsmessungen erwies sich die große Distanz zum Untersuchungsgebiet, da die Interzeption nicht nach Niederschlagsereignissen aufgeschlüsselt werden konnte und somit wesentliche Informationen über den Einfluss der Witterungsparameter verloren gingen. Die diskutierten Interzeptionsraten beziehen sich auf die Entleerungsintervalle, die in der Regel mehrere, nicht zwingend aufeinander folgende Niederschlagsereignisse beinhalteten.

Ein Teil des Interzeptionswassers fließt über die Stamm- und Astoberflächen wiederum dem Boden zu. Bei glattrindigen Arten mit aufrechten Ästen ist der Stammabfluss höher als bei Arten mit groben Rinden. SCHUME et al. (2004, S.260) berichten, dass glatte Buchenstämme einen hohen Stammabfluss und damit eine Konzentration von Infiltrationswasser um die Stammbasis verursachen, während Fichten das Wasser zur Kronenperipherie leiten, von wo es verteilt herabtropft. Der Stammabfluss wird bei Stämmen mit zerfurchter, rauer Rinde als vernachlässigbar eingestuft (SCHUME et al., 2004, S.270, BRECHTEL und PAVLOV, 1977). GARTNER (2000, S.39) nimmt für seine Untersuchungen an, dass der Stammabfluss für Eichen-Feldahorn dominierte Bestände dementsprechend als geringer einzuschätzen ist als für Bestände, wo glattrindige Arten vorherrschen.

Die Rinde der Grauerle und der Hybriderle sind verhältnismäßig glatt, während die Stammoberfläche von Schwarzerlen schon in jungen Jahren sehr rau ist. Da aus budgetären und organisatorischen Gründen auf eine Messung des Stammabflusses in der Stambachmure verzichtet werden musste, alle drei erwähnten Arten im Bestand aber zu finden sind, müssen Unterschiede im Stammabfluss angenommen werden. BRECHTEL und PAVLOV (1977, S.B/46) geben Stammabflüsse für diverse Laubholzarten mit bis zu 18 % des Freilandniederschlags an. Das ist ein nicht zu unterschätzender Teil des Interzeptionswassers, das dem Boden wieder zugeführt wird, jedoch in der vorliegenden Arbeit nicht berücksichtigt wurde.

D.5.2 Bodenwasserdynamik

D.5.2.1 Kleinräumige Charakteristika

Die Jahre 2001 und 2002 waren Rekordregenjahre für das innere Salzkammergut mit Jahresniederschlägen von 1.764 bzw. 1.759 mm (Station Bad Goisern). Das ist für das ohnehin regenreiche Gebiet um knapp 500 mm mehr als im 10-jährigen Durchschnitt. Beide Jahre waren gekennzeichnet durch ausgeprägte Tagesniederschlagsmaxima (bis über 80 mm) bzw. durch anhaltende mehrwöchige Regenperioden in den Septembermonaten, wodurch weite Teile des Salzkammergutes wiederholten Hochwassersituationen ausgesetzt waren.

Anhand der Bodenwassermessungen, die mit hoher zeitlicher Auflösung (Stundenwerte) durchgeführt wurden, können die unterschiedlichen hydrologischen Reaktionen der durchwurzelten Zone für diesen Zeitraum gut beschrieben werden. Die hohen Niederschläge beeinflussten das Bodenwasserregime wesentlich. Ausgesprochen nasse Bodenverhältnisse waren charakteristisch während des gesamten Untersuchungszeitraumes, die sich kleinräumig in unterschiedlichen Reaktionen äußerten.

Die Variante V1 war charakterisiert durch stagnierende Bedingungen bis zum Oberboden, wobei die obere Bodenschicht auf Niederschlags- und Trockenzeiten stärker reagierte. Schnelle Vernässung und deutliche Anstiege des Wassergehalts auf bis 0,75 m^3m^{-3} θ_v sowie langsames Abklingen im Oberboden war dabei typisch, während sich der Bodenwasservorrat der unteren Schicht in einem wesentlich geringeren Ausmaß und deutlich zeitverzögert veränderte. Wassergehaltsdifferenzen zwischen den beiden Messpunkten bis etwa 0,10 m^3m^{-3} θ_v lassen sich durch die unterschiedlichen Positionen der Sensoren erklären. Messpunkt MP1a lag auf einem Buckel, während sich MP1b in einer Entfernung von etwa 15 m in einem kleinen Graben und damit in einem durchgehend feuchteren Milieu befand.

Die Bodenfeuchtigkeit in der Variante V2 war mit bis zu 0,63 m^3m^{-3} θ_v geringer als in V1, was sich auf das rückenartige Relief (vergl. Teil B) zurückführen lässt. Die Wassergehalte der oberen und unteren Bodenschicht lagen in einem engeren Bereich, jedoch waren die Tages- und Niederschlagsreaktionen im unteren Horizont ähnlich wie in V1 sehr schwach ausgeprägt. Der anfänglich minimal trockenere Oberboden zeigte generell weniger konstante

Wasserverhältnisse und erreichte seinen Maximalstand in den Wintermonaten Jänner bis März 2002.

Variante V3 zeigte auffällige Abweichungen in der saisonalen Bodenwasservorratsänderung. Sichtbar stärkere Tagesschwankungen und Reaktionen auf Niederschläge, die mit Werten bis zu 0,70 m^3m^{-3} θ_v ähnlich hoch waren wie in V1 und V2, kennzeichneten die untere Bodenschicht. Der Oberboden jedoch war geprägt durch außergewöhnlich hohe Fluktuationen. Sprunghafte Anstiege des Wassergehaltes bei Niederschlägen auf über 0,79 m^3m^{-3} θ_v und langsame, aber ausgedehnte Abnahmen auf bis zu 0,29 m^3m^{-3} θ_v waren typisch für die Sommermonate, erst ab der zweiten Oktoberhälfte stellten sich konstantere Wassergehalte mit etwas trockeneren Verhältnissen im Oberboden ein. Abweichend zu V1 und V2 waren die Tagesgänge während des gesamten Winters stärker ausgeprägt.

Die großen Wassergehaltsschwankungen im Oberboden von V3 kommen auch bei den Monatsdurchschnittswerten klar zum Ausdruck. Die Niederschläge vom September 2001 und August 2002 verursachten ausgeprägte Peaks beim Monatsmittel. Das niedrige Mittel im Dezember 2002 impliziert eine starke Austrocknung, die jedoch auf Bodenfrost in der Zeit vom 12. bis 22.12.02 zurückzuführen ist (Abb. Annex D - 4).

D.5.2.2 Saisonale Bodenwasservorratsänderung

Generelle Tendenzen

Typische Muster sind ganzjährig stagnierende Verhältnisse in der unteren Bodenschicht (30 cm – 60 cm) mit geringen Tagesschwankungen und mehr oder weniger stark ausgeprägten, niederschlagsabhängigen Fluktuationen im oberen Bereich (0 – 30 cm). Kennzeichnend ist ein stetiger Anstieg des Bodenwassergehaltes θ_v bis zu den Herbstmonaten, der sich über den ganzen Winter auf dem oberen Niveau von etwa 0,75 m^3m^{-3} hält und erst wieder in Trockenperioden des darauf folgenden Frühsommers teilweise verringert, um sich in der zweiten Jahreshälfte erneut wieder zu erhöhen.

In Mulden und Gräben ist deutliche Stagnation im gesamten Jahresverlauf zu beobachten, während auf Rücken und Buckeln naturgemäß geringfügig trockenere Verhältnisse herrschen. Die Versickerung nach unten scheint weitgehend unterbunden zu sein, vermutlich sind laterale Wasserbewegungen ebenfalls eingeschränkt, bestätigt durch die Interpretation der Wasserspannungsmessungen in STANGL (2004, S.B61ff). In den unteren Bodenschichten zeigten sich in allen Varianten nur sehr geringe Änderungen der Wasserspannung, was eher auf die tagesbedingten Bodentemperaturschwankungen geschlossen wurde als auf Wasserbewegung. Der Oberboden neigt dazu, durch Evaporation mehr Wasser abzugeben, reagiert jedoch mit starken Zunahmen des Wassergehalts bei Niederschlägen. Durch die Freistellung der Fläche im Frühjahr 2001 war die oberflächennahe, tagesabhängige Verdunstung in V1 und V2 stärker ausgeprägt. Der Biomassezuwachs der Krautschicht und durch Stockausschlag im zweiten Jahr setzte diese wieder deutlich herab.

Vor allem über die Winterperioden bleiben die gesättigten Verhältnisse aufrecht. Laut WILKINSON et al. (2002), die über ein eigens entwickeltes Software-Programm Einschätzungen dynamischer Hydrologie mit und ohne Vegetation durchführten, stellten fest, dass der höchste Negativeffekt in Bezug auf die Hangstabilität bei geringer Durchlässigkeit des Bodens, geringem Reibungswinkel und zusätzlicher hoher Auflast festgestellt wurde. Dies erklärt die häufige Mobilisierung derartiger Problemhänge im Spätwinter, wenn zusätzliche Belastungen wie Auflast durch Schnee bzw. Bergsturz, wie es auch beim Ereignis 1982 in der Stambachmure der Fall war, nicht mehr verkraftet werden.

Bedeutung des Ausgangsmaterials und der Vegetation

Das räumliche Muster der mineralogischen Resultate (BLOCK B Kap. B.5.3) wiederholt sich in den Bodenwasserverhältnissen bedingt. Die geringfügigen Abweichungen in der tonmineralogischen Zusammensetzung der zentralen Zone (V2 mit primären Chloriten und Illiten) von den Randbereichen (V1 und V3 mit einer hohen Präsenz quellfähiger Tone) könnte die etwas geringeren Wassergehalte in V2 erklären. Vielmehr jedoch werden die Unterschiede in den Varianten und zwischen den einzelnen Messpunkten auf kleinräumige Heterogenitäten im Relief und in der Bodenstruktur zurückgeführt.

Eindeutig ablesbar ist der Einfluss der durch den Rutschvorgang überlagerten humosen Schichten in V3, die bei allen Profilöffnungen im Umfeld der Messpunkte vorgefunden wurden. Die hohe Wechselfeuchte des Oberbodens ist in Zusammenhang zu bringen mit den höheren Anteilen organischer Substanz bzw. der Einlagerung von Holzstrukturen (Tab. B-8 und B-9). Die damit verbundene Abweichung in der Struktur und der Anteil an Hohlräumen ist bedeutend und erlaubt vermutlich laterale Wasserbewegungen bzw. einen Abfluss über die Holzschichten. Die punktuelle Verringerung des Wasseranteils in Trockenperioden könnte durch möglichen Abfluss in diesen Zonen erklärt werden. Seine drastischen Anstiege bei Niederschlägen in der oberen Bodenschicht) widerspiegelt den hohen Tonanteil des Substrats und seine Wasseraufnahmefähigkeit (Abb. B-19), die sich v.a. in V3 in massiven Volumszunahmen durch Quellen äußerte. Die besonders stark ausgeprägten Wassergehaltsschwankungen (0,29 $m^3\ m^{-3}\ \theta_v$ bis 0,79 $m^3\ m^{-3}\ \theta_v$, Tab. Annex D - 7) in der oberen Bodenschicht von V3 lassen sich nur über diese Volumsveränderungen erklären.

Die übermäßige Speicherung des Niederschlagswassers ergibt sich aus dem hohen Feinporenanteil und der hohen Adsorptionskapazität. Die nasse Zone der unteren Bodenschicht korrespondiert mit der eingeschränkten Durchlässigkeit (vergl. BLOCK B und C), die periodischen Wasserstau verursacht. Die absolute Dominanz der Tonfraktion und deren mineralogische Komponenten, stark quellfähige Dreischichtminerale und Mixed-Layer-Typen, verursachen diese Schwammwirkung, wodurch das Niederschlagswasser als Haftwasser eingelagert wird. Die eingeschränkte und zeitverzögerte Abgabe des Wassers bewirkt anaerobe Verhältnisse über lange Zeiträume.

Von Böden mit hohen Tongehalten (≤ 56%) berichten SCHUME et al. (2004, S.260f) über hoch negatives Matrixpotenzial auch bei erhöhtem Wassergehalt. Außerdem betonen sie, dass Infiltrationswasser nicht von den Wurzeln absorbiert wird, sondern das durchwurzelte Bodenvolumen als hangparalleler Interflow bzw. Sickerwasser verlässt. Dieser Prozess erschwert die Lösung der Bestandesbilanz. Einschränkend auf die Wassernachlieferung zu den Bäumen wirkt sich nach CERMAK und PRAX (2001, S.25) die maximale Wasserleitfähigkeit aus, die horizontalen Wassertransport in schweren Böden hervorruft, da eine kleine Verringerung des Wassergehaltes um bis zu 4 % ein große Verringerung der Leitfähigkeit bewirkt. Es wird vermutet, dass diese Einschränkung der Leitfähigkeit bereits limitierend wirkt, bevor geringer Wassergehalt einen limitierenden Faktor darstellt.

Unterschiede in der Wurzelarchitektur verschiedener Baumarten werden in der Bodenwasserdynamik und der horizontalen und vertikalen Wasserbewegung widergespiegelt (SCHUME et al., 2004, S.260). Um den Einfluss der Baumindividuen auf die Bodenwasservorratsänderung einschätzen zu können, ist jedoch die Berücksichtigung der genauen Position, Baumart und Wuchscharakteristik erforderlich.

Die Tendenz zur Wassergehaltsabnahme in der durchwurzelten Zone im Frühsommer wird auf die wachsende Wasseraufnahme durch die Baumwurzeln in der beginnenden Vegetationsperiode zurückgeführt. Es ist grundsätzlich eine starke Wechselwirkung zwischen eingeschränkter Durchwurzelbarkeit und limitiertem Einfluss der Wurzeln auf die physikalischen Bodeneigenschaften anzunehmen. Die Durchwurzelung beschränkt sich aufgrund der stagnierenden, anaeroben Verhältnisse auf etwa den oberen Dreiviertelmeter (STANGL, 2004, S.B33). Damit kann wiederum sowohl Infiltration über Wurzelkanäle in als auch Wasserentzug aus tieferen Bodenschichten ausgeschlossen werden. Verluste im Boden-

wasservorrat sind demnach weniger der Versickerung oder dem Interflow als der Evapotranspiration zuzuschreiben.

Auffällig bei den Tagesschwankungen im Wassergehalt ist, dass sich diese auf die Monate ab dem Laubaustrieb bis zum Laubfall im November beschränken. Neben der eindeutig nachgewiesenen Abhängigkeit der Sensorreaktionen von der Substrattemperatur, die in diesem Zeitraum stärker fluktuiert, stehen diese Schwankungen vermutlich im Zusammenhang mit Tagesrhythmen der Transpiration stehen.

D.5.2.3 Plausibilität der Sensorwerte

Es wird darauf hingewiesen, dass die in diesem Kapitel dargestellten Bodenwassergehalte im Sinne der relativen Bodenwasservorratsänderung zu sehen sind. In BLOCK C wurden die Schwierigkeiten, die mit der Sensorkalibrierung verbunden waren, ausführlich diskutiert und mehrere Kalibrierungsvarianten durchleuchtet. Da durch unterschiedliche Kalibrierungsansätze abweichende Koeffizienten generiert werden, die zur Rückrechnung der Messsignale auf den Wassergehalt dienen, weichen bei Verwendung verschiedener Kalibriermodelle die absoluten Wassergehalte naturgemäß voneinander ab.

In STANGL (2004, S.B61ff) wurde zur Ermittlung der gemessenen Wassergehalte eine ältere Kalibrierversion benützt, die zum Teil höhere θ_v bzw. weniger stark ausgeprägte Wassergehaltsunterschiede zwischen oberer und unterer Bodenschicht ergab. Die allgemeinen Tendenzen der Bodenwasservorratsänderungen widerspiegeln sich in beiden Arbeiten sehr gut. Differenzen jedoch gibt es für Variante V3, die sich in STANGL (2004, S.B83ff) in deutlich geringer ausgeprägten niederschlagsbedingten Fluktuationen äußerte. Dies wiederum lässt geringfügig unterschiedliche Interpretationen zu bzw. pflanzt sich dementsprechend bei der Erstellung der Wasserbilanz fort.

Beide Kalibriervarianten, die über Felddaten entwickelt wurden, erwiesen sich als zufrieden stellende Versionen zumindest für den vorkommenden, hohen Wassergehaltsbereich. Die ermittelten Werte sind für den Sonderstandort plausibel und die Sensorreaktionen auf diverse Einflüsse nachvollziehbar.

Auf die Notwendigkeit, den Parameter Bodentemperatur in die Kalibrierung mit einzubeziehen, wurde in BLOCK C mehrfach hingewiesen. Im Tagesverlauf der Messsignale und bei der Gegenüberstellung zum Temperaturverlauf des Bodens kommen z.B. konstantere Wellenlaufzeiten des Sensors bei sich kaum ändernden Bodentemperaturen in den kalten Perioden besonders deutlich zum Ausdruck (Abb. Annex C – 5). Große Temperaturamplituden, wie sie unter ganzjährigem Einsatz im Gelände vorkommen und beispielsweise im ausgesprochen warmen November 2002 mit Lufttemperaturen bis 20° auftraten, müssen daher bei der Kalibrierung und bei der Rückrechnung unbedingt berücksichtigt werden. Dem kann über Standardlaborkalibrierungen bei konstanten Substrattemperaturen nur bedingt nachgegangen werden.

Der Einsatz der CS-615 Water Content Reflectometer im in dieser Arbeit untersuchten, stark tonhältigen Substrat und seine Bevorzugung gegenüber anderen Fabrikaten mit geringerer Sensorlänge kann grundsätzlich kritisch hinterfragt werden. Die Wahl der damals jungen Sensorgeneration lässt sich durch ihre Vorteile gegenüber anderen Produkten hinsichtlich Stromverbrauch, Vergrabbarkeit und Resistenz gegen raue Umweltbedingungen sowie hohe Kosteneffektivität, die auch von SUMNER (2000, S.A62) und VELDKAMP und O'BRIEN (2000, S.1549) betont werden, rechtfertigen. Die Messung an mehreren Positionen und unterschiedlichen Bodentiefen, um die gesamte Wurzeltiefe abzudecken, hatte Priorität und erforderte eine große Sensoranzahl. Die Präferenz langer Sensoren fußte auf Angaben von LADEKARL (1998, S.235), der auf den geringeren Einfluss der Bodenheterogenität auf längere als auf kürzere Sensoren bei vertikaler Position hinweist.

Bedauerlicherweise war eine Projektvorlaufzeit, in der diverse Schwierigkeiten und Nachteile aufgezeigt werden hätten können, aus budgetären und organisatorischen Gründen nicht

realisierbar. Anhand der eigenen Erfahrungen wird eine solche für ähnlich umfangreiche, disziplinübergreifende Untersuchungen wärmstens empfohlen sowohl in Bezug auf die Funktion der Messsysteme als auch zur besseren Einschätzung der Eigenheiten des Untersuchungsgegenstandes.

D.5.3 Wasserbilanz und Evapotranspiration

D.5.3.1 Messsaison 2001

Für die erste Messsaison Juli bis November 2001 betrugen die Evapotranspirationsraten (ET) zwischen 485,3 (V3) und 509,4 mm (V1). Der Gesamtniederschlag dieses Zeitraumes summierte sich auf 592,2 mm. Die geringere ET in V3 steht in großem Zusammenhang mit der höheren Interzeption des unbehandelten Bestandes (113,2 mm in V3 zu 79,7 bzw. 78,9 mm in V1 und V2). Die niedrigen Interzeptionsraten von V1 und V2 sind eindeutig auf die kurz zuvor durchgeführte Stammzahlreduktion zurückzuführen. Die Verdunstungserhöhung in den freigestellten Flächen konnte die eingeschränkte Interzeption nicht wettmachen. Der Bodenwasservorrat erhöhte sich in der vollreduzierten Variante V2 um 9,7 mm, in V1 um 3,1 mm. Lediglich in V3 reduzierte er sich bei voller Interzeptionsleistung um -6,3 mm.

Bezogen auf die Entleerungsintervalle waren im August 2001 und im September/Oktober-Intervall bei geringen Niederschlägen (51,0 und 49,4 mm) negative Wasserbilanzen zu verzeichnen. In beiden zeigte V3 die stärkste Bodenwasservorratsabnahme (> -52,5 mm) und die höchste Interzeption (< 7,6 mm), aber trotzdem fast doppelt so hohe ET (< 94,3 mm) wie V1 und V2. Dies lässt sich durch die volle Transpirationsleistung des unbehandelten Bestandes erklären.

Die Bodenwasservorratsänderungen der restlichen Zeiträume waren positiv. Bei ähnlichen Niederschlägen von 76,8 bis 79,0 mm war die ET im Juli/August-Intervall deutlich höher (< 71,8 mm) als im Oktober/November-Intervall. Dies ist eindeutig auf die volle Belaubung im Sommer bzw. die Reduktion der Transpiration in der Herbstzeit zurückzuführen und steht in gutem Konsens mit Angaben von DANNOWSKI und DIETRICH (2006, S.98). Die Herabsetzung der Transpiration führt im Herbst zu einer größeren Zunahme des Bodenwasservorrats (< 37,4 mm).

Ungewöhnlich ist, dass im niederschlagsintensiven Intervall August/September (336 mm) die Interzeption für alle Varianten ähnlich hoch war, die ET der reduzierten Bestände jene des unbehandelten jedoch überstieg. Kein Zusammenhang ist für diesen Zeitraum mit dem abweichenden Muster in den Bodenwassergehaltsschwankungen zu sehen (Kap. D.5.2.1). Der Anfangswassergehalt in V3 war höher war als jener von V1 und V2, womit die höhere Bodenwasservorratszunahme in V3 von 27,3 mm nicht aufgrund niedrigerer Ausgangsgehalte zustande kam. Der geringe Anstieg des Bodenwasservorrats in V1 und V2 (< 3,5 mm) ist vermutlich eher auf erhöhte Evaporation der freigestellten Flächen an den regenfreien Tagen zu schließen.

Durch Stammreduktion verstärken sich der Windeinfluss und die Sonneneinstrahlung auf die bodennahen Schichten, welche die treibenden Kräfte für die Evaporation darstellen. Nach Angaben von HAGER (1988, S.157ff), der durch Stammentnahmen schnellere Erwärmung und Abkühlung des Bodens sowie höhere Windgeschwindigkeit im Kronenraum feststellte, ist daher eine erhöhte Evaporation nicht nur für die vollreduzierte, sondern auch für die teilreduzierte Variante plausibel.

D.5.3.2 Messsaison 2002

WILSON et al. (2001, S.166) berichten von signifikanten Korrelationen von ET-Raten ermittelt über die Bodenwasserbilanz zu anderen Methoden (Saftstrommessung, Eddy-Kovarianz-Methode). Als wesentlichen Nachteil der ersteren nennen sie Datenstreuung und Datenverluste während Regenperioden bzw. bei raschen Bodenwasserbewegungen, wodurch sie ihre Anwendung zur Erhebung der ET als ernsthaft eingeschränkt bezeichnen. Die Behinderung der Sensoraufzeichnung durch Niederschläge kann durch die vorliegende Arbeit nicht bestätigt werden, obwohl Sensoren desselben Fabrikats verwendet wurden. Massive, länger andauernde Datenverluste traten jedoch aufgrund von Loggerausfällen auf, die durch die geographische Distanz nur in größeren zeitlichen Abständen gewartet und wieder behoben werden konnten. Dies behinderte die Berechnung der ET über längere Perioden v.a. im zweiten Versuchsjahr.

Für die Vegetationsperiode 2002 sind daher Variantenvergleiche bezogen auf die Entleerungsintervalle nur eingeschränkt möglich, Datenausfälle waren in V1 und V2 zu verzeichnen. Vergleiche gezogen werden konnten zwischen V1 und V3 für den Zeitraum Juni bis September und zwischen V2 und V3 für August bis November.

Bei beiden Perioden ist abzulesen, dass die Interzeptionsleistung der reduzierten Bestände im zweiten Jahr beinahe dieselbe Kapazität erreichte wie die der unbehandelten Variante. Bei positiven Wasserbilanzen mit geringen Bodenwasservorratsänderungen (< 5,6 mm) trotz hohen Niederschlagsmengen (661,0 mm) ist die ET für den ersten Vergleich in V1 mit 493,8 mm höher. Auch für den zweiten Vergleich steigt die vollreduzierte Variante V2 mit einer höheren ET aus als der unbehandelte Bestand (359,3 zu 328,8 mm). Nachdem sich die Ausgangswassergehalte des Bodens kaum unterschieden, die Interzeption, aber auch die Bodenwasservorratszunahme in V3 größer ist, wird hier ebenfalls angenommen, dass die erhöhte ET dem Evaporationsanteil in den stammzahlreduzierten Flächen zuzuschreiben ist.

Aus hydrologischer Sicht endeten die Messsaisonen im Allgemeinen mit positiven Wasserbilanzen. Bodenfeuchtigkeitsdefizite wurden bis auf die oben erwähnte Ausnahme von V3 (2001) in keiner der durchleuchteten Perioden festgestellt, was im Zusammenhang mit dem überreichlichen Niederschlagsangebot und den eingeschränkten Abflusskapazitäten des Substrats steht. In jedem Fall positiv zu bewerten ist, dass bei hohen Niederschlagsraten wie z.B. in der Vegetationsperiode 2002 mit 994,6 mm die Bodenwasservorratszunahme über die Saison mit 4,5 mm gering ausfiel. Mit einer Interzeption von 258,3 mm und einer ET von 731,8 mm gegenüber der Referenzevapotranspiration ET_0 für einen definierten Grasbestand (FAO, 2007) mit 251,5 mm bildet der Erlenbestand einen hohen Puffer gegenüber Wasserinputs.

D.5.3.3 Hydrologische Konsequenzen

Auf nassen Standorten beweisen Erlenbestände außergewöhnlich hohe Transpirationsraten und übersteigen damit die Raten von anderen Waldbeständen im Durchschnitt um 200 mm a^{-1} (HERBST et al., 1999, S.118). Das ist vor allem an Standorten von Interesse, wo die Pflanze durch Transpiration einen Beitrag zur positiven Beeinflussung des Wasserregimes leisten kann. LANDHÄUSSER et al. (2003, S.741) testeten mehrere Arten auf ihre Kapazität, den Wasserstand an nassen Standorten zu senken, wobei sie bei *Alnus crispa* die höchsten Transpirationsraten bei nicht drainierten, warmen Bodenverhältnissen feststellten. Bei Versuchen von TAKAHASHI (1972, S.376) entwickelte die Schwarzerle in nassem Substrat die höchsten Blattflächen, der Einfluss der Bodenfeuchtigkeit wirkte sich dabei signifikant auf die Transpiration aus. Diesen Aussagen widersprechen DANNOWSKY und DIETRICH (2006a, S.97), die den Wasserkonsum von Schwarzerlen wieder vernässter Flachmoore kaum höher einstufen als jenen von intensivem Grasbestand. Verantwortlich dafür nennen sie den niedrigen Blattflächenindex (LAI ≤ 5).

Die stomatäre Leitfähigkeit reguliert die Transpiration. Diese hängt von der klimatischen Variabilität, der Niederschlagsvariabilität und der damit verbundenen Veränderung des Bodenwassergehalts ab. Bei hoher Wasserverfügbarkeit steigt die Evaporation generell mit der Erhöhung des Wasserdampfsättigungsdefizits an und verursacht in weiterer Folge ein Schließen der Spaltöffnungen (LAGANIS, 2007, S.15). Die größten täglichen Transpirationsverluste von *Alnus rhombifolia* (157 mol $m^{-2}d^{-1}$) treten zu Zeiten des größten Wasserdampfsättigungsdefizits auf (NACHLINGER et al., 1989, S.396). Die täglichen Transpirationsmuster widerspiegeln ihr Maximum mit maximaler stomatärer Leitfähigkeit, da die Blatttemperatur nahe der Lufttemperatur ist. Eine hohe Wasserverfügbarkeit garantiert, dass die Erlen genügend Wasser absorbieren können, um die Verluste durch Transpiration wettzumachen. Zu ähnlichen Schlüssen kommen auch LIANG und MARUYAMA (1995, S.353) für *Alnus firma*. Es kann davon ausgegangen werden, dass, solange Wasser reichlich verfügbar ist, auch die Transpirationsleistung angeregt wird.

Nach ESCHENBACH und KAPPEN (1999, S.36f) kontrolliert die Schwarzerle die stomatäre Leitfähigkeit bei niedrigem Xylemwasserpotenzial nicht. Diese sowie die Transpiration werden über das Blattwasserpotenzial reguliert, was hohe Blattleitfähigkeiten und damit hohe Transpirationsraten mit sich bringt. Die geringe stomatäre Beeinträchtigung bewirkt bei Wasserüberfluss maximale Produktivität, während dies andere Arten limitiert. Schwarzerlenblätter erreichen ihre höchste ET bei hoher Strahlungsintensität (ESCHENBACH et al., 1996, S.97).

Die in dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse bestätigen die Angaben oben genannter Autoren. Die Wasserbilanzen in der Stambachmure ergeben ET-Raten bis 731,8 mm, die den durchschnittlichen Raten von 60-jährigen Erlenbeständen entsprechen (HERBST et al., 1999, S.107). Mit durchschnittlichen Tagesraten von 4,68 mm d^{-1} (± 2,42 mm d^{-1}) bildet der 20-jährige Bestand trotz eines geringen LAI von nur 1,5 (s. BLOCK E) einen leistungsfähigen Puffer, der einen effizienten Wasserverbraucher auf dem stark vernässten Boden der ehemaligen Rutschfläche darstellt.

Aus den vorliegenden Ergebnissen geht hervor, dass trotz eingeschränkter Interzeption in den behandelten Beständen der Bodenwasservorrat über die Vegetationsperiode auch bei hohen Niederschlagssummen nur geringfügig zunimmt. Die erhöhte Evaporation auf den freigestellten Flächen vor allem im ersten Jahr bzw. die zunehmende Interzeption der Krautschicht und des Stockausschlags im zweiten Jahr puffern in diesem Zeitraum selbst hohe Einträge durch Niederschläge gut ab. Dies deckt sich mit Angaben von VAN SETERS und PRICE (2001, S.246), die berichten, dass der hauptsächliche Wasserverlust in beernteten Sümpfen auf Evapotranspiration zurückzuführen ist (3-6 mm d^{-1} bei feuchten Oberflächen bzw. bis 92 % des Gesamtoutputs), der Oberflächenabfluss betrug bis 24 % des Niederschlags.

Aufgrund budgetärer Einschränkungen musste auf Abflussmessungen innerhalb dieser Arbeit verzichtet werden. Der Anteil des Abflusses in der vorliegenden Bilanz ist daher unbekannt. Die vereinfachte Wasserbilanzgleichung [D-3] unterstellt die Annahme, dass der Abfluss dem Zufluss entspricht und sich aufhebt (D.3.6), was jedoch zu einer Verzerrung der Ergebnisse führt. Die Einschätzung des Oberflächenabflusses nach der Geländeanleitung von MARKART et al. (2004) ergibt die Abflusbeiwertklasse 5[13], bei der der Beginn des Abflusses im Mittel um nur 7 Minuten verzögert wird.

Die Abflussbeiwertkle 5 steht für Standorte mit sehr hoher Abflussdisposition und einem Oberflächenabfluss > 75 % des Niederschlages. Nach MARKART et al. (2004, S.20) ist auf Feuchtstandorten wie Niedermooren und vernässten Flächen mit sehr hohen Abfluss-

[13] Die Abflussbeiwertklasse 5 ergibt sich aus der Zuordnung des Erlbenbestandes zur hydrologischen Vegetationseinheit Grauerlen-Weidengebüsch über die Indikatorgruppe Boden (Fein-Boden, bindig), die Indikatorgruppe Nutzung/Besonderheit (Hangwasser, Wasserstau, dichtes Kleingerinnenetz) und die Zeigerwerte Feuchte ff-n.

spenden und raschem Anspringen zu rechnen, da diese Flächen in der Regel außer in längeren Trockenperioden zu einem hohen Grad vorverfüllt sind.

Den Erfahrungen von MARKART et al. (2004, S.20) widersprechen eigene Beobachtungen im Feld. Während Abflusserhöhungen im Gerinne des Stambaches unmittelbar nach Einsetzen der Niederschläge wahrnehmbar waren, wurde in den nach dem Rutschvorgang künstlich angelegten Gerinnegräben selbst bei Starkniederschlägen nur geringer Abfluss beobachtet. In Mulden und ebenen Flächen wurde Wasserüberstand bemerkt, außerdem konnte die ausgeprägte Schwammwirkung der obersten Bodenschicht optisch wahrgenommen werden. Durch Quellung erhöhte sich die Bodenoberfläche, was an üblicherweise bis 3 cm herausragenden Bodensensoren feststellbar waren, die nach Regenperioden vom gequollenen Substrat meist überwuchert waren. Tab. Annex D - 7 zeigt Bodenwasser-vorratszunahmen in der oberen Bodenschicht bis 95,5 mm bei nur 42 mm Niederschlag im selben Zeitraum. Die höhere Wasseraufnahme als gefallene Regenmenge lässt sich dadurch erklären, dass zusätzlich Runoff- und Interflow-Wasser punktuell vom Boden aufgenommen wurde.

Die Erkenntnisse in der Stambachmure untermauern Angaben von GERBER (1998, S.247ff) und MOORE et al. (2004, S.481). Ersterer empfiehlt zum Einsatz von Grauerlen auf verdichteten Böden, die Einzelpflanze sofort nach dem Einbau zu schneiden, wodurch sie durch seitlichen Austrieb eine gedrungene Form erhält. Damit bietet sie einen flächenhaften Schutz vor Niederschlägen und ist im Winter resistenter gegenüber Schneelasten.

MOORE et al. (2004, S.481) stellten im Uferbereich einen mehr als dreifachen Wasser-verbrauch bei jungen Beständen (*Alnus rubra* Bong.) fest, den sie auf Unterschiede in der Splintholzgrundfläche und auf Saftstromdichten zurückführten. Sie schließen daraus, dass durch Managementeingriffe der Standortwasserhaushalt positiv beeinflusst werden kann durch Erhaltung und Förderung junger, vitaler Bestände und damit der Erhöhung der Transpiration.

Die vorliegenden Resultate belegen, dass selbst die großflächigen Schnittmaßnahmen keinen negativen Einfluss auf das Wasserregime des Standortes ausübten. Die im ersten Jahr eingeschränkte Interzeption wurde durch die erhöhte Evaporation wettgemacht. Die Freistellung ermöglichte die volle Entwicklung der Krautschicht, wodurch in Kombination mit dem Biomassezuwachs durch Stockausschlag die Interzeption im zweiten Jahr bereits wieder annähernd auf das Leistungsniveau des unbehandelten Bestandes anstieg.

BLOCK E: BESTANDES- UND BIOMASSESTRUKTUREN

E.1 Zusammenfassung

Der folgende Abschnitt beinhaltet die Arbeiten zu den Bestandesanalysen, die Quantifizierung der oberirdischen Biomasse und der Auswirkung der Schnitt- und Pflegemaßnahmen. Die Bestandesevaluierung erfolgte über das Stichprobekreisverfahren. Zur Charakterisierung der Bestandesstrukturen wurde eine Reihe von biometrischen Kenngrößen erhoben. Die Bestandesdiagnostik bildete die Grundlagen für die Biomasseschätzungen. Über die regressionsanalytische Methode wurden verschiedene allometrische Funktionen zur Schätzung der oberirdischen Biomassefraktionen und des Stockausschlages erarbeitet und ihre Vorhersagequalität überprüft.

Die Erlen dominieren den Bestand mit 72 % bei Hektarwerten von 7.023 Stämmen. Sie befinden sich im Entwicklungsstadium Stangenholz bei Oberhöhen von 10,3 m und zeigen eine stark links verzerrte Verteilung der Brusthöhendurchmesser (BHD) aufgrund starker Verjüngung aus Wurzelbrut. Die Beziehungen zwischen ln-transformierten BHD bzw. dem Durchmesser in 10 cm Höhe (D10) unter Einbeziehung der Baumhöhe und den Biomassesegmenten Schaftholz, Astholz, Zweige und Blätter der Grauerlen sind höchst signifikant. Für den Stockausschlag wurden über die Verwendung des Basisdurchmessers (BD) und der Triebhöhe die besten Modellfunktionen erreicht. Bei 18 t/ha oberirdischer Trockenmasse betragen der Blattflächenindex (LAI) 1,5 und die spezifische Blattfläche (SLA) 158,9 cm²/g im Erlenbestand der Stambachmure. Im Zuge der Pflegemaßnahmen wurden in zwei Varianten 60 bzw. 100 % des Stangenholzes entfernt. Großflächiges Entfernen des Stangeholzes erwies sich für die Regeneration durch Stockausschlag quantitativ und qualitativ aufgrund ausreichenden Lichtraumes als vorteilhafter. 640 Stöcke am Hektar produzierten nach 2 Jahren mit 365,3 kg Biomasse und 994,2 m² Blattfläche etwa die dreifache Menge als vergleichbare Stockzahlen bei Überschirmung.

E.2 Grundlagen zu Bestandeserhebungen

E.2.1 Allgemeines zur Methodik

Mit Hilfe von Bestandesinventuren werden forstlich relevante Informationen über den Bestandesaufbau, Ressourcen, die räumliche Verteilung, die Entwicklung und Nutzbarkeit gewonnen. Neben forstwirtschaftlich und -politisch relevanten Aspekten wie dem Holzvorrat und -zuwachs ist das Erfassen und Verstehen der Strukturen von Pflanzenbeständen von essentieller Bedeutung zur Feststellung und Interpretation der Interaktionen zwischen Pflanzen und ihrer Umwelt. Detaillierte Bestandesaufnahmen sind die Grundvoraussetzung für die Ermittlung von Holz- und Biomassevorräten.

Die Erhebung der biometrischen Baumgrößen und Bestandesmerkmale wie Baumartenanteile, Alters- und Wuchsklassen, Pflegezustand und Bestandesschäden sind grundlegende Teile von Bestandesevaluierungen. Über verschiedene Stichprobentechniken ist die Gewinnung der Bestandesdaten ökonomisch rationell möglich (KRAMER und AKCA, 2002, S.76ff; ZÖHRER, 1980, S. 21ff; ENGLISCH und KILIAN, 1999, S.21f.).

Eine gängige forstliche Methode zur Jungbestandsanalyse ist das Stichprobenverfahren. Dies ist eine Repräsentativaufnahme, bei der Teile einer Population (Grundgesamtheit) erhoben und die Ergebnisse durch Hochrechnung auf die gesamte Population übertragen werden. Über die Bestandeshomogenität und den Stichprobenumfang ist die Genauigkeit abschätzbar.

Der Stichprobenfehler gibt die theoretische Abweichung des repräsentativ ermittelten Mittelwerts vom wahren Wert an und wird in der Regel über den Standardfehler quantifiziert. Die Stichprobenfehler sollten ±5-10 % nicht überschreiten. Zusätzlich können systematische Fehler auftreten, die zu Ergebnisverzerrungen führen können. Diese sollten durch sorgfältige Arbeit und Aufnahmekontrollen vermieden werden. Die Homogenität der Bestandesmerkmale wird über die Standardabweichung oder den Variationskoeffizienten (relative Streuung bezogen auf den Mittelwert) charakterisiert (KRAMER und AKCA, 2002, S.80ff).

Genaue Anleitungen zum Stichprobenverfahren sowie über Form, Größe, Verteilung und Umfang der Probeflächen sind in den gängigen Lehrbüchern der Wald- und Holzmesslehre und der Forstinventuren zu finden (KRAMER und AKCA, 2002, ENGLISCH und KILIAN, 1999, ZÖHRER, 1980, PRODAN, 1965).

E.2.2 Biometrische Kenngrößen

Biometrische Parameter dienen der Charakterisierung der Baumeigenschaften und liefern letztlich die wichtigen Informationen über die Bestandesstrukturen. Das Beschreiben der wichtigsten Beziehungen der Bestandeselemente beinhaltet die Darstellung der Verteilungen der Baumarten, der Stammzahlen und Brusthöhendurchmesser, der Baum- und Bestandeshöhen und Bestandesdichten. Im Folgenden werden die für ingenieurbiologische Interessen relevanten und in der vorliegenden Arbeit verwendeten Parameter kurz charakterisiert.

Einen guten, prägnanten Einblick in den Bestandesaufbau gewähren die Stammzahlverteilungen. Sie geben die Häufigkeit der Stämme N pro Flächeneinheit in bestimmten Durchmesserstufen an. Die grafische Darstellung der **Stammzahlen** in Funktion vom Durchmesser lässt charakteristische Kurvenformen bzw. Verteilungstypen für bestimmte Bestandestypen und Entwicklungsstadien ablesen (PRODAN, 1965, S. 126ff).

Der **Brusthöhendurchmesser (BHD)** hat den stärksten Einfluss auf das Baumvolumen und ist der Standardparameter bei allen forstlichen Inventuren. Der BHD ist eine wichtige Größe für Vergleiche mit anderen Untersuchungsdaten und –arbeiten. Der **Durchmesser in 10 cm Höhe (D10)** (Stockdurchmesser) wird vorwiegend bei Stockinventuren gemessen. Die über

Regressionen hergestellten Beziehungen zum BHD sind im Allgemeinen linearer Natur. (ZÖHRER, 1980, S.26f).

Die **Grundfläche G** ist die Querschnittsfläche eines Stammes in Brusthöhe, die eine bedeutsame Größe zur Charakterisierung der Bestockungsdichte darstellt. Dazu werden die Einzelbaum-Grundflächen aufsummiert und auf Flächeneinheiten bezogen. In jungen Pflanzungen liegt G zwischen 10 und 20 m^2 ha^{-1} und kann sich auf 60 m^2 ha^{-1} in alten Beständen erhöhen. In natürlichen, ungestörten, nicht durchforsteten Beständen dient G zur Charakteristik des Standortpotenzials (PHILIP, 1994, S.117).

Der zweitwichtige Einflussfaktor auf das Baumvolumen stellt die **Baumhöhe H** dar. Abhängig von der Fragestellung und dem Bestandestyp wird häufig alternativ zur Totalhöhe des Baumes die Kronen- oder Stammhöhe erfasst (ZÖHRER, 1980, S.130).

Die absoluten Baumhöhen von Waldbeständen hängen primär von der Holzart, der Standortgüte, dem Alter und der Bewirtschaftung ab. Innerhalb der Bestände üben Durchmesser und soziologische Stellung größeren Einfluss auf die Höhenentwicklung aus. Zur Schätzung der Baumhöhe reicht für die Praxis und für wissenschaftliche Zwecke die Beziehung zwischen Brusthöhendurchmesser und Baumhöhe, wobei die Angabe der allgemeinen Form der Beziehung (die Bestandeshöhenkurve) sowie deren Genauigkeit Voraussetzung sind. Aus den Höhenkurven sind Bewirtschaftungsformen, Entwicklungsstadien und Störeinflüsse ablesbar.

Zur Charakterisierung und zur Massenberechnung von Beständen dient die Konstruktion von Bestandesmittelhöhen. Solche sind u.a. die **Lorey`sche Mittelhöhe h_L,** die Höhe des Kreisflächenzentralstammes oder die **arithmetische Mittelhöhe,** deren Bestimmung am einfachsten und die für gewöhnlich der kleinste Höhenmittelwert ist. Als **Oberhöhen** werden die Mittelhöhen der stärksten Klassen bezeichnet (PRODAN, 1965, S.181f, STERBA, 1991, S.66ff).

E.3 Grundlagen zur Biomasse

E.3.1 Definition

Im Allgemeinen versteht man unter dem Begriff Biomasse die Menge an lebender ober- und unterirdischer, tierischer und pflanzlicher Substanz pro Flächen- oder Raumeinheit zu einem bestimmten Zeitpunkt. Die forstliche Biomasse repräsentiert den potenziellen Betrag an Kohlenstoff, der an die Atmosphäre emittiert oder von der Biosphäre konserviert werden kann. Sie umfasst etwa 90 % der gesamten lebenden, terrestrischen Biomasse der Erde und unterliegt dem Einfluss diverser Sukzessionsstadien, natürlicher und anthropogener Störungen, klimatischer Veränderungen und atmosphärischer Verunreinigungen (BROWN et al., 1999; Brown 2002).

Die Forstwirtschaft beschränkt sich bei Biomasseuntersuchungen üblicherweise auf den Waldbestand inklusive der Strauch- und Krautschicht (Phytomasse) oder nur auf den Baumbestand (Dendromasse) (PELLINEN, 1986, S.2). In der vorliegenden Arbeit wird der Begriff Biomasse für die oberirdische Trockenmasse der Erlen verwendet, der neben dem Stangenholz und dem Jungwuchs auch den Stockausschlag nach den Schnittmaßnahmen inkludiert.

Traditionell werden die Erkenntnisse aus der Determination der oberirdischen Biomasse zum nachhaltigen Management forstlicher Ressourcen und als Planungsgrundlage für die ökonomische Nachhaltigkeit der Holzerträge herangezogen (FEHRMANN, 2006, S.1). Für wissenschaftliche Zwecke ist die Biomasse eine fundamentale Variable in vielen ökologischen und ökophysiologischen Modellen. Die Quantifizierung der Biomasse dient häufig der Schätzung der Primärenergie, die aus Holz als Alternative zu fossilen Energie-

trägern genutzt werden können (CAI et al., 2007; GRÜNEWALD et al., 2007; ZHAO UND ZHOU, 2005, ZIANIS UND MENCUCCINI, 2004; NI, 2003; HOFFMANN, 1995).

Im Zuge der Bemühungen der Umweltpolitik der letzten Jahre, die CO_2-Emissionen zu senken, fordert die vermehrte Verwendung von Bioenergie die Erhöhung und Optimierung der Produktion von Holzbiomasse. Die Biomasseerzeugung für die Bioenergieindustrie wird vermutlich ein entscheidender Wirtschaftsfaktor in den nächsten Jahrzehnten sein. In der letzten Zeit wurden diesbezüglich zahlreiche Forschungsarbeiten zu verschiedenen Systemen zur Steigerung der Biomasse durchgeführt (AREVALO et al., 2007; VANDE WALLE et al., 2007; ZENG, 2003; TELENIUS, 1999; PROE et al. 1999)

E.3.2 Methoden zur Quantifizierung

Zur Ermittlung der Vorräte von Waldbeständen kommen verschiedene Methoden zur Anwendung, die in zahlreichen Arbeiten und forstwirtschaftlichen Lehrbüchern ausführlich beschrieben und dokumentiert sind (KRAMER UND AKCA, 2002, S.151ff; PHILIP. 1994, S.107ff; ZÖHRER, 1980; S.100ff; PRODAN, 1965, S.219ff). In der vorliegenden Arbeit wurde die Biomasse über die regressionsanalytische Methode ermittelt. Sie basiert auf der Herstellung von Zusammenhängen zwischen einfach zu erfassenden biometrischen Parametern als unabhängige Variablen und dem Trockengewicht auf Einzelbaumebene, wozu häufig allometrische Gleichungen benutzt werden.

Als Standardmethode innerhalb der allometrischen Lösungen gilt die Schätzung der Koeffizienten über die Methode der kleinsten Quadrate und die Qualitätsbewertung über eine Residual- und Fehleranalyse (Bias, mittlerer absoluter Fehler) (ZIANIS und MENCUCCINI,, 2004, S.312, WILLIAMS et al., 2003, S.290; RAYACHHETRY et al. 2000, S.283; TELENIUS, 1999, S.16; KUMAR et al. 1998, S.148, KÖHL und GERTNER, 1996, S.14). Dazu werden Baumparameter wie Durchmesser und Höhe sowie verschiedene Kombinationen aus diesen transformiert (logarithmiert) und in Beziehung gesetzt zu den Biomassegewichten der Baumfraktionen, die über destruktiv beprobte Stämme ermittelt werden. In weiterer Folge kann die Bestandesbiomasse durch Einsetzen der unabhängigen Variablen in das Regressionsmodell auf Hektarwerte oder Bestandesflächen hochgerechnet werden. Detaillierte Bestandesaufnahmen sind die Grundvoraussetzung für die Hochrechnung.

Die zugrunde liegende Intention der Regressionsanalyse ist die Erarbeitung von allgemeingültigen Beziehungen für einzelne Baumarten, die bestandesübergreifend angewendet werden können, um die arbeit- und zeitintensive sowie destruktive Beprobung zu reduzieren. Die empirische Forschung hat in diesem Zusammenhang eine Fülle von unterschiedlichen Modellen, Formulierungen und mathematischen Formen publiziert (FEHRMANN, 2006; MOTTUS et al., 2006; JOHANSSON 2005; CARVALHO und PARRESOL, 2003; GROTE, 2002; PRETZSCH, 2002: JOHANSSON, 2000; DROPPELMANN und BERLINER, 2000; PROE et al. 1999).

Das Bestreben nach schnelleren, leichter umsetzbaren Methoden zur Schätzung der Bestandesbiomassen und der Wirkungszusammenhänge von ganzen Landschaften führte zur Entwicklung zahlreicher ökophysiologischer, prozessorientierter Modelle. Dabei zieht die Verwendung systematischer und kontinuierlicher Forstinventurdaten zur Schätzung über Modellansätze mehr und mehr Aufmerksamkeit auf sich (FEHRMANN, 2006, S.3ff; ZHAO UND ZHOU, 2005; S.302, ZHANG und BORDERS, 2004, S.1).

E.4 Grundlagen zum Blattflächenindex (Leaf Area Index, LAI)

E.4.1 Definition

Der Blattflächenindex ist eine dimensionslose Variable und beschreibt die einseitig projizierte Blattfläche bezogen auf eine Flächeneinheit (WATSON, 1947). Er ist ein entscheidender Parameter zur Quantifizierung und Charakterisierung des Kronendaches. Seine Kenntnis bildet eine wesentliche Grundlage für das Verstehen der ökologischen Zusammenhänge in Pflanzenbeständen. Der LAI dient als Berechnungsgrundlage für die Primärproduktion, die Photosyntheseleistung, für Substanz- und Energieflüsse, Gasaustauch und den CO_2-Kreislauf von Beständen. In diesem Zusammenhang findet der LAI Anwendung als Parameter in einer Vielzahl von Modellierungen für Wachstums- und Austauschprozessen und hydrologische Vorgänge wie Wassertransport, Evapotranspiration und Interzeption (YOSHIDA et al., 2007; DUURSMA et al., 2007; KRISHNAN, 2006; HUPET UND VANCLOOSTER, 2005; COURBOUD, 2000; ESCHENBACH und KAPPEN, 1996).

Neben seiner Bedeutung bei waldökologischen und forstwirtschaftlichen Fragestellungen wie der Produktionsförderung und Holzoptimierung, nimmt die landschaftsökologische Relevanz des LAI im Zuge von Monitoringprogrammen laufend zu. Als Hilfsmittel der Landschaftspflege und des Landschaftsschutzes wird der LAI zur Einschätzung und Beobachtung der Bioindikation, des Gesundheitszustandes, der Einflüsse infrastruktureller Eingriffe auf Veränderungen im Bestand und vielem mehr herangezogen.

E.4.2 Methoden zur Blattflächenbestimmung

Um den umfangreichen Fragestellungen gerecht zu werden, ist eine möglichst genaue und effiziente Ermittlung des LAI erforderlich. Zu den direkten Methoden der Blattflächenmessung zählen die Blattfallsammlung während einer Vegetationsperiode über Kollektoren und die destruktive Beprobung, die vollständige Entnahme von Baumindividuen. Die Blattfläche selbst wird entweder planimetrisch (über den Blattumfang), über die Blattdimensionen (Länge und Maximalbreite), über die Blattmasse (Frisch- oder Trockenmasse) oder durch Scannen ermittelt und auf die Bestandesblattfläche extrapoliert. Von den destruktiv ermittelten Blattflächen werden allometrische Beziehungen zu biometrischen Parametern hergestellt und die Bestandesblattfläche über die Funktionsgleichung errechnet. (MACFARLANE et al., 2007; JONCKHEERE et al., 2004; SIMIONI et al., 2004; BRÉDA, 2003; ESCHENBACH und KAPPEN, 1996)

In den letzten Jahren wurden vermehrt indirekte, nicht destruktive Verfahren eingesetzt, die auf der Verarbeitung von Fernerkundungsdaten basieren. Sie stützen sich auf die Bestimmung des von der Vegetation interzeptierten Lichtes. Diese elektrooptischen Methoden wie die Hemisphärenphotografie und der Einsatz von Sensoren oder diverse Plant Canopy Analyzer sind fehleranfällig und müssen kalibriert werden. Sie werden laufend getestet und weiterentwickelt und sind in zahlreichen Publikationen beschrieben und dokumentiert (ARIAS et al., 2007; MOTTUS et al., 2006; KNORR und WEISE, 2005; JONCKHEERE et al., 2004; BRÉDA, 2003).

E.5 Publizierte Beiträge zur Biomasseentwicklung und zum Stockausschlag von Erlen

Biomassegleichungen für Grauerlen von JOHANSSON (2000)

Die Studie beinhaltete die Erarbeitung von allometrischen Funktionen zur Berechnung der Biomassen von *A. glutinosa* und *A. incana* zur Schätzung der Biotreibstoffproduktion. Dazu wurden Power-Funktionen für die Fraktionen von jungen Erlen von 10 bzw. 15 Beständen in Schweden generiert.

A. glutinosa produzierte oberhalb des Stockniveaus 39 t/ha, *A. incana* 61 t ha^{-1}. Mittlere Blattflächenindizes (LAI) von 3,16 bzw. 2,03 und spezifische Blattflächen (SLA) von 161 bzw. 144 cm^2 g^{-1} wurden dokumentiert. Der mittlere Feuchtegehalt der Blätter betrug 54 %. Mit steigendem Stammdurchmesser erhöhte sich der Stammanteil am Gesamtgewicht bzw. verringerte sich der Blattanteil. Die Biomasse pro BHD war bei Schwarzerle höher als bei Grauerle. Je höher der BHD umso höher war die Anzahl der Blätter pro Baum.

Grauerlen produzieren mehr Biomasse bei gegebenem LAI als Schwarzerlen. Junge Grauerlen wachsen schneller, haben aber einen kürzeren Zyklus. Ein dichter Grauerlenbestand, der keine Verluste durch Konkurrenz verzeichnet, produziert hohe Biomasseernten. Der Autor vermutet, dass die Individuenkonkurrenz von Grauerlen, die sich über Wurzelausläufer verjüngen, geringer ist als bei den Stocksprossen von Schwarzerlen. Die Stammzahl erhöht sich bei Short-Rotation-Bewirtschaftung, da die Folgegenerationen aus Neusprossen und Wurzelausläufern hervorgehen.

Stammvolumsgleichungen für Schwarz- und Grauerlen von JOHANSSON (2005)

Die Arbeit beinhaltet die Determinierung von Stammvolumsmodellen für Schwarz- und Grauerlen. Die Variation der Bestandesdichten und –charakteristika wird diskutiert und das mittlere jährliche Bestandeswachstum geschätzt.

Die untersuchten Grauerlenbestände hatten ein Alter von 22-76 Jahren, die Schwarzerlen von 22-92 Jahren. Sie waren keinerlei Bestandespflege oder –management unterworfen. Das Ausmaß der Selbstausdünnung bzw. der Schäden durch Phytogene oder Insekten war nicht bekannt.

Das vorgestellte Modell inkludiert BHD, Stammhöhe und lebende Kronenhöhe. Die mittleren jährlichen Zuwächse wurden auf 12 m^3 ha^{-1} und Jahr für Grauerlen und 8,4 m^3 für Schwarzerlen geschätzt. Der Autor kommt zum Schluss, dass optimale Ernten bei üblicher Pflege erzielt werden. Die Durchmesserbandbreite ist in gepflegten Beständen und bei Auslichtung kleiner, weswegen JOHANSSON (2005, S.259) in behandelten Beständen höhere Holzernten erwartet. Er empfiehlt eine frühe Auslichtung ab Baumhöhen von 3-4 m und maximale Stammzahlen von 3.000 am Hektar. Ansonst führt Konkurrenz zu verringerten Holzernten.

Natürliche Regeneration von Grauerlen nach RYTTER et al. (2000)

RYTTER et al. (2000) untersuchten das Sprossbildungsmuster von Wurzelausläufern und Stockausschlagtrieben von Grauerlen. Ihr Ziel war die Überprüfung der Effektivität von Regenerationsmethoden zur Einschätzung des Produktionslevels und der Wachstumsdynamik der natürlichen Sprossbildung in den ersten Saisonen nach Beerntung.

Im zweiten Jahr nach der Ernte wurden 5 - 6 t ha^{-1} blattlose Trockenmasse erhoben. Alter und junger Bestand hatten ähnlich hohe Triebbildung am Hektar, wobei Trieblängen bis über 4 m gemessen wurden. Die Sprosszahl aus Wurzelausläufern war größer als aus Stockausschlag.

Die Autoren beurteilen Grauerlen als viel versprechende, ökonomische und konkurrenzfähige Alternativen in der heimischen Laubholzwirtschaft aufgrund der Regenerationsfähigkeit und der anfänglichen Wachstumsentwicklung. Die Toleranz der Grauerlen bezüglich ungünstiger Bodenkonditionen und ihr Potenzial zur Bodenverbesserung werden als wertvoller Vorteil genannt.

Biomasse und Nährstoffallokation von Grau- und Hybriderlen nach URI et al. (2003)

Die Nährstoffakkumulation und Biomasseentwicklung von jungen *A. incana* und *A. x pubescens* wurden vier Jahre nach der Pflanzung evaluiert. Zur Studie dienten Jungpflanzen generativen Ursprungs.

Bei 15.750 Stämmen produzierte die Grauerle 12,3 t ha^{-1} Trockenmasse im Vergleich zu 6,1 t ha^{-1} der Hybriderle bei 6.700 Stämmen. Die Stickstoffakkumulierung betrug dabei 16 kg t^{-1} Biomasse für die Grauerle und 14,6 kg t^{-1} für die Hybriderle. Die Autoren gehen von vergleichbaren Leistungen in der Biomasseproduktion und Nährstoffallokation unter ähnlichen Wachstumsbedingungen aus.

URI et al. (2003, S.309) schätzen die Laubmasseleistung von Grauerlen als abnehmend im höheren Alter ein, während sie von Hybriderlen auf einem stabilen Niveau bleibt. Beide Arten sind durch hohe Biomasseleistungen charakterisiert, wodurch sie zur Aufforstung aufgelassener Äcker interessant erscheinen.

Biomasseproduktion von A. rubra nach PROE et al. (1999)

PROE et al. (1999) verglichen Biomasseproduktion in Coppice- oder Einzelstammpflanzungen verschiedener Arten auf kalkfreiem Gley in Schottland. Die Untersuchungen inkludierten u.a. *A. rubra* mit 1.000 Stämmen pro Hektar.

Nach Stockschnitt reagierte *A. rubra* mit 50 % Mortalität. Das Höhenwachstum war anfänglich eingeschränkt, erholte sich aber und unterschied sich letztendlich nicht von Einzelstammpflanzungen. Nur Einzelstämme mit geringeren Abständen hatten größere Höhen. Die Grundflächen der Erlen überstiegen die der anderen Arten. Aufgrund der hohen Biomasse der Stöcke war die Holzbiomasse der geschnittenen Stämme ähnlich jener der Einzelstämmen.

Die Autoren folgern, dass generalisierte Erntefunktionen auf Basis der Grundfläche genügend genaue Produktionsschätzungen auch für unterschiedliche Behandlungsmethoden und Alter der Bestände erlauben.

Bestandeswachstum von Laubbaumpioinieren nach TELENIUS (1999)

In Schweden führte TELENIUS (1999) eine Studie über Alternativen zur traditionellen Forstwirtschaft für die Erzeugung von Bioenergie durch. Dazu wurden verschiedene Pioniere, u.a. *A. incana*, in Form von Jungpflanzenbeständen verglichen. Der Autor diskutiert die Qualität und allgemeine Anwendbarkeit seiner allometrischen Funktionen.

Die Biomasse der Grauerle betrug nach 6 Jahren 26,7 t ha^{-1}, wobei keine Selbstausdünnung durch Konkurrenz beobachtet wurde. Rasches und starkes Wachstum sowie die Erhöhung der Blattfläche wird vor allem auf aufgegebenem Farmland aufgrund der hohen Fruchtbarkeit erwartet. Verglichen mit Werten konventioneller Forstbestände wurde hoher Produktionslevel bei geringem Pflegeaufwand bereits nach wenigen Jahren erreicht.

Wachstumsuntersuchungen von NILSSON (1992)

Unter Flugaschedüngung wurde das Pflanzenwachstum verschiedener Baumarten untersucht. Neben *Salix viminalis* zeigte *A. incana* die höchste Trockenmasseproduktion von 4,6 – 8,8 t ha^{-1} pro Jahr.

Blattflächenindex von Schwarzerlen nach ESCHENBACH und KAPPEN (1996)

Die saisonale Variation des Blattflächenindex wurde über direkte In Situ-Zählungen, mittels Plant Canopy Analyzer und mittels Blattfallsammlungen determiniert. Dabei ergaben erstere und letztere der Methoden denselben LAI von 4,8 im August. Die Unterschätzung des Plant Canopy Analyzers betrug 11 %.

Die räumliche und saisonale Variabilität der Blattverteilungen und Blatteigenschaften innerhalb der Krone eines natürlichen, 50-jährigen Bestandes wurde demonstriert. Im Vergleich zu anderen dominanten mitteleuropäischen Baumarten wird der LAI der Schwarzerlen als gering eingestuft. Dies wird in Zusammenhang gebracht mit dem frühen, im Juli einsetzenden Streufall beschatteter grüner Blätter aus dem Kroneninneren. In der Kronenperipherie wachsen während der Vegetationsperiode laufend neue Blätter nach. Blattkonzentrationen in den oberen und peripheren Kronensegmenten wurden anhand Differenzen in der spezifischen Blattfläche (etwa 33 %) festgestellt.

Die Autoren folgern, dass speziell für Erlenbestände alle getesteten Methoden gute und ähnliche Ergebnisse liefern.

E.6 Material und Methoden

E.6.1 Bestandeserhebungen

Die Bestandesanalyse der Erlenaufforstung erfolgte vor den Stammzahlreduktionen (s. BLOCK D Kap. D.3.1 und Abb. E-1) im Oberhang der Stambachmure auf einer Fläche von 15 ha, die sich auf einer Seehöhe zwischen 986 m und 1.096 m ü. NHN befindet. Die Bestandesaufnahmen wurden mittels festem Probekreis-Verfahren realisiert (KRAMER und AKCA, 2002, S.82ff; ZÖHRER, 1980, S.24ff). Insgesamt wurden 60 Stichprobenflächen zu je 50 m² in einem geometrischen Punktraster (50 x 50 m) (nach ENGLISCH und KILIAN, 1998, S.20ff) angelegt und fix markiert. Probekreise der Randzonen wurden, wenn nötig, soweit verlegt, bis ihre gesamte Fläche im Erlenbestand lag. Ziel der dauerhaften Markierung der Probekreise war, die Bestandeserhebung nach den Stammentnahmen der Varianten V1 und V2 in denselben Flächen wiederholen zu können.

Innerhalb der Probekreise wurden alle Gehölze in Form einer Vollaufnahme erfasst und entsprechend der Auflistung in Tab. E-1 protokolliert. Alle aufgezeichneten Stammzahlen wurden für die Ergebnisdarstellung auf Hektarwerte aufgerechnet.

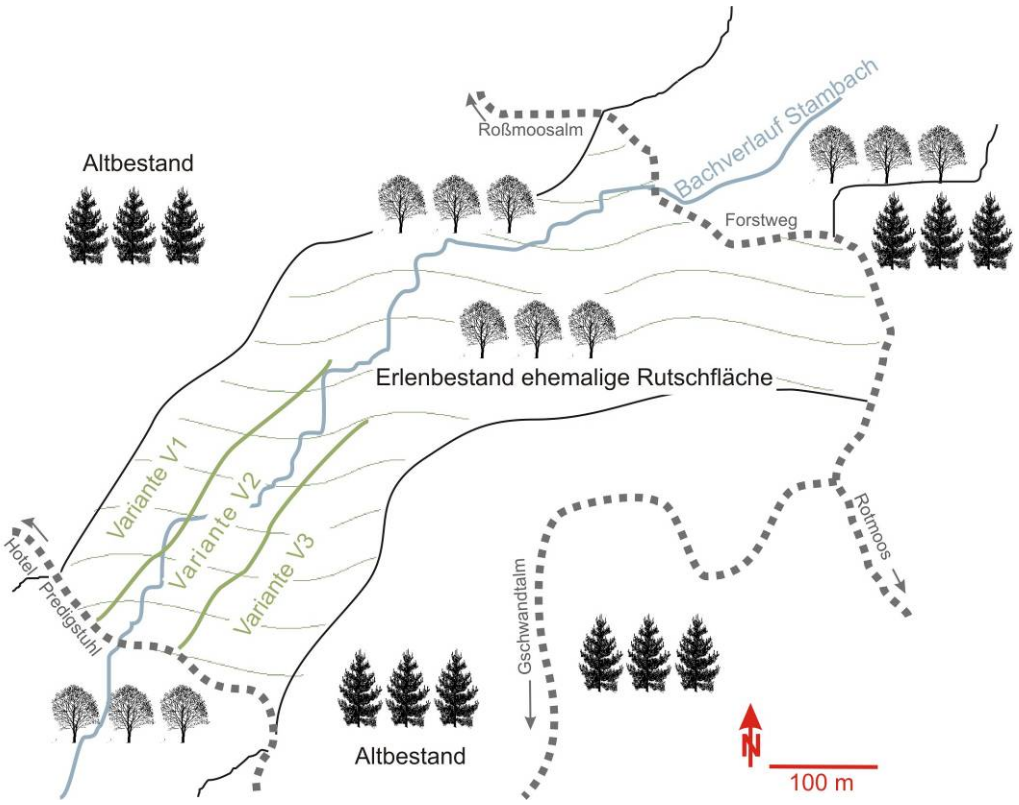


Abb. E-1: Darstellung der Untersuchungsfläche in der Stambachmure mit Variantenbegrenzung zur Stammzahlreduktion (vergl. Kap. D.3.1)

Tab. E-1: Protokollparameter der Bestandesaufnahmen mittels festem Probekreis-Verfahren

Allgemeine Parameter	Vollkluppung (Kluppschwelle BHD > 4 cm)	Jungwuchs (BHD ≤ 4 cm)
Variantenkennzeichnung und Probekreisnummer	Baumart	Anzahl in den Höhenstufen:
Neigung	Brusthöhendurchmesser BHD [cm]	>120 cm
Exposition	Baumhöhe [m]	80-120 cm
Seehöhe		40-80 cm
Meso/Mikrorelief		0-40 cm
Wasserhaushaltsstufe		Keimlinge

Die Bestandeskluppung wurde laut PRODAN (1965, S. 220) in Brusthöhe bei 1,30 m Höhe bei einer Kluppschwelle[14] von BHD (Brusthöhendurchmesser) > 4 cm ausgeführt. Exzentrische Stämme wurden 2-fach im rechten Winkel gekluppt und die Werte gemittelt. Die BHD-Klassendefinition ist in Tab. E-2 abzulesen.

In Anlehnung an forstwirtschaftliche Gesichtspunkte (BAYERISCHE FORSTVERWALTUNG, 2007) wurden die Stämme mit BHD > 4 cm als Stangenholz, jene mit BHD ≤ 4 cm als Jungwuchs definiert (Tab. E-1). Letztere wurden über Höhenklassen registriert, die Baumhöhenbestimmung des Stangenholzes erfolgte mittels Teleskopstange.

Zur Charakterisierung der Homogenität der Bestandesmerkmale wurde die Standardabweichung SD (engl. „Standard Deviation“) [E-1] als Maß für die Streuung der Werte um den Mittelwert herangezogen Der Stichprobenfehler (theoretische Abweichung des repräsentativ ermittelten Mittelwerts vom wahren Wert) wird über den Standardfehler SE (engl. „Standard Error“ [E-2]) quantifiziert. Er gibt die Streuung der Stichproben-Mittelwerte um den wahren Grundgesamtheitsmittelwert an (KRAMER und AKCA, 2002. S.80ff).

$$SD = \sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(x_i - \bar{x})^2} \qquad \text{[E-1]}$$

$$SE = \frac{SD}{\sqrt{n}} \qquad \text{[E-2]}$$

Die grafische Darstellung der Stammzahlen in Funktion der Durchmesser entsprechend den BHD-Klassen in Tab. E-2 ergibt die BHD-Verteilung (PRODAN, 1965, S.126ff). Die Beziehung zwischen Brusthöhendurchmesser und Baumhöhe wurde über die Höhenkurve nach Pollanschütz (H Poll) (STERBA, 1991, S.154) geschätzt [E-3]. Verwendet wurde das Programm SPSS Version 12, Menüpunkt Nichtlineare Regression.

[14] Als Kluppschwelle bezeichnet man jene Stärkestufe (Durchmesserstufe), ab der gekluppt wird (PRODAN, 1965, S.144).

Tab. E-2: Definition der BHD-Klassen

BHD-Klasse	Brusthöhen-durchmesser	Entwicklungs-stufe
≤4	≤ 4 cm	Jungwuchs (JW)
6	4,1 - 8 cm	Stangenholz (SH)
10	8,1 - 12 cm	
14	12,1 -16 cm	
18	16,1 - 20cm	

$$HPoll = e^{a_0 + a_1 / d} + 1{,}3 \qquad \text{[E-3]}$$

mit: a_0, a_1...Koeffizienten
d……...BHD
1,3……BHD-Höhe

Mit Hilfe der Daten aus den Bestandeserhebungen (Kluppschwelle BHD > 4cm) wurden ertragskundliche Informationen über das Programm EAV 2.1. (Ertragskundliche Auswertung forstlicher Inventuren und Versuchsflächen) von Dr. Robert ZOTRIN ausgewertet (BH ST. PÖLTEN, 2005). Die biometrischen Kenndaten sind in Tab. E-3 definiert und zusammengefasst.

Tab. E-3: Definition der biometrischen Kenndaten

Parameter	Bezeichnung	Definition	Quelllen
N/ha	Stammzahl/ha		PHILIP(1994, S.117); STERBA(1991, S. 68ff); PRODAN (1965, S.181f)
G/ha [m²]	Grundfläche	Aufsummierung der Grundflächen sämtlicher Einzelbäume (entsprechen den Kreisflächen der Stammquerschnitte in Brusthöhe)	
fs Poll [fm/ha]	Festmeter Schaftholz nach Pollanschütz	Schaftholzvolumen ha^{-1}	
dg [cm]	Grundflächenmittelstamm	Stamm mit der mittleren Grundfläche aller Stämme	
hA [m]	Arithmetische Mittelhöhe	arithmetischer Mittelwert der gemessenen Höhen	
hL [m]	Lorey'sche Mittelhöhe	mittlere Walzenhöhe des Bestandes (das Volumen entspricht dem als Walzen berechneten Volumen aller Stämme des Bestandes mit der Bestandesgrundfläche als Basisfläche)	
h20 [m]	Oberhöhe nach Weise	mittlere Höhe der 20 % stärksten Stämme des Bestandes (umfasst Stämme etwa der gleichen sozialen Stellung im Bestand)	
d20 [cm]	Durchmesser nach Weise	mittlerer Durchmesser der 20 % stärksten Stämme	
n	erfasste Stammzahl		

E.6.2 Biomasseerhebungen

E.6.2.1 Trockenmasse

Die Biomasseschätzung beschränkte sich auf die oberirdischen Pflanzenteile, da die Erfassung der unterirdischen Organe für eine ausreichende Stichprobenzahl besonders aufwändig ist und aufgrund des unbearbeitbaren Bodenmaterials der Stambachmure nicht durchführbar war.

Die Biomassen wurden für das Stangenholz der Grauerlen (GE SH) inklusive dem Jungwuchs der Grauerlen (GE JW) und für den Schwarzerlenstockausschlag (SE STA) nach zwei Saisonen sowie dem Jungwuchs der Grauerlen separat erhoben. Die Anzahl der Probebäume betrug für das Stangenholz 15 und für den Jungwuchs 20 Bäume. Für den Stockausschlag wurden 36 Triebe von 15 geschnittenen Stöcken gewählt (Tab. E-4). Die Wahl der Probebäume, die einen repräsentativen Querschnitt der Grundgesamtheit darstellen sollen, richtete sich gemäß der Stammzahlverteilung in den BHD-Klassen (vergl. Tab. E-2) nach den gewichteten Stammzahlen (vergl. HOCHBICHLER et al. 1994, PELLINEN, 1986, FREEDMAN et al., 1982; KER, 1980).

Die Gewichtsbestimmung erfolgte an den in Tab. E-5 genannten Kompartimenten und Fraktionen. Das Frischgewicht wurde mittels Federwaage vor Ort bzw. an besonders kleinen und leichten Individuen im Labor erhoben. Zur Bestimmung der Trockenmasse wurden Teilproben (gewogen im Labor) jeder Fraktion 24 Stunden im Trockenschrank bei 105° getrocknet und auf das Gesamttrockengewicht über das Verhältnis *Vollprobe (Frischmasse) : Teilprobe (Frischmasse)* hochgerechnet.

Tab. E-4: Anzahl, Art und Verteilung der Probestämme zur Biomasseermittlung

Kurz-Bezeichnung	Bestandesentwicklungsphase	Baumart	Anzahl Probebäume/-triebe
GE SH	Stangenholz (BHD > 4cm)	*Alnus incana* (L.) Mill.	15
GE JW	Jungwuchs (BHD ≤ 4cm)	*Alnus incana* (L.) Mill.	20
SE STA	Stockausschlag	*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.	36

Tab. E-5: Definition der Kompartimente und Fraktionen zur Biomassebestimmung

Kompartimente	Beschreibung	Fraktionen				
F/T SHR	Schaftholzmasse mit Rinde	> 7 cm	7-5 cm	5-2 cm	2-1 cm	
F/T AHR	Astholzmasse mit Rinde	> 7 cm	7-5 cm	5-2 cm	2-1 cm	
F/T ZW	Zweigmasse mit Rinde					< 1 cm
F/T BHR	Baumholzmasse in Rinde (Schaft-, Astholz, Zweige)	> 7 cm	7-5 cm	5-2 cm	2-1 cm	< 1 cm
F/T SAHR	Masse Schaft- und Astholz in Rinde	> 7 cm	7-5 cm	5-2 cm	2-1 cm	
F/T BL	Blattmasse					
F/T FR	Fruchtmasse					
F/T _ges	Baumgesamtmasse ermittelt über die Funktionen					
F/T GES	Baumgesamtmasse ermittelt über die Summe der Einzelkompartimente					
F/T	Frisch- bzw. Trockenmasse					

Abb. E-2 und Abb. E-3: Frischgewichtbestimmung in der Stambachmure (2001)

Abb. E-4 und Abb. E-5: Erhebung des Trockengewichts an Hand von Teilproben im Labor (2001)

E.6.2.2 Blattfläche

Mittels Leaf Area Meter (LI 3100, LI-COR, Inc., Lincoln, USA) wurden die Blattflächen (BLFL) an je 100 Blatt pro Individuum bzw. pro Kronendrittel (beim Stangenholz) gescannt. Die einseitig projizierte Blattflächensumme wurde über das Verhältnis *Vollprobe : 100-Blattprobe* der Blattfrischmasse auf die gesamte Baumblattfläche hochgerechnet. Die Spezifische Blattfläche (SLA) und der Leaf Area Index (LAI) wurden nach Tab. E-6 berechnet.

Tab. E-6: Definition von spezifischer Blattfläche und Leaf Area Index

Kurzbe-zeichnung	Parameter	Beschreibung
SLA [$cm^2\ g^{-1}$]	Spezifische Blattfläche	einseitig projizierte Blattflächensumme bezogen auf die Blatttrockenmasse
LAI	Leaf Area Index	einseitig projizierte Blattflächensumme bezogen auf die Überschirmungsfläche

E.6.3 Datenanalysen

E.6.3.1 Allometrische Funktionen

Die allometrischen Beziehungen zwischen den Baumparametern BHD, D10, BD und H wurden über die untransformierten Datenpaare hergestellt. Zur Prüfung der Zusammenhänge zwischen den Baumparametern und den Biomassekompartimenten wurden die Daten transformiert und der natürliche Logarithmus (ln = Logarithmierung zur Basis e) für lineare Beziehungen verwendet. Aufgrund der Datenlage wurden die Fraktionen SHR und AHR bzw. ZW zusammengelegt

Tab. E-7: Übersichtsmatrix der überprüften allometrischen Beziehungen

		unabhängige Variablen (X)						
		BD	**BD*H**	**BD²H**	**D10**	**D10*H**	**D10²H**	**BHD**
abhängige Variablen (Y)	**D10**							GE SH+JW
	BHD	SE STA			GE SH+JW			
	H	SE STA			GE SH+JW			GE SH+JW
	F		SE STA		GE SH+JW		GE SH+JW	
	T	SE STA	SE STA	SE STA	GE SH+JW	GE SH+JW	GE SH+JW	GE SH+JW
	BLFL	SE STA	SE STA	SE STA	GE SH+JW	GE SH+JW	GE SH+JW	GE SH+JW

Legende und Abkürzungen:

GE SH	Grauerle Stangenholz	BD	Basisdurchmesser	F	Frischmasse
GE JW	Grauerle Jungw uchs	D10	Durchmesser in 10 cm Höhe	T	Trockenmasse
SE STA	Schw arzerle Stockausschlag	BHD	Brusthöhendurchmesser	BLFL	Blattfläche
	keine Datentransformation	H	Baumhöhe/Trieblänge		
	Datentransformation (natürlicher Logarithmus ln)				

In einem ersten Schritt wurden die Beziehungen gemäß Tab. E-7 für die Trockenmassen und die Blattflächen errechnet. Die Funktionskombinationen mit den günstigsten Regressionsstatistiken (s. Kap. E.6.3.2) sowie der geringsten Fehlerbehaftung wurden in einem zweiten Schritt für die Frischmassen angewendet.

Die Abhängigkeiten der Biomassen wurden grundsätzlich für die einzelnen Kompartimente gemäß Tab. E-5 überprüft. Aufgrund der Regressionsergebnisse erschien es nützlich, Schaft- und Astholz für das GE SH zusammenzufassen (SAHR). Für den SE STA wurden die Schaftholz-, Astholz- und Zweigfraktion zur Baumfraktion (BHR) zusammengefasst.

Die Berechnung der Bestandesbiomassen und -blattflächen erfolgte nach der allometrischen Standardgleichung [E-4]. Der systematische Fehler, der bei der Rücktransformation der Regression entsteht und darauf beruht, dass das Mittel eines logarithmischen Wertes dem Median des untransformierten Wertes entspricht (vergl. WILLIAMS et al., 2003, S.290), wird über den Korrekturfaktor *cf* [E-5] kompensiert.

$$Y = e^{[a+b*\ln(X)+cf]} \qquad \text{[E-4]}$$

mit: *Y*…unabhängige Variable
X…abhängige Variable
cf…Korrekturfaktor

$$cf = \frac{SE^2}{2} \qquad \text{[E-5]}$$

mit: *SE*…Standardfehler der Regressionsanalyse

Für die Bestandesbiomassen wurden jene Funktionen gewählt, die für alle Fraktionen die günstigsten Voraussetzungen in Bezug auf die Korrelation der transformierten Daten (s. Kap. E.6.3.2) bzw. auf die beste Annäherung bei kleinster Fehlerbehaftung aufwiesen (s. Kap. E.6.3.3).

E.6.3.2 Regressionsstatistik

Die Regressionsanalysen wurden mit dem Programm SPSS Version 12 über das Menü Lineare Regression durchgeführt. Das Ergebnisprotokoll beinhaltet die Modellzusammenfassung, die F-Statistik der Varianzanalyse (ANOVA) und die T-Statistik der Koeffizienten, die für die Ergebnisdarstellung gemäß Tab. E-8 zusammengefasst wurden.

Die Modellvoraussetzungen der linearen Regression (Tab. E-9) wurden über eine Residuenanalyse geprüft. Die Residuen repräsentieren die Abweichung der Beobachtung vom vorhergesagten Mittel der Schätzung. In Anlehnung an FAHRMEIR et al. (2003, S.12ff) und STAHEL (1999, S.275ff) wurden die Residuen-Diagnoseplots, die im SPSS Ergebnisprotokoll inkludiert sind, zur Analyse herangezogen und interpretiert.

Tab. E-8: Modellzusammenfassung und ANOVA der Regressionsanalytik

Analyseparameter		Erläuterungen
Bestimmtheitsmaß	r^2	Misst den Anteil der erklärten Streuung an der Gesamtstreuung.
Standardfehler der Schätzung	SE	
Korrekturfaktor	cf	Kompensiert den systematischen Fehler der Rücktransformation der Regression
Freiheitsgrade des F-Tests	$F_{1,i}$	1 = Anzahl der Regressoren, i = Anzahl Freiheitsgrade
Signifikanz F	mit $\alpha = 0,05$	H_0 (Nullhypothese): Alle partiellen Steigungen entsprechen 0. Ist die Regression signifikant ($P \leq 0,05$), kann H_0 abgelehnt werden. Es gibt einen statistisch gesicherten Beweis, dass die entsprechende Anpassung eine nützliche Beschreibung der durchschnitlichen Beziehung darstellt.
F-Wert		
Konstante	c	
Koeffizient	a	
Standardfehler der Konstanten	SE c	
Standardfehler des Koeffizienten	SE a	
Signifikanz T	mit $\alpha = 0,05$	Ist der Koeffizient signifikant ($P \leq 0,05$), kann H_0 abgelehnt werden. Es gibt einen statistisch gesicherten Beweis für einen Einfluss der betroffenen Variablen.
Stichprobenumfang	N	
Mittelwert der abhängigen Variablen	MW Abh.	
Mittelwert der unabhänigen Variablen	MW Unabh.	
Standardfehler der abhängigen Variablen	SE Abh.	
Standardfehler der unabhängigen Variablen	SE Unabh.	
Erfüllung der Modellvorraussetzung		Überprüfung anhand der Residuendiagnoseplots

Tab. E-9: Modellvoraussetzungen für die lineare Regression (ARMITAGE und COLTON, 1998, S. 2273, STAHEL, 1999, S.275ff)

Modellanannahmen	erf.	tw.erf.	n.erf.
Normalverteilung der Residuen Varianzhomogenität der Residuen Unabhängigkeit der Residuen Der Erwartungswert der Residuen ist 0.	Die Modellvoraussetzungen sind erfüllt.	Eine der Modellvoraussetzungen ist nicht erfüllt.	Die Modellvoraussetzungen sind nicht erfüllt.

E.6.3.3 Qualitätsbewertung

Die über die jeweiligen Funktionen errechneten Biomassen werden den Biomassen der Probestämme gegenübergestellt. Das Bestimmtheitsmaß r^2 dient dazu, die Nähe zur 1:1-Geraden zu beschreiben.

Um die durchschnittliche Diskrepanz zwischen gewogenen und errechneten Biomassen (T_i bzw. $T_{err.i.}$) auszudrücken, werden ihre Differenzen bezogen auf den Stichprobenumfang, berechnet nach [E-6] und im folgenden Bias genannt, verwendet. ARMITAGE und COLTON (1998, S.303) definieren das Bias als die erwartete Abweichung eines Schätzers von der Quantität, die geschätzt werden soll. Es bezieht sich nicht auf zufällige sondern auf systematische Fehler. Ein Bias von T/F = 0 bedeutet, dass sich Über- und Unterschätzungen aufheben bzw. dass das Schätzmodell keinen systematischen Fehler aufweist.

$$Bias = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(T_{err.i} - T_i) \qquad \text{[E-6]}$$

Als Kriterium zur Beurteilung der Qualität der untersuchten Regressionsmodelle wird letztlich die mittlere quadratische Abweichung, im Weiteren als MSE angegeben (engl. „*mean squared error*"), verwendet. Bei statistischen Modellverfahren wird MSE als die Summe der quadrierten Bias und der Varianz bezogen auf den Stichprobenumfang gesehen [E-7]. Der MSE stuft die Qualität eines Schätzers in Bezug auf die Präzision (Streuung) und seinen systematischen Fehler ein. Ein guter Schätzer hat einen kleinen MSE. Es sei angemerkt, dass MSE nicht äquivalent ist mit dem erwarteten Wert des absoluten Fehlers.

$$MSE\left(\hat{T}\right) = E\left(\left(\hat{T} - T\right)^2\right) = Var(T) + \left(Bias\left(\hat{T}, T\right)\right)^2 \qquad \text{[E-7]}$$

Der definierte MSE ist eine Zufallsvariable, die selbst üblicherweise über das Mittel der Stichprobe geschätzt werden muss [E-8].

$$MSE\left(\hat{T}\right) = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}\left(T_{err.j} - T_j\right)^2 \qquad \text{[E-8]}$$

mit: T_{err} als Realisationen des Schätzers $\hat{T}$ der Größe *n*.

Bias und MSE liefern keine Auskunft über die Messabweichungen. Die mittleren absoluten Differenzen von errechneten zu gewogenen Biomassen, im Weiteren MD (engl. „*mean difference*") genannt [E-9], werden daher herangezogen, um die mittleren Abweichungen der über die Schätzfunktionen errechneten zu den gewogenen Biomassen zu erfassen.

$$MD = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|T_{err.i} - T_i\right| \qquad \text{[E-9]}$$

E.7 Ergebnisse

E.7.1 Bestandescharakteristik und Biometrie

20 Jahre nach der Aufforstung bildet die Erle (ER) mit 72,4 % erwartungsgemäß die Hauptbaumart in der Stambachmure (Abb. E-6). Die Nebenbaumarten werden von Vogelbeere (VB) mit 10%, Fichte (FI) und Tanne (TA) mit je ca. 6% und Ahorn (AH) mit knapp 5% dominiert. Geringfügige Anteile von unter 1% haben Weide (WEI), Birke (BI), Buche (BU), Heckenkirsche (HK), Holunder (HO) und Lärche (LÄ), die eine Folge der Naturverjüngung der letzten Jahre sind. Sie treten ausschließlich in den BHD-Klassen ≤ 4 und 6 auf (Abb. E-7).

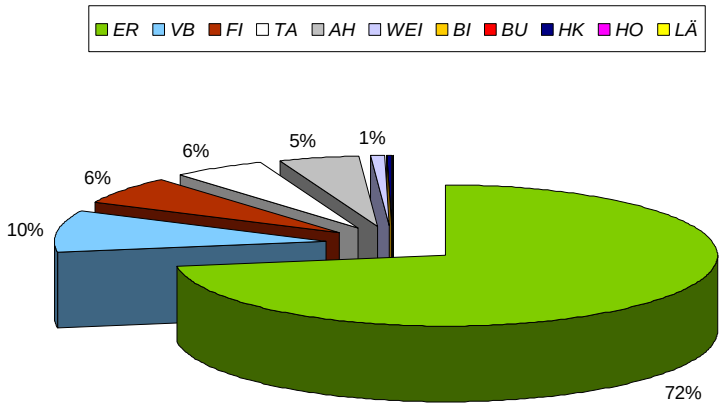


Abb. E-6: Baumartenzusammensetzung im Gesamtbestand der Stambachmure (2001)

Abb. E-7: BHD-Verteilung im Gesamtbestand

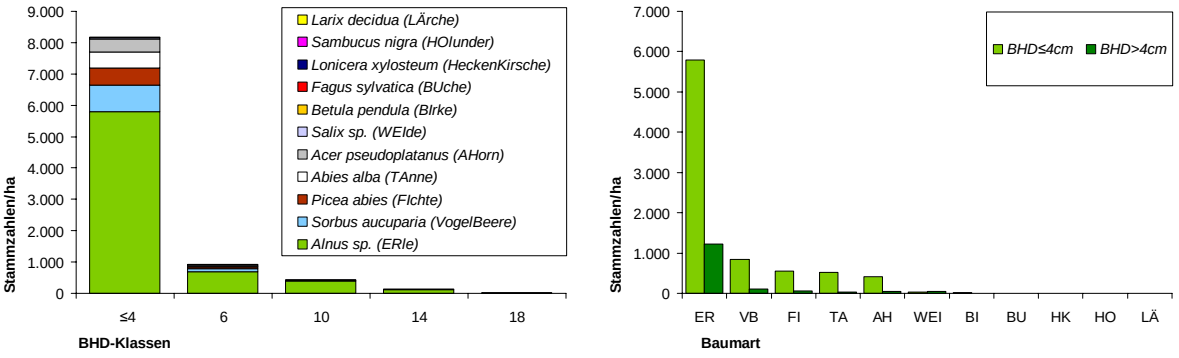


Abb. E-8: Baumartenverteilung im Gesamtbestand getrennt nach Jungwuchs (BHD ≤ 4 cm) und Stangenholz (BHD > 4 cm)

Mit Brusthöhendurchmesser bis 20 cm zeigt sich die Stangenholzbildung des Bestandes, wobei die Stammanteile in den einzelnen BHD-Klassen nach oben hin abnehmen (Abb. E-7). Eine sprunghafte Stammzahlverminderung erfolgt von der BHD-Klasse ≤ 4 auf BHD-Klasse 6. Die starke Präsenz der kleinen Brusthöhendurchmesser ist besonders auffällig. 84 % aller Stämme liegen unterhalb der Kluppschwelle von BHD ≤ 4 cm, wobei auch hier die übermäßige Dominanz des Erlenjungwuchses ins Auge fällt (Abb. E-8). Die restlichen vor-

kommenden Baumarten sind bis auf geringe Anteile von Vogelbeere, Fichte, Tanne und Ahorn, die sich bereits im Dickungsstadium befinden, ebenfalls im Jungwuchs angesiedelt.

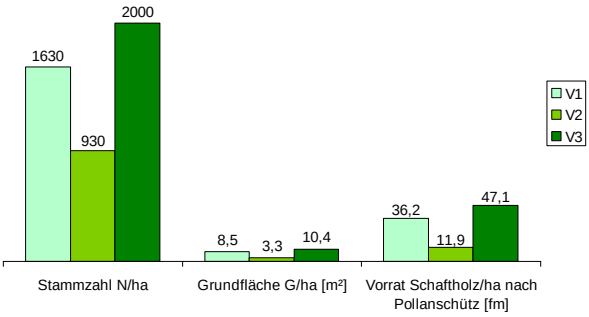
Tab. E-10: Biometrische Kenndaten des Untersuchungsbestandes (Kluppschwelle: BHD > 4cm)

			Fläche [ha]	fixe Probekreise n	Baumarten	Stammzahl N/ha	Baumartenanteil [%]	Grundfläche G/ha [m²]	Vorrat Schaftholz/ha nach Pollanschütz fs Poll [fm]	Grundflächenmittelstamm dg [cm]	Arithmetische Mittelhöhe hA [m]	Lorey'sche Mittelhöhe hL [m]	Oberhöhe nach Weise h20 [m]	Durchmesser nach Weise d20 [m]	gesamte erfasste Stammzahl n
GES PK 1-60	Gesamtbestand 60 Probekreise	*Alnus ssp.* Mill.				1.230,0	80,7	6,43	28,42	8,2	7,1	8,6	10,3	12,6	369
		Sorbus aucuparia L.				103,3	6,8	0,22	0,85	5,2	6,3	6,5	7,1	6,7	31
		Picea abies (L.) Karst.				66,7	4,4	0,21	0,69	6,3	4,4	5,8	7,6	9,4	20
		Acer pseudoplatanus L.				43,3	2,8	0,17	0,51	7,0	7,4	8,8	10,3	11,5	13
		Salix ssp. L.				46,7	3,1	0,27	0,93	8,5	7,5	7,9	8,2	11,2	14
		Abies alba P.Mill.				26,3	1,7	0,07	0,29	6,0	5,6	6,8	8,4	6,6	8
		Betula pendula Roth.				6,7	0,4	0,06	0,24	10,4	7,5	8,1	8,5	13,0	2
		Gesamtbestand	**15**	**60**	**7**	**1.523,3**	**100,0**	**7,43**	**31,93**		**6,6**				**457**

Bei einem Grundflächenmittelstamm (dg) von 8,2 cm bilden die Erlen Oberhöhen von 10,3 m (Oberhöhe nach Weise h20), die auch bereits vom Ahorn erreicht werden (Tab. E-10). Die restlichen Arten bleiben noch empfindlich darunter. Bei Betrachtung der arithmetischen Mittelhöhen fällt auf, dass Fichte (4,4 m) und Tanne (5,6 m) deutlich unter dem Durchschnitt von 6,6 m liegen.

Der Schaftholzvorrat pro ha im Gesamtbestand (Kluppschwelle > 4 cm) beträgt knapp 32 fm, wobei der Anteil der Erlen bei 89 % liegt. Bei Stammzahlen von 1.230 Stämmen/ha bilden sie mit 6,43 m² 87 % der Grundfläche (G ha^{-1}). Betrachtet man die räumliche Verteilung der ertragskundlichen Kennwerte im Bestand, so sticht die Inhomogenität in Bezug auf Stammzahlverteilung und damit verbunden der Grundfläche und dem Vorrat ins Auge (Tab. Annex E - 2). In Abb. E-9 zeigt Variante V3 die höchste Gesamtstammzahl (2.000), gefolgt von Variante V1 (1.630). Variante V2 ist mit Hektarwerten von 930 um etwa 50 % dünner bestockt, was sich in hohen Streuungen der Probekreiswerte um ihren Mittelwert äußert (s. Standardabweichungen SD, Tab. Annex E - 13).

Abb. E-9: Absolute Anteile (Gesamtbestand) von Stammzahlen, Grundfläche und Gesamtvorrat getrennt nach Varianten



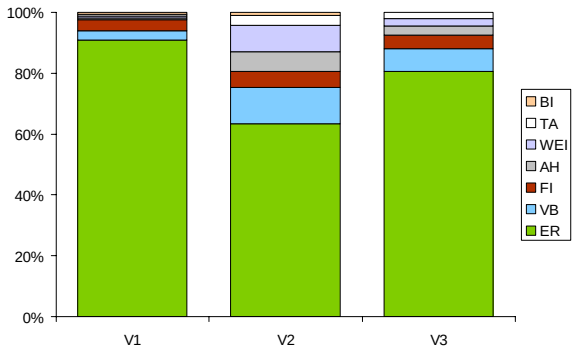
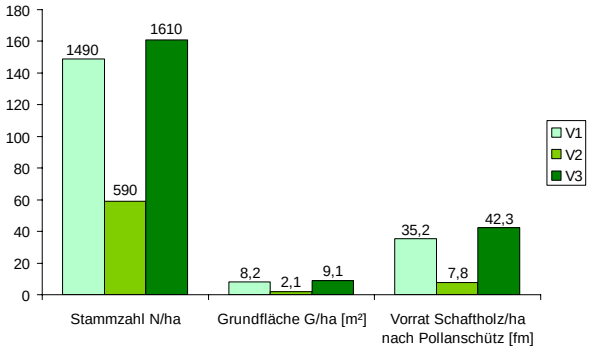


Abb. E-10: Prozentuelle Stammzahlverteilung im Gesamtbestand getrennt nach Varianten

Bezogen auf den Erlenbestand (Abb. E-11) weisen V1 und V3 ähnliche Stammzahlen auf, V2 jedoch liegt mit Abstand dahinter zugunsten der Anteile der Nebenbaumarten, die knapp 40 % ausmachen (Abb. E-10). Die geringen prozentuellen Anteile an der Gesamtgrundfläche bzw. dem Vorrat (Abb. E-12) der Erle in V2 verdeutlichen ihre jüngere Ausprägung im Vergleich zu V1 und V3.

Abb. E-11: Absolute Anteile (Erlenbestand) von Stammzahlen, Grundfläche und Gesamtvorrat getrennt nach Varianten



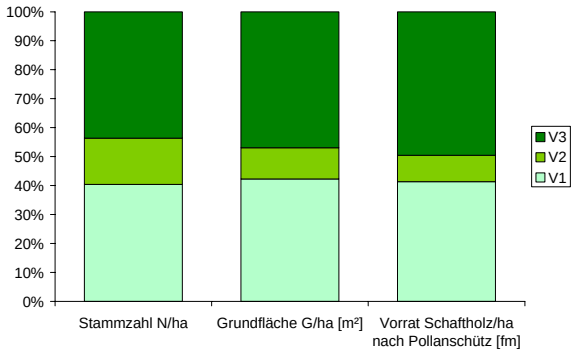


Abb. E-12: Prozentuelle Verteilung von Stammzahlen, Grundfläche und Gesamtvorrat im Erlenbestand getrennt nach Varianten

E.7.2 Veränderung der Bestandesstruktur durch die Pflegeeingriffe

Tab. E-11 und Tab. E-12 präsentieren die biometrischen Kenndaten jener Bereiche der Varianten V1 und V2, die auf den Stock gesetzt wurden, vor sowie nach den Pflegemaßnahmen. Die Stammdichte von V1 war mit etwa 800 Stämmen pro Hektar höher als jene von V2, wobei hier nur 35 % der Grundfläche (G ha^{-1}) und 23 % des Vorrats (fm ha^{-1}) von V1 ausgewertet werden konnten. Mit 660 Erlenstämmen am Hektar lag V2 deutlich unter V1 (1.770), jedoch zeigte die Vogelbeere viermal so hohe Stammzahlen. Fichte, Ahorn, Tanne und Birke hatten ebenfalls höhere Anteile inne. Die Oberhöhen der Erlen waren in V2 um 2 m, ihre arithmetischen Mittelhöhen um 1,8 m niedriger als in V1.

Der Erlenanteil in V1 wurde durch die Schnittmaßnahmen von 92,4 % auf 83,3 % reduziert, wobei um mehr als die Hälfte aller Erlen mit BHD > 4 cm auf den Stock gesetzt wurden. Damit reduzierte sich die Erlengrundfläche von 10,41 m² auf 3,71 m² und der Schaftholzvorrat von 45,9 fm auf 16,71 fm. An den Mittel- und Oberhöhen der Erlen änderte sich kaum etwas. Die Gesamtgrundfläche des Bestandes verringerte sich um 59 %, der Gesamtvorrat um 62%.

In V2 wurden alle Erlen mit BHD > 4 cm auf den Stock gesetzt, wodurch sich die gesamten Stammdichten von 1.060 auf 400 je Hektar reduzierten (Tab. E-11 und Tab. E-12). Damit verminderten sich die Gesamtgrundfläche und der Vorrat auf je etwa 1/3 des Ausgangszustandes.

Tab. E-11: Biometrische Kenndaten der Variantenflächen V1 und V2 vor den Pflegeeingriffen (Kluppschwelle: BHD > 4cm)

		Fläche [ha]	fixe Probekreise n	Baumarten	Stammzahl N/ha	Baumartenanteil [%]	Grundfläche G/ha [m²]	Vorrat Schaftholz/ha nach Pollanschütz fs Poll [fm]	Grundflächenmittel-stamm dg [cm]	Arithmetische Mittelhöhe hA [m]	Lorey'sche Mittelhöhe hL [m]	Oberhöhe nach Weise h20 [m]	Durchmesser nach Weise d20 [m]	gesamte erfasste Stammzahl n
Variante V1 Probekreise 1-10	*Alnus ssp.* Mill.				1.700,0	92,4	10,41	45,91	8,8	7,5	8,6	10,1	13,0	85
	Sorbus aucuparia L.				40,0	2,2	0,10	0,39	5,5	5,2	7,0	8,0	6,0	2
	Picea abies (L.) Karst.				60,0	3,3	0,09	0,22	4,4	3,2	3,2	3,5	5,0	3
	Acer pseudoplatanus L.				20,0	1,1	0,08	0,25	7	9,5	9,5	9,5	7,0	1
	Salix ssp. L.				20,0	1,1	0,10	0,30	8,0	6,0	6,0	6,0	8,0	1
	Abies alba P.Mill.				0,0	0,0								
	Betula pendula Roth.				0,0	0,0								
	V1	**2,5**	**10**	**5**	**1.840,0**	**100,0**	**10,8**	**47,1**						
Variante V2 Probekreise 1-10	*Alnus ssp.* Mill.				660,0	62,3	2,09	7,68	6,4	5,7	6,6	8,1	9,3	33
	Sorbus aucuparia L.				160,0	15,1	0,25	0,91	4,4	5,3	5,4	6,0	5,7	8
	Picea abies (L.) Karst.				80,0	7,5	0,25	0,86	6,3	5,0	5,8	7,0	9,0	4
	Acer pseudoplatanus L.				60,0	5,7	0,09	0,11	4,36	6,8	6,9	7,5	5,0	3
	Salix ssp. L.				20,0	1,9	0,03	0,12	4,0	7,0	7,0	7,0	4,0	1
	Abies alba P.Mill.				60,0	5,7	0,22	0,85	6,8	6,7	6,8	7,0	8,0	3
	Betula pendula Roth.				20,0	1,9	0,08	0,30	7,0	6,5	6,5	6,5	7,0	1
	V2	**2,5**	**10**	**7**	**1.060,0**	**100,0**	**3,0**	**10,8**						**53**

Tab. E-12: Biometrische Kenndaten der Variantenflächen V1 und V2 nach den Pflegeeingriffen (Kluppschwelle: BHD > 4cm)

		Fläche [ha]	fixe Probekreise n	Baumarten	Stammzahl N/ha	Baumartenanteil [%]	Grundfläche G/ha [m²]	Vorrat Schaftholz/ha nach Pollanschütz fs Poll [fm]	Grundflächenmittel-stamm dg [cm]	Arithmetische Mittelhöhe hA [m]	Lorey'sche Mittelhöhe hL [m]	Oberhöhe nach Weise h20 [m]	Durchmesser nach Weise d20 [m]	gesamte erfasste Stammzahl n
Variante V1 Probekreise 1-10	*Alnus ssp.* Mill.				700,0	83,3	3,71	16,71	8,2	7,2	8,8	10,7	13,0	35
	Sorbus aucuparia L.				40,0	4,8	0,10	0,39	5,5	6,8	7,0	8,0	6,0	2
	Picea abies (L.) Karst.				60,0	7,1	0,09	0,22	4,4	3,2	3,2	3,5	5,0	3
	Acer pseudoplatanus L.				20,0	2,4	0,08	0,25	7	9,5	9,5	9,5	7,0	1
	Salix ssp. L.				20,0	2,4	0,10	0,30	8,0	6,0	6,0	6,0	8,0	1
	Abies alba P.Mill.				0,0	0,0								
	Betula pendula Roth.				0,0	0,0								
	V1	**2,5**	**10**	**5**	**840,0**	**100,0**	**4,1**	**17,9**						**42**
Variante V2 Probekreise 1-10	*Alnus ssp.* Mill.				0,0									
	Sorbus aucuparia L.				160,0	40,0	0,25	0,91	4,4	5,3	5,4	6,0	5,7	8
	Picea abies (L.) Karst.				80,0	20,0	0,25	0,86	6,3	5,0	5,8	7,0	9,0	4
	Acer pseudoplatanus L.				60,0	15,0	0,09	0,11	4,36	6,8	6,9	7,5	5,0	3
	Salix ssp. L.				20,0	5,0	0,03	0,12	4,0	7,0	7,0	7,0	4,0	1
	Abies alba P.Mill.				60,0	15,0	0,22	0,85	6,8	6,7	6,8	7,0	8,0	3
	Betula pendula Roth.				20,0	5,0	0,08	0,30	7,0	6,5	6,5	6,5	7,0	1
	V2	**2,5**	**10**	**6**	**400,0**	**100,0**	**0,9**	**3,2**						**20**

E.7.3 Allometrische Funktionen zur Biomasseberechnung des Erlenbestandes

Tab. E-13 und Tab. Annex E - 4 listen die erarbeiteten Beziehungen und Regressionsfunktionen zwischen den Baumkenngrößen und den Biomassekomponenten auf.

D10 (Durchmesser in 10 cm Höhe) und BHD (Brusthöhendurchmesser) stehen in einem engen Abhängigkeitsverhältnis. Die Streuung des BHD wird zu 99 % vom D10 erklärt (Funktion [1] in Tab. E-13, Abb. E-13). Die Abhängigkeit der Baumhöhe von den jeweiligen Durchmessern ist dementsprechend äußerst ähnlich (r^2 = 0,869 bzw. 0,871, Funktionen [3] und [4] in Tab. E-13). Die Steigung der Regressionsgeraden für den BHD ist jedoch höher als für den D10, da sich mit zunehmendem Dickenwachstum die Differenz der beiden Durchmesser erhöht. Die Form der BHD-Höhenzunahme liegt in enger Nähe zur Höhenkurve berechnet nach Pollanschütz (H Poll) (Abb. E-15, Tab. Annex E - 1).

Aufbauend auf diese Ergebnisse wurde für sämtliche Beziehungsanalysen des Erlengesamtbestandes, der Stangenholz (SH) und Jungwuchs (JW) enthält, der D10 verwendet, da im Jungwuchs die Brusthöhe häufig nicht erreicht wurde.

Tab. E-13: Allometrische Funktionen zur Biomasseberechnung des Erlengesamtbestandes

Datengrundlage		Funktion	R^2	SE	Korrekturfaktor cf ($SE^2/2$)	Freiheitsgrade	Signifikanz F	F-Wert	Konstante c	Koeffizient a	SE Konstante	SE Koeffizient	Signifikanz T	N	MW Abh.	MW Unabh.	SE Abh.	SE Unabh.	Modellvorrausetzungen	Bias	MSE	MD
GE (Alnus incana Gesamtbestand)	[1]	D10 = c+ a*BHD	0,9900	0,69		$F_{1,29}$	0,000	2778,1	1,07	1,25	0,19	0,02	0,00	31	8,8	6,2	6,7	5,3	erf.	-0,01	0,41	0,49
	[2]	BHD = c + a*D10	0,9900	0,55		$F_{1,29}$	0,000	2778,1	-0,79	0,79	0,17	0,02	0,00	31	6,2	8,8	5,3	6,7	erf.	0,28	0,08	0,36
	[3]	H = c + a*D10	0,8690	1,58		$F_{1,33}$	0,000	219,5	1,46	0,59	0,41	0,04	0,00	35	6,2	7,9	4,3	6,7	tw.erf.	0,15	0,01	3,59
	[4]	H = c + a*BHD	0,8710	1,52		$F_{1,29}$	0,000	195,6	2,28	0,73	0,42	0,05	0,00	31	6,8	6,2	4,2	5,3	tw.erf.	0,09	14,32	3,22
	[5]	lnBLFL = c + a*lnD10	0,9370	0,50	0,12	$F_{1,33}$	0,000	488,3	-2,55	1,94	0,17	0,09	0,00	35	0,7	1,7	1,9	1,0	erf.	-0,33	20,26	2,74
	[6]	lnFSAHR =c + a*ln(D10²H)	0,9810	0,35	0,06	$F_{1,30}$	0,000	1553,7	-4,00	1,01	0,15	0,03	0,00	35	1,3	5,3	2,5	2,4	erf.	0,76	19,68	2,27
	[7]	lnFZW =c + a*ln(D10²H)	0,9280	0,47	0,11	$F_{1,33}$	0,000	428,4	-3,70	0,61	0,16	0,03	0,00	35	-0,8	4,8	1,7	2,8	erf.	-0,20	1,40	0,58
	[8]	lnFBL =c + a*ln(D10²H)	0,9490	0,45	0,10	$F_{1,33}$	0,000	611,3	-4,38	0,69	0,16	0,03	0,00	35	-1,0	4,8	2,0	2,8	erf.	-0,10	0,75	0,45
	[9]	lnFFR =c + a*ln(D10²H)	0,3280	1,45	1,05	$F_{1,10}$	0,000	4,9	-7,94	0,82	2,86	0,37	0,02	12	-1,7	7,6	1,7	1,2	tw.erf.	0,11	0,17	0,23
	[10]	lnF_ges =c + a*ln(D10²H)	0,9850	0,31	0,05	$F_{1,33}$	0,000	2223,9	-3,13	0,90	0,11	0,02	0,00	35	1,2	4,8	2,5	2,8	tw.erf.	-2,57	108,46	4,66
	[11]	lnTSAHR =c + a*ln(D10²H)	0,9850	0,31	0,05	$F_{1,30}$	0,000	1936,0	-4,66	1,01	0,13	0,02	0,00	32	0,7	5,3	2,5	2,4	erf.	0,32	13,57	1,68
	[12]	lnTZW =c + a*ln(D10²H)	0,9200	0,49	0,12	$F_{1,33}$	0,000	381,0	-4,42	0,60	0,17	0,03	0,00	35	-1,5	4,8	1,7	2,8	erf.	0,32	0,40	0,29
	[13]	lnTBL =c + a*ln(D10²H)	0,9360	0,50	0,13	$F_{1,33}$	0,000	479,3	-5,34	0,69	0,17	0,03	0,00	35	-2,0	4,8	1,9	2,8	erf.	-0,04	0,14	0,18
	[14]	lnTFR =c + a*ln(D10²H)	0,3840	1,40	0,98	$F_{1,10}$	0,032	6,2	-9,83	0,90	2,77	0,36	0,03	12	-3,0	7,6	1,7	1,2	tw.erf.	0,02	0,01	0,05
	[15]	lnT_ges =c + a*ln(D10²H)	0,9880	0,28	0,04	$F_{1,33}$	0,000	2835,0	-3,85	0,92	0,10	0,02	0,00	35	0,6	4,8	2,5	2,8	erf.	-0,84	27,07	1,81

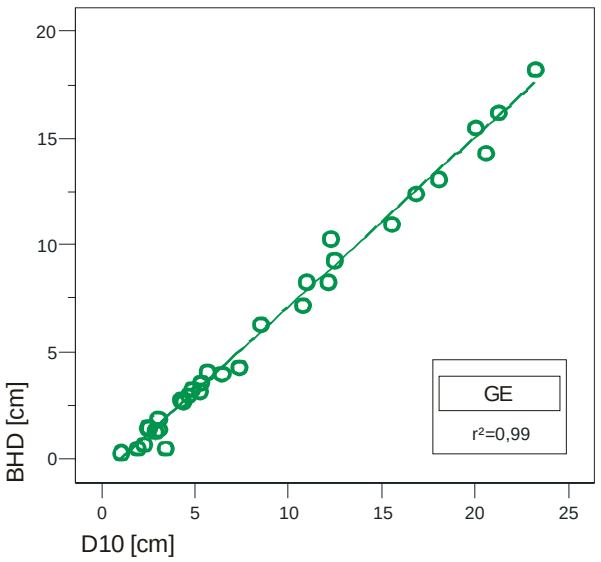


Abb. E-13: Beziehung zwischen D10 und BHD

Abb. E-14: Baumhöhe H in Abhängigkeit vom D10 bzw. BHD

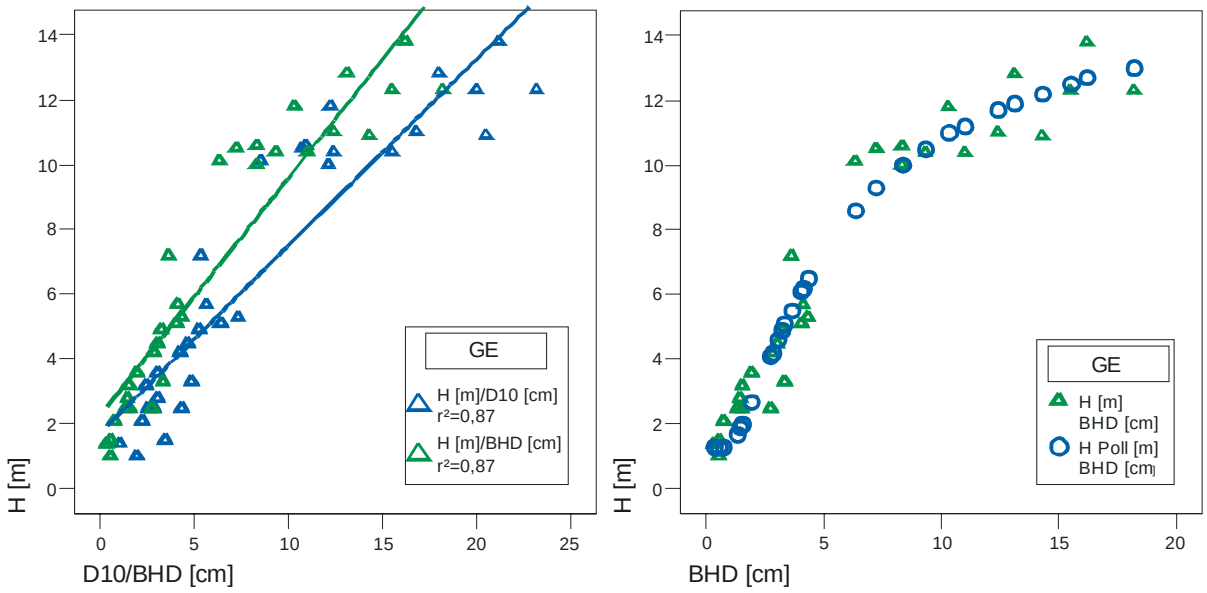


Abb. E-15: Baumhöhe H in Abhängigkeit vom BHD im Vergleich zur Höhenkurve nach Pollanschütz (H Poll, r² = 0,95, SEcoeff = ± 0,05 bzw. 0,36)

Mithilfe einer Datentransformation unter Verwendung des natürlichen Logarithmus (Logarithmierung zur Basis e) konnten höchstsignifikante Beziehungen zwischen den einzelnen Biomassekomponenten und den Durchmessern bzw. D10-Höhen-Produkten hergestellt werden (Funktionen [5] bis [42] in Tab. E-13 und Tab. Annex E - 4). Die genannten Baumkenngrößen eignen sich dementsprechend zur linearen Vorhersage bzw. Schätzung aller Biomassefraktionen. Einschränkungen zeigen die Fruchtfraktionen (FFR bzw TFR), deren Variabilität sich nur bis maximal 46 % durch die jeweiligen Baumkenngrößen erklärt. Zusätzlich ist die Erfüllung der Modellvoraussetzungen nicht sicher gestellt.

Die Zusammenfassung der Fraktionen Schaftholz (SHR) und Astholz (AHR) erhöhte deren Bestimmtheitsmaße r^2 = 0,61-0,69 auf 0,98. Zudem zeigte die Schaftholzfraktion besonders hohe Fehlerbehaftung. Die mittlere quadratische Abweichung (MSE) erreichte bei der Funktion [19] (Tab. Annex E - 4) einen Wert von 449,6 bei einer mittleren absoluten Abweichung (MD) von 13,56, was sich durch das Vereinen mit der Astholzfraktion (FSAHR) bedeutend ausgleichen ließ (MSE =138,8 und MD = 5,03, Funktion [21], Tab. Annex E - 4).

Die Bestimmtheitsmaße der BHD-Beziehungen sind geringfügig niedriger als jene der D10-Beziehungen. Die Erfüllung der Modellvoraussetzungen bei ersteren ist nur eingeschränkt sicher gestellt. Die weitgehend besten Schätzungen konnten unter Einbeziehung der Höhe verwendet als Produkt mit $D10^2$ erzielt werden (Funktionen [6] bis [15], Tab. E-13). Die starken Über- bzw. Unterschätzungen der Fraktion SAHR, die bei der Gegenüberstellung der errechneten Massen mit jenen der Probestämme in Abb. E-16 zur Geltung kommen, konnte damit am bedeutendsten minimiert werden (MSE = 19,7 bzw. 13,57, MD = 2,3 bzw. 1,7, Funktionen [6] und [11], Tab. E-13). Damit liegt dennoch eine durchschnittliche Überschätzung von 0,76 kg pro Baum für die Frischmasse bzw. 0,32 kg pro Baum für die Trockenmasse von SAHR vor (s. Bias Tab. E-13).

Abb. E-17 zeigt, dass alle erarbeiteten Funktionen zur Blattflächenberechnung zu starken Unterschätzungen mit großer Fehlerbehaftung und teilweisen Verletzungen der Modellannahmen führen (Tab. Annex E - 4). Am geringsten sind diese bei Verwendung des D10 mit einem Bias von -0,33 und MSE von 20,3 ausgeprägt (Funktion [5], Tab. E-13).

Abb. E-16: Trockenmasse der Schaft-Astholzfraktion (TSAHR) der Probestämme versus den errechneten Massen

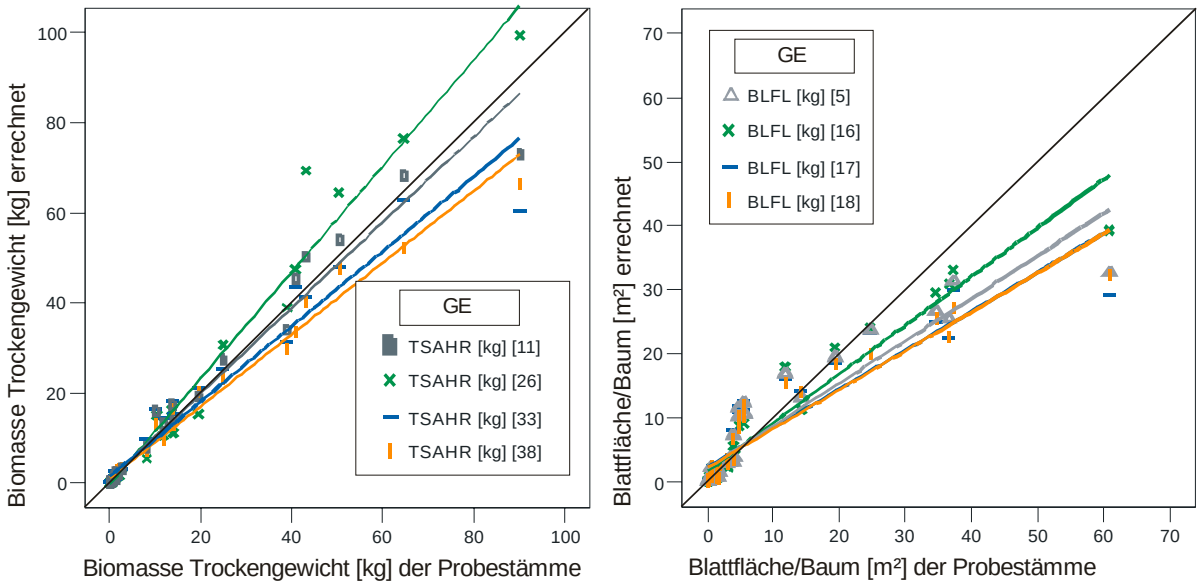


Abb. E-17: Blattflächen der Probestämme versus den errechneten Blattflächen

Abb. E-18: Beziehungen der Trockenmassekomponenten in Abhängigkeit von D10²H (logarithmiert zur Basis e)

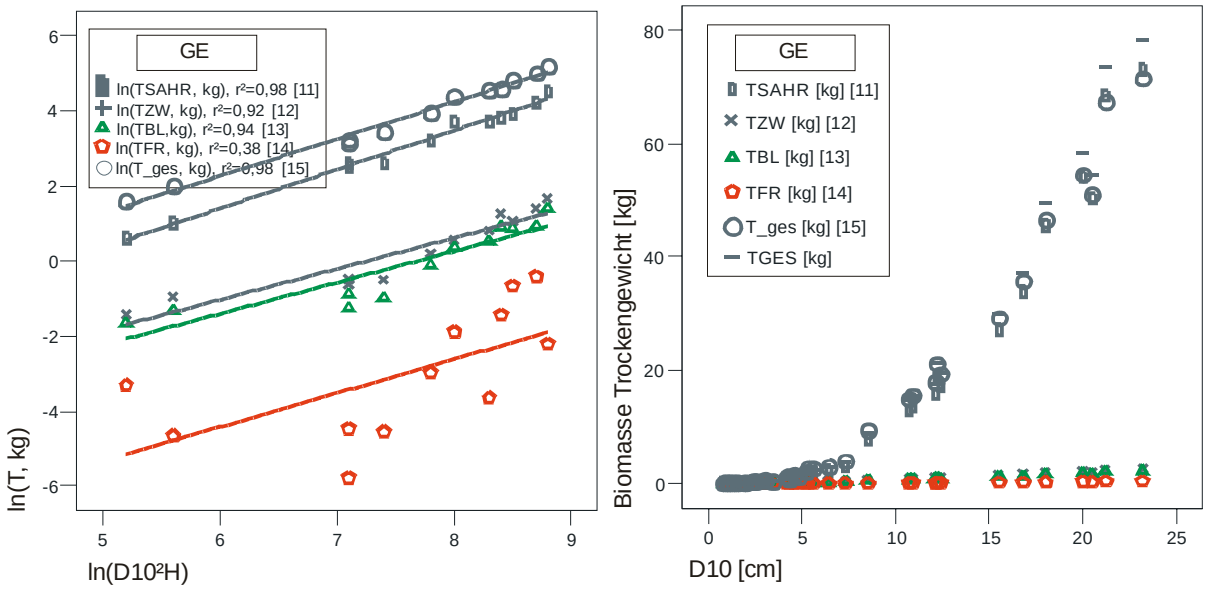


Abb. E-19: Trockenmassen berechnet über ln(D10²H) dargestellt in Abhängigkeit vom D10

Abb. E-20: Beziehung der Blattfläche in Abhängigkeit vom D10 (logarithmiert zur Basis e)

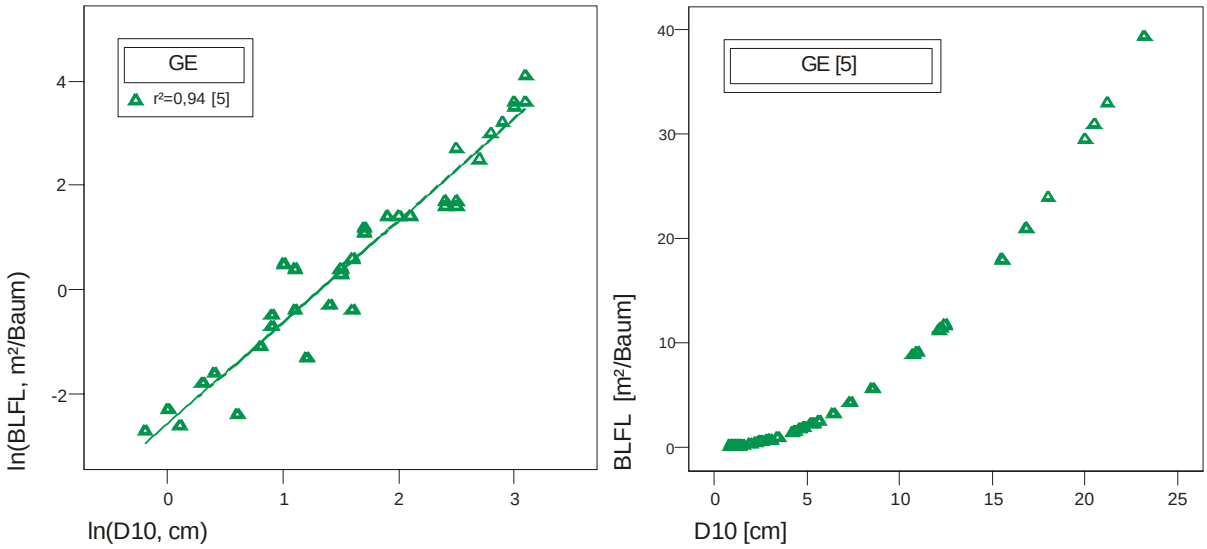


Abb. E-21: Blattfläche in Abhängigkeit vom D10

Die Beziehungen der Trockenmassekomponenten und der Blattflächen der verwendeten Funktionen [5] bis [15] werden in Abb. E-18 und Abb. E-20 ausgedrückt. Abb. E-19 und Abb. E-21 präsentieren die entsprechenden Funktionen dargestellt in Abhängigkeit vom zunehmenden D10. Ein Vergleich mit den Funktionen von JOHANSSON (2000, S.152) zeigt für das Gesamtgewicht eine gute Übereinstimmung, sofern man auch für die Gleichung von JOHANSSON den D10 verwendet (Abb. E-23). Differenzen bestehen beim Blattgewicht (Abb. E-24). Die Verwendung des D10 für die JOHANSSON-Gleichung führt zu einem Auseinanderdriften der Kurven in den mittleren Durchmesserklassen, wobei die Gewichte nach JOHANSSON unter den Gewichten nach Funktion [13] (Tab. E-13) liegen.

Die Baumdaten und Gewichte der Probestämme sowie die berechneten Werte sind in Tab. Annex E - 3 und Tab. Annex E - 5 zu finden. Die Betrachtung der Anteile der Biomassekompartimente zeigt erwartungsgemäß eine Dominanz der Schaft-Astholzfraktion von durchschnittlich 72,4 % (Abb. E-22). Die Absolutgewichte nehmen ab einem D10 von 10 cm stark zu und erreichen ab einem D10 von 20 cm 60 kg pro Baum (Abb. E-25). Im kleinen Durchmesserbereich ist mit über 40 % der Zweiganteil am höchsten und nimmt nach oben hin sukzessive ab (Abb. E-26). Der Blattanteil reduziert sich von knapp 18,9 % bei den kleinsten Durchmessern auf nur 2,9 % beim dicksten Stamm. Früchte fanden sich nur an 11 Bäumen mit BHD > 4cm. Ihr durchschnittlicher Anteil am Gesamtgewicht beträgt 0,6 %.

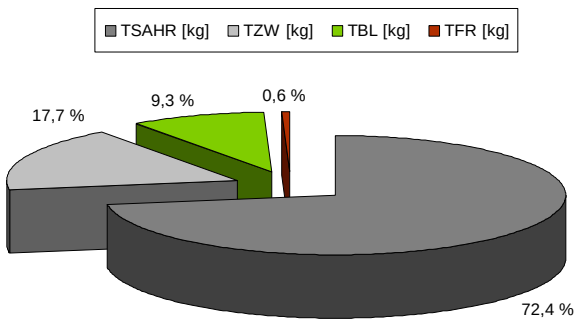


Abb. E-22: Durchschnittliche Anteile der Biomassekompartimente (Trockengewicht) der Probestämme

Abb. E-23: Vergleich der Trockenmassefunktion [5] für das Gesamtgewicht mit jener von JOHANSSON, 2000

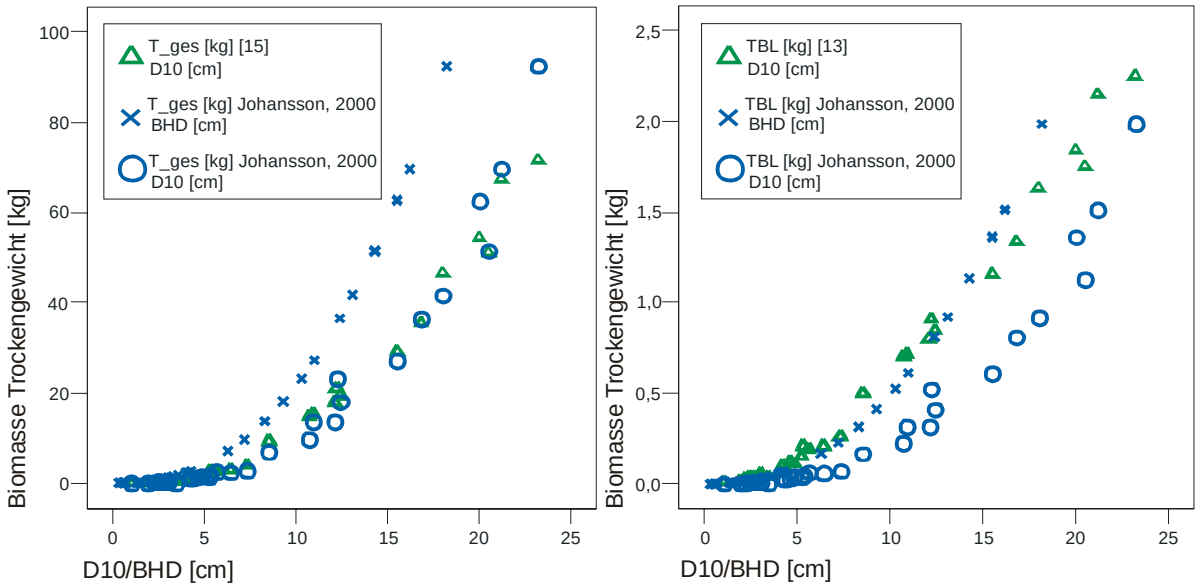


Abb. E-24: Vergleich der Trockenmassefunktion [5] für das Blattgewicht mit jener von JOHANSSON, 2000

Abb. E-25: Absolute Anteile der Biomassekompartimente der Probestämme in Abhängigkeit vom D10

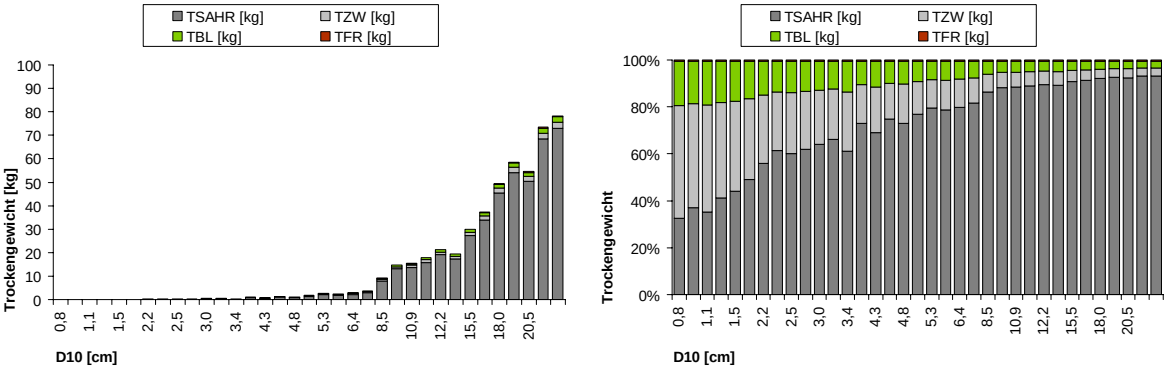


Abb. E-26: Prozentuelle Verteilung der Biomassekompartimente der Probestämme in Abhängigkeit vom D10

E.7.4 Bestandesbiomasse

Tab. E-14 und Abb. E-27 präsentieren die Biomasse (Hektarwerte) getrennt nach Kompartimenten berechnet für die Stambachmure. Die Tatsache, dass die Schaft-Astholzfraktion mit 72,4 % den bedeutendsten Anteil an der Gesamtbiomasse (Trockenmasse) einnimmt (Abb. E-22), führte zur Entscheidung, zur Berechnung der Bestandesbiomasse die Funktionen [6] bis [15], basierend auf den logarithmischen Zusammenhang mit ln(D10²H) heranzuziehen, da damit der geringste Fehler erreicht wurde. Für die Blattflächenberechnung hingegen wird auf die Gleichung [5] zurückgegriffen, die nur den D10 berücksichtigt, jedoch das Ausmaß der systematischen Unterschätzung halbiert. Bei den Werten zur Blattfläche im Bestand wird

auf die Unterschätzung der Blattfläche pro Baum um 0,33 m² (Bias der Funktion [5], Tab. E-13) ausdrücklich hingewiesen.

Tab. E-14: Biomasse (Frisch- und Trockengewichte) des Erlengesamtbestandes (GB) getrennt nach Kompartimenten bzw. Stangenholz (SH) und Jungwuchs (JW)

Funktion	N/ha	FSAHR [kg/ha] *[6]*	FZW [kg/ha] *[7]*	FBL [kg/ha] *[8]*	FFR [kg/ha] *[9]*	F_ges [kg/ha] *[10]*	*FGES [kg/ha]*	TSAHR [kg/ha] *[11]*	TZW [kg/ha] *[12]*	TBL [kg/ha] *[13]*	TFR [kg/ha] *[14]*	T_ges [kg/ha] *[15]*	*TGES [kg/ha]*	BLFL [m²/ha] *[5]*	SLA [cm²/g]	LAI
SH	**1.230**	27.366,4	2.082,0	1.882,2	363,9	29.386,0	31.694,5	14.187,6	960,5	714,9	90,4	15.843,8	15.953,5	11.677,8	**163,3**	**1,2**
JW	**5.793**	2.659,6	850,9	575,3	69,5	4.214,9	4.155,3	1.368,7	405,1	222,4	13,1	2.152,7	2.009,3	3.214,0	**144,5**	**0,3**
GB	**7.023**	30.026,0	2.932,9	2.457,5	433,4	33.601,0	35.849,8	15.556,3	1.365,7	937,3	103,5	17.996,5	17.962,8	14.891,8	**158,9**	**1,5**
GB Bias-korrigiert	***7.023***	*24.688,5*	*2.932,9*	*2.457,5*	*433,4*	*28.263,5*	*30.512,3*	*13.309,0*	*1.365,7*	*937,3*	*103,5*	*15.749,1*	*15.715,5*	*17.538,4*	***187,1***	***1,8***
% SH	17,5	91,1	71,0	76,6	84,0	87,5	88,4	91,2	70,3	76,3	87,4	88,0	88,8	78,4		
% JW	82,5	8,9	29,0	23,4	16,0	12,5	11,6	8,8	29,7	23,7	12,6	12,0	11,2	21,6		
GB	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0		

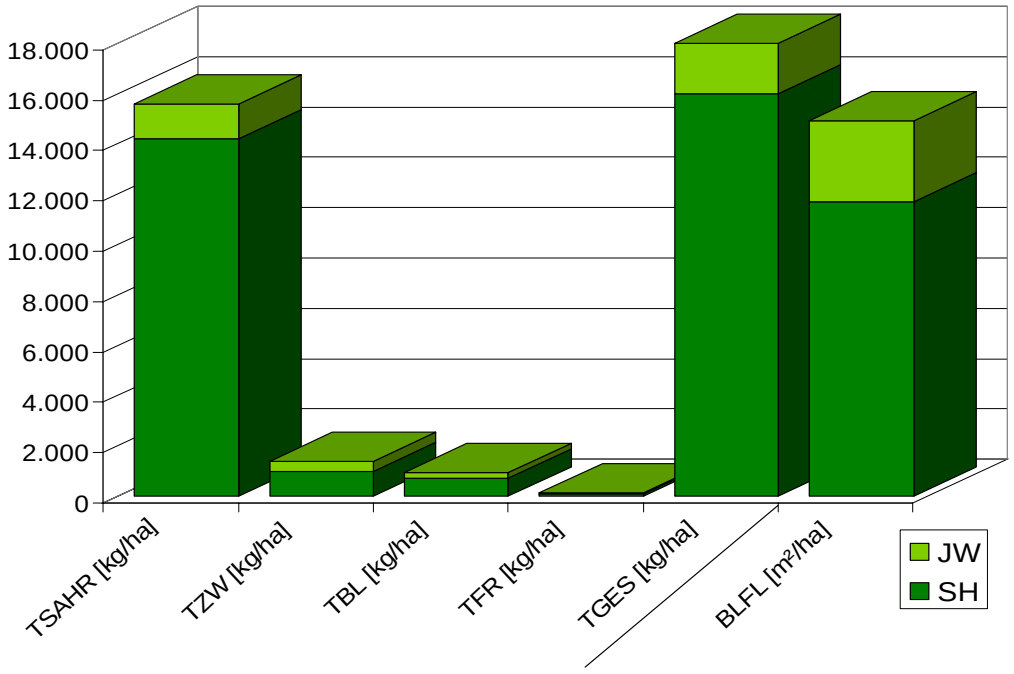


Abb. E-27: Bestandesbiomassen und –blattfläche in Hektarwerten

Die Trockenmasse der SAHR-Fraktion beträgt 15,6 t ha^{-1}, wobei 91,2 % davon vom Stangenholz (SH) und nur 8,8 % vom Jungwuchs (JW) gebildet werden (Tab. E-14 und Abb. E-27). Der Jungwuchsanteil an den Zweigen und Blättern ist mit 29,7 % bzw. 23,7 % bedeutend höher. Der Stangenholzanteil am Gesamtgewicht liegt bei 88,8 %. Ins Auge sticht, dass die Funktionen [9] und [14] einen Fruchtanteil von 12 % im Jungwuchs errechnen, während bei den Probestämmen im JW keine Früchte registriert wurden. Dies ist als Folge der Herleitung der Schätzfunktion über alle Probestämme zu sehen. Bei der Anwendung von D10 und Höhe als Schätzparameter ergibt sich dementsprechend auch für den Jungwuchs die entsprechende Fruchtmasse.

Das Gesamtgewicht gebildet als Produkt aus den Teilgewichten beträgt 35,8 t ha^{-1} Frisch- bzw. 17,9 t ha^{-1} Trockenmasse (FGES bzw. TGES). Die über die Funktion errechnete Trockenmasse (T_ges) entspricht der Masse von TGES, während bei der Frischmasse (F_ges) eine Differenz von -2,2 t ha^{-1} (6,3%) zu FGES besteht. Auffällig ist, dass die Funktionen [10] und [15] (Tab. E-13) das Stangenholz um 8,3 % unterschätzen, während der Jungwuchs mit 1,4 % geringfügig überschätzt wird.

Die Gesamttrockenmasse beträgt 50,1 % der Gesamtfrischmasse, was primär der SAHR-Fraktion zuzuordnen ist (Tab. Annex E - 6). Bei Zweigen, Blättern und Früchten nimmt der Trockenanteil sukzessive ab (46,6%, 38,1 % und 23,4 %). Der Anteil an Zweigen und Blättern am Gesamtgewicht ist im Jungwuchs mit 20,2 % und 11,1 % (Trockenmasse) deutlich höher als beim Stangenholz (6 und 4,5 %).

Berücksichtigt man den systematischen Fehler der Regression von 0,76 kg pro Baum bei der Frischmasse bzw. 0,32 kg pro Baum bei der Trockenmasse (Bias, Tab. E-13), würden sich die FSAHR-Fraktion um 5.337,5 kg bzw. die TSAHR-Fraktion um 2.247,4 kg und damit auch die Gesamtgewichte um denselben Betrag reduzieren (vergl. GB korr. in Tab. E-14). Die prozentuellen Anteile der Fraktionen würden sich dabei nur unwesentlich verändern (Tab. Annex E - 6).

Der Anteil des Jungwuchses an der Gesamtblattfläche liegt bei 21,6 %. Insgesamt wurden 14.891,8 m² Blattfläche pro Hektar ermittelt. Daraus ergibt sich ein SLA von 144,5 g cm^{-2} für den Jungwuchs, von 163,3 g cm^{-2} für das Stangenholz bzw. 158,9 g cm^{-2} für den Gesamtbestand. Der LAI für den Gesamtbestand beträgt 1,5. Unter Berücksichtigung der systematischen Unterschätzung von -0,33 m² pro Baum der Funktion [6] (Bias, Tab. E-13), wären 2.646,6 m² ha^{-1} dazuzurechnen. Daraus würde sich der SLA auf 187,1 g cm^{-2} und der LAI auf 1,8 erhöhen.

E.7.5 Allometrische Funktionen zur Biomasseberechnung des Stockausschlags

Abb. E-28 und Abb. E-2 zeigen absolute und prozentuelle Anteile von Baumholz- und Blattgewicht der Stockausschlagtriebe. Im gemessenen Durchmesserbereich ist eine starke Schwankung zu erkennen. Der Blattanteil liegt zwischen 10 und 55 % mit Tendenz zur Verringerung bei zunehmendem BD. Die Absolutgewichte erhöhen sich tendenziell auf knapp 2 kg, schwanken aber im Durchmesserbereich 2 – 3 cm unterhalb der Halbkilogrenze mit einer Ausnahme.

Abb. E-30 zeigt die Abhängigkeit der Triebhöhen des Schwarzerlenstockausschlages vom BD bzw. vom BHD. Die Variabilität wird zu 75 bzw. 77 % vom jeweiligen Durchmesser erklärt, wobei auch hier die Steigung der Regressionsgeraden für den BHD höher ist als für den BD. Auffällig ist, dass die Höhenkurve nach Pollanschütz (Abb. E-31) die Höhenverteilung der Triebe nicht ganz trifft. Die gemessenen Höhen liegen im kleinen Durchmesserbereich oberhalb der Höhe von Pollanschütz. Ab einem Durchmesser von 1,5 cm scheint die Tendenz vorzuliegen, dass sie im Bereich von etwa 3 m bleiben, während die Kurve von Pollanschütz stetig ansteigt. Aufgrund fehlender Wertepaare ist diese Tendenz nicht auf den steigenden BHD-Bereich übertragbar.

Abb. E-28: Absolute Anteile der Biomassekompartimente der Schwarzerlenprobetriebe in Abhängigkeit vom BD

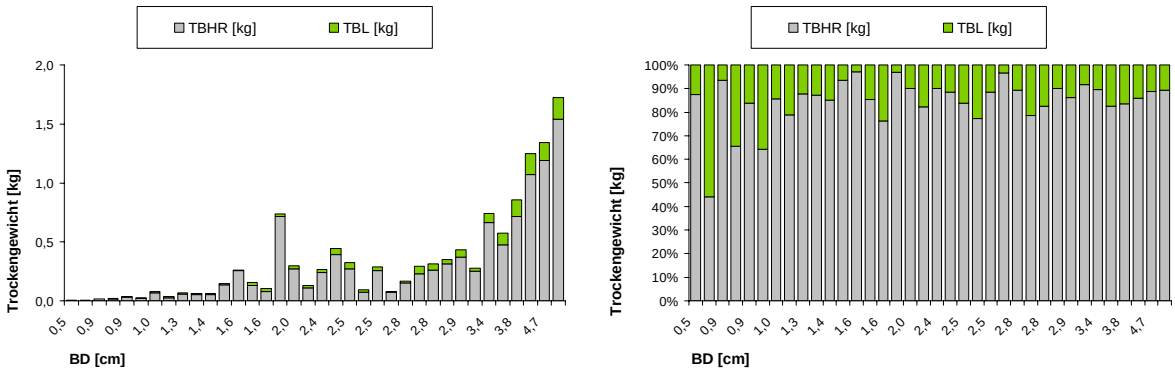


Abb. E-29: Prozentuelle Verteilung der Biomassekompartimente der Schwarzerlenprobetriebe in Abhängigkeit vom BD

Abb. E-30: Triebhöhe H in Abhängigkeit vom BD bzw. BHD

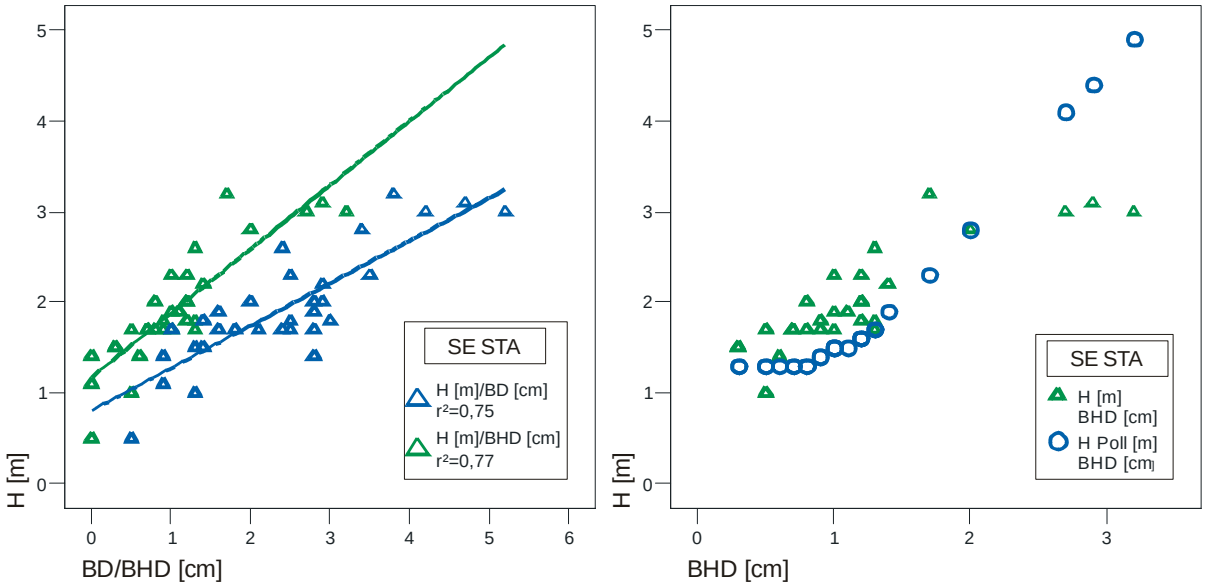


Abb. E-31: Baumhöhen H der Stockausschlagtriebe in Abhängigkeit vom BHD im Vergleich zur Höhenkurve nach Pollanschtz (H Poll)

Tab. E-15 und Tab. Annex E - 8 enthalten die Schätzfunktionen zur Berechnung der Biomasse des Stockausschlags der Schwarzerlen (SE STA) bzw. des Grauerlenjungwuchses (GE JW) für Vergleichsrechnungen. Mithilfe der Logarithmierung (natürlicher Logarithmus) der Parameter Basisdurchmesser (BD) und Höhe (H) konnten höchst signifikante Abhängigkeiten zwischen den Baumparametern und den Biomassefraktionen erarbeitet werden. Mit Bestimmtheitsmaßen r^2 von > 0,77 bei generell geringer Fehlerausprägung (Bias ≤ 0,05, MSE ≤ 0,06, MD ≤ 0,29) eignen sich die genannten Parameter zur linearen Vorhersage bzw. Schätzung der jeweiligen Biomassefraktionen.

Die für die Schwarzerlentriebe höchsten Bestimmtheitsmaße (r^2 ≤ 0,809) sowie die geringsten Bias, MSE und MD zeigen jene Funktionen, die den BD und die Höhe als Produkt inkludieren. Sie werden dementsprechend für die Berechnung der Biomassen herange-

zogen. Da die SAHR-Fraktion nicht von allen Probetrieben besetzt ist und eine höhere Variabilität verursacht (Funktionen [45], [46], [50], [51] in Tab. E-15, wurden die Fraktionen SAHR und ZW zur Fraktion Baumholz (FBHR, TBHR) zusammengefasst (Funktionen [44] und [49]). Damit konnten nicht nur die Bestimmtheitsmaße r² auf 0,95 bzw. 0,89 erhöht, sondern auch Unsicherheiten bei der Erfüllung der Modellvoraussetzungen der Funktionen [50] und [51] ausgeschaltet werden.

Tab. E-15: Allometrische Funktionen zur Biomasseberechnung des Stockausschlags

Datengrundlage		Funktion	R^2	SE	Korrekturfaktor cf ($SE^2/2$)	Freiheitsgrade	Signifikanz F	F-Wert	Konstante c	Koeffizient a	SE Konstante	SE Koeffizient	Signifikanz T	N	MW Abh.	MW Unabh.	SE Abh.	SE Unabh.	Modellvoraussetzungen	Bias	MSE	MD
SE STA	[43]	lnBLFL = c + a*ln(BD*H)	0,8320	0,59	0,17	$F_{1,34}$	0,000	169,0	-2,57	1,28	0,15	0,10	0,00	36	-1,1	1,2	1,4	1,0	erf.	0,02	**0,04**	**0,15**
	[44]	lnFBHR =c + a*ln(BD*H)	0,9490	0,35	0,06	$F_{1,34}$	0,000	627,5	-3,19	1,48	0,09	0,06	0,00	36	-1,5	1,2	1,5	1,0	erf.	0,00	0,02	0,08
	[45]	lnFSAHR =c + a*ln(BD*H)	0,8790	0,44	0,10	$F_{1,28}$	0,000	202,8	-4,15	1,71	0,19	0,12	0,00	30	-1,6	1,5	1,3	0,7	erf.	0,03	0,01	0,06
	[46]	lnFZW =c + a*ln(BD*H)	0,8990	0,40	0,08	$F_{1,34}$	0,000	302,6	-3,53	1,17	0,10	0,07	0,00	36	-2,2	1,2	1,2	1,0	erf.	-0,01	0,01	0,05
	[47]	lnFBL =c + a*ln(BD*H)	0,8280	0,59	0,17	$F_{1,34}$	0,000	164,1	-4,40	1,27	0,15	0,10	0,00	36	-2,9	1,2	1,4	1,0	erf.	0,00	0,00	0,02
	[48]	lnF_ges =c + a*ln(BD*H)	0,9440	0,35	0,06	$F_{1,34}$	0,000	569,8	-2,88	1,41	0,09	0,06	0,00	36	-1,3	1,2	1,5	1,0	erf.	-0,01	0,02	0,10
	[49]	lnTBHR =c + a*ln(BD*H)	0,8900	0,53	0,14	$F_{1,34}$	0,000	276,5	-3,78	1,49	0,14	0,09	0,00	36	-2,1	1,2	1,6	1,0	erf.	0,03	0,02	0,08
	[50]	lnTSAHR =c + a*ln(BD*H)	0,7680	0,63	0,20	$F_{1,28}$	0,000	92,6	-4,55	1,64	0,28	0,17	0,00	30	-2,1	1,5	1,3	0,7	erf.	0,03	0,02	0,07
	[51]	lnTZW =c + a*ln(BD*H)	0,8260	0,53	0,14	$F_{1,34}$	0,000	161,9	-4,18	1,13	0,14	0,09	0,00	36	-2,9	1,2	1,3	1,0	erf.	-0,01	0,00	0,03
	[52]	lnTBL =c + a*ln(BD*H)	0,8090	0,63	0,20	$F_{1,34}$	0,000	144,3	-5,39	1,26	0,16	0,11	0,00	36	-3,9	1,2	1,4	1,0	erf.	**0,00**	0,00	0,01
	[53]	lnT_ges =c + a*ln(BD*H)	0,8950	0,50	0,12	$F_{1,34}$	0,000	290,8	-3,52	1,42	0,13	0,08	0,00	36	-1,9	1,2	1,5	1,0	erf.	**0,02**	0,02	0,08
GE JW	[54]	lnBLFL = c + a*lnD10	0,7810	0,58	0,17	$F_{1,17}$	0,000	60,8	-2,45	1,82	0,25	0,23	0,00	19	-0,8	0,9	1,2	0,6	tw.erf.	**-0,01**	0,23	0,29
	[55]	lnFBHR =c + a*lnD10	0,9270	0,41	0,08	$F_{1,17}$	0,000	214,5	-3,10	2,40	0,18	0,16	0,00	19	0,9	0,9	1,5	0,6	erf.	-0,04	0,03	0,13
	[56]	lnFBL =c + a*lnD10	0,8510	0,48	0,11	$F_{1,17}$	0,000	97,3	-4,26	1,91	0,21	0,19	0,00	19	-2,5	0,9	1,2	0,6	erf.	-0,02	0,00	0,04
	[57]	lnF_ges =c + a*lnD10	0,9260	0,39	0,08	$F_{1,17}$	0,000	211,6	-2,82	2,30	0,17	0,16	0,00	19	-0,7	0,9	1,4	0,6	tw.erf.	-0,06	0,06	0,16
	[58]	lnTBHR =c + a*lnD10	0,9330	0,41	0,08	$F_{1,17}$	0,000	238,0	-3,86	2,54	0,18	0,16	0,00	19	-1,5	0,9	1,5	0,6	tw.erf.	**-0,03**	0,02	0,08
	[59]	lnTBL =c + a*lnD10	0,8050	0,56	0,16	$F_{1,17}$	0,000	70,0	-5,21	1,89	0,24	0,23	0,00	19	-3,5	0,9	1,2	0,6	erf.	-0,01	0,00	0,01
	[60]	lnT_ges =c + a*lnD10	0,9300	0,40	0,08	$F_{1,17}$	0,000	225,9	-3,63	2,45	0,18	0,16	0,00	19	-1,4	0,9	1,5	0,6	tw.erf.	-0,05	**0,01**	**0,06**

Zusätzlich wurden Zusammenhänge über den D10 des Grauerlenjungwuchses hergestellt. Es wurden höchst signifikante Abhängigkeiten der jeweiligen Biomassefraktionen vom D10 festgestellt. Am kleinsten ist das Bestimmtheitsmaß für die Blattfläche mit r² = 0,78. Generell jedoch wird für alle Funktionen des Grauerlenjungwuchses die Erfüllung der Modellvoraussetzungen in Frage gestellt.

Die erarbeiteten Funktionen GE JW wurden an den Probetrieben des Schwarzerlenstockausschlages angewandt, um Unterschiede in der Berechnung der Biomasse aufgrund möglicher, unterschiedlichen Wuchsvoraussetzungen herauszufiltern. Die Fehlerbehaftung der Grauerlenjungwuchsfunktion GE JW ist ähnlich der Schwarzerlenfunktionen (SE STA) ausreichend gering. Eine Ausnahme bildet die Funktion [54] (Blattfläche). MSE mit 0,23 und MD (mittlere absolute Abweichung) mit 0,29 sind erhöht (Tab. E-15), obwohl der Bias mit -0,01 gering ist, womit sich Über- und Unterschätzung annähernd aufheben sollten.

Abb. E-32 und Abb. E-33 vergleichen die besprochenen Funktionen dargestellt am errechneten Gesamtgewicht gegenüber dem Gewicht der Probetriebe bzw. an der Blattfläche. Es ist klar ersichtlich, dass die Funktionen [49] und [52] (lnBD*H) die beste Annäherung bieten. Die übrigen Schwarzerlenfunktionen überschätzen die Gesamtgewichte in einem stärkeren Ausmaß, während die Grauerlenfunktionen [58] und [59] zu einer Unterschätzung führen.

Für die Berechnung der Blattflächen scheint in der Grafik die Funktion [63] (lnBD) die beste Schätzung zu liefern, jedoch zeigte die Kombination von BD und Höhe als Produkt die günstigsten Voraussetzungen mit der niedrigsten Fehlerbehaftung (Funktion [43], Tab. E-15). Die Grauerlenfunktion [54] ergibt eine deutliche Unterschätzung der Blattflächen.

Abb. E-32: Gesamttrockenmassen der Probetriebe versus der errechneten Trockenmassen

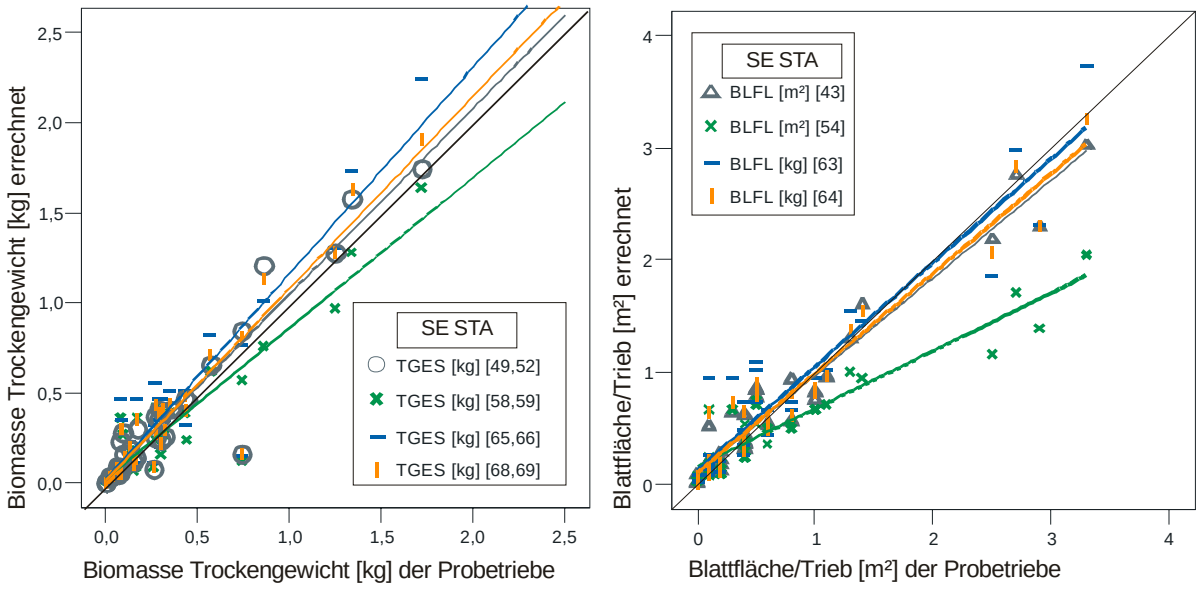


Abb. E-33: Blattflächen der Probetriebe versus errechnete Blattflächen

Abb. E-34: Zusammenhang zwischen den Trockenmassen und dem Produkt von Basisdurchmesser und Höhe der Schwarzerlenstockausschlagtriebe (logarithmiert zur Basis e).

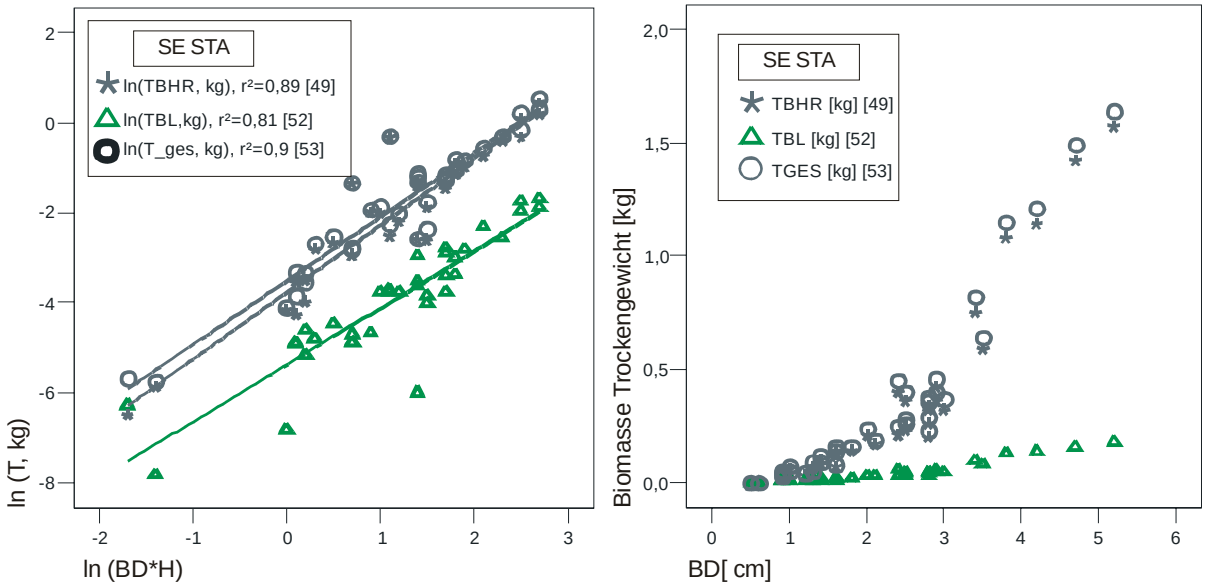
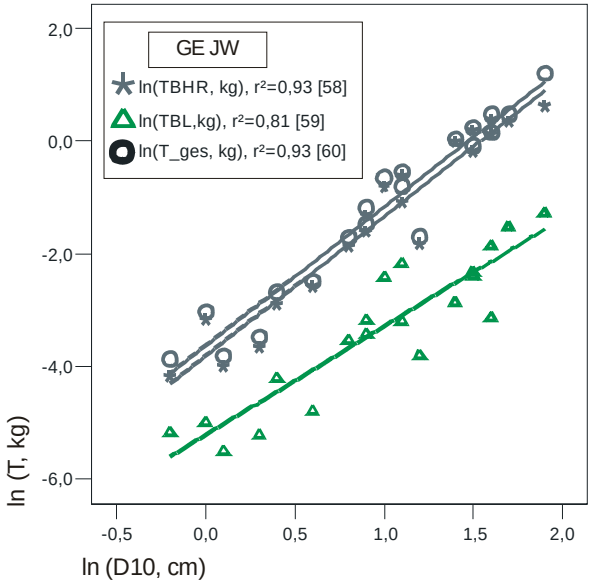


Abb. E-35: Trockenmassen der Schwarzerlenstockausschlagtriebe dargestellt in Abhängigkeit vom Basisdurchmesser (BD)

Abb. E-32 zeigt die logarithmierte Beziehung der Trockenmassekomponenten zum Produkt BD*H der Schwarzerlentriebe. In Abb. E-35 wird die Funktion in Abhängigkeit vom BD dargestellt. Die entsprechenden Pendants für den Grauerlenjungwuchs sind in Abb. E-36 und Abb. E-37 zu sehen. Lässt man die Differenzen zwischen D10 und BD unberücksichtigt, scheinen beide Funktionen (SE STA und GE JW) annähernd ähnliche Trockenmassen für die jeweiligen Durchmessergrößen zu ergeben. Bei Anwendung beider Funktionen an den Probetrieben des Schwarzerlenstockausschlags wird ersichtlich, dass die Trockenmassekurven des GE JW ab einem Durchmesser von etwa 3 cm leicht unterhalb jener der Schwarzerlenkurven liegen (Abb. E-38).

Der Vergleich der Blattflächenfunktionen (Abb. E-40) führt zu einem ähnlichen Ergebnis. Die Abweichung der GE JW-Kurve von der Funktion des SE STA ist hier jedoch deutlich höher.

Abb. E-36: Zusammenhang zwischen den Trockenmassen und dem D10 des Grauerlenjungwuchse (logarithmiert zur Basis e).



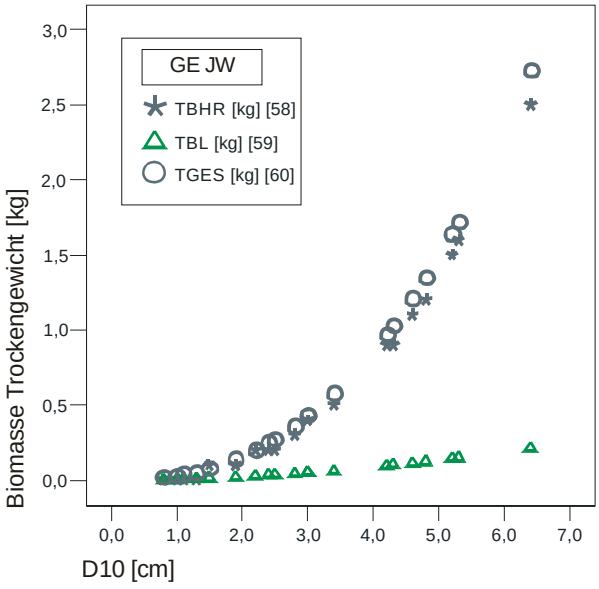


Abb. E-37: Trockenmassen des Grauerlenjungwuchses dargestellt in Abhängigkeit vom D10

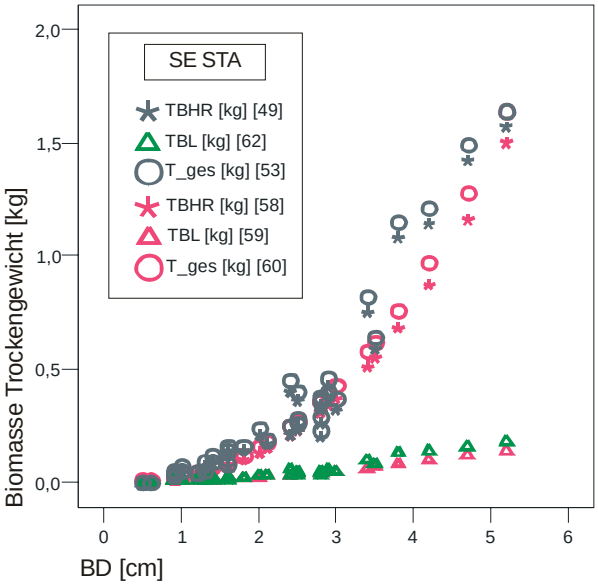


Abb. E-38: Vergleich der Trockenmassefunktionen dargestellt in Abhängigkeit vom Basisdurchmesser (BD) der Schwarzerlentriebe

Abb. E-39: Zusammenhang zwischen Blattfläche und Basisdurchmesser/Höhe (BD*H) der Schwarzerlentriebe bzw. Blattfläche und D10 des Grauerlenjungwuchses (logarithmiert zur Basis e)

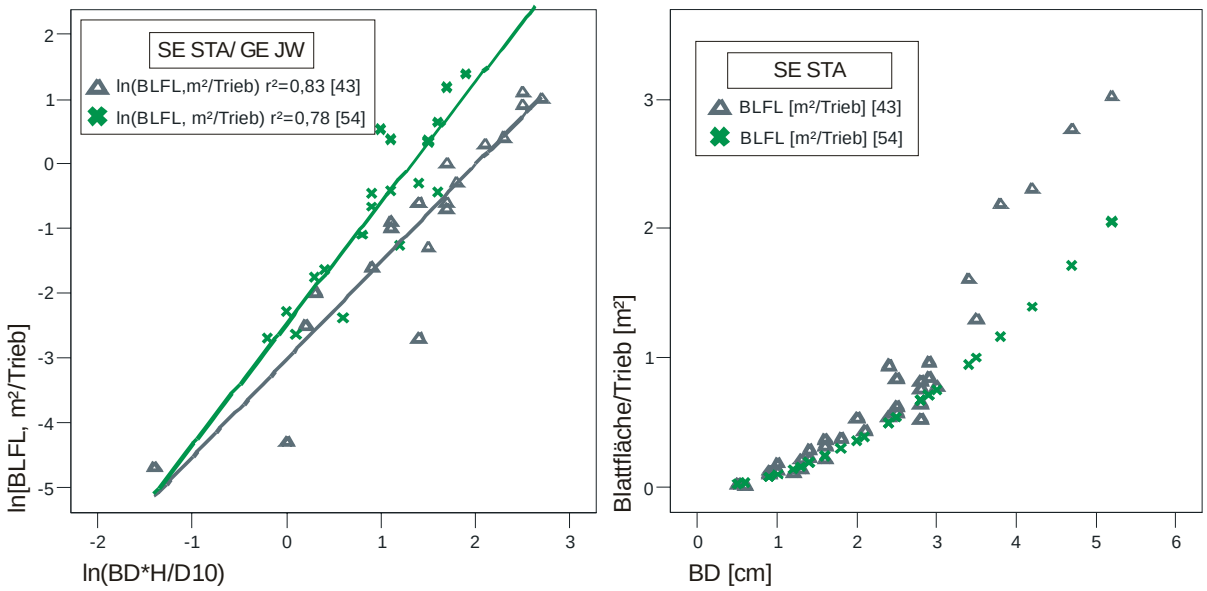


Abb. E-40: Vergleich der Blattflächenfunktionen dargestellt in Abhängigkeit vom Basisdurchmesser (BD) der Schwarzerlenstockausschagtriebe

E.7.6 Biomasse durch Stockausschlag

Tab. E-16 zeigt die Biomassefraktionen (Hektarwerte) des gesamten Stockausschlages, wobei nur lebende Stöcke inkludiert sind. Von insgesamt 620 Stöcken am Hektar nehmen die Schwarzerle 45,2 %, die Hybriderle 29 % und die Grauerle 25,8 % ein. Das Verhältnis der Triebverteilung von 13,7 % : 11,3 % : 75 % (Grau- : Hybrid- : Schwarzerle) zeigt die stark reduzierte Triebbildung der Grauerle bzw. des Hybriden. Den höchsten Anteil an der Gesamtbiomasse hat dementsprechend die Schwarzerle mit 92,7 %. Trotz höherer Triebzahl beträgt der Anteil der Grauerle mit nur 3,1 % weniger als jener des Hybriden (4,2 %).

Über die Schwarzerlenfunktionen (SE STA) wurde über das Produkt der Einzelfraktionen eine Gesamttrockenmasse von 241,2 kg ha^{-1} errechnet. Die Funktion für T_ges ergibt eine Überschätzung von 3,4 %. Für die Frischmasse fällt die Differenz mit 1,1 % noch geringer aus. Die Baumholzfraktion im Trockengewicht nimmt 83,8 % von der Gesamtmasse ein. Bei einer Blattfläche von 643,5 m^2 ha^{-1} beträgt der SLA 163,8 cm^2 g^{-1}.

Die Anwendung der Grauerlenjungwuchsfunktion (GE JW) für die Grauerlen und *A. x pubescens* führt zu einer geringfügigen Erhöhung der Biomassen, wobei diese bei der Frischmasse stärker ausgeprägt ist. FGES beider Arten steigt von 29,1 kg auf 41,3 kg, TGES von 15,4 kg auf 18,2 kg. Dementsprechend verringert sich der mittlere Anteil der Trocken- an der Frischmasse von 53,0 % auf 44,2 % (Tab. Annex E - 12). Die Blattfläche erhöht sich von 47,0 auf 74,4 m^2 ha^{-1}, wodurch auch der SLA steigt.

Tab. E-16: Biomasse des Stockausschlages (Frisch- und Trockenmasse) getrennt nach Erlenarten – Vergleich der Funktionen SE STA und GE JW

Funktion	N/ha (Triebzahl)	N/ha (Stockzahl)	FBHR [kg/ha] [44]	FBL [kg/ha] [47]	F_ges [kg/ha] [48]	FGES [kg/ha]	TBHR [kg/ha] [49]	TBL [kg/ha] [52]	T_ges [kg/ha] [53]	TGES [kg/ha]	BLFL [m²/ha] [43]	SLA [cm²/g]	Funktion
Alnus incana	**1.120**	**160**	8,5	3,4	12,1	11,9	5,1	1,2	6,8	6,4	20,1	**161,4**	*SE STA*
Alnus x pubescens	**920**	**180**	12,6	4,6	17,5	17,2	7,6	1,7	9,8	9,0	26,9	**157,0**	*SE STA*
Alnus glutinosa	**6.115**	**280**	311,8	98,2	414,4	410,0	189,5	36,3	233,1	225,8	596,5	**164,2**	*SE STA*
STA gesamt	**8.155**	**620**	**332,9**	**106,1**	**443,9**	**439,0**	**202,2**	**39,3**	**249,7**	**241,2**	**643,5**	**163,8**	***SE STA***
Funktion			*[55] [44]*	*[56] [47]*	*[57] [48]*		*[58] [49]*	*[59] [52]*	*[60] [53]*		*[54] [43]*		*GE JW SE STA*
Alnus incana	**1.120**	**160**	13,5	5,3	18,4	18,8	6,1	2,1	7,8	8,2	35,2	**164,5**	*GE JW*
Alnus x pubescens	**920**	**180**	16,5	5,9	22,1	22,5	7,6	2,4	9,6	10,0	39,2	**162,7**	*GE JW*
Alnus glutinosa	**6.115**	**280**	311,8	98,2	414,4	410,0	189,5	36,3	233,1	225,8	596,2	**164,1**	*SE STA*
STA gesamt	**8.155**	**620**	**341,8**	**109,4**	**454,9**	**451,2**	**203,1**	**40,9**	**250,5**	**244,0**	**670,6**	**164,0**	
% Alnus incana	13,7	25,8	2,6	3,2	2,7	2,7	2,5	3,2	2,7	2,6	3,1		*SE STA*
% Alnus x pubesce	11,3	29,0	3,8	4,3	3,9	3,9	3,7	4,4	3,9	3,7	4,2		*SE STA*
% Alnus glutinosa	75,0	45,2	93,7	92,5	93,3	93,4	93,7	92,5	93,4	93,6	92,7		*SE STA*
STA gesamt	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0		*SE STA*
% Alnus incana	13,7	25,8	3,9	4,8	4,0	4,2	3,0	5,2	3,1	3,4	5,2		*GE JW*
% Alnus x pubesce	11,3	29,0	4,8	5,4	4,9	5,0	3,7	5,9	3,8	4,1	5,8		*GE JW*
% Alnus glutinosa	75,0	45,2	91,2	89,8	91,1	90,9	93,3	88,9	93,0	92,5	88,9		*SE STA*
STA gesamt	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0		

E.7.7 Veränderung der Biomasse durch die Pflegeeingriffe

Tab. E-17: Biomasse im Bereich der Pflegeeingriffe

		Funktion	N/ha	FSAHR [kg/ha] [6]	FZW [kg/ha] [7]	FBL [kg/ha] [8]	FFR [kg/ha] [9]	F_ges [kg/ha] [10]	FGES [kg/ha]	TSAHR [kg/ha] [11]	TZW [kg/ha] [12]	TBL [kg/ha] [13]	TFR [kg/ha] [14]	T_ges [kg/ha] [15]	TGES [kg/ha]	BLFL [m²/ha] [5]	SLA [cm²/g]	LAI
		Biomasse vor den Pflegemaßnahmen (HW)																
V1	PK 1-10	**SH**	**1.700**	44.140,2	3.237,2	2.956,0	579,0	47.064,1	50.912,5	22.886,3	1.491,8	1.122,2	144,8	25.402,7	25.645,1	16.448,7	**146,6**	**1,6**
		JW	**7.280**	2.759,4	899,9	604,4	72,5	4.384,7	4.336,3	1.420,0	428,8	233,7	13,6	2.238,5	2.096,2	3.489,8	**149,3**	**0,3**
		GB	**8.980**	46.899,6	4.137,2	3.560,4	651,6	51.448,8	55.248,8	24.306,4	1.920,6	1.355,9	158,4	27.641,2	27.741,3	19.938,4	**147,1**	**2,0**
V2	PK 1-10	**SH**	**660**	7.173,5	750,0	636,6	110,9	8.402,9	8.671,0	3.712,9	348,3	242,7	25,9	4.476,0	4.329,8	3.573,9	**147,2**	**0,4**
		JW	**7.020**	3.026,3	978,5	659,2	79,3	4.803,3	4.743,4	1.557,4	466,1	254,9	14,9	2.452,6	2.293,3	3.804,8	**149,3**	**0,4**
		GB	**7.680**	10.199,8	1.728,5	1.295,8	190,3	13.206,1	13.414,4	5.270,3	814,4	497,6	40,8	6.928,6	6.623,1	7.378,7	**148,3**	**0,7**
		Biomassereduktion durch Schnitt [HW]																
V1	PK 1-10	**SH**	**700**	16.148,7	1.208,9	1.096,4	213,1	17.264,6	18.667,1	8.372,7	557,6	416,4	53,1	9.314,1	9.399,7	6.105,5	**146,6**	**0,6**
		JW	**7.280**	2.759,4	899,9	604,4	72,5	4.384,7	4.336,3	1.420,0	428,8	233,7	13,6	2.238,5	2.096,2	3.489,8	**149,3**	**0,3**
		GB	**7.980**	18.908,1	2.108,9	1.700,8	285,6	21.649,3	**23.003,4**	9.792,7	986,4	650,1	66,7	11.552,6	**11.495,9**	**9.595,3**	**147,6**	**1,0**
		STA	**600**	161,4		51,9			**213,2**	98,0		19,2			**117,2**	**314,7**	**163,8**	**0,0**
		GB + STA	***8.580***						***23.216,7***			*669,3*			***11.613,1***	***9.910,0***	***148,1***	***1,0***
V2	PK 1-10	**SH**	**0**	auf den Stock gesetzt						auf den Stock gesetzt								
		JW	**7.020**	3.026,3	978,5	659,2	79,3	4.803,3	4.743,4	1.557,4	466,1	254,9	14,9	2.452,6	2.293,3	3.804,8	**149,3**	**0,4**
		GB	**7.020**	3.026,3	978,5	659,2	79,3	4.803,3	**4.743,4**	1.557,4	466,1	254,9	14,9	2.452,6	**2.293,3**	**3.804,8**	**149,3**	**0,4**
		STA	**640**	504,4		160,4			**664,8**	306,4		59,4			**365,3**	**972,3**	**163,8**	**0,1**
		GB + STA	***7.660***						***5.408,2***			*314,2*			***2.658,6***	***4.777,2***	***152,0***	***0,5***
		Biomassereduktion durch Schnitt [%]																
V1	PK 1-10	**SH**	**58,8**	63,4	62,7	62,9	63,2	63,3	63,3	63,4	62,6	62,9	63,3	63,3	63,3	62,9		
		JW	**0,0**	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
		GB	**11,1**	59,7	49,0	52,2	56,2	57,9	**58,4**	59,7	48,6	52,1	57,9	58,2	**58,6**	**51,9**		
V2	PK 1-10	**SH**	**100,0**	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0		
		JW	**0,0**	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
		GB	**8,6**	70,3	43,4	49,1	58,3	63,6	**64,6**	70,4	42,8	48,8	63,5	64,6	**65,4**	**48,4**		

Abb. E-41 bis Abb. E-44, Tab. E-17 und Tab. Annex E - 13 zeigen die Inhomogenitäten in Bezug auf die Biomasse im Bereich der Pflegeeingriffe sowie die Veränderungen durch die Schnittmaßnahmen auf. Während die Stammzahlen im Jungwuchs in beiden Varianten ähnlich hoch sind, sind beim Stangenholz zweieinhalb mal so hohe Hektarwerte in Variante V1 zu finden, die fast die fünffache Gesamttrockenmasse bzw. Blattfläche bilden. Damit beträgt die Massendifferenz von V1 zu V2 mehr als 21,1 t ha^{-1}.

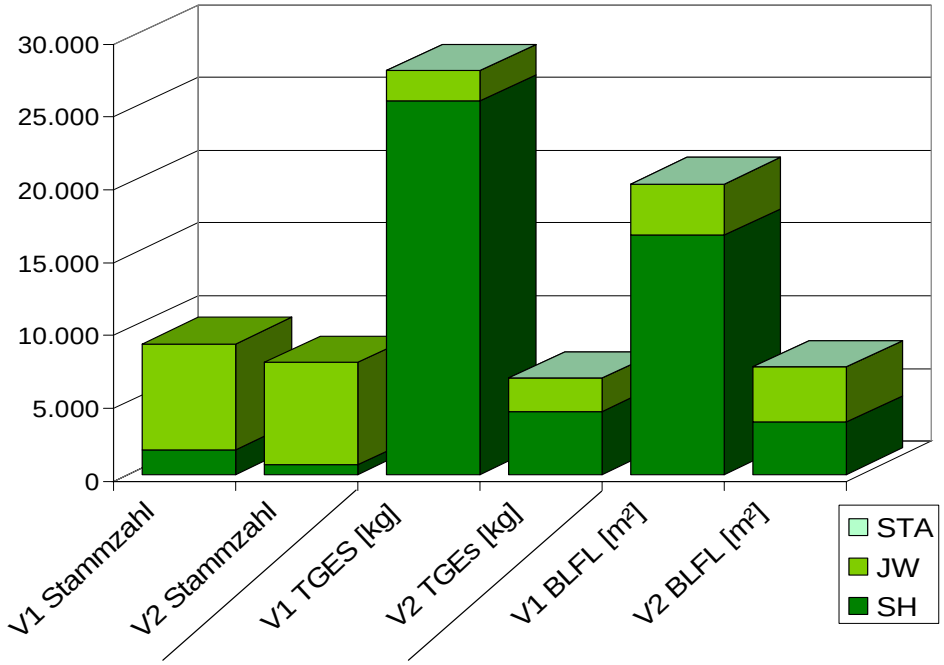


Abb. E-41: Stammzahlen, Biomasse und Blattflächen in Hektarwerten pro Variante für die Entwicklungsstufen Stangenholz (SH) und Jungwuchs (JW) vor dem Pflegeeingriff

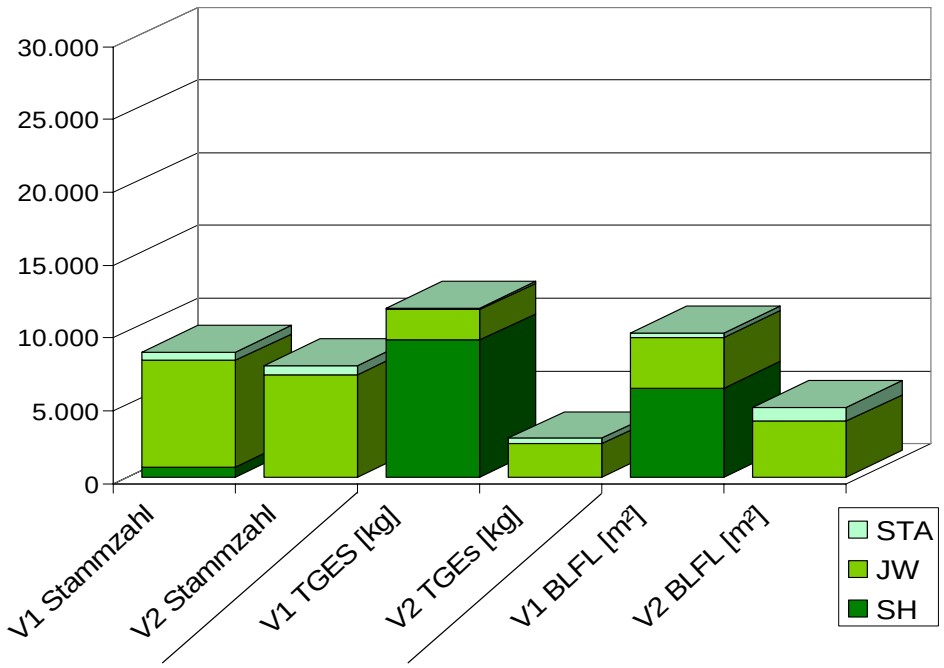
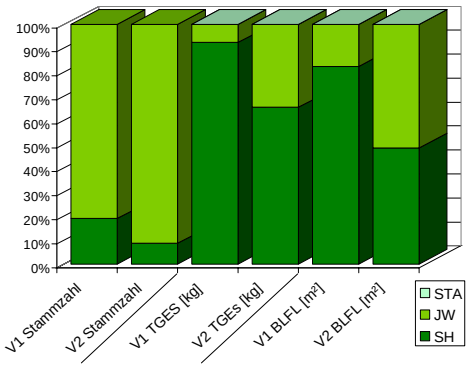


Abb. E-42: Stammzahlen, Biomasse und Blattflächen in Hektarwerten pro Variante für die Entwicklungsstufen Stangenholz (SH), Jungwuchs (JW) und Stockausschlag (STA) 2 Saisonen nach dem Pflegeeingriff

Abb. E-43: Prozentuelle Anteile der Entwicklungsstufen pro Variante vor den Pflegeeingriffen



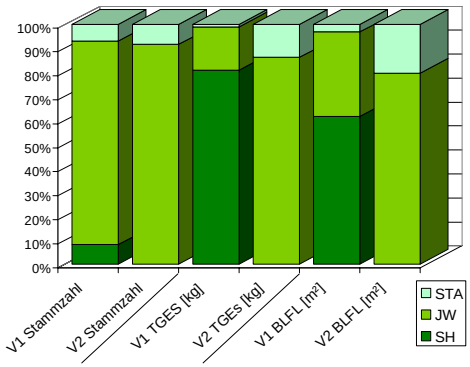


Abb. E-44: Prozentuelle Anteile der Entwicklungsstufen pro Variante nach den Pflegeeingriffen

Im Zuge der Pflegeeingriffe wurde in V2 das gesamte Stangenholz (4,3 t ha^{-1}) entfernt, während durch Selektionsschnitte in V1 das Stangenholz um nur 58,8 % reduziert wurde. 16,3 t ha^{-1} am Gesamttrockengewicht bzw. 10.343,2 m² Blattfläche wurden damit beseitigt. Der Anteil der Biomasse, die entfernt wurde, beträgt im Durchschnitt 63,1% und ist einheitlich über alle Fraktionen.

In V1 wurde an 600 von 1.000 geschnittenen Erlen Stockausschlag beobachtet. Von 660 auf den Stock gesetzten Erlen in V2 wiesen 640 Individuen vitale Triebbildung auf (Abb. E-45). Insgesamt entwickelten sich in V1 aus den 600 Stöcken am Hektar mit 117,2 kg ha^{-1} TGES und 314,7 m² ha^{-1} BLFL nur etwa ein Drittel der Biomasse bzw. Blattfläche von V2 mit 640 Stöcken und 365,2 kg ha^{-1} bzw. 972,3 m² ha^{-1} BLFL.

Abb. E-45 und Abb. E-46 zeigen, dass der Anteil der Grauerlenstöcke in Variante V1 mit 46,7 % bedeutend höher ist als in Variante V2 (6,3 %). Bei einem Triebanteil von 33,3 % werden nur 9,6 % der Gesamttrockenmasse und 14,2 % der Blattfläche gebildet. In Variante V2 werden nur 1,1 % des Gesamttrockengewichtes und 1,2 % der Blattfläche gebildet.

Die Stöcke von *A. x pubescens* sind in Variante V2 schwächer vertreten (25,0 %) als in V1 (33,3%) und weisen dabei nur den halben Anteil an Trieben auf (8,5 % bzw. 15,7 %). 860 Triebe in V2 bildeten jedoch die fünffache Biomasse von 980 Trieben in V1.

Die Schwarzerlenstöcke bilden mit 68,8 % Anteil in V2 89,9 % der Triebe und 94,4 % des Gesamttrockengewichtes bzw. 93,9 % der Blattflächen. Insgesamt ist die Triebentwicklung am Hektar an der Schwarzerle mit 26,5 (V1) bzw. 20,5 (V2) pro Stock am höchsten. Die Grauerle und der Hybrid bilden nur 7,4 bzw. 4,9 Triebe pro Stock in V1 und 4 bzw. 5,3 Triebe pro Stock in V2.

Im Zuge der Pflegemaßnahmen verringerte sich der LAI in V1 von 2 auf 1, in V2 von 0,7 auf 0,5. Der SLA erhöhte sich in V1 von 147,1 auf 148,1 und in V2 von 148,3 auf 152,0.

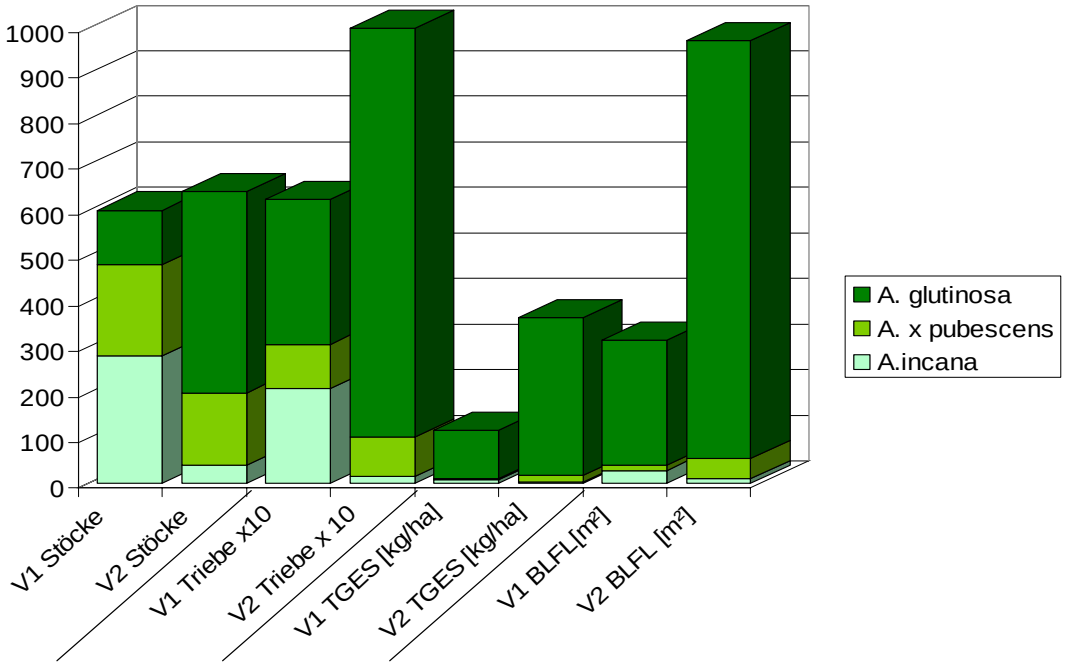


Abb. E-45: Stock- und Triebzahlen, Biomasse und Blattflächen des Stockausschlages in Hektarwerten für die Erlenarten pro Variante

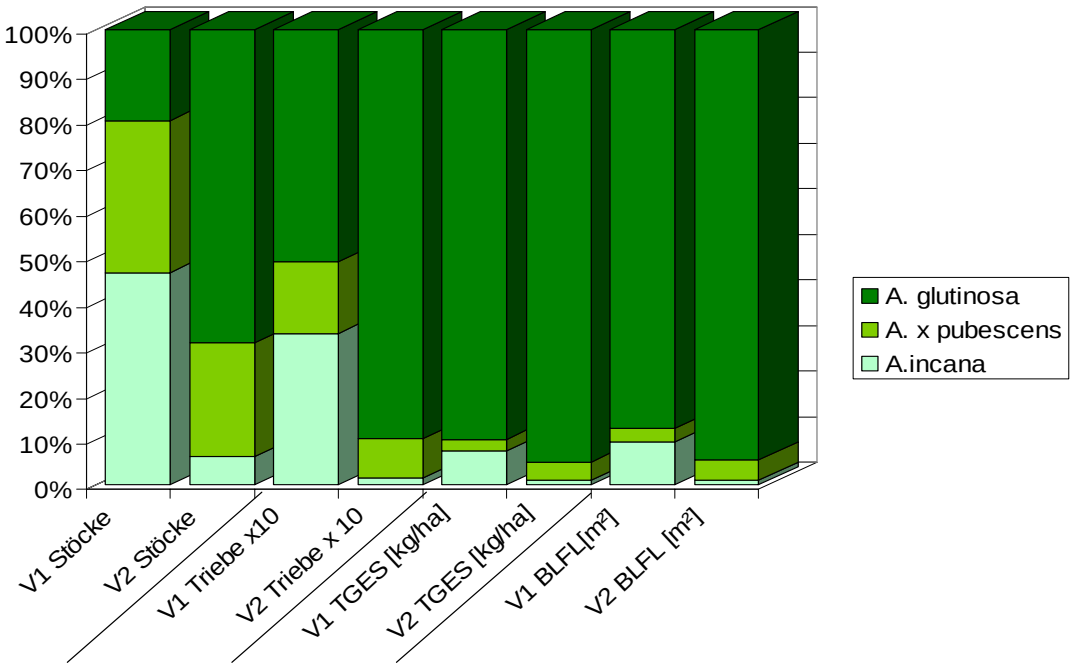


Abb. E-46: Prozentuelle Anteile der Erlenarten am Stockausschlag (TGES: Gesamttrockenmasse, BLFL: Blattfläche)

Tab. E-18: Biomasse des Stockausschlages nach den Pflegeeingriffen

	Funktion	N/ha (Triebzahl)	N/ha (Stockzahl)	[44] FBHR [kg/ha]	[47] FBL [kg/ha]	[48] F_ges [kg/ha]	FGES [kg/ha]	[49] TBHR [kg/ha]	[52] TBL [kg/ha]	[53] T_ges [kg/ha]	TGES [kg/ha]	[43] BLFL [m²/ha]	SLA [cm²/g]	Funktion
V1 PK 1-10	*Alnus incana*	**2.080**	**280**	11,8	4,9	17,0	16,7	7,1	1,8	9,5	8,9	29,6	**160,8**	*SE STA*
	Alnus x pubescens	**980**	**200**	3,9	1,7	5,6	5,5	2,3	0,6	3,2	2,9	9,9	**160,5**	*SE STA*
	Alnus glutinosa	**3.184**	**120**	145,7	45,3	192,9	191,0	88,6	16,8	108,5	105,4	275,2	**164,3**	*SE STA*
	STA V1	**6.244**	**600**	161,4	51,9	215,6	213,2	98,0	19,2	121,2	117,2	314,7	**163,8**	***SE STA***
V2 PK 1-10	*Alnus incana*	**160**	**40**	5,3	1,8	7,1	7,0	3,2	0,7	4,0	3,9	10,7	**163,4**	*SE STA*
	Alnus x pubescens	**860**	**160**	21,2	7,6	29,3	28,8	12,8	2,8	16,4	15,0	43,9	**156,2**	*SE STA*
	Alnus glutinosa	**9.046**	**440**	477,9	151,1	635,9	629,0	290,4	55,9	357,7	346,3	917,8	**164,2**	*SE STA*
	STA V2	**10.066**	**640**	504,4	160,4	672,3	664,8	306,4	59,4	378,1	365,1	972,3	**163,8**	***SE STA***
V1 PK 1-10	*% Alnus incana*	**33,3**	**46,7**	7,3	13,5	10,2	10,4	8,6	13,6	9,1	9,6	14,2		
	% Alnus x pubesce	**15,7**	**33,3**	2,4	5,2	4,0	4,1	3,4	5,3	3,6	3,8	5,5		
	% Alnus glutinosa	**51,0**	**20,0**	90,3	81,3	85,8	85,5	88,0	81,1	87,3	86,6	80,2		
	STA V1	**100,0**	**100,0**	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0		
V2 PK 1-10	*% Alnus incana*	**1,6**	**6,3**	1,1	1,2	1,1	1,1	1,0	1,2	1,1	1,1	1,2		
	% Alnus x pubesce	**8,5**	**25,0**	4,0	4,8	4,2	4,2	3,8	4,8	3,9	4,0	4,9		
	% Alnus glutinosa	**89,9**	**68,8**	94,9	94,1	94,8	94,7	95,1	94,0	95,0	94,9	93,9		
	STA V2	**100,0**	**100,0**	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0		

E.8 Diskussion

E.8.1 Bestandescharakteristik des Erlenbestandes

Die Bestandeserhebungen in der Stambachmure gewährleisteten einen Einblick in das Entwicklungsstadium der Erlenaufforstung nach 20 Jahren (Abb. E-47 und Abb. E-48). Erwartungsgemäß bilden die Erlen mit einem Anteil von 72 % die Hauptbaumart. Sie befinden sich in der Entwicklungsstufe Stangenholz mit Oberhöhen (h20 nach Weise) bis 10,3 m. Als Nebenbaumarten sind Vogelbeere, Fichte, Tanne, Ahorn und Weide vertreten, die das Dickungsstadium erreicht haben. Von ihnen reicht lediglich der Ahorn an die Oberhöhe der Erlen heran. Birke, Buche, Heckenkirsche, Holunder und Lärche sind ausschließlich im Jungwuchs vertreten. Die Artenvielfalt, die sich auf die BHD-Klasse ≤ 4 cm beschränkt, zeigt dass eine Baumartenfolge durch Naturverjüngung eingesetzt hat.

Laut HELMS (1998) werden Bestände mit über 80 % Anteil von einer Spezies als Reinbestände bezeichnet. Die Anwendung dieser Vereinbarung für den Bestand der Stambachmure gilt als gerechtfertigt, da bei einer Kluppschwelle von BHD ≥ 4 cm dieses Kriterium sowohl auf Stammzahl- als auch auf Schaftholzvolums- und Grundflächenbasis erfüllt ist.

Abb. E-47: Geschlossener Erlenbestand in der Stambachmure (2002)

Abb. E-48: Gegenhangaufnahme des Erlenbestandes in der Stambachmure unterhalb der Zwerchwand (2002)

Die Dominanz dünner Stämme im Gesamtbestand ist stark vom großen Verjüngungsanteil der Erlen beeinflusst und anhand des Bestandesalters erklärbar. Die Brusthöhendurchmesser des 20-jährigen Bestandes liegen unter 20 cm, ältere Bäume beschränken sich im gesamten Rutschbereich auf lokale Einzelindividuen. Dies sind vordergründig Fichten, die während des Rutschvorganges nicht zu Bruch gekommen sind.

Nach SCHÜTT et al. (1994, S.III-2 4f) beschränkt sich die Bildung von Wurzelbrut von Erlen auf Bäume über 25 Jahre und auf Entfernungen bis 6 m vom Stamm. Dies kann für die Erlen der Stambachmure nicht bestätigt werden. Das außergewöhnlich hohe Verjüngungspotenzial ist auf Ausläuferbildung und Wurzelbrut zurückzuführen. Eigene Untersuchungen an Wurzelsystemen von 12- bis 20-jährigen Heckenbuschlagen und Holzkrainerwänden zeigten ebenfalls reichlich Wurzelbrutbildung der Grauerlen (STANGL et al.; 2007, S17f; STANGL, 2007, S.292f; STANGL und SCARPATETTI, 2005, S.29f).

Auffällig sind die hohen Hektarwerte im Jungwuchs, wodurch die BHD-Verteilung stark linksverzerrt ist. Mehr als 75 % aller Stämme sind im Jungwuchsstadium zu finden, was auf das starke Ausschlagevermögen aus Wurzelbrut der *Alnus*-Arten zurückzuführen ist. Mehrstämmige Individuen wurden zusätzlich besonders häufig beobachtet. Hohe Stammzahldichten sind daher typisch für Grauerlenjungbestände.

Anhand der Archivunterlagen (BAMMER, 1984a, vergl. Block B) geht hervor, dass die Aufforstung der Stambachmure mit Grauerlen, unterstützt von Vogelbeere und Ahorn geplant war. Die Anwesenheit von *A. glutinosa* und *A. x pubescens* in allen Altersstufen lässt vermuten, dass das gelieferte Pflanzenmaterial bereits mit allen drei Arten durchmischt war und keine Folge der Naturverjüngung ist. Die vollhydromorphen Bodenformen der Stambachmure rechtfertigen die Präsenz der Schwarzerle in der für sie bereits am oberen Limit liegenden Höhenstufe. Jedoch konnten im Archivmaterial keine Aufzeichnungen über die Pflanzarbeiten und damit keine Informationen über verwendetes Pflanzenmaterial bzw. -menge ausfindig gemacht werden. Bei genauerer Betrachtung der Artenverteilung im Gelände (in SAVERSCHEL, 2003, S.52ff und STANGL, 2004, S.B23) sind lokale Schwerpunkte der einzelnen Arten zu erkennen, die vermutlich auf die Pflanzsystematik während der Aufforstungsarbeiten zurückzuführen sind.

Abb. E-49: Rindenbild von *A. x pubescens* in der Stambachmure (2002)

Abb. E-50: Einschränkung der Hybridbestimmung anhand des variablen Blattbildes am Stangenholz (2002)

Der Erlenhybrid *A. x pubescens* zeigt die Merkmale beider Elternarten in sämtlichen Übergängen und ist dadurch schwer bestimmbar. Am natürlichen Standort ist er dort häufig zu finden, wo Schwarz- und Grauerle gemeinsam vorkommen (STEIGLEDER UND KÄTZEL, 2003, S.101f). Zudem tritt er sehr oft unerkannt in den Baumschulen auf (KRÜSSMANN, 1962, S.144), was eine Verunreinigung des gelieferten Pflanzenmaterials erklären lässt. In der Stambachmure erschwerte die Anwesenheit des Hybriden die Bestimmung der Erlenarten bedeutend. Der Habitus entsprach jenem der Grauerlen. Hybridmerkmale waren am Rindenbild, an der Färbung und an der hohen Variabilität am Blattbild zu erkennen, die jedoch am

erwachsenen Individuum ab Baumhöhen über Mannhöhe ungleich schwierig zu identifizieren sind (Abb. E-49 und Abb. E-50).

SCHMIDT (1998, S.125) weist auf die große Variabilität morphologischer Merkmale aller Erlenarten durch spontane Mutation hin. Vermutlich erhöht sich diese zusätzlich bei Stockausschlägen. Die Differenzierung der Hybriderle zur Grauerle und zur Schwarzerle gemäß Tab. E-16 und Tab. E-18, die im Zuge der Diplomarbeit über die Stockausschlaguntersuchungen von SAVERSCHEL (2003) erfolgte, ist dementsprechend kritisch zu beurteilen. Abweichungen am Rindenbild dienten der Unterscheidung zwischen erwachsener Grau- und Hybriderle, waren aber schwierig festzulegen. Nach den Schnittmaßnahmen konnten Habitus und Rindenbild nicht mehr zur Differenzierung herangezogen werden. Typische Blattmerkmale der Schwarzerle an den Stockausschlagtrieben könnten ebenso gut der Hybriderle zuzuordnen sein, zumal bei den vorangegangenen Bestandesaufnahmen das dominante Habitusbild eindeutig dem der Grauerlen entsprach. Schwarzerlen wurden hier nicht registriert.

Aufgrund der vergleichbaren Leistungen in der Biomasseproduktion (URI et al., 2003, S.308f), der großen Ähnlichkeit von erwachsenen Grau- und Hybriderlen in der Stambachmure und den Unsicherheiten bei der Differenzierung der Grau- und Schwarzerlen zur Hybriderle wurde daher der Entschluss gefasst, innerhalb der vorliegenden Arbeit die Erlenarten in Bezug auf die Bestandes- und Biomasseentwicklung kollektiv zusammenzufassen und zu diskutieren.

E.8.2 Qualität der Allometrischen Funktionen für den Erlenbestand

E.8.2.1 Beziehungen zwischen den Baumparametern und den Biomassekomponenten

Der BHD bzw. der D10 der Grauerlen erklären 87 % der Variabilität ihrer Baumhöhen, der Rest wird Standort- und Bestandescharakteristiken zugeschrieben. Die Höhenfunktion von Pollanschütz stimmt mit der Höhenzunahme in Abhängigkeit vom BHD gut überein. Die Abhängigkeit von BHD und D10 zueinander ist erwartungsgemäß sehr hoch. Sie korrelieren zu 99 %.

Die Biomasse der oberirdischen Komponenten der Grauerle kann über Schätzgleichungen durch destruktiv gewonnene Daten anhand leicht ermittelbarer Parameter wie BHD, D10 und Höhe errechnet werden. Mehr als 90 % der Variabilität der Biomassesegmente Schaft-Astholz, Zweige und Blätter wird über den ln-transformierten D10 bzw. BHD erklärt.

Der natürliche Logarithmus der Komponenten zeigt im Allgemeinen eine lineare Abhängigkeit vom natürlichen Logarithmus der untersuchten Baumparameter. Die ln-Transformation stellt die Homoscedastizität[15] weitgehend sicher, womit die Anwendung der linearen Regression gerechtfertigt ist. Unsicherheiten bei der Erfüllung der Modellvoraussetzungen gibt es bei den lnBHD-Funktionen sowie bei der Trennung von Schaft- und Astholz. Letzteres konnte jedoch durch die Zusammenfassung der Komponenten ausgeglichen werden. Vor allem die Schaftholzbiomasse weist starke Schwankungen auf und ist im oberen Durchmesserbereich unterschiedlich ausgeprägt, was sich in einer großen Fehlerbehaftung auswirkt. Die Gründe dafür werden im häufig auftretenden Säbelwuchs, in der sozialen Stellung der Einzelindividuen und der Mehrstämmigkeit der Grauerlen zum einen, zum anderen in der abweichenden Schaftholzausprägung vom Jungwuchs und vom Stangenholz gesehen. Dieser Denkansatz wird in TELENIUS (1999, S.19) wieder gefunden, der zum Ausdruck bringt, dass große Stämme generell wertvollere Biomasse als kleine Stämme und Zweige ausbilden.

[15] Homoscedastizität bezeichnet die gleichmäßige Streuung der Residuen um die Regressionsgerade in allen Teilabschnitten. Sie gilt als eine der Grundvoraussetzungen der linearen Regression.

CARVALHO und PARRESOL (2003, S.274f) stellten fest, dass die Varianz in Kronenmasseschätzungen höher ist als für Stammmassen, da die interne Kronenstruktur, die Anzahl der Zweige und die Holzdichte in den Zweigen variieren. Sie üben damit einen entscheidenden Einfluss auf die Gesamtmasse aus. Die geringeren Korrelationen der Zweigmassen als jene der Fraktionen Schaft-Astholz und Blattmasse unterstützen diese Theorie. Außerdem wird angenommen, dass die Inkludierung des Jungwuchses die Streuung der Zweigmasse zusätzlich erhöht.

Die Fruchtfraktion wies bei allen Funktionsvarianten eine hohe Streuung auf. Für sie konnten die untersuchten Baumparameter nur maximal 45,7 % ihrer Variabilität erklären. Demnach war die Fruchtbildung stark unterschiedlich ausgeprägt. Zusätzlich wurde beobachtet, dass die Jungwuchsbäume und einige der adulten Individuen gar keine Fruchtbildung aufwiesen.

Die Aufnahme der Variable H in die allometrischen Funktionen verbesserte die Modelle deutlich im Gegensatz zu anderen Erfahrungen, die implizieren, dass die Höhenerfassung eventuell weggelassen werden kann. Dies deckt sich mit Erfahrungen von KUMAR et al. (1998, S.154). Die Bestimmtheitsmaße r^2 wurden durch die Inkludierung der Baumhöhe um 0,2 – 0,9 marginal erhöht. Der systematische Fehler (Bias) der Schaft-Astholzfraktion jedoch konnte nur über die Form $\ln(D10^2H)$ essentiell reduziert werden, weshalb zur Bestandesbiomasseberechnung diese Funktionen herangezogen wurden.

Bei WILLIAMS et al. (2003, S.296) wies die Vorhersagefunktion, die die Blattmasse auf Basis der basalen Astdurchmesser beschreibt, einen höheren SE und ein niedrigeres Bestimmtheitsmaß r^2 als die Zweigmassegleichung auf. Sie führen dies auf die größere Sensitivität der Blattproduktion auf jährliche Schwankungen in Umwelteinflüssen und altersbedingten Veränderungen in der Kronenstruktur zurück, da die Zweigmasseakkumulation kumulativ und weniger starken jährlichen Schwankungen ausgesetzt ist. Diese Beobachtungen können in der vorliegenden Arbeit nicht bestätigt werden. Die Blattfunktionen weisen allgemein höhere r^2 und SE, jedoch niedrigere systematische Fehler auf als die Zweigfunktionen.

Für die Berechnung der Blattfläche stellte sich die Funktion lnD10 als die Günstigste heraus. Bis auf die BHD-Funktion mit $r^2 = 0{,}91$ wiesen die anderen Varianten zwar alle ähnliche Bestimmtheitsmaße von etwa 0,93 bei ähnlich hohen SE und generell hoher Fehlerbehaftung auf. Diese konnte bei Ausschluss der Variable H am weitesten minimiert werden. Ausgehend von der Tatsache, dass die Ausprägung der mittleren Blattgröße sehr stark streut und praktisch keinerlei Zusammenhang mit dem Durchmesser besteht, basiert die Abhängigkeit der Blattfläche pro Baum vom Durchmesser rein darauf, dass sich mit zunehmendem Dickenwachstum die Anzahl der Blätter erhöht, worin sich auch ein Zusammenhang mit der Erhöhung des Blattgewichtes manifestiert. Obwohl die Inkludierung der Variable H die Zusammenhänge nicht wesentlich verändert, wird angenommen, dass die Blattflächenausbildung in den jeweiligen Baumhöhen äußerst variabel ist und mehr von saisonklimatischen Faktoren sowie von Bodenbedingungen beeinflusst wird.

E.8.2.2 Fehlerfortpflanzung und generelle Anwendbarkeit

RAYACHHETRY et al. (2001, S.288) weisen darauf hin, dass ein inherenter Bias festgestellt wurde, wenn die ln-transformierten Daten und die Vorhersagewerte zu arithmetischen Einheiten transformiert werden. Die Nicht-Aufsummierbarkeit der Komponenten wird den Diskrepanzen der Anpassungen zugeschrieben, was die Integration eines Korrekturfaktors zur Beseitigung des systematischen Fehlers unumgänglich macht.

Trotz Berücksichtigung des Standardfehlers der Regression bei der Rücktransformation (Kap. E.6.3, WILLIAMS et al., 2003, S.290), wurde eine Fehlerfortpflanzung für die Gesamtbiomasse (errechnet über lnT_ges) im Vergleich zur Summe der Komponentenbiomassen lnTGES festgestellt, die sich ab einem D10 von etwa 12 cm in einer Unterschätzung äußerte. Darunter wurde eine minimale Überschätzung festgestellt, die sich unterhalb eines D10 von etwa 2 cm mehr oder weniger aufhob. Insgesamt wurde die Gesamtbiomasse bei einem Bias

von -0,84 (lnT_ges) bzw. -2,57 (lnF_ges) unterschätzt. Bei Komponententrennung erhöhte sich der Bias der Summe der Einzelkomponenten lnTGES auf 0,16, jener von FGES auf 0,64, d.h. die Summenbildung resultierte in einer Überschätzung bei jedoch deutlich geringerer Ausprägung des systematischen Fehlers.

Die Schwierigkeiten der Eigenschaften der Addivität scheinen mit steigendem Durchmesser zuzunehmen. Ein Indiz dafür ist, dass beim Jungwuchs bzw. bei den Stockausschlagtrieben nur marginale Unterschiede zwischen den Gesamtbiomassen der Funktionen und den Komponentensummen auftreten und die systematischen Fehler mit -0,05 bzw. 0,02 sehr gering sind.

Im Hinblick auf die praktische Anwendung der erarbeiteten Gleichungen für andere Bestände wird geraten, den Parameter Höhe unbedingt zu berücksichtigen, v.a. da davon ausgegangen werden kann, dass die Höhenentwicklung unter anderen Standortbedingungen unterschiedlich ausgeprägt ist. Dies bedeutet einen Mehraufwand bei der Ermittlung der Daten, der aber in Kauf genommen werden sollte. TELENIUS (1999, S.21), der ebenfalls auf Probleme bei der Generalisierung von allometrischen Gleichungen hinweist, sowie ZHANG und BORDERS (2004, S.155) meinen, dass die Genauigkeit bei Biomasseschätzungen steigt, wenn die Beiträge von Gesamtbaumlänge und die Kroneninformationen berücksichtigt werden. Standort- und Altersspezifitäten können dadurch reduziert werden. JOHANSSON (2005, S.256) fand für Grauerlen die beste Korrelation, wenn er Stammhöhen und lebende Kronenhöhe inkludierte. Diese Berichte und in Anbetracht der Tatsache, dass in der vorliegenden Arbeit gerade die Schaft-Astholzmasse, die 74 % der gesamten Biomasse ausmacht, eine hohe Fehlerbehaftung aufweist, werden zum Anlass genommen, für andere Bestände zur Erarbeitung von Regressionsgleichungen mit individuellen Koeffizienten zu ermutigen.

E.8.3 Biomassecharakteristik des Erlenbestandes

E.8.3.1 Biomassecharakteristik

Generell erhöht sich die Biomasse der Kompartimente mit steigendem BHD bzw. D10. Im Vergleich zum Schaft- und Astholz fällt der Anstieg der Absolutmasse von Zweigen und Blättern gering aus, wodurch sich die prozentuellen Anteile dieser Fraktionen nach oben hin verringern. Dennoch ist die Tendenz zu mehr und größeren Zweigen bzw. Blättern eindeutig gegeben. RAYACHHETRY (2001, S.288) sieht Durchmesser und Höhe als Indikatoren für die Dominanz im Bestand, da bei steigendem Blatt- und Zweiganteil mehr Kronenraum besetzt werden.

Der Feuchtigkeitsgehalt der Grauerlen in der Stambachmure liegt bei 49,9%. JOHANSSON (2000, S.155) berichtet in seiner Studie von durchschnittlich 54 % bzw. 67 % in anderen Arbeiten. Der mittlere Blattanteil von 9,3 % ist höher als jener von JOHANSSON (5%, 2000, S.155) Abweichend von seinen Beobachtungen an Grauerlen nimmt der Blattanteil mit steigendem D10 von 18,9 % auf 2,9 % ab, was er jedoch für Schwarzerlen ähnlich beschreibt. Der Zweiganteil variiert von 48 % im niedrigen bis 3,3 % im hohen Durchmesserbereich. Bis zu einem D10 von 1,9 cm überwiegen die Anteile von Zweigen und Blättern, darüber nimmt die Schaft-Astholzfraktion mehr als die Hälfte ein und steigt auf 93,3 %. Dies verdeutlicht, dass im Jungwuchs die Schaftholzentwicklung im Vergleich zur Blatt- und Zweigentwicklung eine untergeordnete Rolle spielt. Erst ab einem BHD von etwa 3 cm dominiert der Holzmassenanteil mit mehr als drei Viertel die Gesamtbaummasse.

E.8.3.2 Bestandesbiomasse

Für die Untersuchungsfläche in der Stambachmure wurden über die Summen der Komponentenbiomasse knapp 18 t Gesamttrockenmasse pro Hektar errechnet. Dies differiert kaum zum Betrag, der über die Gesamtbiomassenfunktion ermittelt wurde. Betrachtet man Stangenholz und Jungwuchs getrennt voneinander, ist die oben beschriebene Diskrepanz in der Über- bzw. Unterschätzung bei dickeren bzw. dünneren Durchmessern erkennbar. Die Komponentensumme zeigte für das Stangenholz eine um 110 kg höhere Masse, während sie für den Jungwuchs um 143 kg weniger Trockenmasse ergab als die Funktion. Für die Frischmasse ist die Diskrepanz mit 2.308 kg beim Stangenholz deutlich höher.

Die Bestandesbiomasse ist vergleichbar mit Werten von JOHANSSON (2000, S.152ff), der für einen nur 10-jährigen Grauerlenbestand mit ähnlicher Stammzahl (7.400 ha^{-1}) 17,9 t Gesamttrockenmasse pro Hektar eruierte. Ein ähnlich alter Bestand (25-jährig) mit 13.133 Stämmen am Hektar wiederum produzierte nur 13,6 t ha^{-1}. Dies und andere Bestände, die untersucht wurden (JOHANSSON, 2000, S.152ff), belegen, dass die Variabilität in der Biomasseproduktivität stark schwankt, sowohl in Bezug auf die Anzahl der Stämme als auch auf die Holzausbildung. Standortfaktoren wie Höhenlage, Bodenbeschaffenheit, kleinklimatische Verhältnisse und saisonale Witterungsbedingungen können als primäre Einflussgröße dafür gesehen werden.

Die Erfahrungen von JOHANSSON (2000, S.152ff) implizieren, dass die Stammzahlen für Erlenbestände mit dem Alter deutlich abnehmen, jedoch Schwarzerlen eine weit höhere Biomasse entwickeln können als Grauerlen mit vergleichbaren Stammzahlen bzw. Alter. In einem Short-Rotation-Forestry-Versuch ermittelte TELENIUS (199, S.21) eine Biomassekumulation einer 5-jährigen Grauerlenpflanzung von 26,7 t ha^{-1}, was er als besonders hohe Ernte für juvenile, ungedüngte und unbewässerte Bestände bezeichnet. Seinen Ausführungen zufolge umfasste der Bestand eine Stammzahl von 6.000 ha^{-1}, was in etwa dem Hektarwert des Jungwuchses in der Stambachmure entspricht, der allerdings nur knapp 1/10 der Biomasse von TELENIUS entwickelte.

E.8.3.3 Blattflächenkenngrößen

Die mittleren spezifischen Blattflächen (SLA) von JOHANSSON (2000, S.147) für Grauerlen von 144 bzw. 161 $cm^2\ g^{-1}$ für Schwarzerlen decken sich mit den Werten der Stambachmure. Für den Gesamtbestand wurde ein SLA von 158,9 $cm^2\ g^{-1}$ geschätzt, für das Stangenholz 163,3 und für den Jungwuchs 144,5 $cm^2\ g^{-1}$. Unter Berücksichtigung der systematischen Fehlunterschätzung der Blattflächenfunktion (Tab. E-13 und Tab. E-14), würde sich der SLA des Gesamtbestandes auf 187,1 $cm^2\ g^{-1}$ erhöhen, was in den oberen Bereich des SLA-Spektrums von 120 – 190 $cm^2\ g^{-1}$ fällt, das JOHANSSON (2000, S.147) nennt.

Der Blattflächenindex (LAI) für den Erlenbestand in der Stambachmure beträgt 1,5 und liegt damit unter den Angaben von MOTTUS et al. (2006, S.508). Sie ermittelten mittels Canopy Analyzer einen LAI von 2,48 bei 10.000 Grauerlen pro Hektar. JOHANSSON (2000, S.147) gibt für seine Grauerlenbestände Werte zwischen 0,18 und 4,2 an, für die Schwarzerlenbestände 0,19 – 8,26. ESCHENBACH et al. (1999, S.29) berichten von einem LAI von 4,8 bei Schwarzerlen. DANNOWSKI und DIETRICH (2006, S.98) recherchierten für Schwarzerlen einen LAI ≤ 5, was sie als niedrigen Wert beschreiben.

Der statistische Fehler für die Ermittlung der Blattfläche in der Stambachmure über die erarbeiteten Funktionen ist relativ groß. Die sich daraus ergebenden Ungenauigkeiten bei der Hochrechnung auf die Bestandesblattflächen bzw. Hektarwerte wirken sich dementsprechend auf die Berechnung des LAI aus. Es ist anzunehmen, dass die Beziehung nicht bestandesunabhängig ist. Vermutlich beeinflussen die Bestandesdichte und –struktur aber auch die Wasserversorgung, die vorherrschenden Klimabedingungen und lokal wechselnde Bodenbedingungen die vorliegenden Ergebnisse wesentlich. Von einer Übertragung auf größere Bestandesteile oder auf andere Bestände wird daher abgeraten.

JONCKHEERE et al. (2004, S.20) betonen, dass der LAI ein dynamischer Parameter ist, der jährlichen, saisonalen und täglichen Schwankungen unterliegt. Die Summe dieser Faktoren und die Schwierigkeiten der Methoden zu seiner Schätzung führen zu einer großen Variationsbreite von publizierten LAI-Werten. Dementsprechend wird die Vergleichbarkeit mit Daten anderer Autoren als eingeschränkt bewertet bzw. wird von einer Bewertung der ermittelten Werte Abstand genommen.

E.8.4 Qualität der Allometrischen Funktionen für den Stockausschlag

E.8.4.1 Beziehungen zwischen den Sprossparametern und den Biomassekomponenten

Der BHD bzw. der BD der Schwarzerlentriebe erklären 77 bzw. 75 % der Variabilität der Triebhöhen. Das ungeklärte Viertel der Variabilität kann neben dem Einfluss von Klima- und Standortfaktoren auf den Vitalitätszustand der Stöcke, auf die Stockposition und damit auf die Lichtverhältnisse zurückgeführt werden.

Auffällig ist die Abweichung der Höhenverteilung der Stockausschlagtriebe von der Höhenfunktion nach Pollanschütz. Während die kleinen Durchmesser größere Höhen liefern, ist die scheinbare Tendenz zu stagnierenden Höhen ab einem BHD von etwa 1,5 cm mit großer Vorsicht zu genießen. Der vorliegende Stichprobenumfang umfasst die Triebbildung vier Saisonen nach den Schnittmaßnahmen mit BHD bis zu 3,2 cm. Die Einschätzung eines Trends anhand der vorliegenden Ergebnisse wird als nicht zulässig eingestuft. Grundsätzlich ist eine stetige Höhenzunahme in den unteren Durchmesserklassen erwartbar, die jedoch beim Stockausschlag durch konkurrenzbedingten Triebausfall beeinflusst wird. Ob die Höhenzunahme der sich durchsetzenden Triebe dem Höhenmodell von POLLANSCHÜTZ folgt, müsste anhand Untersuchungen an älteren Trieben verifiziert werden.

Die Biomasse der Schwarzerlentriebe kann über Schätzgleichungen durch destruktiv gewonnene Daten anhand der Parameter BD und Höhe errechnet werden. Mehr als 76 % der Variabilität der Biomassesegmente werden über den ln-transformierten BD erklärt. Die Mitberücksichtigung der Variable Höhe verbessert die Bestimmtheitsmaße r^2 der Modelle auf mindesten 0,80. Für alle Modelle gilt, dass die Fehlerbehaftung im Gegensatz zu den Modellen des Grauerlengesamtbestandes gering ist. Die Überprüfung der Funktionen für den Grauerlenjungwuchs führte zu analogen Ergebnissen, Bias und MSE lieferten ähnliche Werte. Daraus lässt sich schließen, dass die unterschiedliche Ausprägung des Stangenholzes größere Unsicherheiten in die Modelle einbringt und Über- und Unterschätzungen durch die Regressionsanpassungen weniger gut ausgeglichen werden können als bei jungen Beständen.

Die besten Ergebnisse für den Stockausschlag werden über die Zusammenhänge mit dem natürlichen Logarithmus von BD x H erzielt. Sie stellen die Erfüllung der Modellvoraussetzungen sicher. Die Trennung der Baumholzkomponenten erwies sich jedoch als ungünstig, was auf die beschränkte Entwicklung von Schaft- und Astholz der jungen Triebe zurückgeführt wird. Eine Zusammenfassung der Baumholzfraktionen schien für den Schwarzerlenstockausschlag daher sinnvoller, zeigte höhere Korrelationen und sicherte Homoscedastizität. Die Fehlerfortpflanzung für die Funktionen der Gesamtbiomasse ergab Diskrepanzen von 3,2 % im Vergleich zur Summe der Komponentenbiomasse.

E.8.4.2 Vergleich der Schätzfunktionen für den Stockausschlag und den Jungwuchs

Die Biomassefunktionen für den Grauerlenjungwuchs ergeben durchwegs hohe Korrelationen zum ln-transformierten D10 ($r^2 \geq 0{,}81$). Zu Vergleichszwecken wurde die Biomasse des Stockausschlages auch über die GE JW-Funktion berechnet. Für die

Probetriebe ergab sich daraus eine durchschnittliche Unterschätzung von -0,05 kg pro Trieb. Der Vergleich der Funktionskurven zeigte, dass im BD-Bereich von 3,5 bis etwa 5 cm die Abweichungen voneinander am größten sind.

Widersprüchlich ist, dass die Berechnung der Biomasse für die Stockausschlagtriebe von *A. incana* und *A. x pubescens* über die Grauerlenjungwuchsfunktion zu einer Erhöhung führte. Dies lässt sich dadurch erklären, dass die Triebparameter für die Biomasseberechnung nach 2 Saisonen sehr klein ausfielen und in diesem Bereich die Kurve der GE JW-Funktion oberhalb jener der SE STA-Funktion liegt. Daraus ist ableitbar, dass für die Berechnung des Stockausschlages die Anwendung der Grauerlenjungwuchsfunktion ungünstig ist.

Vermutlich ist dies auf eine abweichende Triebausbildung aus Wurzelbrut von jener aus Stockausschlag eher zu schließen als auf Unterschiede in den Arten. RYTTER et al. (2000) merken an, dass die Sprossbildung aus Wurzelausläufern in geraden Stämmen hoher Qualität resultiert. Die beiden Funktionskurven zeigen mit zunehmendem BD sich unterschiedlich ändernde Steigungen. Dies unterstützt die These, dass die Holzentwicklung, v.a. jene des Schaftholzbereiches im Jungwuchs aus Wurzelbrut und Wildlingen anders verläuft als für Stockausschlagtriebe.

Zusätzlich verfälschend bei der Anwendung der Jungwuchsfunktion für den Stockausschlag wirkt sich vermutlich die Verwendung des BD für die Biomasseberechnung aus, da die Funktion selbst über den D10 erstellt wurde. Der Durchmesser in 10 cm Höhe ist naturgemäß kleiner als der Basisdurchmesser und würde daher geringere Biomassen ergeben.

Die Bedeutung der genetisch- und artbedingten unterschiedlichen Entwicklung von Grau-, Schwarz- und Hybriderlen im frühjuvenilen Stadium wird geringer eingestuft als die Unterschiede zwischen Stockausschlag- und Wurzelbruttrieben. URI et al. (2003) gehen ebenfalls von ähnlicher Masse- und Nährstoffproduktion von *A. incana* und *A. x pubescens* bei gleichen Wachstumsbedingungen aus. Dies führte zur Entscheidung, für die Berechnung der Biomasse des Stockausschlags aller drei Erlenarten einheitlich die SE STA-Funktionen heranzuziehen.

E.8.5 Biomasseverhalten der auf den Stock gesetzten Erlen

E.8.5.1 Biomassecharakteristik der Stockausschlagtriebe

Der Trockenmasseanteil 4-jähriger Stockausschlagtriebe liegt bei 53,7 % und ist ähnlich für alle drei Arten. Für eine gleichaltrige Grauerlenpflanzung ermittelte TELENIUS (1999, S.17) niedrigere Werte von nur 41,6 %. Die Blätter sind mit 62,9 % Feuchtegehalt deutlich feuchter als die Holzfraktionen (39,6 %). Der Blattanteil an der Gesamtmasse ist mit 26,3 % für die Frischmasse höher als für die Trockenmasse (18,2 %).

Tendenziell erhöhen sich die Blattmassen und die Baumholzmassen mit steigendem BD, wobei aber im Durchmesserbereich von 1,5 bis 4 cm eine starke Streuung auffällt. Die prozentuellen Anteile der Blattmasse an der Gesamtmasse schwanken stark zwischen 3 und 35,6 %. Ein Trend zur Erhöhung des Anteils der Baumholzmasse mit steigendem Durchmesser ist erkennbar. Der mittlere Blattanteil der Stockausschlagtriebe an der Gesamtmasse ist mit 12,2 % höher als jener des Erlengesamtbestandes (9,3%). Bäume mit höheren Blattmassefraktionen können mehr Assimilate pro Biomasseeinheit produzieren und für das Wachstum investieren (POORTER, 1998).

Die Schätzung der Gesamtbiomasse aus Stockausschlag anhand von Triebdaten aus dem zweiten Jahr ergab für V1 117,2 kg ha^{-1} bei 600 vitalen Stöcken und für V2 365,1 kg bei 640 vitalen Stöcken am Hektar. Diese Resultate kommen an die Ergebnisse von RYTTER (2000, S.290) heran, der für auf den Stock gesetzte Grauerlen 5 t ha^{-1} im 2. Jahr bei 5.000 Stämmen am Hektar angibt. Diese Menge entspricht auch der jährlichen Biomassenproduktion von 4,6 – 8,8 t ha^{-1} von 2-jährigen Grauerlensetzlingen in NILSSON (1992).

E.8.5.2 Triebbildung und Stockmortalität

In der Stambachmure gestaltete sich der Stockausschlag in den beiden Pflegevarianten unterschiedlich. Während in V2 97 % der Stöcke vital blieben, war die Stockmortalität in V1 mit 40 % sehr hoch. Diskrepanzen zeigten sich auch in der Triebentwicklung. Verglichen für dieselbe Stockanzahl bildeten sich in V1 nur 66 % der Triebe von V2, die zusätzlich stark abweichende Biomassen produzierten. Die Gesamtmasse und die Blattflächen waren in V2 um fast zwei Drittel höher als in V1.

Zurückzuführen ist dies auf die unterschiedliche Verteilung der drei Erlenarten und ihre Divergenzen im Stockausschlagverhalten in der Stambachmure (Abb. E-51 und Abb. E-52). In V1 sind fast die Hälfte der Stöcke Grauerlen, die jedoch nur knapp 10 % der Biomasse liefern. In V2 ist der Anteil der Grauerlen weniger als ein Zehntel, sie produzierten nur 1,1 % der Biomasse.

A.x pubescens ist in V2 weniger häufig vertreten wie in V1. Weniger Triebe produzierten jedoch die fünffache Biomasse. Eindeutig überlegen war *A. glutinosa*, die die höchste pro Stock-Triebentwicklung am Hektar in beiden Varianten zeigte. In V1 bildeten 20 % Schwarzerlenstöcke über 50 % der Triebe und 86 % des Gesamttrockengewichtes. In V2 produzierten 69 % Schwarzerlenstöcke 90 % der Triebe und 95 % der Gesamtbiomasse.

Abb. E-51: Stockausschlag von *A. glutinosa* 1 Jahr und 4 Monate nach den Schnittmaßnahmen in der Stambachmure (2002)

Abb. E-52: Eingeschränkte bis häufig keine Triebentwicklung an A. incana in der Stambachmure (2002)

Dies widerspiegelt die Ergebnisse der Diplomarbeit von SAVERSCHEL (2003, S.48ff), die das Stockausschlagvermögen der Erlen in der Stambachmure an insgesamt 164 Stockindividuen im Detail beschreibt. *A. glutinosa*, meint sie, war den anderen Spezies sowohl in der Sprossanzahl als auch in ihrer Entwicklung überlegen und erreichte Wuchshöhen bis zu knapp 150 cm. Die Mortalitätsrate der Schwarzerlenstöcke lag nur bei 7 %, die der Sprosse bei nur 5 %, war allerdings für die Schnittart "schräg" (Schnittebene 45° zur Stammachse) erhöht. Starke räumliche Unterschiede konnten keine festgestellt werden.

Bei *A. x pubescens* kam es lt. SAVERSCHEL (2003, S.48ff) bei 45 % der Stöcke zu keiner Sprossentwicklung. Die Vitalität der Sprosse war mit 58 % Ausfall und nur 5 % unbeeinträchtigtem Wachstum stark eingeschränkt. Die Sprosshöhen des Hybriden fielen teilweise ebenfalls hoch aus, waren allerdings geprägt durch räumliche Unterschiede und betrugen im

Mittel nur 50 cm. Die Sprossdurchmesserentwicklung in V2 war vorteilhafter als in V1, in Summe zeigte sie wie auch bei den anderen Arten einen nur kleinen Schwankungsbereich von 4 - 10 mm.

Die Stockmortalität von *A. incana* war mit 59 % sehr hoch, die Sprossentwicklung wies ebenfalls hohe Vitalitätseinbußen auf und machte sich auch in der Sprossanzahl bemerkbar. Das Sprossdickenwachstum lag im durchschnittlichen Bereich, war aber in V1 ebenso wie die Sprossausbildung eindeutig benachteiligt. Das Längenwachstum erreichte in V2 über 120 cm, während es sich in V1 auf knapp 90 cm beschränkt. Die ohnehin wenig vitalen Sprosse der Grauerle und teilweise auch des Hybriden litten zusätzlich unter Wildbelastung.

SAVERSCHEL (2003, S.76ff) konnte keine signifikanten Tendenzen der Triebbildung bzw. Einflüsse von Schnittart bzw. Stockhöhen und –durchmesser ableiten und führt die starken Schwankungen in Bezug auf Stockzahlen, Baumarten und Schnitttechniken an. Damit können FLORINETH's (2004, S.25) Angaben, dass ein glatter Schrägschnitt so nah wie möglich am Wurzelstock die besten Ergebnisse bringt, für die ersten beiden Jahre nach dem Stockschnitt nicht bestätigt werden. BLAKE (1983, S.285) gibt an, dass die Stockhöhe variable, artabhängige Effekte hat, merkt jedoch an, dass die Baumstumpffäule bei niedrigem Schnitt reduziert werden kann. DROPPELMANN und BERLINER (2000, S.350) kommen zu dem Schluss, dass die Biomasseproduktion höher ist, wenn eine bestimmte Stumpfhöhe eingehalten wird. Sie nehmen an, dass der verbleibende Stock so hoch wie möglich sein sollte, wenn die Laubmasse wichtig ist.

E.8.5.3 Ursachen des inhomogenen Stockausschlages

Die Unterschiede in der Stockmortalität und im Stockausschlag lassen sich im vorliegenden Fall nur bedingt auf genetische Differenzen oder Schnittart und -höhe schließen. Vielmehr wird angenommen, dass die inhomogene Stockverteilung und die abweichenden Mikrostrukturen im Gelände die Stockvitalitäten und die Triebbildung stark beeinflussen.

MALLIK et al. (1999, S.6) interpretierten bei Regenerationsuntersuchungen an *Alnus viridis* die Entfernung des Kronendaches als Grund für eine Vitalitätserhöhung und für rascheres Wachstum bestehender Stämme und junger Sprosse. Durch die Vergrößerung des Lichtraumes werden gute Bedingungen für die Regeneration geschaffen. Die Entfernung aller Bäume in Variante V2, die außerdem deutlich geringere Stammzahlen aufwies, bot demnach einen größeren Vorteil für den Stockausschlag als die selektiven Schnittmaßnahmen in V1, wo nur knapp 60 % des Stangenholzes auf den Stock gesetzt wurden. V.a. die unterschiedlichen pro Stock-Triebzahlen deuten stark auf den Einfluss der verfügbaren Lichtmenge auf die Triebbildung hin. Die höhere Biomassebildung auch der Grau- und Hybriderle in V2 entspricht der Annahme, dass sich die Beschattung durch den verbleibenden Bestand in V1 hemmend auf die Biomasseentwicklung auswirkte.

RUPP (2003, S.122) berichtet von teilweise sehr hohen pH-Werten bzw. sehr geringen Sauerstoff-Gehalten von Stauwasser im Vergleich zu Fließwasser. Er interpretiert daraus bessere Wachstumswerte und geringere Mortalität von Verjüngungen, wenn deren Wurzelraum stauwasserfrei ist. Bei zahlreichen Profilgrabungen in der Stambachmure wurde in V 1 Stauwasser bereits ab 50 cm Bodentiefe beobachtet, während im hügeligen Mikrorelief von V2 keine vollständige Wassersättigung in der oberen Bodenschicht bis 80 cm auftrat. Dies unterstützt die These, dass anaerobe Verhältnisse unter Umständen einen ungünstigen Einfluss auf den Stockausschlag ausübten.

RYTTER et al. (2000, S.293) verbinden den Sprossausfall an beernteten Grauerlen eher mit der Anzahl der Ausläufer und ihrem konkurrierenden Einfluss. Sie beobachteten höhere Triebbildung am älteren Bestand und meinen, dass die erfolgreiche Regeneration von Grauerlen weder alters- noch bodensensibel ist. Dies steht in Widerspruch zu BLAKE (1983, S.284), der meint, dass ältere Stockindividuen üblicherweise eingeschränkt treiben im Zusammenhang mit abnehmender Vitalität und dem Verlust an lebensfähigen schlafenden

Knospen. Für *Alnus rubra* recherchierte er weniger als 5 % Überlebensraten bei Durchmessern größer als 35 cm. Trotz meist inverser Beziehung gibt es jedoch einige Arten, die bis ins hohe Alter gut treiben.

Erlen weisen generell ein hohes vegetatives Vermehrungspotenzial auf. MALLIK et al. (1997, S.7) berichten von Grünerlen, dass die Sprosse, die sofort nach der Ernte treiben, am vitalsten blieben. Der vegetative Regenerationsmechanismus lässt Triebe von der geschwollenen Stammbasis entstehen. Damit führt auch die Reduktion von mehrstämmigen Individuen nicht grundsätzlich zu einer reduzierten Vitalität oder Konkurrenzfähigkeit. Die Überlebenden können substanziell konkurrieren, womit die gesamte Stammgruppe durch progressives Wachstum für lange Zeiträume überlebt. Diese These kann auch durch die Beobachtungen an den mehrstämmigen Grauerlen und *A. x pubescens* unterstützt werden. Einzelstockmortalität führte nicht zwingend zum Totalausfall der gesamten Stammgruppe.

Die Inhomogenitäten der Versuchsbedingungen in Bezug auf Stockzahlen, Schnittvarianten, Baumarten und Lichtverhältnisse erschweren die Interpretation und die Aussagekraft der Ergebnisse beim Stockausschlag. Es wird daher eindrücklich angeregt, Untersuchungen zur Trieb- und Biomassebildung nach auf den Stock Setzen unter homogenen Voraussetzungen zu wiederholen.

E.8.6 Auswirkung der Pflegeeingriffe auf die Bestandes- und Biomasseentwicklung

E.8.6.1 Bestandesreduktion

Im Zuge der Schnittmaßnahmen wurden in V1 fast 60 % des Stangenholzes entfernt und damit die Gesamttrockenmasse von 25,4 t ha^{-1} auf 9,3 t ha^{-1} reduziert. Inklusive dem verbleibendem Jungwuchs und dem Stockausschlag betrugen die Hektarmasse nach 2 Jahren 11,6 t und die verbleibende Blattfläche fast 10.000 m^2 ha^{-1}. In V2 wurde die gesamte Masse aus Stangenholz von 4,3 t ha^{-1} zu 100 % entnommen. Jungwuchs und Stockausschlag nach 2 Jahren ergaben 2,6 t ha^{-1} Trockenmasse und 4.800 m^2 Blattfläche.

Während sich die spezifischen Blattflächen von 148,3 (V1) und 152,1 cm^2 g^{-1} (V2) nur geringfügig veränderten und unterschieden, reduzierte sich der Blattflächenindex in V1 auf 1 und in V2 auf 0,5. Beachtlich ist, dass ähnliche Hektarwerte von Jungwuchsstämmen und geschnittenen Stöcken in V2 fast die Hälfte der Blattfläche von V1 hervorbrachte, obwohl das Stangenholz zur Gänze fehlte. Damit wird vor allem die Förderung der Blattflächenausbildung und auch der Biomasseproduktion durch die Schnittmaßnahmen transparent und als positiv eingestuft.

Die Biomasseanalysen in der Stambachmure haben gezeigt, dass der Stammholzanteil ab einem BHD von 3 cm groß ist und der Blattanteil im Verhältnis klein. Eingriffe wie Schnittmaßnahmen verändern dieses Verhältnis kurzfristig. Laut ZENG (2003, S.136) adaptieren sich gestutzte Bäume, um das Blattwachstum und die Blattmassefraktion zu erhöhen, sodass die Assimilatproduktion gefördert wird. Die Assimilatzufuhr wiederum treibt das Baumwachstum an. Dieser Effekt wird in der Forstwirtschaft vor allem bei SRC-Systemen[16] in der Bioenergieindustrie genutzt, um die Biomasseproduktivität zu erhöhen und zu beschleunigen (AREVALO et al., 2006; LABRECQUE und TEODORESCU, 2005; MIRCK et al., 2005; CROW und HOUSTON, 2004; PROE, 1999).

[16] Short-Rotation-Coppice-Systeme: rasche Biomasseproduktion zur Bioenergieerzeugung durch auf den Stock Setzen von Beständen mit hohen Stammzahldichten

E.8.6.2 Standfestigkeit und Einfluss auf den Nährstoffhaushalt

Aus forstwirtschaftlicher Sicht gelten Erlenbestände älter als 80 Jahre als überaltert (RUPP, 2003, S.111). KRÜGER (2003, S.124f) weist auf die Faulkernbildung der Schwarzerle als ihren häufigsten Holzfehler, der zu einer Abstufung der Stammholzqualität führt, hin. Die Faulkernbildung ist begünstigt durch wechselnde Wasserverhältnisse und ist ab einem Alter von 50 Jahren beobachtbar. Die im Alter zunehmende Hohlkernbildung lässt schließen, dass die Standfestigkeit der Schwarzerle über die Zeit abnimmt.

WOHLGEMUTH (2004, S.32ff) stellte über ein Datenrefitting die Oberhöhenfunktion für Schwarzerlen her, die bei einem Bestandesalter von 20 Jahren Oberhöhen zwischen 6 und 20 m zeigen. Der Bonitierungsfächer von LOCKOW (2003, S.81) liegt für dasselbe Alter zwischen 11 und 18 m. Mit 10,3 m Oberhöhe nach Weise liegt der Erlenbestand in der Stambachmure im unteren Drittel der dargestellten Oberhöhenbonitäten[17]. Daraus lässt sich interpretieren, dass das potenzielle Wachstum der Erlen unter anderen Bedingungen höher ist oder sich die gegebenen Standortfaktoren in der Stambachmure auf die Wuchsleistung ungünstig bis behindernd auswirken. Eine Einschränkung der Holzausprägung erscheint durch zusätzlichen Säbelwuchs, verursacht durch Schneedruck, nicht abwegig. Unter Umständen kann dies die Standfestigkeit der Bäume beeinträchtigen und frühzeitige Instabilitäten durch altersbedingte Sollbruchstellen erwarten lassen.

Die guten Ergebnisse in Bezug auf das Regenerationsvermögen der geschnittenen Erlen in der lichtbegünstigten Variante V2 der Stambachmure implizieren, dass Verjüngungsmaßnahmen wie Stockschnitt einem Verlust der Standfestigkeit entgegenwirken können. Nach RUPP (2003, S.114), der ebenfalls auf ausgeprägtes Ausschlagvermögen aus gesunden Stöcken hinweist, sind die Stöcke möglichst tief zu schneiden und Überschattung in der Aufwuchs- und Jungwuchsphase aufgrund von möglichen Zuwachs- und Qualitätsverlusten zu vermeiden. Vorraussetzung ist eine ausreichende Anzahl gesunder Mutterstöcke.

Erlen weisen extreme Lichtbedürfnisse und damit grundsätzlich nur einschichtigen Bestandesaufbau auf (RUPP, 2003, S.112). Sie setzen sich unter Erle oder anderen Laubholzarten nur schwer durch. Freie Flächen bzw. offene Lichtkegel im Oberbestand werden für die Entwicklung benötigt. In diesem Zusammenhang kann die eingeschränkte Triebbildung der teilbehandelten Variante V1 v.a. der Grauerle, die in anderen Arbeiten gute Regeneration aufwies (RYTTER, 2000, S.293), erklärt werden.

Anhand der Erfahrungen in der Stambachmure kann geschlossen werden, dass Selektionsschnitte in Erlenbeständen nicht zum gewünschten Verjüngungserfolg führen. Einzelstammentnahmen sollten auf Auslesedurchforstung, bei der Bäume mit den besten Eigenschaften durch Entnahme ihrer stärksten Konkurrenten begünstigt werden, beschränkt werden. Für eine Bestandesverjüngung der Erlen ist das großflächige Entfernen des Stangen- und Baumholzes vorteilhafter. Die Ausnutzung der besseren Lichtverhältnisse garantiert geringere Stockmortalität, stärkere Triebbildung und höhere Biomassen. Die rasche Erholung des Bestandes und die Aufrechterhaltung der Bestandesfunktionen können damit gesichert werden.

HOCHBICHLER et al. (1994, S.3) weisen darauf hin, dass Pflegeeingriffe sowohl der Erhaltung der Vitalität und der Stabilität der Einzelbäume als auch der Zuwachslenkung dienen. Es soll dabei ein höchstmögliches Biomassen- und Nährstoffniveau erhalten bleiben, um Selbstregulierung und Bestandesstabilität nicht zu gefährden.

Modellsimulationen zeigten die Auswirkungen verschiedener Bestandespflegemaßnahmen und Nutzungsintensitäten auf die Ökosysteme von Laubwaldbeständen (HOCHBICHLER et al.

[17] Die Oberhöhenbonität entspricht der Oberhöhe eines Baumbestandes bei einem bestimmten Alter. Dies ermöglicht, bei gleichem Bestandesalter die Einflussfaktoren des Standortes am potenziellen Wachstum der Bäume zu beschreiben, d.h die Oberhöhenbonitäten bei einem bestimmten Baumalter drücken den Einfluss der Standortfaktoren aus.

(1994, S.3). Die Verminderung der Bestandesdichte und des Überschirmungsgrades hat raschere Nährstoffumwälzung und -mobilisierung aus toter organischer Substanz und erhöhten Biomassezuwachs an verbleibenden Bestandesmitgliedern zur Folge. Übermäßiger Entzug an Biomasse jedoch bedeutet unverhältnismäßig höheren Nährstoffentzug und Verlust der ökologischen Stabilität. Toleranzgrenzen, innerhalb derer die Systeme stabil bleiben und sich Veränderungen anpassen, sollten bei Pflegeeingriffen berücksichtigt und nach Möglichkeit nicht überschritten werden.

HACKER und PAULSON (1998, S.304ff) weisen auf die Schneebruchempfindlichkeit sowohl von Schwarz- und Grauerle wegen ihrer fast senkrecht abstehenden Äste hin. Erhöhte Brüchigkeit im fortgeschrittenen Alter ist charakteristisch für Erlenbestände (s. Abb. 147). Bei kleinflächig durchgeführten Stammvollaufnahmen in der Stambachmure wurde festgestellt, dass Schneebruchschäden in den schnittbehandelten Bereichen deutlich erhöht waren (STANGL, 2004, S.B40). Die Beobachtungen unterstützen die These, dass Schnitteingriffe an intakten Beständen diese zugunsten der Stabilität belasten. HAGER (1988, S.157ff) weist darauf hin, dass zur Verbesserung der Produktionsleisung eine Bestandesreduktion von Vorteil ist, sie stelle jedoch auch eine Störung des Gleichgewichtes dar und kann zur Destabilisierung des Ökosystems führen. Durch Stammentnahmen stellte er neben schnellerer Erwärmung und Abkühlung des Bodens höhere Windgeschwindigkeiten im Kronenraum fest. Während sich in geschlossenen Beständen die Kronen gegenseitig stützen, wurden die Erlen nach der Auslichtung anfälliger gegenüber mechanisch wirkender Kräfte. Unter dem Einfluss äußerer Faktoren wie Schnee- und Windlast kann sich daher die Labilität kurzfristig erhöhen.

In Anlehnung an die Ausführungen von HOCHBICHLER et al. (1994, S.14ff) wird an dieser Stelle hingewiesen, dass jede Arte von Pflegeeingriff ein differenziertes Vorgehen erfordert. Nährstoffanalysen der Biomasse werden als sinnvolle Ergänzung der vorliegenden Arbeit betrachtet. Die aus dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse sollen als Anregung dienen, die Auswirkung von Regenerationsmaßnahmen wie Stockschnitt auf den Nährstoffkreislauf unter Berücksichtigung der verbleibenden toten Biomasse durch das Schnittgut zu untersuchen.

BLOCK F: SYNTHESE UND CONCLUSIO

F.1 Resümee der Resultate

In den vorangegangenen Themenblöcken B bis E wurde versucht, die ingenieurbiologische Leistung eines Erlenbestandes am Beispiel der Stambachmure in Bad Goisern (OÖ) zu quantifizieren und die Wechselwirkungen zwischen Bodenzustand, Bestand und Biomasse und der Bestandeshydrologie (Abb. F-1) aufzuzeigen. Die bodenkundlichen und geologischen Analysen geben Aufschluss über die aktuellen Bodenkonditionen, die durch die Bodenwasservorratsmessungen ergänzt wurden. Mithilfe der Interzeptionsmessungen und der Wasserbilanzmethode wurden Evapotranspirationsraten für den Bestand eruiert und Teilbeständen mit unterschiedlicher Stammzahlreduktion gegenüber gestellt. Die Bestandesdiagnostik gewährleistet einen Einblick in den derzeitigen Entwicklungszustand der Erlenaufforstung und bildete die Grundlage für die Schätzung der oberirdischen Bestandesbiomasse und der Biomasse aus Stockausschlag nach den Schnittmaßnahmen.

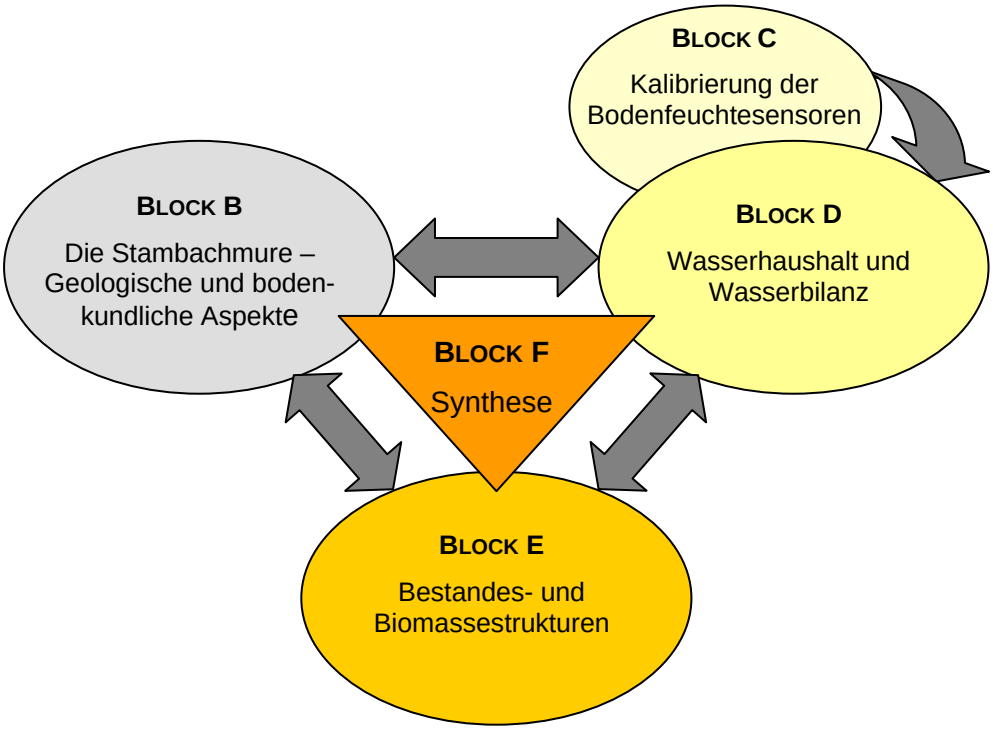


Abb. F-1: Überblick über die Arbeitsstruktur

F.1.1 Resümee zu Block B – Geologische und bodenkundliche Aspekte

Aufgewitterte Fleckenmergel, glaziale Seesedimente und Haselgebirgstone, die stets mit ausgedehnten Massenbewegungen verknüpft sind, bilden das geologische Ausgangsmaterial. Die mineralogischen Komponenten werden weitgehend von Tonmineralen dominiert. Extreme Bodenkonditionen charakterisieren den Standort auch zwanzig Jahre nach der Rutschung und lassen sich folgendermaßen darstellen:

- Die Turbulenzen im Zuge der Massenbewegungen führten zu einer massiven Störung der oberen Bodenschichten. Verlagerung von Humushorizonten und Unterbrechungen durch eingelagerte Stammreste sind charakteristisch.
- Der ursprüngliche Typus des Haftnässepseudogleys tritt häufig in seiner Extremform, dem Stagnogley, auf. Der Boden ist bis oberhalb der Mineralbodenkante, die meist bis zur Bodenoberfläche reicht, stauwassergeprägt.
- Die übermäßige Speicherung des Niederschlagswassers ist auf die enorme Wasserhaltekapazität zurückzuführen. Die absolute Dominanz der Tonfraktion mit Anteilen bis knapp 90 % schränkt die Möglichkeit technischer Mittel zur Stabilisierung und Entwässerung des Rutschkörpers bedeutend ein
- Anhand der Tonmineralkomponenten sind zwei Teile des Schuttstroms klar unterscheidbar: Die Randzonen mit hohen Anteilen an aufweitbaren Dreischicht- und Mixed-Layer-Tonmineralen und der Zentralbereich mit chloritgeprägten frischeren Materialien.
- Vor allem die Anwesenheit der quellbaren Tonminerale der Fleckenmergel beeinflusst die hydraulischen und bodenmechanischen Parameter des ehemaligen Rutschkörpers negativ. Die Wasserleitfähigkeit (k-Wert << 10^{-7} m sec^{-1}) ist teilweise völlig unterbunden, Versickerung weitgehend eingeschränkt.
- Erhöhte Kationenaustauschkapazitäten bestätigen den Zwei-Zonen-Trend der Tonmineralanalysen. Trotz günstiger Basensättigung ist jedoch die Nährstoffversorgung durch die ganzjährige Vernässung eingeschränkt.
- Der Sauerstoffmangel durch Stagnationswasser und der dichte Unterboden können als limitierend für die Vegetationsentwicklung betrachtet werden. Die Durchwurzelung der anaerob geprägten Bodenschichten ist reduziert.

F.1.2 Resümee zu Block C – Kalibrierung der Bodenfeuchtesensoren

Die Berücksichtigung der in Teil C diskutierten Aspekte ermutigt, die multiplen Regressionsmodelle der Feldkalibrierung FK 01-03 nach Subsets unter Berücksichtigung von Temperatur und Porenanteil (MR TP S) und der erweiterten Feldkalibrierung EFK 2005 nach Subsets unter Berücksichtigung der Temperatur der (MR T S) für eine Umrechnung der Sensorwerte des CS 615 Water Content Reflectometer als gültig zu akzeptieren. Obwohl die Voraussetzungen für eine Regressionsanalyse partiell nicht erfüllt scheinen, rechtfertigen folgende Überlegungen diese Entscheidung:

- Felddaten erschweren grundsätzlich den Kalibriervorgang, da sie in der Regel nicht die homogenen Bedingungen von Labordaten bieten können. Im vorliegenden Fall scheiterten die Versuche einer kontrollierten Laborkalibrierung aufgrund der schwierigen Verarbeitbarkeit des Materials. Zur Verfügung stand lediglich eine eingeschränkte Datenmenge, die sich auf einen kleinen Ausschnitt des erhöhten Feuchtigkeitsbereichs und Werten von ofentrockenen Proben beschränkte.

- Das Aufsplitten der Felddaten reduzierte die Stichprobenanzahl der Subsets auf ein Minimum. Die Qualität der Datengrundlagen und die Voraussetzungen für die Regressionsmodelle sind als suboptimal einzustufen.
- Aus den Grafiken sind ausreichende und eindeutige Argumente interpretierbar, die die Bevorzugung der Modelle getrennt nach Subsets rechtfertigen. Offensichtliche messpunktspezifische Unterschiede legten eine individuelle Kalibrierung nach Messvarianten und Bodentiefe nahe.
- Über die Subsets der Feldkalibrierung wurden weit bessere Modelle für den relevanten Feuchtigkeitsbereich erworben als für die Gesamtdatensets. Der lineare Kalibrieransatz lieferte befriedigende Lösungen, während sich die Polynommodelle als nicht zielführend erwiesen.
- Augrund von Beobachtungen im Feld, den Ergebnissen der erweiterten Feldkalibrierung sowie Erfahrungen aus der Literatur ist die Temperatursensitivität des CS 615 WCR unbestreitbar. Auch wenn die statistischen Ergebnisse zum Teil etwas anderes vorschlagen, erscheint es daher begründet, über multiple Regression die Variablen Temperatur sowie den Porenanteil im Kalibriermodell zu berücksichtigen. Für die Rückrechnung liefern sie die besten Korrekturen der Volumswassergehalte.
- Die Motivation für die Durchführung der erweiterten Feldkalibrierung lag im Bestreben, Messdaten und damit die bodenspezifische Sensorreaktion auch für trockenere Bereiche zu erhalten. Aufgrund der angeführten Einbußen während des Kalibriervorganges wie der Volumsverlust und der ungeklärte Temperaturverlauf muss die einwandfreie Qualität der erweiterten Feldkalibrierung angezweifelt werden. Damit wird der Entschluss erleichtert, die Korrektur der gewonnenen Messdaten in der Stambachmure mit der Variante MR TP S der einfachen Feldkalibrierung zu rechnen.
- Die Daten der Feldkalibrierung decken die für die Stambachmure relevante Feuchtigkeitsspanne ausreichend ab. Die diskutierten Kalibrierungen wurden unter schwierigen Umständen und komplexen, zeitaufwändigen Prozessen erarbeitet und stellen spezifische Beziehungen für den untersuchten Standort dar. Sie können nicht für die generalisierte Anwendung empfohlen werden.
- Wie STAHEL (1999, S.270, 272) betont, zeigen Regressionsrechnungen nur statistische Zusammenhänge und liefern für Kausalzusammenhänge maximal Hinweise. Die vorliegende Studie versuchte, den Messfehler des Sensors über Regressionen auszugleichen. Über die ursächlichen Wirkungen kann im besten Fall mit Hilfe der diskutierten Literaturrecherchen spekuliert werden, was aufgrund der widersprüchlichen Erfahrungen in den Publikationen erschwert wird.

F.1.3 Resümee zu Block D – Wasserhaushalt und Wasserbilanz

Bodenwasserdynamik

- Die Rekordniederschlagsmengen der Jahre 2001 und 2002 beeinflussten das Wasserregime in der ehemaligen Stambachmure wesentlich und verursachten ausgesprochen nasse Bodenverhältnisse.
- Stagnierende Bedingungen bis zum Oberboden waren kennzeichnend über den gesamten Untersuchungszeitraum, wobei der Oberboden bis 30 cm etwas stärker auf Niederschlags- und Trockenperioden reagierte, während die untere Schicht bis 60 cm konstant hohen Wasseranteil aufwies.

- Durch den Rutschvorgang überlagerte Humushorizonte und Holzstrukturen bewirken höhere Wechselfeuchten durch laterale Wasserbewegungen.
- Wassergehaltsdifferenzen zwischen den Messpunkten sind auf Geländeinhomogenitäten wie Buckel- oder Muldenlagen zurückzuführen.
- Der maximale Wasserstand von bis zu 0,79 m^3m^{-3} θ wurde in den Herbstmonaten erreicht und hielt sich während des gesamten Winters.
- Die Tendenz zur Wassergehaltsabnahme in der durchwurzelten Zone im Frühsommer widerspiegelt die steigende Transpiration in der beginnenden Vegetationsperiode.

Interzeption

- Die Interzeptionsraten betrugen für die Baumschicht des Erlenbestandes zwischen 2 und 48 % bei 33 bis 336 mm Niederschlag. Die höchsten Raten traten bei den kleinsten Niederschlagsmengen auf.
- Die Interzeption des unbehandelten Gesamtbestandes (Baum- und Krautschicht) betrug für die Messperiode 2001 19,1 % und für 2002 26%.
- Stammentnahmen verringerten die Interzeption in der ersten Messperiode auf 13,5 % bei Teilreduktion und auf 13,3 % bei Vollreduktion.
- Bis zum Hochsommer im zweiten Jahr erhöhte sich die Interzeption der reduzierten Bestände durch die volle Entwicklung der Krautschicht und durch Stockausschlag annähernd auf das Niveau des unbehandelten Bestandes.

Wasserbilanz und Evapotranspiration

- Die Evapotranspiration in der ersten Messperiode (Juli bis Nov. 2001) betrug 485,3 m für den unbehandelter Bestand (V3), 509,4 mm für den teilreduzierten (V1) und 503,6 m für den vollreduzierten Bestand (V2) bei einer Interzeption von 113,2 mm (V3), 79,7 mm (V1) bzw. 78,9 mm (V2).
- Der unbehandelte Erlenbestand zeigte in der niederschlagsreichen Vegetationsperiode Mai bis Nov. 2002 (994,6 mm) eine Evapotranspiration von 731,8 mm und eine Interzeption von 258,3 mm (26 %).
- Negative Wasserbilanzen wurden für Perioden mit geringen Niederschlägen ermittelt, wobei im unbehandelten Bestand die stärkste Bodenwasservorratsabnahme (-80,6 mm) bei höchster Interzeption (55 %) und Evapotranspiration (95,0 mm) verzeichnet wurden.
- Teilweise höhere Evapotranspirationsraten der reduzierten Bestände sind der Zunahme der Evaporation durch die Flächenfreistellung zuzuschreiben. Dies gleicht die eingeschränkte Interzeption nach Schnittmaßnahmen aus.
- Die Resultate zeigen, dass der 20-jährige Erlenbestand in der Stambachmure einen effizienten Wasserpuffer gegenüber saisonale Niederschlagsinputs auf dem stark vernässten Boden der ehemaligen Rutschfläche darstellt.

F.1.4 Resümee zu Block E - Bestandes- und Biomassestrukturen

Bestandes- und Biomassecharakteristik

- Die Erlenaufforstung in der Stambachmure befindet sich im Entwicklungsstadium Stangenholz und stockt mit 1.230 Stämmen am Hektar. Die natürliche Verjüngung durch Wurzelbrut ist mit 5.793 Stämmen am Hektar sehr hoch. Eine erhöhte Artenvielfalt im Jungwuchs zeigt, dass eine Baumartenfolge durch Naturverjüngung eingesetzt hat.
- 20 Jahre nach der Aufforstung haben die Erlen 18 t pro Hektar oberirdische Trockenbiomasse produziert. Der Blattflächenindex (LAI) beträgt 1,5 bei einer spezifischen Blattfläche (SLA) von 158,9 cm²/g. Der geringe LAI wird auf die geringen Stammzahlen, den hohen Jungwuchsanteil (82,5 %) und die ungünstigen Standortbedingungen zurückgeführt.
- Die Biomasse der Baumkompartimente erhöht sich mit steigendem Durchmesser, wobei eine Tendenz zu mehr und größeren Blättern und Zweigen gegeben ist. Der Feuchtigkeitsgehalt der Grauerlen liegt bei 49,9 %.
- Die Schaftholzbiomasse unterliegt starken Schwankungen und ist im oberen Durchmesserbereich unterschiedlich ausgeprägt. Die Gründe dafür werden im starken Säbelwuchs, in der sozialen Stellung der Einzelindividuen, der Mehrstämmigkeit der Grauerlen und in der abweichenden Schaftholzausprägung zwischen Stangenholz und Jungwuchs gesehen.

Allometrische Beziehungen

- Die Biomasse der oberirdischen Komponenten der Grauerle kann über allometrische Funktionen anhand leicht ermittelbarer biometrischer Parameter geschätzt werden. Mehr als 90 % der Variabilität der Biomassesegmente werden über den Durchmesser in 10 cm Höhe oder den Brusthöhendurchmesser statistisch signifikant erklärt. Die Aufnahme der Variable Baumhöhe verbessert die Modelle in Bezug auf die Fehlerausprägung deutlich.
- Die Basisdurchmesser der Stockausschläge erklären 75 % der Variabilität der Triebhöhen bzw. Biomassesegmente. Der Rest wird auf Klima- und Standortfaktoren, Vitalitätszustand der Stöcke, Stockposition und Lichtverhältnisse zurückgeführt.
- Die Berechnung der Stockausschlagbiomasse über die Jungwuchsfunktionen stellte sich als ungünstig heraus. Die Bedeutung der Abweichungen in der Triebausbildung aus Wurzelbrut von jener aus Stockausschlag wird höher eingestuft als artbedingte Unterschiede im frühjuvenilen Stadium.
- Im Hinblick auf die generalisierte und praktische Anwendung der erarbeiteten Funktionen wird geraten, den Parameter Baumhöhe unbedingt zu berücksichtigen. Grundsätzlich wird die Erarbeitung von Schätzfunktionen mit individuellen Koeffizienten empfohlen, da die Schaft-Astholzmasse eine hohe Fehlerbehaftung aufweist und ein starker Einfluss der Standortbedingungen vermutet wird.
- Von der Verwendung der Koeffizienten unbehandelter Bäume auch für auf den Stock gesetzte Stämme sollte Abstand genommen werden. Die unterschiedliche Ausprägung des Stangenholzes bringt größere Unsicherheiten in die Modelle. Über- und Unterschätzungen können weniger gut ausgeglichen werden als bei den Funktionen juveniler Bestände.

Regeneration durch Stockausschlag

- Erhöhte Stockmortalität und eingeschränkte Triebbildung vermutlich aufgrund zu starker Überschirmung bzw. Stauwasser in der Wurzelzone hatten in der teilreduzierten Variante V1 geringere Biomassen und Blattflächen beim Stockausschlag zur Folge.
- Die Regeneration durch Stockausschlag war bei voller Stangenholzentnahme (Variante V 2) qualitativ und quantitativ besser. Bei vergleichbarer Stockzahl entwickelte sich etwa die dreifache Biomasse bzw. Blattfläche im Vergleich zur teilreduzierten Variante V1.
- Verjüngungsmaßnahmen wie der Stockschnitt wirken einem Verlust der Standfestigkeit entgegen. Großflächiges Entfernen von Stangen- und Baumholz ist für einen guten Stockausschlag vorteilhafter als Einzelstammentnahmen.
- Die Förderung der Blattflächenausbildung und der Biomasseproduktion durch die Schnittmaßnahmen wird als positiv eingestuft, sofern genügend Lichtraum zur Verfügung steht.
- Es wurden keine signifikanten Tendenzen in den ersten zwei Jahren der Triebbildung in Bezug auf Schnittart, Stockhöhen oder –durchmesser festgestellt.

F.2 Bedeutung der Resultate für die Ingenieurbiologie

Die ehemalige Rutschfläche ist als limitierter Standort auch für Erlen, die häufig auf Rutschhängen unter schwierigen Bedingungen vorkommen, einzustufen. Ganzjährige Stauwasserverhältnisse bis zum Oberboden, die auf die geologischen Verhältnisse und die klimatischen Bedingungen zurückzuführen sind (Abb. F-2), verursachen starken Sauerstoffmangel und hemmen somit die Nährstoffversorgung trotz an sich günstiger Basensättigung.

Die Hauptwurzelmasse beschränkt sich auf den oberen Meter des Rutschkörpers. Zunehmender Verdichtungsgrad in den unteren Schichten des stark tonhältigen Bodens verursacht einen Richtungswechsel der Wurzeln bis 90° bei den Grauerlen und führt zu einer flachen Ausbreitung. Selbst die an sich auch auf Tonböden tiefwurzelnden Schwarzerlen (DENGLER, 1992, S.194; KUTSCHERA und LICHTENEGGER, 2002, S.382) sind kaum in der Lage, in die verdichteten Zonen vorzudringen (vergl. STANGL, 2004, S.B33 und SAVERSCHEL, 2003, S.87). Die stark quellfähigen Tonminerale, vorwiegend Smektite und Vermikulite, führen zu einer stark verringerten Wasserleitfähigkeit (k-Wert << 10^{-7} m s^{-1}), die teilweise völlig unterbunden ist, wo Wurzelkanäle fehlen.

Die Bodenwasserdynamik ist geprägt von geringen Tagesschwankungen in der unteren Bodenschicht und niederschlagsabhängigen Fluktuationen im Oberboden, die im Zusammenhang mit kleinräumigen Inhomogenitäten im Mikrorelief und in der Bodenstruktur stehen. In beiden Untersuchungsjahren ließ sich aufgrund niederschlagsreicher Septembermonate die Tendenz einer kontinuierlichen Erhöhung des Wassergehaltes bis zum Herbst ablesen, der sich den ganzen Winter am oberen Niveau hielt. Erst mit Einsetzen des Blattaustriebes im darauf folgenden Frühjahr kam es zu einer Abnahme der Bodenwassergehalte. Die Bodenwasservorratsänderung über den Zeitraum der Vegetationsperiode betrachtet ist gering. Nachdem Versickerung und laterale Wasserbewegungen weitgehend unterbunden sind, zeigt dies, dass der Bestand die hohen Niederschlagseinträge über Interzeption und Evapotranspiration abpuffert.

Die Erlen scheinen die ungünstigen Bodenbedingungen aufgrund ihrer physiologischen Voraussetzungen in Bezug auf die Transpiration zu überwinden. Schwarzerlen kontrollieren ihre stomatäre Leitfähigkeit nicht, was ihnen hohe Transpiration ermöglicht, während dies andere Arten limitiert (ESCHENBACH und KAPPEN, 1999, S.36). Durchschnittliche Tagesevapotranspirationsraten von 4,7 mm d^{-1} trotz geringen Blattflächenindexes (LAI = 1,5) des Erlenbestandes in der Stambachmure (Abb. F-2) bestätigen Angaben über hohe Transpirationsleistung in der Literatur.

Für den Erlenbestand, der sich in der Entwicklungsphase Stangenholz befindet, wurden 18 t oberirdische Biomasse pro Hektar bei Stammzahlen von 7.023 errechnet. Schwankungen in der Schaftholzbiomasse lassen auf Abweichungen in der Holzqualität schließen. Neben starker Säbelwüchsigkeit, der sozialen Stellung der Einzelbäume, der Mehrstämmigkeit und Unterschieden zwischen Stangenholz und Jungwuchs, werden die Gründe dafür vorwiegend in der geringen Bonität des Standortes gesehen. Es muss davon ausgegangen werden, dass die gegebenen Standortfaktoren die Wuchsleistung und die Holzausprägung behindern. Dies könnte zur frühzeitigen Beeinträchtigung der Standfestigkeit und Instabilitäten des Bestandes führen.

Die eingeschränkte Standortqualität und der für Erlen früh einsetzende Laubfall beeinflussen vermutlich den Blattflächenindex des Bestandes. Der niedrige LAI von 1,5 ergibt sich jedoch in erster Linie aus den im Vergleich zu anderen Arbeiten niedrigen Stammzahlen und dem hohen Jungwuchsanteil (82,5 %), bei dem die Laubmasse geringer ausgeprägt ist als beim Stangenholz. Je nach Konkurrenzverhalten kann erwartet werden, dass sich mit dem Übergang in die nächste Entwicklungsstufe der LAI in den nächsten 10 bis 20 Jahren erhöht. Es ist zu erwarten, dass eine Zunahme der Laubmasse und des LAI die Interzeption und Transpirationsleistung steigert.

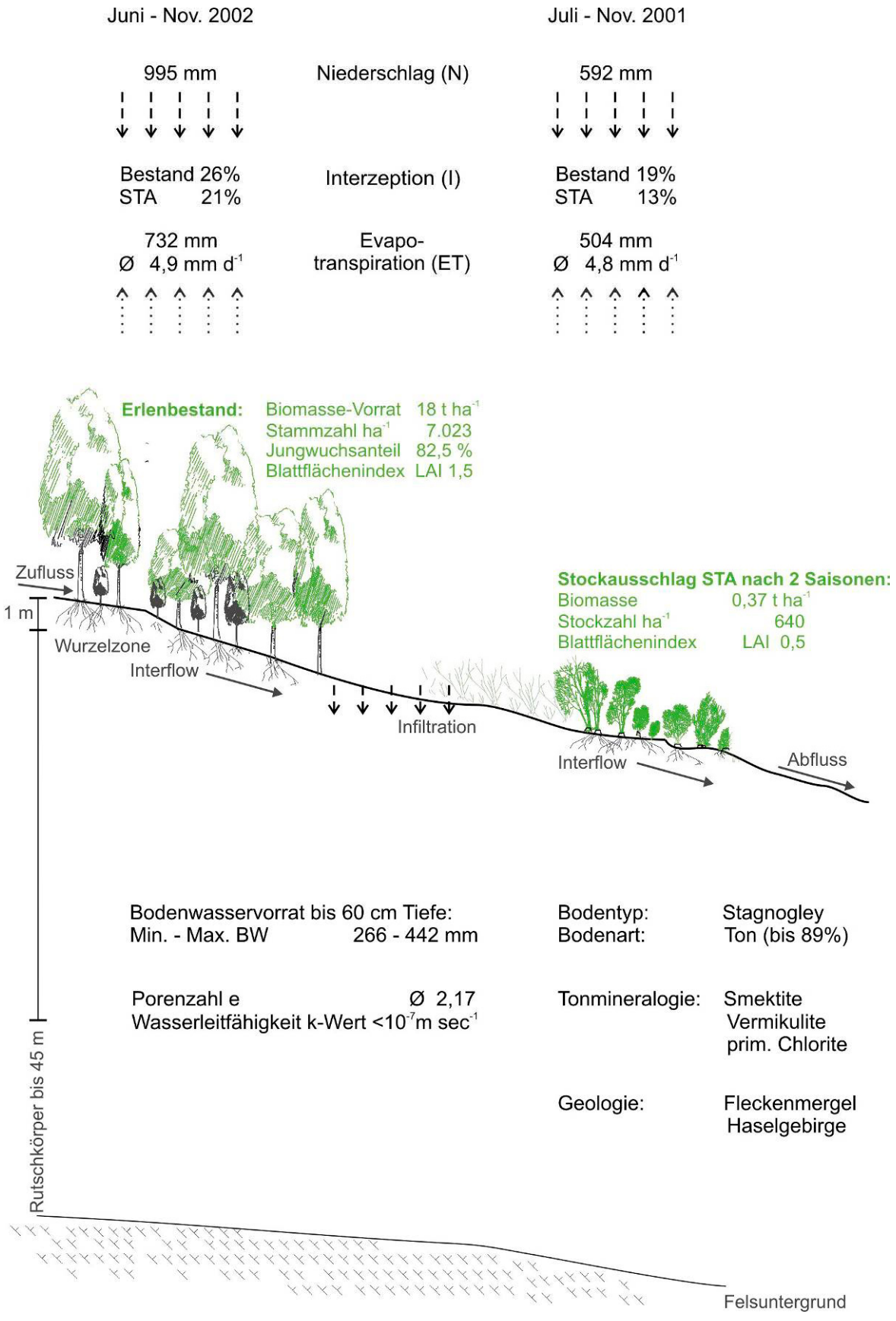


Abb. F-2: Wasserbilanz und aktuelle Bodenkonditionen in der Stambachmure der Jahre 2001 und 2002

Die Förderung der Blattflächenausbildung und der Biomasseproduktion durch Schnittmaßnahmen wird anhand der Ergebnisse in der Stambachmure positiv bewertet. Die Biomasseproduktivität im zweiten Jahr nach dem Schnitt beziffert sich mit 0,37 t bei 640 Stöcken am Hektar. Die Unterschiede in der Biomasseentwicklung innerhalb der Erlenarten werden weniger in artgenetischen Ursachen als in Standortheterogenitäten, vor allem aber im Überschirmungsgrad und der Lichtkonkurrenz gesehen. Großflächige Stangenholzentnahme erwies sich für die Regeneration durch Stockausschlag als vorteilhafter.

Die Stammentnahmen verringerten im ersten Jahr die durchschnittlichen Bestandesinterzeptionsraten von 19 % auf 13 %. Die Freistellung begünstigte jedoch die Entwicklung der Krautschicht. Durch den Biomassezuwachs nach Stockausschlag erreichte der reduzierte Bestand bereits im zweiten Jahr annähernd wieder die Interzeptionsleistung des unbehandelten Bestandes. Es zeigte sich, dass die eingeschränkte Interzeption und Transpiration durch Stammzahlreduktion durch Erhöhung der Evaporation, die HAGER (1988, S.157ff) mit der schnelleren Erwärmung des Bodens und Erhöhung der Windgeschwindigkeit im Kronenraum begründet, weitgehend ausgeglichen wurde.

Nach GRUBER et al. (1998b, S.81) ist die potenziell natürliche Waldgesellschaft rutschgefährdeter Grauerlen- und Fichten-Tannen-Buchenwälder im Salzkammergut ein Grauerlenhangwald. Fichte und Tanne können sich auf diesen wasserreichen Böden nicht halten. Hangrutschungen, Windwurf, Schneeschub und -druck, ein gewisses Alter bzw. Wuchshöhe und Masse ziehen wiederkehrende Ausfälle mit sich und stellen Entwicklungshemmnisse dar. Aufgrund des hohen Verjüngungspotenzials von Pionierbaumarten stellen sich naturnahe Dauergesellschaften ein.

Bewusst muss sein, dass Pflegeeingriffe nicht nur der Bestandesumwandlung dienlich sind. Die Förderung der Regenerationsfähigkeit der Erlen durch Stockschnitt bedeutet neuerliche Dominanz und Lichtkonkurrenz. Dies kann dann von Vorteil sein, wenn dynamische Standortprozesse und ökologische Grenzbereiche andere Arten limitieren bzw. wenn die strukturellen Anpassungsmechanismen der Erlen und die Aufrechterhaltung ihrer biologischen und technisch-physikalischen Leistungen für die individuelle Standortsicherheit gefordert sind.

Der Stockschnitt in der Stambachmure war erfolgreicher bei voller Stangenholzentnahme als bei Teilreduktion und reagierte mit ausreichender Bildung neuer Triebe, raschen Massenzuwachs und Laubentwicklung. Auf dem labilen und sensiblen Gelände ist das hohe natürliche Verjüngungspotenzial als besonders positiv zu betrachten. Erlenbestände sind hier nicht als Vorwaldkultur sondern als Dauerbestände zu sehen, durch regelmäßige Schnittmaßnahmen soll ihre Eigenregeneration unterstützt werden. Zusätzlich werden die Erhaltung der Elastizität und Flexibilität der Einzelindividuen, die Verringerung des Massendrucks auf die Rutschfläche, die Laubentwicklung und die Transpirationsfläche gefördert. Die Kunst liegt darin, den richtigen Zeitpunkt für Pflegeeingriffe zu finden, um nicht die Störung des Gleichgewichtes und eine Destabilisierung des Ökosystems zu riskieren, sondern die ingenieurbiologische Leistung über einen langen Zeitraum zu erhalten.

F.3 Conclusio

- Aus den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit kann resümiert werden, dass auf Rutschflächen mithilfe ingenieurbiologischer Maßnahmen der Zeitraum bis zur natürlichen Besiedelung und Etablierung der Pionierpflanzen sowie ihrer Funktionstüchtigkeit verkürzt werden kann. Damit kann der Eigendynamik und dem damit verbundenen Risiko einer Ausdehnung der Hangbewegungen wirksam entgegengetreten werden.
- Erlenaufforstungen leisten einen wesentlichen Beitrag zur Beeinflussung des Wasserregimes von Rutschflächen, da sie trotz ungünstiger Standortbedingungen ausreichende Biomasseproduktivität und hohe Evapotranspirationsleistung aufbringen. Dies ist vor allem von großer Bedeutung, wo aufgrund der geologischen Bedingungen technische Entwässerung und Stabilisierung instabiler Massen nicht durchführbar sind.
- Schnittmaßnahmen schränken die hydrologische Leistung eines Bestandes für den Zeitraum der ersten Vegetationsperiode ein. Rasche Regeneration, Biomasse- und Blattzuwachs garantieren einen Anstieg der Interzeptions- und Transpirationsraten bereits im zweiten Jahr. Die Voraussetzungen für die Stabilität und Qualität der Verjüngung und des daraus hervorgehenden Bestandes bilden die Vermeidung von zu hohem Überschirmungsgrad und eine ausreichende Anzahl gesunder Mutterstöcke.
- Die vorliegenden Resultate untermauern, dass die extremen Standortbedingungen die Entwicklung des Pionierbestandes in Richtung einer Schlusswaldgesellschaft behindern. Rutschflächen wie jene des Untersuchungsgebietes stellen keinen stabilen Standort für andere Baumarten aufgrund der geologischen Verhältnisse, die nicht beeinflussbar sind, dar.
- Unter diesem Aspekt ist die Umwandlung des Erlenbestandes der Stambachmure in einen tannenreichen Mischbestand weder Erfolg versprechend noch Ziel führend. Auf ingenieurbiologischen Extremstandorten ist seine nachhaltige Aufrechterhaltung zum Schutz der Standortstabilität als Ziel zu sehen. Bei Pflegeeingriffen gilt es, einen Konsens und eine Balance zu finden im Hinblick auf die Bestandesstabiltät, die erwünschte Leistung und die technisch-biologischen Funktionen, die dieser Bestand erfüllen soll und kann.

F.4 Ausblick

Die Kenntnis bzw. Quantifizierung der Biomasseproduktivität und der hydrologischen Leistung ingenieurbiologischer Systeme dient dem Verständnis der Wachstumsdynamik und der Leistung von Beständen, an die hohe Schutzanforderungen gestellt sind. Um ingenieurbiologische Methoden für Stabilisierungszwecke erfolgreich einsetzen und gezielt lenken zu können, ist es wichtig, das Wirkungsgefüge Boden-Pflanzenbestand-Hydrologie, dessen Dynamik und Prozesse weiter zu durchleuchten.

Die Ingenieurbiologie ist eine traditionelle Technik, aber eine nur junge Wissenschaftsdisziplin, die weltweit an Bedeutung gewinnt. An dieser Stelle möchte ich meine Kollegen und Kolleginnen ermutigen, den methodischen Ansatz dieser Arbeit auf weitere Themenbereiche auszudehnen und vor allem zu verbessern.

Bezogen auf meine Arbeit stellen folgende Themen eine sinnvolle Ergänzung dar:

- Bestimmung des Stammabflusses sowie der Transpirationsmechanismen von Grauerlen über Saftstrom- und/oder Blattleitfähigkeitsmessungen
- Erhebung der in der Wasserbilanz unberücksichtigten Parameter Zu- und Abflüsse wie Oberflächenabfluss und Versickerung in der Stambachmure
- Weitere Biomasseentwicklung des Stockausschlages in größeren zeitlichen Abständen

Großen Forschungsbedarf sehe ich außerdem in weiteren Themen zu allgemeinen ingenieurbiologische Fragestellungen:

- Verbesserung der allometrischen Biomassefunktionen für Erlen
- Verbesserung der allometrischen Biomassefunktionen für Stockausschlagtriebe
- Biomasseentwicklung verschiedener, für die Ingenieurbiologie wichtige Gehölzarten und Altersgruppen
- Biomasseentwicklung diverser ingenieurbiologischer Systeme auf Problemstandorten
- Ausdehnung der Biomasseanalysen auf die unterirdische Biomasse und Stockbiomassen
- Erarbeitung und Sammlung allgemeingültiger Biomassefunktionen zur generalisierten und praktischen Anwendung für ingenieurbiologischer Systeme anderer Standorte

- Ermittlung von Evaporation, Transpiration, Interzeption und Stammabfluss verschiedener, für die Ingenieurbiologie wichtiger Gehölzarten
- Determinierung der Wasserbilanzkomponenten auf Standorten, die anderen Hangprozessen unterliegen
- Modellierung von Wasserbilanzparametern ingenieurbiologischer Systeme mithilfe von bestandesspezifischen Simulationsmodellen wie z.B. BROOK90 (FEDERER, 2002)
- Erfassen der Interaktionen zwischen Arten in Mischbeständen wie das Konkurrenzverhalten oder Auswirkungen auf das Bodenwasserregime

- Erfassen der Interaktionen zwischen Boden und Pflanzen von ingenieurbiologischen Systemen im Allgemeinen und von ingenieurbiologischen Sicherungsmethoden im Speziellen

Abschließend möchte ich auf einige Probleme und Restriktionen, die mir im Zuge meiner Arbeiten begegneten, hinweisen und damit einen Beitrag leisten, die Qualität zukünftiger Arbeiten durch Vermeidung bekannter Fehler zu steigern.

Die Aussagen, die sich bei Untersuchungszeiträumen von nur ein bis zwei Vegetationsperioden ergeben, widerspiegeln spezielle, zeitspezifische Bedingungen, die nur unzureichende Einblicke in die Entwicklung der Pflanzen und ihrer technisch-biologischen Funktionen zulassen. Ingenieurbiologische Systeme sind dynamisch und unterliegen starken zeitlichen Veränderungen. Eine Wiederholung von Untersuchungen in Abschnitten von 5 bis 10 Jahren am selben Standort ist leider häufig unrealistisch, würde dies dennoch kompensieren.

Als limitierend für meine Arbeit erwies sich das Fehlen einer Projektvorlaufzeit. In Bezug auf die Funktion der Messsysteme, als auch zur besseren Einschätzung der Eigenheiten des Untersuchungsgegenstandes sowie zur Verhinderung von Dateneinbußen bei den Messperioden durch späte Lieferung der Messgeräte sind Vorlaufzeiten, sofern realisierbar, unbedingt empfehlenswert.

Weiters ungünstig war die große Distanz zum Untersuchungsstandort, wodurch auf die Aufschlüsselung der Interzeptionsleistung nach Niederschlägen verzichtet werden musste sowie die Reaktion auf Datenloggerausfälle und Austausch der Geräte nur stark verzögert erfolgen konnte. Dadurch mussten längere Datenverluste in Kauf genommen werden. Eine Online-Datenübertragung könnte zumindest letzterem, geschulte Betreuer oder Betreuerinnen vor Ort könnten beidem entgegentreten.

Mit dem umfangreichen, disziplinübergreifenden Ansatz meiner Arbeit stellte ich mich einer motivierenden inhaltlichen, jedoch ebenso einer großen zeitlichen Herausforderung. Der Verzicht auf die Erhebung einiger wesentlichen Parameter aus budgetären und organisatorischen Gründen hinterlässt Wehmut und schränkt die Qualität der Resultate teilweise ein. Meinen Kollegen und Kolleginnen möchte ich raten, sich auf spezifische Fragestellungen zu beschränken, um damit einen differenzierteren, methodischen Ansatz verfolgen zu können. Damit freue ich mich auf weitere spannende Forschungsarbeiten für die Ingenieurbiolgie!

Wien, März 2008 ROSEMARIE STANGL

LITERATUR

ADAMCOVÁ R.; ELISCHER J.; OTTNER F. et al. (2007): Einfluss der Durchwurzelung auf die Bodenscherfestigkeit. Fallbeispiel Rutschung Stambach. Pilotprojekt der Aktion Österreich-Slowakei Nr. 54s3: unveröffentlicht.

AIGNER S.; EGGER G. (2002): Ökosystem Flußkraftwerk Rosegg – St. Jakob Stand und Zukunftsperspektiven der Bewirtschaftung, Vegetation. Schriftenreihe der Forschung im Verbund, 78. Wien (AT): Österreichische Elektrizitätswirtschaft-Aktiengesellschaft.

ANGERER J. (1982): Geologisch-Geotechnisches Untersuchungsprogramm bezüglich Stambachrutschung/Bad Goisern. Salzburg (AT): unveröffentlicht.

ANGERER J. (1983): 2. Bericht zu den geotechnischen Erhebungen Stambach – Bad Goisern; Murbrecher. Salzburg (AT): unveröffentlicht.

ANZHI W.; JINZHONG L.; JIANMEI L. et al. (2005): A semi-theoretical model of canopy rainfall interception for *Pinus Koraiensis Nakai*. Ecol. Model. 184: 355-361.

AREVALO C.B.M.; VOLK T.A.; BEVILACQUA E.; ABRAHAMSON L. (2007): Development and validation of aboveground biomass estimations for four Salix clones in central New York. Biomass Bioenerg. 31, 1: 1-12.

ARIAS D.; CALVO-ALVARADO J.; DOHRENBUSCH A. (2007): Calibration of LAI-2000 to estimate leaf area index (LAI) and assessment of its relationship with stand productivity in six native and introduced tree species in Costa Rica. Forest Ecol. Manag. 247: 185-193

ARMITAGE P.; COLTON T. (1998): Encyclopedia of biostatistics. Chichester (GB): John Wiley & Sons Ltd.

ARMSTRONG A.C. (2006): The measurement of watertable levels in structured clay soils by means of open auger holes. Earth Surface Processes and Landforms 8 (2): 183-187.

AUGUSTIN J. (2003): Erlenstandorte als Quelle und Senke klimarelevanter Spurengase. In: Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg: Die Schwarz-Erle im nordostdeutschen Tiefland. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe der Landesforstanstalt Eberswald, Band XVII. Frankfurt (D): Landesamt für Verbraucherschutz und Landswirtschaft.

BAMMER O. (1984a): Stambach Generelles Projekt 1984, Technischer Bericht, Teil 1. Forsttechnischer Dienst f. WLV, Sektion Oberösterreich; Gebietsbauleitung Salzkammergut (AT): unveröffentlicht.

BAMMER O. (1984b): Technischer Bericht Arbeitsfeld Stambach, Projekt 1984. Forsttechnischer Dienst f. WLV, Sektion Oberösterreich; Gebietsbauleitung Salzkammergut (AT): unveröffentlicht.

BÄRTELS A. (1989). Gehölzvermehrung. 3. Aufl. Stuttgart (D): Ulmer.

BAYERISCHE FORSTVERWALTUNG (2007): http://www.forst.bayern.de/service/glossar/. Letzter Zugriff: 05.6.2007.

BEGEMANN W.; SCHIECHTL H.M. (1994): Ingenieurbiologie. Handbuch zum ökologischen Wasser- und Erdbau. 2. Aufl. Wiesbaden, Berlin (D): Bauverlag.

BENSON C.H.; BOSSCHER P.J. (1999): Time-domain reflectometry (TDR) in geotechnics: A review. In: STENGER R.; BARKLE G.; BURGESS C. (2005): Laboratory calibrations of water content reflectometers in their *in-situ* verification. Aust. J. Soil Res. 43: 607-615.

BH ST. PÖLTEN (2005): http://rz-systems.at/EAVinfo.htm. Letzter Zugriff: 23.01.08.

BLAKE T.J. (1983): Coppice Systems for Short-rotation Intensive Forestry: The Influence of Cultural, Seasonal and Plant Factors. Aust. For. Res.13: 279-291.

BLUM W.E.H.; SPIEGEL H.; WENZEL W.W. (1996): Bodenzustandsinventur. 2. Aufl. Wien (AT): Univ. f. Bodenkultur und Bundesministerium f. Land- und Forstwirtschaft.

BMLFUW (2002): 480. Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über forstliches Vermehrungsgut (Forstliche Vermehrungsgutverordnung 2002). Wien.

BOOGARD T. (2001): Analyses of hydrological processes in unstable clayey slopes. Netherlands Geographical Studies 287. Universiteit Utrecht (NL): Grafimedia.

BORONINA A.; GOLUBEV S.; BALDERER W. (2005): Estimation of actual evapotranspiration from an alluvial aquifer of the Kouris catchment (Cyprus) using continuous streamflow records. Hydrol. Process. 19: 4055-4068.

BRÄNDLI U.-B. (1996): Die häufigsten Waldbäume der Schweiz. Birmensdorf (CH): Berichte der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft 342.

BRECHTEL H.M.; PAVLOV M.B. (1977): Niederschlagsbilanz von Waldbeständen verschiedener Baumarten und Altersklassen in der Rhein-Main-Ebene. Arbeitspapier. Hessen (D): Hessische Forstliche Versuchsanstalt, Institut für Forsthydrologie.

BRÉDA N.J.J. (2003): Ground-based measurements of leaf area index: a review of methods instruments and current controversies. J. Exp. Bot. 54, 392: 2430-2417.

BROWN S. (2002): Measuring carbon in forests: current status and future challenges. Environ. Pollut. 116: 363-372.

BROWN S.L.; SCHROEDER P.; KERN, J.F. (1999): Spatial distribution of biomass in forests of the eastern USA. Forest. Ecol. Manag. 123: 81-90.

BRUNS (2006): Bruns Pflanzen Sortimentskatalog. Bad Zwischenhahn: (D): Bruns-Pflanzen-Export GmbH & Co.KG.

BUCHAN G.D.; GREWAL K.S.; CLAYDON J.J. et al. (1993): A Comparison of Sedigraph and Pipette Methods for Soil Particle-Size Analysis., Aust. J. Soil Res. 31: 407-17.

CAI J., LIU R.; DENG C. (2007): An assessment of biomass resources availability in Shanghai: 2005 analysis. Renew. Sust. Energ. Rev.: In Press.

CAMPBELL J.E. (1990): Dielectric Properties and Influence of Conductivity in Soils at One to Fifty Megahertz. Soil Sci. Soc. Am. J. 54: 332-341.

CAMPBELL SCIENTIFIC (1998): CS 615 Water Content Reflectometer. User Guide, Leicestershire (UK): Campbell Scientific Ltd.

CAMPBELL SCIENTIFIC (2002): CS 616 Water Content Reflectometer. Instruction Manual 2/02. Logan (USA): Campbell Scientific Inc.

CAMPBELL SCIENTIFIC (2002-2004): CS 616 and CS 625 Water Content Reflectometers Instruction Manual, Revision 9/04. Edmonton (CAN): Campbell Scientific Canada Corp.

CARVALHO J.P.; PARRESOL B.P. (2003): Additivity in tree biomass components of Pyrenean oak (*Quercus pyrenaica* Willd.). For. Ecol. Manage. 179: 269-276.

CERMAK J.; PRAX A. (2001): Water balance of a Southern Moravian floodplain forest under natural and modified soil water regimes and its ecological consequences. Ann. For. Sci. 58: 15-29.

CHANDLER D.G.; SEYFRIED M.; MURDOCK M., MCNAMARA J.P. (2004): Field Calibration of Water Content Refelctometers. Soil Sci. Soc. Am. J. 68: 1501-1507.

COAKLEY J.P.; SYVITSKI J.P.M. (1991): SediGraph technique. In: SYVITSKI J.P.M. (1991): Principles, methods and application of particle size analysis. New York (USA): Cambridge University Press.

COURBOUD B. (2000): Comparing light interception with stand basal area for predicting tree growth. Tree Physiology 20: 407-414.

CROW P.; HOUSTON T.J. (2004): The influence of soil and coppice cycle on the rooting habit of short rotation poplar and willow coppice. Biomass Bioenerg. 26: 497-505

ČUSTOVIC H.; HAKL Z. (2003): Water regime of some soils in Herzegovina. Works of the Faculty of Agriculture University of Sarajevo 48 (52): 5-14.

DANNOWSKI R.; DIETRICH O. (2006): Regional hydrologic implications of black alder afforestation in rewetted fen lowlands of Mecklenburg-Western Pomerania, Germany. In: Kovar-Hrkal-Bruthans (eds): HydroEco 2006: International Multidisciplinary Conference on Hydrology and Ecology, Sept. 11th to 14th. Carlsbad (CZ): Karlovy Vary.

DANNOWSKI R.; DIETRICH O. (2006A): Black alder afforestation of rewetted fens in river floodplains of Mecklenburg-Vorpommern: Water consumption and hydrological site suitability. Telma 36: 71-94.

DASBERG S.; HOPMANS J.W. (1992): Time domain reflectometry calibration for uniformly and nonuniformly wetted sandy and clayey loam soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 56: 1341-1345. In: SEYFRIED M.S.; MURDOCK M.D. (2001): Response of a New Soil Water Sensor to Variable Soil, Water Content and Temperature. Soil Sci. Soc. Am. J. 65: 27-34.

DENGLER A. (1992): Waldbau auf ökologischer Grundlage. Erster Band. Der Wald als Vegetationsform und seine Bedeutung für den Menschen. Hamburg, Berlin (D): Verlag Paul Parey.

DIN 18 129 (1996-11): Baugrund, Untersuchung von Bodenproben – Kalkgehaltsbestimmung. Berlin (D): Deutsches Institut für Normung e.V.

DINGMAN S.L. (2002): Physical Hydrology. 2nd Ed. Upper Saddle River (USA): Prentice-Hall

DIRKSEN C. (1999): Soil Physics Measurements. Reiskirchen (D): Catena Verl..

DIRKSEN C.; DASBERG S. (1993): Improved Calibration of Time Domain Reflectometry Soil Water Content Measurements. Soil Sci. Am. J. 57: 660-667.

DIRR M.A.; HEUSER C.W. (1987); The Reference Manual of Woody Plant Propagation. From Seed to Tissue Culture. Athens (USA): Varsity Press Inc.

DORIS und BEV (2006): Doris-interMap. Digitales Oberösterreichisches Raum-Informations-System, Land Oberösterreich (Amt der OÖ. Landesregierung) und Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen. http://doris.ooe.gv.at/. Letzter Zugriff: 18.12.07.

DROPPELMANN K.J.; BERLINER P.R. (2000): Biometric relationships and growth of pruned and non-pruned *Acacia saligna* under runoff irrigation in northern Kenya. For. Ecol. Manage. 126: 349-359.

DUCK R.W. (1994): Application of the qda-md method of environmental discrimination of particle size analyses of fine sediments by pipette and sedigraph methods: A comparative study. Earth Surf Processes 19: 525-529.

DUURSMA R.A.; MARSHALL J.D.; ROBINSON A.P.; PANGLE R.E. (2007): Description and test of a simple process-based model of forest growth for mixed-species stands. Ecol. Model. 203: 297-311.

DVWK (1986): Ermittlung des Interzeptionsverlustes in Waldbeständen bei Regen. Merkblätter zur Wasserwirtschaft 211/1986. Hrsg. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau. Hamburg (D): Paul Paray.

ELLENBERG H. (1996): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. 5. Aufl. Stuttgart (D): Verlag Eugen Ulmer.

ELLER H.; DENOTH A. (1996): A capacitive soil moisture sensor. J. Hydrol. 185: 137-146.

ENDALE D.M.; FISHER D.S.; SCHOMBERG H.H. (2006): Soil Water Regime in Space and Time in a Small Georgia Piedmont Catchment under Pasture. Soil Sci. Soc. Am. J. 70: 1-13.

ENGLISCH M.; KILIAN W. (1999): Anleitung zur forstlichen Standortskartierung in Österreich. FBVA-Berichte 104: 1-110.

ESCHENBACH C.; HERBST M.; VANSELOW R. et al. (1996): Transpiration eines Erlenwaldes (*Alnus glutinosa*) und eines Buchenwaldes (*Fagus sylvatica*) an benachbarten Standorten (Transpiration of neighbouring stands of black alder and beech. Verhandlungen der Gesellschaft für Ökoloige26: 97-103. In: DANNOWSKI R.; DIETRICH O. (2006): Regional hydrologic implications of black alder afforestation in rewetted fen lowlands of Mecklenburg-Western Pomerania, Germany. In: Kovar-Hrkal-Bruthans (eds): HydroEco 2006: International Multidisciplinary Conference on Hydrology and Ecology, Sept. 11th to 14th. Carlsbad (CZ): Karlovy Vary.

ESCHENBACH C.; KAPPEN L. (1996): Leaf area index determination in an alder forest: a comparison of three methods. J. Exp. Bot. 47, 9: 1457-1462.

ESCHENBACH C.; KAPPEN L. (1999): Leaf water relations of black alder [*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.] growing at neighbouring sites with different water regimes. Trees 14: 28-38.

ESMER K. (2004): Electrical conductivity and dielectric behaviour of modified sepiolite clay. Applied Clay Science 25: 17-22.

EWERS B.E.; MACKAY D.S.; SAMANTA S. (2007): Interannual consistency in canopy stomatl conductance control of leaf water potential across seven tree species. Tree Physiol. 27: 11-24.

FAHRMEIR L.; KÜNSTLER R.; PIGEOT I. et al. (2003): Arbeitsbuch Statistik. 3. Aufl. Berlin Heidelberg (D): Springer.

FAO (2007): http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e00.htm#Contents. Allen A.G.; Pereira L.S.; Raes D. et al. (1998) : Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. Letzter Zugriff: 20.8.2007.

FEDERER C.A. (2002): BROOK 90: A simulation model for evaporation, soil water, and streamflow. http://home.maine.rr.com/stfederer/brook90.htm. Letzter Zugriff: 11.01.08.

FEHRMANN L. (2006): Alternative Methoden zur Biomasseschätzung auf Einzelbaumebene unter spezieller Berücksichtigung der *k*-Nearest Neighbour (*k*-NN) Methode. Dissertation. Göttingen (D): Georg-August-Universität.

FIEBIGER G. (2002): The Fuerwag-Landslide North of Salzburg / Austria. Process and Countermeasures. Die Rutschung Fürwag im Norden von Salzburg / Österreich. Prozess und Maßnahmen. International Congress Interpraevent 2002 in the Pacific Rim – Matsumoto/Japan. Congress publication, Volume 2: 629-639.

FINK S. (1980A): Anatomische Untersuchungen über das Vorkommen von spross- und Wurzelanlagen im Stammbereich von Laub- und Nadelbäumen. Proventive Anlagen (Teil I). Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 151, 9:160-180.

FINK S. (1980B): Anatomische Untersuchungen über das Vorkommen von spross- und Wurzelanlagen im Stammbereich von Laub- und Nadelbäumen. Adventive Anlagen (Teil II). Allgemeine Forst- und Jagdzeitung, 151, 10: 181-197.

FLORINETH F. (2004): Pflanzen statt Beton. Handbuch zur Ingenieurbiologie und Vegetationstechnik. Berlin, Hannover (D): Patzer Verlag.

FRANCIS R.A.; GRUNELL A.M.; PETTS G.E.; EDWARDS P.J. (2005): Survival and growth responses of Populus nigra, Salix elaeagnos and Alnus incana cuttings to varying levels of hydric stress. Forest Ecol. Manage. 210, 291-301.

FRANKE A. (1998): Herkunftsfragen bei A*lnus glutinosa* (L.) Gaertn. aus forstlicher Sicht. In: HACKER E.; PFLUG W. (1998): Die mitteleuropäischen Erlen. Jahrbuch 7 der Gesellschaft für Ingenieurbiologie e.V. Aachen (D): Selbstverlag der Gesellschaft für Ingenieurbiologie.

FREEDMAN B.; DUINKER P.N.; BARCLAY H. et al. (1982): Forest Biomass and Nutrient Studies in Central Nova Scotia. Dalhousie University Halifax and Department of the Environment, Canadian forestry Service, Maritimes Forest Research Centre Fredericton (CAN): Information Report M-X-134.

GARTNER K.; STARLINGER F. (2000): Untersuchungen zum Wasserhaushalt einzelner Waldstandort im Leithagebirge. FBVA-Berichte 115: 1-47.

GERBER W. (1998): Beobachtungen von *A. incana* bei ingenieurbiologischen Arbeiten auf verdichteten Böden. In: HACKER E.; PFLUG W. (1998): Die mitteleuropäischen Erlen. Jahrbuch 7 der Gesellschaft für Ingenieurbiologie e.V. Aachen (D): Selbstverlag der Gesellschaft für Ingenieurbiologie.

GONG Y.; CAO Q.; SUN Z. (2003): The effects of soil bulk density, clay content and temperature on soil water content measurement using time-domain reflectometry. Hydrol. Process. 17: 3601-3614.

GOOGLE, TERRAMETRICS UND TELE ATLAS (2007): Google GRAFIKEN, TerraMetrics Kartendaten and Tele Atlas. http://maps.google.de/. Letzter Zugriff: 18.12.07.

GRANIER, A.; BIRON P.; LEMOINE D. (2000): Water balance, transpiration and canopy conductance in two beech stands. Agr. Forest Meteorol. 100: 291-308.

GRIBOVSZKI Z.; GYIMÓTHY G.; KALICZ P. et al. (2005): Evapotranspiration determination from observing diurnal cycles of groundwater level and streamflow in a headwater basin. Geophys. Res. Abstr. 7.

GROTE R. (2002): Foliage and branch biomass estimation of coniferous and deciduous tree species. Silva Fenn. 36: 779-788.

GRUBER G.; KLOSTERHUBER R.; PLETTENBACHER T. (1998a): Waldpotenziale Salzkammergut. Allgemeiner Teil. Innsbruck (AT): WLM, Büro für Vegetationsökologie und Umweltplanung.

GRUBER G.; KLOSTERHUBER R.; PLETTENBACHER T. (1998b): Waldpotenziale Salzkammergut. Waldstratentypen. Innsbruck (AT): WLM, Büro für Vegetationsökologie und Umweltplanung.

GRUENEWALD H.; BRANDT B.K.V.; SCHNEIDER B.U. et al. (2007): Agroforestry systems for the production of woody biomass for energy transformation purposes. Ecol. Eng. 29, 4: 319-328

GRÜNWALD H.B. (1990): Blaikenbegrünung - Entwicklung und Erfahrungen. Österreichische Forstzeitung 11: 79-80.

HACKER E.; PAULSON C. (1998): Kurze Übersicht über die Verbreitung der Erlenarten im Exkursionsgebiet. In: HACKER E.; PFLUG W. (1998): Die mitteleuropäischen Erlen. Jahrbuch 7 der Gesellschaft für Ingenieurbiologie e.V. Aachen (D): Selbstverlag der Gesellschaft für Ingenieurbiologie.

HAGER H. (1988): Stammzahlreduktion - Die Auswirkungen auf Wasser-, Energie- und Nährstoffhaushalt von Fichtenjungwüchsen. Forstliche Schriftenreihe Universität für Bodenkultur, 1. Wien (A): Österr. Ges. für Waldökosystemforschung u. Experimentelle Baumforschung.

HARTIG T. (1878): Anatomie und Physiologie der Holzpflanzen. Berlin (D): Julius Springer Verlag.

HASSENTEUFEL W. (1961): Technischer Bericht Arbeitsfeld Geroldsbach, Projekt 1961. Forsttechnischer Dienst f. WLV, Sektion Innsbruck; Gebietsbauleitung Innsbruck (AT): unveröffentlicht.

HAUZWICKA; HASSENTEUFEL W. (1957): Kollaudierungsoperat Arbeitsfeld Enterbach, Projekt 1914-1964, Baunachweisung 1957 und 1958. Forsttechnischer Dienst f. WLV, Sektion Innsbruck; Gebietsbauleitung Innsbruck (AT): unveröffentlicht.

HAUZWICKA; HASSENTEUFEL W. (1959): Kollaudierungsoperat Arbeitsfeld Enterbach, Projekt 1914-1964, Baunachweisung 1955 und 1956. Forsttechnischer Dienst f. WLV, Sektion Innsbruck; Gebietsbauleitung Innsbruck (AT): unveröffentlicht.

HECKER U. (1998): BLV Handbuch Bäume und Sträucher. München (D): BLV Verlagsgesellschaft.

HEIMOVAARA T.J. (1993): Time Domain Reflectometry in Soil Science: Theoretical Backgrounds, Measurements and Models. Thesis. Amsterdam (NL): Universiteit van Amsterdam.

HELMS J.A. (1998): The Dictionary of Forestry. The Society of American Foresters and CABI Publishing. In: SCHUME H.; JOST G.; HAGER H. (2004): Soil water depletion and recharge pattern in mixed and pure forest stands of European beech and Norway spruce. J. Hydrol. 289: 258-274.

HERBST M.; ESCHENBACH C.; KAPPEN L. (1999): Water use in neighbouring stands of beech (Fagus sylvatica L.) and black alder (Alnus glutinosa (L.) Gaertn.). Ann. Forest Sci. 56 (2): 107-120.

HEYDECK P. (2003): Gefährdung der Schwarz-Erle (*Alnus glutinosa* [L.]} GAERTN.) durch mikrobielle Pathogene. In: Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg: Die Schwarz-Erle im nordostdeutschen Tiefland. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe der Landesforstanstalt Eberswald, Band XVII. Frankfurt (D): Landesamt für Verbraucherschutz und Landswirtschaft.

HILLEL D. (1980): Applications of Soil Physics. San Diego (USA): Academic Press.

HILLEL D. (1998): Environmental Soil Physics. San Diego (USA): Academic Press.

HOCHBICHLER E.; PUTZGRUBER N.; KRAPFENBAUER A. (1994): Biomassen- und Nährstoffuntersuchungen in einem 40-jährigen Buchenbestand (*Fagus sylvatica* L.). Centralblatt für das gesamte Forstwesen 1, 111. Jhg.: 1-22.

HOFFMAN F. (1995): FAGUS, a model for growth and development of beech. Ecol. Model. 83: 327-248.

HOFMANN G. (2003): Die Schwarz-Erle (*Alnus glutinosa* [L.]} GAERTN.) in der Waldvegetation des ostdeutschen Tieflandes. In: Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg: Die Schwarz-Erle im nordostdeutschen Tiefland. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe der Landesforstanstalt Eberswald, Band XVII. Frankfurt (D): Landesamt für Verbraucherschutz und Landswirtschaft.

HUPET F.; VANCLOOSTER M. (2005): Sampling strategies to estimate field areal evapotranspiration fluxes with a soil water balance approach. J. Hydrol. 292: 262-280.

HUSS-DANELL K. (1980): Nitrogen Fixation and Biomass Production in Clones of *Alnus incana.* New Phytol. 85: 503-511.

ISHIDA T.; MAKINO T. (1999): Effects of pH on Dielectric Relaxation of Montmorillonite, Allophane, and Imogolite Suspensions. Journal of Colloid and Interface Science 212: 152-161.

IUSS WORKING GROUP WRB (2007): World Reference Base for Soil Resources 2006, first update 2007. World Soil Resources Reports No. 103. Rome (I): FAO.

JACOBSEN O.H.; SCHJØNNING P. (1993a): Field evaluation of time domain reflectometry for soil water measurements. J. Hydrol. 151: 159-172.

JACOBSEN O.H.; SCHJØNNING P. (1993b): A laboratory calibration of time domain reflectometry for soil water measurement including effects of bulk density and texture. J. Hydrol. 151: 147-157.

JOHANNSEN R. (1998): Beobachtungen zur Wurzelentwicklung von Schwarzerlen bei Ufersicherungen. In: HACKER E.; PFLUG W. (1998): Die mitteleuropäischen Erlen. Jahrbuch 7 der Gesellschaft für Ingenieurbiologie e.V. Aachen (D): Selbstverlag der Gesellschaft für Ingenieurbiologie.

JOHANSSON T. (2000): Biomass equations for determining fractions of common and grey alders growing on abandoned farmland and some practical implications. Biomass and Bioenergy 18: 147-159.

JOHANSSON T. (2005): Stem volume equations and basic density for grey alder and common alder in Sweden. Forestry 73, 3: 249-262.

JONCKHEERE I.; FLECK S.; NACKAERTS K. et al. (2004): Review of methods for in situ leaf area index determination Part I. Theories, sensors and hemispherical photography. Agr. Forest Meteorol. 121: 19-35.

JØRGENSEN U.; DALGAARD T.; KRISTENSEN E.S. (2005): Biomass energy in organic farmin – the potential role of short rotation coppice. Biomass and Bioenergy 28: 237-248.

KASTANEK F.; ZARTL A.; CEPUDER P. (2001): Prinzip und Praxis des virtuellen Lysimeters. 9. Gumpensteiner Lysimetertagung 24. und 25. April 2001. BAL Gumpenstein: 17-22.

KASTANEK F; BLÜMEL F.; KLAGHOFER E. et al. (1980): Zur Nomenklatur in der Bodenphysik. Teil 1. Mitt. österr. bodenkundl. Ges. 22: 55-72.

KÄTZEL R. (2003): Zum physiologischen Anpassungspotenzial der Schwarz-Erle (*Alnus glutinosa* [L.]} GAERTN.). In: Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg: Die Schwarz-Erle im nordostdeutschen Tiefland. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe der Landesforstanstalt Eberswald, Band XVII. Frankfurt (D): Landesamt für Verbraucherschutz und Landswirtschaft.

KER M.F. (1980): Tree Biomass Equations for Ten Major Species in Cumberland County, Nova Scotia. Information Report M-X-108. Brunswick (CAN): Canadian Forestry Service Environment Canada, Maritimes Forest Research Centre Fredericton.

KILIAN W.; ENGLISCH M.; HERZBERGER O. et al. (2002): Schlüssel zur Bestimmung der Böden Österreichs. Mitt. d. Österr. Bodenkundl. Ges. 67.

KILIAN W.; MÜLLER F.; STARLINGER F. (1994): Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs. Eine Naturraumgleiderung nach waldökologischen Gesichtspunkten. FBVA –Berichte 82: 1-60.

KIM K.C.; BENSON C.H. (2002): Water Content Reflectometer Calibrations for Final Cover Soils. University of Wisconsin – Madison (USA): Geo Engineering Report No 02-12.

KINTER E.B.; DIAMOND S. (1956): A new method for preparation and treatment of oriented-agggregate specimens of soil clays for X-ray diffraction analysis. Soil Science 81: 111-120.

KLAASSEN W.; BOSVELD F.; WATER DE E. (1998): Water storage and evaporation as constitutents of rainfall interception. J. Hydrol. 212-213: 36-50.

KNAPP H.D.; HACKER E. (1998): Ökogeographisches Verhalten der mitteleuropäischen Erlenarten und ihre Einsatzmöglichkeiten in der Ingenieurbiologie. In: HACKER E.; PFLUG W. (1998): Die mitteleuropäischen Erlen. Jahrbuch 7 der Gesellschaft für Ingenieurbiologie e.V. Aachen (D): Selbstverlag der Gesellschaft für Ingenieurbiologie.

KNORR D.; WEISE C. (2005): http://www.terradew.uni-jena.de/sites/lai.html. Letzter Zugriff: 15.2.2005.

KÖHL M.; GERTNER G.Z. (1996): Statistics, Mathematics and Computers. Caring for the Forest: Research in a Changing World. Birmensdorf (CH): Swiss Federal Institute of Forest, Snow and Landscape Research.

KOMATSU H. (2005): Forest categorization according to dry-canopy evaporation rates in the growing season: comparison of the Priestley-Taylor coefficient values from various observation sites. Hydrol. Process. 19: 3873-3896.

KÖRNER C.; Scheel J.A.; Bauer H. (1979): Maximum leaf diffusive conductance in vascular plants. Photosynthetica 13: 45-82.

KRAMER H.; AKCA A. (2002): Leitfaden zur Waldmesslehre. 4. Aufl., Frankfurt Main (D): J.D. Sauerländers's Verlag.

KRAUSE A. (1998): Zum Umgang mit neu gepflanzten Schwarzerlen an Bächen und Flüssen. In: HACKER E.; PFLUG W. (1998): Die mitteleuropäischen Erlen. Jahrbuch 7 der Gesellschaft für Ingenieurbiologie e.V. Aachen (D): Selbstverlag der Gesellschaft für Ingenieurbiologie.

KRISHNAN P.; BLACK T.A.; GRANT N.J. et al. (2006): Impact of changing soil moisture distribution on net ecosystem productivity of a boreal aspen forest during and following drought. Agr. Forest Meteorol. 139: 208-223.

KRÜGER L. (2003): Die Schwarz-Erle als Wirtschaftsbaumart. In: Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg: Die Schwarz-Erle im nordostdeutschen Tiefland. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe der Landesforstanstalt Eberswald, Band XVII. Frankfurt (D): Landesamt für Verbraucherschutz und Landswirtschaft.

KRÜSSMANN G. (1976): Handbuch der Laubgehölze. Band I A-D. 2. Aufl. Berlin, Hamburg: Verlag Paul Parey.

KUMAR B.M.; SUMAN J.G.; JAMALUDHEEEN V. et al. (1998): Comparison of biomass production, tree allometry and nutrient use efficiency of multipurpose trees grown in woodlot and silvopastoral experiments in Kerala, India. For. Ecol. Manage. 112: 145-163.

KUTSCHERA L.; LICHTENEGGER E. (2002): Wurzelatlas mitteleuropäischer Waldbäume und Sträucher. Graz (AT): Leopold Stocker Verlag.

KUTSCHERA L.; LICHTENEGGER E.; SOBOTIK M.; HAAS D. (1998): Die Wurzelbilder der drei mitteleuropäischen Erlenarten. In: HACKER E.; PFLUG W. (1998): Die mitteleuropäischen Erlen. Jahrbuch 7 der Gesellschaft für Ingenieurbiologie e.V. Aachen (D): Selbstverlag der Gesellschaft für Ingenieurbiologie.

LABRECQUE M.; TEODORESCU T.I. (2005): Field performance and biomass production of 12 willow and poplar clones in short-rotation coppice on southern Quebec (Canada). Biomass Bioenerg. 29: 1-9.

LADEKARL U.L. (1997): Estimation of the components of soil water balance in a Danish oak stand from measurements of soil moisture using TDR. Forest Ecol. Manag. 104: 227-238.

LAGANIS J. (2007): Emergy Analysis of Black Alder (Alnus glutinosa (L.) Gaertn.) Floodplain Forest Growth. Dissertation. Nova Gorica (SI): University of Nova Gorica.

LAND NIEDERÖSTERREICH (2006): http://www.noel.gv.at/Service/RU/RU5/Natura2000/ Beschreibungen. htm. Letzter Zugriff: 30.7.2007.

LAND OBERÖSTERREICH. (s.a.) http://www.natura-2000.at/. Letzter Zugriff: 30.7.2007.

LAND VORARLBERG (s.a.): (http://www.vorarlberg.at/vorarlberg/umwelt_zukunft/umwelt/natur-undumweltschutz/ weitereinformationen/natura 2000/schutzgueter.htm. Letzter Zugriff: 30.7. 2007.

LANDHÄUSSER S.M.; LIEFFERS V.J.; SILINS U. (2003): Utilizing pioneer species as a hydrological nurse crop to lower water table for reforestation of poorly drained boreal sites. Ann. For. Sci. 60 741-748.

LIANG N.; MARUYAMA K. (1995): Interactive effects of CO_2 enrichment and drought stress on gas exchange and water-use efficiency in *Alnus firma*. Environ. Exp. Bot. 35, 3: 353-361.

LIN C.P. (2003): Frequency Domain Versus Travel Time Analyses of TDR Waveforms for Soil Moisture Measurements. Soil Sci. Soc. Am. J. 67: 720-729.

LIU S. (2001): Evaluation of the Liu model for predicting rainfall interception in forests world-wide. Hydrol. Process. 15: 2431-2360.

LOCKOW K.W. (2003): Wachstum, Entwicklung, Bestandesbehandlung und Ertragsleistung der Schwarz-Erle (*Alnus glutinosa* [L.]} GAERTN.) im nordostdeutschen Tiefland. In: Ministerium für

Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg: Die Schwarz-Erle im nordostdeutschen Tiefland. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe der Landesforstanstalt Eberswald, Band XVII. Frankfurt (D): Landesamt für Verbraucherschutz und Landswirtschaft.

LOISKANDL W.; STANGL R.; SOKOL W. (2003): Comparison of calibration methods for electromagnetic soil water sensors. In: Kailash Thakur (Ed.): 5th international conference on electromagnetic wave interaction with water and moist substances, 23.-26.3.2003, Rotorua (NZ): 234-241

LOTT B.R.; HUNT R.J. (2001): Estimating evapotranspiration in natural and constructed wetlands. Wetlands 21: 614-628.

LUNDQUIST P.-O. (2000): Nitrogenase Activity in Alnus incana Root Nodules. Responses to O_2 and Short –Term N_2 Deprivation. Plant Physiol. 122: 553-561.

MAC CÁRTHAIGH D.; SPETHMANN W.; (2000): Krüssmanns Gehölzvermehrung. Berlin (D): Parey bei Blackwell Wissenschafts-Verlag.

MACFARLANE C.; ARNDT S.K.; LIVESLEY S.J. (2007): Estimation of leaf area index in eucalypt forest with vertical foliage, using cover and fullframe fisheye photography. Forest Ecol. Manag. 242: 756-763.

MAHFOUF J.-F.; JACQUEMIN B. (1989): A Study of Rainfall Interception Using a Land Surface Parameterization for Mesoscale Meteorological Models. J. Appl. Meteorol. 28: 1282-1302.

MALICKI M.A.; PLAGGE R.; ROTH C.H. (1996): Improving the calibration of dielectric TDR soil moisture determiantion taking into account the solid soil. Eur. J. Soil Sci. 47: 579-366.

MALLIK A.U.; BELL F.W.; GONG Y. (1997): Regeneration behaviour of competing plants after clear cutting: implications for vegetation management. For. Ecol. Manage. 95: 1-10.

MANDL G.W. (1982): Jurassische Gleittektonik im Bereich der Hallstätter Zone zwischen Bad Ischl und Bad Aussee (Salzkammergut, Österreich). Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr. 28: 55-76.

MANDL G.W. (1984a): Zur Tektonik der westlichen Dachsteindecke und ihres Hallstätter Rahmens (Nördliche Kalkalpen, Österreich). Mitt. österr. geol. Ges. 77: 1-31.

MANDL G.W. (1984b): Zur Trias des Hallstätter Faziesraumes – ein Modell am Beispiel Salzkammergut (Nördliche Kalkalpen, Österreich). Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud. Österr. 30/31: 133-176.

MARKART G. (2000): Der Wasserhaushalt von Hochlagenaufforstungen dargestellt am Beispiel der Aufforstung von Haggen bei St. Sigmund im Sellrain. FBVA-Berichte 117: 1-126.

MARKART G.; KOHL B.; STIER B. et al. (2004): Provisorische Geländeanleitung zur Abschätzung des Oberflächenbeiwertes auf alpinen Boden-/Vegetationseinheiten bei konvektiven Starkregen (Version 1.0). FBVA-Berichte 3: 1-89.

MARTIN P.J.; STEPHENS W. (2006): Willow growth in response to nutrients and moisture on a clay landfill cap soil. II: Water use. Bioresource Technol. 97: 449-458.

MCLAREN R.G.; CAMERON K.C. (1996): Soil Science. Sustainable production and environmental protection. 2nd edition. South Melbourne (AU): Oxford University Press.

MEIER L.P.; KAHR G. (1999): Determination of the Cation Exchange Capacity (CEC) of Clay Minerals using the complexes of Copper (II) Ion with und Tetraethyleneepentamine. Clays Clay Min. 47: 386-388.

MIRCK J.; ISEBRANDS J.G.; VERWIJST T.; LEDIN S. (2005): Development of short-rotation willow coppice systems for environmental purposes in Sweden. Biomass Bioeng. 28: 219-228.

MOORE G.Q.; BOND B.J.; JONES J.A. et al. (2004): Structural and compositional controls on transpiration in 40- and 450-year-old riparian forests in western Oregon, USA. Tree Physiol. 24: 481-491.

MOORE M.D.; REYNOLDS R.C. (1989): X-Ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals. New York (USA): Oxford University Press.

MOTTUS M.; SULEV M.; LANG M. (2006): Estimation of crown volume for a geometric radiation model from detailed measurements of tree structure. Ecol. Model. 198: 506-514.

NACHLINGER J.L.; SMITH S.D.; RISSER R.J. (1989): USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. PSW-110: 366-369.

NESTROY O. (2000): Systematische Gliederung der Böden Österreichs (Österreichische Bodensystematik 2000). Mitt. d. Österr. Bodenkundl. Ges. 60.

NI J. (2003): Net primary productivity in forests of China: scaling-up of national inventory data and comparison with model predictions. For. Ecol. Manage. 176:485-495.

NILSSON T. (1992): Plant growth of six different tree species on a cutover peat area fertilized with wood ash. Pod. Of the 9th Intern. Peat Congress, Uppsala (S), 22-26 June 1992. Vol 3: 243

NULTSCH, W. (2001): Allgemeine Botanik. 11. Aufl.. Stuttgart (D): Thieme-Verlag.

O'CONNOR K.M.; DOWDING C.H. (1999): GeoMeasurements by Pulsing TDR Cable and Probes. Boca Raton (USA): CRC Press.

ÖNORM L 1050 (1999): Boden als Pflanzenstandort. Begriffsbestimmungen, Untersuchungsverfahren. Wien (A): Österreichisches Normungsinstitut.

ÖNORM L 1061-2 (2002): Physikalische Bodenuntersuchungen - Bestimmung der Korngrößenverteilung des Mineralbodens - Teil 2: Feinboden. Wien (A): Österreichisches Normungsinstitut.

OTTNER F.; KEUSCH D. (2007): Mineralogische Untersuchungen an Proben aus der Rutschung Fürwag (Salzburg) und der Rutschung Stambachgraben (Oberösterreich). Institut für Angewandte Geologie, Universität für Bodenkultur Wien (AT): unveröffentlicht.

OYAMA M.; TAKEHARA H. (2001): Standard Soil Color Charts. Soil Colour Book 08.11. Revised. Giesbeek (NL): Eijkelkamp.

PAULIUKONIS N.; SCHNEIDER R. (2001): Temporal patterns in evapotranspiration from lysimeters with three common wetland plant species in the eastern United States. Aquat. Bot. 71: 35-46.

PELLINEN P. (1986): Biomasseuntersuchungen im Kalkbuchenwald. Dissertation. Göttingen (D): Georg-August-Universtität Göttingen.

PEPIN S.; LIVINGSTON N.S.; HOOK W.R. (1995): Temperature-dependent measurement errors in time domain reflectometry determinations of soil water. Soil Sci. Soc. Am. J. 59: 38-43. In: SEYFRIED M.S.; MURDOCK M.D. (2001): Response of a New Soil Water Sensor to Variable Soil, Water Content and Temperature. Soil Sci. Soc. Am. J. 65: 27-34.

PERDOK U.D.; KROESBERGEN B.; HILHORST M.A. (1996): Influence of gravimetric water content and bulk density on the dielectric properties of soil. Eur. J. Soil Sci. 47: 367-371.

PERSSON G. (1995): Willow stand evapotranspiration simulated for Swedish soils. Agr. Water Manage. 28: 271-293.

PFÜTZNER (2007): http://public.arcegmo.de/sonstiges/impressum.htm. Letzter Zugriff: 20.8.2007.

PHILIP M.S. (1994): Measuring Trees and Forests. 2nd ed., Oxon (GB): CAB International.

PISTOTNIK U. (1973/74): Fazies und Tektonik der Hallstätter Zone von Bad Ischl – Bad Aussee (Salzkammergut, Österreich). Mitteilungen der Geologischen Gesellschaft in Wien 66-67: 143-158.

POLOMSKY, J.; KUHN, N. (1998): Wurzelsysteme. Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft. Bern, Stuttgart, Wien (D/A): Verlag Haupt.

PONIZOVSKY A.A.; CHUDINOVA S.M.; PACHEPSKY Y.A. (1999): Performance of calibration models as affected by soil texture. J. Hydrol. 218: 35-43.

POORTER L. (1998): Seedling growth of Bolivian rain forest tree species in relation to light and water availability. PhD Thesis. Utrecht (NL). In: ZENG B. (2003): Aboveground biomass partitioning and leaf development of Chinese subtropical tress following pruning. For. Ecol. Manage. 173: 135-144.

PRETZSCH H. (2002): A unified law of spatial allometry for woody and herbaceous plants. Plant Biology, 4: 159-166.

PRODAN M. (1965): Holzmesslehre. Frankfurt am Main (D): J.D. Sauerländer's Verlag.

PROE M.F.; CRAIG J.; GRIFFITHS J. et al. (1999): Comparison of biomass production in coppice and single stem woodland management systems on an imperfectly drained gley soil in central Scotland. Biomass and Bioenergy 17: 141-151.

PROEBSTLE P.F. (1998): Auswirkungen von Erlen auf Böden und Sickerwasser. In: HACKER E.; PFLUG W. (1998): Die mitteleuropäischen Erlen. Jahrbuch 7 der Gesellschaft für Ingenieurbiologie e.V. Aachen (D): Selbstverlag der Gesellschaft für Ingenieurbiologie.

QUINN G.P.; KEOUGH M.J. (2002): Experimental Design and Data Analyses for Biologists. Cambridge (GB): Cambridge University Press.

QUINONES H.; RUELLE P. (2001): Operative calibration methodology of a TDR sensor for soil moisture monitoring under irrigated crops. Subsurface Sensing Technology and Applications Vol.2, No1: 31-45.

QUINONES H.; RUELLE P.; NEMETH I. (2003): Comparison of three calibration procedures for TDR Soil Moisture Sensors. J. Irrig. and Drain, 52: 203-217.

RASCHENDORFER I. (1954): Blaikentypen in den Tiroler Alpen. Vereinszeitschrift der Diplom-ingenieure der Wildbachverbauung 4-5: 26-101.

RAYACHHETRY M.B.; VAN T.K.; CENTER T.D. et al. (2001): Dry weight estimation of the aboveground components of *Melaleuca quinquenervia* trees in southern Florida. For. Ecol. Manage. 142: 281-290.

REID I.; PARKINSON, R.J. (1987): Winter water regimes of clay soils. Eur. J. Soil Sci. 38 (3): 473-481.

RICKLI C. (2001): Vegetationswirkungen und Rutschungen - Untersuchungen zum Einfluss der Vegetation auf oberflächennahe Rutschprozesse anhand der Unwetterereignisse in Sachseln im Kanton Obwalden am 15. August 1997. Wildbach- und Lawinenverbau Zeitschrift für Wildbach-, Lawinen-, Erosions- und Steinschlagschutz, 65, Heft 146: 85-92.

RIDOLFI L.; D'ODORICO P.; PORPORATO A. et al. (2003): Stochastic soil moisture dynamics along a hillslope. J. Hydrol. 272: 264-275.

RITTERSHOFER B. (2006): http://www.rittershofer.com/Wald/Holz/holz.html. Letzter Zugriff: 31.7.2007.

ROBINSON D.A.; BELL J.P.; BATCHELOR C.H. (1994): Influence of iron minerals on the determination of soil water content using dielecttric techniques. J. Hydrol. 161: 169-180.

ROHDE S.; COSANDEY A.-C.; HUNZINGER L. et al. (2005): Integrales Gewässermanagement. Erkenntnisse aus dem Rhône-Thur Projekt. Synthesebericht Gerinneaufweitungen. Eawag, WSL, LCH-EPFL, VAW-ETHZ. 69 pp. In: WSL, Eawag, ETHZ, EPFL (2007): http://www.rivermanagement.ch/aufweitungen/ docs/synthese pdf. Letzter Zugriff: 25.07.2007.

ROHN J. (1991): Geotechnische Untersuchungen an einer Großhangbewegung in Bad Goisern (Oberöseterreich). Schr. Angew. Geol. Karlsruhe 14: 1-193.

ROLOFF A.; BÄRTELS A. (1996): Gartenflora Band 1 Gehölze: Bestimmung, Herkunft und Lebensbereiche, Eigenschaften und Verwendung. Stuttgart (D): Eugen Ulmer.

ROTH K.; SCHULIN R.; FLÜHLER H.; ATTINGER W. (1990): Calibration of Time Domain Reflectometry for Water Content Measurement Using a Composite Dielectric Approach. Water Resour. Res. Vol. 26, No. 10: 2267-2273.

RUPP P. (2003): Die Bewirtschaftung der Schwarz-Erle im Spreewald. In: Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg: Die Schwarz-Erle im nordostdeutschen Tiefland. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe der Landesforstanstalt Eberswald, Band XVII. Frankfurt (D): Landesamt für Verbraucherschutz und Landswirtschaft.

RYTTER L.; SENNERBY-FORSSE L.; ALRIKSSON A. (2000): Natural Regeneration of Grey Alder (Aln*us incana* [L.] Moench.) Stands After Harvest. Frontiers of Forest Biology: 287-294.

SAARENKETO T. (1998): Electrical properties of water in clay and silty soils. Journal of Applied Geophysics 40: 73-88.

SACHSSE H. (1984): Einheimische Nutzhölzer und ihre Bestimmung nach makroskopischen Merkmalen. Hamburg, Berlin (D): Verlag Paul Parey.

SAVERSCHEL A. (2003): Stockausschlagvermögen der Schwarzerle und Grauerle in der Stambachmure über Bad Goisern / OÖ. Diplomarbeit. Wien (AT): Universität für Bodenkultur.

SCHADAUER K. (1994) Baumartenatlas für Österreich. Die Verbreitung der Baumarten nach Daten der Österreichischen Waldinventur. FBVA-Berichte 76: 1-157.

SCHÄFFER G. (1982a): Geologische Karte der Republik Österreich 1: 50 000, Kartenblatt Nr. 96 Bad Ischl. Wien (AT): Geologische Bundesanstalt.

SCHÄFFER G. (1982b): 1. Stellungnahme der Fachabteilung Ingenieurgeologie der Geologischen Bundesanstalt zu den Massenbewegungen Stambach bei Bad Goisern. Geologische Bundesanstalt Wien (AT): unveröffentlicht.

SCHÄFFER G. (1982c): 2. Stellungnahme der Fachabteilung Ingenieurgeologie der Geologischen Bundesanstalt zu den Massenbewegungen Stambach bei Bad Goisern. Geologische Bundesanstalt Wien (AT) : unveröffentlicht.

SCHÄFFER G. (1982d): 3. Stellungnahme der Fachabteilung Ingenieurgeologie der Geologischen Bundesanstalt zu den Massenbewegungen Stambach bei Bad Goisern. Geologische Bundesanstalt Wien (AT): unveröffentlicht.

SCHÄFFER G. (1983): 4. Stellungnahme der Fachabteilung Ingenieurgeologie der Geologischen Bundesanstalt zu den Massenbewegungen Stambach bei Bad Goisern. Geologische Bundesanstalt Wien (AT): unveröffentlicht.

SCHAUBERGER O. (1953): Zur Genese des alpinen Haselgebirges. Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften 105: 736-751.

SCHEFFER F.; SCHACHTSCHABEL P. (1992): Lehrbuch der Bodenkunde. 13. Aufl. Stuttgart (D): Ferdinand Enke Verlag.

SCHIECHTL H.M. (1980): Bioengineering for land reclamation and conservation. Winnepeg (CAN): The University of Alberta Press.

SCHIECHTL H.M. (1998): Die Bedeutung der Erlen in der alpinen Ingenieurbiologie. In: HACKER E.; PFLUG W. (1998): Die mitteleuropäischen Erlen. Jahrbuch 7 der Gesellschaft für Ingenieurbiologie e.V. Aachen (D): Selbstverlag der Gesellschaft für Ingenieurbiologie.

SCHIECHTL H.M. (2000): Die Begrünungen auf der großen Blaike des Geroldsbaches bei Götzens und Enterbach, Inzingeralm. Ein Exkursionsführer. Persönliche Notizen: unveröffentlicht.

SCHIECHTL H.M.; STERN R. (1992): Handbuch für naturnahen Erdbau. Graz (AT): Österreichischer Agrarverlag.

SCHLÜTER U. (1971): Lebendverbau. Ingenieurbiologische Bauweisen und lebende Baustoffe. München (D): Callwey. In: MAYERHOFER P. (2003): Vergleichende Untersuchungen an Heckenbuschlagen bei Inzing und Götzens/Tirol. Diplomarbeit. Wien (AT): Universität für Bodenkultur.

SCHLÜTER U. (1990): Laubgehölze. Ingenieurbiologische Einsatzmöglichkeiten. Berlin, Hannover (D): Patzer Verlag.

SCHMIDT P.A.(1998): Zur Systematik und Variabilität der Erlen insbesondere der Schwarz-Erle (*Alnus glutinosa* (L.) GAERTN.). In: HACKER E.; PFLUG W. (1998): Die mitteleuropäischen Erlen. Jahrbuch 7 der Gesellschaft für Ingenieurbiologie e.V. Aachen (D): Selbstverlag der Gesellschaft für Ingenieurbiologie.

SCHUBERT, R. & WAGNER, G. (1993): Botanisches Wörterbuch. Pflanzennamen und botanische Fachwörter. 11. Aufl.; Stuttgart (D): Eugen Ulmer Verlag.

SCHUME H. (1998): Wasserhaushaltsuntersuchungen an Hybridpappelbeständen der weichen Au bei Altenwörth. Dissertation. Wien (AT): Universität für Bodenkultur.

SCHUME H.; JOST G.; HAGER H. (2004): Soil water depletion and recharge pattern in mixed and pure forest stands of European beech and Norway spruce. J. Hydrol. 289: 258-274.

SCHUME H.; JOST G.; KATZENSTEINER K. (2003): Spatio-temporal analysis of the soil water content in a mixed norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.)-European beech (*Fagus sylvatica* L.) stand. Geoderma 112: 273-287.

SCHUPPENER B. (1998): Der Einfluß der Durchwurzelung von Erlen auf die Standsicherheit von Böschungen – Berechnungsmodell und Parameter. In: HACKER E.; PFLUG W. (1998): Die mitteleuropäischen Erlen. Jahrbuch 7 der Gesellschaft für Ingenieurbiologie e.V. Aachen (D): Selbstverlag der Gesellschaft für Ingenieurbiologie.

SCHÜTT P.; SCHUCK; LANG U.; ROLOFF B.(1994): Enzyklopädie der Holzgewächse. Handbuch und Atlas der Dendrologie. Landsberg am Lech (AT): Echomed.

SCHWABE-KRATOCHWIL A. (1998): Zur Chorologie, Soziologie und Standortsökologie von *Alnus incana.* In: HACKER E.; PFLUG W. (1998): Die mitteleuropäischen Erlen. Jahrbuch 7 der Gesellschaft für Ingenieurbiologie e.V. Aachen (D): Selbstverlag der Gesellschaft für Ingenieurbiologie.

SEYFRIED M.S.; MURDOCK M.D. (2001): Response of a New Soil Water Sensor to Variable Soil, Water Content and Temperature. Soil Sci. Soc. Am. J. 65: 27-34.

SIMIONI G.; GIGNOUX J.; LE ROUX X. et al. (2004) : Spatial and temporal variations in leaf area index, specific leaf area and leaf nitrogen of two co-occurring savanna tree species. Tree Physiology 24: 205-216.

SOPER D. (2006): Critical-F Calculator. http://www.danielsoper.com/statcalc/calc04.aspx. Letzter Zugriff 29.1.2007.

STAELENS J.; SCHRIJVER A.D.; VERHEYEN K. et al. (2008): Rainfall partiitoning into throughfall, stemflow, and interception within a single beech (*Fagus sylvatica* L.) canopy: influence of foliation, rain event characteristics, and meteorology. Hydrol. Process 22: 33-45.

STAHEL W. (1999): Statistische Datenanalyse. Braunschweig/Wiesbaden (D): Verlag Vieweg.

STAHEL W. (2006): Seminar für Statistik. Unterlagen zum Block Rg1 des Kurses in angewandter Statistik. Zürich (CH): ETH Zürich.

STANGL R. (2004): Wirksamkeit ingenieurbiologischer Maßnahmen zur Sicherung von erosions- und rutschgefährdeten Hängen in Wildbacheinzugsgebieten. Forschungsbericht vorgelegt dem BMLFUW. Wien (AT): Universität für Bodenkultur, Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau.

STANGL R. (2007): Hedge brush layers and live crib walls – stand development and benefits. 287-295. In: Stokes et al. (2007): Eco- and Ground Bio-Engineering: The Use of Vegetation to Improve Slope Stability. Dortrecht (NL): Springer.

STANGL R.; SCARPATETTI M. (2005): Wurzelcharakteristik von Gehölzeinlagen zur ingenieurbiologischen Hangsicherung. Ingenieurbiologie, 3+4. 28-34.

STANGL R.; Tesarz M. (2003): Wirksamkeit von bepflanzten Holzkrainerwänden als ingenieurbiologische Hangsicherungsmaßnahmen. Arbeitsbericht im Auftrag des Sonderbetriebes für Bodenschutz, Wildbach- und Lawinenverbauung Autonome Provinz Bozen Südtirol. Wien (AT): Universität für Bodenkultur, Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau.

STANGL R.; Zenz W. (2005): Wirksamkeit von Heckenbuschlagen als ingenieurbiologische Hangsicherungsmaßnahmen. Arbeitsbericht im Auftrag des Sonderbetriebes für Bodenschutz, Wildbach- und Lawinenverbauung Autonome Provinz Bozen Südtirol. Wien (AT): Universität für Bodenkultur, Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau.

STANGL R.; ZENZ W.; WEINBACHER P. (2007): Wurzelsysteme ingenieurbiologischer Bauweisen. 1. Departmentkongreß Bautechnik und Naturgefahren, Universität für Bodenkultur Wien. Berlin (D): Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften: 15-19

STEIGLEDER J.; KÄTZEL R. (2003): Zur Berücksichtigung des genetischen Potenzials von Schwarz-Erle (*Alnus glutinosa* [L.] GAERTN.) bei der Waldbewirtschaftung. In: Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg: Die Schwarz-Erle im nordostdeutschen Tiefland. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe der Landesforstanstalt Eberswald, Band XVII. Frankfurt (D): Landesamt für Verbraucherschutz und Landswirtschaft.

STENGER R.; BARKLE G.; BURGESS C. (2005): Laboratory calibrations of water content reflectometers in their *in-situ* verification. Aust. J.Soil Res. 43: 607-615.

STERBA H. (1991): Holzmesslehre. Berichte aus der Abteilung Holzmesskunde und Inventurfragen. 3. Aufl. Wien (AT): Inst. f. forstl. Ertragslehre der Univ. f. Bodenkultur.

SUMNER M.E. (2000): Handbook of Soil Science. Florida (USA): CRC Press LCC.

TAKAHASHI K. (1972): Difference among Species with respect to the Tranpsiration Ratio in Different Soil moisture conditions. Japanese Forestry Society 54 (11): 373-378

TELENIUS B.F. (1999): Stand growth of deciduous pioneer tree species on fertile agricultural land in southern Sweden. Biomass and Bioenergy 16: 13-23.

THOMSEN A. (1994b): Måling og modellering af vandbalance for nåleskov og vinterafgrode. Skovrejsnings Betydning for Grundvandsdannelsen, ATV-Komiteen VedrØrende Grundvands-forurening, Institute of Geology and Geotechnics. Danish Technical Univ.: 19-40. In: LADEKARL U.L. (1997): Estimation of the components of soil water balance in a Danish oak stand from measurements of soil moisture using TDR. Forest Ecol. Manag. 104: 227-238.

TOBA T.; OHTA T. (2005): An observational study of the factors that influence interception loss in boreal and temperate forests. J. Hydrol. 333 (3-4): 208-220.

TOLLMANN A. (1976): Analyse des klassischen nordalpinen Mesozoikums; Stratigraphie, Fauna und Fazies der nördlichen Kalkalpen. Monographie der nördlichen Kalkalpen, Teil II. Wien (AT): Deuticke.

TOLLMANN A. (1985): Geologie von Österreich. Band II Außerzentralalpiner Anteil. Wien (AT): Deuticke.

TOMER .D.; CLOTHIER B.E.; VOGELER I.; GREEN S. (1999): A Dielectric-Water Content Relationship for Sandy Volcanic Soils in New Zealand. Soil Sci. Soc. Am. J. 63: 777-781.

TOPP G.C.; DAVIS J.L.; ANNAN A.P. (1980): Electromagnetic Determination of Soil Water Content: Measurements in Coaxial Transmission Lines. Water Resour. Res. Vol. 16, No. 3: 574-582.

TOWNEND J. (2001): Practical Statistics for Environmental and Biological Scientists. Chichester (GB): John Wiley & Sons Ltd.

URI V.; TULLU H.; LÖHMUS K. (2003): Nutrient allocation, accumulation and above-ground biomass in grey alder and hybrid alder plantations. Silva Fennica 37 (3): 301-311.

VAN DIJK A.I.J.M. (2001): Modelling rainfall interception by vegetation of variable density using an adapted analytical model. 1. Model description. J. Hydrol. 247: 230-238.

VAN SETERS T.E.; PRICE J.S. (2001): The impact of peat harvesting and natural regeneration on the water balance of an abandoned cutover bog, Quebec. Hydrol. Process. 15: 233-248.

VANDE WALLE I.; VAN CAMP N.; VAN DE CASTEELE L. ET AL. (2007): Short-rotation forestry of birch, maple, poplar and willow in Flanders (Belgium) II. Energy production and CO_2 emission reduction Potenzial. Biomass Bioenerg. 31, 5: 276-283.

VELDKAMP E.; O'BRIEN J.J. (2000): Calibration of a Frequency Domain Reflectometry Sensor for Humid Tropical soils of Volcanic Origin. Soil Sci. Soc. Am. J. 64: 1549-1553.

VOLLSINGER S. (2000): Biegsamkeit von Ufergehölzen als Grundlage für Pflegemaßnahmen. Ingenieurbiologie 2: 19-21.

WALKER J.P.; WILLGOOSE G.R.; KALMA J.D (2004): In situ measurement of soil moisture: a comparison of techniques. J. Hydrol. 293: 85-99.

WATSON D.J. (1947): Comparative physiological studies in the growth of field crops. I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. Ann. Bot. 11: 41-76. In: JONCKHEERE I.; FLECK S.; NACKAERTS K. ET AL. (2004): Review of methods for in situ leaf area index determination Part I. Theories, sensors and hemispherical photography. Agr. Forest Meteorol.121: 19-35.

WEBB. P.A. (2004): The Perseverance of the Sedigraph Method of Particle Sizing. Norcross (USA): Micromeritics.

WEGEHENKEL M. (1998): Die Validierung von Bodenwasserhaushaltsmodellen mit Hilfe von Trime-TDR, Tensiometermessungen sowie thermogravimetrischen Bodenfeuchtebestimmungen. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 161: 577-582

WHITE I.; KNIGHT J.H.; ZEGELIN S.J.; TOPP G.C. (1994): Comments on "Considerations on the use of time-domain reflectometry (TDR) for measuring soil water content" by W.R. Whalley. Eur. J. Soil Sci. 45: 505-508.

WILKINSON P.L.; ANDERSON M.G.; LLOYD D.M. et al. (2002): Landslide hazard and bioengineering: towards providing improved decision support through integrated numerical model development. Environ, Modell. Softw. 17: 333-344.

WILLIAMS C.J.; LEPAGE B.A.; VANN D.R. et al. (2003): Structure, allometry, and biomass of plantation Metasequoia glyptostroboides in Japan. For. Ecol. Manage. 180: 287-301.

WILPERT K.; NELL U.; LUKES M.; SCHACK-KIRCHNER H. (1997): Genauigkeit von Bodenfeuchte-messungen mit „Time Domain-Reflektometrie“ und Frequency Domain-Sensoren“ in heterogenen Waldböden. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 161: 179-185.

WILSON K.B.; HANSON P.J.; MULHOLLAND P.J. et al. (2001): A comparison of methods for determining forest evapotranspiration and its components: sap-flow, soil water budget, eddy covariance and catchment water balance. Agr. Forest. Meteorol. 106: 153-1686.

WOODHEAD I.M.; BUCHAN G.D.; CHRISTIE J.H.; IRIE K. (2003): A General Dieelctric Model for Time Domain Reflectometry. Biosystems Engineering 86 (2): 207-216.

WURZER (2006): http://bfw.ac.at/rz/bfwcms.web?dok=5112. Letzter Zugriff: 3.7.2007.

XIAO Q.; MCPHERSON E.G. (2002): Rainfall interception by Santa Monica’s municipal urban forest. Urban Ecosystems 6: 291-302.

YOSHIDA H.; HORIE T.; KATSURA K.; SHIRAIWA T. (2007): A model explaining genotypic and environmental variation in leaf area development of rice based on biomass growth and leaf N accumulation. Field Crop. Res. 102, 3: 228-238.

ZENG B. (2003): Aboveground biomass partitioning and leaf development of Chinese subtropical tress following pruning. For. Ecol. Manage. 173: 135-144.

Zenz W. (2006): Heckenbuschlagen in Südtirol. Diplomarbeit. Wien (AT): Universität für Bodenkultur.

ZHANG Y.; BORDERS B.E. (2004): Using a system mixed-effects modeling method to estimate tree compartment biomass for intensively managed loblolly pines – an allometric approach. For. Ecol. Manage. 194:145-157.

ZHAO M.; ZHOU G.-S. (2005): Estimation of biomass and net primary productivity of major planted forests in China based on forest inventory data. For. Ecol. Manage. 207: 295-313.

ZIANIS D.; MENCUCCINI M. (2003): On simplifying allometric analyses of forest biomass. For. Ecol. Manage. 187: 311-332.

ZÖHRER F. (1980): Forstinventur. Ein Leitfaden für Studium und Praxis. Hamburg, Berlin (D): Verlag Paul Parey.

ANNEX

ANNEX A: ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

©	Copyright
AH	Ahorn
AHR	Astholz mit Rinde
ANOVA	Varianzanalyse (Analysis of Variance)
B	nicht standardisierte Koeffizienten
BD	Basisdurchmesser
BHD	Brusthöhendurchmesser
BHR	Baumholz mit Rinde
BI	Birke
Bias	systematischer Fehler
BL	Blattmasse
BLFL	Blattfläche
BS	Baumschicht
BU	Buche
C/N	Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis
C_{anorg}	anorganischer Kohlenstoff
CEC	Kationenaustauschkapaziät (Cation Exchange Capacity)
C_{ges}	Gesamtkohlenstoffgehalt
C_{org}	organischer Kohlenstoff
CS L D	Lineare Funktion in Anlehnung an Campbell Scientific für das gesamte Datenset
CS L S	Lineare Funktion in Anlehnung an Campbell Scientific getrennt nach Subsets
CS L	Lineare Kalibirierung des Herstellers Campbell Scientific
CS P2 D	Polynomfunktion 2. Ordnung in Anlehnung an Campbell Scientific für das gesamte Datenset
CS P2 D	Polynomfunktion 3. Ordnung in Anlehnung an Campbell Scientific für das gesamte Datenset
CS P2 S	Polynomfunktion 2. Ordnung in Anlehnung an Campbell Scientific getrennt nach Subsets
CS P2 S	Polynomfunktion 3. Ordnung in Anlehnung an Campbell Scientific getrennt nach Subsets
CS P2	Polynom 2. Ordnung nach der Herstellerkalibrierung (Campbell Scientific)
CS P3	Polynom 3. Ordnung nach der Herstellerkalibrierung (Campbell Scientific)
CS SK	Herstellerstandardkalibrierung (Campbell Scientific)
CS SK1	Herstellerstandardkalibrierung für Leitfähigkeit < 1
CS SK3	Herstellerstandardkalibrierung für Leitfähigkeit > 3
CS TK	Temperaturkorrektur des Herstellers Campbell Scientific
CS	Campbell Scientific
d	Durchmesser
D10	Durchmesser in 10 cm Höhe
dg	Grundflächenmittelstamm
E	Evaporation
EFK 2005	erweiterte Feldkalibrierung 2005
ER	Erle
ET	Evapotranspiration
ET_0	Referenzevapotranspiration
F	Frischmasse
F_ges	Gesamtfrischmasse
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FDR	Frequency Domain Reflectometry
FGES	Gesamtfrischmasse ermittelt über die Summe der Einzelkompartimente

FI	Fichte
FK 01-03	Feldkalibrierung 01-03
FR	Früchte
fs Poll	Festmeter Schaftholz nach Pollanschütz
G	Globalstrahlung
G/ha	Grundfläche pro Hektar
GB	Gesamtbestand
GBBL	Gebietsbauleitung
GE	Grauerle
GMA	Gesamtmineralanalyse
H	Baumhöhe bzw. Triebhöhe
h	Höhe
H_0	Null-Hypthese
hA	arithmetische Mittelhöhe
HK	Heckenkirsche
hL	Lorey'sche Mittelhöhe
HO	Holunder
I	Interzeption
JW	Jungwuchs
KGV	Korngrößenverteilung
KS	Krautschicht
LÄ	Lärche
LAI	Blattflächenindex (Leaf Area Index)
LK	Laborkalibrierung
ln	natürlicher Logarithmus
LR	Lineare Regression
LR D	Lineare Regression für das gesamte Datenset
LR S	Lineare Regression getrennt nach Subsets
m ü. NHN	Meter über Normalhöhennull
MD	mittlere absolute Differenzen (Mean Deviation)
MP	Messpunkt
MR P D	Multiple Regression inkludiert Variable Porosität für das gesamte Datenset
MR T D	Multiple Regression inkludiert Variable Temperatur für das gesamte Datenset
MR T S	Multiple Regression inkludiert Variable Porosität getrennt nach Subsets
MR T S	Multiple Regression inkludiert Variable Temperatur getrennt nach Subsets
MR TP D	Multiple Regression inkludiert Variablen Temperatur und Porosität für das gesamte Datenset
MR TP S	Multiple Regression inkludiert Variablen Temperatur und Porosität getrennt nach Subsets
MR	Multiple Regression
MSE	mittlere quadratische Abweichung (Mean Square Error)
MW	Mittelwert
N	Niederschlag
$N_{(B1)}$	Bestandesniederschlag in 1 m Höhe
$N_{(B2)}$	Bestandesniederschlag in 0,3 m Höhe
N/ha	Stammzahl pro Hektar
OÖ	Oberösterreich
P2 D	Polynomfunktion 2. Ordnung für das gesamte Datenset
P2 S	Polynomfunktion 2. Ordnung getrennt nach Subsets
P2	Polynomfunktion 2. Ordnung
P	Porosität
R	Sammelrinnen
r^2	Bestimmtheitsmaß
r^2_{korr}	korrigiertes Bestimmtheitsmaß
rLF	relative Luftfeuchte

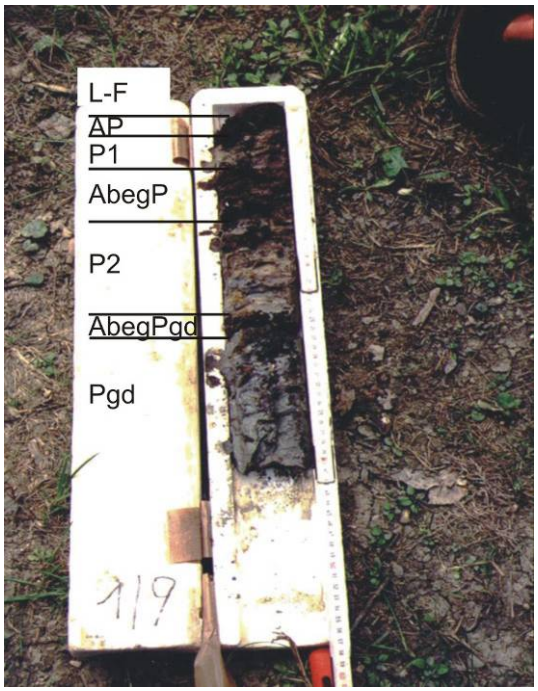
SAHR	Schaft- und Astholz mit Rinde
SD	Standardabweichung (Standard Deviation)
SE	Schwarzerle
SE	Standardfehler (Standard Error)
SH	Stangenholz
SHR	Schaftholz mit Rinde
SLA	Spezifische Blattfläche (Specific Leaf Area)
SRC	Short Rotation Coppice
STA	Stockausschlag
T	Bodentemperatur
T	Trockenmasse
T_ges	Gesamttrockenmasse
TA	Tanne
TDR	Time Domain Reflectometry
TGES	Gesamttrockenmasse ermittelt über die Summe der Einzelkompartimente
TMA	Tonmineralanalyse
v	Geschwindigkeit
V1	Variante 1
V2	Variante 2
V3	Variante 3
VB	Vogelbeere
WCR	Water Content Reflectometer
WEI	Weide
WLV	Wildbach und Lawinenverbauung
ZW	Zweige
ΔBd	Bodenwasservorratsänderung
β	standardisierte Koeffizienten
ε_a	Dielektrizitätskonstante für Luft
ε_s	Dielektrizitätskonstante für Boden
ε_w	Dielektrizitätskonstante für Wasser
θ_v	Wasseranteil
ρ_d	Trockendichte
ρ_s	Feststoffdichte
σ	elektrische Leitfähigkeit
σ	Streuung
τ	Wellenlaufzeit

ANNEX B: TABELLEN UND ABBILDUNGEN ZU BLOCK B

Tab. Annex B - 1: Bodenbeschreibung Profile 1/9, 1/19, 3/8, 3/18, AB 1 und AB 2

Profil / Standort	Bodentyp	FAO-Klassifikation (IUSS, 2007)	Horizont	Horizonttiefe	Bodenart (Fingerprobe)	Bodenart (nach ÖNORM L 1050)	Durchwurzelung	Struktur	Skelettanteil	Färbungen	Bodenfarbe (nach OYAMA und TAKEHARA, 2001)	Bemerkungen
1/9	(gestörter) Stagnogley	Clayic Stagnosol (Thaptomollic)	L-F	2-0cm								hydromorpher Mull, lockere Laubstreu
			AP	0-2cm	tL	T	mittel	krümelig bis blockig			5Y 2/1	
			P1	2-5cm	T	T	mittel	blockig-scharfkantig, schneidbar	-	stark rostfleckig	5Y 4/2	
			AbegP	5-10cm	tL		mittel	krümelig bis blockig-scharfkantig	-		5Y 2/1	überlagerte Schicht aus organischem Material
			P2	10-24cm	T		schwach	blockig-scharfkantig, schneidbar	-		5Y 4/2	
			AbegPgd	24-27cm	tL		schwach bis nicht	krümelig bis blockig-scharfkantig	-	Reduktions-merkmale	5Y 2/1	überlagerte Schicht aus organischem Material
			Pgd	27-41cm	T	T	schwach bis nicht	blockig-scharfkantig, schneidbar	-		5Y 4/1	hydromorph
1/19	(gestörter) Haft-nässepseudogley	Clayic Stagnosol (Thaptomollic)	L-F	2-0cm								hydromorpher Mull, lockere Laubstreu
			P	0-36cm	T		stark	blockig-scharfkantig, schneidbar	-		2,5Y 5/1	kleine Holzeinlagerungen
			Holzlage	36-42cm	T		schwach bis nicht		-	dunkelrote Färbungen	2,5Y 5/2	
			AbegP	42-48cm	lT			krümelig bis blockig-scharfkantig	-		2,5 Y 2/1	überlagerte Schicht aus organischem Material
3/8	(gestörter) Haft-nässepseudogley	Clayic Stagnosol (Thaptomollic)	L-F	1-0cm								hydromorpher Mull, lockere Laubstreu
			AP	0-8cm	lT-T		mittel	krümelig bis blockig	-		2,5Y 2/13	
			P1	8-34cm	T		mittel bis schwach	blockig-scharfkantig, schneidbar	1%	rostfleckig	2,5Y 4/2	
			AbegP	34-46cm	lT-T		mittel bis schwach	krümelig bis blockig	-		2,5Y 3/1	überlagerte Schicht aus organischem Material
			P2	46-52cm	T		schwach bis nicht	blockig-scharfkantig, schneidbar	3%	rostfleckig	2,5 Y 4/2	aufgewitterte Mergelein-lagerungen
3/18	Stagnogley	Clayic Stagnosol (Thaptomollic)	L-F	1-0cm								hydromorpher Mull, lockere Laubstreu
			AP	0-14cm	T		mittel	krümelig-blockig	-		2,5Y 3/2	
			P	14-47cm	T		schwach bis nicht	blockig-scharfkantig, schneidbar	-	rostfleckig	2,5Y 4/4	organische Ein-lagerungen
			Pgd	47-53cm	t		nicht			Reduktionsmerk-male	2,5Y4/1	
AB 1 Altbestand Richtung Predigtstuhl	Haftnässepseudogley	Stagnosol	L-F	1,5-0cm								hydromorpher Mull, lockere Nadelstreu
			Ab,g	0-7cm	tL		mittel bis stark	krümelig			10 YR 4/3	
			P1	7-15cm	tL		mittel bis stark	blockig-scharfkantig, schneidbar, tw. plattig	<1%	Konkretionen, rostfleckig	2,5 Y 5/2	
			P2	15-25cm	tL-T		schwach		1%		2,5 Y 5/3	verwitterte Fleckenmergel, Spalten und Risse
			P3	25-49cm	T		schwach bis nicht		2%		2,5 Y 5/2	
AB 2 Altbestand Richtung Hütteneck	Haftnässe-pseudogley	Stagnosol	L-F-H	5-0cm								hydromorpher Moder, Nadelstreu
			Ah,i,g	0-7cm	tL		schwach	krümelig			10YR 2/3	stark humos
			P	7-51cm	T		schwach	blockig-scharfkantig, schneidbar	-	rostfleckig	2,5 Y 5/3	

Abb. Annex B - 1: Stechbohrprofile 1/9, 1/19,



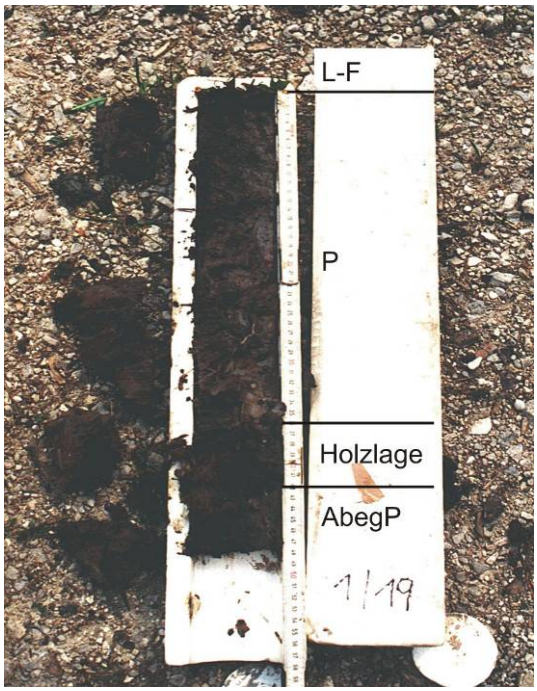
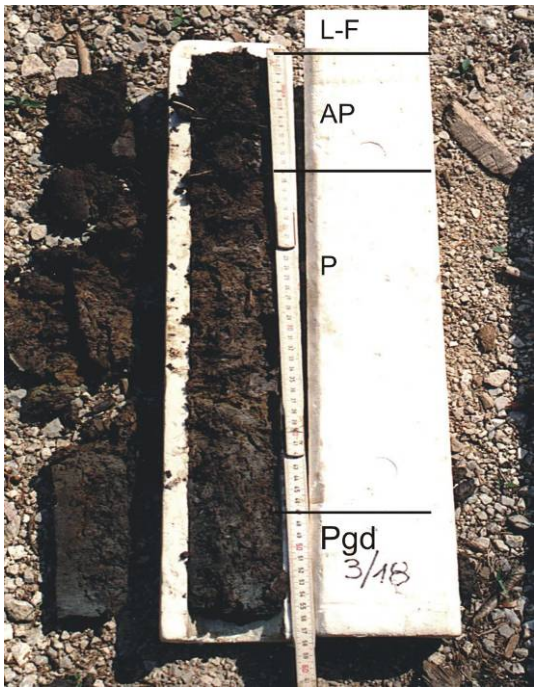


Abb. Annex B - 2: Stechbohrprofile 3/8 und 3/18



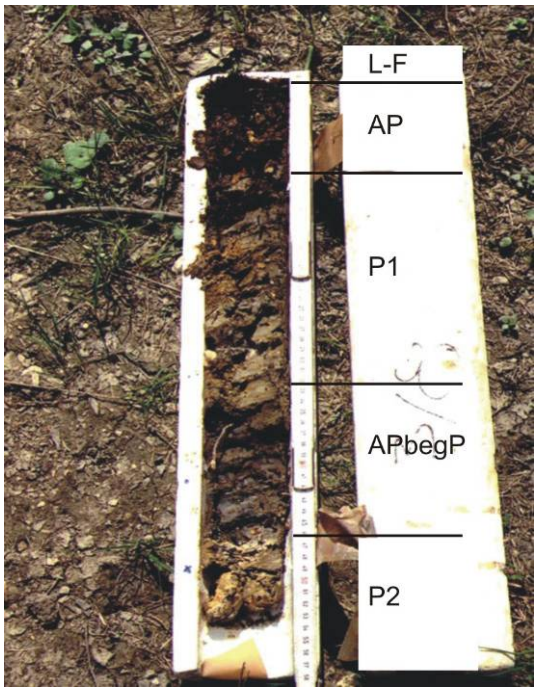


Abb. Annex B - 3: Diffraktogramme der Gesamtmineralanalysen im Profil

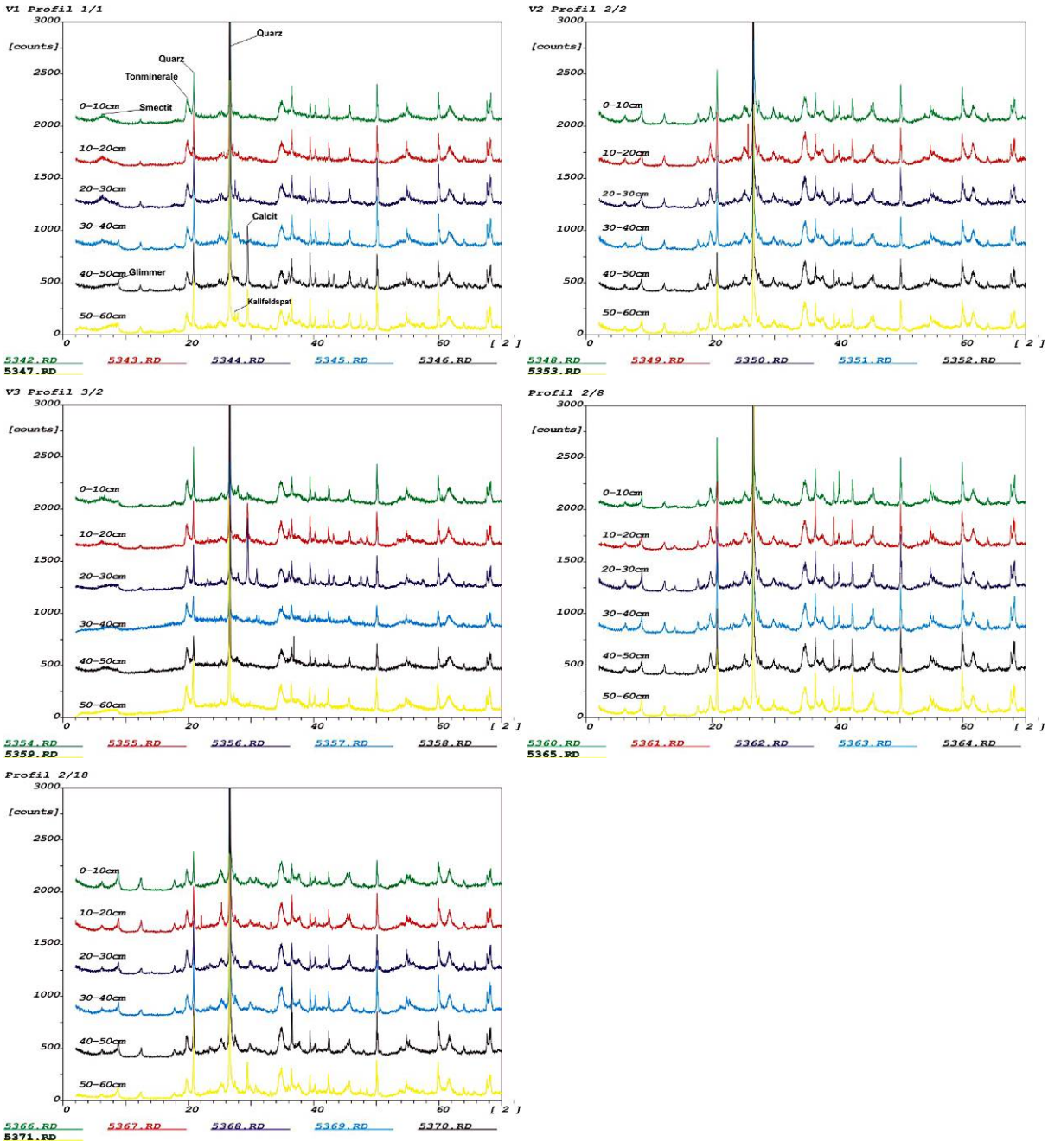
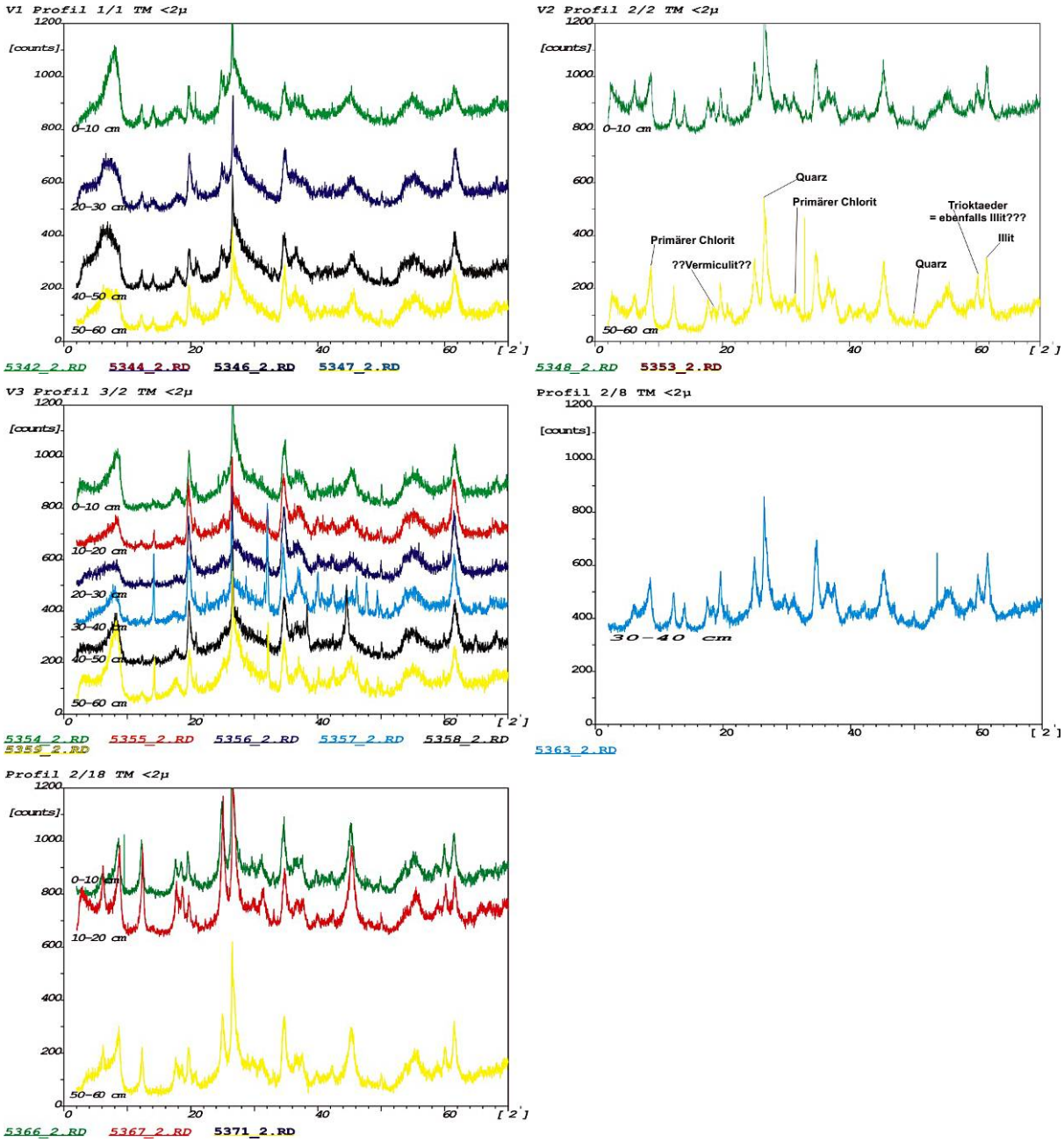
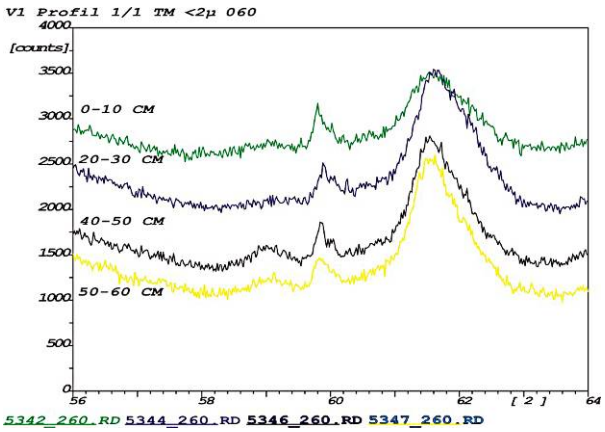
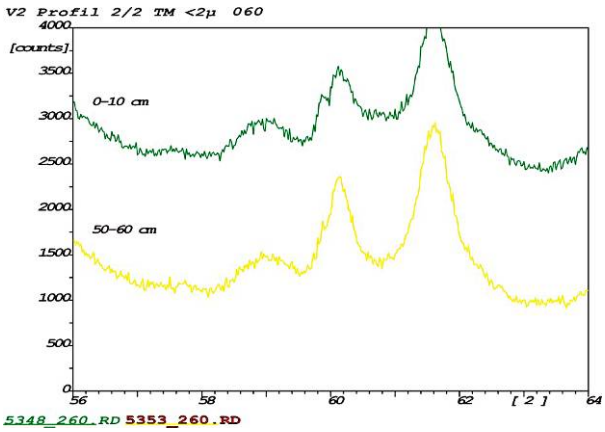
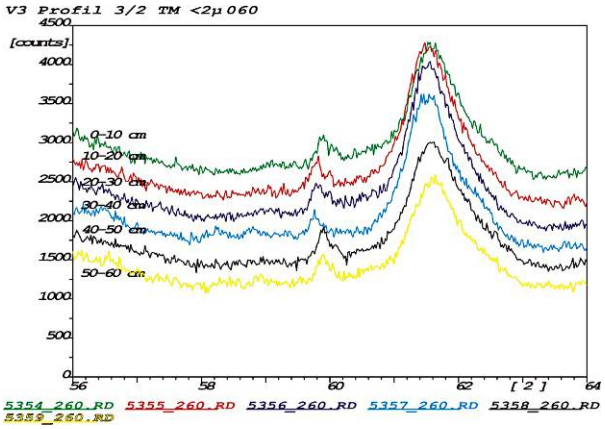


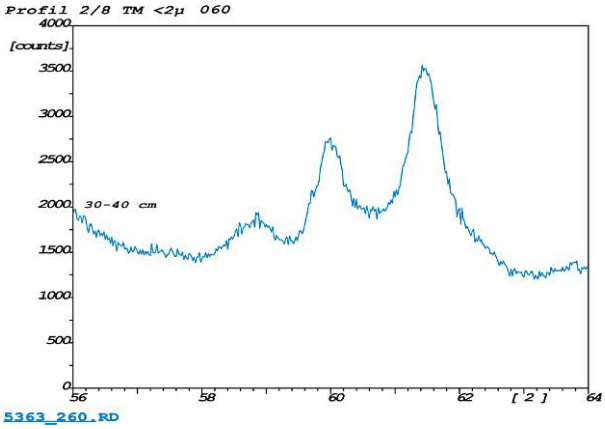
Abb. Annex B - 4: Diffraktogramme der Tonmineralanalysen im Profil




V1 Profil 1/1 TM <2µ 060
[counts]
0-10 CM
20-30 CM
40-50 CM
50-60 CM
5342_260.RD 5344_260.RD 5346_260.RD 5347_260.RD


V2 Profil 2/2 TM <2µ 060
[counts]
0-10 cm
50-60 cm
5348_260.RD 5353_260.RD


V3 Profil 3/2 TM <2µ 060
[counts]
0-10 cm
10-20 cm
20-30 cm
30-40 cm
40-50 cm
50-60 cm
5354_260.RD 5355_260.RD 5356_260.RD 5357_260.RD 5358_260.RD
5359_260.RD


Profil 2/8 TM <2µ 060
[counts]
30-40 cm
5363_260.RD

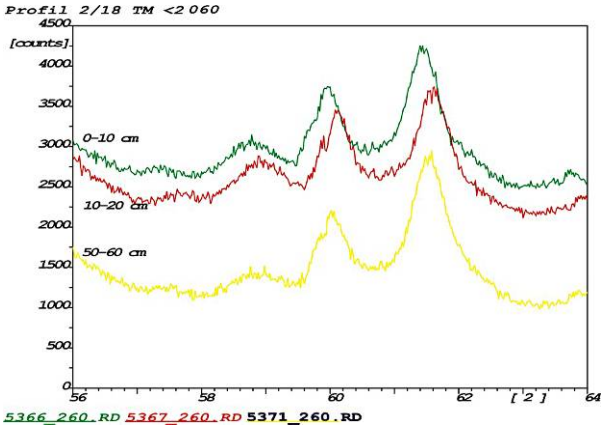
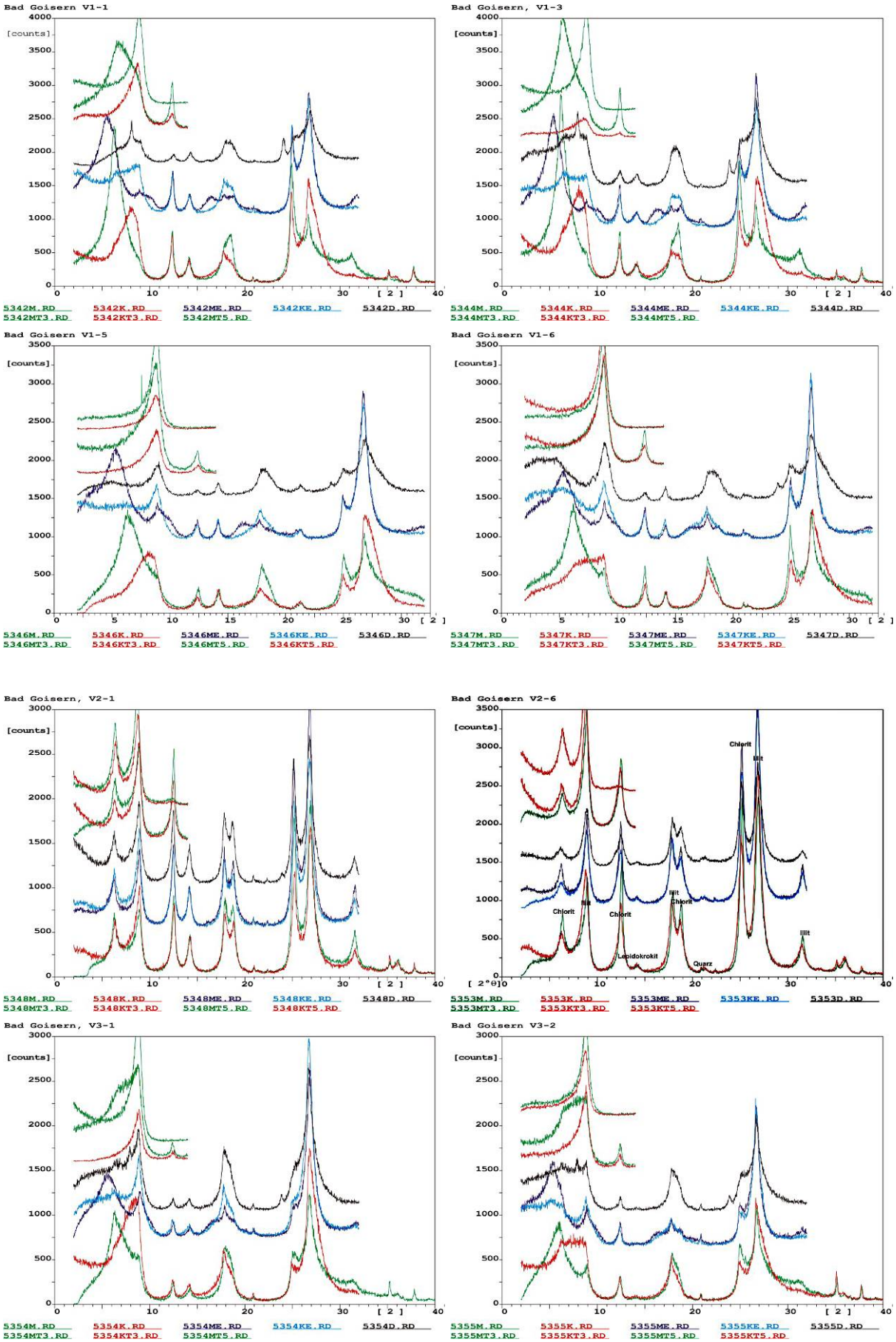
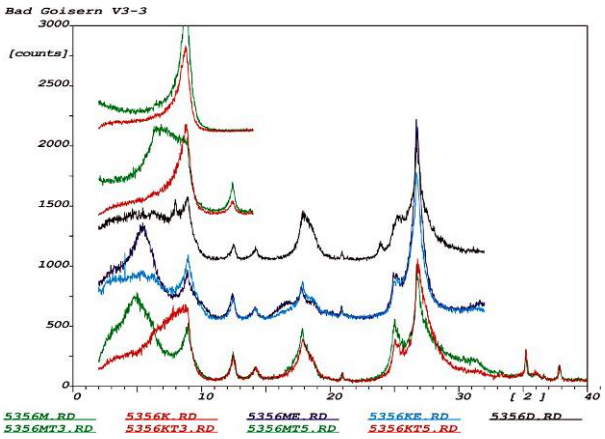
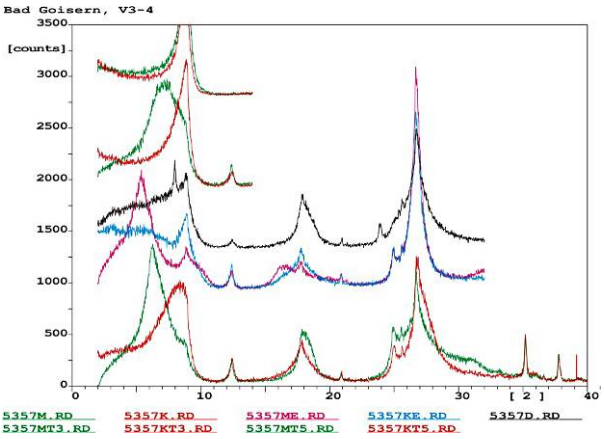
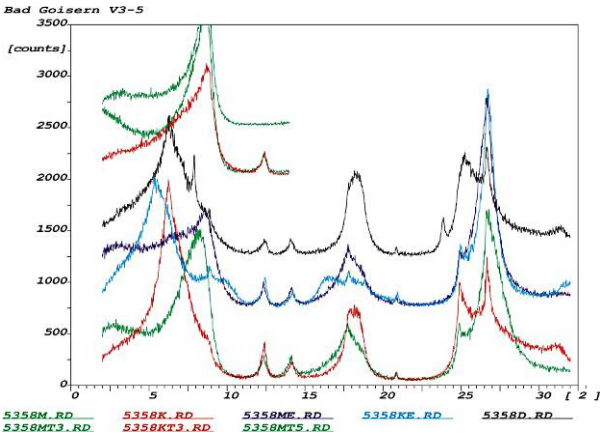

Profil 2/18 TM <2 060
[counts]
0-10 cm
10-20 cm
50-60 cm
5366_260.RD 5367_260.RD 5371_260.RD

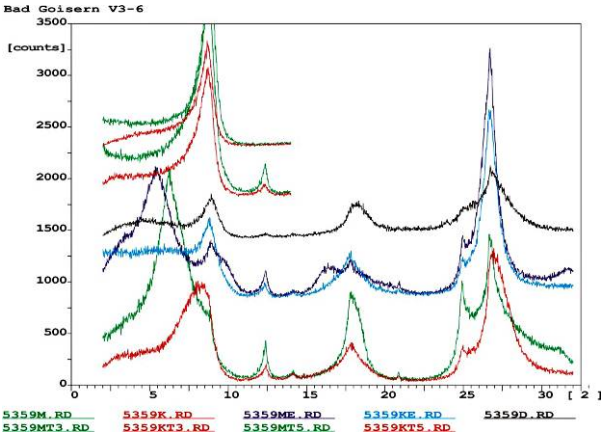
Abb. Annex B - 5: Diffraktogramme der Tonmineralanalysen der Einzelproben

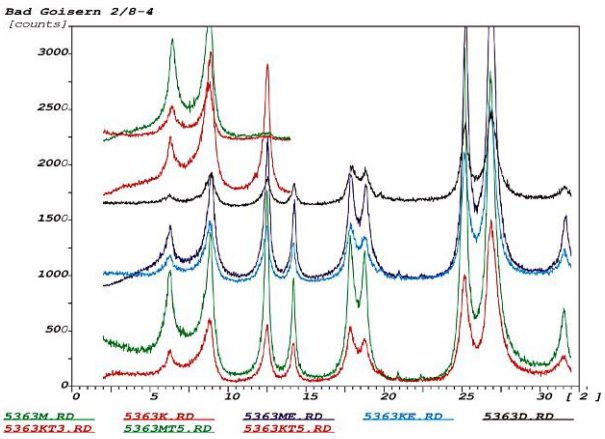


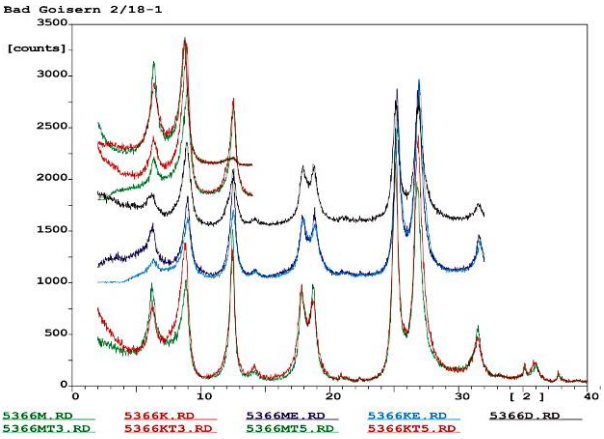

Bad Goisern V3-3
[counts]
5356M.RD
5356K.RD
5356ME.RD
5356KE.RD
5356D.RD
5356MT3.RD
5356KT3.RD
5356MT5.RD
5356KT5.RD

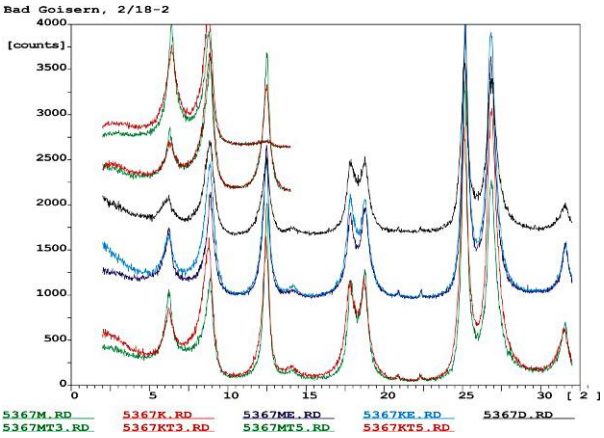

Bad Goisern, V3-4
[counts]
5357M.RD
5357K.RD
5357ME.RD
5357KE.RD
5357D.RD
5357MT3.RD
5357KT3.RD
5357MT5.RD
5357KT5.RD


Bad Goisern V3-5
[counts]
5358M.RD
5358K.RD
5358ME.RD
5358KE.RD
5358D.RD
5358MT3.RD
5358KT3.RD
5358MT5.RD


Bad Goisern V3-6
[counts]
5359M.RD
5359K.RD
5359ME.RD
5359KE.RD
5359D.RD
5359MT3.RD
5359KT3.RD
5359MT5.RD
5359KT5.RD


Bad Goisern 2/8-4
[counts]
5363M.RD
5363K.RD
5363ME.RD
5363KE.RD
5363D.RD
5363MT3.RD
5363MT5.RD
5363KT5.RD


Bad Goisern 2/18-1
[counts]
5366M.RD
5366K.RD
5366ME.RD
5366KE.RD
5366D.RD
5366MT3.RD
5366KT3.RD
5366MT5.RD
5366KT5.RD


Bad Goisern, 2/18-2
[counts]
5367M.RD
5367K.RD
5367ME.RD
5367KE.RD
5367D.RD
5367MT3.RD
5367KT3.RD
5367MT5.RD
5367KT5.RD

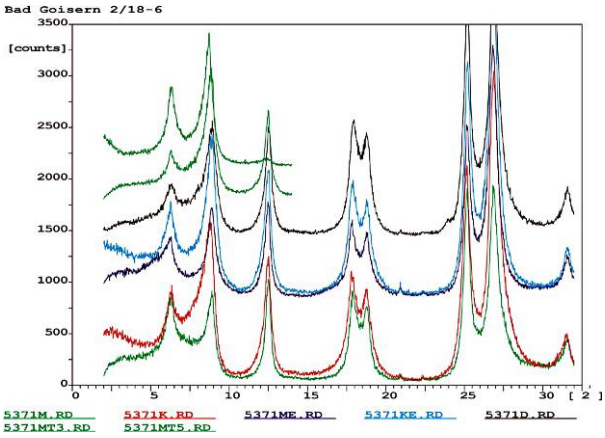

Bad Goisern 2/18-6
[counts]
5371M.RD
5371K.RD
5371ME.RD
5371KE.RD
5371D.RD
5371MT3.RD
5371MT5.RD

Abb. Annex B - 6: Korngrößenverteilungen der Stambachproben im Profil

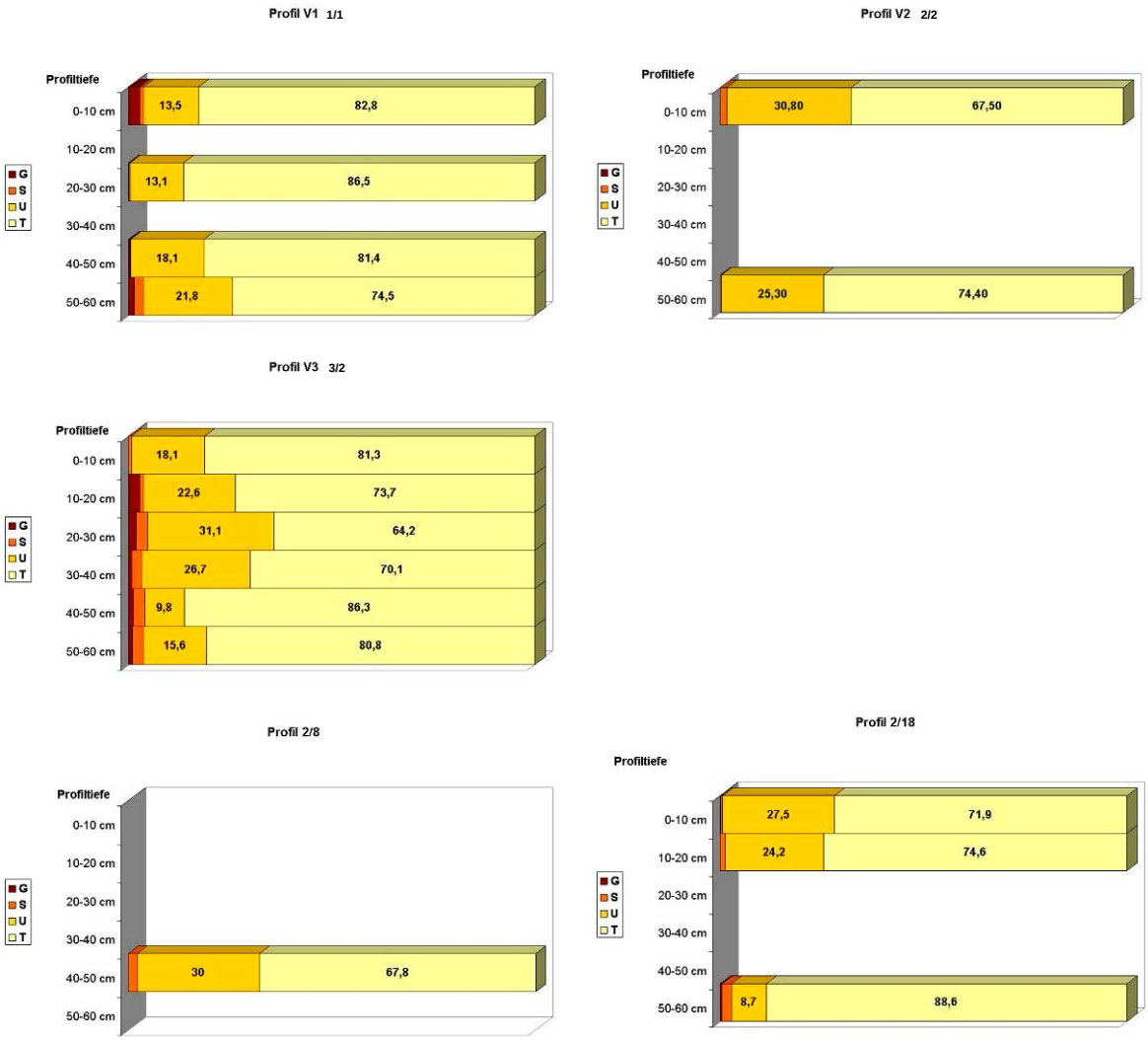
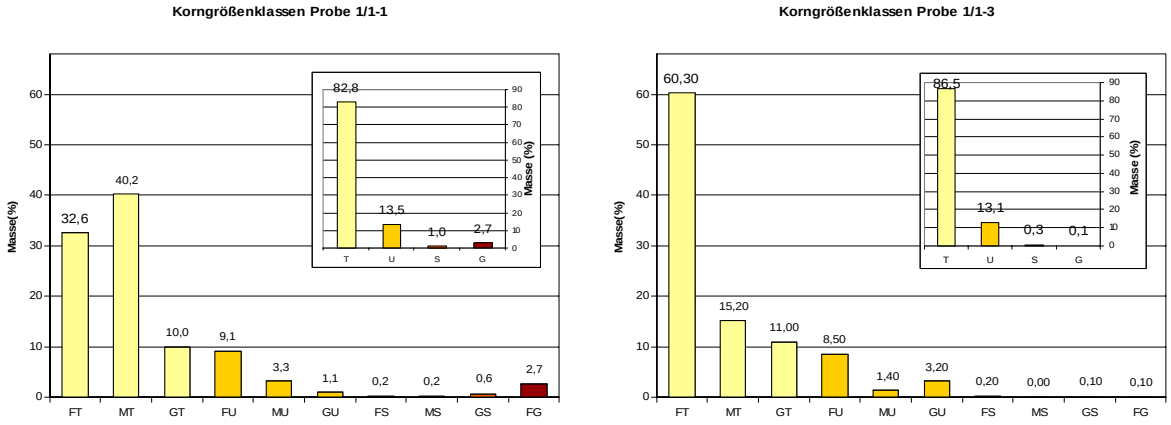
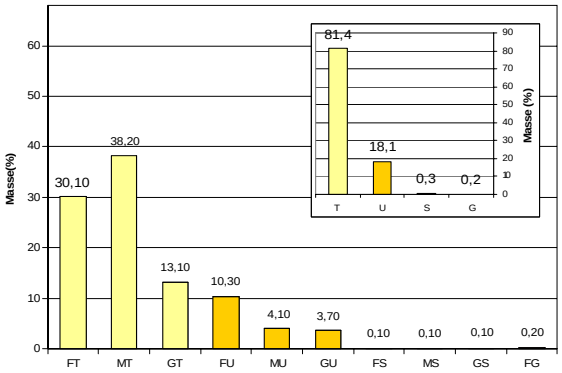


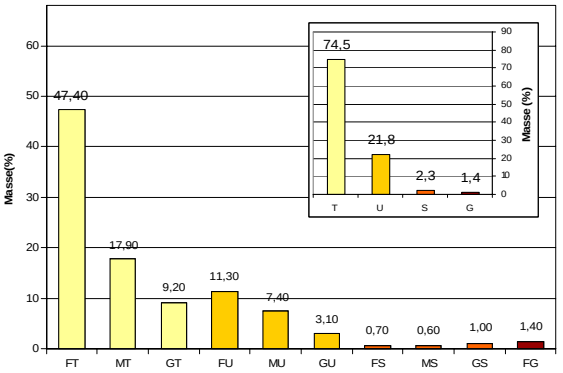
Abb. Annex B - 7: Korngrößenklassen der Stambachproben



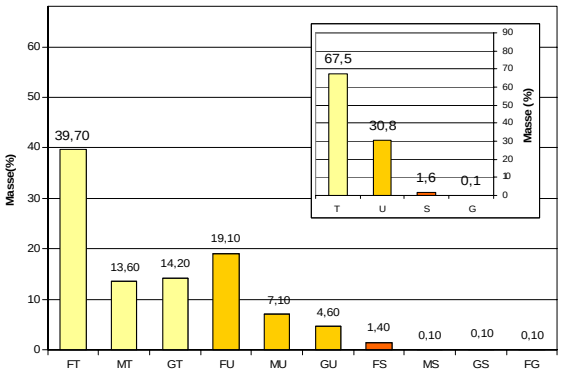
Korngrößenklassen Probe 1/1-5



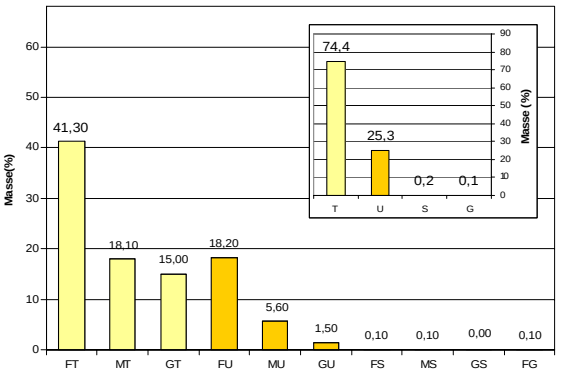
Korngrößenklassen Probe 1/1-6



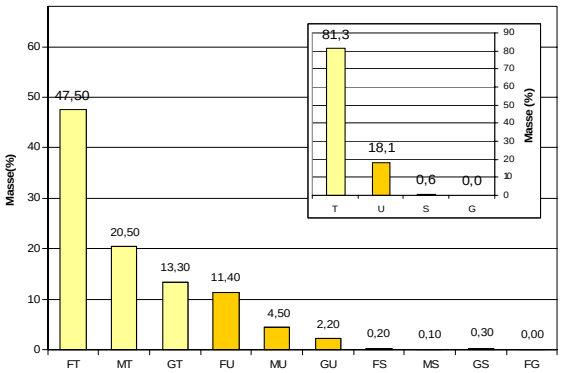
Korngrößenklassen Probe 2/2-1



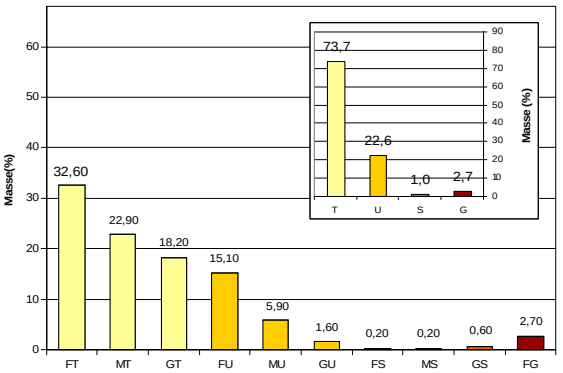
Korngrößenklassen Probe 2/2-6



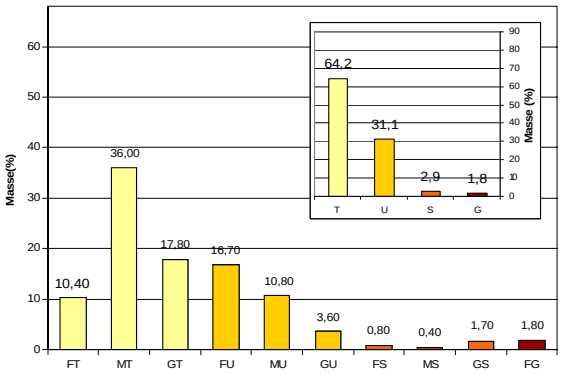
Korngrößenklassen Probe 3/2-1



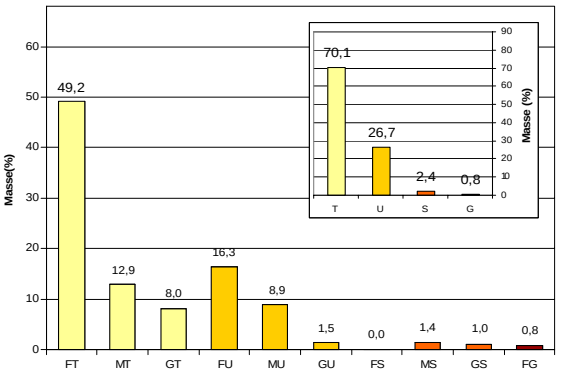
Korngrößenklassen Probe 3/2-2



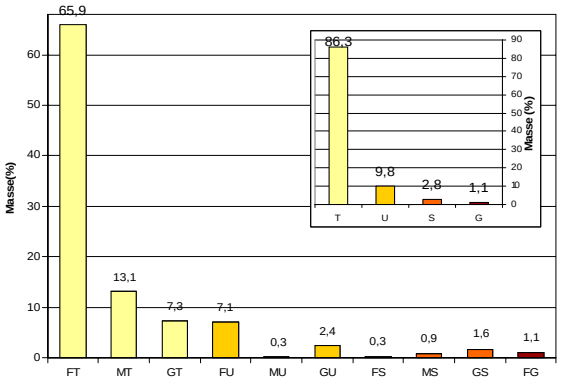
Korngrößenklassen Probe 3/2-3



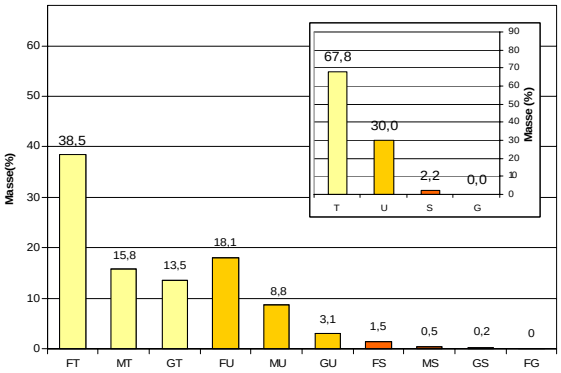
Korngrößenklassen Probe 3/2-4



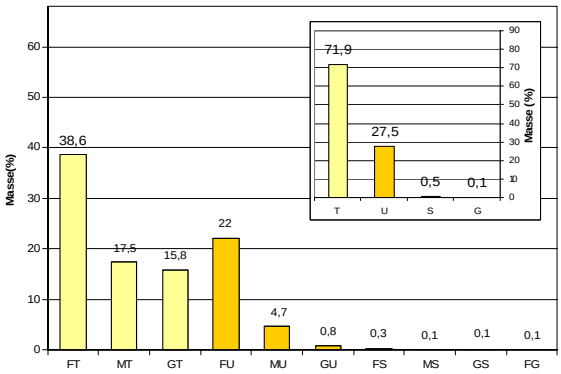
Korngrößenklassen Probe 3/2-5



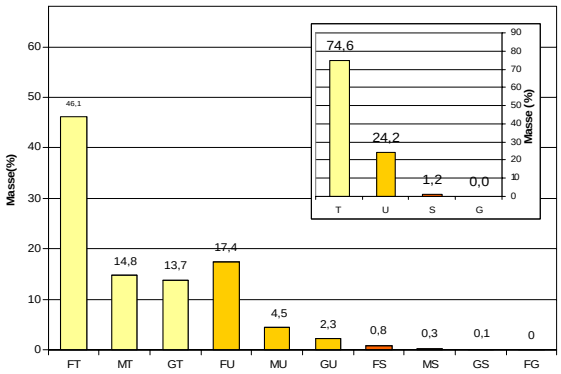
Korngrößenklassen Probe 2/8-4



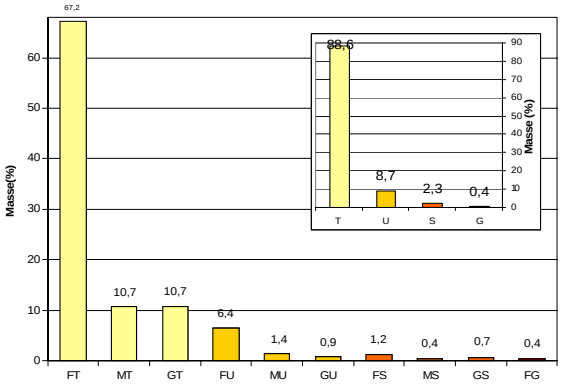
Korngrößenklassen Probe 2/18-1



Korngrößenklassen Probe 2/18-2



Korngrößenklassen Probe 2/18-6



Tab. Annex B - 2: Computerauswertung der Ermittlung der Wasserleitfähigkeit (k-Werte)

V1 5/10a	V1 5/10b	V1 20/25a	V1 20/25b	V1 35/40a	V1 35/40b	V1 50/55a	V1 50/55b	V3 5/10a	V3 5/10b	V3 20/25a	V3 20/25b	V3 35/40a	V3 35/40b	V3 50/55a	V3 50/55b
381,2	2878,6	629,9	0,4	535,6	43949	410,3		7	0,3	8327,9	51,2	5424	95349,9	33811,6	70	196,2
0	15371,6	3218,1	34349,1	2410,7	64759,3	969,6	94052,8	62,1	12969,9	0	42802,1	0	0	0	0	140392,9
0	39652,8	5496,9	101931,1	4764,3	122978,1	1425,2	582491	89,3	19921,7	0	128657	0	0	0	0	140392,9
0	75523,5	8986,5	0	8246,4	219680,9	2027,6	1731863,4	120,5	30742,6	0	288757,3	0	0	0	0	145342,1
0	135465,9	15495,6	0	20801	357482,5	2884,6	0	156,1	51836,4	0	0	0	0	0	0	225707,3
0	0	24710,9	0	0	0	3961,5	0	228	0	0	0	0	0	0	0	145342,1
Einzelne K-Werte [cm/s]																
0,00E+00	4,10E-05	2,85E-04	-3,62E-05	3,39E-04	1,89E-05	1,15E-03	8,05E-07	2,62E-02	1,25E-04	0,00E+00	-4,04E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	6,36E-05
0,00E+00	3,43E-05	1,47E-03	5,27E-05	1,48E-03	1,06E-05	7,31E-03	5,39E-07	1,02E-02	2,93E-05	0,00E+00	6,29E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
0,00E+00	5,16E-06	4,36E-04	0,00E+00	3,49E-04	6,61E-06	2,15E-03	0,00E+00	1,11E-02	5,95E-05	0,00E+00	7,02E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	-4,02E-04
0,00E+00	2,38E-05	2,77E-04	0,00E+00	1,74E-04	6,28E-06	2,10E-03	0,00E+00	-4,62E-02	3,62E-05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
0,00E+00	0,00E+00	2,48E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,23E-03	0,00E+00	1,66E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,09E-05
Mittlere K-Werte [cm/s]															
k.D.	2,09E-05	5,43E-04	5,52E-06	4,67E-04	8,49E-06	2,99E-03	4,48E-07	3,57E-03	4,99E-05	k.D.	3,33E-06	k.D.	k.D.	k.D.	3,72E-05
Pegelstand bei Kontakt [mm]															
5,71E+00	2,97E+00	2,22E+01	2,22E+01	2,22E+01	4,80E+00	2,19E+01	4,80E+00	6,90E+01	4,80E+00	4,18E+01	2,01E+01	2,01E+01	2,03E+01	3,13E+01	2,24E+01
0,00E+00	2,97E+00	2,19E+01	2,15E+01	2,19E+01	4,80E+00	2,12E+01	5,25E+00	2,74E+01	4,80E+00	0,00E+00	2,06E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,15E+01
0,00E+00	3,65E+00	2,22E+01	2,15E+01	2,22E+01	4,80E+00	2,15E+01	3,43E+00	2,06E+01	4,80E+00	0,00E+00	2,03E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,15E+01
0,00E+00	2,74E+00	2,24E+01	0,00E+00	2,24E+01	4,80E+00	2,17E+01	3,20E+00	2,12E+01	4,80E+00	0,00E+00	2,06E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,15E+01
0,00E+00	3,65E+00	2,22E+01	0,00E+00	2,19E+01	5,48E+00	2,19E+01	0,00E+00	2,12E+01	3,88E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,22E+01
0,00E+00	0,00E+00	2,19E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,19E+01	0,00E+00	2,22E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,15E+01
Max. Pegelstand [mm]:															
28	4	24	24	24	7	24	50	69	14	165	24	24	24	165	165
Min. Pegelstand [mm]:															
2	3	21	21	21	3	21	1	18	3	19	21	21	21	19	19

ANNEX C: TABELLEN UND ABBILDUNGEN ZU BLOCK C

Abb. Annex C - 1: Verlängerte Kalibrierkurven nach CAMPBELL SCIENTIFIC (1998, S.4) für unterschiedliche Leitfähigkeiten

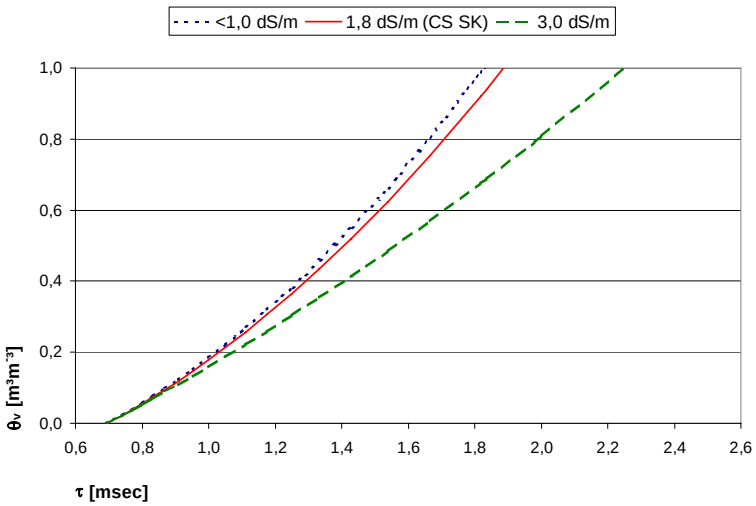


Abb. Annex C - 2: Wasseranteil θ_v versus gemessener Wassergehalt θ_{vCS615} gemäß den Kalibriergleichungen für elektrische Leitfähigkeiten ≤ 1 bzw. >3 dSm^{-1}(CS SK1, CS SK3) und den jeweiligen Temperaturkorrekturen (CS TK1, CS TK3) von CAMPBELL SCIENTIFIC (1998) für die Daten der Feldkalibrierung (FK 01-03)

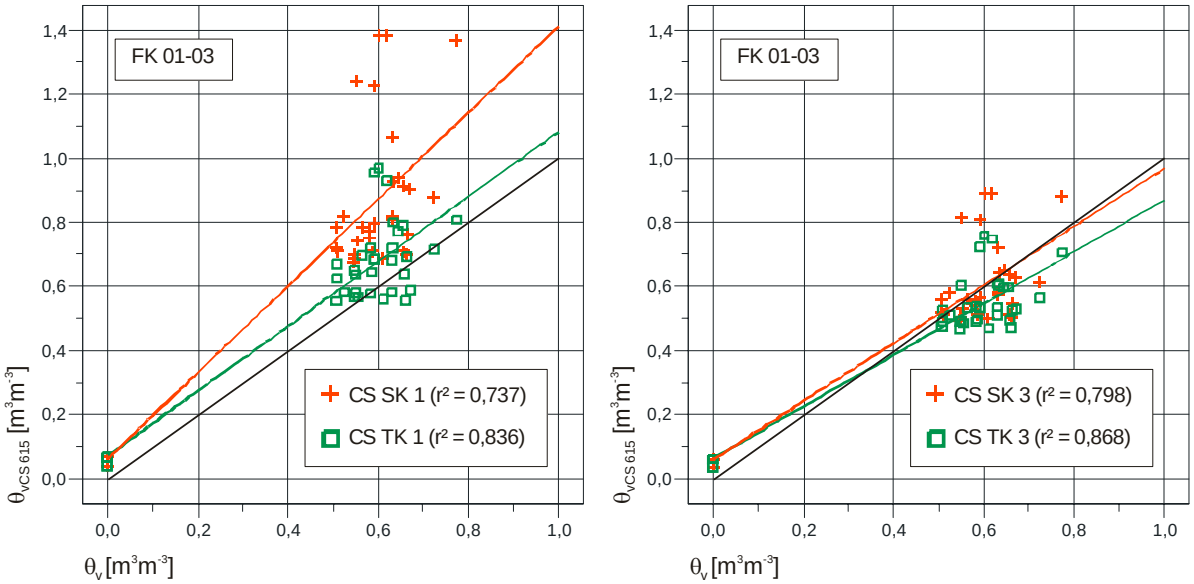
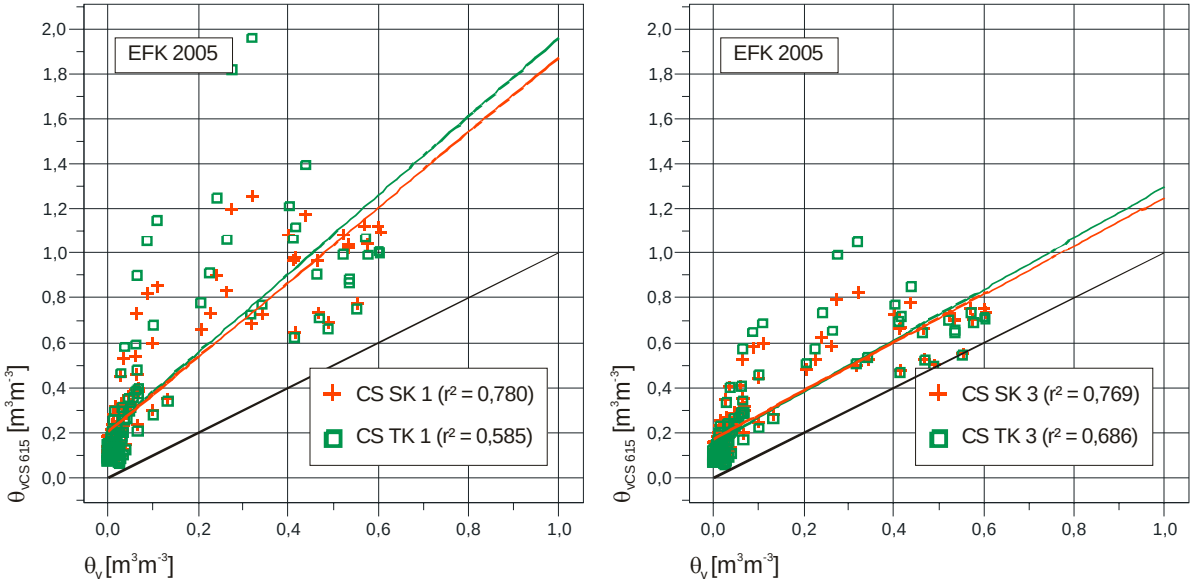


Abb. Annex C - 3: Wasseranteil θ_v versus gemessener Wassergehalt θ_{vCS615} gemäß den Kalibriergleichungen für elektrische Leitfähigkeiten ≤ 1 bzw. >3 dSm^{-1}(CS SK1, CS SK3) und den jeweiligen Temperaturkorrekturen (CS TK1, CS TK3) von CAMPBELL SCIENTIFIC (1998) für die Daten der erweiterten Feldkalibrierung (EFK 2005)



Tab. Annex C - 1: Bodenkenngrößen der Proben für die Laborkalibrierung (LK)

Bodenparameter und Bestimmungsmethode	pH-Wert	elektrische Leitfähigkeit [dS m^{-1}]	Sandfraktion [%]	Schlufffraktion [%]	Tonfraktion [%]	k-Wert [m sec^{-1}]	Feststoffdichte ρ_s [kg m^{-3}]	Trockendichte ρ_d [kg m^{-3}]	Porenanteil n_p
	$CaCl_2$-Auszug nach ÖNORM L 1083	Konoduktometer-bestimmung nach ÖNORM L 1099	Absetzverfahren nach Kubiena			Labormethode mit auf-steigendem Wasser-spiegel	Pyknometerversuch nach ÖNORM L1068	$\rho_d = m_s/V$	$n_p = 1 - \rho_d/\rho_s$
V1	7,7	1,2	5,3	38,5	56,2	$4,5*10^{-7}$	2,7	0,8	0,7
V3	6,4	1,7	24,1	41,2	34,6	$<<3,3*10^{-6}$	2,4	0,9	0,6

Tab. Annex C - 2: Modellzusammenfassung und Analyseparameter der ANOVA

Modellzusammenfassung

	r^2	FK 01-03							EFK 2005								
		CS L	CS P2	LR	P2	MR T	MR P	MR TP	CS L	CS P2	CS P3	LR	P2	P3	MR T	MR P	MR TP
Subsets	V1 0-30	0,966	0,992	0,966	0,966	0,973	0,988	0,998	0,897	0,958	0,966	0,897	0,984	0,999	0,947		
	V1 30-60	0,916	0,924	0,916	0,969	0,918	0,935	0,963	0,773	0,827	0,823	0,773	0,930	0,954	0,848		
	V2 0-30	0,992	0,993	0,992	0,993	0,992	0,933	0,994	0,808	0,919	0,922	0,808	0,938	0,991	0,850	Porenanteil P =	
	V2 30-60	0,969	0,983	0,969	0,997	0,971	0,987	0,987	0,783	0,868	0,870	0,783	0,938	0,980	0,861	konstant	
	V3 0-30	0,972	0,975	0,972	0,993	0,989	0,979	0,991	0,692	0,815	0,814	0,692	0,919	0,983	0,788		
	V3 30-60	0,943	0,972	0,943	0,958	0,963	0,964	0,983	0,930	0,961	0,965	0,930	0,990	0,990	0,944		
	Datenset gesamt	0,840	0,947	0,840	0,845	0,840	0,846	0,849	0,757	0,788	0,785	0,757	0,842	0,867	0,801	0,802	0,847

Variablenausschluss

	r^2_{korr}	FK 01-03							EFK 2005								
		CS L	CS P2	LR	P2	MR T	MR P	MR TP	CS L	CS P2	CS P3	LR	P2	P3	MR T	MR P	MR TP
Subsets	V1 0-30	0,954	0,983	0,954	0,932	0,973	0,975	0,992	0,890	0,952	0,961	0,890	0,981	0,998	0,938		
	V1 30-60	0,900	0,886	0,900	0,953	0,981	0,902	0,871	0,757	0,800	0,796	0,757	0,919	0,942	0,824		
	V2 0-30	0,990	0,989	0,990	0,988	0,992	0,988	0,984	0,794	0,906	0,910	0,794	0,929	0,988	0,827	Porenanteil P =	
	V2 30-60	0,961	0,972	0,961	0,996	0,971	0,978	0,968	0,768	0,848	0,850	0,768	0,929	0,975	0,840	konstant	
	V3 0-30	0,966	0,958	0,966	0,988	0,990	0,964	0,977	0,670	0,786	0,785	0,670	0,906	0,983	0,755		
	V3 30-60	0,932	0,958	0,932	0,938	0,963	0,947	0,967	0,925	0,955	0,960	0,925	0,988	0,987	0,935		
	Datenset gesamt	0,835	0,944	0,835	0,836	0,831	0,837	0,836	0,755	0,784	0,781	0,755	0,839	0,862	0,797	0,798	0,842

	SE	FK 01-03							EFK 2005								
		CS L	CS P2	LR	P2	MR T	MR P	MR TP	CS L	CS P2	CS P3	LR	P2	P3	MR T	MR P	MR TP
Subsets	V1 0-30	0,060	0,036	0,078	0,096	0,085	0,058	0,033	0,068	0,045	0,041	0,890	0,053	0,015	0,095		
	V1 30-60	0,078	0,084	0,148	0,101	0,164	0,146	0,168	0,097	0,088	0,089	0,192	0,110	0,094	0,163		
	V2 0-30	0,022	0,024	0,031	0,035	0,362	0,035	0,041	0,072	0,049	0,048	0,120	0,070	0,029	0,110	Porenanteil P =	
	V2 30-60	0,449	0,038	0,670	0,022	0,075	0,050	0,061	0,087	0,070	0,070	0,137	0,076	0,045	0,114	konstant	
	V3 0-30	0,047	0,051	0,065	0,039	0,047	0,067	0,053	0,116	0,093	0,093	0,226	0,121	0,052	0,195		
	V3 30-60	0,065	0,051	0,095	0,090	0,086	0,084	0,066	0,051	0,039	0,037	0,108	0,043	0,045	0,101		
	Datenset gesamt	0,094	0,055	0,153	0,153	0,155	0,152	0,153	0,091	0,086	0,086	0,179	0,145	0,134	0,163	0,162	**0,144**

ANOVA

	MS_{Res}	FK 01-03							EFK 2005								
		CS L	CS P2	LR	P2	MR T	MR P	MR TP	CS L	CS P2	CS P3	LR	P2	P3	MR T	MR P	MR TP
Subsets	V1 0-30	0,004	0,001	0,006	0,009	0,007	0,003	0,001	0,005	0,002	0,002	0,016	0,003	0,000	0,009		
	V1 30-60	0,006	0,007	0,022	0,011	0,027	0,021	0,028	0,010	0,008	0,008	0,037	0,012	0,009	0,027		
	V2 0-30	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,005	0,002	0,002	0,014	0,005	0,008	0,012	Porenanteil P =	
	V2 30-60	0,002	0,001	0,281	0,001	0,006	0,003	0,004	0,008	0,005	0,005	0,019	0,006	0,002	0,013	konstant	
	V3 0-30	0,000	0,003	0,004	0,001	0,002	0,004	0,003	0,013	0,009	0,009	0,051	0,015	0,003	0,038		
	V3 30-60	0,004	0,003	0,009	0,008	0,007	0,007	0,004	0,003	0,002	0,001	0,012	0,002	0,002	0,010		
	Datenset gesamt	0,009	0,003	0,023	0,023	0,024	0,023	0,023	0,008	0,007	0,007	0,032	0,021	0,018	0,026	0,026	0,021

	F-Wert	FK 01-03							EFK 2005								
		CS L	CS P2	LR	P2	MR T	MR P	MR TP	CS L	CS P2	CS P3	LR	P2	P3	MR T	MR P	MR TP
Subsets	V1 0-30	84,729	119,832	84,729	28,478	36,117	79,715	162,722	122,022	149,246	184,190	122,022	387,362	3304,033	115,142		
	V1 30-60	54,819	24,338	54,819	61,935	22,315	28,709	14,513	47,768	31,058	30,225	47,768	86,552	82,054	36,187		
	V2 0-30	506,707	223,325	506,707	207,716	194,745	203,189	102,116	58,881	73,392	76,969	58,881	98,968	423,131	36,910	Porenanteil P =	
	V2 30-60	125,113	86,724	125,113	573,682	50,303	114,098	50,927	50,648	42,839	43,538	50,648	98,485	192,228	40,365	konstant	
	V3 0-30	141,203	58,189	141,320	205,730	140,687	68,603	72,334	31,390	28,587	28,441	31,390	73,522	281,945	24,167		
	V3 30-60	82,962	69,317	82,962	46,152	51,687	54,293	59,445	186,222	161,875	181,799	186,222	615,505	378,866	108,844		
	Datenset gesamt	183,518	301,618	183,518	92,697	62,069	93,513	89,361	293,174	173,325	169,899	293,174	248,637	199,045	187,155	188,615	169,780

	P-Wert	FK 01-03							EFK 2005								
		CS L	CS P2	LR	P2	MR T	MR P	MR TP	CS L	CS P2	CS P3	LR	P2	P3	MR T	MR P	MR TP
Subsets	V1 0-30	0,0027	0,0083	0,0030	0,0339	0,2700	0,1200	0,0580	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		
	V1 30-60	0,0007	0,0058	0,0010	0,0010	0,0070	0,0040	0,0270	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		
	V2 0-30	0,0000	0,0005	0,0000	0,0006	0,0010	0,0010	0,0100	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	Porenanteil P =	
	V2 30-60	0,0004	0,0022	0,0000	0,0001	0,0050	0,0010	0,0190	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	konstant	
	V3 0-30	0,0003	0,0040	0,0000	0,0006	0,0010	0,0030	0,0140	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		
	V3 30-60	0,0003	0,0008	0,0000	0,0017	0,0010	0,0010	0,0040	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		
	Datenset gesamt	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

	Signifikanz F	FK 01-03							EFK 2005								
		CS L	CS P2	LR	P2	MR T	MR P	MR TP	CS L	CS P2	CS P3	LR	P2	P3	MR T	MR P	MR TP
Subsets	V1 0-30	**	**	**	*	n.s.	n.s.	n.s.	***	***	***	***	***	***	***		
	V1 30-60	***	**	***	***	**	**	*	***	***	***	***	***	***	***		
	V2 0-30	***	***	***	***	***	***	**	***	***	***	***	***	***	***	Porenanteil P =	
	V2 30-60	***	**	***	***	**	***	*	***	***	***	***	***	***	***	konstant	
	V3 0-30	***	**	***	***	***	**	*	***	***	***	***	***	***	***		
	V3 30-60	***	***	***	**	***	***	**	***	***	***	***	***	***	***		
	Datenset gesamt	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***

	Anzahl Regressoren bzw. df	FK 01-03							EFK 2005								
		CS L	CS P2	LR	P2	MR T	MR P	MR TP	CS L	CS P2	CS P3	LR	P2	P3	MR T	MR P	MR TP
Subsets	V1 0-30	1;3	2;2	1;3	2;2	2;2	2;2	3;1	1;14	2;13	2;13	1;14	2;13	3;12	2;13		
	V1 30-60	1;5	2;4	1;5	2;4	2;4	2;4	3;3	1;14	2;13	2;13	1;14	2;13	3;12	2;13		
	V2 0-30	1;4	2;3	1;4	2;3	2;3	2;3	3;2	1;14	2;13	2;13	1;14	2;13	3;12	2;13	Porenanteil P =	
	V2 30-60	1;4	2;3	1;4	2;3	2;3	2;3	3;2	1;14	2;13	2;13	1;14	2;13	3;12	2;13	konstant	
	V3 0-30	1;4	2;3	1;4	2;3	2;3	2;3	3;2	1;14	2;13	2;13	1;14	2;13	3;12	2;13		
	V3 30-60	1;5	2;4	1;5	2;4	2;4	2;4	3;3	1;14	2;13	2;13	1;14	2;13	3;12	2;13		
	Datenset gesamt	1;35	2;34	1;35	2;34	2;34	2;34	3;33	1;94	2;93	2;93	1;94	2;93	3;92	2;93	2;93	3;92

	F_{krit} (nach SOPER , 2006)	FK 01-03							EFK 2005								
		CS L	CS P2	LR	P2	MR T	MR P	MR TP	CS L	CS P2	CS P3	LR	P2	P3	MR T	MR P	MR TP
Subsets	V1 0-30	10,128	n.k.	10,128	n.k.	n.k.	n.k.	n.k.	4,600	3,806	3,806	4,600	3,806	3,490	3,806		
	V1 30-60	6,608	6,994	6,608	6,994	6,994	6,994	n.k.	4,600	3,806	3,806	4,600	3,806	3,490	3,806		
	V2 0-30	7,709	9,552	7,709	9,552	9,552	9,552	n.k.	4,600	3,806	3,806	4,600	3,806	3,490	3,806	Porenanteil P =	
	V2 30-60	7,709	9,552	7,709	9,552	9,552	9,552	n.k.	4,600	3,806	3,806	4,600	3,806	3,490	3,806	konstant	
	V3 0-30	7,709	9,552	7,709	9,552	9,552	9,552	n.k.	4,600	3,806	3,806	4,600	3,806	3,490	3,806		
	V3 30-60	6,608	6,994	6,608	6,994	6,994	6,994	n.k.	4,600	3,806	3,806	4,600	3,806	3,490	3,806		
	Datenset gesamt	4,121	3,276	4,121	3,276	3,276	3,276	2,892	3,942	3,094	3,094	3,942	3,094	2,704	3,094	3,094	2,704

n.k.: nicht kalkulierbar nach SOPER (2006)

Tab. Annex C - 3: Koeffizienten und T-Statistik der Daten der Feldkalibrierung (FK 01-03)

	Modell	Subset	Koeffizienten	Nicht standardisiert		Standardisiert	T	Signifikanz	95%-Konfidenzintervall für B	
				B	SE B	Beta			Untergrenze	Obergrenze
FK 01-03	CS L S	V1 0-30	(Konstante)	-0,603	0,123		-4,898	0,0163	-0,994	-0,211
			τ	0,757	0,082	0,983	9,205	0,0027	0,495	1,018
	CS L S	V1 30-60	(Konstante)	-0,407	0,131		-3,105	0,0267	-0,744	-0,070
			τ	0,508	0,069	0,957	7,404	0,0007	0,332	0,684
	CS L S	V2 0-30	(Konstante)	-0,577	0,047		-12,316	0,0002	-0,707	-0,447
			τ	0,707	0,031	0,996	22,510	0,0000	0,619	0,794
	CS L S	V2 30-60	(Konstante)	-0,538	0,091		-5,903	0,0041	-0,792	-0,285
			τ	0,660	0,059	0,984	11,185	0,0004	0,496	0,824
	CS L S	V3 0-30	(Konstante)	-0,544	0,090		-6,066	0,0037	-0,793	-0,295
			τ	0,702	0,059	0,986	11,883	0,0003	0,538	0,866
	CS L S	V3 30-60	(Konstante)	-0,497	0,119		-4,189	0,0086	-0,802	-0,192
			τ	0,672	0,074	0,971	9,108	0,0003	0,482	0,862
			Abhängige Variable: θ_v							
	CS L D		(Konstante)	-0,382	0,067		-5,676	0,0000	-0,519	-0,245
			τ	0,565	0,042	0,916	13,547	0,0000	0,480	0,650
			Abhängige Variable: θ_v							
	CS P2 S	V1 0-30	(Konstante)	-1,512	0,371		-4,077	0,0552		
			τ	2,377	0,649	3,087	3,661	0,0672		
			τ^2	-0,650	0,026	-2,110	-2,503	0,1294		
	CS P2 S	V1 30-60	(Konstante)	-0,809	0,649		-1,247	0,2804		
			τ	1,177	1,057	2,219	1,114	0,3278		
			τ^2	-0,231	0,364	-1,265	-0,635	0,5601		
	CS P2 S	V2 0-30	(Konstante)	-0,913	0,468		-1,952	0,1460		
			τ	1,322	0,853	-0,868	-0,722	0,5223		
			τ^2	-0,254	0,351	-0,868	-0,722	0,5223		
	CS P2 S	V2 30-60	(Konstante)	-2,831	1,462		-1,937	0,1482		
			τ	4,835	2,659	7,208	1,819	0,1666		
			τ^2	-1,687	1,074	-6,225	-1,571	0,2143		
	CS P2 S	V3 0-30	(Konstante)	-0,135	0,768		-0,176	0,8719		
			τ	-0,072	1,442	-0,101	-0,050	0,9633		
			τ^2	0,321	0,597	1,089	0,537	0,6284		
	CS P2 S	V3 30-60	(Konstante)	-1,399	0,455		-3,076	0,0371		
			τ	2,321	0,816	3,355	2,845	0,0466		
			τ^2	-0,654	0,323	-2,390	-2,027	0,1126		
			Abhängige Variable: θ_v							
	CS P2 D		(Konstante)	-1,195	0,106		-11,261	0,0000		
			τ	1,871	0,160	3,035	11,681	0,0000		
			τ^2	-0,476	0,058	-2,144	-8,250	0,0000		
			Abhängige Variable: θ_v							
	LR S	V1 0-30	(Konstante)	0,819	0,078		10,504	0,0018	0,571	1,067
			θ_v	1,276	0,139	0,983	9,205	0,0027	0,835	1,717
	LR S	V1 30-60	(Konstante)	0,890	0,143		6,240	0,0015	0,523	1,256
			θ_v	1,805	0,244	0,957	7,404	0,0007	1,178	2,431
	LR S	V2 0-30	(Konstante)	0,822	0,031		26,256	0,0000	0,735	0,909
			θ_v	1,404	0,062	0,996	22,510	0,0000	1,231	1,577
	LR S	V2 30-60	(Konstante)	0,837	0,066		12,610	0,0002	0,653	1,021
			θ_v	1,467	0,131	0,984	11,185	0,0004	1,103	1,832
	LR S	V3 0-30	(Konstante)	0,794	0,064		12,443	0,0002	0,617	0,972
			θ_v	1,386	0,117	0,986	11,883	0,0003	1,062	1,710
	LR S	V3 30-60	(Konstante)	0,787	0,093		8,426	0,0004	0,547	1,027
			θ_v	1,404	0,154	0,971	9,108	0,0003	1,008	1,800
			Abhängige Variable: output τ [msec]							
	LR D		(Konstante)	0,820	0,061		13,460	0,0000	0,696	0,943
			θ_v	1,486	0,110	0,916	13,547	0,0000	1,264	1,709
			Abhängige Variable: output τ [msec]							

Modell	Subset	Koeffizienten	Nicht standardisiert B	SE B	Standardisiert Beta	T	Signifikanz	95%-Konfidenzintervall für B Untergrenze	Obergrenze
P2 S	V1 0-30	(Konstante)	0,820	0,096		8,582	0,0133		
		θ_v	1,073	1,607	0,827	0,668	0,5730		
		θ_v^2	0,318	2,510	0,157	0,127	0,9107		
P2 S	V1 30-60	(Konstante)	0,822	0,101		8,130	0,0012		
		θ_v	3,353	0,621	1,779	5,395	0,0057		
		θ_v^2	-2,235	0,864	-0,852	-2,586	0,0609		
P2 S	V2 0-30	(Konstante)	0,820	0,035		23,576	0,0020		
		θ_v	1,723	0,608	1,222	2,832	0,0661		
		θ_v^2	-0,570	1,083	-0,227	-0,527	0,6349		
P2 S	V2 30-60	(Konstante)	0,820	0,022		36,559	0,0000		
		θ_v	3,305	0,325	2,217	10,182	0,0020		
		θ_v^2	-3,244	0,568	-1,244	-5,713	0,0106		
P2 S	V3 0-30	(Konstante)	0,770	0,039		19,891	0,0003		
		θ_v	2,354	0,341	1,675	6,908	0,0062		
		θ_v^2	-1,525	0,526	-0,703	-2,901	0,0624		
P2 S	V3 30-60	(Konstante)	0,770	0,090		8,515	0,0010		
		θ_v	2,506	0,920	1,734	2,725	0,0527		
		θ_v^2	-1,633	1,345	-0,773	-1,214	0,2915		
		Abhängige Variable: output τ [msec]							
P2 D		(Konstante)	0,805	0,062		12,902	0,0000		
		θ_v	1,983	0,478	1,222	4,152	0,0020		
		θ_v^2	-0,766	0,717	-0,314	-1,068	0,2931		
		Abhängige Variable: output τ [msec]							
MR T S	V1 0-30	(Konstante)	0,649	0,247		2,626	0,1196	-0,414	1,712
		θ_v	1,392	0,218	1,072	6,383	0,0237	0,454	2,330
		T	0,009	0,012	0,123	0,734	0,5394	-0,042	0,059
MR T S	V1 30-60	(Konstante)	0,994	0,438		2,268	0,0859	-0,223	2,211
		θ_v	1,733	0,389	0,920	4,455	0,0112	0,653	2,814
		T	-0,005	0,021	-0,053	-0,254	0,8117	-0,065	0,054
MR T S	V2 0-30	(Konstante)	0,807	0,098		8,196	0,0038	0,494	1,121
		θ_v	1,419	0,114	1,006	12,469	0,0011	1,057	1,781
		T	0,001	0,005	0,013	0,165	0,8797	-0,014	0,015
MR T S	V2 30-60	(Konstante)	0,914	0,184		4,972	0,0156	0,329	1,499
		θ_v	1,392	0,220	0,934	6,329	0,0080	0,692	2,092
		T	-0,004	0,009	-0,068	-0,458	0,6781	-0,031	0,023
MR T S	V3 0-30	(Konstante)	0,954	0,086		11,110	0,0016	0,681	1,228
		θ_v	1,259	0,101	0,896	12,410	0,0011	0,936	1,582
		T	-0,009	0,004	-0,159	-2,199	0,1153	-0,021	0,004
MR T S	V3 30-60	(Konstante)	0,542	0,189		2,867	0,0456	0,017	1,067
		θ_v	1,594	0,192	1,103	8,322	0,0011	1,062	2,126
		T	0,012	0,008	0,192	1,450	0,2206	-0,011	0,035
		Abhängige Variable: output τ [msec]							
MR T D		(Konstante)	0,786	0,141		5,592	0,0000	0,500	1,071
		θ_v	1,513	0,149	0,933	10,182	0,0000	1,211	1,815
		soil temp.	0,002	0,007	0,025	0,268	0,7906	-0,012	0,015
		Abhängige Variable: output τ [msec]							
MR P S	V1 0-30	(Konstante)	1,563	0,401		3,901	0,0599	-0,161	3,287
		θ_v	1,949	0,373	1,501	5,229	0,0347	0,345	3,552
		p	-1,614	0,860	-0,538	-1,876	0,2014	-5,317	2,088
MR P S	V1 30-60	(Konstante)	1,402	0,501		2,798	0,0489	0,011	2,793
		θ_v	2,185	0,430	1,159	5,075	0,0071	0,990	3,380
		p	-1,145	1,076	-0,243	-1,065	0,3470	-4,132	1,841
MR P S	V2 0-30	(Konstante)	0,890	0,153		5,810	0,0102	0,402	1,377
		θ_v	1,428	0,087	1,013	16,423	0,0005	1,151	1,705
		p	-0,149	0,327	-0,028	-0,454	0,6805	-1,190	0,893
MR P S	V2 30-60	(Konstante)	1,385	0,273		5,068	0,0148	0,515	2,255
		θ_v	1,589	0,115	1,066	13,841	0,0008	1,224	1,955
		p	-1,208	0,592	-0,157	-2,040	0,1340	-3,092	0,676
MR P S	V3 0-30	(Konstante)	1,003	0,234		4,292	0,0233	0,259	1,746
		θ_v	1,535	0,200	1,092	7,678	0,0046	0,899	2,172
		p	-0,476	0,512	-0,132	-0,929	0,4216	-2,106	1,154
MR P S	V3 30-60	(Konstante)	1,161	0,255		4,552	0,0104	0,453	1,869
		θ_v	1,704	0,237	1,179	7,192	0,0020	1,046	2,362
		p	-0,857	0,553	-0,254	-1,549	0,1963	-2,394	0,679
		Abhängige Variable: output τ [msec]							
MR P D		(Konstante)	0,997	0,162		6,165	0,0000	0,668	1,326
		θ_v	1,617	0,155	0,997	10,435	0,0000	1,302	1,932
		p	-0,411	0,347	-0,113	-1,184	0,2447	-1,117	0,295
		Abhängige Variable: output τ [msec]							

FK 01-03

Modell	Subset	Koeffizienten	Nicht standardisiert B	Nicht standardisiert SE B	Standardisiert Beta	T	Signifikanz	95%-Konfidenzintervall für B Untergrenze	95%-Konfidenzintervall für B Obergrenze
MR TP S	V1 0-30	(Konstante)	1,414	0,239		5,904	0,1068	-1,629	4,457
		θ_v	2,138	0,230	1,646	9,294	0,0682	-0,785	5,060
		T	0,010	0,005	0,148	2,250	0,2663	-0,048	0,069
		p	-1,735	0,497	-0,579	-3,490	0,1777	-8,053	4,582
MR TP S	V1 30-60	(Konstante)	1,468	0,687		2,136	0,1223	-0,719	3,654
		θ_v	2,129	0,589	1,129	3,614	0,0364	0,254	4,003
		T	-0,004	0,022	-0,037	-0,176	0,8717	-0,074	0,066
		p	-1,128	1,240	-0,239	-0,910	0,4300	-5,074	2,818
MR TP S	V2 0-30	(Konstante)	0,894	0,177		5,059	0,0369	0,134	1,654
		θ_v	1,518	0,203	1,076	7,492	0,0174	0,646	2,389
		T	0,003	0,007	0,059	0,510	0,6610	-0,025	0,032
		p	-0,305	0,486	-0,057	-0,627	0,5946	-2,394	1,785
MR TP S	V2 30-60	(Konstante)	1,390	0,337		4,120	0,0542	-0,062	2,841
		θ_v	1,575	0,214	1,056	7,358	0,0180	0,654	2,495
		T	-0,001	0,007	-0,012	-0,092	0,9352	-0,032	0,031
		p	-1,188	0,754	-0,155	-1,575	0,2559	-4,433	2,057
MR TP S	V3 0-30	(Konstante)	0,852	0,208		4,088	0,0550	-0,045	1,749
		θ_v	1,098	0,311	0,781	3,527	0,0718	-0,241	2,437
		T	-0,012	0,007	-0,216	-1,639	0,2429	-0,042	0,019
		p	0,366	0,657	0,102	0,557	0,6335	-2,461	3,193
MR TP S	V3 30-60	(Konstante)	0,914	0,241		3,794	0,0321	0,147	1,681
		θ_v	1,887	0,211	1,306	8,936	0,0030	1,215	2,559
		T	0,012	0,006	0,189	1,855	0,1606	-0,008	0,032
		p	-0,845	0,436	-0,250	-1,938	0,1480	-2,233	0,543
		Abhängige Variable: output τ [msec]							
MR TP D		(Konstante)	0,940	0,176		5,350	0,0000	0,583	1,298
		θ_v	1,751	0,222	1,080	7,885	0,0000	1,299	2,203
		T	0,006	0,007	0,084	0,849	0,4022	-0,008	0,021
		p	-0,549	0,385	-0,151	-1,427	0,1630	-1,332	0,234
		Abhängige Variable: output τ [msec]							

Tab. Annex C - 4: Koeffizienten und T-Statistik der Daten der Erweiterten Feldkalibrierung (EFK 2005)

	Modell	Subset	Koeffizienten	Nicht standardisiert B	SE B	Standardisiert Beta	T	Signifikanz	95%-Konfidenzintervall für B Untergrenze	Obergrenze
EFK 2005	CS L S	V1 0-30	(Konstante)	-0,492	0,058		-8,419	0,0000	-0,618	-0,367
			τ	0,511	0,046	0,947	11,046	0,0000	0,411	0,610
	CS L S	V1 30-60	(Konstante)	-0,450	0,089		-5,058	0,0002	-0,641	-0,259
			τ	0,448	0,065	0,879	6,911	0,0000	0,309	0,587
	CS L S	V2 0-30	(Konstante)	-0,524	0,084		-6,271	0,0000	-0,703	-0,345
			τ	0,541	0,070	0,899	7,673	0,0000	0,389	0,692
	CS L S	V2 30-60	(Konstante)	-0,534	0,095		-5,640	0,0001	-0,737	-0,331
			τ	0,562	0,079	0,885	7,117	0,0000	0,393	0,731
	CS L S	V3 0-30	(Konstante)	-0,467	0,112		-4,166	0,0010	-0,707	-0,226
			τ	0,424	0,076	0,832	5,603	0,0001	0,262	0,587
	CS L S	V3 30-60	(Konstante)	-0,381	0,040		-9,466	0,0000	-0,467	-0,294
			τ	0,451	0,033	0,964	13,646	0,0000	0,380	0,522
			Abhängige Variable: θ_v							
	CS L D		(Konstante)	-0,422	0,033		-12,611	0,0000	-0,489	-0,356
			τ	0,444	0,026	0,870	17,122	0,0000	0,393	0,496
			Abhängige Variable: θ_v							
	CS P2 S	V1 0-30	(Konstante)	0,697	0,275		2,533	0,0250		
			τ	-1,370	0,432	-2,541	-3,173	0,0073		
			τ^2	0,679	0,155	3,497	4,366	0,0008		
	CS P2 S	V1 30-60	(Konstante)	0,475	0,468		1,015	0,3287		
			τ	-0,936	0,692	-1,839	-1,352	0,1993		
			τ^2	0,478	0,238	2,728	2,006	0,0661		
	CS P2 S	V2 0-30	(Konstante)	1,139	0,399		2,852	0,0136		
			τ	-2,277	0,672	-3,787	-3,391	0,0048		
			τ^2	1,139	0,271	4,697	4,206	0,0010		
	CS P2 S	V2 30-60	(Konstante)	1,031	0,546		1,887	0,0817		
			τ	-2,061	0,909	-3,247	-2,268	0,0410		
			τ^2	1,041	0,360	4,142	2,893	0,0126		
	CS P2 S	V3 0-30	(Konstante)	0,961	0,494		1,946	0,0736		
			τ	-1,661	0,711	-3,254	-2,333	0,0364		
			τ^2	0,709	0,241	4,100	2,940	0,0115		
	CS P2 S	V3 30-60	(Konstante)	0,285	0,207		1,376	0,1921		
			τ	-0,658	0,343	-1,407	-1,921	0,3077		
			τ^2	0,415	0,128	2,378	3,248	0,0064		
			Abhängige Variable: θ_v							
	CS P2 D		(Konstante)	0,165	0,161		1,020	0,3102		
			τ	-0,480	0,250	-0,941	-1,917	0,0584		
			τ^2	0,336	0,091	1,820	3,707	0,0004		
			Abhängige Variable: θ_v							
	CS P3 S	V1 0-30	(Konstante)	0,163	0,088		1,847	0,0877		
			τ		Variable ausgeschlossen					
			τ^2	-0,448	0,163	-2,310	-2,751	0,0165		
			τ^3	0,294	0,075	3,279	3,904	0,0018		
	CS P3 S	V1 30-60	(Konstante)	0,163	0,331		0,491	0,6315		
			τ	-0,253	0,372	-0,498	-0,681	0,5076		
			τ^2		Variable ausgeschlossen					
			τ^3	0,108	0,057	1,395	1,910	0,0785		
	CS P3 S	V2 0-30	(Konstante)	0,265	0,137		1,928	0,0759		
			τ		Variable ausgeschlossen					
			τ^2	-0,796	0,288	-3,283	-2,766	0,0160		
			τ^3	0,534	0,151	4,212	3,549	0,0036		
	CS P3 S	V2 30-60	(Konstante)	0,229	0,191		1,201	0,2512		
			τ		Variable ausgeschlossen					
			τ^2	-0,683	0,392	-2,718	-1,740	0,1054		
			τ^3	0,468	0,201	3,629	2,324	0,0370		
	CS P3 S	V3 0-30	(Konstante)	0,488	0,339		1,441	0,1733		
			τ	-0,639	0,369	-1,251	-1,733	0,1068		
			τ^2		Variable ausgeschlossen					
			τ^3	0,159	0,054	2,112	2,925	0,0118		
	CS P3 S	V3 30-60	(Konstante)	0,047	0,088		0,688	0,5037		
			τ		Variable ausgeschlossen					
			τ^2	-0,163	0,140	-0,933	-1,162	0,2662		
			τ^3	0,159	0,067	1,912	2,381	0,0333		
			Abhängige Variable: θ_v							
	CS P3 D		(Konstante)	-0,065	0,056		-1,162	0,2481		
			τ		Variable ausgeschlossen					
			τ^2	0,020	0,097	0,110	0,209	0,8350		
			τ^3	0,066	0,045	0,776	1,472	0,1444		
			Abhängige Variable: θ_v							

Modell	Subset	Koeffizienten	Nicht standardisiert B	SE B	Standardisiert Beta	T	Signifikanz	95%-Konfidenzintervall für B Untergrenze	Obergrenze
LR S	V1 0-30	(Konstante)	0,989	0,037		26,409	0,0000	0,909	1,069
		θ_v	1,757	0,159	0,947	11,046	0,0000	1,416	2,098
LR S	V1 30-60	(Konstante)	1,077	0,060		18,098	0,0000	0,950	1,205
		θ_v	1,728	0,250	0,879	6,911	0,0000	1,191	2,264
LR S	V2 0-30	(Konstante)	1,006	0,036		28,005	0,0000	0,929	1,083
		θ_v	1,495	0,195	0,899	7,673	0,0000	1,077	1,912
LR S	V2 30-60	(Konstante)	0,997	0,042		23,880	0,0000	0,907	1,086
		θ_v	1,394	0,196	0,885	7,117	0,0000	0,974	1,814
LR S	V3 0-30	(Konstante)	1,201	0,070		17,237	0,0000	1,052	1,351
		θ_v	1,629	0,291	0,832	5,603	0,0001	1,006	2,253
LR S	V3 30-60	(Konstante)	0,866	0,034		25,192	0,0000	0,792	0,939
		θ_v	2,062	0,151	0,964	13,646	0,0000	1,738	2,386
		Abhängige Variable: output τ [msec]							
LR D		(Konstante)	1,021	0,022		45,811	0,0000	0,977	1,065
		θ_v	1,705	0,100	0,870	17,122	0,0000	1,507	1,902
		Abhängige Variable: output τ [msec]							
P2 S	V1 0-30	(Konstante)	0,931	0,017		54,561	0,0000		
		θ_v	4,214	0,305	2,272	13,815	0,0000		
		θ_v^2	-4,512	0,547	-1,357	-8,251	0,0000		
P2 S	V1 30-60	(Konstante)	0,936	0,043		21,724	0,0000		
		θ_v	5,257	0,669	2,676	7,847	0,0000		
		θ_v^2	-6,321	1,170	-1,840	-5,402	0,0001		
P2 S	V2 0-30	(Konstante)	0,946	0,024		39,397	0,0000		
		θ_v	4,189	0,526	2,519	7,960	0,0000		
		θ_v^2	-6,338	1,208	-1,660	-5,246	0,0002		
P2 S	V2 30-60	(Konstante)	0,908	0,028		32,540	0,0000		
		θ_v	4,120	0,491	2,616	8,399	0,0000		
		θ_v^2	-5,352	0,939	-1,775	-5,698	0,0001		
P2 S	V3 0-30	(Konstante)	1,067	0,043		24,646	0,0000		
		θ_v	6,054	0,750	3,090	8,073	0,0000		
		θ_v^2	-8,430	1,398	-2,308	-6,030	0,0000		
P2 S	V3 30-60	(Konstante)	0,774	0,017		44,389	0,0000		
		θ_v	4,271	0,264	1,998	16,184	0,0000		
		θ_v^2	-4,215	0,490	-1,062	-8,601	0,0000		
		Abhängige Variable: output τ [msec]							
P2 D		(Konstante)	0,943	0,021		44,699	0,0000		
		θ_v	4,112	0,349	2,099	11,787	0,0000		
		θ_v^2	-4,623	0,652	-1,263	-7,093	0,0000		
		Abhängige Variable: output τ [msec]							
P3 S	V1 0-30	(Konstante)	0,901	0,005		166,865	0,0000		
		θ_v	6,433	1,996	3,468	32,234	0,0000		
		θ_v^2	-15,313	0,890	-4,605	-17,203	0,0000		
		θ_v^3	12,277	0,997	2,100	12,320	0,0000		
P3 S	V1 30-60	(Konstante)	0,850	0,051		16,795	0,0000		
		θ_v	8,384	1,394	4,268	6,015	0,0001		
		θ_v^2	-20,674	5,927	-6,017	-3,488	0,0045		
		θ_v^3	16,043	6,531	2,650	2,456	0,0302		
P3 S	V2 0-30	(Konstante)	0,892	0,012		75,692	0,0000		
		θ_v	8,038	0,517	4,834	15,561	0,0000		
		θ_v^2	-29,760	2,904	-7,795	-10,249	0,0000		
		θ_v^3	33,888	4,141	3,915	8,184	0,0000		
P3 S	V2 30-60	(Konstante)	0,835	0,022		37,604	0,0000		
		θ_v	7,486	0,741	4,753	10,101	0,0000		
		θ_v^2	-22,670	3,547	-7,518	-6,391	0,0000		
		θ_v^3	21,289	4,306	3,695	4,394	0,0003		
P3 S	V3 0-30	(Konstante)	0,981	0,022		44,987	0,0000		
		θ_v	10,521	0,671	5,370	15,670	0,0000		
		θ_v^2	-31,184	3,056	-8,539	-10,203	0,0000		
		θ_v^3	27,504	3,621	4,036	7,360	0,0000		
P3 S	V3 30-60	(Konstante)	0,773	0,023		32,920	0,0000		
		θ_v	4,300	0,602	2,011	7,137	0,0000		
		θ_v^2	-4,355	2,635	-1,097	-1,653	0,1243		
		θ_v^3	0,165	3,053	0,022	0,054	0,9577		
		Abhängige Variable: output τ [msec]							
P3 D		(Konstante)	0,889	0,237		37,479	0,0000		
		θ_v	6,759	0,726	3,450	9,312	0,0000		
		θ_v^2	-17,566	3,235	-4,800	-5,429	0,0000		
		θ_v^3	15,177	3,728	2,249	4,071	0,0001		
		Abhängige Variable: output τ [msec]							

	Modell	Subset	Koeffizienten	Nicht standardisiert B	Nicht standardisiert SE B	Standardisiert Beta	T	Signifikanz	95%-Konfidenzintervall für B Untergrenze	95%-Konfidenzintervall für B Obergrenze
EFK 2005	MR T S	V1 0-30	(Konstante)	-0,362	0,390		-0,927	0,3708	-1,205	0,481
			θ_v	3,041	0,389	1,639	7,824	0,0000	2,201	3,881
			T	0,035	0,010	0,727	3,470	0,0041	0,013	0,057
	MR T S	V1 30-60	(Konstante)	-1,148	0,884		-1,298	0,2169	-3,058	0,763
			θ_v	3,929	0,899	2,000	4,370	0,0008	1,987	5,872
			T	0,056	0,022	1,153	2,520	0,0256	0,008	0,104
	MR T S	V2 0-30	(Konstante)	-0,133	0,595		-0,224	0,8260	-1,419	1,152
			θ_v	2,866	0,737	1,723	3,889	0,0019	1,274	4,458
			T	0,029	0,015	0,850	1,918	0,0774	-0,004	0,061
	MR T S	V2 30-60	(Konstante)	-0,767	0,654		-1,173	0,2618	-2,179	0,645
			θ_v	3,267	0,712	2,074	4,588	0,0005	1,728	4,805
			T	0,043	0,016	1,221	2,701	0,0181	0,009	0,078
	MR T S	V3 0-30	(Konstante)	-0,892	0,863		-1,034	0,3198	-2,756	0,971
			θ_v	3,424	0,779	1,748	4,395	0,0007	1,741	5,107
			T	0,054	0,022	0,967	2,433	0,0302	0,006	0,102
	MR T S	V3 30-60	(Konstante)	-0,095	0,544		-0,175	0,8638	-1,270	1,080
			θ_v	2,985	0,541	1,396	5,522	0,0001	1,817	4,153
			T	0,024	0,014	0,447	1,769	0,1003	-0,005	0,053
			Abhängige Variable: output τ [msec]							
	MR T D		(Konstante)	-0,324	0,298		-1,088	0,2794	-0,916	0,268
			θ_v	3,031	0,307	1,547	9,875	0,0000	2,421	3,640
			T	0,034	0,008	0,709	4,523	0,0000	0,019	0,049
			Abhängige Variable: output τ [msec]							
	MR P D		(Konstante)	0,324	0,153		2,122	0,0365	0,021	0,628
			θ_v	1,683	0,090	0,859	18,600	0,0000	1,503	1,862
			p	1,316	0,286	0,212	4,601	0,0000	0,748	1,884
			Abhängige Variable: output τ [msec]							
	MR TP D		(Konstante)	-1,045	0,296		-3,525	0,0007	-1,633	-0,456
			θ_v	3,024	0,271	1,544	11,176	0,0000	2,486	3,561
			T	0,035	0,007	0,717	5,189	0,0000	0,021	0,048
			p	1,331	0,253	0,215	5,261	0,0000	0,829	1,834
			Abhängige Variable: output τ [msec]							

Tab. Annex C - 5: Koeffizienten für die Daten der Feldkalibrierung (FK 01-03)

CS L (FK 01-03) $\theta_{v\,corr.} = x^*\tau + c$

	Variable	τ	Konstante
	Koeffizienten	x	c
Subsets	V1 0-30	0,757	-0,603
	V1 30-60	0,508	-0,407
	V2 0-30	0,707	-0,577
	V2 30-60	0,660	-0,538
	V3 0-30	0,702	-0,544
	V3 30-60	0,672	-0,497
Datenset gesamt		0,565	-0,382

CS P2 (FK 01-03) $\theta_{v\,corr.} = x^*\tau^2 + y^*\tau + c$

	Variable	τ^2	τ	Konstante
	Koeffizienten	x	y	c
Subsets	V1 0-30	-0,650	2,377	-1,512
	V1 30-60	-0,231	1,177	-0,809
	V2 0-30	-0,254	1,322	-0,913
	V2 30-60	-1,687	4,835	-2,831
	V3 0-30	0,321	-0,072	-0,135
	V3 30-60	-0,654	2,321	-1,399
Datenset gesamt		-0,476	1,871	-1,195

LR (FK 01-03) $\theta_{vcorr} = \frac{\tau - c}{x}$

	Variable	θ_v	Konstante
	Koeffizienten	x	c
Subsets	V1 0-30	1,276	0,819
	V1 30-60	1,805	0,890
	V2 0-30	1,404	0,822
	V2 30-60	1,467	0,837
	V3 0-30	1,386	0,794
	V3 30-60	1,404	0,787
Datenset gesamt		1,486	0,819

P2 (FK 01-03) $\theta_{vcorr} = \frac{-y \pm \sqrt{y^2 - 4x(c-\tau)}}{2x}$

	Variable	τ^2	τ	Konstante
	Koeffizienten	x	y	c
Subsets	V1 0-30	0,318	1,073	0,820
	V1 30-60	-2,235	3,353	0,822
	V2 0-30	-0,570	1,723	0,820
	V2 30-60	-3,244	3,305	0,820
	V3 0-30	-1,525	2,354	0,770
	V3 30-60	-1,633	2,506	0,770
Datenset gesamt		-0,766	1,983	0,805

MR T (FK 01-03) $\theta_{vcorr} = \frac{\tau - T^*y - c}{x}$

	Variable	θ_v	T	Konstante
	Koeffizienten	x	y	c
Subsets	V1 0-30	1,392	0,009	0,649
	V1 30-60	1,733	-0,005	0,994
	V2 0-30	1,419	0,001	0,807
	V2 30-60	1,392	-0,004	0,914
	V3 0-30	1,259	-0,009	0,954
	V3 30-60	1,594	0,012	0,542
Datenset gesamt		1,513	0,002	0,786

MR P (FK 01-03) $\theta_{vcorr} = \frac{\tau - P^*y - c}{x}$

	Variable	θ_v	P	Konstante
	Koeffizienten	x	y	c
Subsets	V1 0-30	1,949	-1,614	1,563
	V1 30-60	2,185	-1,145	1,402
	V2 0-30	1,428	-0,149	0,890
	V2 30-60	1,589	-1,208	1,385
	V3 0-30	1,535	-0,476	1,003
	V3 30-60	1,704	-0,857	1,161
Datenset gesamt		1,617	-0,411	0,997

MR TP (FK 01-03) $\theta_{vcorr} = \frac{\tau - T^*y - P^*z - c}{x}$

	Variable	θ_v	T	P	Konstante
	Koeffizienten	x	y	z	c
Subsets	V1 0-30	2,138	0,01	-1,735	1,414
	V1 30-60	2,129	-0,004	-1,128	1,468
	V2 0-30	1,518	0,003	-0,305	0,894
	V2 30-60	1,575	-0,001	-1,188	1,39
	V3 0-30	1,098	-0,012	0,366	0,852
	V3 30-60	1,887	0,012	-0,845	0,914
Datenset gesamt		1,751	0,006	-0,549	0,94

Tab. Annex C - 6: Koeffizienten für die Daten der erweiterten Feldkalibrierung (EFK 2005)

CS L (EFK 2005)	$\theta_{v\,corr.} = x^{*}\tau + c$		
Variable	τ	Konstante	
Koeffizienten	x	c	
Subsets V1 0-30	0,511	-0,492	
Subsets V1 30-60	0,448	-0,450	
Subsets V2 0-30	0,541	-0,524	
Subsets V2 30-60	0,562	-0,534	
Subsets V3 0-30	0,424	-0,467	
Subsets V3 30-60	0,451	-0,381	
Datenset gesamt	0,444	-0,422	

CS P2 (EFK 2005)	$\theta_{v\,corr.} = x^{*}\tau^2 + y^{*}\tau + c$		
Variable	τ^2	τ	Konstante
Koeffizienten	x	y	c
Subsets V1 0-30	0,679	-1,370	0,697
Subsets V1 30-60	0,478	-0,936	0,475
Subsets V2 0-30	1,139	-2,277	1,139
Subsets V2 30-60	1,041	-2,061	1,031
Subsets V3 0-30	0,709	-1,661	0,961
Subsets V3 30-60	0,415	-0,658	0,285
Datenset gesamt	0,336	-0,480	0,165

LR (EFK 2005)	$\theta_{vcorr} = \frac{\tau - c}{x}$	
Variable	θ_v	Konstante
Koeffizienten	x	c
Subsets V1 0-30	1,757	0,989
Subsets V1 30-60	1,728	1,077
Subsets V2 0-30	1,495	1,006
Subsets V2 30-60	1,394	0,997
Subsets V3 0-30	1,629	1,201
Subsets V3 30-60	2,062	0,866
Datenset gesamt	1,705	1,021

P2 (EFK 2005)	$\theta_{vcorr} = \frac{-y \pm \sqrt{y^2 - 4x(c-\tau)}}{2x}$			
Variable	τ^2	τ	Konstante	
Koeffizienten	x	y	c	
Subsets V1 0-30				
Subsets V1 30-60				
Subsets V2 0-30				
Subsets V2 30-60				
Subsets V3 0-30				
Subsets V3 30-60				
Datenset gesamt				

MR T (EFK 2005)	$\theta_{vcorr} = \frac{\tau - T^{*}y - c}{x}$		
Variable	θ_v	T	Konstante
Koeffizienten	x	y	c
Subsets V1 0-30	3,041	0,035	-0,362
Subsets V1 30-60	3,929	0,056	-1,148
Subsets V2 0-30	2,866	0,029	-0,133
Subsets V2 30-60	3,267	0,043	-0,767
Subsets V3 0-30	3,424	0,045	-0,892
Subsets V3 30-60	2,985	0,024	-0,095
Datenset gesamt	3,031	0,034	-0,324

MR P (EFK 2005)	$\theta_{vcorr} = \frac{\tau - P^{*}y - c}{x}$		
Variable	θ_v	P	Konstante
Koeffizienten	x	y	c
Subsets V1 0-30			
Subsets V1 30-60			
Subsets V2 0-30	Por = konstant		
Subsets V2 30-60			
Subsets V3 0-30			
Subsets V3 30-60			
Datenset gesamt	1,683	1,316	0,324

MR TP (EFK 2005)	$\theta_{vcorr} = \frac{\tau - T^{*}y - P^{*}z - c}{x}$			
Variable	θ_v	T	P	Konstante
Koeffizienten	x	y	z	c
Subsets V1 0-30				
Subsets V1 30-60				
Subsets V2 0-30	Porenanteil P = konstant			
Subsets V2 30-60				
Subsets V3 0-30				
Subsets V3 30-60				
Datenset gesamt	3,024	0,035	1,331	-1,045

P3 (EFK 2005)	τ^3	τ^2	τ	Konstante
Variable	x	y	z	c
Subsets V1 0-30	-15,313	12,277	6,433	0,901
Subsets V1 30-60	16,043	-20,674	8,384	0,850
Subsets V2 0-30	33,888	-29,760	8,038	0,892
Subsets V2 30-60	21,289	-22,670	7,486	0,835
Subsets V3 0-30	27,504	-31,184	10,521	0,981
Subsets V3 30-60	0,165	-4,355	4,300	0,773
Datenset gesamt	15,318	-17,566	6,759	0,889

CS P3 (EFK 2005)	$\theta_{v\,corr.} = x^{*}\tau^3 + y^{*}\tau^2 + z^{*}\tau + c$			
Variable	τ^3	τ^2	τ	Konstante
Koeffizienten	x	y	z	c
Subsets V1 0-30	0,294	-0,448	V.g.*	0,163
Subsets V1 30-60	0,108	V.g.*	-0,253	1,626
Subsets V2 0-30	0,534	-0,796	V.g.*	0,265
Subsets V2 30-60	0,468	-0,683	V.g.*	0,229
Subsets V3 0-30	0,159	V.g.*	-0,639	0,488
Subsets V3 30-60	0,159	-0,163	V.g.*	0,047
Datenset gesamt	0,066	0,020	V.g.*	-0,065

Tab. Annex C - 7: Gravimetrisch ermittelter Wassergehalt θ_v und Wassergehalte nach den Kalibriervarianten $\theta_{v\,CS\,615}$ sowie Temperatur, Porenanteil und Trockendichte der Feldkalibrierung (FK 01-03)

Datengrundlage	Datum der Proben-werbung	Subset	θ_v [m³ m⁻³]	CS SK	CS TK	CS SK1	CS TK1	CS SK3	CS TK3	CS L D	CS L S	CS P2 D	CS P2 S	LR D	LR S	P2 D	P2 S	MR T D	MR T S	MR P D	MR P S	MR TP D	MR TP S	Temperatur [°C]	Porenanteil nv	Porenzahl e	Trocken-dichte ρd [kg m⁻³]
			$\theta_{v\,CS\,615}$ [m³m⁻³]																								
FK 01-03	V1 0-30cm (LK)		0,00	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,16	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	-0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	20,00	0,46	0,85	1,47
	13.06.2002	V1 0-30cm	0,59	0,66	0,61	0,71	0,64	0,51	0,50	0,65	0,59	0,57	0,62	0,51	0,60	0,48	0,60	0,51	0,58	0,54	0,60	0,55	0,60	13,15	0,72	2,57	0,76
	09.08.2002	V1 0-30cm	0,66	0,86	0,76	0,92	0,79	0,63	0,60	0,77	0,73	0,63	0,66	0,63	0,74	0,64	0,72	0,63	0,71	0,65	0,67	0,64	0,66	13,97	0,69	2,23	0,84
	20.09.2002	V1 0-30cm	0,66	0,67	0,61	0,71	0,64	0,51	0,49	0,65	0,59	0,57	0,62	0,51	0,60	0,48	0,60	0,51	0,59	0,56	0,65	0,57	0,65	12,50	0,78	3,55	0,61
	04.11.2003	V1 0-30cm	0,61	0,65	0,55	0,69	0,56	0,50	0,47	0,64	0,58	0,57	0,61	0,50	0,58	0,46	0,59	0,50	0,62	0,53	0,58	0,56	0,61	5,30	0,70	2,33	0,77
	V1 30-60cm (LK)		0,00	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,16	0,01	0,02	0,00	0,00	-0,04	0,01	0,00	0,00	-0,04	0,01	-0,03	0,01	-0,02	20,00	0,46	0,85	1,47
	21.09.2001	V1 30-60cm	0,63	0,99	0,70	1,07	0,72	0,72	0,61	0,85	0,55	0,64	0,59	0,71	0,55	0,77	0,45	0,71	0,54	0,73	0,61	0,74	0,60	8,84	0,74	2,85	0,70
	28.05.2002	V1 30-60cm	0,77	1,27	0,80	1,37	0,81	0,88	0,71	1,00	0,66	0,64	0,64	0,86	0,67			0,85	0,67	0,86	0,69	0,85	0,69	10,47	0,71	2,45	0,78
	13.06.2002	V1 30-60cm	0,60	1,27	0,94	1,38	0,97	0,89	0,76	1,00	0,66	0,64	0,65	0,87	0,68			0,86	0,68	0,86	0,68	0,83	0,68	13,15	0,67	2,03	0,89
	09.08.2002	V1 30-60cm	0,59	1,13	0,91	1,23	0,96	0,81	0,72	0,93	0,61	0,65	0,62	0,79	0,61	0,96	0,56	0,78	0,62	0,76	0,57	0,73	0,57	13,97	0,56	1,27	1,20
	20.09.2002	V1 30-60cm	0,62	1,28	0,91	1,38	0,93	0,89	0,75	1,00	0,66	0,64	0,65	0,87	0,68			0,86	0,68	0,86	0,68	0,84	0,68	12,50	0,67	2,03	0,90
	04.11.2003	V1 30-60cm	0,55	1,15	0,60	1,24	0,58	0,82	0,60	0,94	0,61	0,65	0,62	0,80	0,62	0,98	0,57	0,80	0,60	0,77	0,58	0,77	0,57	5,65	0,57	1,33	1,18
	V2 0-60cm (LK)		0,00	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,16	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	20,00	0,46	0,85	1,47
	21.09.2001	V2 0-60cm	0,51	0,66	0,60	0,71	0,62	0,51	0,49	0,65	0,54	0,57	0,54	0,51	0,54	0,48	0,54	0,51	0,54	0,50	0,54	0,49	0,54	11,09	0,53	1,13	1,29
	11.06.2002	V2 0-60cm	0,55	0,66	0,61	0,70	0,63	0,51	0,49	0,65	0,53	0,57	0,54	0,50	0,53	0,47	0,53	0,50	0,53	0,49	0,53	0,48	0,53	13,08	0,54	1,17	1,26
	21.09.2002	V2 0-60cm	0,59	0,75	0,66	0,80	0,69	0,57	0,53	0,71	0,60	0,60	0,58	0,57	0,60	0,55	0,61	0,56	0,59	0,57	0,60	0,56	0,60	11,86	0,61	1,56	1,07
	06.11.2002	V2 0-60cm	0,55	0,69	0,55	0,74	0,57	0,53	0,48	0,67	0,56	0,59	0,56	0,53	0,56	0,50	0,56	0,54	0,56	0,50	0,55	0,51	0,56	4,08	0,46	0,85	1,47
	04.11.2003	V2 0-60cm	0,55	0,63	0,55	0,68	0,57	0,49	0,47	0,63	0,52	0,56	0,53	0,49	0,52	0,46	0,51	0,50	0,52	0,49	0,52	0,51	0,53	6,44	0,57	1,33	1,14
	V2 30-60cm (LK)		0,00	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,16	0,00	0,02	0,00	0,00	-0,01	0,01	0,00	0,00	-0,01	0,01	-0,01	0,01	0,00	20,00	0,46	0,85	1,47
	21.09.2001	V2 30-60cm	0,51	0,74	0,64	0,79	0,67	0,56	0,53	0,70	0,55	0,60	0,55	0,56	0,55	0,54	0,45	0,56	0,56	0,53	0,55	0,53	0,56	11,09	0,51	1,04	1,35
	11.06.2002	V2 30-60cm	0,56	0,74	0,66	0,79	0,69	0,56	0,53	0,70	0,55	0,60	0,55	0,56	0,55	0,54	0,45	0,55	0,57	0,53	0,55	0,52	0,56	13,08	0,51	1,04	1,34
	21.09.2002	V2 30-60cm	0,59	0,75	0,66	0,80	0,69	0,57	0,53	0,71	0,56	0,60	0,55	0,57	0,56	0,55	0,49	0,56	0,57	0,54	0,57	0,53	0,57	11,86	0,52	1,08	1,31
	06.11.2002	V2 30-60cm	0,52	0,76	0,57	0,82	0,58	0,58	0,51	0,72	0,57	0,61	0,53	0,58	0,57	0,56		0,59	0,56	0,53	0,52	0,55	0,52	4,08	0,44	0,79	1,53
	04.11.2003	V2 30-60cm	0,58	0,71	0,56	0,75	0,58	0,54	0,49	0,68	0,53	0,59	0,57	0,54	0,53	0,51	0,40	0,54	0,52	0,53	0,58	0,55	0,57	4,80	0,56	1,27	1,16
	V3 0-30cm (LK)		0,00	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,12	0,00	-0,04	0,00	-0,03	-0,02	-0,02	0,00	-0,04	0,00	-0,03	-0,01	-0,03	0,00	20,00	0,44	0,79	1,34
	21.09.2001	V3 0-30cm	0,63	0,76	0,65	0,81	0,68	0,57	0,53	0,71	0,63	0,60	0,64	0,57	0,63	0,56	0,70	0,57	0,65	0,59	0,65	0,60	0,63	11,09	0,70	2,33	0,72
	12.06.2002	V3 0-30cm	0,55	0,64	0,61	0,69	0,65	0,50	0,49	0,64	0,55	0,57	0,53	0,50	0,55	0,46	0,49	0,49	0,59	0,51	0,56	0,50	0,61	15,58	0,63	1,70	0,90
	10.08.2002	V3 0-30cm	0,67	0,72	0,66	0,76	0,69	0,55	0,53	0,69	0,60	0,59	0,60	0,55	0,60	0,52	0,59	0,54	0,64	0,57	0,62	0,56	0,63	14,14	0,69	2,23	0,74
	06.11.2002	V3 0-30cm	0,63	0,77	0,57	0,82	0,58	0,58	0,51	0,72	0,64	0,61	0,65	0,58	0,64	0,56		0,59	0,61	0,56	0,61	0,58	0,62	4,13	0,54	1,17	1,11
	04.11.2003	V3 0-30cm	0,51	0,67	0,54	0,72	0,55	0,52	0,48	0,66	0,57	0,58	0,56	0,52	0,57	0,49	0,53	0,53	0,53	0,51	0,56	0,54	0,52	3,38	0,56	1,27	1,06
	V3 30-60cm (LK)		0,00	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,12	0,02	-0,04	0,00	-0,03	-0,01	-0,02	0,00	-0,04	-0,01	-0,03	-0,01	-0,03	0,00	20,00	0,44	0,79	1,34
	21.09.2001	V3 30-60cm	0,72	0,83	0,69	0,88	0,72	0,61	0,56	0,75	0,67	0,62	0,66	0,61	0,67	0,61	0,74	0,61	0,66	0,65	0,72	0,65	0,70	11,09	0,76	3,17	0,57
	12.06.2002	V3 30-60cm	0,58	0,73	0,68	0,77	0,72	0,55	0,54	0,69	0,61	0,60	0,65	0,55	0,61	0,53	0,53	0,54	0,57	0,56	0,59	0,54	0,56	15,58	0,62	1,63	0,91
	10.08.2002	V3 30-60cm	0,63	0,87	0,76	0,93	0,80	0,64	0,60	0,78	0,69	0,63	0,66	0,64	0,70	0,65		0,63	0,66	0,66	0,71	0,65	0,68	14,14	0,70	2,33	0,72
	21.09.2002	V3 30-60cm	0,65	0,88	0,74	0,94	0,77	0,65	0,60	0,79	0,70	0,63	0,66	0,65	0,71	0,66		0,64	0,68	0,63	0,64	0,61	0,63	12,50	0,56	1,27	1,06
	06.11.2002	V3 30-60cm	0,67	0,84	0,58	0,90	0,59	0,63	0,53	0,77	0,68	0,62	0,66	0,63	0,69	0,63		0,63	0,73	0,62	0,66	0,64	0,69	4,13	0,62	1,63	0,91
	04.11.2003	V3 30-60cm	0,66	0,65	0,54	0,70	0,55	0,51	0,47	0,65	0,56	0,57	0,63	0,50	0,56	0,47	0,45	0,51	0,61	0,54	0,60	0,57	0,64	4,12	0,72	2,57	0,68
	MW		0,51	0,70	0,56	0,74	0,58	0,52	0,47	0,65	0,51	0,51	0,50	0,51	0,51	0,47	0,44	0,50	0,50	0,51	0,50	0,51	0,51	11,64	0,59	1,63	1,07
	STAB		0,23	0,34	0,25	0,36	0,26	0,24	0,20	0,25	0,23	0,23	0,23	0,25	0,24	0,25	0,24	0,25	0,24	0,25	0,24	0,25	0,23	5,26	0,10	0,75	0,29

Tab. Annex C - 8: Gravimetrisch ermittelter Wassergehalt θ_v und Wassergehalte nach den Kalibriervarianten $\theta_{v\ CS\ 615}$ sowie Temperatur, Porenanteil und Trockendichte der erweiterten Feldkalibrierung (EFK 2005)

Datengrundlage	Datum der Proben-werbung	Subset	θ_v [m³ m⁻³]	CS SK	CS TK	CS SK1	CS TK1	CS SK3	CS TK3	CS L D	CS L S	CS P2 D	CS P2 S	LR D	LR S	P2 D	P2 S	MR T D	MR T S	MR P D	MR P S	MR TP D	MR TP S	Temperatur [°C]	Porenanteil n_b	Porenzahl e	Trocken-dichte ρ^d [kg m⁻³]
			$\theta_{v\ Cs\ 615}$ [m³m⁻³]																								
EFK 2005	19.04.2005	V1 0-30cm	0,60	1,02	0,94	1,10	1,00	0,74	0,71	0,42	0,48	0,47	0,55	0,52	0,52	0,80	0,81	0,54	0,55	0,53		0,55		17,07	0,52	1,08	1,31
	22.04.2005		0,53	0,95	0,82	1,02	0,87	0,70	0,65	0,40	0,45	0,42	0,48	0,48	0,49	0,73	0,78	0,58	0,56	0,50		0,56		14,39	0,52	1,08	1,31
	25.04.2005		0,41	0,90	0,98	0,96	1,06	0,66	0,69	0,38	0,43	0,39	0,43	0,46	0,46	0,68	0,75	0,40	0,43	0,47		0,43		24,12	0,52	1,08	1,31
	27.04.2005		0,24	0,84	1,13	0,90	1,25	0,62	0,73	0,35	0,40	0,35	0,37	0,43	0,43	0,63	0,71	0,16	0,26	0,44		0,26		37,78	0,52	1,08	1,31
	03.05.2005		0,07	0,36	0,35	0,38	0,37	0,30	0,28	0,13	0,15	0,09	0,04	0,13	0,15	0,25	0,36	0,11	0,12	0,14		0,12		35,35	0,52	1,08	1,31
	04.05.2005		0,05	0,31	0,29	0,33	0,31	0,26	0,24	0,10	0,11	0,07	0,03	0,10	0,11	0,21	0,31	0,08	0,09	0,11		0,09		36,55	0,52	1,08	1,31
	06.05.2005		0,04	0,27	0,24	0,28	0,26	0,23	0,20	0,08	0,08	0,05	0,02	0,06	0,08	0,18	0,27	0,06	0,06	0,07		0,06		37,08	0,52	1,08	1,31
	09.05.2005		0,02	0,20	0,17	0,21	0,18	0,18	0,15	0,04	0,04	0,03	0,01	0,01	0,03	0,12	0,19	0,04	0,03	0,02		0,03		37,53	0,52	1,08	1,31
	10.05.2005		0,01	0,18	0,15	0,19	0,16	0,16	0,13	0,02	0,02	0,02	0,01	-0,01	0,01	0,11	0,16	0,03	0,01	0,00		0,01		37,90	0,52	1,08	1,31
	13.05.2005		0,01	0,15	0,12	0,16	0,13	0,14	0,11	0,00	0,00	0,01	0,01	-0,04	-0,02	0,08	0,12	0,02	0,00	-0,03		0,00		37,87	0,52	1,08	1,31
	14.05.2005		0,01	0,14	0,12	0,15	0,12	0,13	0,10	0,00	-0,01	0,01	0,01	-0,04	-0,02	0,07	0,11	0,01	-0,01	-0,04		-0,01		38,32	0,52	1,08	1,31
	16.05.2005		0,00	0,13	0,11	0,14	0,11	0,12	0,10	-0,01	-0,02	0,01	0,01	-0,05	-0,03	0,06	0,10	0,01	-0,02	-0,05		-0,02		38,44	0,52	1,08	1,31
	18.05.2005		0,01	0,13	0,10	0,13	0,11	0,12	0,09	-0,01	-0,02	0,01	0,01	-0,06	-0,04	0,06	0,09	0,01	-0,02	-0,05		-0,02		38,16	0,52	1,08	1,31
	20.05.2005		0,00	0,12	0,10	0,12	0,10	0,11	0,09	-0,02	-0,03	0,01	0,01	-0,07	-0,05	0,05	0,08	0,02	-0,01	-0,06		-0,02		37,55	0,52	1,08	1,31
	22.05.2005		0,00	0,12	0,09	0,12	0,10	0,11	0,08	-0,02	-0,03	0,00	0,01	-0,07	-0,05	0,05	0,08	0,01	-0,02	-0,06		-0,03		38,24	0,52	1,08	1,31
	09.06.2005		0,00	0,10	0,08	0,11	0,09	0,10	0,08	-0,03	-0,04	0,00	0,02	-0,08	-0,06	0,04	0,06	0,01	-0,03	-0,07		-0,03		37,90	0,52	1,08	1,31
	19.04.2005	V1 30-60cm	0,60	1,04	0,95	1,12	1,01	0,75	0,71	0,43	0,41	0,48	0,44	0,53	0,49	0,83	0,48	0,55	0,54	0,47		0,52		16,83	0,61	1,56	1,06
	22.04.2005		0,53	0,97	0,84	1,04	0,88	0,70	0,65	0,40	0,38	0,43	0,38	0,49	0,45	0,75	0,43	0,57	0,55	0,43		0,52		14,72	0,61	1,56	1,06
	25.04.2005		0,40	1,01	1,12	1,08	1,21	0,73	0,77	0,42	0,40	0,46	0,41	0,51	0,47	0,79	0,46	0,42	0,43	0,45		0,42		24,08	0,61	1,56	1,06
	27.04.2005		0,27	1,11	1,63	1,20	1,82	0,79	0,99	0,46	0,44	0,53	0,49	0,56	0,52	0,92	0,54	0,25	0,30	0,51		0,33		34,74	0,61	1,56	1,06
	03.05.2005		0,10	0,57	0,63	0,60	0,68	0,45	0,46	0,23	0,21	0,19	0,14	0,27	0,23	0,40	0,23	0,16	0,17	0,21		0,16		35,24	0,61	1,56	1,06
	04.05.2005		0,06	0,51	0,55	0,54	0,59	0,41	0,41	0,21	0,19	0,16	0,11	0,23	0,20	0,36	0,21	0,12	0,13	0,17		0,12		36,66	0,61	1,56	1,06
	06.05.2005		0,07	0,44	0,45	0,46	0,48	0,35	0,34	0,17	0,15	0,12	0,08	0,18	0,15	0,30	0,17	0,10	0,10	0,12		0,09		37,03	0,61	1,56	1,06
	09.05.2005		0,03	0,32	0,30	0,33	0,31	0,27	0,24	0,11	0,08	0,07	0,04	0,10	0,07	0,21	0,12	0,06	0,05	0,04		0,03		37,91	0,61	1,56	1,06
	10.05.2005		0,04	0,28	0,25	0,29	0,26	0,24	0,21	0,08	0,06	0,05	0,03	0,07	0,04	0,18	0,10	0,05	0,04	0,01		0,01		38,28	0,61	1,56	1,06
	13.05.2005		0,03	0,22	0,19	0,23	0,20	0,19	0,16	0,05	0,03	0,03	0,02	0,03	-0,01	0,14	0,08	0,03	0,02	-0,04		-0,02		38,34	0,61	1,56	1,06
	14.05.2005		0,03	0,21	0,18	0,22	0,19	0,18	0,15	0,04	0,02	0,03	0,02	0,01	-0,02	0,13	0,07	0,02	0,01	-0,05		-0,02		38,58	0,61	1,56	1,06
	16.05.2005		0,01	0,19	0,16	0,19	0,16	0,17	0,14	0,03	0,00	0,02	0,02	-0,01	-0,04	0,11	0,06	0,02	0,00	-0,07		-0,04		38,68	0,61	1,56	1,06
	18.05.2005		0,00	0,17	0,14	0,18	0,15	0,16	0,13	0,02	0,00	0,02	0,02	-0,02	-0,05	0,10	0,05	0,02	0,00	-0,08		-0,04		38,50	0,61	1,56	1,06
	20.05.2005		0,03	0,15	0,13	0,16	0,13	0,14	0,11	0,01	-0,02	0,01	0,02	-0,03	-0,07	0,08	0,04	0,02	0,00	-0,10		-0,04		37,91	0,61	1,56	1,06
	22.05.2005		0,03	0,15	0,12	0,15	0,12	0,13	0,11	0,00	-0,02	0,01	0,02	-0,04	-0,07	0,08	0,04	0,01	-0,01	-0,10		-0,05		38,53	0,61	1,56	1,06
	09.06.2005		0,02	0,12	0,10	0,13	0,10	0,11	0,09	-0,02	-0,04	0,01	0,02	-0,06	-0,10	0,06	0,03	0,01	-0,02	-0,13		-0,06		38,20	0,61	1,56	1,06
	19.04.2005	V2 0-30cm	0,47	0,69	0,67	0,73	0,71	0,53	0,52	0,29	0,34	0,26	0,42	0,34	0,40	0,50	0,56	0,48	0,43	0,38		0,46		17,54	0,48	0,92	1,41
	22.04.2005		0,41	0,61	0,59	0,65	0,62	0,47	0,47	0,25	0,30	0,21	0,31	0,29	0,35	0,44	0,49	0,49	0,41	0,33		0,45		16,44	0,48	0,92	1,41
	25.04.2005		0,32	0,64	0,68	0,69	0,72	0,50	0,51	0,27	0,32	0,23	0,36	0,32	0,37	0,46	0,52	0,35	0,34	0,36		0,36		24,62	0,48	0,92	1,41
	27.04.2005		0,21	0,62	0,71	0,66	0,78	0,48	0,51	0,26	0,31	0,22	0,33	0,30	0,35	0,44	0,50	0,15	0,22	0,34		0,22		35,85	0,48	0,92	1,41
	03.05.2005		0,06	0,37	0,36	0,39	0,39	0,31	0,29	0,14	0,16	0,09	0,08	0,14	0,17	0,25	0,28	0,12	0,13	0,18		0,14		34,88	0,48	0,92	1,41
	04.05.2005		0,05	0,35	0,33	0,36	0,35	0,29	0,27	0,12	0,14	0,08	0,06	0,12	0,15	0,24	0,26	0,08	0,10	0,16		0,11		37,22	0,48	0,92	1,41
	06.05.2005		0,03	0,30	0,28	0,32	0,30	0,26	0,23	0,10	0,11	0,06	0,04	0,09	0,11	0,20	0,22	0,06	0,07	0,13		0,08		37,96	0,48	0,92	1,41
	09.05.2005		0,02	0,24	0,21	0,25	0,22	0,21	0,18	0,06	0,06	0,04	0,01	0,04	0,05	0,15	0,16	0,04	0,04	0,07		0,05		38,22	0,48	0,92	1,41
	10.05.2005		0,02	0,21	0,18	0,22	0,19	0,19	0,16	0,04	0,04	0,03	0,00	0,02	0,03	0,13	0,14	0,03	0,02	0,05		0,03		38,42	0,48	0,92	1,41
	13.05.2005		0,01	0,17	0,14	0,18	0,15	0,15	0,13	0,02	0,01	0,02	0,00	-0,02	-0,01	0,10	0,10	0,01	0,00	0,02		0,01		38,63	0,48	0,92	1,41
	14.05.2005		0,01	0,16	0,13	0,17	0,14	0,14	0,12	0,01	0,00	0,02	0,00	-0,03	-0,02	0,09	0,09	0,01	-0,01	0,01		0,00		38,96	0,48	0,92	1,41
	16.05.2005		0,01	0,14	0,11	0,15	0,12	0,13	0,10	0,00	-0,01	0,01	0,00	-0,04	-0,04	0,07	0,07	0,00	-0,02	-0,01		-0,01		39,13	0,48	0,92	1,41
	18.05.2005		0,01	0,13	0,11	0,14	0,11	0,12	0,10	-0,01	-0,02	0,01	0,01	-0,05	-0,05	0,07	0,07	0,00	-0,02	-0,02		-0,01		39,10	0,48	0,92	1,41
	20.05.2005		0,00	0,12	0,10	0,13	0,10	0,11	0,09	-0,02	-0,03	0,01	0,01	-0,06	-0,06	0,06	0,06	-0,01	-0,03	-0,03		-0,02		39,04	0,48	0,92	1,41
	22.05.2005		0,00	0,11	0,09	0,12	0,09	0,11	0,08	-0,02	-0,04	0,00	0,01	-0,07	-0,07	0,05	0,05	-0,01	-0,04	-0,04		-0,03		39,45	0,48	0,92	1,41
	09.06.2005		0,00	0,09	0,07	0,09	0,07	0,08	0,07	-0,04	-0,06	0,00	0,02	-0,09	-0,10	0,03	0,02	-0,01	-0,04	-0,06		-0,03		38,77	0,48	0,92	1,41
	19.04.2005	V2 30-60cm	0,55	0,73	0,71	0,77	0,75	0,55	0,55	0,31	0,39	0,28	0,45	0,36	0,46	0,53	0,43	0,48	0,50	0,42		0,48		18,12	0,46	0,85	1,48
	22.04.2005		0,49	0,65	0,63	0,69	0,66	0,50	0,50	0,27	0,35	0,24	0,36	0,32	0,41	0,47	0,34	0,49	0,50	0,38		0,47		16,62	0,46	0,85	1,48
	25.04.2005		0,34	0,68	0,72	0,73	0,77	0,52	0,54	0,29	0,36	0,25	0,40	0,34	0,43	0,49	0,37	0,37	0,41	0,40		0,39		24,07	0,46	0,85	1,48
	27.04.2005		0,22	0,69	0,83	0,73	0,91	0,53	0,57	0,29	0,37	0,26	0,40	0,34	0,43	0,50	0,37	0,15	0,24	0,40		0,25		36,76	0,46	0,85	1,48
	03.05.2005		0,07	0,38	0,37	0,40	0,40	0,31	0,29	0,14	0,18	0,10	0,09	0,14	0,19	0,26	0,16	0,07	0,12	0,20		0,12		38,37	0,46	0,85	1,48
	04.05.2005		0,06	0,35	0,34	0,37	0,36	0,29	0,27	0,13	0,16	0,08	0,07	0,12	0,17	0,24	0,15	0,05	0,10	0,18		0,10		38,76	0,46	0,85	1,48
	06.05.2005		0,05	0,30	0,28	0,32	0,30	0,26	0,23	0,10	0,13	0,06	0,05	0,09	0,13	0,20	0,12	0,04	0,08	0,15		0,08		38,97	0,46	0,85	1,48
	09.05.2005		0,03	0,23	0,20	0,24	0,20	0,20	0,17	0,05	0,07	0,04	0,02	0,03	0,05	0,14	0,08	0,02	0,05	0,08		0,04		39,12	0,46	0,85	1,48
	10.05.2005		0,03	0,20	0,17	0,21	0,18	0,18	0,15	0,04	0,05	0,03	0,01	0,01	0,02	0,12	0,07	0,01	0,03	0,06		0,03		39,30	0,46	0,85	1,48
	13.05.2005		0,02	0,16	0,13	0,17	0,14	0,15	0,12	0,01	0,01	0,02	0,01	-0,03	-0,01	0,09	0,05	0,00	0,02	0,03		0,01		39,30	0,46	0,85	1,48
	14.05.2005		0,02	0,15	0,12	0,16	0,13	0,14	0,11	0,01	0,01	0,01	0,01	-0,03	-0,02	0,08	0,05	-0,01	0,01	0,02		0,00		39,59	0,46	0,85	1,48
	16.05.2005		0,03	0,14	0,11	0,14	0,11	0,13	0,10	0,00	-0,01	0,01	0,01	-0,05	-0,04	0,07	0,04	-0,01	0,00	0,01		0,00		39,62	0,46	0,85	1,48
	18.05.2005		0,02	0,13	0,10	0,13	0,11	0,12	0,09	-0,01	-0,01	0,01	0,02	-0,06	-0,05	0,06	0,03	-0,01	0,00	0,00		-0,01		39,52	0,46	0,85	1,48
	20.05.2005		0,02	0,12	0,09	0,12	0,10	0,11	0,09	-0,02	-0,02	0,01	0,02	-0,07	-0,06	0,05	0,03	-0,02	-0,01	-0,01		-0,01		39,59	0,46	0,85	1,48
	22.05.2005		0,00	0,11	0,09	0,12	0,09	0,10	0,08	-0,02	-0,03	0,00	0,02	-0,07	-0,07	0,05	0,02	-0,02	-0,01	-0,02		-0,02		39,85	0,46	0,85	1,48
	09.06.2005		0,00	0,10	0,08	0,10	0,08	0,09	0,07	-0,04	-0,04	0,00	0,03	-0,09	-0,09	0,03	0,02	-0,02	-0,02	-0,03		-0,02		39,43	0,46	0,85	1,48
	19.04.2005	V3 0-30cm	0,57	1,05	1,00	1,13	1,07	0,75	0,73	0,43	0,35	0,48	0,39	0,53	0,44	0,83	.	0,52	0,53	0,48		0,50		18,40	0,61	1,56	0,95
	22.04.2005		0,52	1,01	0,93	1,08	0,99	0,73	0,70	0,42	0,33	0,46	0,36	0,51	0,42	0,79	.	0,53	0,54	0,46		0,50		17,33	0,61	1,56	0,95
	25.04.2005		0,44	1,09	1,27	1,17	1,39	0,78	0,85	0,45	0,36	0,51	0,43	0,55	0,47	0,89	.	0,40	0,43	0,50		0,43		25,58	0,61	1,56	0,95
	27.04.2005		0,32	1,17	1,75	1,26	1,96	0,83	1,05	0,48	0,39	0,57	0,50	0,59	0,50	1,00	.	0,26	0,30	0,54		0,35		34,68	0,61	1,56	0,95
	03.05.2005		0,11	0,80	1,04	0,85	1,15	0,60	0,69	0,34	0,26	0,32	0,19	0,40	0,31	0,59	.	0,15	0,16	0,35		0,21		37,71	0,61	1,56	0,95
	04.05.2005		0,09	0,77	0,96	0,82	1,05	0,58	0,65	0,32	0,25	0,30	0,17	0,39	0,29	0,56	.	0,18	0,19	0,33		0,22		35,60	0,61	1,56	0,95
	06.05.2005		0,06	0,69	0,82	0,73	0,90	0,53	0,57	0,29	0,21	0,26	0,12	0,34	0,25	0,50	0,55	0,16	0,16	0,28		0,19		36,20	0,61	1,56	0,95
	09.05.2005		0,04	0,50	0,54	0,53	0,58	0,40	0,40	0,20	0,13	0,15	0,03	0,23	0,13	0,35	0,35	0,12	0,09	0,17		0,12		36,85	0,61	1,56	0,95
	10.05.2005		0,03	0,43	0,43	0,45	0,47	0,35	0,33	0,17	0,09	0,12	0,00	0,18	0,08	0,30	0,29	0,09	0,06	0,12		0,08		37,41	0,61	1,56	0,95
	13.05.2005		0,02	0,30	0,28	0,32	0,29	0,26	0,23	0,10	0,03	0,06	-0,01	0,09	-0,02	0,20	0,19	0,06	0,01	0,03		0,03		37,82	0,61	1,56	0,95
	14.05.2005		0,01	0,27	0,24	0,28	0,26	0,23	0,20	0,08	0,01	0,05	-0,01	0,06	-0,04	0,18	0,17	0,05	-0,01	0,00		0,01		38,11	0,61	1,56	0,95
	16.05.2005		0,01	0,23	0,20	0,24	0,21	0,20	0,17	0,05	-0,01	0,04	0,00	0,03	-0,08	0,14	0,14	0,06	-0,01	-0,03		0,01		36,69	0,61	1,56	0,95
	18.05.2005		0,01	0,21	0,18	0,22	0,19	0,18	0,15	0,04	-0,02	0,03	0,00	0,01	-0,10	0,13	0,13	0,03	-0,04	-0,05		-0,02		38,23	0,61	1,56	0,95
	20.05.2005		0,00	0,18	0,15	0,19	0,16	0,16	0,13	0,02	-0,04	0,02	0,01	-0,01	-0,12	0,11	0,11	0,03	-0,05	-0,07		-0,03		38,06	0,61	1,56	0,95
	22.05.2005		0,00	0,17	0,14	0,18	0,15	0,15	0,12	0,02	-0,05	0,02	0,01	-0,02	-0,13	0,10	0,10	0,01	-0,07	-0,08		-0,05		39,00	0,61	1,56	0,95
	09.06.2005		0,00	0,13	0,11	0,14	0,11	0,12	0,10	-0,01	-0,07	0,01	0,03	-0,05	-0,16	0,07	0,07	0,02	-0,06	-0,11		-0,05		37,60	0,61	1,56	0,95
	19.04.2005	V3 30-60cm	0,58	0,97	0,93	1,04	0,99	0,70	0,69	0,40	0,46	0,43	0,49	0,49	0,48	0,75	.	0,51	0,51	0,51		0,52		18,38	0,51	1,04	1,18
	22.04.2005		0,46	0,90	0,85	0,96	0,90	0,66	0,64	0,38	0,43	0,39	0,44	0,46	0,45	0,68	.	0,51	0,49	0,48		0,51		17,53	0,51	1,04	1,18
	25.04.2005		0,42	0,92	1,03	0,98	1,12	0,67	0,72	0,38	0,44	0,40	0,46	0,46	0,46	0,70	.	0,38	0,43	0,49		0,43		25,49	0,51	1,04	1,18
	27.04.2005		0,26	0,78	0,97	0,83	1,06	0,58	0,65	0,33	0,38	0,31	0,36	0,39	0,40	0,57	0,60	0,20	0,32	0,41		0,28		34,91	0,51	1,04	1,18
	03.05.2005		0,13	0,34	0,32	0,35	0,34	0,28	0,26	0,12	0,17	0,08	0,10	0,11	0,17	0,23	0,20	0,13	0,16	0,13		0,13		34,04	0,51	1,04	1,18
	04.05.2005		0,10	0,29	0,27	0,30	0,28	0,25	0,22	0,09	0,14	0,06	0,08	0,08	0,14	0,19	0,17	0,10	0,13	0,09		0,09		35,40	0,51	1,04	1,18
	06.05.2005		0,07	0,23	0,20	0,24	0,21	0,20	0,17	0,05	0,10	0,03	0,06	0,03	0,10	0,14	0,13	0,06	0,10	0,05		0,05		36,67	0,51	1,04	1,18
	09.05.2005		0,04	0,15	0,12	0,15	0,12	0,13	0,11	0,00	0,05	0,01	0,03	-0,04	0,04	0,08	0,08	0,02	0,04	-0,03		0,00		38,08	0,51	1,04	1,18
	10.05.2005		0,03	0,12	0,10	0,13	0,10	0,11	0,09	-0,01	0,03	0,01	0,03	-0,06	0,02	0,06	0,06	0,00	0,03	-0,05		-0,02		38,68	0,51	1,04	1,18
	13.05.2005		0,03	0,10	0,08	0,10	0,08	0,09	0,07	-0,03	0,02	0,00	0,03	-0,08	0,01	0,04	0,04	-0,01	0,01	-0,07		-0,04		38,96	0,51	1,04	1,18
	14.05.2005		0,03	0,09	0,07	0,10	0,08	0,09	0,07	-0,04	0,01	0,00	0,03	-0,09	0,00	0,03	0,04	-0,02	0,01	-0,07		-0,05		39,23	0,51	1,04	1,18
	16.05.2005		0,00	0,09	0,07	0,10	0,08	0,09	0,07	-0,04	0,01	0,00	0,03	-0,09	0,00	0,03	0,04	0,00	0,01	-0,08		-0,04		38,24	0,51	1,04	1,18
	18.05.2005		0,02	0,09	0,07	0,09	0,07	0,08	0,07	-0,04	0,01	0,00	0,03	-0,09	0,00	0,03	0,04	-0,02	0,00	-0,08		-0,05		39,20	0,51	1,04	1,18
	20.05.2005		0,02	0,08	0,07	0,09	0,07	0,08	0,06	-0,04	0,00	0,00	0,03	-0,10	-0,01	0,02	0,03	-0,02	0,00	-0,09		-0,05		38,95	0,51	1,04	1,18
	22.05.2005		0,03	0,08	0,06	0,08	0,07	0,08	0,06	-0,05	0,00	0,00	0,03	-0,10	-0,01	0,02	0,03	-0,03	-0,01	-0,09		-0,06		39,85	0,51	1,04	1,18
	09.06.2005		0,02	0,08	0,07	0,09	0,07	0,08	0,06	-0,05	0,00	0,00	0,03	-0,10	-0,01	0,02	0,03	-0,01	0,01	-0,09		-0,05		38,65	0,51	1,04	1,18
	MW		0,13	0,39	0,40	0,42	0,43	0,31	0,30	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,28	0,20	0,13	0,13	0,13		0,12		34,45	0,53	1,17	1,23
	STAB		0,18	0,32	0,38	0,35	0,42	0,23	0,25	0,16	0,17	0,16	0,17	0,21	0,21	0,27	0,20	0,18	0,19	0,21		0,19		7,50	0,06	0,29	0,19

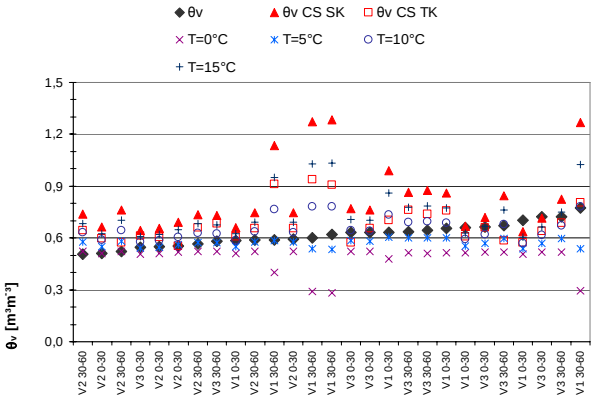


Abb. Annex C - 4: Vergleich der Temperaturkorrektur nach CAMPBELL SCIENTIFIC (1998, S.4) für verschiedene Temperaturen, angewendet für die Daten der FK 01-03 und gereiht nach steigendem Wassergehalt θ_v

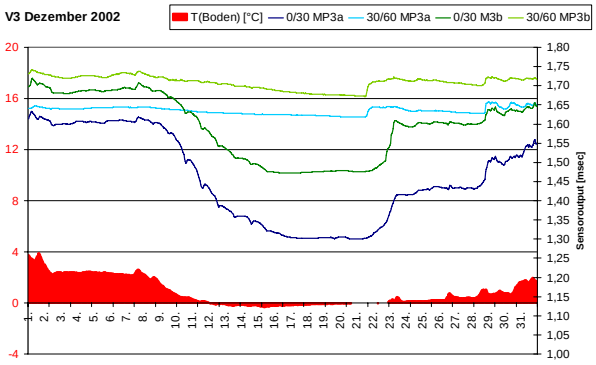
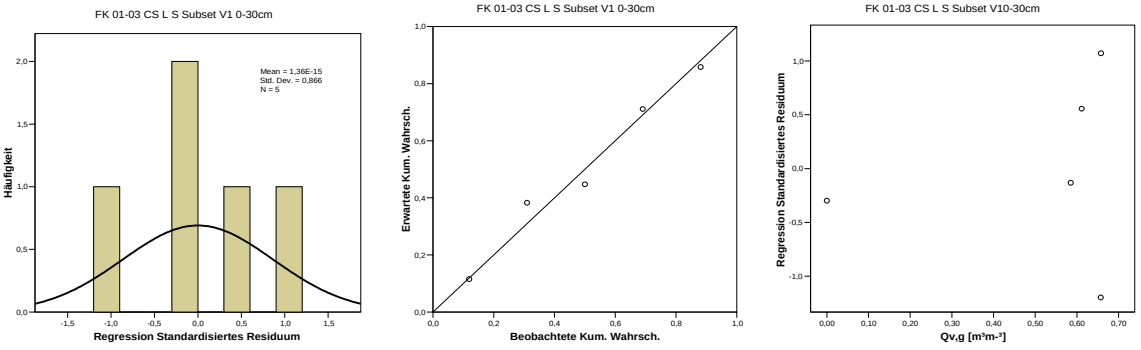
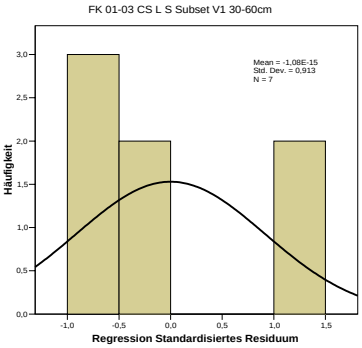


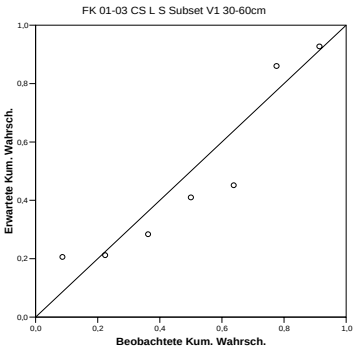
Abb. Annex C - 5: Sensoroutput versus Bodentemperaturverlauf für Daten vom Dezember 2002

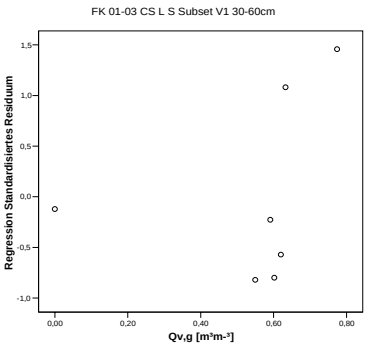
Abb. Annex C - 6: Residualplots für die Daten der Feldkalibrierung (FK 01-03)

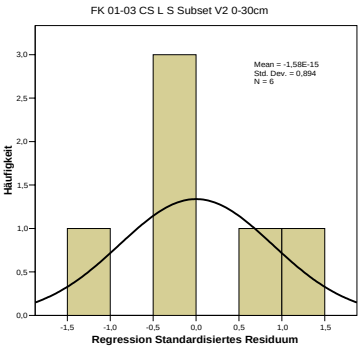
FK 01-03 CS L S

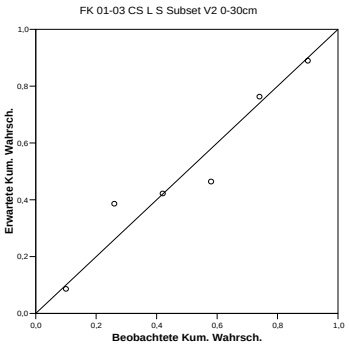


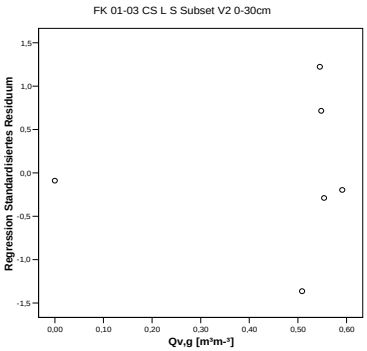

FK 01-03 CS L S Subset V1 30-60cm
Mean = -1,08E-15
Std. Dev. = 0,913
N = 7
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

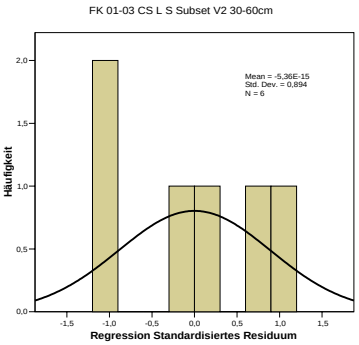

FK 01-03 CS L S Subset V1 30-60cm
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

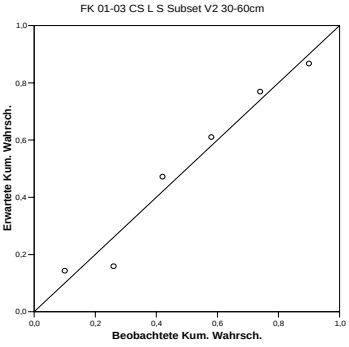

FK 01-03 CS L S Subset V1 30-60cm
Regression Standardisiertes Residuum
Qv,g [m³m-³]

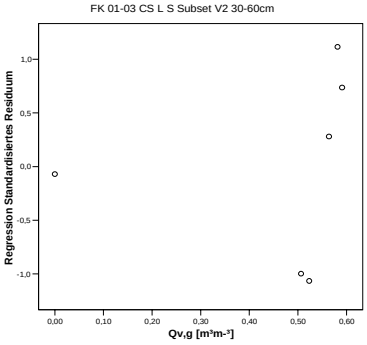

FK 01-03 CS L S Subset V2 0-30cm
Mean = -1,58E-15
Std. Dev. = 0,894
N = 6
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

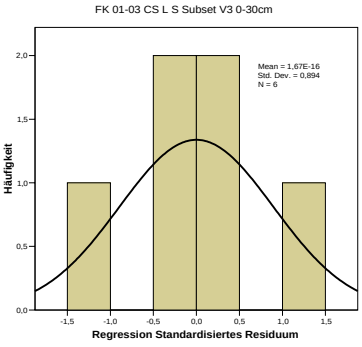

FK 01-03 CS L S Subset V2 0-30cm
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

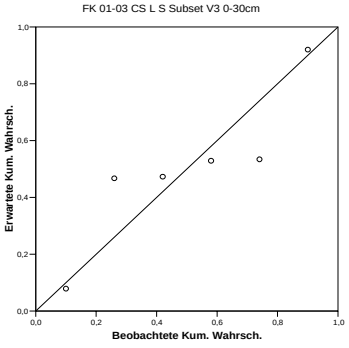

FK 01-03 CS L S Subset V2 0-30cm
Regression Standardisiertes Residuum
Qv,g [m³m-³]

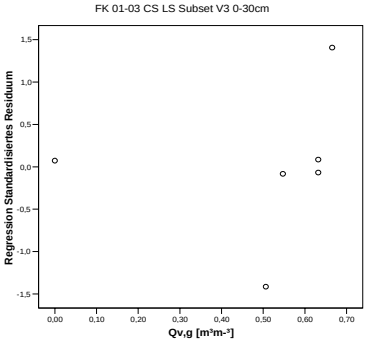

FK 01-03 CS L S Subset V2 30-60cm
Mean = -5,36E-15
Std. Dev. = 0,894
N = 6
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

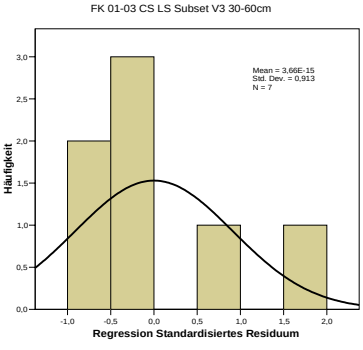

FK 01-03 CS L S Subset V2 30-60cm
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

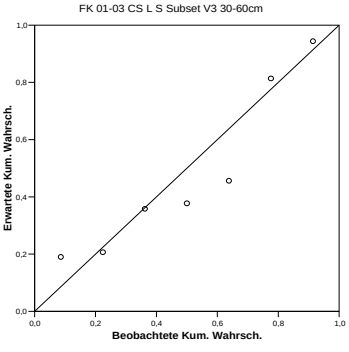

FK 01-03 CS L S Subset V2 30-60cm
Regression Standardisiertes Residuum
Qv,g [m³m-³]

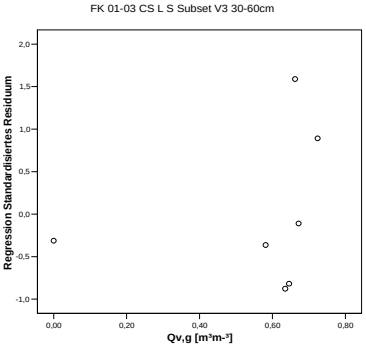

FK 01-03 CS L S Subset V3 0-30cm
Mean = 1,67E-16
Std. Dev. = 0,894
N = 6
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum


FK 01-03 CS L S Subset V3 0-30cm
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.


FK 01-03 CS LS Subset V3 0-30cm
Regression Standardisiertes Residuum
Qv,g [m³m-³]

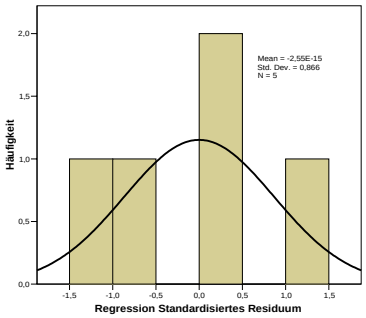

FK 01-03 CS LS Subset V3 30-60cm
Mean = 3,66E-15
Std. Dev. = 0,913
N = 7
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum


FK 01-03 CS L S Subset V3 30-60cm
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

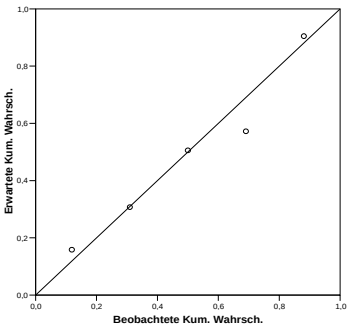

FK 01-03 CS L S Subset V3 30-60cm
Regression Standardisiertes Residuum
Qv,g [m³m-³]

FK 01-03 LR S

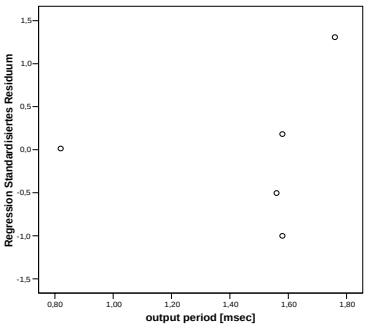
FK 01-03 LR S V1 0-30cm



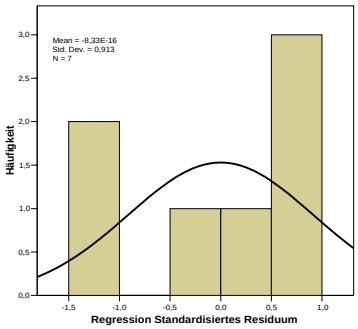
FK 01-03 Subset V10-30cm



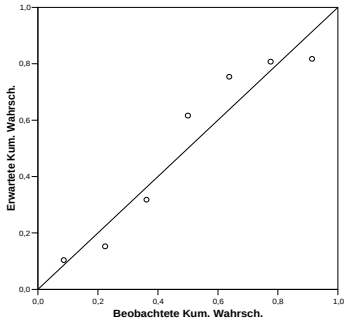
FK 01-03 LR S Subset V1 0-30cm



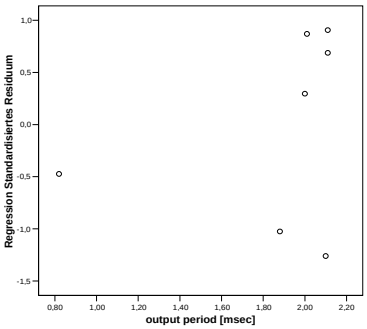
FK 01-03 LR S Subset V1 30-60cm



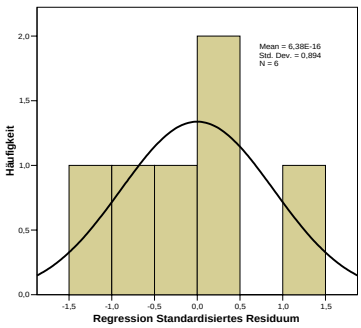
FK 01-03 LR S Subset V1 30-60cm



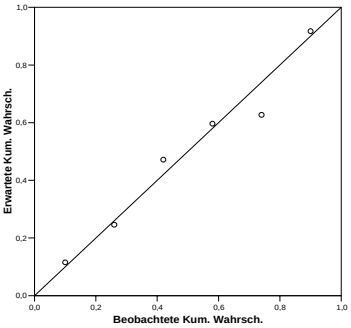
FK 01-03 LR S Subset V1 30-60cm



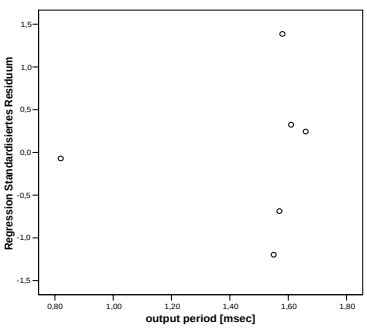
FK 01-03 LR S Subset V2 0-30cm



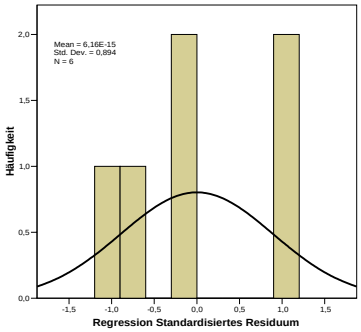
FK 01-03 LR S Subset V2 0-30cm



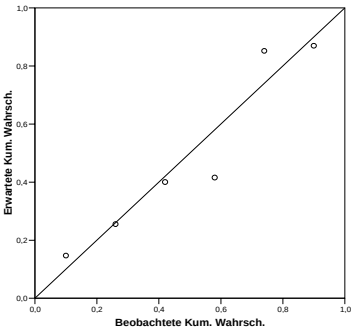
FK 01-03 LR S Subset V2 0-30 cm



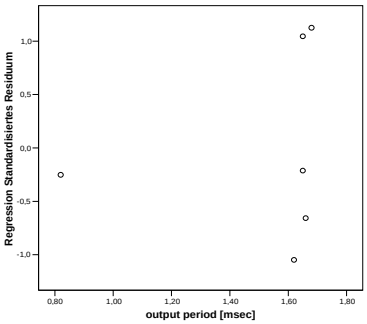
FK 01-03 LR S Subset V2 30-60cm

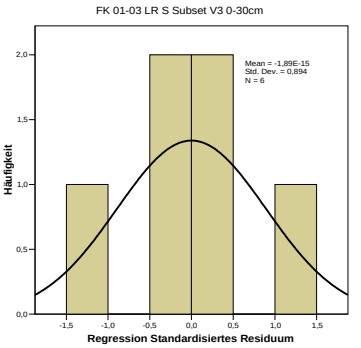


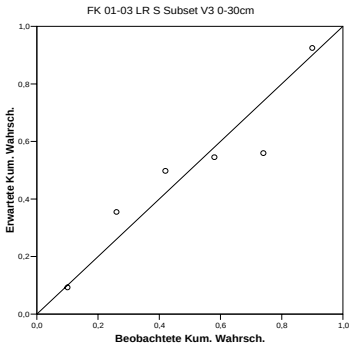
FK 01-03 LR S Subset V2 30-60cm

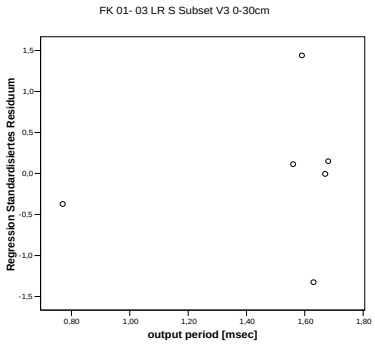


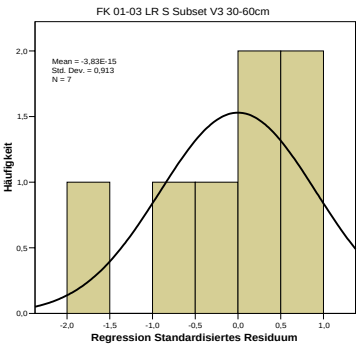
FK 01-03 LR S Subset V2 30-60cm

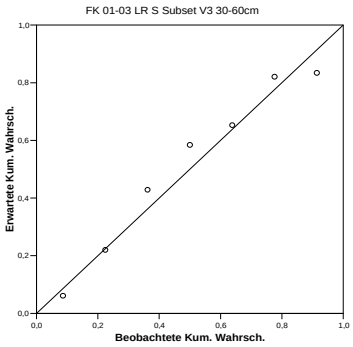


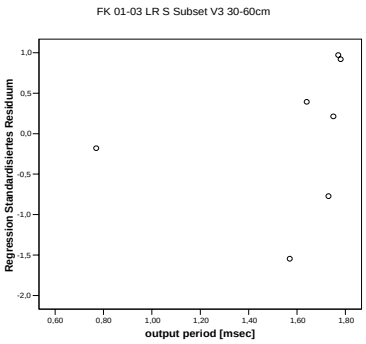

FK 01-03 LR S Subset V3 0-30cm
Mean = -1,89E-15
Std. Dev. = 0,894
N = 6
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum


FK 01-03 LR S Subset V3 0-30cm
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

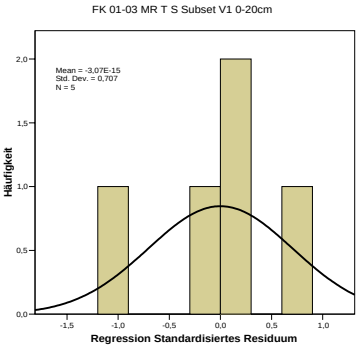

FK 01- 03 LR S Subset V3 0-30cm
Regression Standardisiertes Residuum
output period [msec]

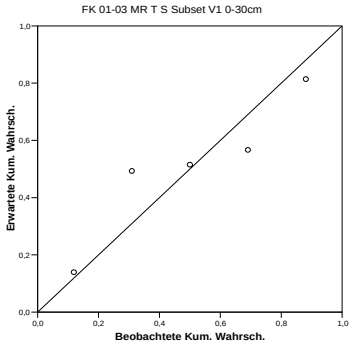

FK 01-03 LR S Subset V3 30-60cm
Mean = -3,83E-15
Std. Dev. = 0,913
N = 7
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

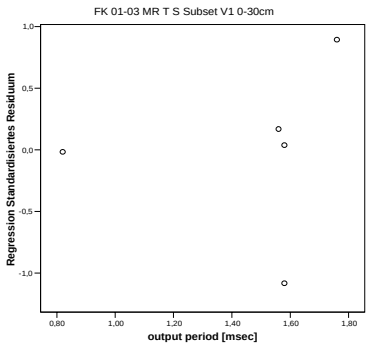

FK 01-03 LR S Subset V3 30-60cm
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

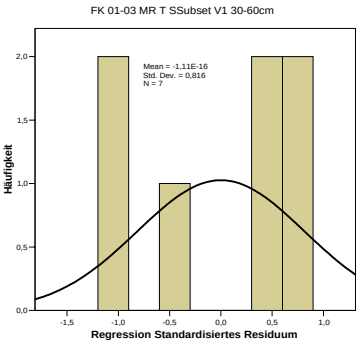

FK 01-03 LR S Subset V3 30-60cm
Regression Standardisiertes Residuum
output period [msec]

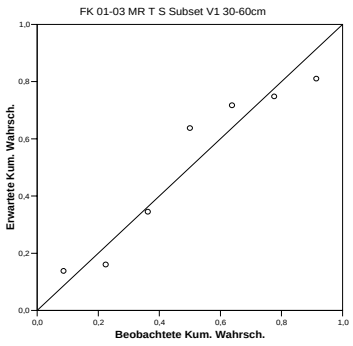
FK 01-03 MR T S

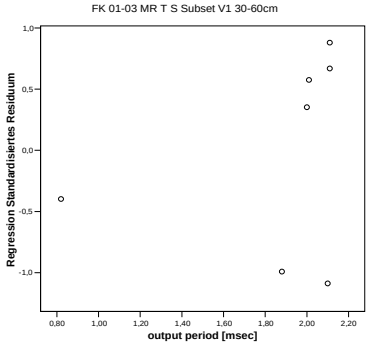

FK 01-03 MR T S Subset V1 0-20cm
Mean = -3,07E-15
Std. Dev. = 0,707
N = 5
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

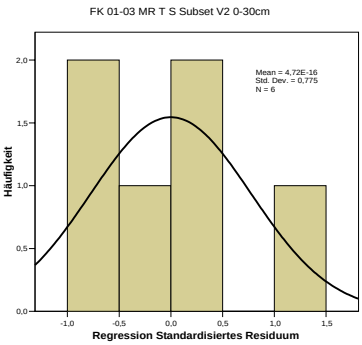

FK 01-03 MR T S Subset V1 0-30cm
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

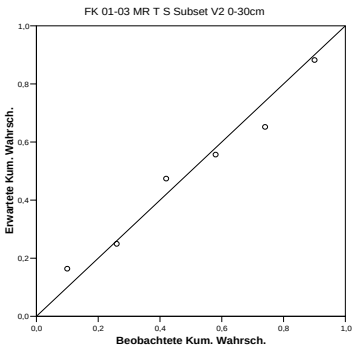

FK 01-03 MR T S Subset V1 0-30cm
Regression Standardisiertes Residuum
output period [msec]

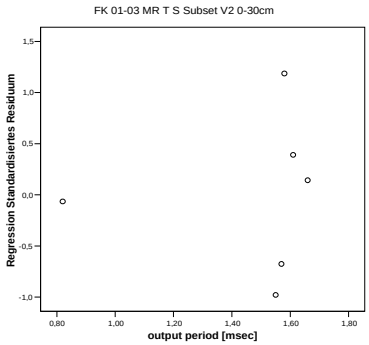

FK 01-03 MR T SSubset V1 30-60cm
Mean = -1,11E-16
Std. Dev. = 0,816
N = 7
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

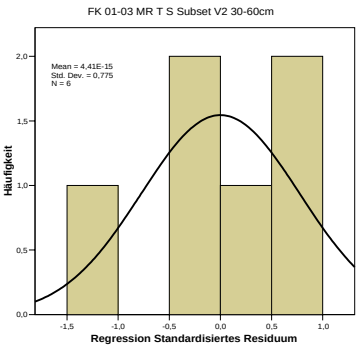

FK 01-03 MR T S Subset V1 30-60cm
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

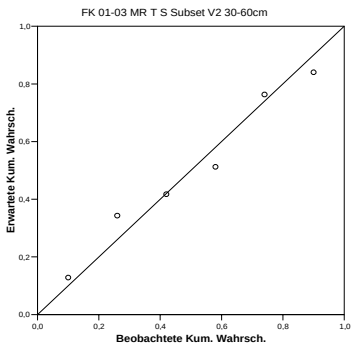

FK 01-03 MR T S Subset V1 30-60cm
Regression Standardisiertes Residuum
output period [msec]

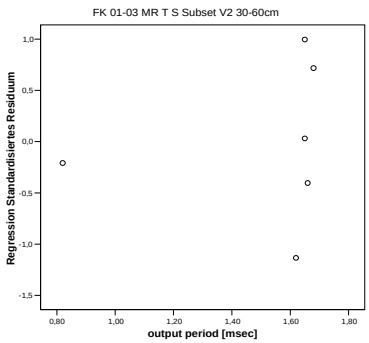

FK 01-03 MR T S Subset V2 0-30cm
Mean = 4,72E-16
Std. Dev. = 0,775
N = 6
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

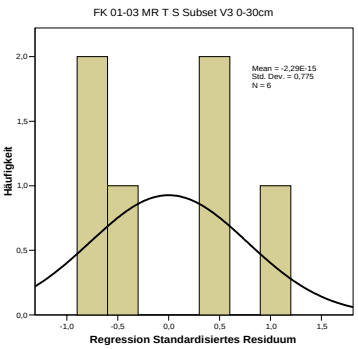

FK 01-03 MR T S Subset V2 0-30cm
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

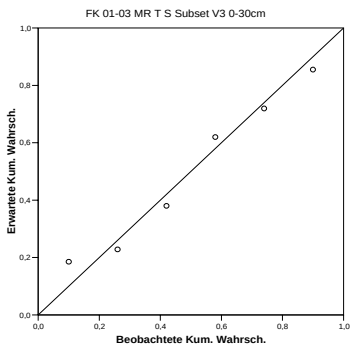

FK 01-03 MR T S Subset V2 0-30cm
Regression Standardisiertes Residuum
output period [msec]

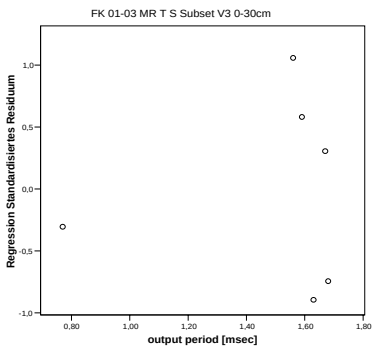

FK 01-03 MR T S Subset V2 30-60cm
Mean = 4,41E-15
Std. Dev. = 0,775
N = 6
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

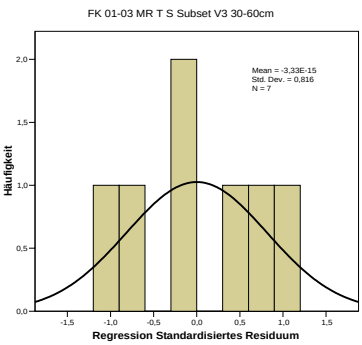

FK 01-03 MR T S Subset V2 30-60cm
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

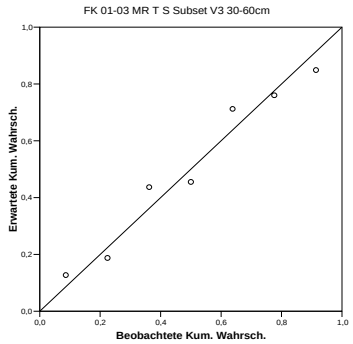

FK 01-03 MR T S Subset V2 30-60cm
Regression Standardisiertes Residuum
output period [msec]

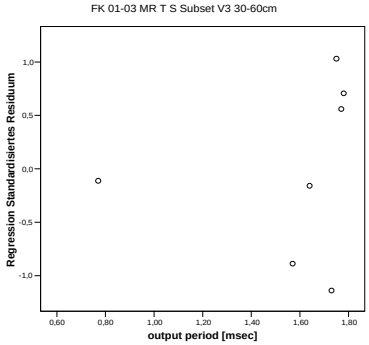

FK 01-03 MR T S Subset V3 0-30cm
Mean = -2,29E-15
Std. Dev. = 0,775
N = 6
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum


FK 01-03 MR T S Subset V3 0-30cm
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

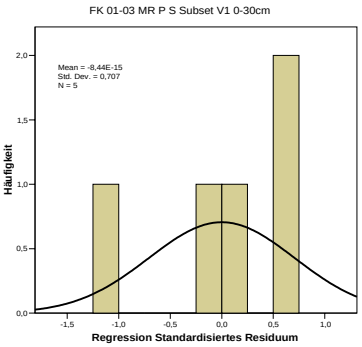

FK 01-03 MR T S Subset V3 0-30cm
Regression Standardisiertes Residuum
output period [msec]

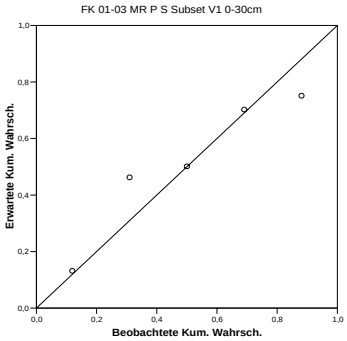

FK 01-03 MR T S Subset V3 30-60cm
Mean = -3,33E-15
Std. Dev. = 0,816
N = 7
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

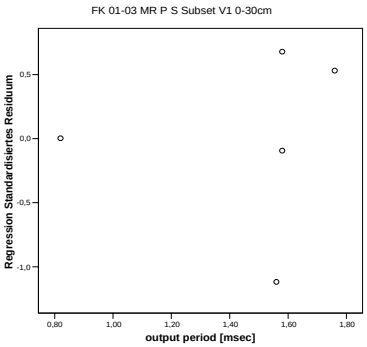

FK 01-03 MR T S Subset V3 30-60cm
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

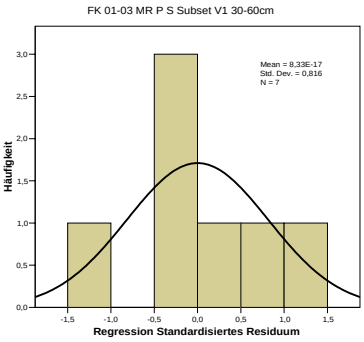

FK 01-03 MR T S Subset V3 30-60cm
Regression Standardisiertes Residuum
output period [msec]

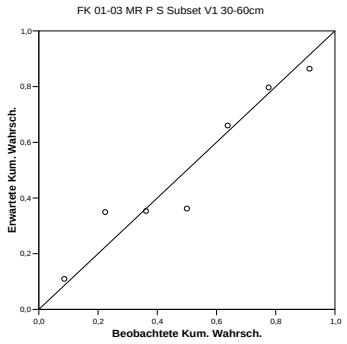
FK 01-03 MR P S

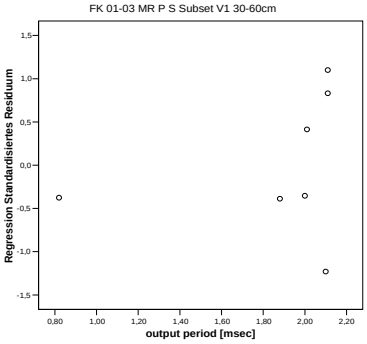

FK 01-03 MR P S Subset V1 0-30cm
Mean = -8,44E-15
Std. Dev. = 0,707
N = 5
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

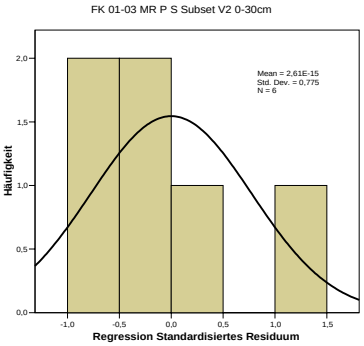

FK 01-03 MR P S Subset V1 0-30cm
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

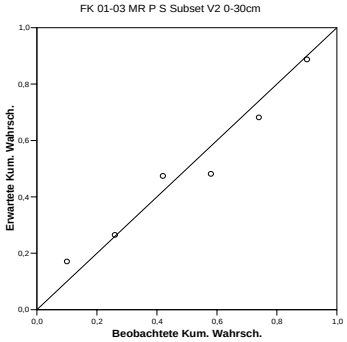

FK 01-03 MR P S Subset V1 0-30cm
Regression Standardisiertes Residuum
output period [msec]

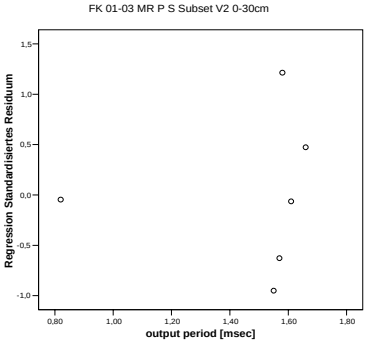

FK 01-03 MR P S Subset V1 30-60cm
Mean = 8,33E-17
Std. Dev. = 0,816
N = 7
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

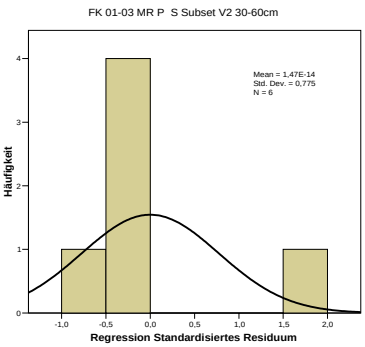

FK 01-03 MR P S Subset V1 30-60cm
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

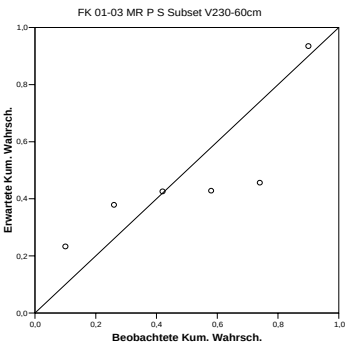

FK 01-03 MR P S Subset V1 30-60cm
Regression Standardisiertes Residuum
output period [msec]

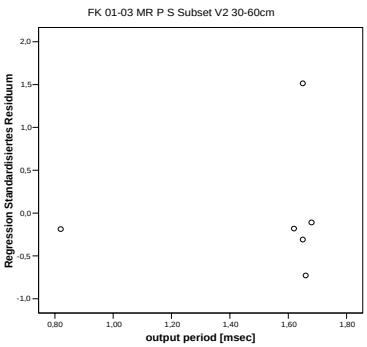

FK 01-03 MR P S Subset V2 0-30cm
Mean = 2,61E-15
Std. Dev. = 0,775
N = 6
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

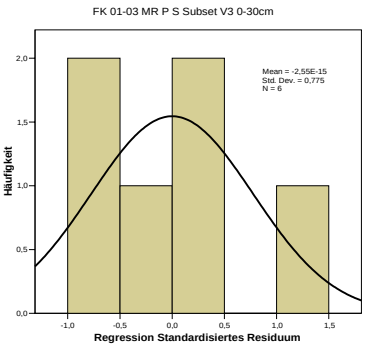

FK 01-03 MR P S Subset V2 0-30cm
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

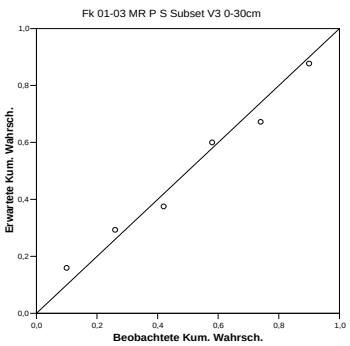

FK 01-03 MR P S Subset V2 0-30cm
Regression Standardisiertes Residuum
output period [msec]

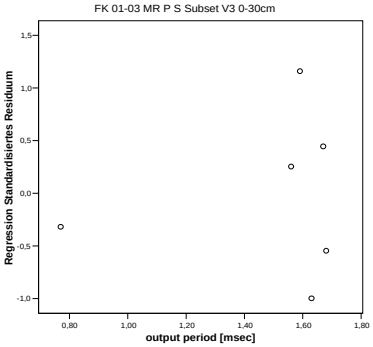

FK 01-03 MR P S Subset V2 30-60cm
Mean = 1,47E-14
Std. Dev. = 0,775
N = 6
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

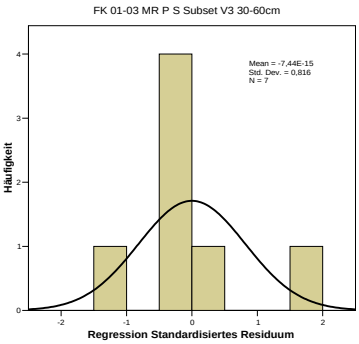

FK 01-03 MR P S Subset V230-60cm
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

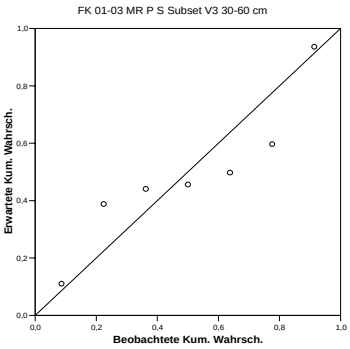

FK 01-03 MR P S Subset V2 30-60cm
Regression Standardisiertes Residuum
output period [msec]

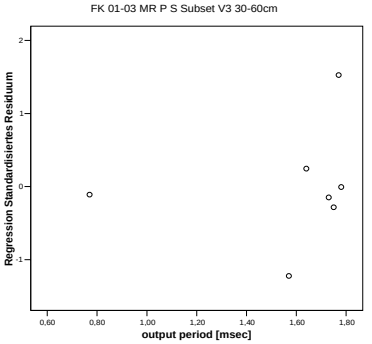




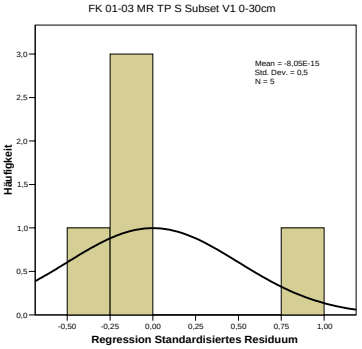


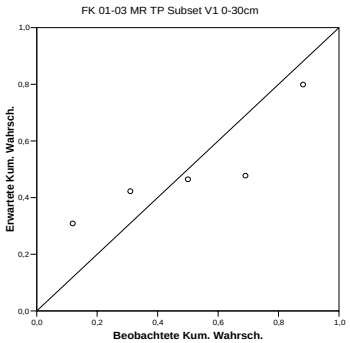


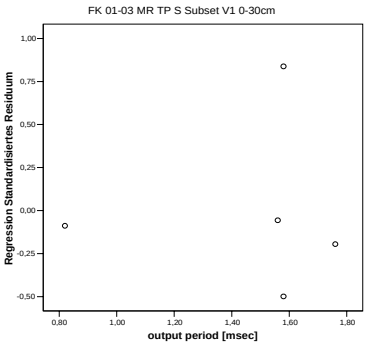


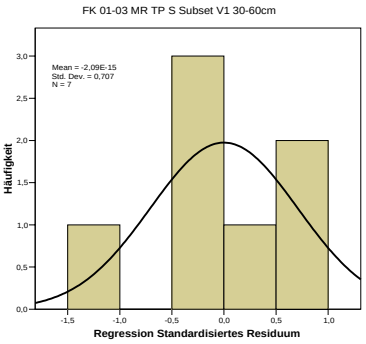


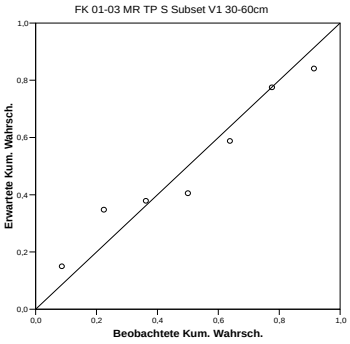
FK 01-03 MR TP S

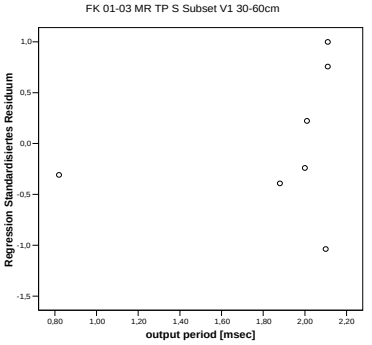


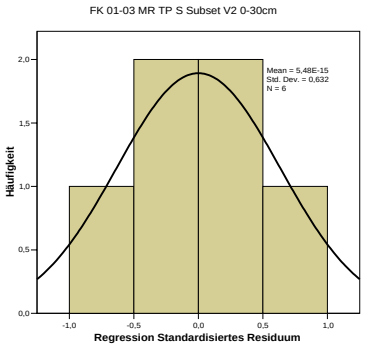


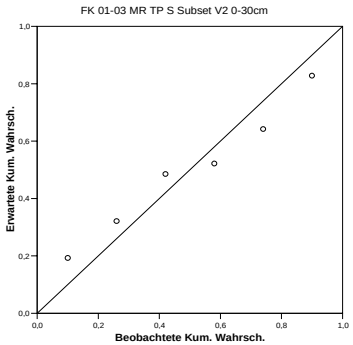


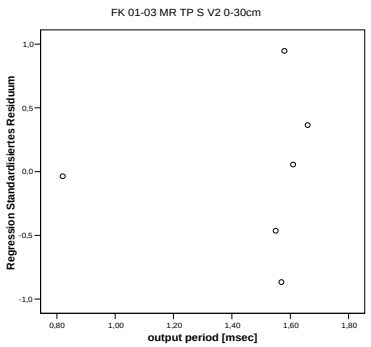


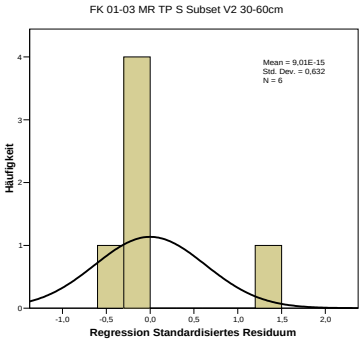


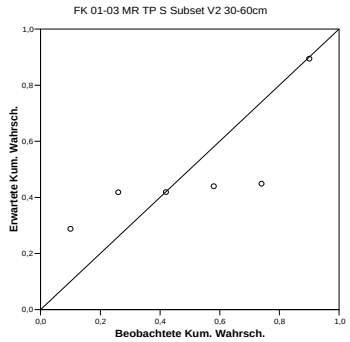


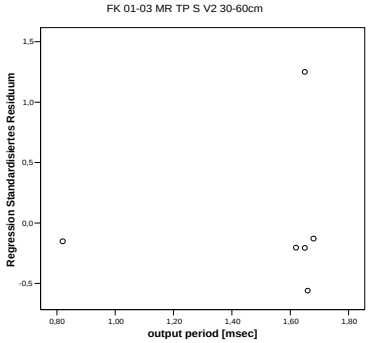

FK 01-03 MR TP S Subset V2 0-30cm
Mean = 5,48E-15
Std. Dev. = 0,632
N = 6
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

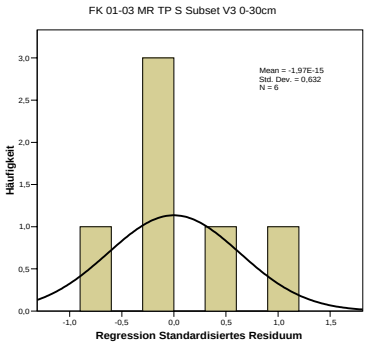

FK 01-03 MR TP S Subset V2 0-30cm
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

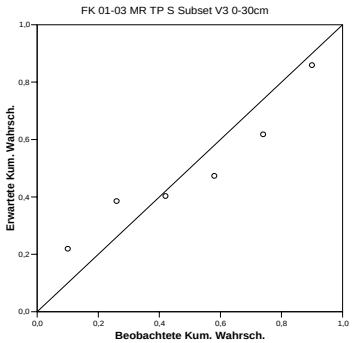

FK 01-03 MR TP S V2 0-30cm
Regression Standardisiertes Residuum
output period [msec]

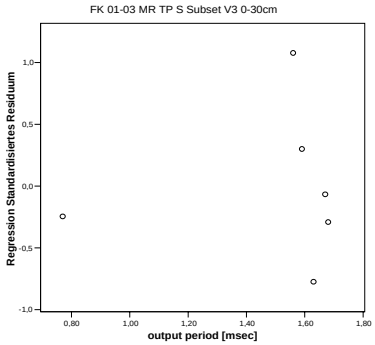

FK 01-03 MR TP S Subset V2 30-60cm
Mean = 9,01E-15
Std. Dev. = 0,632
N = 6
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

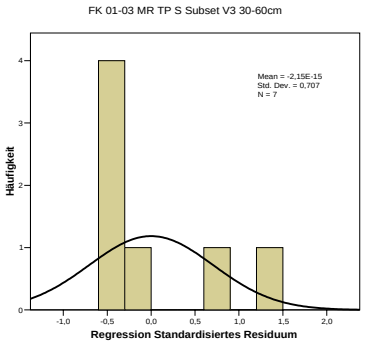

FK 01-03 MR TP S Subset V2 30-60cm
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

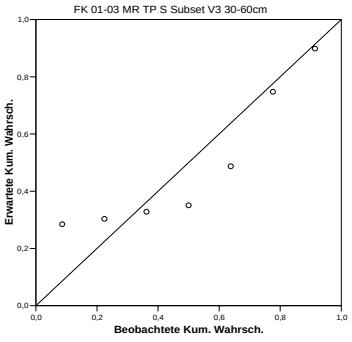

FK 01-03 MR TP S V2 30-60cm
Regression Standardisiertes Residuum
output period [msec]

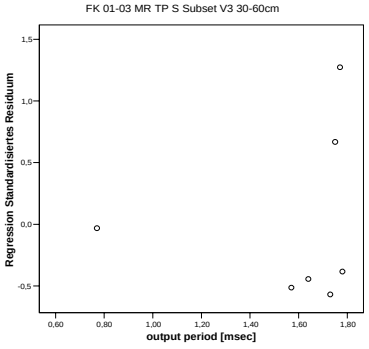

FK 01-03 MR TP S Subset V3 0-30cm
Mean = -1,97E-15
Std. Dev. = 0,632
N = 6
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum


FK 01-03 MR TP S Subset V3 0-30cm
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.


FK 01-03 MR TP S Subset V3 0-30cm
Regression Standardisiertes Residuum
output period [msec]

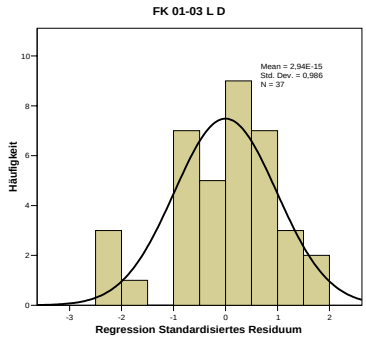

FK 01-03 MR TP S Subset V3 30-60cm
Mean = -2,15E-15
Std. Dev. = 0,707
N = 7
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

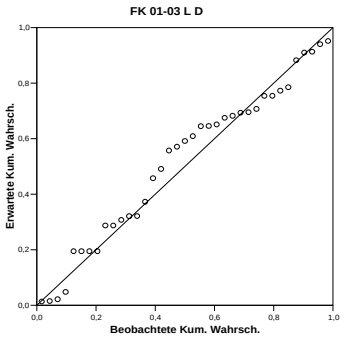

FK 01-03 MR TP S Subset V3 30-60cm
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

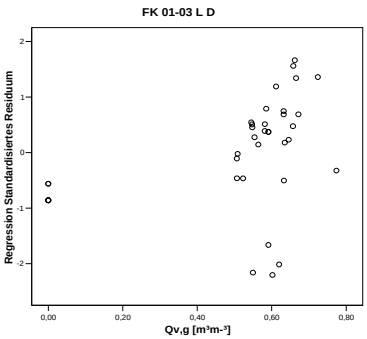

FK 01-03 MR TP S Subset V3 30-60cm
Regression Standardisiertes Residuum
output period [msec]

V

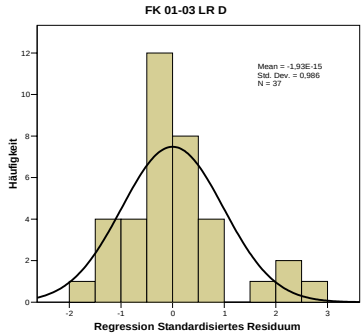
FK 01-03 L D

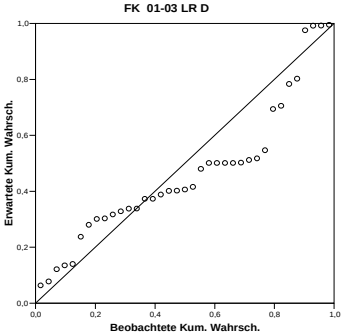


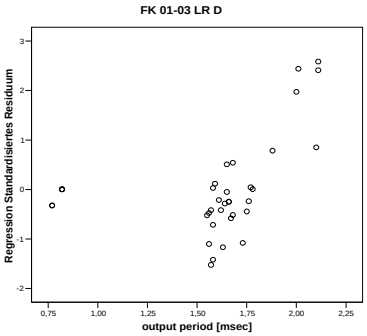




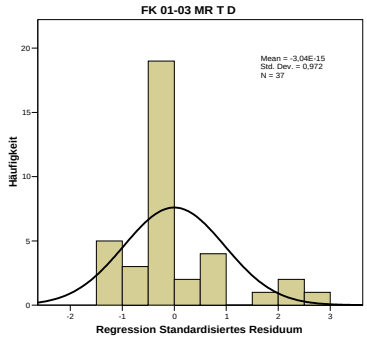
FK 01-03 LR D

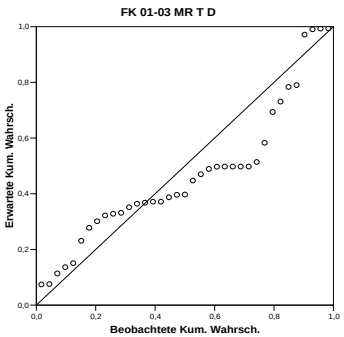


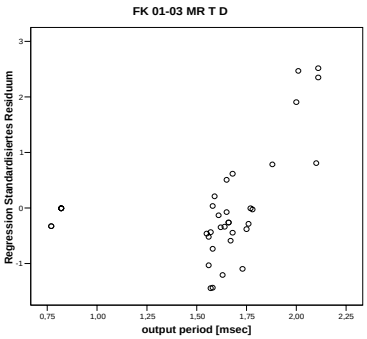




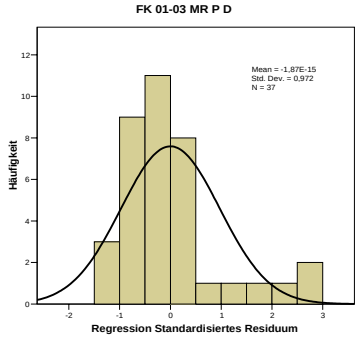
FK 01-03 MR T D

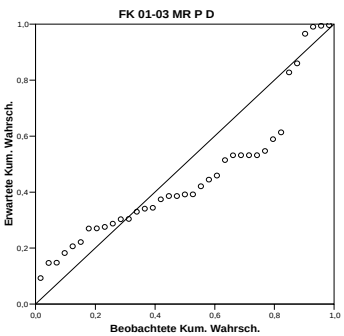


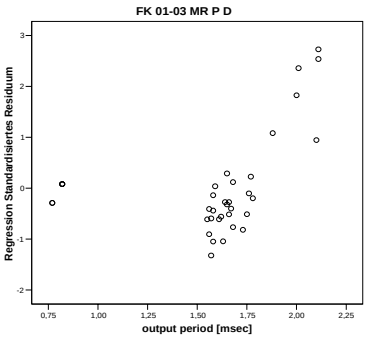




FK 01-03 MR P D







FK 01-03 MR TP D

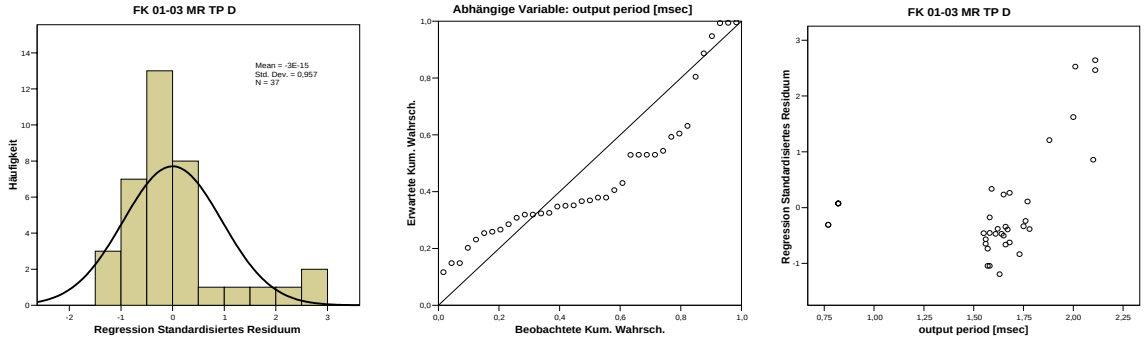
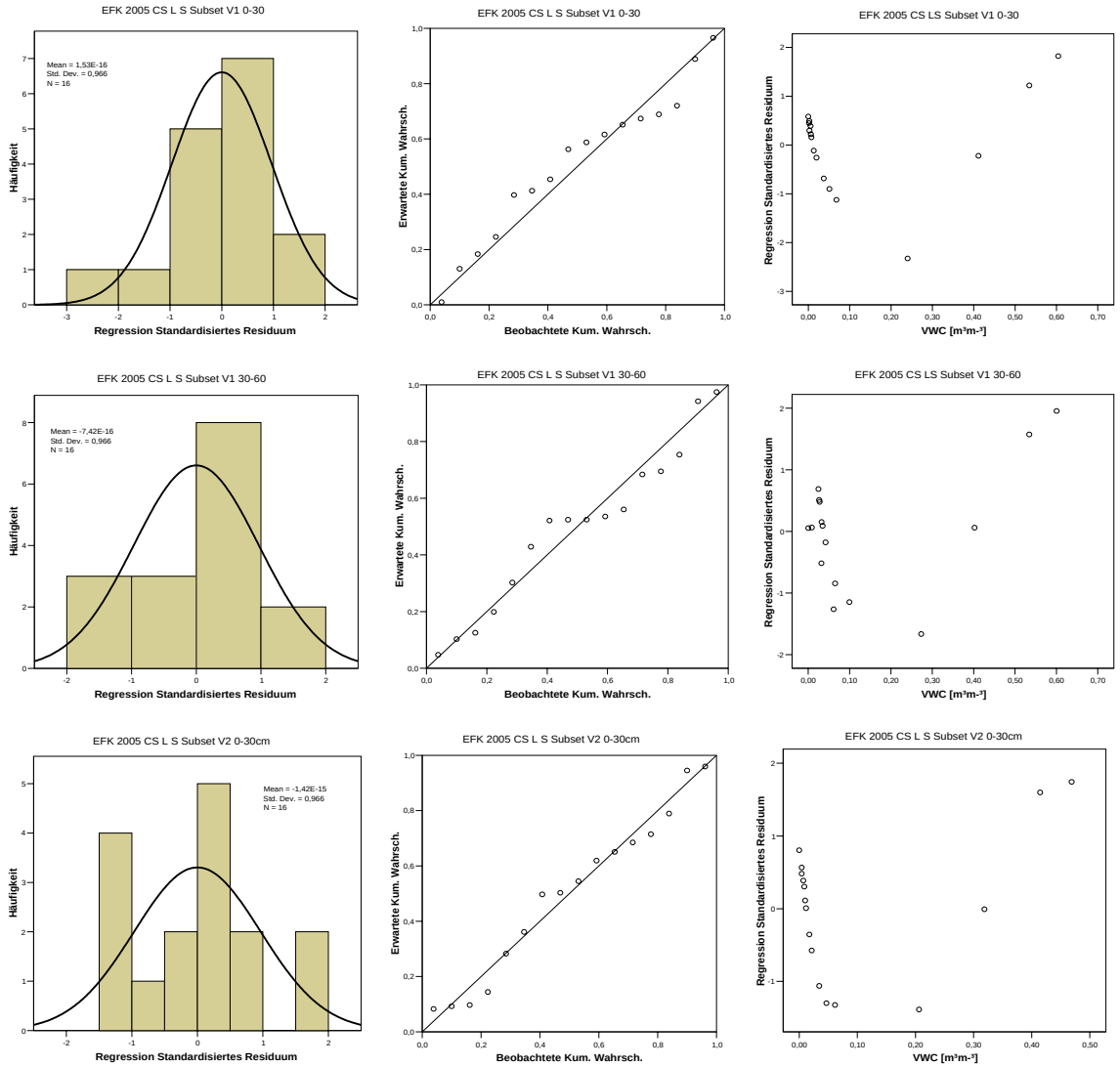
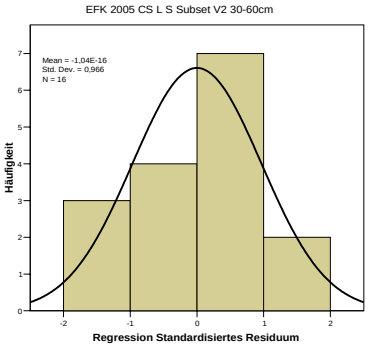
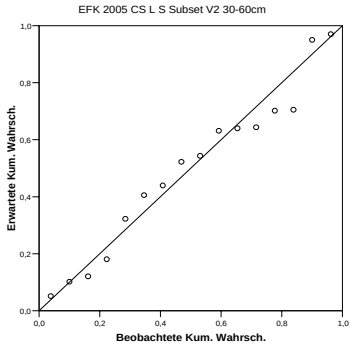


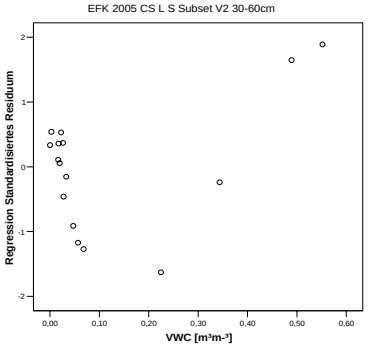
Abb. Annex C - 7: Residualplots für die Daten der erweiterten Feldkalibrierung (EFK 01-03)

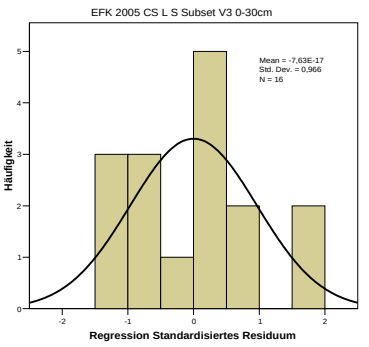
EFK 2005 CS L S

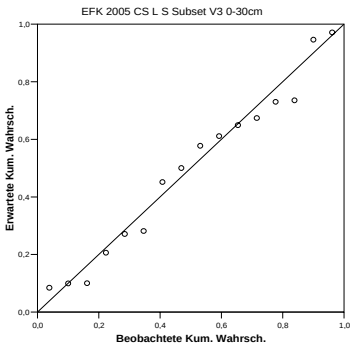


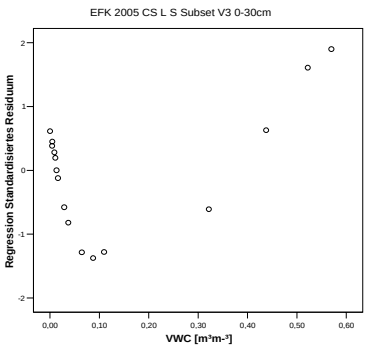

EFK 2005 CS L S Subset V2 30-60cm
Mean = -1,04E-16
Std. Dev. = 0,966
N = 16
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

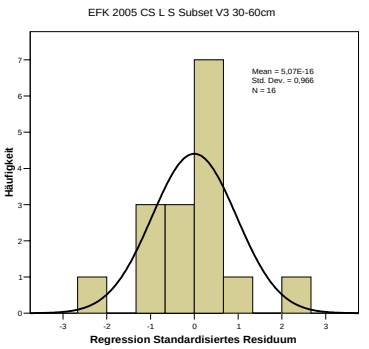

EFK 2005 CS L S Subset V2 30-60cm
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

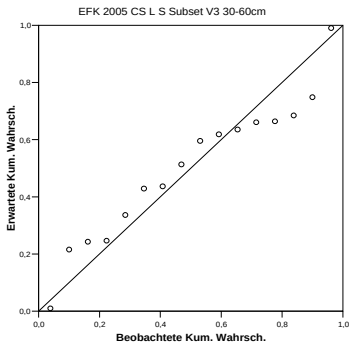

EFK 2005 CS L S Subset V2 30-60cm
Regression Standardisiertes Residuum
VWC [m³m-³]

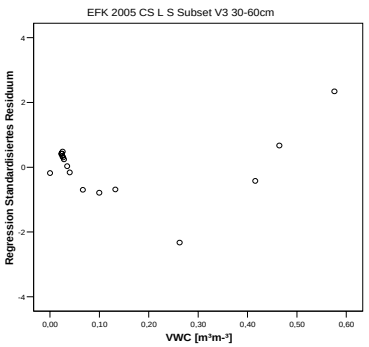

EFK 2005 CS L S Subset V3 0-30cm
Mean = -7,63E-17
Std. Dev. = 0,966
N = 16
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum


EFK 2005 CS L S Subset V3 0-30cm
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

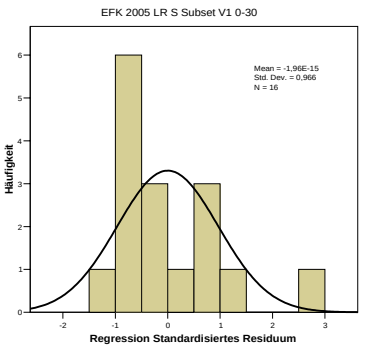

EFK 2005 CS L S Subset V3 0-30cm
Regression Standardisiertes Residuum
VWC [m³m-³]

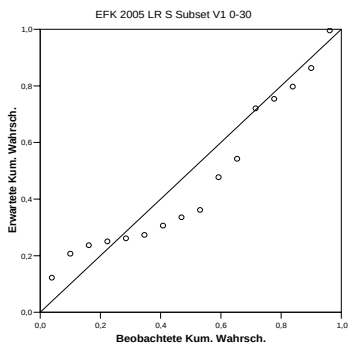

EFK 2005 CS L S Subset V3 30-60cm
Mean = 5,07E-16
Std. Dev. = 0,966
N = 16
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

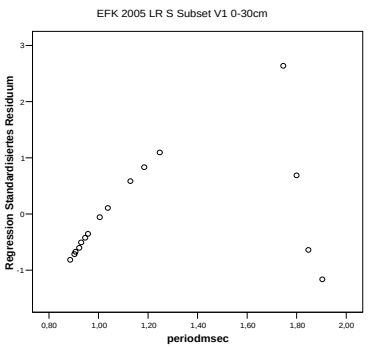

EFK 2005 CS L S Subset V3 30-60cm
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

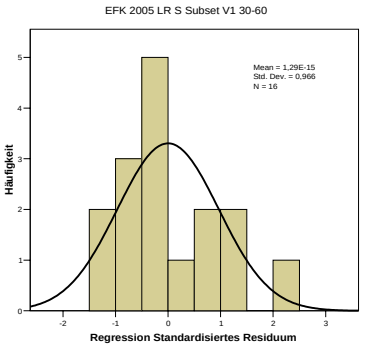

EFK 2005 CS L S Subset V3 30-60cm
Regression Standardisiertes Residuum
VWC [m³m-³]

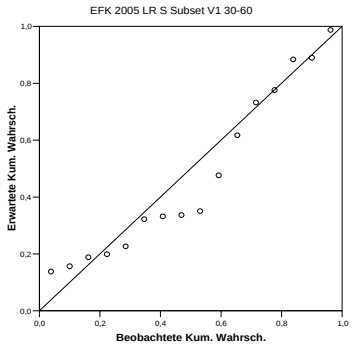
EFK 2005 LR S

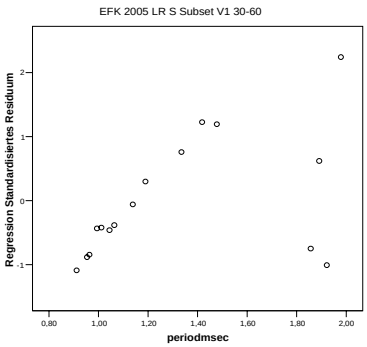

EFK 2005 LR S Subset V1 0-30
Mean = -1,96E-15
Std. Dev. = 0,966
N = 16
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

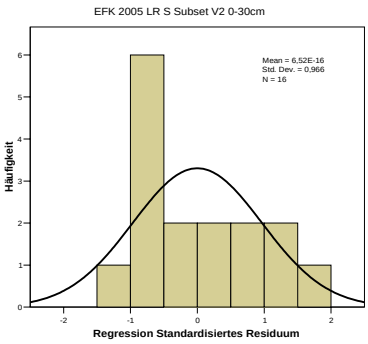

EFK 2005 LR S Subset V1 0-30
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

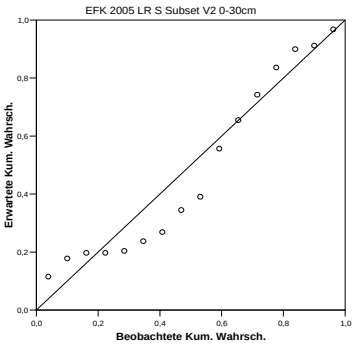

EFK 2005 LR S Subset V1 0-30cm
Regression Standardisiertes Residuum
periodmsec

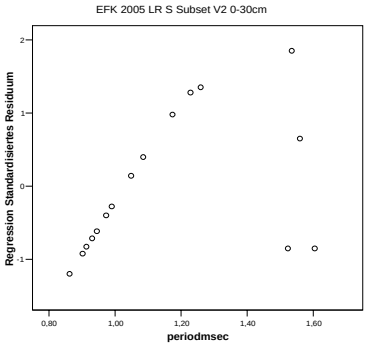

EFK 2005 LR S Subset V1 30-60
Mean = 1,29E-15
Std. Dev. = 0,966
N = 16
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

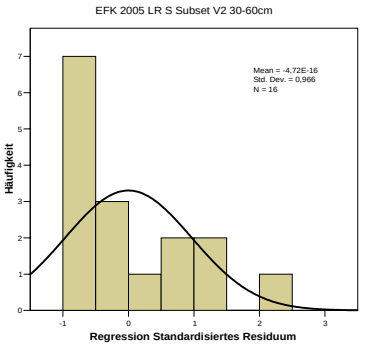

EFK 2005 LR S Subset V1 30-60
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

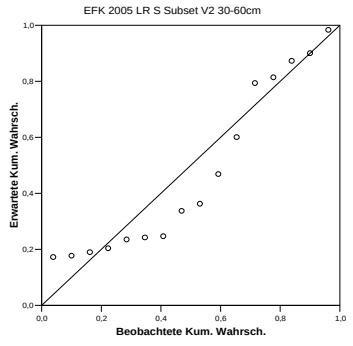

EFK 2005 LR S Subset V1 30-60
Regression Standardisiertes Residuum
periodmsec

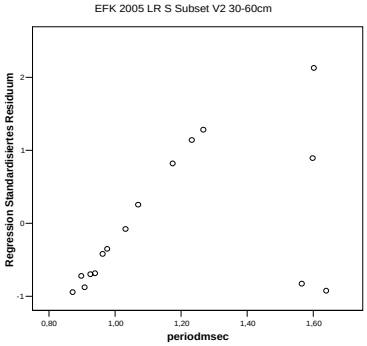

EFK 2005 LR S Subset V2 0-30cm
Mean = 6,52E-16
Std. Dev. = 0,966
N = 16
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

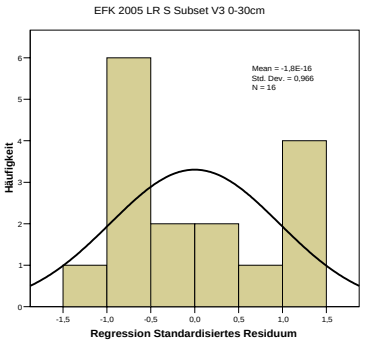

EFK 2005 LR S Subset V2 0-30cm
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

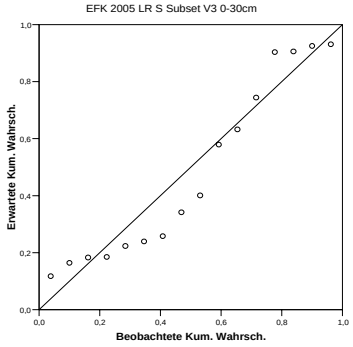

EFK 2005 LR S Subset V2 0-30cm
Regression Standardisiertes Residuum
periodmsec

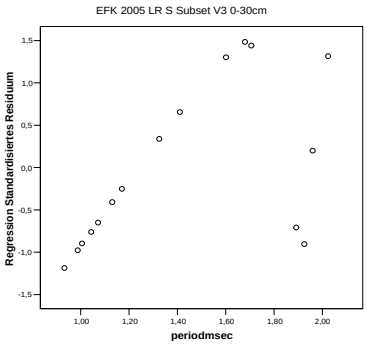

EFK 2005 LR S Subset V2 30-60cm
Mean = -4,72E-16
Std. Dev. = 0,966
N = 16
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

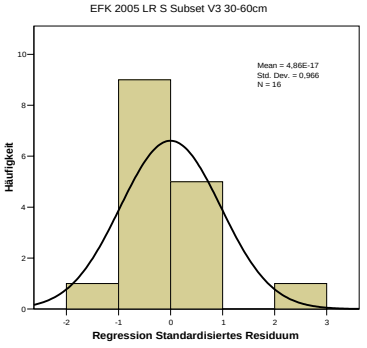

EFK 2005 LR S Subset V2 30-60cm
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

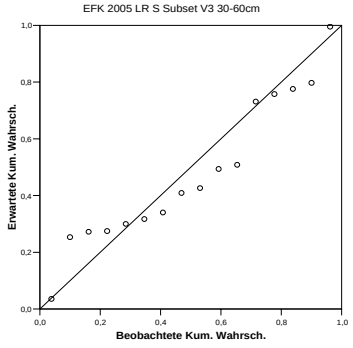

EFK 2005 LR S Subset V2 30-60cm
Regression Standardisiertes Residuum
periodmsec

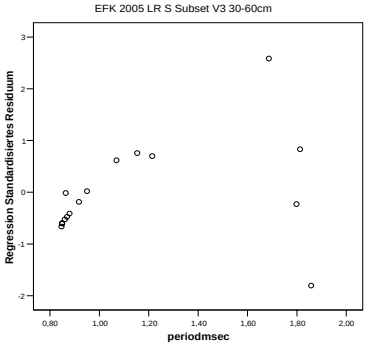

EFK 2005 LR S Subset V3 0-30cm
Mean = -1,8E-16
Std. Dev. = 0,966
N = 16
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum


EFK 2005 LR S Subset V3 0-30cm
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.


EFK 2005 LR S Subset V3 0-30cm
Regression Standardisiertes Residuum
periodmsec

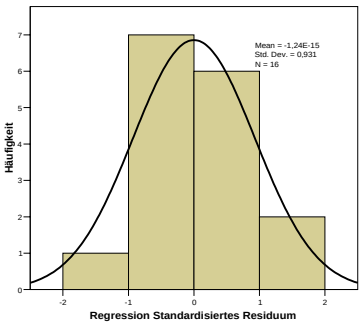

EFK 2005 LR S Subset V3 30-60cm
Mean = 4,86E-17
Std. Dev. = 0,966
N = 16
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum


EFK 2005 LR S Subset V3 30-60cm
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

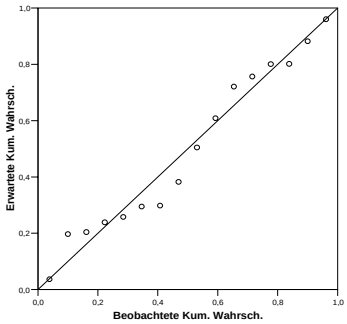

EFK 2005 LR S Subset V3 30-60cm
Regression Standardisiertes Residuum
periodmsec

EFK 2005 MR T S

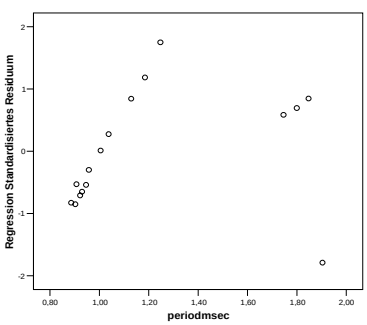
EFK 2005 MR T S Subset V1 0-30



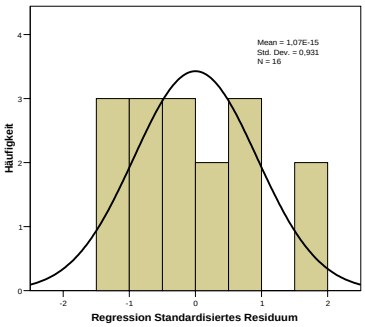
EFK 2005 MR T S Subset V1 0-30cm



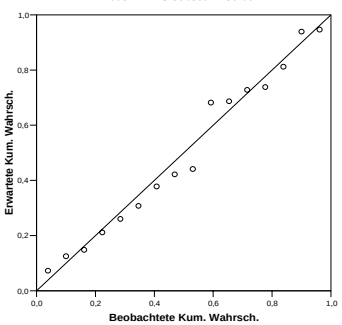
EFK 2005 MR T S Subset V1 0-30



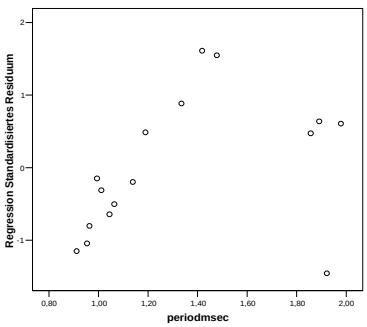
EFK 2005 MR T S Subset V1 30-60



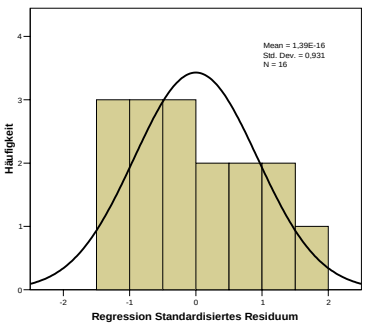
EFK 2005 MR T S Subset V1 30-60



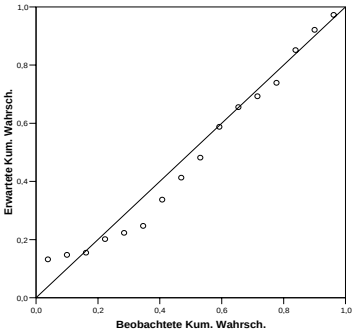
EFK 2005 MR T S Subset V1 30-60



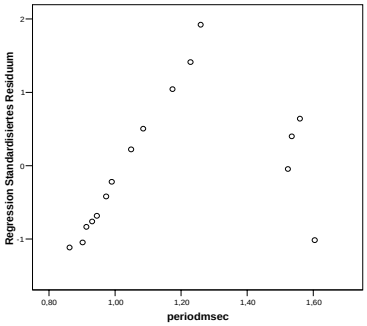
EFK 2005 MR T S Subset V2 0-30cm



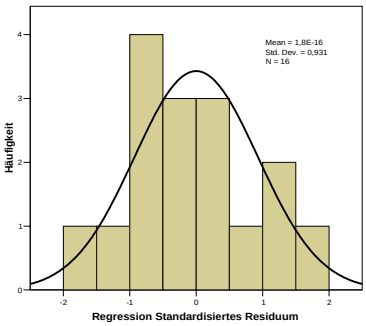
EFK 2005 MR T S Subset V2 0-30cm



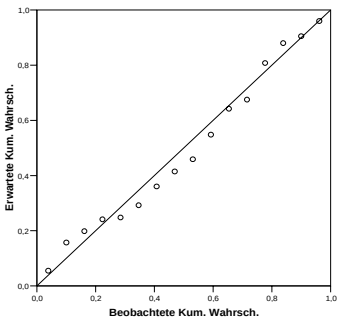
EFK 2005 MR T S Subset V2 0-30cm



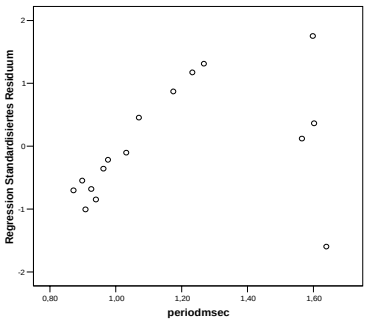
EFK 2005 MR TP S Subset V2 30-60cm

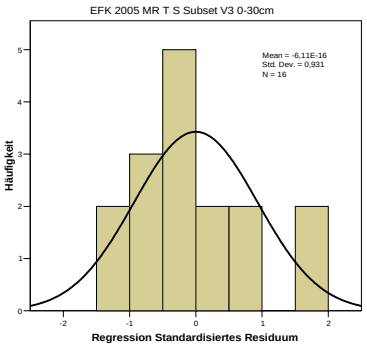


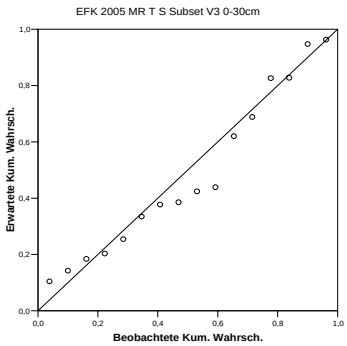
EFK 2005 MR T S Subset V2 30-60cm

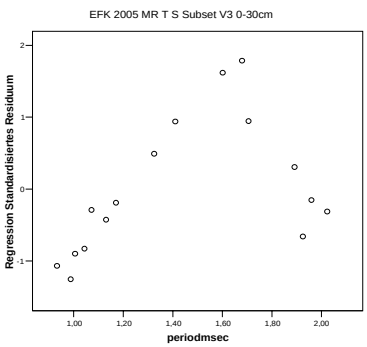


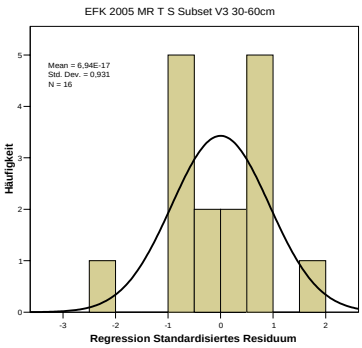
EFK 2005 MR T S Subset V2 30-60cm

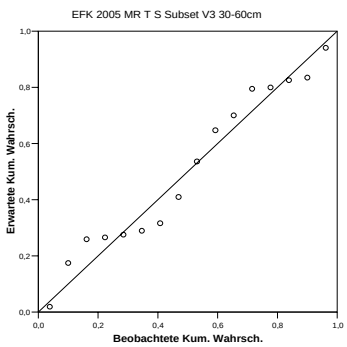


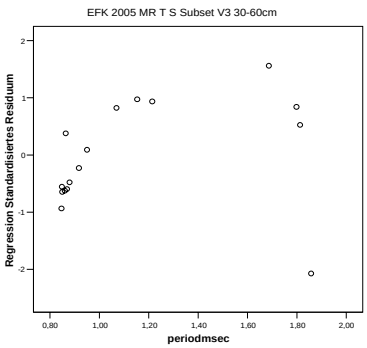




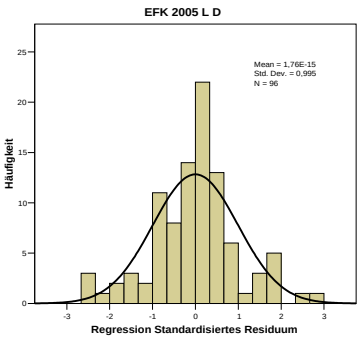


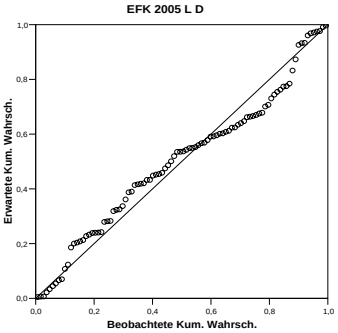


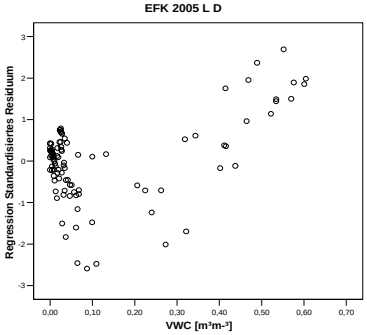




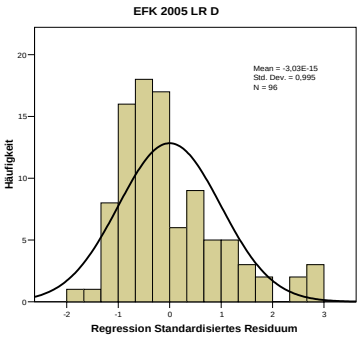
EFK 2005 CS L D

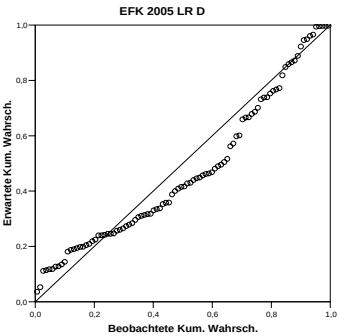


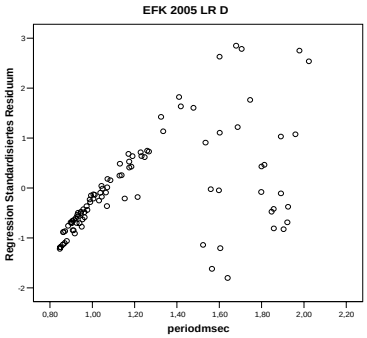




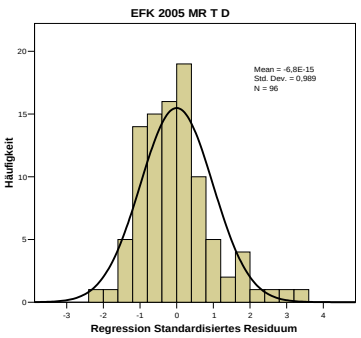
EFK 2005 LR D

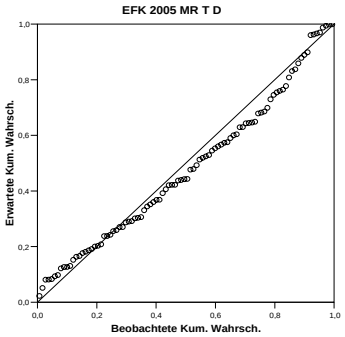


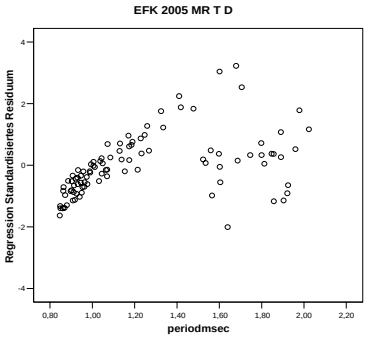




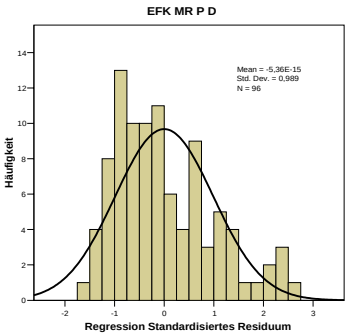
EFK MR T D

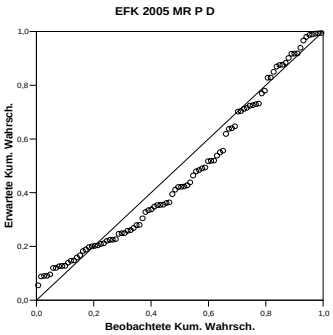


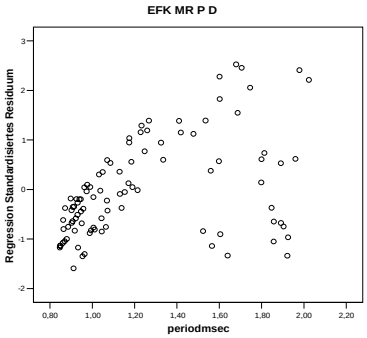




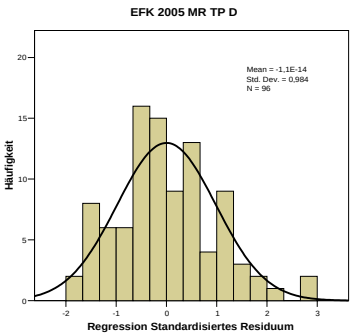
EFK 2005 MR P D

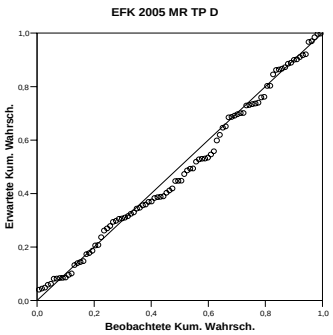


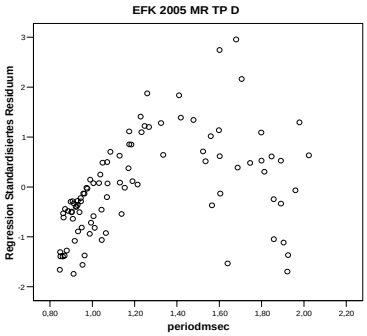




EFK 2005 MR TP D







ANNEX D: TABELLEN UND ABBILDUNGEN ZU BLOCK D

Tab. Annex D - 1: Tages- und Monatsmittelwerte bzw. -summen (Niederschlag) der Klimamesswerte 2001 (Juli bis Dezember)

Jul 01	Globalstrahlung [W/m²]	Lufttemperatur [°C]	rel. Luftfeuchte [%]	Bodentemperatur [°C]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Niederschlag [mm]
01.07.2001						
02.07.2001						
03.07.2001						
04.07.2001						
05.07.2001						
06.07.2001						
07.07.2001						
08.07.2001						
09.07.2001						
10.07.2001						
11.07.2001						
12.07.2001						
13.07.2001						
14.07.2001						
15.07.2001						
16.07.2001						
17.07.2001						
18.07.2001	*203,8*	*12,0*	*83,7*			*1,2*
19.07.2001	187,3	12,4	88,7			6,8
20.07.2001	26,2	9,7	98,3			*61,4*
21.07.2001	62,1	9,6	96,6			13,0
22.07.2001	317,6	13,1	75,3			0,0
23.07.2001	300,0	15,2	75,5			0,0
24.07.2001	103,9	14,4	90,4			0,8
25.07.2001	114,0	14,7	92,9			10,4
26.07.2001	287,3	16,9	77,5			0,0
27.07.2001	280,7	17,4	74,3			0,0
28.07.2001	299,5	18,0	70,9			0,0
29.07.2001	263,9	18,1	72,7			0,4
30.07.2001	240,1	16,3	82,0			4,6
31.07.2001	286,9	18,4	73,0			0,0
MW	***212,4***	***14,7***	***82,3***			***98,6***
STAB	98,1	3,0	9,5			

Aug 01	Globalstrahlung [W/m²]	Lufttemperatur [°C]	rel. Luftfeuchte [%]	Bodentemperatur [°C]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Niederschlag [mm]
01.08.2001	242,7	19,2	73,6			0,0
02.08.2001	*280,6*	*19,9*	*78,3*			*0,0*
03.08.2001	*211,8*	*19,8*	*76,7*			*0,4*
04.08.2001	85,7	14,7	94,8			1,8
05.08.2001	56,2	10,8	98,7			17,6
06.08.2001	243,5	14,3	79,8			0,0
07.08.2001	180,0	15,1	82,7			0,0
08.08.2001	162,1	14,7	86,9			12,6
09.08.2001	199,8	15,4	89,5			12,4
10.08.2001	24,5	10,5	100,0			*29,2*
11.08.2001	123,9	9,6	91,2			0,0
12.08.2001	259,4	11,8	79,6			0,0
13.08.2001	233,0	14,4	77,1			0,0
14.08.2001	266,4	18,1	75,5			0,0
15.08.2001	264,7	20,7	66,9			0,0
16.08.2001	262,0	20,9	69,6			0,0
17.08.2001	130,8	16,6	92,7			22,4
18.08.2001	235,3	17,3	87,7			2,4
19.08.2001	142,7	15,9	91,3			1,6
20.08.2001	140,5	14,0	93,9			20,0
21.08.2001	102,9	13,3	94,5			4,4
22.08.2001	114,0	14,8	91,8			0,0
23.08.2001	208,2	15,7	89,2			0,0
24.08.2001	223,9	16,4	86,2	17,1	1,6	0,2
25.08.2001	245,1	17,1	81,3	16,7	1,6	0,0
26.08.2001	239,3	18,1	80,6	17,0	1,6	0,0
27.08.2001	211,8	18,6	75,7	17,1	1,6	7,6
28.08.2001	129,1	13,2	92,4	16,4	1,7	8,4
29.08.2001	231,2	12,5	79,3	15,5	1,9	0,0
30.08.2001	182,6	13,7	83,6	15,2	1,4	0,0
31.08.2001	44,7	10,4	99,7	14,6	1,5	28,6
MW	***183,2***	***15,4***	***85,2***	***16,2***	***1,6***	***169,6***
STAB	71,9	3,1	8,9	1,0	0,1	

Sep 01	Globalstrahlung [W/m²]	Lufttemperatur [°C]	rel. Luftfeuchte [%]	Bodentemperatur [°C]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Niederschlag [mm]
01.09.2001	34,5	8,5	99,2	13,1	1,0	11,2
02.09.2001	37,8	8,9	99,8	12,4	1,2	20,0
03.09.2001	225,2	12,0	86,0	13,6	1,4	0,0
04.09.2001	37,7	9,7	99,1	13,2	1,1	13,4
05.09.2001	38,6	6,9	99,4	11,8	1,5	37,0
06.09.2001	28,6	6,5	100,0	10,5	1,2	19,6
07.09.2001	36,3	7,6	97,5	10,7	1,2	14,4
08.09.2001	34,2	8,3	99,7	10,6	1,4	40,2
09.09.2001	88,9	5,4	85,5	10,1	1,5	12,8
10.09.2001	63,1	4,6	89,6	9,6	1,5	12,6
11.09.2001	77,1	4,9	94,1	9,3	1,4	6,0
12.09.2001	32,9	4,9	99,4	9,1	1,2	*46,6*
13.09.2001	114,2	8,0	96,2	9,9	1,0	3,0
14.09.2001	23,1	5,8	99,7	9,5	1,1	9,6
15.09.2001	40,9	5,8	99,6	9,1	0,8	1,2
16.09.2001	56,7	5,1	97,9	9,2	1,4	10,8
17.09.2001	55,8	3,5	99,4	8,5	1,3	18,6
18.09.2001	*85,8*	*4,4*	*96,2*	*8,4*	*1,0*	*14,4*
19.09.2001	179,1	7,3	74,2	8,6	1,4	0,0
20.09.2001	180,8	8,2	81,2	9,3	1,6	0,0
21.09.2001	133,6	8,8	89,0	9,9	1,4	5,0
22.09.2001	76,2	7,5	97,3	9,9	1,3	0,6
23.09.2001	33,9	7,4	100,0	9,5	1,0	8,2
24.09.2001	92,3	9,8	98,9	10,1	1,3	4,2
25.09.2001	32,4	7,7	99,8	10,2	1,2	9,8
26.09.2001	27,3	5,1	100,0	9,1	0,8	10,2
27.09.2001	95,5	6,4	95,9	8,6	1,3	0,2
28.09.2001	173,5	9,3	85,0	9,3	1,7	0,0
29.09.2001	152,1	10,5	86,6	9,8	1,3	0,2
30.09.2001	40,0	10,4	98,8	10,4	1,2	7,4
00.01.1900						0,0
MW	***77,6***	***7,3***	***94,8***	***10,1***	***1,3***	***337,2***
STAB	55,9	2,1	6,8	1,4	0,2	

Okt 01	Globalstrahlung [W/m²]	Lufttemperatur [°C]	rel. Luftfeuchte [%]	Bodentemperatur [°C]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Niederschlag [mm]
01.10.2001	113,2	10,9	93,5	11,0	1,1	0,0
02.10.2001	161,4	14,8	81,6	12,0	1,5	0,0
03.10.2001	152,3	14,0	84,5	12,1	1,7	0,0
04.10.2001	21,0	9,1	99,0	11,2	1,5	3,4
05.10.2001	120,5	8,4	93,3	10,7	1,2	0,0
06.10.2001	112,2	10,2	86,1	10,5	1,4	0,0
07.10.2001	144,1	12,4	83,3	10,8	1,7	0,0
08.10.2001	149,1	13,5	86,6	11,8	1,5	0,0
09.10.2001	89,3	10,3	94,5	11,4	1,4	0,0
10.10.2001	86,1	9,4	94,3	10,4	1,4	0,0
11.10.2001	129,4	10,5	89,4	10,3	1,7	0,2
12.10.2001	144,6	10,6	83,3	10,4	1,6	0,0
13.10.2001	127,2	11,5	77,5	10,3	1,7	0,0
14.10.2001	*132,1*	*12,3*	*75,2*	*10,4*	*1,8*	*0,0*
15.10.2001	128,5	11,4	84,6	10,5	1,6	0,0
16.10.2001	95,0	12,5	88,2	10,8	1,7	0,0
17.10.2001	130,3	10,2	86,4	10,4	1,5	0,0
18.10.2001	124,9	10,0	80,5	9,9	1,7	0,0
19.10.2001	125,2	9,1	85,6	9,6	1,7	0,0
20.10.2001	117,0	9,8	83,4	9,3	1,5	0,0
21.10.2001	24,6	8,8	94,2	9,2	1,7	*16,0*
22.10.2001	34,9	6,9	99,1	8,9	1,5	5,2
23.10.2001	111,5	7,4	92,6	8,6	1,4	1,8
24.10.2001	14,9	6,4	100,0	8,6	1,0	10,8
25.10.2001	26,8	5,7	99,9	8,3	1,1	8,0
26.10.2001	97,9	5,7	96,0	8,3	1,3	1,4
27.10.2001	110,0	6,7	88,5	7,7	1,6	0,0
28.10.2001	78,6	8,8	89,0	8,1	1,4	2,4
29.10.2001	33,4	9,7	90,4	8,7	1,8	9,4
30.10.2001	51,5	10,8	81,3	9,0	2,0	0,0
31.10.2001	98,9	11,9	70,4	8,6	1,9	0,0
MW	***99,6***	***10,0***	***88,1***	***9,9***	***1,5***	***58,6***
STAB	43,2	2,3	7,4	1,2	0,2	

Nov 01	Globalstrahlung [W/m²]	Lufttemperatur [°C]	rel. Luftfeuchte [%]	Bodentemperatur [°C]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Niederschlag [mm]
01.11.2001	34,3	2,8	84,5	7,7	1,9	1,4
02.11.2001	*58,3*	*1,9*	*86,3*	*6,5*	*1,6*	*0,0*
03.11.2001	*99,2*	*2,1*	*86,0*	*5,5*	*1,6*	*0,2*
04.11.2001	97,3	4,6	83,6	5,4	1,6	0,0
05.11.2001	8,3	2,7	98,5	5,0	1,6	0,0
06.11.2001	19,5	2,2	93,1	5,0	1,2	0,0
07.11.2001	28,0	3,1	99,6	5,2	1,2	*12,8*
08.11.2001	39,6	4,1	99,0	5,7	1,4	7,4
09.11.2001	3,3	-2,9	99,9	4,6	0,4	0,2
10.11.2001	24,2	-3,8	95,6	4,1	0,8	0,8
11.11.2001	113,4	-1,4	94,4	3,7	1,1	5,2
12.11.2001	19,5	-1,7	100,0	3,5	1,3	0,2
13.11.2001	*10,8*	*-1,5*	*100,0*	*3,3*	*1,7*	*1,0*
14.11.2001	18,6	-4,5	97,6	3,2	1,3	0,4
15.11.2001	41,7	-5,1	92,2	3,0	1,0	4,4
16.11.2001	73,9	-3,0	89,6	2,9	1,1	3,6
17.11.2001	82,0	-1,7	92,4	2,7	1,0	5,2
18.11.2001	83,3	-0,7	91,2	2,6	1,1	5,0
19.11.2001	18,2	-4,4	100,0	2,4	0,4	0,0
20.11.2001	34,1	-2,1	99,2	2,3	1,2	0,6
21.11.2001	49,5	-3,3	94,7	2,3	0,6	0,2
22.11.2001	65,4	-0,6	78,3	2,0	1,5	1,6
23.11.2001	4,0	-5,0	99,0	2,0	1,6	0,0
24.11.2001	5,1	-3,9	99,5	2,0	1,8	0,0
25.11.2001	4,8	-2,3	100,0	2,0	1,9	0,0
26.11.2001	7,7	-0,3	100,0	1,9	1,3	1,0
27.11.2001	37,5	0,5	99,1	1,8	1,2	11,2
28.11.2001	63,3	0,2	95,1	1,7	1,8	7,2
29.11.2001	3,3	-1,3	99,3	1,7	1,6	0,0
30.11.2001	6,9	-0,6	100,0	1,7	1,1	2,4
00.01.1900						0,0
MW	***38,5***	***-0,9***	***94,9***	***3,5***	***1,3***	***72,0***
STAB	32,8	2,8	6,0	1,6	0,4	

Dez 01	Globalstrahlung [W/m²]	Lufttemperatur [°C]	rel. Luftfeuchte [%]	Bodentemperatur [°C]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Niederschlag [mm]
01.12.2001	49,2	0,7	97,7	1,6	1,0	12,8
02.12.2001	65,9	-0,5	94,2	1,6	1,2	5,8
03.12.2001	50,2	-3,5	97,6	1,6	1,4	0,6
04.12.2001	36,4	-0,1	97,6	1,6	1,1	7,4
05.12.2001	10,7	0,0	100,0	1,3	1,1	17,0
06.12.2001	2,8	0,7	99,3	1,2	1,6	*42,6*
07.12.2001	2,5	-1,5	100,0	1,3	0,8	0,0
08.12.2001	6,5	-3,5	99,7	1,3	0,8	0,0
09.12.2001	8,1	-7,3	98,6	1,3	0,8	0,0
10.12.2001	20,3	-6,6	94,8	1,3	0,9	0,6
11.12.2001	3,1	-4,1	99,7	1,3	0,4	0,0
12.12.2001	1,3	-3,5	100,0	1,3	0,5	0,0
13.12.2001	2,7	-11,6	97,2	1,3	0,9	0,0
14.12.2001	25,7	-15,1	89,7	1,2	0,5	0,0
15.12.2001	37,6	-10,5	88,8	1,2	0,5	2,6
16.12.2001	12,9	-10,9	95,5	1,2	0,6	0,0
17.12.2001	5,2	-7,6	98,3	1,2	0,6	0,0
18.12.2001	*6,3*	*-6,8*	*97,8*	*1,1*	*0,6*	*0,0*
19.12.2001	42,5	-7,5	92,9	1,1	0,7	1,4
20.12.2001	6,5	-7,3	97,4	1,1	1,6	0,0
21.12.2001	42,1	-9,2	89,5	1,1	1,6	0,0
22.12.2001	3,5	-4,2	99,9	1,1	1,8	0,0
23.12.2001	5,2	-8,1	98,3	1,1	1,7	0,0
24.12.2001	68,0	-12,1	86,6	1,1	1,5	0,0
25.12.2001	16,2	-3,1	98,4	1,0	1,3	0,0
26.12.2001	22,1	-3,0	99,5	1,0	2,0	0,0
27.12.2001	16,7	-9,0	95,4	1,0	2,0	0,0
28.12.2001	5,0	-2,8	98,7	1,0	1,5	0,0
29.12.2001	12,4	0,3	99,7	1,0	1,4	0,0
30.12.2001	55,4	-4,0	90,1	1,0	2,3	0,0
31.12.2001	15,4	-7,8	95,5	1,0	1,9	0,0
MW	***21,2***	***-5,5***	***96,4***	***1,2***	***1,2***	***90,8***
STAB	20,3	4,2	3,8	0,2	0,5	

Tab. Annex D - 2: Tages- und Monatsmittelwerte bzw. -summen (Niederschlag) der Klimamesswerte 2002

Jan 02	Globalstrahlung [W/m²]	Lufttemperatur [°C]	rel. Luftfeuchte [%]	Bodentemperatur [°C]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Niederschlag [mm]
01.01.2002	15,2	-10,0	92,6	1,0	1,9	0,0
02.01.2002	34,6	-6,3	85,4	0,9	2,3	0,0
03.01.2002	58,2	-9,2	91,8	0,9	1,9	0,0
04.01.2002	55,0	-10,6	85,2	0,9	1,8	0,0
05.01.2002	44,3	-7,4	88,3	0,9	2,2	0,0
06.01.2002	57,2	-4,8	79,7	0,9	2,3	0,0
07.01.2002	54,4	-3,8	76,3	0,9	1,6	0,0
08.01.2002	57,2	-4,6	83,4	0,9	2,0	0,0
09.01.2002	58,0	-3,3	77,3	0,8	1,9	0,0
10.01.2002	57,4	-3,4	77,3	0,8	2,1	0,0
11.01.2002	60,0	-4,4	76,7	0,8	2,1	0,0
12.01.2002	26,1	-3,8	86,6	0,8	2,0	0,0
13.01.2002	4,8	-4,3	99,8	0,8	1,5	0,0
14.01.2002	*0,0*	*-7,9*	*100,0*	*0,8*	*1,2*	*0,0*
15.01.2002						0,0
16.01.2002	68,4	-3,2	87,2	0,8	1,6	0,0
17.01.2002	44,5	-4,2	94,7	0,8	1,5	0,0
18.01.2002	64,4	-6,0	89,3	0,8	1,9	0,0
19.01.2002	53,3	-2,6	83,0	0,8	1,6	0,0
20.01.2002	9,7	-0,6	99,2	0,8	1,6	0,0
21.01.2002	13,8	1,1	99,7	0,7	2,1	0,0
22.01.2002	69,8	2,3	86,1	0,7	2,2	0,2
23.01.2002	67,1	1,9	84,8	0,7	1,7	5,4
24.01.2002	28,7	1,7	85,7	0,7	1,8	15,0
25.01.2002	10,9	0,1	92,9	0,7	2,2	8,8
26.01.2002	32,3	0,0	98,5	0,7	1,9	10,8
27.01.2002	15,7	2,1	91,9	0,6	2,0	43,2
28.01.2002	48,7	4,6	91,9	0,4	2,4	17,4
29.01.2002	81,7	4,7	64,7	0,4	2,5	0,0
30.01.2002	65,3	2,8	67,7	0,5	2,3	0,0
31.01.2002	68,5	4,4	67,8	0,5	2,4	0,0
MW	***44,2***	***-2,5***	***86,2***	***0,8***	***1,9***	***100,8***
STAB	22,9	4,4	9,7	0,2	0,3	

Feb 02	Globalstrahlung [W/m²]	Lufttemperatur [°C]	rel. Luftfeuchte [%]	Bodentemperatur [°C]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Niederschlag [mm]
01.02.2002	39,1	2,2	92,2	0,5	1,8	0,0
02.02.2002	*69,7*	*1,2*	*88,1*	*0,5*	*1,9*	*0,2*
03.02.2002	*74,3*	*3,2*	*61,7*	*0,5*	*1,9*	*0,0*
00.01.1900	77,6	3,7	61,6	0,5	2,4	0,0
05.02.2002	80,4	3,3	65,1	0,5	1,8	0,0
06.02.2002	36,9	2,7	82,0	0,5	1,8	0,0
07.02.2002	30,4	0,1	99,5	0,5	1,9	4,6
08.02.2002	27,4	0,2	99,0	0,5	1,6	0,0
09.02.2002	54,6	2,5	97,6	0,4	1,6	3,0
10.02.2002	48,5	1,4	90,2	0,3	2,0	5,4
11.02.2002	42,8	1,9	97,7	0,4	2,0	7,4
12.02.2002	45,4	5,4	78,6	0,3	2,5	0,0
13.02.2002	37,0	5,4	78,2	0,3	2,2	0,0
14.02.2002	39,9	1,1	99,2	0,3	1,4	0,2
15.02.2002	87,0	2,2	67,0	0,3	2,7	0,0
16.02.2002	69,8	3,3	58,1	0,3	2,8	0,0
17.02.2002	91,8	3,6	76,0	0,3	2,0	0,0
18.02.2002						0,0
18.02.2002						0,0
20.02.2002						0,0
21.02.2002						0,0
22.02.2002						0,0
23.02.2002						0,0
24.02.2002						0,0
25.02.2002						0,0
26.02.2002						0,0
27.02.2002						0,0
28.02.2002						0,0
28.02.2002						0,0
01.03.2002						0,0
02.03.2002						0,0
MW	***56,0***	***2,5***	***81,9***	***0,4***	***2,0***	***20,8***
STAB	21,1	1,5	14,9	0,1	0,4	

Mrz 02	Globalstrahlung [W/m²]	Lufttemperatur [°C]	rel. Luftfeuchte [%]	Bodentemperatur [°C]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Niederschlag [mm]
01.03.2002						0,0
02.03.2002						0,0
03.03.2002						0,0
04.03.2002						0,0
15.03.2002						0,0
15.03.2002						0,0
15.03.2002						0,0
15.03.2002						0,0
15.03.2002						0,0
15.03.2002						0,0
15.03.2002						0,0
15.03.2002						0,0
15.03.2002						0,0
15.03.2002						0,0
16.03.2002						0,0
17.03.2002						0,0
18.03.2002	*4,9*	*5,2*	*82,2*	*0,4*	*2,2*	*0,0*
19.03.2002	31,6	3,3	96,1	0,3	1,7	26,2
20.03.2002	13,9	2,5	99,1	0,4	1,6	92,8
21.03.2002	30,0	5,2	95,3	0,5	1,8	47,2
22.03.2002	27,6	0,7	98,3	0,5	1,5	31,0
23.03.2002	8,5	-3,8	99,9	0,4	1,8	0,0
24.03.2002	16,4	-4,1	100,0	0,4	1,5	0,0
25.03.2002	37,5	-3,7	99,2	0,3	1,5	1,6
26.03.2002	45,9	-3,9	95,3	0,3	1,3	0,4
27.03.2002	117,6	-3,7	89,0	0,3	1,7	0,8
28.03.2002	242,1	-1,7	85,6	0,3	1,6	16,6
29.03.2002	226,7	1,8	78,5	0,3	1,9	10,4
30.03.2002	225,0	5,1	69,1	0,3	2,0	0,0
31.03.2002	161,7	4,5	79,7	0,2	1,9	0,0
MW	***85,0***	***0,5***	***90,5***	***0,3***	***1,7***	***227,0***
STAB	90,4	3,9	9,9	0,1	0,2	

Apr 02	Globalstrahlung [W/m²]	Lufttemperatur [°C]	rel. Luftfeuchte [%]	Bodentemperatur [°C]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Niederschlag [mm]
01.04.2002	194,9	5,4	79,4	0,3	1,8	0,0
02.04.2002	213,1	6,6	74,6	0,3	1,8	0,0
03.04.2002	197,3	8,2	60,6	0,3	2,1	0,0
04.04.2002	227,6	6,1	62,8	0,3	1,9	0,0
05.04.2002	206,1	1,8	69,5	0,2	1,9	0,0
06.04.2002	231,4	-0,4	63,3	0,1	2,1	0,0
07.04.2002	241,2	0,3	61,8	0,4	2,1	0,0
08.04.2002	117,2	2,1	67,7	1,1	1,5	0,0
09.04.2002	107,0	1,6	76,0	1,8	1,3	0,0
10.04.2002	155,3	1,7	72,8	2,3	1,8	0,0
11.04.2002	*225,3*	*2,3*	*71,3*	*1,7*	*2,4*	*0,0*
12.04.2002	70,9	7,6	70,9	4,2	2,5	0,0
13.04.2002	162,0	8,1	75,9	5,0	1,9	0,0
14.04.2002	30,7	3,6	97,2	4,6	1,9	2,0
15.04.2002	69,8	1,0	96,9	3,7	1,7	0,8
16.04.2002	79,2	1,5	91,4	3,7	1,1	0,2
17.04.2002	82,6	2,9	84,5	3,8	1,3	0,0
18.04.2002	103,1	3,7	89,3	4,3	1,2	0,2
19.04.2002	150,9	5,9	79,9	5,4	1,8	0,0
20.04.2002	71,6	1,8	99,1	4,6	1,4	13,2
21.04.2002	55,9	3,7	99,7	4,8	1,0	0,6
22.04.2002	175,8	6,7	88,3	6,1	1,5	0,0
23.04.2002	122,9	7,3	84,7	6,8	1,5	4,2
24.04.2002	39,8	4,1	99,7	6,2	0,9	37,2
25.04.2002	173,6	7,0	86,0	7,0	1,3	6,6
26.04.2002	189,6	9,9	82,2	8,6	1,6	5,4
27.04.2002	121,7	4,1	85,9	7,8	1,8	16,2
28.04.2002	254,7	7,6	63,9	7,3	2,0	0,0
29.04.2002	158,0	6,1	80,5	6,9	1,6	0,0
30.04.2002	*189,9*	*3,4*	*90,7*	*6,3*	*1,7*	*0,2*
00.01.1900						*0,0*
MW	***147,3***	***4,4***	***80,2***	***3,9***	***1,7***	***86,8***
STAB	65,3	2,7	12,2	2,7	0,4	

Mai 02	Globalstrahlung [W/m²]	Lufttemperatur [°C]	rel. Luftfeuchte [%]	Bodentemperatur [°C]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Niederschlag [mm]
01.05.2002	273,0	13,0	63,4	10,0	1,8	0,0
02.05.2002	131,5	13,1	58,2	9,5	1,8	0,0
03.05.2002	188,0	15,8	49,8	9,9	2,5	0,0
04.05.2002	94,9	11,2	73,3	9,6	2,1	0,0
05.05.2002	166,7	6,3	84,9	8,7	2,3	0,0
06.05.2002	187,5	8,1	82,2	9,2	2,0	0,0
07.05.2002	293,5	12,0	59,4	10,0	2,0	0,0
08.05.2002	242,7	14,6	48,6	10,3	2,6	0,0
09.05.2002	288,9	15,1	55,3	11,4	2,5	0,0
10.05.2002	169,6	13,3	75,3	11,6	1,7	0,0
11.05.2002	238,7	11,1	84,2	11,8	1,8	5,6
12.05.2002	183,2	10,5	89,8	12,0	1,4	6,2
13.05.2002	182,7	12,1	84,5	11,9	1,1	0,8
14.05.2002	50,2	9,1	94,4	10,6	1,3	2,2
15.05.2002	285,7	11,1	74,1	11,2	1,8	0,4
16.05.2002	303,5	14,0	69,8	12,3	1,7	0,0
17.05.2002	293,8	16,6	62,3	13,5	1,7	0,0
18.05.2002	264,9	17,6	61,1	14,2	1,7	0,0
19.05.2002	54,2	8,9	98,8	12,4	2,0	28,4
20.05.2002	88,3	8,1	98,9	11,3	0,8	3,6
21.05.2002	255,4	12,7	73,3	12,3	1,3	0,0
22.05.2002	127,7	10,8	75,8	11,2	1,5	0,0
23.05.2002	*162,6*	*12,2*	*79,9*	*12,3*	*1,4*	*0,0*
24.05.2002	75,7	8,5	93,7	12,3	1,7	0,4
25.05.2002	114,2	10,7	86,4	12,0	1,1	2,0
26.05.2002	65,7	7,0	98,9	11,1	0,9	7,0
27.05.2002	167,9	10,1	94,1	11,6	1,5	0,0
28.05.2002	40,8	5,7	100,0	10,6	1,3	23,4
29.05.2002	121,9	8,9	89,0	10,6	1,1	4,0
30.05.2002	294,5	11,0	79,1	12,0	1,6	2,6
31.05.2002	303,4	12,7	74,8	12,8	1,5	0,0
MW	***184,2***	***11,3***	***77,8***	***11,3***	***1,7***	***86,6***
STAB	86,8	2,9	15,1	1,3	0,4	

Jun 02	Globalstrahlung [W/m²]	Lufttemperatur [°C]	rel. Luftfeuchte [%]	Bodentemperatur [°C]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Niederschlag [mm]
01.06.2002	317,3	13,0	70,8	13,4	1,7	0,0
02.06.2002	326,6	11,5	63,8	13,3	1,8	0,0
03.06.2002	308,4	12,3	63,9	13,1	1,7	0,0
04.06.2002	170,6	14,0	77,5	13,3	1,3	0,6
05.06.2002	194,7	17,2	61,5	13,5	2,2	0,0
06.06.2002	143,1	14,3	81,0	13,6	1,5	0,8
07.06.2002	24,8	9,0	99,8	12,1	1,2	82,8
08.06.2002	232,7	11,5	86,8	12,4	1,4	1,2
09.06.2002	105,6	10,3	98,1	12,6	1,1	5,0
10.06.2002	25,4	8,3	99,0	11,7	1,4	14,2
11.06.2002	246,6	10,2	79,9	11,7	1,6	0,0
12.06.2002	315,6	14,5	74,5	13,3	1,5	0,0
13.06.2002	229,9	16,9	70,7	14,2	1,6	0,0
14.06.2002	309,1	18,2	70,7	15,4	1,8	0,0
15.06.2002	311,4	20,0	66,1	16,1	1,6	0,0
16.06.2002	150,8	16,4	91,8	16,1	1,4	15,8
17.06.2002	314,0	19,0	73,6	16,5	1,6	0,0
18.06.2002	310,3	20,9	68,7	17,1	1,6	0,0
19.06.2002	310,8	22,2	67,7	17,9	1,6	0,0
20.06.2002	300,1	22,4	68,3	18,6	1,6	1,4
21.06.2002	240,6	19,3	81,8	18,5	1,3	0,4
22.06.2002	309,8	19,8	75,8	18,3	1,5	0,0
23.06.2002	289,4	21,4	69,8	18,6	1,5	0,0
24.06.2002	83,3	15,9	92,0	17,3	1,3	15,0
25.06.2002	216,3	13,6	85,5	16,5	1,3	0,6
26.06.2002	299,0	14,4	76,5	15,8	1,5	0,2
27.06.2002	274,5	16,8	75,2	16,3	1,5	15,8
28.06.2002	36,1	10,2	99,8	15,0	1,2	19,4
29.06.2002	130,5	8,8	85,0	13,6	1,5	0,6
30.06.2002	302,3	11,9	80,0	13,9	1,6	0,2
00.01.1900						0,0
MW	***227,7***	***15,1***	***78,5***	***15,0***	***1,5***	***174,0***
STAB	97,8	4,3	11,4	2,2	0,2	

Jul 02	Globalstrahlung [W/m²]	Lufttemperatur [°C]	rel. Luftfeuchte [%]	Bodentemperatur [°C]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Niederschlag [mm]
01.07.2002	301,5	16,0	72,0	15,1	1,6	0,0
02.07.2002	*0,2*	*10,2*	*92,1*	*14,7*	*1,5*	*0,0*
03.07.2002	282,0	17,4	79,2	16,6	1,6	0,4
04.07.2002	106,0	9,8	90,8	15,0	1,4	15,6
05.07.2002	323,9	14,9	64,4	14,7	1,6	0,0
06.07.2002	200,3	13,9	84,0	15,1	1,5	42,0
07.07.2002	155,4	12,8	92,0	14,8	1,1	2,6
08.07.2002	315,1	16,9	74,7	15,4	1,5	0,0
09.07.2002	306,6	21,5	63,7	16,9	1,7	0,0
10.07.2002	266,6	18,5	74,6	17,4	1,7	8,4
11.07.2002	54,7	11,3	99,8	15,7	1,1	1,0
12.07.2002	261,4	15,7	86,8	16,1	1,3	0,0
13.07.2002	248,5	16,3	88,6	16,9	1,9	4,6
14.07.2002	123,1	13,4	95,0	16,2	1,1	0,8
15.07.2002	229,6	16,2	91,9	16,6	1,0	9,8
16.07.2002	208,8	16,3	90,7	17,3	1,5	6,8
17.07.2002	54,5	14,0	99,6	16,3	1,1	24,0
18.07.2002	90,9	11,4	98,0	15,4	2,0	6,6
19.07.2002	266,1	12,8	86,6	15,5	1,4	0,0
20.07.2002	299,8	14,6	81,2	15,7	1,6	0,0
21.07.2002	233,0	15,9	80,8	16,1	1,5	13,6
22.07.2002	233,3	13,2	84,6	16,0	1,6	0,8
23.07.2002	295,2	14,6	78,7	15,9	1,6	0,0
24.07.2002	128,1	14,3	83,9	15,7	1,6	3,6
25.07.2002	64,8	10,1	98,8	14,7	1,2	18,2
26.07.2002	40,3	9,2	99,3	13,5	0,8	5,6
27.07.2002	163,0	12,2	94,4	13,8	1,1	9,6
28.07.2002	292,8	16,7	72,7	14,7	1,5	0,0
29.07.2002	231,8	17,2	81,2	15,9	1,4	5,6
30.07.2002	276,1	17,6	82,9	16,5	1,5	0,2
31.07.2002	261,4	17,6	81,9	16,7	1,5	0,0
MW	***203,7***	***14,6***	***85,3***	***15,7***	***1,4***	***179,8***
STAB	95,6	2,9	9,9	1,0	0,3	

Aug 02	Globalstrahlung [W/m²]	Lufttemperatur [°C]	rel. Luftfeuchte [%]	Bodentemperatur [°C]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Niederschlag [mm]
01.08.2002	154,6	16,7	91,3	16,9	1,4	2,2
02.08.2002	241,0	15,5	86,7	16,8	1,6	19,0
03.08.2002	257,6	17,4	84,4	17,1	1,5	1,6
04.08.2002	91,2	14,4	94,8	16,5	1,2	7,4
05.08.2002	212,8	14,4	87,5	16,3	1,4	0,0
06.08.2002	74,7	13,0	97,8	15,8	0,9	51,4
07.08.2002	25,2	10,2	99,8	14,3	1,4	36,6
08.08.2002	70,4	11,6	98,2	13,9	1,1	9,2
09.08.2002	*206,7*	*12,1*	*94,3*	*13,5*	*0,9*	*0,0*
10.08.2002	199,3	15,1	79,7	15,0	1,4	0,2
11.08.2002	36,6	11,4	96,6	14,6	1,3	30,6
12.08.2002	20,1	10,6	98,6	13,4	2,0	104,6
13.08.2002	40,9	11,8	87,9	12,7	2,1	8,8
14.08.2002	108,3	12,8	85,4	13,2	1,5	0,0
15.08.2002	87,2	13,0	91,9	13,5	1,1	0,0
16.08.2002	116,3	14,5	89,5	14,1	1,1	0,0
17.08.2002	143,7	14,6	93,6	14,5	1,1	2,2
18.08.2002	230,3	14,9	86,5	14,8	1,4	5,4
19.08.2002	243,6	16,4	83,2	15,6	1,3	0,2
20.08.2002	254,2	17,6	76,0	15,9	1,3	0,2
21.08.2002	66,3	13,3	94,7	15,5	1,2	14,8
22.08.2002	141,3	12,2	92,4	14,9	1,0	10,8
23.08.2002	246,0	14,3	86,8	14,8	1,4	0,2
24.08.2002	212,4	16,1	85,2	15,5	1,3	0,6
25.08.2002	233,0	17,5	81,9	16,3	1,2	0,2
26.08.2002	216,7	19,7	61,7	16,5	1,8	0,0
27.08.2002	112,6	16,6	77,6	16,2	1,5	1,6
28.08.2002	134,1	14,3	92,5	15,7	1,1	0,4
29.08.2002	131,8	14,1	94,5	15,5	1,2	0,4
30.08.2002	173,1	15,1	88,6	15,4	1,3	0,2
31.08.2002	211,4	15,7	85,0	15,7	1,5	0,0
MW	***151,4***	***14,4***	***88,5***	***15,2***	***1,3***	***308,8***
STAB	75,9	2,3	8,0	1,2	0,3	

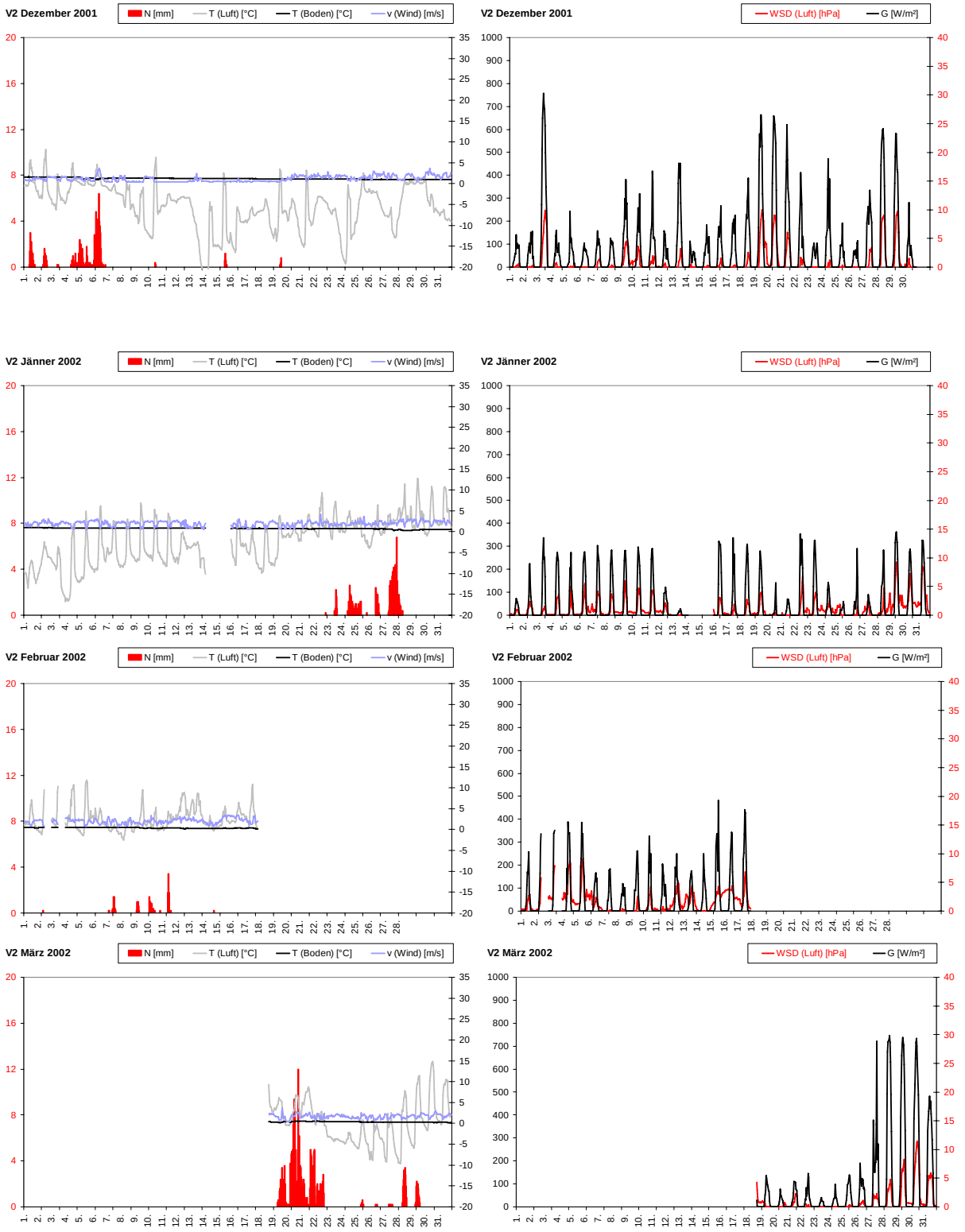
Sep 02	Globalstrahlung [W/m²]	Lufttemperatur [°C]	rel. Luftfeuchte [%]	Bodentemperatur [°C]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Niederschlag [mm]
01.09.2002	67,0	12,9	99,3	15,3	1,0	25,8
02.09.2002	139,7	12,5	93,4	15,0	1,1	0,6
03.09.2002	217,5	14,6	70,9	15,1	1,7	1,0
04.09.2002	209,9	15,7	68,5	15,1	1,3	0,0
05.09.2002	105,2	12,3	91,9	14,6	1,4	0,0
06.09.2002	178,7	12,0	87,6	14,1	1,3	0,0
07.09.2002	206,7	13,0	84,7	14,1	1,4	0,2
08.09.2002	208,8	14,8	77,3	14,3	1,4	0,0
09.09.2002	197,3	16,1	76,5	14,8	1,5	16,6
10.09.2002	48,0	10,7	99,8	14,4	1,5	11,6
11.09.2002	105,9	10,3	93,0	13,7	1,3	2,4
12.09.2002	178,2	10,0	84,7	13,5	1,4	0,0
13.09.2002	190,4	7,2	84,5	12,4	1,6	0,0
14.09.2002	197,8	8,1	82,3	11,8	1,5	0,0
15.09.2002	54,0	6,8	99,1	11,6	1,3	22,8
16.09.2002	114,6	7,3	90,9	11,3	1,2	4,2
17.09.2002	160,4	7,9	86,1	11,2	1,5	0,0
18.09.2002	191,8	9,4	85,7	11,2	1,7	0,0
19.09.2002	61,3	10,1	95,3	11,1	1,0	2,4
20.09.2002	54,3	11,9	99,3	12,0	1,1	15,4
21.09.2002	67,8	10,8	98,8	12,3	0,9	6,8
22.09.2002	57,1	8,1	97,7	12,0	1,0	9,6
23.09.2002	24,9	5,5	100,0	10,9	0,9	9,0
24.09.2002	22,8	3,4	100,0	9,9	0,7	18,4
25.09.2002	33,2	0,8	100,0	8,7	1,7	4,6
26.09.2002	24,5	1,3	100,0	7,7	1,1	19,8
27.09.2002	20,0	3,5	100,0	7,8	0,9	23,0
28.09.2002	33,8	1,5	100,0	7,2	0,9	6,8
29.09.2002	129,4	2,8	92,3	7,2	1,2	0,0
30.09.2002	168,5	4,0	87,7	7,2	1,4	0,2
00.01.1900						0,0
MW	***115,6***	***8,8***	***90,9***	***11,9***	***1,3***	***201,2***
STAB	70,9	4,5	9,3	2,6	0,3	

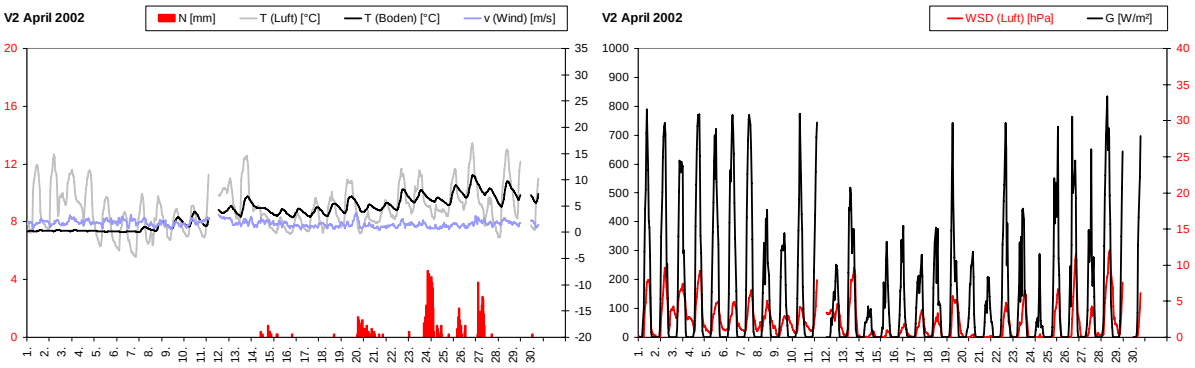
Okt 02	Globalstrahlung [W/m²]	Lufttemperatur [°C]	rel. Luftfeuchte [%]	Bodentemperatur [°C]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Niederschlag [mm]
01.10.2002	166,0	6,5	83,3	7,5	1,6	0,2
02.10.2002	147,5	7,3	83,4	7,8	1,5	0,2
03.10.2002	130,6	9,3	81,5	8,2	1,5	0,0
04.10.2002	28,4	8,6	99,5	9,0	1,2	22,0
05.10.2002	115,5	6,7	88,6	9,2	1,3	0,4
06.10.2002	38,6	5,4	99,3	8,7	1,0	11,0
07.10.2002	127,5	3,5	91,2	8,4	1,7	9,6
08.10.2002	131,4	3,3	87,4	7,4	1,5	0,0
09.10.2002	147,4	4,6	87,5	7,0	1,3	0,2
10.10.2002	120,9	6,3	90,2	7,4	1,1	0,4
11.10.2002	42,0	4,7	100,0	7,8	1,3	0,4
12.10.2002	13,6	1,0	100,0	6,8	1,1	30,6
13.10.2002	27,3	3,2	99,9	6,1	1,0	8,4
14.10.2002	58,5	5,3	99,0	6,7	0,8	0,4
15.10.2002	49,0	8,1	99,4	7,8	1,0	1,0
16.10.2002	123,1	11,0	83,5	8,3	1,6	0,0
17.10.2002	43,8	7,9	94,9	8,4	1,6	19,2
18.10.2002	60,7	2,2	95,7	7,4	1,4	12,8
19.10.2002	45,9	1,0	99,0	6,1	1,5	3,8
20.10.2002	83,1	1,6	93,2	5,7	1,1	0,2
21.10.2002	72,6	6,7	86,8	6,4	1,4	0,0
22.10.2002	37,2	7,8	94,8	7,0	1,5	2,2
23.10.2002	112,4	7,5	87,7	7,0	1,7	11,8
24.10.2002	73,8	3,2	88,5	6,8	1,4	4,8
25.10.2002	60,7	5,8	85,8	6,4	1,2	5,8
26.10.2002	74,0	8,6	72,2	7,0	2,1	0,2
27.10.2002	89,8	8,5	68,3	6,7	1,9	3,6
28.10.2002	42,3	5,1	61,7	6,3	2,4	0,4
29.10.2002	94,5	4,4	73,0	6,1	1,7	0,0
30.10.2002	27,2	7,5	75,2	5,8	2,0	0,6
31.10.2002	11,9	6,5	100,0	6,6	0,7	11,4
MW	***77,3***	***5,8***	***88,7***	***7,2***	***1,4***	***161,6***
STAB	44,1	2,5	10,4	0,9	0,4	

Nov 02	Globalstrahlung [W/m²]	Lufttemperatur [°C]	rel. Luftfeuchte [%]	Bodentemperatur [°C]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Niederschlag [mm]
01.11.2002	50,6	7,7	99,7	7,3	1,2	7,2
02.11.2002	15,3	6,2	99,9	7,2	1,2	9,8
03.11.2002	23,7	5,1	99,5	6,8	1,3	16,0
04.11.2002	11,4	1,4	100,0	6,1	1,3	25,2
05.11.2002	24,7	-1,0	99,6	4,5	1,7	9,8
06.11.2002	65,7	-1,1	95,3	4,1	1,3	5,6
07.11.2002	*8,1*	*-2,3*	*95,9*	*3,1*	*1,3*	*0,2*
08.11.2002	2,0	-2,2	100,0	3,1	1,7	0,0
09.11.2002	*1,8*	*-4,3*	*99,9*	*3,1*	*1,3*	*0,0*
10.11.2002	28,9	0,0	91,0	2,8	2,2	1,0
11.11.2002	21,0	1,8	99,9	2,8	1,7	43,2
12.11.2002	77,3	2,8	97,0	2,7	1,6	5,2
13.11.2002	64,1	2,2	90,6	2,6	1,7	0,0
14.11.2002	*33,1*	*8,2*	*67,7*	*2,6*	*2,0*	*0,0*
15.11.2002	*25,7*	*8,0*	*75,6*	*3,3*	*2,0*	*0,0*
16.11.2002	59,7	13,3	56,1	5,2	2,5	5,4
17.11.2002	80,6	5,7	87,0	5,2	1,9	0,0
18.11.2002	29,9	4,8	99,8	4,9	1,0	6,4
19.11.2002	13,2	3,0	100,0	5,1	1,8	5,4
20.11.2002	56,4	2,2	97,8	4,4	1,3	0,0
21.11.2002	11,9	5,2	78,0	3,5	1,8	0,2
22.11.2002	9,9	4,5	85,6	4,0	2,2	15,4
23.11.2002	61,4	1,5	97,8	3,5	1,4	6,8
24.11.2002	26,6	4,7	80,9	3,0	1,8	0,2
25.11.2002	*53,3*	*11,1*	*64,5*	*4,0*	*2,6*	*0,0*
26.11.2002	44,9	7,4	85,5	5,3	1,7	0,0
27.11.2002	14,3	3,6	100,0	5,1	0,9	0,0
28.11.2002	56,5	4,4	96,0	4,4	1,4	0,2
29.11.2002	21,2	1,7	99,9	3,7	1,5	6,2
30.11.2002	19,9	1,6	99,6	3,7	1,2	1,4
00.01.1900						0,0
MW	***33,8***	***3,6***	***91,3***	***4,2***	***1,6***	***170,8***
STAB	23,1	4,0	12,1	1,4	0,4	

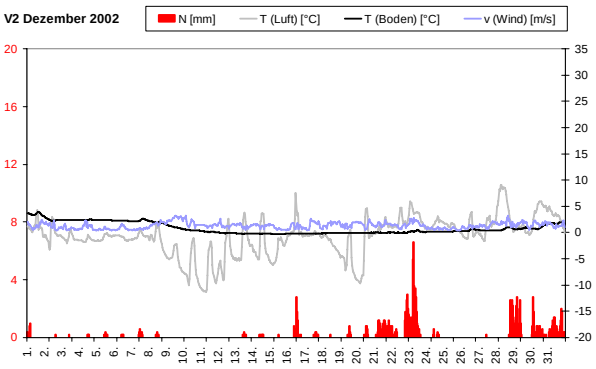
Dez 02	Globalstrahlung [W/m²]	Lufttemperatur [°C]	rel. Luftfeuchte [%]	Bodentemperatur [°C]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Niederschlag [mm]
01.12.2002	37,2	1,2	96,5	3,5	1,4	2,8
02.12.2002	32,3	-0,4	93,9	2,5	1,2	0,2
03.12.2002	8,7	-1,0	100,0	2,4	0,8	0,2
04.12.2002	8,4	-1,4	100,0	2,4	1,1	0,6
05.12.2002	6,9	-0,9	100,0	2,4	0,6	1,2
06.12.2002	4,5	-1,0	*100,0*	2,3	0,8	0,6
07.12.2002	11,6	-0,7	*100,0*	2,3	0,7	2,2
08.12.2002	60,9	-1,2	86,8	2,0	1,7	0,8
09.12.2002	50,9	-4,8	65,3	1,1	2,6	0,0
10.12.2002	61,9	-6,8	65,2	0,5	1,8	0,0
11.12.2002	61,2	-8,0	87,7	0,2	1,3	0,0
12.12.2002	58,6	-4,2	80,3	-0,1	1,4	0,0
13.12.2002	48,5	-2,0	88,6	-0,2	1,2	1,0
14.12.2002	56,7	-2,3	92,3	-0,2	1,3	1,0
15.12.2002	21,9	-3,3	98,4	-0,3	0,8	0,2
16.12.2002	49,9	0,8	97,9	-0,2	1,1	7,6
17.12.2002	6,2	-0,4	100,0	-0,2	1,5	1,6
18.12.2002	3,3	-1,9	100,0	-0,1	1,6	0,2
19.12.2002	44,2	-4,9	96,8	-0,1	1,4	1,8
20.12.2002	58,1	-3,2	94,7	0,0	1,6	2,6
21.12.2002	8,0	1,1	100,0	0,0	1,5	16,0
22.12.2002	31,0	2,1	99,9	0,0	1,3	15,4
23.12.2002	8,1	3,3	99,3	0,2	1,8	30,4
24.12.2002	6,9	1,7	100,0	0,1	0,7	1,8
25.12.2002	18,3	1,1	*100,0*	0,2	0,7	0,0
26.12.2002	57,0	0,3	*97,7*	0,4	1,0	0,0
27.12.2002	27,7	0,9	95,6	0,4	1,4	0,2
28.12.2002	9,3	5,7	77,0	0,7	1,8	9,8
29.12.2002	16,8	0,6	99,6	0,8	1,6	16,4
30.12.2002	8,6	4,2	100,0	1,0	1,7	12,4
31.12.2002	8,9	2,9	100,0	1,8	1,4	17,0
MW	***28,8***	***-0,7***	***94,0***	***0,8***	***1,3***	***144,0***
STAB	21,8	3,1	9,7	1,1	0,4	

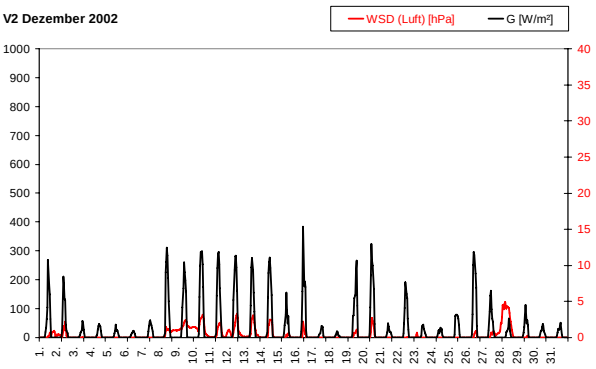
Abb. Annex D - 1:Niederschlagsstundensummen (NS) und Tagesgänge (Stundenmittelwerte) von Luft- und Bodentemperatur (T), Windgeschwindigkeit (v) (links), Wasserdampfsättigungsdefizit der Luft (WSD) und Globalstrahlung (G) (rechts) für die Monate außerhalb der Vegetationsperioden




V2 April 2002
N [mm]
T (Luft) [°C]
T (Boden) [°C]
v (Wind) [m/s]

V2 April 2002
WSD (Luft) [hPa]
G [W/m²]


V2 Dezember 2002
N [mm]
T (Luft) [°C]
T (Boden) [°C]
v (Wind) [m/s]


V2 Dezember 2002
WSD (Luft) [hPa]
G [W/m²]

Tab. Annex D - 3: Niederschlag unter Bestand für Varianten V1 bis V3 (R1-R5: Sammelrinnen in 0,3 m Höhe; R6-R15: Sammelrinnen in 1 m Höhe)

V1	R1	R2	R3	R4	R5	l/0,5 m²	l/m²	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	l/m²
20.07.2001												Installation						
26.07.2001		Installation				**0,0**	**0,0**	6,0	5,8	5,6	7,2	6,1	6,5	6,3	7,3	6,3	6,2	**63,3**
11.08.2001	6,4	7,6	8,3	7,0	8,7	**38,0**	**76,0**	7,0	7,2	7,4	7,4	7,9	8,6	7,1	9,5	8,2	6,8	**77,1**
24.08.2001	4,3	5,2	5,0	5,3	5,5	**25,3**	**50,6**	4,3	4,8	5,4	5,8	5,3	5,4	4,4	5,1	5,5	4,6	**50,6**
20.09.2001	25,6	24,0	27,4	28,7	27,6	**133,3**	**266,6**	27,9	27,6	27,2	27,6	28,7	33,1	29,0	27,6	33,1	30,6	**292,4**
18.10.2002	4,3	5,0	5,2	5,2	5,0	**24,7**	**49,4**	5,3	4,4	3,7	4,8	4,5	5,2	5,2	5,4	4,8	5,8	**49,1**
08.11.2001	6,4	7,4	6,9	7,3	7,3	**35,2**	**70,3**	7,4	6,5	6,3	7,0	7,0	7,4	6,6	8,4	7,4	6,9	**70,8**
15.05.2002		Installation				**0,0**	**0,0**											**0,0**
28.05.2002	4,7	4,8	5,4	5,0	5,6	**25,5**	**51,0**	5,2	6,2	4,8	5,6	6,1	5,7	5,6	5,7	4,6	4,6	**54,1**
13.06.2002	10,5	10,3	11,7	10,7	10,6	**53,8**	**107,6**	11,2	11,7	12,2	11,6	10,8	10,1	10,9	11,6	10,0	11,0	**111,1**
24.06.2002	1,8	1,6	2,0	1,7	1,8	**8,9**	**17,8**	1,9	2,1	1,7	1,7	1,5	1,7	1,9	1,8	1,8	1,8	**17,9**
12.07.2002	8,8	9,4	12,1	10,5	9,5	**50,3**	**100,6**	10,1	12,4	10,0	10,5	10,4	10,8	11,1	11,1	10,5	9,5	**106,4**
08.08.2002	18,4	16,9	22,0	16,3	17,4	**91,0**	**182,0**	22,8	21,5	23,6	20,3	24,8	23,8	21,9	23,6	19,4	21,0	**222,7**
19.08.2002	11,5	10,7	12,9	11,7	11,9	**58,7**	**117,4**	16,3	14,7	14,6	15,0	15,1	16,2	13,4	16,0	14,2	13,9	**149,4**
20.09.2002	10,2	8,0	10,3	9,3	3,0	**40,8**	**81,6**	12,4	11,2	11,5	12,1	12,6	14,4	11,9	12,8	13,0	12,2	**124,1**
07.11.2002	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	**132,5**	**265,0**	26,5	26,5	26,5	26,5	27,5	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	**266,0**

V2	R1	R2	R3	R4	R5	l/0,5 m²	l/m²	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	l/m²
26.07.2001		Installation				**0,0**	**0,0**											**0,0**
11.08.2001	7,5	8,2	7,7	6,9	7,9	**38,2**	**76,4**											**0,0**
24.08.2001	5,0	5,3	5,2	4,5	5,3	**25,3**	**50,6**											**0,0**
19.09.2001	30,5	22,7	24,8	27,5	27,9	**133,4**	**266,8**											**0,0**
18.10.2001	4,5	4,9	4,9	4,8	5,0	**24,1**	**48,2**											**0,0**
08.11.2002	6,7	7,4	7,4	6,7	7,5	**35,7**	**71,3**											**0,0**
15.05.2002		Installation				**0,0**	**0,0**											**0,0**
28.05.2002	4,6	5,5	5,5	5,5	5,5	**26,6**	**53,2**											
13.06.2002	8,4	11,5	11,2	10,9	10,5	**52,5**	**105,0**											**0,0**
24.06.2002	1,5	2,0	2,0	2,0	2,0	**9,5**	**19,0**											**0,0**
12.07.2002	6,5	9,9	10,6	8,7	10,2	**45,9**	**91,8**											**0,0**
08.08.2002	10,3	18,4	20,5	19,4	20,0	**88,6**	**177,2**											**0,0**
20.08.2002	11,6	12,2	11,2	15,0	14,2	**64,2**	**128,4**											**0,0**
20.09.2002	7,4	11,2	8,8	11,9	11,5	**50,8**	**101,6**											**0,0**
07.11.2002	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	**132,5**	**265,0**											**0,0**

V3	R1	R2	R3	R4	R5	l/0,5 m²	l/m²	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	l/m²
26.07.2001		Installation				**0,0**	**0,0**	6,0	5,5	6,0	5,8	5,7	5,1	6,0	5,6	6,0	5,7	**57,4**
11.08.2001	6,0	7,5	6,1	7,3	6,4	**33,3**	**66,6**	6,7	8,4	6,9	7,2	6,8	6,3	7,3	6,3	6,0	6,8	**68,7**
24.08.2001	5,2	4,1	4,3	4,2	5,3	**23,1**	**46,2**	4,7	4,6	4,5	4,9	4,6	4,6	4,8	4,9	4,5	4,7	**46,8**
19.09.2001	29,8	23,8	28,2	23,7	27,7	**133,2**	**266,4**	26,3	29,4	28,8	29,0	27,5	26,9	28,6	26,6	27,2	25,9	**276,2**
19.10.2001	4,3	4,1	4,9	3,4	4,2	**20,9**	**41,8**	4,4	5,6	4,7	4,6	4,1	4,1	4,3	3,3	4,7	4,1	**43,9**
08.11.2002	5,5	5,8	6,9	5,0	5,8	**29,0**	**58,0**	6,5	7,1	5,4	7,2	5,9	6,4	5,1	5,8	7,0	6,0	**62,4**
15.05.2002		Installation				**0,0**	**0,0**											**0,0**
15.05.2002	4,7	3,5	4,5	3,9	4,2	**20,8**	**41,6**	4,6	4,2	5,8	4,2	5,4	5,7	5,0	5,1	5,3	4,7	**50,0**
13.06.2002	8,7	8,5	8,1	8,1	10,8	**44,2**	**88,4**	10,7	9,8	10,2	10,4	11,6	11,7	11,0	8,7	12,3	10,4	**106,8**
24.06.2002	1,2	1,4	1,7	1,3	1,6	**7,2**	**14,4**	1,4	1,4	1,7	1,3	1,8	2,1	1,7	1,7	2,0	1,7	**16,8**
12.07.2002	9,2	Ausfall	9,2	8,2	10,7	**46,6**	**93,3**	11,1	9,2	10,9	9,6	10,8	12,1	10,1	9,7	11,7	9,9	**105,1**
08.08.2002	17,6	16,4	15,5	18,4	18,1	**86,0**	**172,0**	19,4	16,7	20,7	18,5	21,8	24,1	20,8	18,4	18,9	18,9	**198,2**
20.08.2002	10,8	Ausfall	11,1	8,9	13,3	**55,1**	**110,3**	13,1	12,2	13,0	Ausfall	13,0	13,6	13,5	12,2	13,1	11,8	**128,3**
20.09.2002	8,8	9,9	9,2	8,3	12,6	**48,8**	**97,6**	9,9	10,4	10,3	10,1	11,2	11,9	11,7	10,1	11,1	10,3	**107,0**
07.11.2002	24,2	23,4	26,5	23,8	26,5	**124,4**	**248,8**	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	**265,0**

Tab. Annex D - 4: Niederschlagsdaten und Interzeption für die Variante V1 bis V3

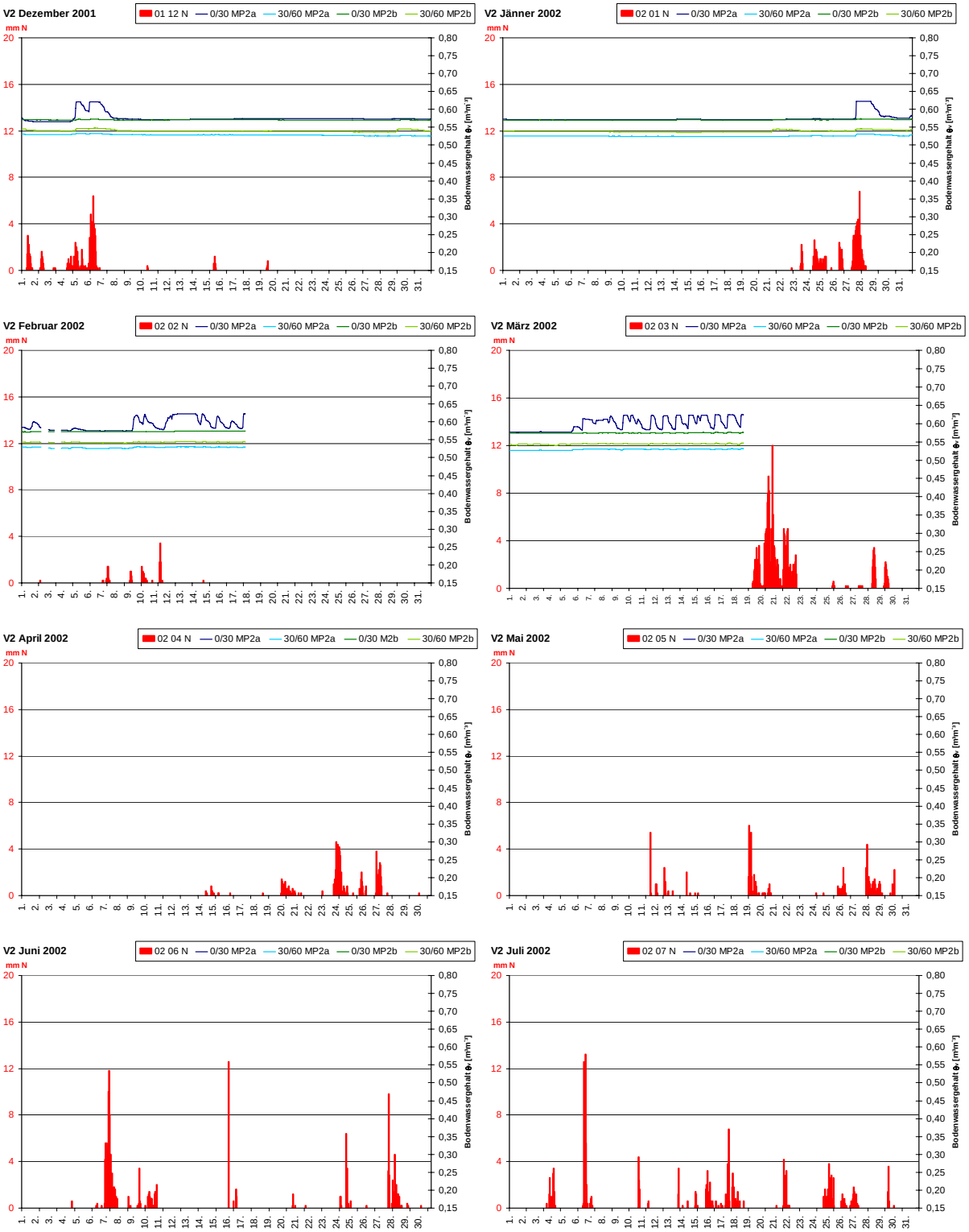
V1	N [mm]	$N_{(B1)}$ [mm]	$N_{(B2)}$ [mm]	$I_{(BS)}$ [mm]	$I_{(KS)}$ [mm]	I_{ges} [mm]	$I_{(BS)}$ [%]	$I_{(KS)}$ [%]	I_{ges} [%]
20.07.01	Installation der Sammelbehälter								
26.07.01	85,6	63,3		22,3			26,1		
11.08.01	79,0	77,1	76,0	1,9	1,1	3,0	2,4	1,4	3,8
24.08.01	51,0	50,6	50,6	0,4	0,0	0,4	0,8	0,0	0,8
20.09.01	336,0	292,4	266,6	43,6	25,8	69,4	13,0	7,7	20,7
18.10.01	49,4	49,4	49,1	0,0	0,3	0,3	0,0	0,6	0,6
08.11.01	76,8	70,8	70,3	6,0	0,5	6,5	7,8	0,7	8,5
15.05.02	Installation der Sammelbehälter								
28.05.02	65,2	54,1	51,0	11,1	3,1	14,2	17,0	4,8	21,8
13.06.02	111,2	111,1	107,6	0,1	3,5	3,6	0,1	3,1	3,2
24.06.02	32,6	17,9	17,8	14,7	0,1	14,8	45,1	0,3	45,4
12.07.02	106,8	106,4	100,6	0,4	5,8	6,2	0,4	5,4	5,8
08.08.02	237,2	222,7	182,0	14,5	40,7	55,2	6,1	17,2	23,3
19.08.02	152,0	149,4	117,4	2,6	32,0	34,6	1,7	21,1	22,8
20.09.02	132,4	124,1	81,6	8,3	42,5	50,8	6,3	32,1	38,4
07.11.02	333,6	266,0	265,0	67,6	1,0	68,6	20,3	0,3	20,6
MW	132,1	118,2	110,4	13,8	12,0	25,2	10,5	7,3	16,6
SD	100,2	85,4	79,9	19,5	16,7	26,8	13,0	10,0	14,4
26.07.-08.11.01	592,2	540,3	512,6	51,9	27,7	79,6	8,8	4,7	13,4
15.05.-07.11.02	1.171,0	1.051,7	923,0	119,3	128,7	248,0	10,2	11,0	21,2

V2	N [mm]	$N_{(B2)}$ [mm]	$I_{(KS)} = I_{ges}$ [mm]	$I_{(KS)}$ [%]
20.07.01	Installation der Sammelbehälter			
26.07.01	85,6			
11.08.01	79,0	76,4	2,6	3,3
24.08.01	51,0	50,6	0,4	0,8
19.09.01	336,0	266,8	69,2	20,6
18.10.01	49,4	48,2	1,2	2,4
08.11.01	76,8	71,3	5,5	7,2
15.05.02	Installation der Sammelbehälter			
28.05.02	65,2	53,2	12,0	18,4
13.06.02	111,2	105,0	6,2	5,6
24.06.02	32,6	19,0	13,6	41,7
12.07.02	106,8	91,8	15,0	14,0
08.08.02	237,2	177,2	60,0	25,3
20.08.02	152,2	128,4	23,8	15,6
20.09.02	132,2	101,6	30,6	23,1
07.11.02	333,6	265,0	68,6	20,6
MW	132,1	111,9	23,7	15,3
SD	100,2	79,2	25,7	11,6
26.07.-08.11.01	592,2	513,3	78,9	13,3
15.05.-07.11.02	1.171,0	941,2	229,8	19,6

V3	N [mm]	$N_{(B1)}$ [mm]	$N_{(B2)}$ [mm]	$I_{(BS)}$ [mm]	$I_{(KS)}$ [mm]	I_{ges} [mm]	$I_{(BS)}$ [%]	$I_{(KS)}$ [%]	I_{ges} [%]
20.07.01	Installation der Sammelbehälter								
26.07.01	85,6	57,4		28,2			32,9		
11.08.01	79,0	68,7	66,6	10,3	2,1	12,4	13,0	2,7	15,7
24.08.01	51,0	46,8	46,2	4,2	0,6	4,8	8,2	1,2	9,4
19.09.01	336,0	276,2	266,4	59,8	9,8	69,6	17,8	2,9	20,7
18.10.01	49,4	43,9	41,8	5,5	2,1	7,6	11,1	4,3	15,4
08.11.01	76,8	62,4	58,0	14,4	4,4	18,8	18,8	5,7	24,5
15.05.02	Installation der Sammelbehälter								
28.05.02	65,2	50,0	41,6	15,2	8,4	23,6	23,3	12,9	36,2
13.06.02	111,2	106,8	88,4	4,4	18,4	22,8	4,0	16,5	20,5
24.06.02	32,6	16,8	14,4	15,8	2,4	18,2	48,5	7,4	55,8
14.07.02	106,8	105,1	93,3	1,7	11,9	13,6	1,6	11,1	12,7
08.08.02	237,2	198,2	172,0	39,0	26,2	65,2	16,4	11,0	27,5
20.08.02	152,2	128,3	110,3	23,9	18,1	42,0	15,7	11,9	27,6
20.09.02	132,2	107,0	97,6	25,2	9,4	34,6	19,1	7,1	26,2
07.11.02	333,6	265,0	248,8	68,6	16,2	84,8	20,6	4,9	25,4
MW	132,1	109,5	103,5	22,6	10,0	32,1	17,9	7,7	24,4
SD	100,2	81,9	79,1	20,6	7,9	25,8	11,9	4,7	11,9
26.07.-08.11.01	592,2	498,0	479,0	94,2	19,0	113,2	15,9	3,2	19,1
15.05.-07.11.02	1.171,0	977,2	866,3	193,8	110,9	304,7	16,5	9,5	26,0

N Niederschlag (Freifläche)
$N_{(B1)}$ Bestandesniederschlag in 1m Höhe
$N_{(B2)}$ Bestandesniederschlag in 0,3 m Höhe
$I_{(BS)}$ Interzeption Baumschicht
$I_{(KS)}$ Interzeption Krautschicht
I_{ges} Gesamtinterzeption

Abb. Annex D - 2: Niederschlag (Stundensummen) und Bodenwasservorratsänderung (Stundenwerte) der Variante V2



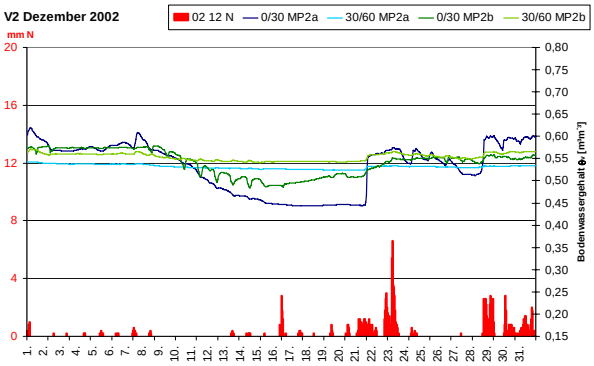
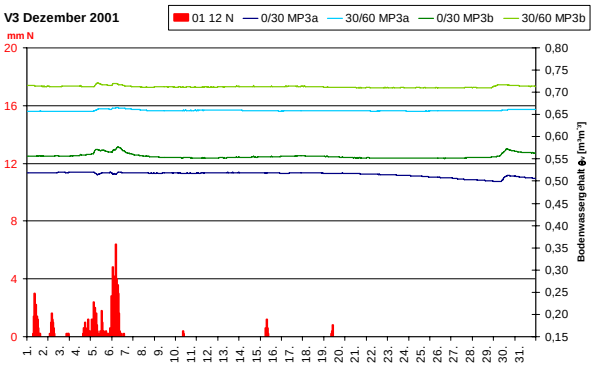
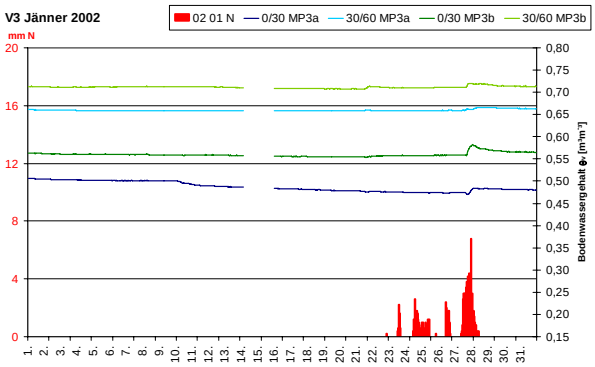
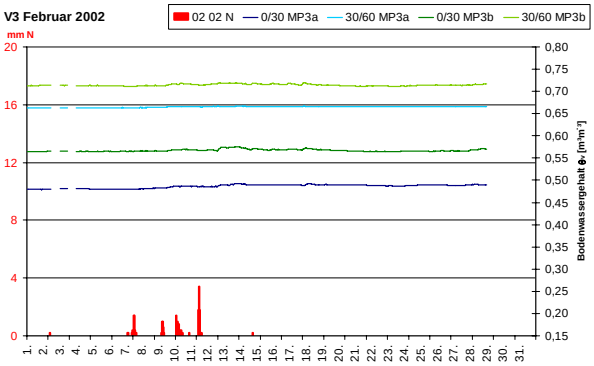
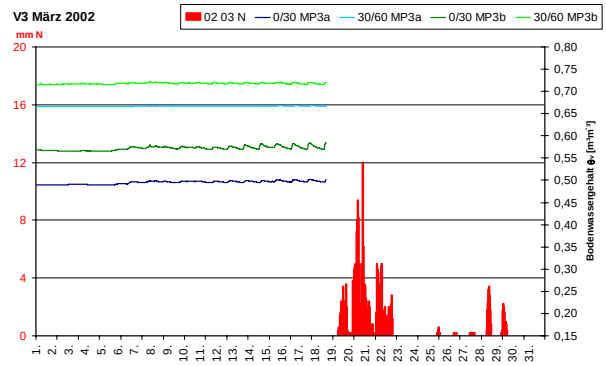


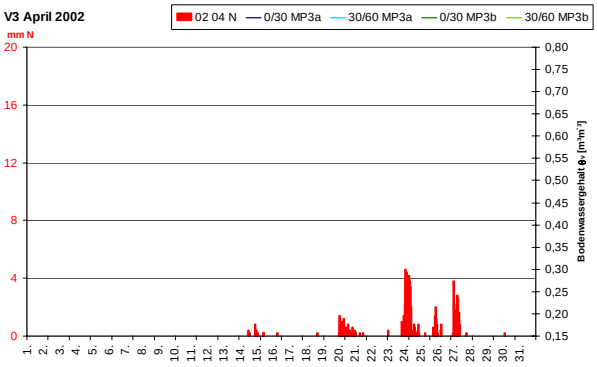
Abb. Annex D - 3: Niederschlag (Stundensummen) und Bodenwasservorratsänderung (Stundenwerte) der Variante V3

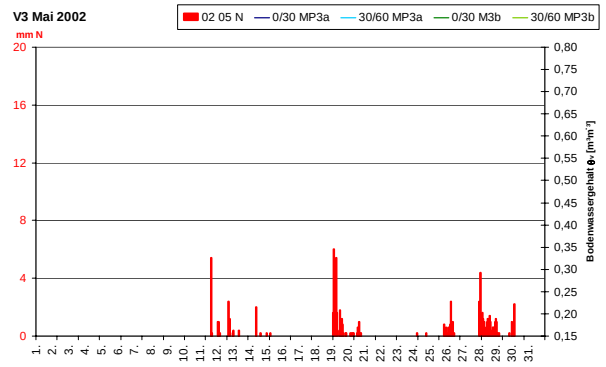












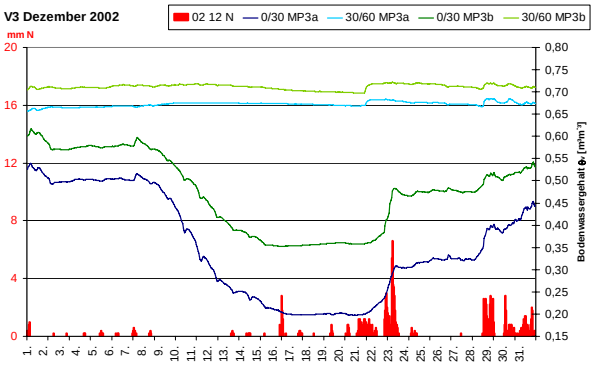
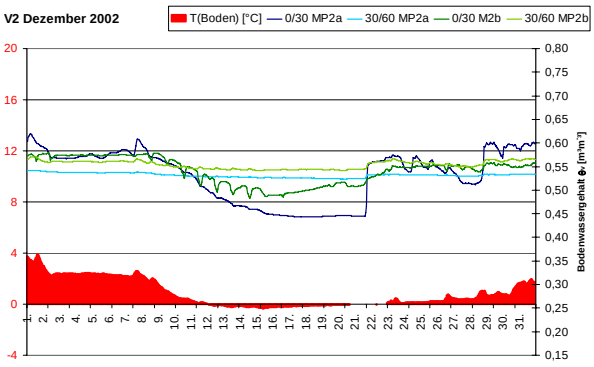
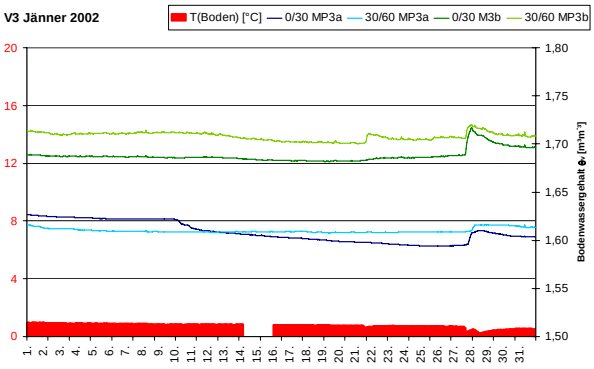
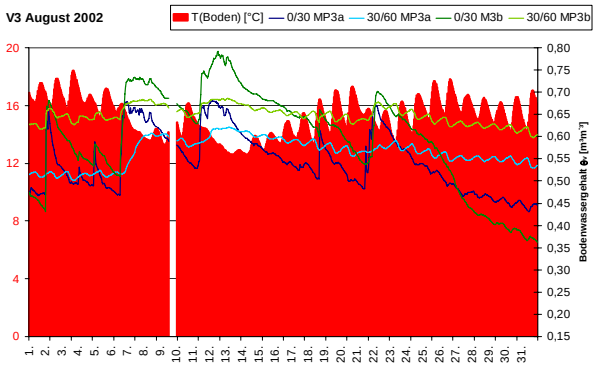
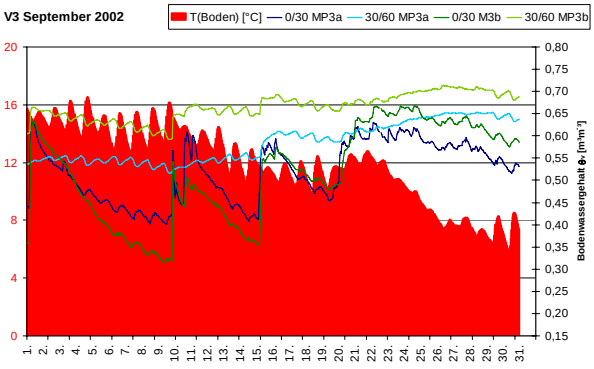


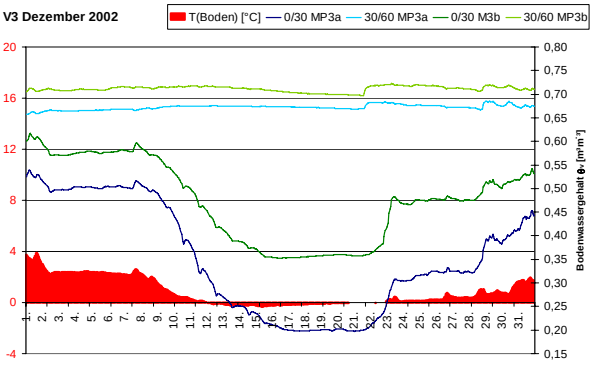
Abb. Annex D - 4: Bodenwasservorratsänderung versus Bodentemperaturverlauf ausgewählter Monate von V2 und V3











Tab. Annex D - 5: Eingangsdaten für die Wasserbilanzen

V1 2001	0/30 MP1a	30/60 MP1a	0/30 M1b	30/60 MP1b	MW0/30	MW30/60	Niederschlag [mm]		Interzeption [mm]	
26.07.2001		0,5433				0,5433	*5,0*	12:00	26.7.	
11.08.2001		0,5702				0,5702	*74,0*	12:00	11.8.	3,0
⊿Bd [θ_v]	*0,0000*	*-0,0269*	*0,0000*	*0,0000*		***0,0269***				
⊿Bd [mm]	*0,00*	*-8,07*	*0,00*	*0,00*		*8,07*	***79,0***	***Summe***		***3,0***
⊿Bd [mm] für beide gemessenen Bodentiefen 0- 60 cm					*8,07*					
11.08.2001		0,5702				0,5702		12:00	11.8.	
24.08.2001		0,5615				0,5615	*50,8*	12:00	24.8.	0,4
⊿Bd [θ_v]	*0,0000*	*0,0087*	*0,0000*	*0,0000*		***-0,0087***				
⊿Bd [mm]	*0,00*	*2,61*	*0,00*	*0,00*		*-2,61*	***50,8***	***Summe***		***0,4***
⊿Bd [mm] für beide gemessenen Bodentiefen 0- 60 cm					*-2,61*					
24.08.2001		0,5615				0,5615	*44,8*	12:00	24.8.	
20.09.2001		0,5621				0,5621	*291,4*	12:00	20.9.	69,4
⊿Bd [θ_v]	*0,0000*	*-0,0006*	*0,0000*	*0,0000*		***0,0006***				
⊿Bd [mm]	*0,00*	*-0,19*	*0,00*	*0,00*		*0,19*	***336,2***	***Summe***		***69,4***
⊿Bd [mm] für beide gemessenen Bodentiefen 0- 60 cm					*0,19*					
20.09.2001		0,5621				0,5621	*45,8*	12:00	20.9.	
18.10.2001		0,5284				0,5284	*3,6*	12:00	18.10.	0,0
⊿Bd [θ_v]	*0,0000*	*0,0337*	*0,0000*	*0,0000*		***-0,0337***				
⊿Bd [mm]	*0,00*	*10,12*	*0,00*	*0,00*		*-10,12*	***49,4***	***Summe***		***0,0***
⊿Bd [mm] für beide gemessenen Bodentiefen 0- 60 cm					*-10,12*					
18.10.2001		0,5284	0,7156	0,5978	0,7156	0,5631	*55,0*	12:00	18.10.	
08.11.2001		0,5536	0,7547	0,5818	0,7547	0,5677	*19,6*	14:00	8.11.	6,5
⊿Bd [θ_v]	*0,0000*	*-0,0252*	*-0,0391*	*0,0160*	***0,0391***	***0,0046***				
⊿Bd [mm]	*0,00*	*-7,57*	*-11,74*	*4,81*	*11,74*	*1,38*	***74,6***	***Summe***		***6,5***
⊿Bd [mm] für beide gemessenen Bodentiefen 0- 60 cm					*13,11*					
V2 2001	**0/30 MP2a**	**30/60 MP2a**	**0/30 M2b**	**30/60 MP2b**	**MW0/30**	**MW30/60**	**Niederschlag [mm]**		**Interzeption [mm]**	
26.07.2001			0,5300	0,5687	0,5300	0,5687	*5,0*	12:00	26.7.	
11.08.2001			0,5376	0,5762	0,5376	0,5762	*74,0*	12:00	11.8.	2,6
⊿Bd [θ_v]	*0,0000*	*0,0000*	*-0,0077*	*-0,0075*	***0,0077***	***0,0075***				
⊿Bd [mm]	*0,00*	*0,00*	*-2,31*	*-2,25*	*2,31*	*2,25*	***79,0***	***Summe***		***2,6***
⊿Bd [mm] für beide gemessenen Bodentiefen 0- 60 cm					*4,55*					
11.08.2001			0,5376	0,5762	0,5376	0,5762		12:00	11.8.	
24.08.2001			0,5191	0,5750	0,5191	0,5750	*50,8*	12:00	24.8.	0,4
⊿Bd [θ_v]	*0,0000*	*0,0000*	*0,0185*	*0,0012*	***-0,0185***	***-0,0012***				
⊿Bd [mm]	*0,00*	*0,00*	*5,56*	*0,36*	*-5,56*	*-0,36*	***50,8***	***Summe***		***0,4***
⊿Bd [mm] für beide gemessenen Bodentiefen 0- 60 cm					*-5,92*					
24.08.2001			0,5191	0,5750	0,5191	0,5750	*44,8*	12:00	24.8.	
19.09.2001			0,5447	0,5610	0,5447	0,5610	*291,4*	12:00	19.9.	69,2
⊿Bd [θ_v]	*0,0000*	*0,0000*	*-0,0256*	*0,0141*	***0,0256***	***-0,0141***				
⊿Bd [mm]	*0,00*	*0,00*	*-7,69*	*4,22*	*7,69*	*-4,22*	***336,2***	***Summe***		***69,2***
⊿Bd [mm] für beide gemessenen Bodentiefen 0- 60 cm					*3,46*					
19.09.2001			0,5447	0,5610	0,5447	0,5610	*45,8*	12:00	19.9.	
18.10.2001			0,5171	0,5562	0,5171	0,5562	*3,6*	12:00	18.10.	1,2
⊿Bd [θ_v]	*0,0000*	*0,0000*	*0,0276*	*0,0048*	***-0,0276***	***-0,0048***				
⊿Bd [mm]	*0,00*	*0,00*	*8,28*	*1,43*	*-8,28*	*-1,43*	***49,4***	***Summe***		***1,2***
⊿Bd [mm] für beide gemessenen Bodentiefen 0- 60 cm					*-9,71*					
18.10.2001	0,4906	0,5386	0,5171	0,5562	0,5039	0,5474	*55,0*	12:00	18.10.	
08.11.2001	0,6038	0,5390	0,5606	0,5589	0,5822	0,5490	*19,6*	14:00	8.11.	5,5
⊿Bd [θ_v]	*-0,1132*	*-0,0005*	*-0,0435*	*-0,0027*	***0,0783***	***0,0016***				
⊿Bd [mm]	*-33,96*	*-0,14*	*-13,04*	*-0,82*	*23,50*	*0,48*	***74,6***	***Summe***		***5,5***
⊿Bd [mm] für beide gemessenen Bodentiefen 0- 60 cm					*23,98*					

V3 2001	0/30 MP3a	30/60 MP3a	0/30 M3b	30/60 MP3b	MW0/30	MW30/60	Niederschlag [mm]		Interzeption [mm]	
26.07.2001			0,7120	0,5929	0,7120	0,5929	*5,0*	14:00	26.7.	
11.08.2001			0,7378	0,6400	0,7378	0,6400	*74,0*	12:00	11.8.	12,4
⊿Bd [θ_v]	*0,0000*	*0,0000*	*-0,0258*	*-0,0471*	***0,0258***	***0,0471***				
⊿Bd [mm]	*0,00*	*0,00*	*-7,75*	*-14,13*	*7,75*	*14,13*	***79,0***	***Summe***		***12,4***
⊿Bd [mm] für beide gemessenen Bodentiefen 0- 60 cm					*21,88*					
11.08.2001			0,7378	0,6400	0,7378	0,6400		12:00	11.8.	
24.08.2001			0,6210	0,6326	0,6210	0,6326	*50,8*	12:00	24.8.	4,8
⊿Bd [θ_v]	*0,0000*	*0,0000*	*0,1169*	*0,0075*	***-0,1169***	***-0,0075***				
⊿Bd [mm]	*0,00*	*0,00*	*35,06*	*2,24*	*-35,06*	*-2,24*	***50,8***	***Summe***		***4,8***
⊿Bd [mm] für beide gemessenen Bodentiefen 0- 60 cm					*-37,30*					
24.08.2001			0,6210	0,6326	0,6210	0,6326	*44,8*	12:00	24.8.	
19.09.2001			0,6641	0,6821	0,6641	0,6821	*291,4*	12:00	19.9.	69,6
⊿Bd [θ_v]	*0,0000*	*0,0000*	*-0,0431*	*-0,0496*	***0,0431***	***0,0496***				
⊿Bd [mm]	*0,00*	*0,00*	*-12,93*	*-14,87*	*12,93*	*14,87*	***336,2***	***Summe***		***69,6***
⊿Bd [mm] für beide gemessenen Bodentiefen 0- 60 cm					*27,80*					
19.09.2001			0,6641	0,6821	0,6641	0,6821	*45,8*	12:00	19.9.	
18.10.2001			0,5123	0,6587	0,5123	0,6587	*3,6*	12:00	18.10.	7,6
⊿Bd [θ_v]	*0,0000*	*0,0000*	*0,1517*	*0,0234*	***-0,1517***	***-0,0234***				
⊿Bd [mm]	*0,00*	*0,00*	*45,52*	*7,02*	*-45,52*	*-7,02*	***49,4***	***Summe***		***7,6***
⊿Bd [mm] für beide gemessenen Bodentiefen 0- 60 cm					*-52,54*					
18.10.2001	0,5743	0,5726	0,5123	0,6587	0,5433	0,6157	*55,0*	12:00	18.10.	
08.11.2001	0,5909	0,6402	0,6341	0,7025	0,6125	0,6713	*19,6*	14:00	8.11.	18,8
⊿Bd [θ_v]	*-0,0166*	*-0,0676*	*-0,1217*	*-0,0437*	***0,0692***	***0,0557***				
⊿Bd [mm]	*-4,98*	*-20,27*	*-36,52*	*-13,12*	*20,75*	*16,70*	***74,6***	***Summe***		***18,8***
⊿Bd [mm] für beide gemessenen Bodentiefen 0- 60 cm					*37,45*					

V1 2002	0/30 MP1a	30/60 MP1a	0/30 M1b	30/60 MP1b	MW0/30	MW30/60	Niederschlag [mm]		Interzeption [mm]	
16.05.2002	0,5619	0,6076	0,6657	0,6414	0,6138	0,6245		17:00	16.5.	
28.05.2002	0,6062	0,6049	0,7420	0,6620	0,6741	0,6335	*55,6*	11:00	28.5.	14,2
⊿Bd [θ_v]	*-0,0443*	*0,0027*	*-0,0763*	*-0,0206*	***0,0603***	***0,0090***				
⊿Bd [mm]	*-13,29*	*0,80*	*-22,89*	*-6,18*	*18,09*	*2,69*	***55,6***	***Summe***		***14,2***
⊿Bd [mm] für beide gemessenen Bodentiefen 0- 60 cm					*20,78*					
28.05.2002	0,6062	0,6049	0,7420	0,6620	0,6741	0,6335	*15,8*	11:00	28.5.	
13.06.2002	0,5946	0,6146	0,6926	0,6718	0,6436	0,6432	*104,6*	12:00	13.6.	3,6
⊿Bd [θ_v]	*0,0115*	*-0,0097*	*0,0494*	*-0,0098*	***-0,0305***	***0,0097***				
⊿Bd [mm]	*3,46*	*-2,90*	*14,82*	*-2,94*	*-9,14*	*2,92*	***120,4***	***Summe***		***3,6***
⊿Bd [mm] für beide gemessenen Bodentiefen 0- 60 cm					*-6,22*					
13.06.2002	0,5946	0,6146	0,6926	0,6718	0,6436	0,6432		12:00	13.6.	
24.06.2002	0,5476	0,6230	0,5759	0,6904	0,5617	0,6567	*19,8*	12:00	24.6.	14,8
⊿Bd [θ_v]	*0,0471*	*-0,0084*	*0,1168*	*-0,0186*	***-0,0819***	***0,0135***				
⊿Bd [mm]	*14,12*	*-2,52*	*35,03*	*-5,59*	*-24,58*	*4,06*	***19,8***	***Summe***		***14,8***
⊿Bd [mm] für beide gemessenen Bodentiefen 0- 60 cm					*-20,52*					
24.06.2002	0,5476	0,6230	0,5759	0,6904	0,5617	0,6567	*49,6*	12:00	24.6.	
12.07.2007	0,5213	0,6216	0,5841	0,6869	0,5527	0,6543	*70,0*	12:00	12.7.	6,2
⊿Bd [θ_v]	*0,0263*	*0,0015*	*-0,0082*	*0,0035*	***-0,0090***	***-0,0025***				
⊿Bd [mm]	*7,89*	*0,44*	*-2,46*	*1,04*	*-2,71*	*-0,74*	***119,6***	***Summe***		***6,2***
⊿Bd [mm] für beide gemessenen Bodentiefen 0- 60 cm					*-3,46*					
12.07.2007	0,5213	0,6216	0,5841	0,6869	0,5527	0,6543	*109,8*	12:00	12.7.	
08.08.2002	0,6155	0,6264	0,7238	0,6878	0,6696	0,6571	*127,4*	12:00	8.8.	55,2
⊿Bd [θ_v]	*-0,0942*	*-0,0048*	*-0,1397*	*-0,0009*	***0,1170***	***0,0029***				
⊿Bd [mm]	*-28,26*	*-1,44*	*-41,92*	*-0,27*	*35,09*	*0,86*	***237,2***	***Summe***		***55,2***
⊿Bd [mm] für beide gemessenen Bodentiefen 0- 60 cm					*35,95*					
08.08.2002	0,6155	0,6264	0,7238	0,6878	0,6696	0,6571		12:00	8.8.	
19.08.2002	0,5936	0,6139	0,6679	0,6814	0,6307	0,6477	*151,8*	12:00	19.8.	34,6
⊿Bd [θ_v]	*0,0219*	*0,0124*	*0,0559*	*0,0064*	***-0,0389***	***-0,0094***				
⊿Bd [mm]	*6,58*	*3,73*	*16,77*	*1,92*	*-11,67*	*-2,83*	***151,8***	***Summe***		***34,6***
⊿Bd [mm] für beide gemessenen Bodentiefen 0- 60 cm					*-14,50*					
19.08.2002	0,5936	0,6139	0,6679	0,6814	0,6307	0,6477	*29,6*	12:00	19.8.	
20.09.2002	0,6145	0,6118	0,7154	0,6695	0,6650	0,6407	*96,2*	12:00	20.9.	50,8
⊿Bd [θ_v]	*-0,0209*	*0,0022*	*-0,0475*	*0,0119*	***0,0342***	***-0,0070***				
⊿Bd [mm]	*-6,28*	*0,65*	*-14,26*	*3,56*	*10,27*	*-2,10*	***125,8***	***Summe***		***50,8***
⊿Bd [mm] für beide gemessenen Bodentiefen 0- 60 cm					*8,17*					
20.09.2002							*105,0*	12:00	20.9.	
07.11.2002		Loggerausfall					*235,4*	14:00	7.11.	68,6
⊿Bd [θ_v]										
⊿Bd [mm]							***340,4***	***Summe***		***68,6***
⊿Bd [mm] für beide gemessenen Bodentiefen 0- 60 cm										

V2 2002	0/30 MP2a	30/60 MP2a	0/30 M2b	30/60 MP2b	MW0/30	MW30/60	Niederschlag [mm]		Interzeption [mm]	
16.05.2002								17:00	16.5.	
28.05.2002		Loggerausfall					*55,6*	11:00	28.5.	12,0
⊿Bd [θ_v]										
⊿Bd [mm]							***55,6***	***Summe***		***12,0***
⊿Bd [mm] für beide gemessenen Bodentiefen 0- 60 cm										
28.05.2002		Loggerausfall					*15,8*	11:00	28.5.	
13.06.2002							*104,6*	12:00	13.6.	6,2
⊿Bd [θ_v]										
⊿Bd [mm]							***120,4***	***Summe***		***6,2***
⊿Bd [mm] für beide gemessenen Bodentiefen 0- 60 cm										
13.06.2002		Loggerausfall						12:00	13.6.	
24.06.2002							*19,8*	12:00	24.6.	13,6
⊿Bd [θ_v]										
⊿Bd [mm]							***19,8***	***Summe***		***13,6***
⊿Bd [mm] für beide gemessenen Bodentiefen 0- 60 cm										
24.06.2002		Loggerausfall					*49,6*	12:00	24.6.	
12.07.2007							*70,0*	12:00	12.7.	15,0
⊿Bd [θ_v]										
⊿Bd [mm]							***119,6***	***Summe***		***15,0***
⊿Bd [mm] für beide gemessenen Bodentiefen 0- 60 cm										
12.07.2007		Loggerausfall					*109,8*	12:00	12.7.	
08.08.2002							*127,4*	12:00	8.8.	60,0
⊿Bd [θ_v]										
⊿Bd [mm]							***237,2***	***Summe***		***60,0***
⊿Bd [mm] für beide gemessenen Bodentiefen 0- 60 cm										
08.08.2002		Loggerausfall						12:00	8.8.	
20.08.2002							*151,8*	12:00	20.8.	23,8
⊿Bd [θ_v]										
⊿Bd [mm]							***151,8***	***Summe***		***23,8***
⊿Bd [mm] für beide gemessenen Bodentiefen 0- 60 cm										
20.08.2002	0,5297	0,5664	0,5248	0,5738	0,5272	0,5701	*29,2*	09:00	20.8.	
20.09.2002	0,5894	0,5633	0,5443	0,5909	0,5669	0,5771	*96,2*	12:00	20.9.	30,6
⊿Bd [θ_v]	*-0,0597*	*0,0032*	*-0,0195*	*-0,0170*	***0,0396***	***0,0069***				
⊿Bd [mm]	*-17,92*	*0,95*	*-5,86*	*-5,11*	*11,89*	*2,08*	***125,4***	***Summe***		***30,6***
⊿Bd [mm] für beide gemessenen Bodentiefen 0- 60 cm					*13,97*					
20.09.2002	0,5894	0,5633	0,5443	0,5909	0,5669	0,5771	*105,0*	12:00	20.9.	
07.11.2002	0,5699	0,5424	0,5674	0,5636	0,5686	0,5530	*235,4*	14:00	7.11.	68,6
⊿Bd [θ_v]	*0,0195*	*0,0208*	*-0,0231*	*0,0273*	***0,0018***	***-0,0240***				
⊿Bd [mm]	*5,85*	*6,25*	*-6,92*	*8,18*	*0,54*	*-7,21*	***340,4***	***Summe***		***68,6***
⊿Bd [mm] für beide gemessenen Bodentiefen 0- 60 cm					*-6,68*					

V3 2002	0/30 MP3a	30/60 MP3a	0/30 M3b	30/60 MP3b	MW0/30	MW30/60	Niederschlag [mm]		Interzeption [mm]	
16.05.2002								17:00	16.5.	
28.05.2002		Loggerausfall					*55,6*	11:00	28.5.	23,6
⊿Bd [θ_v]										
⊿Bd [mm]							***55,6***	***Summe***		***23,6***
⊿Bd [mm] für beide gemessenen Bodentiefen 0- 60 cm										
28.05.2002		Loggerausfall					*15,8*	11:00	28.5.	
13.06.2002							*104,6*	12:00	13.6.	22,8
⊿Bd [θ_v]										
⊿Bd [mm]							***120,4***	***Summe***		***22,8***
⊿Bd [mm] für beide gemessenen Bodentiefen 0- 60 cm										
13.06.2002	0,5322	0,5907	0,6256	0,6555	0,5789	0,6231		10:00	13.6.	
24.06.2002	0,4551	0,5106	0,3142	0,5867	0,3846	0,5486	*19,8*	12:00	24.6.	18,2
⊿Bd [θ_v]	*0,0771*	*0,0801*	*0,3114*	*0,0688*	***-0,1943***	***-0,0744***				
⊿Bd [mm]	*23,14*	*24,02*	*93,41*	*20,65*	*-58,28*	*-22,33*	***19,8***	***Summe***		***18,2***
⊿Bd [mm] für beide gemessenen Bodentiefen 0- 60 cm					*-80,61*					
24.06.2002	0,4551	0,5106	0,3142	0,5867	0,3846	0,5486	*49,6*	12:00	24.6.	
12.07.2007	0,4448	0,5247	0,4017	0,6305	0,4233	0,5776	*70,0*	12:00	12.7.	13,6
⊿Bd [θ_v]	***0,0102***	***-0,0141***	***-0,0875***	***-0,0438***	***0,0386***	***0,0290***				
⊿Bd [mm]	***3,07***	***-4,22***	***-26,24***	***-13,15***	*11,58*	*8,69*	***119,6***	***Summe***		***13,6***
⊿Bd [mm] für beide gemessenen Bodentiefen 0- 60 cm					*20,27*					
12.07.2007	0,4448	0,5247	0,4017	0,6305	0,4233	0,5776	*109,8*	12:00	12.7.	
08.08.2002	0,6347	0,6069	0,7216	0,6796	0,6781	0,6433	*127,4*	12:00	8.8.	65,2
⊿Bd [θ_v]	*-0,1899*	*-0,0822*	*-0,3199*	*-0,0491*	***0,2549***	***0,0657***				
⊿Bd [mm]	*-56,96*	*-24,66*	*-95,96*	*-14,74*	*76,46*	*19,70*	***237,2***	***Summe***		***65,2***
⊿Bd [mm] für beide gemessenen Bodentiefen 0- 60 cm					*96,16*					
08.08.2002	0,6347	0,6069	0,7216	0,6796	0,6781	0,6433		12:00	8.8.	
20.08.2002	0,5102	0,5786	0,5887	0,6490	0,5494	0,6138	*151,8*	12:00	20.8.	42,0
⊿Bd [θ_v]	*0,1245*	*0,0283*	*0,1329*	*0,0306*	***-0,1287***	***-0,0295***				
⊿Bd [mm]	*37,35*	*8,50*	*39,87*	*9,19*	*-38,61*	*-8,84*	***151,8***	***Summe***		***42,0***
⊿Bd [mm] für beide gemessenen Bodentiefen 0- 60 cm					*-47,46*					
20.08.2002	0,5102	0,5786	0,5887	0,6490	0,5494	0,6138	*29,2*	12:00	20.8.	
20.09.2002	0,5776	0,6070	0,5731	0,6720	0,5753	0,6395	*96,2*	12:00	20.9.	34,6
⊿Bd [θ_v]	*-0,0674*	*-0,0285*	*0,0156*	*-0,0230*	***0,0259***	***0,0257***				
⊿Bd [mm]	*-20,22*	*-8,54*	*4,67*	*-6,90*	*7,77*	*7,72*	***125,4***	***Summe***		***34,6***
⊿Bd [mm] für beide gemessenen Bodentiefen 0- 60 cm					*15,49*					
20.09.2002	0,5776	0,6070	0,5731	0,6720	0,5753	0,6395	*105,0*	12:00	20.9.	
07.11.2002	0,4981	0,6657	0,5672	0,7129	0,5327	0,6893	*235,4*	14:00	7.11.	84,8
⊿Bd [θ_v]	*0,0794*	*-0,0587*	*0,0059*	*-0,0409*	***-0,0427***	***0,0498***				
⊿Bd [mm]	*23,83*	*-17,61*	*1,77*	*-12,27*	*-12,80*	*14,94*	***340,4***	***Summe***		***84,8***
⊿Bd [mm] für beide gemessenen Bodentiefen 0- 60 cm					*2,15*					

V1 2002	0/30 MP1a	30/60 MP1a	0/30 M1b	30/60 MP1b	MW0/30	MW30/60	Niederschlag [mm]		Interzeption [mm]	
16.05.2002	0,5619	0,6076	0,6657	0,6414	0,6138	0,6245	*71,4*	ab 15.5.	15.5.	
20.09.2002	0,6145	0,6118	0,7154	0,6695	0,6650	0,6407	*174,0*	Jun 02	28.5.	14,2
⊿Bd [θ_v]	*-0,0526*	*-0,0042*	*-0,0497*	*-0,0282*	***0,0512***	***0,0162***	*179,8*	Jul 02	13.6.	3,6
⊿Bd [mm]	*-15,79*	*-1,25*	*-14,91*	*-8,45*	*15,35*	*4,85*	*308,8*	Aug 02	24.6.	14,8
⊿Bd [mm] für beide gemessenen Bodentiefen 0- 60 cm					*20,21*		*96,2*	bis 20.9.	12.7.	6,2
									8.8.	55,2
									19.8.	34,6
									20.9.	50,8
							830,2	***Summe***		***179,4***

V1 2001	0/30 MP1a	30/60 MP1a	0/30 M1b	30/60 MP1b	MW0/30	MW30/60	Niederschlag [mm]		Interzeption [mm]	
26.07.2001		0,5433				0,5433	*5,0*	ab 26.7	20. Jul	
08.11.2001		0,5536				0,5536	*169,6*	Aug 01	26. Jul	
⊿Bd [θ_v]	*0,0000*	*-0,0103*	*0,0000*	*0,0000*		***0,0103***	*337,2*	Sep 01	11. Aug	3,0
⊿Bd [mm]	*0,00*	*-3,09*	*0,00*	*0,00*		*3,09*	*58,6*	Okt 01	24. Aug	0,4
⊿Bd [mm] für beide gemessenen Bodentiefen 0- 60 cm					*3,09*		*19,6*	bis 8.11	19. Sep	69,4
									18. Okt	0,0
									08. Nov	6,5
							590,0	***Summe***		***79,3***

V2 2001	0/30 MP2a	30/60 MP2a	0/30 M2b	30/60 MP2b	MW0/30	MW30/60	Niederschlag [mm]		Interzeption [mm]	
26.07.2001			0,5300	0,5687	0,5300	0,5687	*5,0*	ab 26.7	20. Jul	
08.11.2001	0,6038	0,5390	0,5606	0,5589	0,5822	0,5490	*169,6*	Aug 01	26. Jul	
⊿Bd [θ_v]	*-0,6038*	*-0,5390*	*-0,0306*	*0,0098*	***0,0522***	***-0,0198***	*337,2*	Sep 01	11. Aug	2,6
⊿Bd [mm]	*-181,14*	*-161,71*	*-9,19*	*2,94*	*15,67*	*-5,93*	*58,6*	Okt 01	24. Aug	0,4
⊿Bd [mm] für beide gemessenen Bodentiefen 0- 60 cm					*9,74*		*19,6*	bis 8.11	19. Sep	69,2
									18. Okt	1,2
									08. Nov	5,5
							590,0	***Summe***		***78,9***

V2 2002	0/30 MP2a	30/60 MP2a	0/30 M2b	30/60 MP2b	MW0/30	MW30/60	Niederschlag [mm]		Interzeption [mm]	
20.08.2002	0,5297	0,5664	0,5248	0,5738	0,5272	0,5701	*29,2*	ab 19.8.	19.8.	
07.11.2002	0,5699	0,5424	0,5674	0,5636	0,5686	0,5530	*201,2*	Sep 02	20.9.	30,6
⊿Bd [θ_v]	*-0,0402*	*0,0240*	*-0,0426*	*0,0102*	***0,0414***	***-0,0171***	*161,6*	Okt 02	7.11.	68,6
⊿Bd [mm]	*-12,07*	*7,20*	*-12,78*	*3,07*	*12,42*	*-5,13*	*73,8*	bis 7.11.		
⊿Bd [mm] für beide gemessenen Bodentiefen 0- 60 cm					*7,29*		***465,8***	***Summe***		***99,2***

V3 2001	0/30 MP3a	30/60 MP3a	0/30 M3b	30/60 MP3b	MW0/30	MW30/60	Niederschlag [mm]		Interzeption [mm]	
26.07.2001			0,7120	0,5929	0,7120	0,5929	*5,0*	ab 26.7	26. Jul	
08.11.2001	0,5909	0,6402	0,6341	0,7025	0,6125	0,6713	*169,6*	Aug 01	11. Aug	12,4
⊿Bd [θ_v]	*-0,5909*	*-0,6402*	*0,0779*	*-0,1095*	***-0,0995***	***0,0784***	*337,2*	Sep 01	24. Aug	4,8
⊿Bd [mm]	*-177,27*	*-192,06*	*23,38*	*-32,85*	*-29,85*	*23,52*	*58,6*	Okt 01	19. Sep	69,6
⊿Bd [mm] für beide gemessenen Bodentiefen 0- 60 cm					*-6,34*		*19,6*	bis 8.11	18. Okt	7,6
									08. Nov	18,8
							590,0	***Summe***		***113,2***

V3 2002	0/30 MP3a	30/60 MP3a	0/30 M3b	30/60 MP3b	MW0/30	MW30/60	Niederschlag [mm]		Interzeption [mm]	
13.06.2002	0,5322	0,5907	0,6256	0,6555	0,5789	0,6231	*69,4*	ab 13.6.	24.6.	18,2
07.11.2002	0,4988	0,6634	0,5648	0,7070	0,5318	0,6852	*179,8*	Jul 02	12.7.	13,6
⊿Bd [θ_v]	*0,0334*	*-0,0727*	*0,0608*	*-0,0515*	***-0,0471***	***0,0621***	*308,8*	Aug 02	8.8.	65,2
⊿Bd [mm]	*10,01*	*-21,81*	*18,24*	*-15,44*	*-14,13*	*18,62*	*201,2*	Sep 02	19.8.	42,0
⊿Bd [mm] für beide gemessenen Bodentiefen 0- 60 cm					*4,50*		*161,6*	Okt 02	20.9.	34,6
							73,8	bis 7.11.	7.11.	84,8
							994,6	***Summe***		***258,3***

V1	0/30 MP1a	30/60 MP1a	0/30 M1b	30/60 MP1b	MW0/30	MW30/60	Niederschlag [mm]		Interzeption [mm]	
13.06.2002	0,5946	0,6146	0,6926	0,6718	0,6436	0,6432	*69,4*	ab 13.6.	13.6.	
20.09.2002	0,6145	0,6118	0,7154	0,6695	0,6650	0,6407	*179,8*	Jul 02	24.6.	14,8
⊿Bd [θ_v]	*-0,0199*	*0,0028*	*-0,0228*	*0,0022*	***0,0213***	***-0,0025***	*308,8*	Aug 02	12.7.	6,2
⊿Bd [mm]	*-5,96*	*0,85*	*-6,84*	*0,67*	*6,40*	*-0,76*	***96,2***	bis 20.9.	8.8.	55,2
⊿Bd [mm] für beide gemessenen Bodentiefen 0- 60 cm					*5,64*				19.8.	34,6
									20.9.	50,8
							654,2	***Summe***		***161,6***

V3	0/30 MPob.	30/60 MPob.	0/30 MPunt.	30/60 MPunt.	MW0/30	MW30/60	Niederschlag [mm]		Interzeption [mm]	
13.06.2002	0,5322	0,5907	0,6256	0,6555	0,5789	0,6231	*69,4*	ab 13.6.	13.6.	
20.09.2002	0,5776	0,6070	0,5731	0,6720	0,5753	0,6395	*179,8*	Jul 02	24.6.	18,2
⊿Bd [θ_v]	*-0,0453*	*-0,0163*	*0,0525*	*-0,0165*	***-0,0036***	***0,0164***	*308,8*	Aug 02	12.7.	13,6
⊿Bd [mm]	*-13,60*	*-4,90*	*15,75*	*-4,96*	*-1,07*	*4,93*	*96,2*	bis 20.9.	8.8.	65,2
⊿Bd [mm] für beide gemessenen Bodentiefen 0- 60 cm					*3,86*				19.8.	42,0
									20.9.	34,6
							654,2	***Summe***		***173,5***

V2	0/30 MPob.	30/60 MPob.	0/30 MPunt.	30/60 MPunt.	MW0/30	MW30/60	Niederschlag [mm]		Interzeption [mm]	
20.08.2002	0,5297	0,5664	0,5248	0,5738	0,5272	0,5701	*29,2*	ab 19.8.	19.8.	
07.11.2002	0,5699	0,5424	0,5674	0,5636	0,5686	0,5530	*201,2*	Sep 02	20.9.	30,6
⊿Bd [θ_v]	*-0,0402*	*0,0240*	*-0,0426*	*0,0102*	***0,0414***	***-0,0171***	*161,6*	Okt 02	7.11.	68,6
⊿Bd [mm]	*-12,07*	*7,20*	*-12,78*	*3,07*	*12,42*	*-5,13*	*73,8*	bis 7.11.		
⊿Bd [mm] für beide gemessenen Bodentiefen 0- 60 cm					*7,29*		***465,8***	***Summe***		***99,2***

V3	0/30 MPob.	30/60 MPob.	0/30 MPunt.	30/60 MPunt.	MW0/30	MW30/60	Niederschlag [mm]		Interzeption [mm]	
20.08.2002	0,5102	0,5786	0,5887	0,6490	0,5494	0,6138	*29,2*	ab 19.8.	19.8.	
07.11.2002	0,4981	0,6657	0,5672	0,7129	0,5327	0,6893	*201,2*	Sep 02	20.9.	34,6
⊿Bd [θ_v]	*0,0120*	*-0,0872*	*0,0214*	*-0,0639*	***-0,0167***	***0,0755***	*161,6*	Okt 02	7.11.	84,8
⊿Bd [mm]	*3,61*	*-26,15*	*6,43*	*-19,17*	*-5,02*	*22,66*	*73,8*	bis 7.11.		
⊿Bd [mm] für beide gemessenen Bodentiefen 0- 60 cm					*17,64*		***465,8***	***Summe***		***119,4***

Abb. Annex D - 5: Referenzevapotranspiration (ET0) und Niederschlag/Tag für 2001

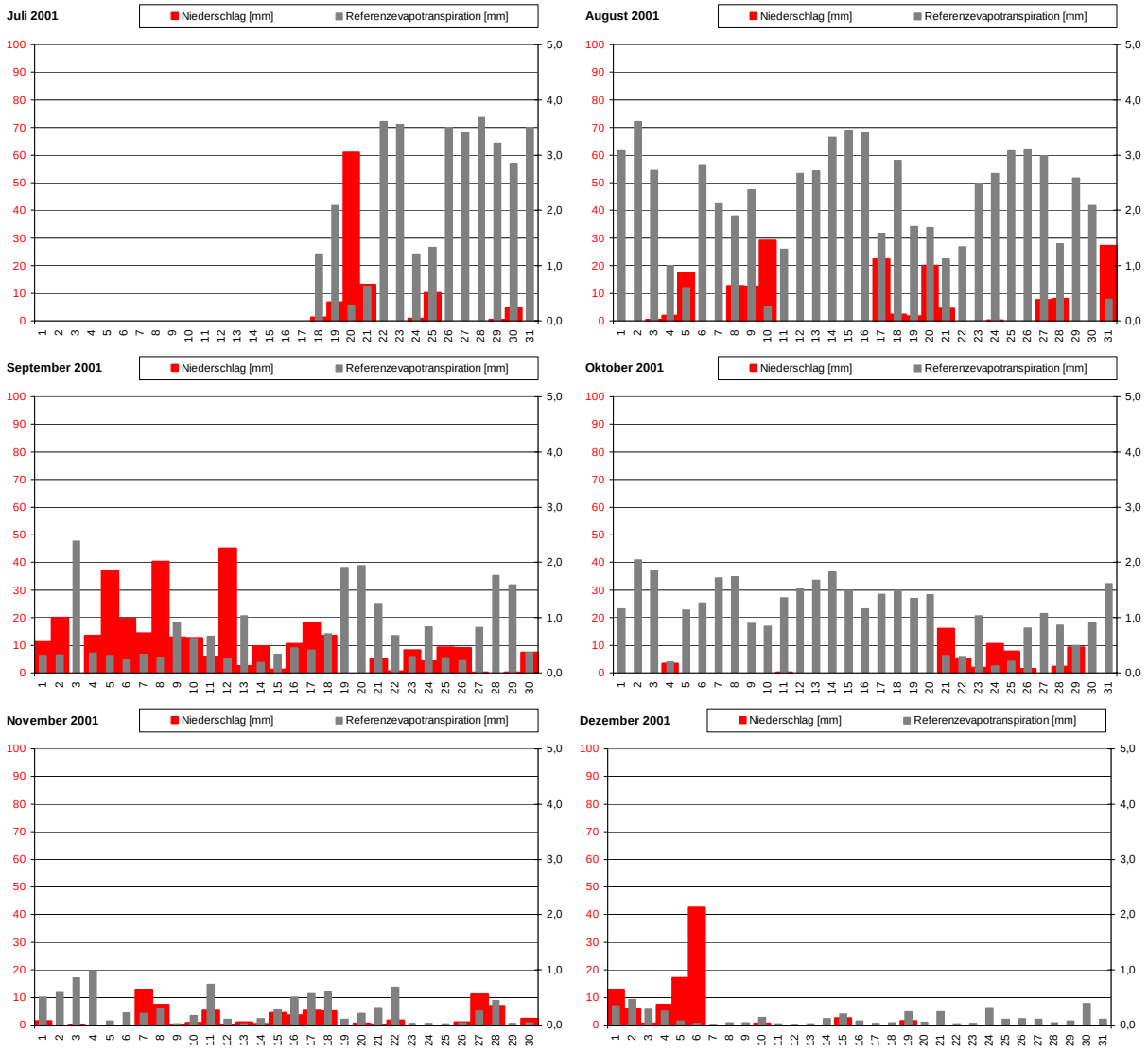
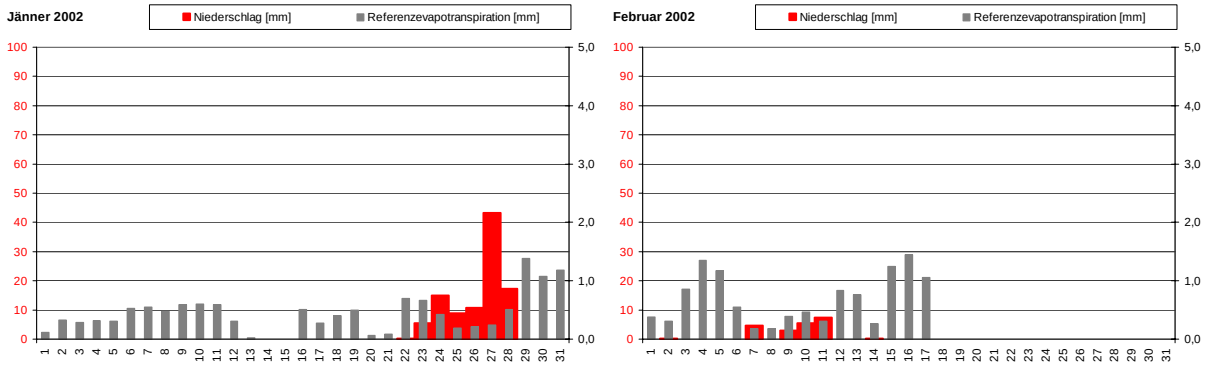
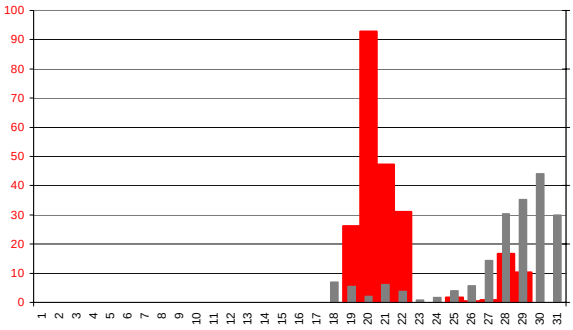


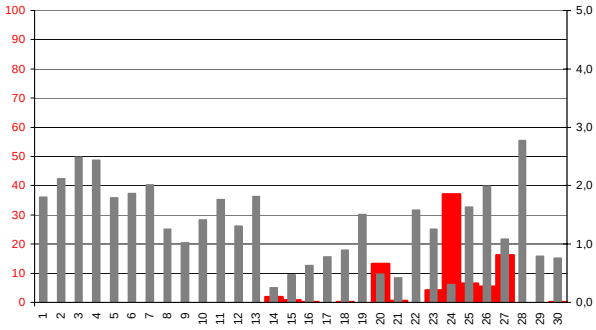
Abb. Annex D - 6: Referenzevapotranspiration (ET_0) und Niederschlag/Tag für 2002



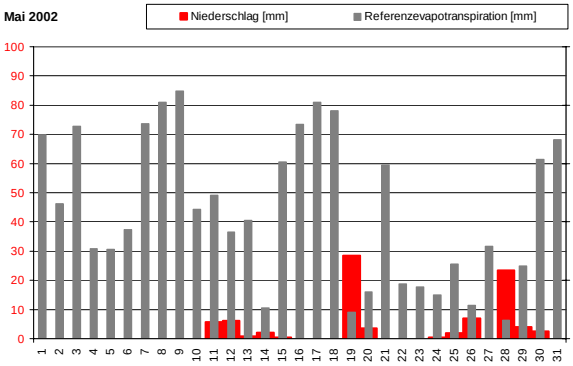
März 2002



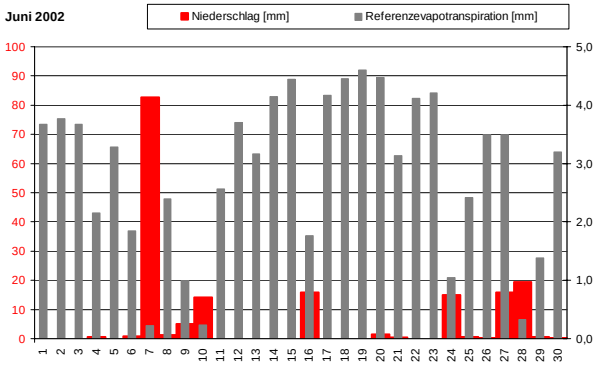
April 2002



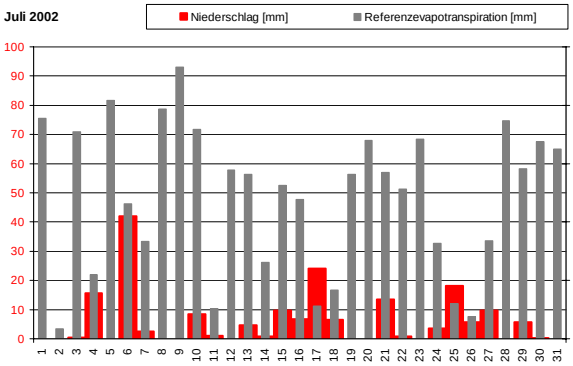
Mai 2002



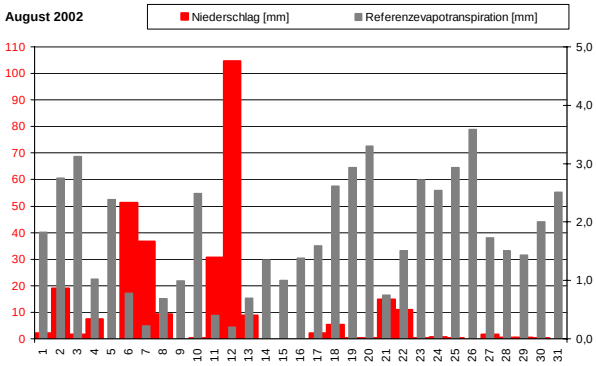
Juni 2002



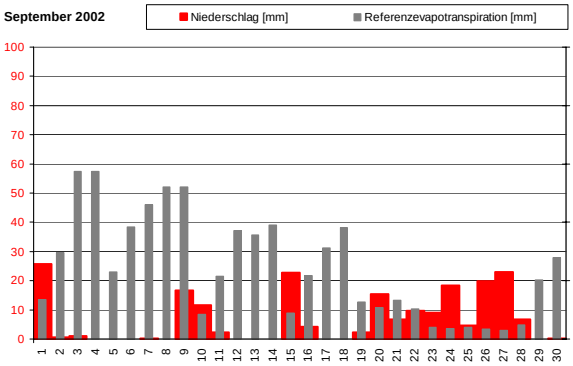
Juli 2002



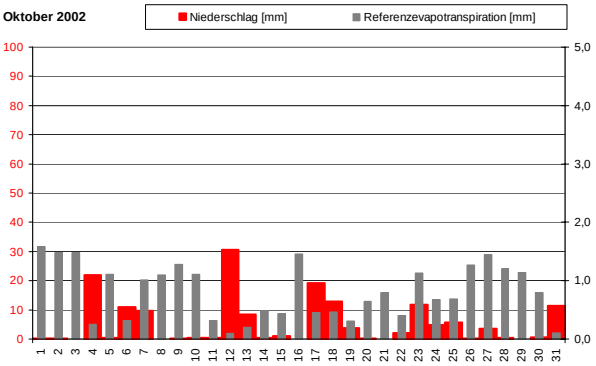
August 2002



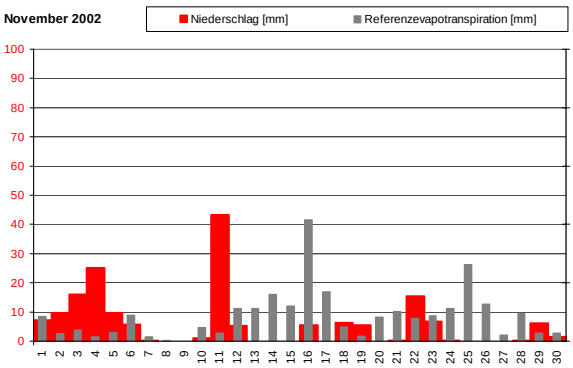
September 2002



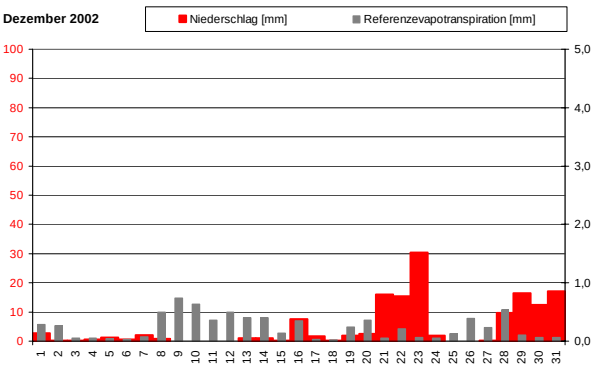
Oktober 2002



November 2002



Dezember 2002



Tab. Annex D - 6: Eingangsdaten zur Berechnung der Referenzevapotranspiration ET_0 nach Penman-Mmonteith

Temperatur [°C] 2 m]	Globalstrahlung [MJ/m2]	Strahlungsbilanz [MJ/m2]	rel. Luftfeuchte [%]	Windgeschwin-digkeit [m/s]	Sättigungsdampf-druck [kPa]	aktueller Dampf-druck [kPa]	VPD [kPa]	Δ [kPa/°C]	Latente Wärme λ[kJ/kg]	Psychromterkon-stante γ [kPa/°C]	ET_0 [mm]	CorrET_0
01.07.2001												
02.07.2001												
03.07.2001												
04.07.2001												
05.07.2001												
06.07.2001												
07.07.2001												
08.07.2001												
09.07.2001												
10.07.2001												
11.07.2001												
12.07.2001												
13.07.2001												
14.07.2001												
15.07.2001												
16.07.2001												
17.07.2001												
18.07.2001	11,83	9,55	4,96	84,33	0,00	1,39	1,2	0,22	0,1 2473,1	0,1	1,2	**1,2**
19.07.2001	12,52	16,18	8,41	88,50	0,00	1,45	1,3	0,17	0,1 2471,4	0,1	2,1	**2,1**
20.07.2001	9,65	2,36	1,23	98,50	0,00	1,20	1,2	0,02	0,1 2478,2	0,1	0,3	**0,3**
21.07.2001	9,56	5,14	2,67	96,47	0,00	1,19	1,2	0,04	0,1 2478,4	0,1	0,6	**0,6**
22.07.2001	13,27	27,44	14,27	74,73	0,00	1,53	1,1	0,39	0,1 2469,7	0,1	3,6	**3,6**
23.07.2001	15,30	25,92	13,48	75,03	0,00	1,74	1,3	0,43	0,1 2464,9	0,1	3,6	**3,6**
24.07.2001	14,43	8,98	4,67	90,25	0,00	1,65	1,5	0,16	0,1 2466,9	0,1	1,2	**1,2**
25.07.2001	14,72	9,84	5,12	92,63	0,00	1,68	1,6	0,12	0,1 2466,2	0,1	1,3	**1,3**
26.07.2001	17,06	24,76	12,88	76,92	0,00	1,95	1,5	0,45	0,1 2460,7	0,1	3,5	**3,5**
27.07.2001	17,50	23,98	12,47	73,67	0,00	2,00	1,5	0,53	0,1 2459,7	0,1	3,4	**3,4**
28.07.2001	18,13	25,49	13,26	70,35	0,00	2,08	1,5	0,62	0,1 2458,2	0,1	3,7	**3,7**
29.07.2001	18,18	22,29	11,59	72,21	0,00	2,09	1,5	0,58	0,1 2458,1	0,1	3,2	**3,2**
30.07.2001	16,38	20,35	10,58	81,44	0,00	1,87	1,5	0,35	0,1 2462,3	0,1	2,8	**2,8**
31.07.2001	18,48	24,11	12,54	72,60	0,00	2,13	1,5	0,58	0,1 2457,4	0,1	3,5	**3,5**
01.08.2001	19,15	20,97	10,90	73,60	0,00	2,22	1,6	0,59	0,1 2455,8	0,1	3,1	**3,1**
02.08.2001	19,91	24,24	12,60	78,34	0,00	2,33	1,8	0,50	0,1 2454,0	0,1	3,6	**3,6**
03.08.2001	19,84	18,30	9,51	76,69	0,00	2,32	1,8	0,54	0,1 2454,2	0,1	2,7	**2,7**
04.08.2001	14,65	7,40	3,85	94,80	0,00	1,67	1,6	0,09	0,1 2466,4	0,1	1,0	**1,0**
05.08.2001	10,78	4,85	2,52	98,68	0,00	1,30	1,3	0,02	0,1 2475,6	0,1	0,6	**0,6**
06.08.2001	14,34	21,04	10,94	79,81	0,00	1,64	1,3	0,33	0,1 2467,2	0,1	2,8	**2,8**
07.08.2001	15,11	15,55	8,09	82,66	0,00	1,72	1,4	0,30	0,1 2465,3	0,1	2,1	**2,1**
08.08.2001	14,65	14,01	7,28	86,95	0,00	1,67	1,5	0,22	0,1 2466,4	0,1	1,9	**1,9**
09.08.2001	15,38	17,26	8,98	89,54	0,00	1,75	1,6	0,18	0,1 2464,7	0,1	2,4	**2,4**
10.08.2001	10,52	2,12	1,10	99,99	0,00	1,27	1,3	0,00	0,1 2476,2	0,1	0,3	**0,3**
11.08.2001	9,63	10,70	5,57	91,16	0,00	1,20	1,1	0,11	0,1 2478,3	0,1	1,3	**1,3**
12.08.2001	11,71	20,99	10,91	79,99	0,00	1,38	1,1	0,28	0,1 2473,4	0,1	2,7	**2,7**
13.08.2001	14,51	20,13	10,47	76,84	0,00	1,65	1,3	0,38	0,1 2466,7	0,1	2,7	**2,7**
14.08.2001	18,18	23,02	11,97	75,41	0,00	2,09	1,6	0,51	0,1 2458,1	0,1	3,3	**3,3**
15.08.2001	20,77	22,87	11,89	66,61	0,00	2,46	1,6	0,82	0,2 2452,0	0,1	3,4	**3,4**
16.08.2001	20,88	22,64	11,77	69,67	0,00	2,47	1,7	0,75	0,2 2451,7	0,1	3,4	**3,4**
17.08.2001	16,56	11,30	5,88	92,83	0,00	1,89	1,8	0,14	0,1 2461,9	0,1	1,6	**1,6**
18.08.2001	17,38	20,33	10,57	87,41	0,00	1,99	1,7	0,25	0,1 2460,0	0,1	2,9	**2,9**
19.08.2001	15,90	12,33	6,41	91,12	0,00	1,81	1,6	0,16	0,1 2463,5	0,1	1,7	**1,7**
20.08.2001	14,10	12,64	6,57	93,49	0,00	1,61	1,5	0,10	0,1 2467,7	0,1	1,7	**1,7**
21.08.2001	13,29	8,52	4,43	94,63	0,00	1,53	1,4	0,08	0,1 2469,6	0,1	1,1	**1,1**
22.08.2001	14,88	9,85	5,12	91,62	0,00	1,69	1,6	0,14	0,1 2465,9	0,1	1,3	**1,3**
23.08.2001	15,79	17,99	9,35	88,97	0,00	1,80	1,6	0,20	0,1 2463,7	0,1	2,5	**2,5**
24.08.2001	16,48	19,35	10,06	85,90	1,57	1,88	1,6	0,26	0,1 2462,1	0,1	2,7	**2,7**
25.08.2001	17,25	21,17	11,01	80,69	1,58	1,97	1,6	0,38	0,1 2460,3	0,1	3,1	**3,1**
26.08.2001	18,26	20,66	10,74	79,98	1,59	2,10	1,7	0,42	0,1 2457,9	0,1	3,1	**3,1**
27.08.2001	18,78	18,17	9,45	74,92	1,59	2,17	1,6	0,54	0,1 2456,7	0,1	3,0	**3,0**
28.08.2001	13,19	11,10	5,77	92,16	1,71	1,52	1,4	0,12	0,1 2469,9	0,1	1,4	**1,4**
29.08.2001	12,53	19,54	10,16	78,98	1,91	1,45	1,1	0,31	0,1 2471,4	0,1	2,6	**2,6**
30.08.2001	13,81	15,32	7,97	83,59	1,43	1,58	1,3	0,26	0,1 2468,4	0,1	2,1	**2,1**
31.08.2001	10,37	3,79	1,97	99,74	1,46	1,26	1,3	0,00	0,1 2476,5	0,1	0,4	**0,4**

Temperatur [°C] 2 m]	Globalstrahlung [MJ/m2]	Strahlungsbilanz [MJ/m2]	rel. Luftfeuchte [%]	Windgeschwin-digkeit [m/s]	Sättigungsdampf-druck [kPa]	aktueller Dampf-druck [kPa]	VPD [kPa]	Δ [kPa/°C]	Latente Wärme λ[kJ/kg]	Psychromterkon-stante γ [kPa/°C]	ET_0 [mm]	CorrET_0
01.09.2001	8,54	2,99	1,55	99,21	1,00	1,11	1,1	0,01	0,1 2480,9	0,1	0,3	**0,3**
02.09.2001	8,93	3,26	1,70	99,82	1,20	1,14	1,1	0,00	0,1 2479,9	0,1	0,3	**0,3**
03.09.2001	12,02	19,45	10,12	86,04	1,42	1,41	1,2	0,20	0,1 2472,6	0,1	2,4	**2,4**
04.09.2001	9,68	3,26	1,70	99,09	1,09	1,20	1,2	0,01	0,1 2478,2	0,1	0,4	**0,4**
05.09.2001	6,88	3,34	1,74	99,37	1,54	0,99	1,0	0,01	0,1 2484,8	0,1	0,3	**0,3**
06.09.2001	6,52	2,47	1,28	99,99	1,23	0,97	1,0	0,00	0,1 2485,6	0,1	0,2	**0,2**
07.09.2001	7,65	3,13	1,63	97,47	1,23	1,05	1,0	0,03	0,1 2483,0	0,1	0,3	**0,3**
08.09.2001	8,29	2,95	1,54	99,70	1,43	1,10	1,1	0,00	0,1 2481,4	0,1	0,3	**0,3**
09.09.2001	5,43	7,68	3,99	85,48	1,55	0,90	0,8	0,13	0,1 2488,2	0,1	0,9	**0,9**
10.09.2001	4,61	5,45	2,83	89,64	1,49	0,85	0,8	0,09	0,1 2490,1	0,1	0,6	**0,6**
11.09.2001	4,94	6,66	3,46	94,14	1,37	0,87	0,8	0,05	0,1 2489,3	0,1	0,7	**0,7**
12.09.2001	4,85	2,71	1,41	99,34	1,16	0,86	0,9	0,01	0,1 2489,6	0,1	0,2	**0,2**
13.09.2001	7,99	9,87	5,13	96,21	1,03	1,07	1,0	0,04	0,1 2482,1	0,1	1,0	**1,0**
14.09.2001	5,84	1,99	1,04	99,74	1,10	0,93	0,9	0,00	0,1 2487,2	0,1	0,2	**0,2**
15.09.2001	5,77	3,53	1,84	99,59	0,83	0,92	0,9	0,00	0,1 2487,4	0,1	0,3	**0,3**
16.09.2001	5,11	4,90	2,55	97,91	1,43	0,88	0,9	0,02	0,1 2488,9	0,1	0,5	**0,5**
17.09.2001	3,52	4,82	2,51	99,42	1,25	0,79	0,8	0,00	0,1 2492,7	0,1	0,4	**0,4**
18.09.2001	4,41	7,41	3,86	96,09	1,05	0,84	0,8	0,03	0,1 2490,6	0,1	0,7	**0,7**
19.09.2001	7,47	15,48	8,05	73,70	1,38	1,04	0,8	0,27	0,1 2483,4	0,1	1,9	**1,9**
20.09.2001	8,48	16,28	8,46	80,15	1,60	1,11	0,9	0,22	0,1 2481,0	0,1	1,9	**1,9**
21.09.2001	8,66	10,91	5,68	89,41	1,42	1,12	1,0	0,12	0,1 2480,6	0,1	1,3	**1,3**
22.09.2001	7,57	6,58	3,42	97,23	1,30	1,04	1,0	0,03	0,1 2483,1	0,1	0,7	**0,7**
23.09.2001	7,48	2,93	1,52	100,00	0,96	1,04	1,0	0,00	0,1 2483,3	0,1	0,3	**0,3**
24.09.2001	9,80	7,97	4,15	98,83	1,35	1,21	1,2	0,01	0,1 2477,9	0,1	0,8	**0,8**
25.09.2001	7,66	2,80	1,46	99,82	1,24	1,05	1,0	0,00	0,1 2482,9	0,1	0,3	**0,3**
26.09.2001	5,14	2,36	1,23	100,00	0,85	0,88	0,9	0,00	0,1 2488,9	0,1	0,2	**0,2**
27.09.2001	6,59	8,22	4,27	95,81	1,27	0,98	0,9	0,04	0,1 2485,4	0,1	0,8	**0,8**
28.09.2001	9,44	14,78	7,69	84,56	1,73	1,18	1,0	0,18	0,1 2478,7	0,1	1,8	**1,8**
29.09.2001	10,60	12,84	6,68	86,30	1,31	1,28	1,1	0,18	0,1 2476,0	0,1	1,6	**1,6**
30.09.2001	10,42	3,33	1,73	98,83	1,19	1,26	1,2	0,01	0,1 2476,4	0,1	0,4	**0,4**
01.10.2001	10,94	9,78	5,09	93,50	1,12	1,31	1,2	0,09	0,1 2475,2	0,1	1,2	**1,2**
02.10.2001	14,81	13,95	7,25	81,63	1,53	1,69	1,4	0,31	0,1 2466,1	0,1	2,0	**2,0**
03.10.2001	14,01	13,16	6,84	84,47	1,71	1,60	1,4	0,25	0,1 2467,9	0,1	1,9	**1,9**
04.10.2001	9,05	1,82	0,94	99,05	1,48	1,15	1,1	0,01	0,1 2479,6	0,1	0,2	**0,2**
05.10.2001	8,43	10,41	5,41	93,33	1,25	1,11	1,0	0,07	0,1 2481,1	0,1	1,1	**1,1**
06.10.2001	10,24	9,69	5,04	86,05	1,43	1,25	1,1	0,17	0,1 2476,8	0,1	1,3	**1,3**
07.10.2001	12,39	12,45	6,47	83,32	1,69	1,44	1,2	0,24	0,1 2471,8	0,1	1,7	**1,7**
08.10.2001	13,54	12,88	6,70	86,56	1,51	1,55	1,3	0,21	0,1 2469,0	0,1	1,7	**1,7**
09.10.2001	10,31	7,72	4,01	94,54	1,42	1,25	1,2	0,07	0,1 2476,7	0,1	0,9	**0,9**
10.10.2001	9,42	7,44	3,87	94,35	1,43	1,18	1,1	0,07	0,1 2478,8	0,1	0,8	**0,8**
11.10.2001	10,50	11,18	5,81	89,42	1,66	1,27	1,1	0,13	0,1 2476,2	0,1	1,4	**1,4**
12.10.2001	10,43	11,53	6,00	83,61	1,62	1,27	1,1	0,21	0,1 2476,4	0,1	1,5	**1,5**
13.10.2001	11,56	10,99	5,72	77,34	1,74	1,36	1,1	0,31	0,1 2473,7	0,1	1,7	**1,7**
14.10.2001	12,32	11,41	5,93	75,05	1,81	1,43	1,1	0,36	0,1 2471,9	0,1	1,8	**1,8**
15.10.2001	11,44	11,10	5,77	84,47	1,57	1,35	1,1	0,21	0,1 2474,0	0,1	1,5	**1,5**
16.10.2001	12,52	8,21	4,27	88,04	1,71	1,45	1,3	0,17	0,1 2471,5	0,1	1,2	**1,2**
17.10.2001	10,27	11,26	5,86	86,24	1,55	1,25	1,1	0,17	0,1 2476,8	0,1	1,4	**1,4**
18.10.2001	10,06	10,79	5,61	80,40	1,66	1,23	1,0	0,24	0,1 2477,3	0,1	1,5	**1,5**
19.10.2001	9,20	10,82	5,62	85,36	1,71	1,16	1,0	0,17	0,1 2479,3	0,1	1,4	**1,4**
20.10.2001	10,00	10,53	5,48	82,71	1,51	1,23	1,0	0,21	0,1 2477,4	0,1	1,4	**1,4**
21.10.2001	8,80	2,04	1,06	94,24	1,69	1,13	1,1	0,07	0,1 2480,2	0,1	0,3	**0,3**
22.10.2001	6,89	3,02	1,57	99,05	1,48	1,00	1,0	0,01	0,1 2484,7	0,1	0,3	**0,3**
23.10.2001	7,48	9,64	5,01	92,45	1,43	1,04	1,0	0,08	0,1 2483,3	0,1	1,0	**1,0**
24.10.2001	6,42	1,29	0,67	100,00	1,02	0,96	1,0	0,00	0,1 2485,9	0,1	0,1	**0,1**
25.10.2001	5,67	2,32	1,20	99,91	1,07	0,91	0,9	0,00	0,1 2487,6	0,1	0,2	**0,2**
26.10.2001	5,71	8,46	4,40	95,89	1,36	0,92	0,9	0,04	0,1 2487,5	0,1	0,8	**0,8**
27.10.2001	6,82	9,49	4,94	88,14	1,62	0,99	0,9	0,12	0,1 2484,9	0,1	1,1	**1,1**
28.10.2001	8,94	6,72	3,49	88,67	1,36	1,14	1,0	0,13	0,1 2479,9	0,1	0,9	**0,9**
29.10.2001	9,72	2,83	1,47	90,20	1,76	1,21	1,1	0,12	0,1 2478,1	0,1	0,5	**0,5**
30.10.2001	10,73	4,38	2,28	81,29	2,01	1,29	1,0	0,24	0,1 2475,7	0,1	0,9	**0,9**
31.10.2001	11,91	8,22	4,28	70,15	1,86	1,40	1,0	0,42	0,1 2472,9	0,1	1,6	**1,6**

Temperatur [°C] 2 m]	Globalstrahlung [MJ/m2]	Strahlungsbilanz [MJ/m2]	rel. Luftfeuchte [%]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Sättigungsdampfdruck [kPa]	aktueller Dampfdruck [kPa]	VPD [kPa]	Δ [kPa/°C]	Latente Wärme λ[kJ/kg]	Psychrometerkonstante γ [kPa/°C]	ET_0 [mm]	CorrET_0
01.11.2001	2,84	2,97	1,54	84,46	1,94	0,75	0,6	0,12	0,1 2494,3	0,1	0,5	**0,5**
02.11.2001	1,90	5,04	2,62	86,25	1,63	0,70	0,6	0,10	0,1 2496,5	0,1	0,6	**0,6**
03.11.2001	2,09	8,57	4,46	86,03	1,60	0,71	0,6	0,10	0,1 2496,1	0,1	0,9	**0,9**
04.11.2001	4,63	8,41	4,37	83,57	1,62	0,85	0,7	0,14	0,1 2490,1	0,1	1,0	**1,0**
05.11.2001	2,72	0,71	0,37	98,49	1,61	0,74	0,7	0,01	0,1 2494,6	0,1	0,1	**0,1**
06.11.2001	2,18	1,69	0,88	93,14	1,24	0,72	0,7	0,05	0,1 2495,8	0,1	0,2	**0,2**
07.11.2001	3,09	2,42	1,26	99,57	1,16	0,76	0,8	0,00	0,1 2493,7	0,1	0,2	**0,2**
08.11.2001	4,14	3,42	1,78	99,02	1,36	0,82	0,8	0,01	0,1 2491,2	0,1	0,3	**0,3**
09.11.2001	-2,95	0,29	0,15	99,89	0,45	0,49	0,5	0,00	0,0 2508,0	0,1	0,0	**0,0**
10.11.2001	-3,76	2,09	1,09	95,58	0,80	0,46	0,4	0,02	0,0 2509,9	0,1	0,2	**0,2**
11.11.2001	-1,42	9,80	5,10	94,45	1,15	0,55	0,5	0,03	0,0 2504,3	0,1	0,7	**0,7**
12.11.2001	-1,72	1,52	0,79	100,00	1,33	0,54	0,5	0,00	0,0 2505,1	0,1	0,1	**0,1**
13.11.2001	-1,61	0,36	0,19	100,00	1,71	0,54	0,5	0,00	0,0 2504,8	0,1	0,0	**0,0**
14.11.2001	-4,54	1,61	0,84	97,54	1,34	0,44	0,4	0,01	0,0 2511,7	0,1	0,1	**0,1**
15.11.2001	-5,02	3,60	1,87	92,14	0,98	0,42	0,4	0,03	0,0 2512,9	0,1	0,3	**0,3**
16.11.2001	-3,01	6,38	3,32	89,53	1,09	0,49	0,4	0,05	0,0 2508,1	0,1	0,5	**0,5**
17.11.2001	-1,65	7,09	3,68	92,28	1,02	0,54	0,5	0,04	0,0 2504,9	0,1	0,6	**0,6**
18.11.2001	-0,68	7,19	3,74	91,05	1,07	0,58	0,5	0,05	0,0 2502,6	0,1	0,6	**0,6**
19.11.2001	-4,36	1,57	0,82	100,00	0,45	0,44	0,4	0,00	0,0 2511,3	0,1	0,1	**0,1**
20.11.2001	-1,95	3,07	1,60	99,17	1,26	0,53	0,5	0,00	0,0 2505,6	0,1	0,2	**0,2**
21.11.2001	-3,28	4,10	2,13	94,85	0,64	0,48	0,5	0,02	0,0 2508,7	0,1	0,3	**0,3**
22.11.2001	-0,49	5,65	2,94	77,86	1,56	0,59	0,5	0,13	0,0 2502,1	0,1	0,7	**0,7**
23.11.2001	-5,06	0,34	0,18	99,00	1,62	0,42	0,4	0,00	0,0 2512,9	0,1	0,0	**0,0**
24.11.2001	-3,85	0,44	0,23	99,51	1,79	0,46	0,5	0,00	0,0 2510,1	0,1	0,0	**0,0**
25.11.2001	-2,27	0,41	0,21	100,00	1,87	0,52	0,5	0,00	0,0 2506,4	0,1	0,0	**0,0**
26.11.2001	-0,26	0,67	0,35	100,00	1,34	0,60	0,6	0,00	0,0 2501,6	0,1	0,0	**0,0**
27.11.2001	0,53	3,24	1,68	99,10	1,17	0,63	0,6	0,01	0,0 2499,8	0,1	0,3	**0,3**
28.11.2001	0,24	5,45	2,83	94,95	1,76	0,62	0,6	0,03	0,0 2500,4	0,1	0,4	**0,4**
29.11.2001	-1,30	0,28	0,15	99,29	1,64	0,56	0,6	0,00	0,0 2504,1	0,1	0,0	**0,0**
30.11.2001	-0,53	0,59	0,31	100,00	1,13	0,59	0,6	0,00	0,0 2502,3	0,1	0,0	**0,0**

Temperatur [°C] 2 m]	Globalstrahlung [MJ/m2]	Strahlungsbilanz [MJ/m2]	rel. Luftfeuchte [%]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Sättigungsdampfdruck [kPa]	aktueller Dampfdruck [kPa]	VPD [kPa]	Δ [kPa/°C]	Latente Wärme λ[kJ/kg]	Psychrometerkonstante γ [kPa/°C]	ET_0 [mm]	CorrET_0
01.12.2001	0,69	4,25	2,21	97,67	0,97	0,64	0,6	0,01	0,0 2499,4	0,1	0,4	**0,4**
02.12.2001	-0,53	5,70	2,96	94,21	1,24	0,59	0,6	0,03	0,0 2502,2	0,1	0,5	**0,5**
03.12.2001	-3,54	4,34	2,26	97,61	1,36	0,47	0,5	0,01	0,0 2509,4	0,1	0,3	**0,3**
04.12.2001	-0,08	3,14	1,63	97,63	1,10	0,61	0,6	0,01	0,0 2501,2	0,1	0,3	**0,3**
05.12.2001	0,01	0,92	0,48	100,00	1,06	0,61	0,6	0,00	0,0 2501,0	0,1	0,1	**0,1**
06.12.2001	0,65	0,24	0,13	99,27	1,63	0,64	0,6	0,00	0,0 2499,5	0,1	0,0	**0,0**
07.12.2001	-1,53	0,22	0,11	100,00	0,78	0,55	0,5	0,00	0,0 2504,6	0,1	0,0	**0,0**
08.12.2001	-3,46	0,56	0,29	99,70	0,81	0,47	0,5	0,00	0,0 2509,2	0,1	0,0	**0,0**
09.12.2001	-7,33	0,70	0,36	98,56	0,83	0,35	0,3	0,01	0,0 2518,3	0,1	0,0	**0,0**
10.12.2001	-6,59	1,76	0,91	94,81	0,87	0,37	0,4	0,02	0,0 2516,6	0,1	0,1	**0,1**
11.12.2001	-4,14	0,27	0,14	99,67	0,45	0,45	0,4	0,00	0,0 2510,8	0,1	0,0	**0,0**
12.12.2001	-3,54	0,10	0,05	100,00	0,46	0,47	0,5	0,00	0,0 2509,4	0,1	0,0	**0,0**
13.12.2001	-11,72	0,24	0,12	97,14	0,92	0,25	0,2	0,01	0,0 2528,7	0,1	0,0	**0,0**
14.12.2001	-15,04	2,22	1,16	89,62	0,51	0,19	0,2	0,02	0,0 2536,5	0,1	0,1	**0,1**
15.12.2001	-10,44	3,25	1,69	88,65	0,51	0,28	0,2	0,03	0,0 2525,6	0,1	0,2	**0,2**
16.12.2001	-10,85	1,12	0,58	95,48	0,58	0,27	0,3	0,01	0,0 2526,6	0,1	0,1	**0,1**
17.12.2001	-7,57	0,45	0,24	98,30	0,55	0,35	0,3	0,01	0,0 2518,9	0,1	0,0	**0,0**
18.12.2001	-6,84	0,55	0,28	97,74	0,56	0,37	0,4	0,01	0,0 2517,2	0,1	0,0	**0,0**
19.12.2001	-7,37	3,67	1,91	92,73	0,68	0,35	0,3	0,03	0,0 2518,4	0,1	0,2	**0,2**
20.12.2001	-7,08	0,59	0,30	97,28	1,57	0,36	0,3	0,01	0,0 2517,7	0,1	0,1	**0,1**
21.12.2001	-9,27	3,49	1,81	89,73	1,62	0,30	0,3	0,03	0,0 2522,9	0,1	0,2	**0,2**
22.12.2001	-4,15	0,30	0,16	99,92	1,78	0,45	0,4	0,00	0,0 2510,8	0,1	0,0	**0,0**
23.12.2001	-8,17	0,45	0,23	98,29	1,72	0,33	0,3	0,01	0,0 2520,3	0,1	0,0	**0,0**
24.12.2001	-11,96	5,87	3,05	86,33	1,44	0,24	0,2	0,03	0,0 2529,2	0,1	0,3	**0,3**
25.12.2001	-2,95	1,40	0,73	98,32	1,32	0,49	0,5	0,01	0,0 2508,0	0,1	0,1	**0,1**
26.12.2001	-3,04	1,91	0,99	99,53	2,03	0,49	0,5	0,00	0,0 2508,2	0,1	0,1	**0,1**
27.12.2001	-9,07	1,44	0,75	95,30	1,99	0,31	0,3	0,01	0,0 2522,4	0,1	0,1	**0,1**
28.12.2001	-2,62	0,43	0,23	98,69	1,47	0,50	0,5	0,01	0,0 2507,2	0,1	0,0	**0,0**
29.12.2001	0,32	1,05	0,55	99,74	1,40	0,63	0,6	0,00	0,0 2500,3	0,1	0,1	**0,1**
30.12.2001	-4,04	4,75	2,47	89,83	2,29	0,45	0,4	0,05	0,0 2510,5	0,1	0,4	**0,4**
31.12.2001	-7,87	1,31	0,68	95,51	1,90	0,34	0,3	0,02	0,0 2519,6	0,1	0,1	**0,1**

01.01.2002	-10,03	1,32	0,68	92,64	1,91	0,29	0,3	0,02	0,0 2524,7	0,1	0,12	**0,12**
02.01.2002	-6,32	2,99	1,55	85,35	2,25	0,38	0,3	0,06	0,0 2515,9	0,1	0,33	**0,33**
03.01.2002	-9,21	5,02	2,61	91,81	1,90	0,30	0,3	0,02	0,0 2522,7	0,1	0,29	**0,29**
04.01.2002	-10,59	4,75	2,47	85,21	1,80	0,27	0,2	0,04	0,0 2526,0	0,1	0,31	**0,31**
05.01.2002	-7,43	3,83	1,99	88,26	2,16	0,35	0,3	0,04	0,0 2518,5	0,1	0,31	**0,31**
06.01.2002	-4,83	4,94	2,57	79,75	2,29	0,43	0,3	0,09	0,0 2512,4	0,1	0,53	**0,53**
07.01.2002	-3,85	4,70	2,45	76,35	1,65	0,46	0,4	0,11	0,0 2510,1	0,1	0,55	**0,55**
08.01.2002	-4,57	4,94	2,57	83,44	1,97	0,44	0,4	0,07	0,0 2511,8	0,1	0,47	**0,47**
09.01.2002	-3,30	5,01	2,60	77,35	1,93	0,48	0,4	0,11	0,0 2508,8	0,1	0,59	**0,59**
10.01.2002	-3,39	4,96	2,58	77,31	2,08	0,48	0,4	0,11	0,0 2509,0	0,1	0,60	**0,60**
11.01.2002	-4,37	5,18	2,70	76,69	2,13	0,44	0,3	0,10	0,0 2511,3	0,1	0,59	**0,59**
12.01.2002	-3,77	2,25	1,17	86,58	1,96	0,46	0,4	0,06	0,0 2509,9	0,1	0,30	**0,30**
13.01.2002	-4,26	0,41	0,21	99,81	1,48	0,45	0,4	0,00	0,0 2511,1	0,1	0,03	**0,03**
14.01.2002	-7,79	0,00	0,00	99,99	1,11	0,34	0,3	0,00	0,0 2519,4	0,1	0,00	**0,00**
15.01.2002	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,61	0,0	0,61	0,0 2501,0	0,1	0,00	**0,00**
16.01.2002	-3,20	5,91	3,07	87,40	1,61	0,48	0,4	0,06	0,0 2508,6	0,1	0,50	**0,50**
17.01.2002	-4,19	3,85	2,00	94,66	1,51	0,45	0,4	0,02	0,0 2510,9	0,1	0,28	**0,28**
18.01.2002	-5,98	5,57	2,90	89,24	1,91	0,39	0,3	0,04	0,0 2515,1	0,1	0,40	**0,40**
19.01.2002	-2,53	4,61	2,40	82,80	1,53	0,51	0,4	0,09	0,0 2507,0	0,1	0,49	**0,49**
20.01.2002	-0,57	0,84	0,44	99,21	1,65	0,59	0,6	0,00	0,0 2502,4	0,1	0,07	**0,07**
21.01.2002	1,05	1,20	0,62	99,73	2,05	0,66	0,7	0,00	0,0 2498,5	0,1	0,09	**0,09**
22.01.2002	2,27	6,03	3,14	86,08	2,18	0,72	0,6	0,10	0,1 2495,6	0,1	0,70	**0,70**
23.01.2002	1,86	5,79	3,01	84,77	1,68	0,70	0,6	0,11	0,1 2496,6	0,1	0,67	**0,67**
24.01.2002	1,75	2,48	1,29	85,73	1,81	0,69	0,6	0,10	0,0 2496,9	0,1	0,42	**0,42**
25.01.2002	0,10	0,94	0,49	92,88	2,19	0,62	0,6	0,04	0,0 2500,8	0,1	0,19	**0,19**
26.01.2002	0,01	2,79	1,45	98,54	1,93	0,61	0,6	0,01	0,0 2501,0	0,1	0,21	**0,21**
27.01.2002	2,11	1,35	0,70	91,93	2,02	0,71	0,7	0,06	0,1 2496,0	0,1	0,25	**0,25**
28.01.2002	4,62	4,21	2,19	91,87	2,43	0,85	0,8	0,07	0,1 2490,1	0,1	0,51	**0,51**
29.01.2002	4,67	7,06	3,67	64,70	2,53	0,85	0,6	0,30	0,1 2490,0	0,1	1,39	**1,39**
30.01.2002	2,77	5,64	2,93	67,68	2,28	0,75	0,5	0,24	0,1 2494,5	0,1	1,07	**1,07**
31.01.2002	4,42	5,91	3,08	67,77	2,36	0,84	0,6	0,27	0,1 2490,6	0,1	1,19	**1,19**
01.02.2002	2,24	3,38	1,76	92,22	1,82	0,72	0,7	0,06	0,1 2495,7	0,1	0,38	**0,38**
02.02.2002	0,60	2,10	1,09	90,54	2,01	0,64	0,6	0,06	0,0 2499,6	0,1	0,30	**0,30**
03.02.2002	2,76	2,26	1,17	63,24	1,96	0,75	0,5	0,27	0,1 2494,5	0,1	0,85	**0,85**
04.02.2002	3,74	6,70	3,48	61,46	2,37	0,80	0,5	0,31	0,1 2492,2	0,1	1,35	**1,35**
05.02.2002	3,28	6,95	3,61	65,09	1,84	0,77	0,5	0,27	0,1 2493,2	0,1	1,17	**1,17**
06.02.2002	2,65	3,19	1,66	81,97	1,75	0,74	0,6	0,13	0,1 2494,7	0,1	0,55	**0,55**
07.02.2002	0,09	2,63	1,37	99,52	1,85	0,61	0,6	0,00	0,0 2500,8	0,1	0,18	**0,18**
08.02.2002	0,16	2,36	1,23	99,00	1,63	0,62	0,6	0,01	0,0 2500,6	0,1	0,18	**0,18**
09.02.2002	2,46	4,71	2,45	97,64	1,62	0,73	0,7	0,02	0,1 2495,2	0,1	0,39	**0,39**
10.02.2002	1,36	4,19	2,18	90,22	1,97	0,67	0,6	0,07	0,0 2497,8	0,1	0,46	**0,46**
11.02.2002	1,89	3,70	1,92	97,71	1,98	0,70	0,7	0,02	0,1 2496,5	0,1	0,30	**0,30**
12.02.2002	5,37	3,92	2,04	78,61	2,48	0,90	0,7	0,19	0,1 2488,3	0,1	0,83	**0,83**
13.02.2002	5,39	3,20	1,66	78,17	2,25	0,90	0,7	0,20	0,1 2488,3	0,1	0,76	**0,76**
14.02.2002	1,05	3,45	1,79	99,17	1,41	0,66	0,7	0,01	0,0 2498,5	0,1	0,27	**0,27**
15.02.2002	2,17	7,52	3,91	67,03	2,75	0,71	0,5	0,24	0,1 2495,9	0,1	1,25	**1,25**
16.02.2002	3,34	6,03	3,14	58,09	2,81	0,78	0,5	0,33	0,1 2493,1	0,1	1,45	**1,45**
17.02.2002	3,71	7,60	3,95	75,60	2,00	0,80	0,6	0,19	0,1 2492,2	0,1	1,06	**1,06**
18.02.2002												
19.02.2002												
20.02.2002												
21.02.2002												
22.02.2002												
23.02.2002												
24.02.2002												
25.02.2002												
26.02.2002												
27.02.2002												
28.02.2002												

01.03.2002												
02.03.2002												
03.03.2002												
04.03.2002												
05.03.2002												
06.03.2002												
07.03.2002												
08.03.2002												
09.03.2002												
10.03.2002												
11.03.2002												
12.03.2002												
13.03.2002												
14.03.2002												
15.03.2002												
16.03.2002												
17.03.2002												
18.03.2002	4,71	0,04	0,02	84,44	2,23	0,86	0,7	0,13	0,1 2489,9	0,1	0,35	**0,35**
19.03.2002	3,31	2,73	1,42	96,06	1,66	0,78	0,7	0,03	0,1 2493,2	0,1	0,28	**0,28**
20.03.2002	2,52	1,20	0,63	99,08	1,60	0,73	0,7	0,01	0,1 2495,0	0,1	0,11	**0,11**
21.03.2002	5,21	2,59	1,35	95,34	1,84	0,89	0,8	0,04	0,1 2488,7	0,1	0,30	**0,30**
22.03.2002	0,68	2,38	1,24	98,32	1,52	0,64	0,6	0,01	0,0 2499,4	0,1	0,19	**0,19**
23.03.2002	-3,75	0,73	0,38	99,85	1,81	0,46	0,5	0,00	0,0 2509,9	0,1	0,04	**0,04**
24.03.2002	-4,06	1,42	0,74	100,00	1,50	0,45	0,5	0,00	0,0 2510,6	0,1	0,08	**0,08**
25.03.2002	-3,70	3,24	1,69	99,17	1,50	0,46	0,5	0,00	0,0 2509,7	0,1	0,20	**0,20**
26.03.2002	-3,94	3,97	2,06	95,31	1,32	0,46	0,4	0,02	0,0 2510,3	0,1	0,28	**0,28**
27.03.2002	-3,70	10,16	5,28	89,01	1,66	0,46	0,4	0,05	0,0 2509,7	0,1	0,72	**0,72**
28.03.2002	-1,70	20,92	10,88	85,63	1,62	0,54	0,5	0,08	0,0 2505,0	0,1	1,51	**1,51**
29.03.2002	1,75	19,59	10,19	78,52	1,90	0,69	0,5	0,15	0,0 2496,9	0,1	1,76	**1,76**
30.03.2002	5,11	19,44	10,11	69,12	1,99	0,88	0,6	0,27	0,1 2488,9	0,1	2,20	**2,20**
31.03.2002	4,46	13,97	7,27	79,68	1,90	0,84	0,7	0,17	0,1 2490,5	0,1	1,50	**1,50**
01.04.2002	5,42	16,84	8,76	79,36	1,83	0,90	0,7	0,19	0,1 2488,2	0,1	1,80	**1,80**
02.04.2002	6,58	18,41	9,57	74,58	1,83	0,97	0,7	0,25	0,1 2485,5	0,1	2,12	**2,12**
03.04.2002	8,18	17,05	8,86	60,62	2,14	1,09	0,7	0,43	0,1 2481,7	0,1	2,49	**2,49**
04.04.2002	6,08	19,67	10,23	62,81	1,93	0,94	0,6	0,35	0,1 2486,6	0,1	2,44	**2,44**
05.04.2002	1,75	17,81	9,26	69,51	1,94	0,69	0,5	0,21	0,0 2496,9	0,1	1,79	**1,79**
06.04.2002	-0,40	19,99	10,40	63,27	2,06	0,59	0,4	0,22	0,0 2501,9	0,1	1,87	**1,87**
07.04.2002	0,28	20,84	10,84	61,75	2,07	0,62	0,4	0,24	0,0 2500,3	0,1	2,01	**2,01**
08.04.2002	2,10	10,12	5,26	67,70	1,52	0,71	0,5	0,23	0,1 2496,0	0,1	1,25	**1,25**
09.04.2002	1,57	9,24	4,81	76,04	1,35	0,68	0,5	0,16	0,0 2497,3	0,1	1,02	**1,02**
10.04.2002	1,73	13,42	6,98	72,77	1,78	0,69	0,5	0,19	0,0 2496,9	0,1	1,42	**1,42**
11.04.2002	13,42	8,39	4,36	72,64	2,37	1,54	1,1	0,42	0,1 2469,3	0,1	1,76	**1,76**
12.04.2002	7,66	6,13	3,19	70,98	2,48	1,05	0,7	0,30	0,1 2482,9	0,1	1,31	**1,31**
13.04.2002	8,11	14,00	7,28	75,93	1,87	1,08	0,8	0,26	0,1 2481,9	0,1	1,81	**1,81**
14.04.2002	3,60	2,65	1,38	97,20	1,85	0,79	0,8	0,02	0,1 2492,5	0,1	0,26	**0,26**
15.04.2002	0,98	6,03	3,14	96,87	1,68	0,66	0,6	0,02	0,0 2498,7	0,1	0,47	**0,47**
16.04.2002	1,48	6,84	3,56	91,41	1,13	0,68	0,6	0,06	0,0 2497,5	0,1	0,63	**0,63**
17.04.2002	2,86	7,13	3,71	84,54	1,25	0,75	0,6	0,12	0,1 2494,2	0,1	0,78	**0,78**
18.04.2002	3,70	8,90	4,63	89,31	1,21	0,80	0,7	0,09	0,1 2492,3	0,1	0,89	**0,89**
19.04.2002	5,90	13,03	6,78	79,88	1,83	0,93	0,7	0,19	0,1 2487,1	0,1	1,50	**1,50**
20.04.2002	1,78	6,19	3,22	99,13	1,39	0,69	0,7	0,01	0,0 2496,8	0,1	0,48	**0,48**
21.04.2002	3,69	4,83	2,51	99,71	0,99	0,80	0,8	0,00	0,1 2492,3	0,1	0,42	**0,42**
22.04.2002	6,73	15,19	7,90	88,33	1,49	0,98	0,9	0,11	0,1 2485,1	0,1	1,58	**1,58**
23.04.2002	7,25	10,62	5,52	84,67	1,52	1,02	0,9	0,16	0,1 2483,9	0,1	1,26	**1,26**
24.04.2002	4,11	3,44	1,79	99,67	0,92	0,82	0,8	0,00	0,1 2491,3	0,1	0,31	**0,31**
25.04.2002	7,02	15,00	7,80	85,97	1,26	1,00	0,9	0,14	0,1 2484,4	0,1	1,63	**1,63**
26.04.2002	9,86	16,38	8,52	82,24	1,61	1,22	1,0	0,22	0,1 2477,7	0,1	2,00	**2,00**
27.04.2002	4,08	10,51	5,47	85,93	1,81	0,82	0,7	0,12	0,1 2491,4	0,1	1,09	**1,09**
28.04.2002	7,65	22,01	11,44	63,94	1,98	1,05	0,7	0,38	0,1 2482,9	0,1	2,77	**2,77**
29.04.2002	5,96	5,11	2,66	81,22	1,61	0,93	0,8	0,18	0,1 2486,9	0,1	0,79	**0,79**
30.04.2002	3,54	7,52	3,91	90,24	1,62	0,79	0,7	0,08	0,1 2492,7	0,1	0,76	**0,76**

	Temperatur [°C] 2 m	Globalstrahlung [MJ/m2]	Strahlungsbilanz [MJ/m2]	rel. Luftfeuchte [%]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Sättigungsdampfdruck [kPa]	aktueller Dampfdruck [kPa]	VPD [kPa]	Δ [kPa/°C]	Latente Wärme λ[kJ/kg]	Psychromterkonstante γ [kPa/°C]	ET_0 [mm]	$CorrET_0$
01.05.2002	13,13	23,58	12,26	62,93	1,81	1,51	1,0	0,56	0,1	2470,0	0,1	3,49	**3,49**
02.05.2002	13,09	11,36	5,91	58,22	1,79	1,51	0,9	0,63	0,1	2470,1	0,1	2,31	**2,31**
03.05.2002	15,85	16,24	8,45	49,83	2,52	1,80	0,9	0,90	0,1	2463,6	0,1	3,63	**3,63**
04.05.2002	11,16	8,20	4,26	73,25	2,09	1,33	1,0	0,36	0,1	2474,7	0,1	1,54	**1,54**
05.05.2002	6,29	14,40	7,49	84,93	2,26	0,95	0,8	0,14	0,1	2486,2	0,1	1,53	**1,53**
06.05.2002	8,13	16,20	8,42	82,15	1,96	1,08	0,9	0,19	0,1	2481,8	0,1	1,87	**1,87**
07.05.2002	11,99	25,36	13,19	59,37	2,00	1,40	0,8	0,57	0,1	2472,7	0,1	3,68	**3,68**
08.05.2002	14,56	20,97	10,90	48,61	2,60	1,66	0,8	0,85	0,1	2466,6	0,1	4,05	**4,05**
09.05.2002	15,08	24,96	12,98	55,27	2,46	1,72	0,9	0,77	0,1	2465,4	0,1	4,25	**4,25**
10.05.2002	13,27	14,65	7,62	75,27	1,72	1,53	1,1	0,38	0,1	2469,7	0,1	2,21	**2,21**
11.05.2002	11,10	20,63	10,73	84,15	1,78	1,32	1,1	0,21	0,1	2474,8	0,1	2,46	**2,46**
12.05.2002	10,49	15,83	8,23	89,81	1,42	1,27	1,1	0,13	0,1	2476,2	0,1	1,83	**1,83**
13.05.2002	12,06	15,78	8,21	84,52	1,14	1,41	1,2	0,22	0,1	2472,5	0,1	2,02	**2,02**
14.05.2002	9,12	4,34	2,25	94,39	1,33	1,16	1,1	0,07	0,1	2479,5	0,1	0,53	**0,53**
15.05.2002	11,01	24,11	12,54	74,63	1,77	1,32	1,0	0,33	0,1	2475,0	0,1	3,03	**3,03**
16.05.2002	13,97	26,22	13,64	69,75	1,72	1,60	1,1	0,48	0,1	2468,0	0,1	3,67	**3,67**
17.05.2002	16,56	25,38	13,20	62,29	1,72	1,89	1,2	0,71	0,1	2461,9	0,1	4,05	**4,05**
18.05.2002	17,60	22,89	11,90	61,09	1,74	2,02	1,2	0,78	0,1	2459,5	0,1	3,90	**3,90**
19.05.2002	8,87	4,68	2,44	98,83	2,04	1,14	1,1	0,01	0,1	2480,1	0,1	0,45	**0,45**
20.05.2002	8,10	7,63	3,97	98,86	0,82	1,08	1,1	0,01	0,1	2481,9	0,1	0,80	**0,80**
21.05.2002	12,69	22,07	11,48	73,35	1,34	1,47	1,1	0,39	0,1	2471,1	0,1	2,98	**2,98**
22.05.2002	10,83	4,14	2,15	75,80	1,53	1,30	1,0	0,31	0,1	2475,4	0,1	0,94	**0,94**
23.05.2002	11,87	4,69	2,44	80,90	1,34	1,39	1,1	0,27	0,1	2473,0	0,1	0,89	**0,89**
24.05.2002	8,49	6,54	3,40	93,80	1,59	1,11	1,0	0,07	0,1	2481,0	0,1	0,74	**0,74**
25.05.2002	10,67	9,86	5,13	86,45	1,14	1,29	1,1	0,17	0,1	2475,8	0,1	1,28	**1,28**
26.05.2002	6,96	5,68	2,95	98,95	0,87	1,00	1,0	0,01	0,1	2484,6	0,1	0,57	**0,57**
27.05.2002	10,11	14,51	7,54	94,09	1,48	1,24	1,2	0,07	0,1	2477,1	0,1	1,58	**1,58**
28.05.2002	5,72	3,52	1,83	100,00	1,34	0,92	0,9	0,00	0,1	2487,5	0,1	0,31	**0,31**
29.05.2002	8,95	10,53	5,48	89,02	1,07	1,15	1,0	0,13	0,1	2479,9	0,1	1,24	**1,24**
30.05.2002	11,03	25,44	13,23	79,07	1,57	1,32	1,0	0,28	0,1	2475,0	0,1	3,07	**3,07**
31.05.2002	12,66	26,22	13,63	74,76	1,53	1,47	1,1	0,37	0,1	2471,1	0,1	3,40	**3,40**
01.06.2002	12,97	27,41	14,25	70,80	1,75	1,50	1,1	0,44	0,1	2470,4	0,1	3,67	**3,67**
02.06.2002	11,49	28,21	14,67	63,76	1,84	1,36	0,9	0,49	0,1	2473,9	0,1	3,77	**3,77**
03.06.2002	12,27	26,64	13,85	63,87	1,66	1,43	0,9	0,52	0,1	2472,0	0,1	3,67	**3,67**
04.06.2002	14,00	14,74	7,67	77,49	1,25	1,60	1,2	0,36	0,1	2467,9	0,1	2,15	**2,15**
05.06.2002	17,23	16,82	8,75	61,46	2,17	1,97	1,2	0,76	0,1	2460,3	0,1	3,28	**3,28**
06.06.2002	14,30	12,36	6,43	80,99	1,45	1,63	1,3	0,31	0,1	2467,2	0,1	1,84	**1,84**
07.06.2002	9,05	2,14	1,11	99,78	1,20	1,15	1,2	0,00	0,1	2479,6	0,1	0,22	**0,22**
08.06.2002	11,50	20,10	10,45	86,77	1,41	1,36	1,2	0,18	0,1	2473,9	0,1	2,40	**2,40**
09.06.2002	10,33	9,12	4,74	98,14	1,12	1,26	1,2	0,02	0,1	2476,6	0,1	1,00	**1,00**
10.06.2002	8,27	2,19	1,14	99,04	1,41	1,09	1,1	0,01	0,1	2481,5	0,1	0,23	**0,23**
11.06.2002	10,18	21,31	11,08	79,88	1,61	1,24	1,0	0,25	0,1	2477,0	0,1	2,56	**2,56**
12.06.2002	14,49	27,27	14,18	74,53	1,54	1,65	1,2	0,42	0,1	2466,8	0,1	3,71	**3,71**
13.06.2002	16,91	19,87	10,33	70,66	1,57	1,93	1,4	0,57	0,1	2461,1	0,1	3,16	**3,16**
14.06.2002	18,23	26,71	13,89	70,70	1,80	2,10	1,5	0,61	0,1	2458,0	0,1	4,14	**4,14**
15.06.2002	20,00	26,90	13,99	66,06	1,58	2,34	1,5	0,79	0,1	2453,8	0,1	4,44	**4,44**
16.06.2002	16,42	13,03	6,77	91,75	1,42	1,87	1,7	0,15	0,1	2462,3	0,1	1,76	**1,76**
17.06.2002	19,00	27,13	14,11	73,61	1,61	2,20	1,6	0,58	0,1	2456,1	0,1	4,16	**4,16**
18.06.2002	20,94	26,81	13,94	68,66	1,62	2,48	1,7	0,78	0,2	2451,6	0,1	4,45	**4,45**
19.06.2002	22,25	26,85	13,96	67,75	1,56	2,69	1,8	0,87	0,2	2448,5	0,1	4,60	**4,60**
20.06.2002	22,36	25,93	13,48	68,30	1,58	2,71	1,8	0,86	0,2	2448,2	0,1	4,47	**4,47**
21.06.2002	19,30	20,79	10,81	81,80	1,27	2,24	1,8	0,41	0,1	2455,4	0,1	3,13	**3,13**
22.06.2002	19,83	26,77	13,92	75,84	1,49	2,32	1,8	0,56	0,1	2454,2	0,1	4,12	**4,12**
23.06.2002	21,36	25,01	13,00	69,78	1,55	2,55	1,8	0,77	0,2	2450,6	0,1	4,21	**4,21**
24.06.2002	15,92	7,20	3,74	92,03	1,28	1,81	1,7	0,14	0,1	2463,4	0,1	1,04	**1,04**
25.06.2002	13,57	18,69	9,72	85,53	1,31	1,56	1,3	0,23	0,1	2469,0	0,1	2,42	**2,42**
26.06.2002	14,42	25,84	13,43	76,48	1,53	1,65	1,3	0,39	0,1	2467,0	0,1	3,49	**3,49**
27.06.2002	16,78	23,71	12,33	75,24	1,51	1,91	1,4	0,47	0,1	2461,4	0,1	3,49	**3,49**
28.06.2002	10,25	3,12	1,62	99,81	1,18	1,25	1,2	0,00	0,1	2476,8	0,1	0,33	**0,33**
29.06.2002	8,83	11,27	5,86	85,00	1,46	1,14	1,0	0,17	0,1	2480,2	0,1	1,38	**1,38**
30.06.2002	11,86	26,12	13,58	79,96	1,60	1,39	1,1	0,28	0,1	2473,0	0,1	3,20	**3,20**
01.07.2001	15,96	26,05	13,55	72,04	1,60	1,82	1,3	0,51	0,1	2463,3	0,1	3,78	**3,78**
02.07.2001	10,22	0,00	0,00	92,02	1,56	1,25	1,1	0,10	0,1	2476,9	0,1	0,17	**0,17**
03.07.2001	17,55	24,37	12,67	78,72	1,55	2,01	1,6	0,43	0,1	2459,6	0,1	3,54	**3,54**
04.07.2001	9,83	9,16	4,76	90,84	1,39	1,22	1,1	0,11	0,1	2477,8	0,1	1,10	**1,10**
05.07.2001	14,85	27,98	14,55	64,37	1,56	1,69	1,1	0,60	0,1	2466,0	0,1	4,08	**4,08**
06.07.2001	13,92	17,31	9,00	84,03	1,50	1,59	1,3	0,25	0,1	2468,1	0,1	2,31	**2,31**
07.07.2001	12,80	13,43	6,98	92,01	1,13	1,48	1,4	0,12	0,1	2470,8	0,1	1,66	**1,66**
08.07.2001	16,94	27,23	14,16	74,66	1,50	1,93	1,4	0,49	0,1	2461,0	0,1	3,94	**3,94**
09.07.2001	21,48	26,49	13,77	63,73	1,73	2,56	1,6	0,93	0,2	2450,3	0,1	4,65	**4,65**
10.07.2001	18,47	23,03	11,98	74,56	1,70	2,13	1,6	0,54	0,1	2457,4	0,1	3,59	**3,59**
11.07.2001	11,27	4,73	2,46	99,83	1,06	1,34	1,3	0,00	0,1	2474,4	0,1	0,52	**0,52**
12.07.2001	15,70	21,81	11,34	86,94	1,32	1,79	1,6	0,23	0,1	2463,9	0,1	2,89	**2,89**
13.07.2001	16,33	21,47	11,17	88,61	1,86	1,86	1,6	0,21	0,1	2462,5	0,1	2,81	**2,81**
14.07.2001	13,39	10,64	5,53	95,01	1,14	1,54	1,5	0,08	0,1	2469,4	0,1	1,31	**1,31**
15.07.2001	16,23	19,84	10,32	91,88	0,99	1,85	1,7	0,15	0,1	2462,7	0,1	2,62	**2,62**
16.07.2001	16,30	18,04	9,38	90,72	1,46	1,86	1,7	0,17	0,1	2462,5	0,1	2,38	**2,38**
17.07.2001	14,03	4,70	2,45	99,59	1,10	1,60	1,6	0,01	0,1	2467,9	0,1	0,56	**0,56**
18.07.2001	11,40	7,86	4,09	98,04	1,98	1,35	1,3	0,03	0,1	2474,1	0,1	0,83	**0,83**
19.07.2001	12,82	22,99	11,95	86,58	1,38	1,48	1,3	0,20	0,1	2470,8	0,1	2,81	**2,81**
20.07.2001	14,63	25,90	13,47	81,18	1,64	1,67	1,4	0,31	0,1	2466,5	0,1	3,40	**3,40**
21.07.2001	15,88	20,13	10,47	80,78	1,49	1,81	1,5	0,35	0,1	2463,5	0,1	2,85	**2,85**
22.07.2001	13,16	20,16	10,48	84,58	1,64	1,52	1,3	0,23	0,1	2469,9	0,1	2,56	**2,56**
23.07.2001	14,60	25,50	13,26	78,74	1,59	1,66	1,3	0,35	0,1	2466,5	0,1	3,41	**3,41**
24.07.2001	14,27	11,06	5,75	83,91	1,56	1,63	1,4	0,26	0,1	2467,3	0,1	1,64	**1,64**
25.07.2001	10,11	5,60	2,91	98,83	1,16	1,24	1,2	0,01	0,1	2477,1	0,1	0,61	**0,61**
26.07.2001	9,17	3,48	1,81	99,34	0,81	1,16	1,2	0,01	0,1	2479,4	0,1	0,38	**0,38**
27.07.2001	12,23	14,08	7,32	94,39	1,05	1,43	1,3	0,08	0,1	2472,1	0,1	1,68	**1,68**
28.07.2001	16,71	25,30	13,16	72,71	1,46	1,90	1,4	0,52	0,1	2461,6	0,1	3,73	**3,73**
29.07.2001	17,18	20,03	10,42	81,25	1,38	1,96	1,6	0,37	0,1	2460,5	0,1	2,91	**2,91**
30.07.2001	17,57	23,85	12,40	82,87	1,50	2,01	1,7	0,34	0,1	2459,5	0,1	3,37	**3,37**
31.07.2001	17,64	22,59	11,75	81,89	1,52	2,02	1,7	0,37	0,1	2459,4	0,1	3,25	**3,25**

	Temperatur [°C] 2 m	Globalstrahlung [MJ/m2]	Strahlungsbilanz [MJ/m2]	rel. Luftfeuchte [%]	Windgeschwindigkeit [m/s]	Sättigungsdampfdruck [kPa]	aktueller Dampfdruck [kPa]	VPD [kPa]	Δ [kPa/°C]	Latente Wärme λ[kJ/kg]	Psychromterkonstante γ [kPa/°C]	ET_0 [mm]	$CorrET_0$
01.08.2002	16,75	13,36	6,94	91,28	1,44	1,91	1,7	0,17	0,1	2461,5	0,1	1,83	**1,83**
02.08.2002	15,50	20,82	10,83	86,70	1,56	1,76	1,5	0,23	0,1	2464,4	0,1	2,75	**2,75**
03.08.2002	17,41	22,25	11,57	84,41	1,49	1,99	1,7	0,31	0,1	2459,9	0,1	3,12	**3,12**
04.08.2002	14,38	7,88	4,10	94,83	1,25	1,64	1,6	0,08	0,1	2467,1	0,1	1,02	**1,02**
05.08.2002	14,42	18,39	9,56	87,48	1,42	1,65	1,4	0,21	0,1	2467,0	0,1	2,39	**2,39**
06.08.2002	12,99	6,45	3,35	97,84	0,93	1,50	1,5	0,03	0,1	2470,3	0,1	0,78	**0,78**
07.08.2002	10,17	2,18	1,13	99,80	1,35	1,24	1,2	0,00	0,1	2477,0	0,1	0,23	**0,23**
08.08.2002	11,54	6,01	3,12	98,24	1,10	1,36	1,3	0,02	0,1	2473,8	0,1	0,69	**0,69**
09.08.2002	11,78	8,14	4,23	95,23	0,87	1,38	1,3	0,07	0,1	2473,2	0,1	0,99	**0,99**
10.08.2002	15,22	17,22	8,95	79,25	1,40	1,73	1,4	0,36	0,1	2465,1	0,1	2,49	**2,49**
11.08.2002	11,37	3,16	1,64	96,56	1,33	1,35	1,3	0,05	0,1	2474,2	0,1	0,40	**0,40**
12.08.2002	10,58	1,74	0,90	98,62	1,99	1,28	1,3	0,02	0,1	2476,0	0,1	0,20	**0,20**
13.08.2002	11,79	3,53	1,84	87,90	2,15	1,38	1,2	0,17	0,1	2473,2	0,1	0,70	**0,70**
14.08.2002	12,84	9,35	4,86	85,40	1,46	1,48	1,3	0,22	0,1	2470,7	0,1	1,34	**1,34**
15.08.2002	12,96	7,53	3,92	91,90	1,05	1,50	1,4	0,12	0,1	2470,4	0,1	1,00	**1,00**
16.08.2002	14,48	10,04	5,22	89,49	1,11	1,65	1,5	0,17	0,1	2466,8	0,1	1,38	**1,38**
17.08.2002	14,64	12,41	6,45	93,59	1,10	1,67	1,6	0,11	0,1	2466,4	0,1	1,60	**1,60**
18.08.2002	14,91	19,89	10,35	86,48	1,40	1,70	1,5	0,23	0,1	2465,8	0,1	2,62	**2,62**
19.08.2002	16,36	21,05	10,94	83,23	1,29	1,86	1,6	0,31	0,1	2462,4	0,1	2,93	**2,93**
20.08.2002	17,61	21,96	11,42	75,97	1,32	2,02	1,5	0,48	0,1	2459,4	0,1	3,30	**3,30**
21.08.2002	13,27	5,73	2,98	94,71	1,17	1,53	1,4	0,08	0,1	2469,7	0,1	0,75	**0,75**
22.08.2002	12,19	12,21	6,35	92,35	0,95	1,42	1,3	0,11	0,1	2472,2	0,1	1,50	**1,50**
23.08.2002	14,26	21,25	11,05	86,84	1,42	1,63	1,4	0,21	0,1	2467,3	0,1	2,72	**2,72**
24.08.2002	16,12	18,35	9,54	85,19	1,27	1,83	1,6	0,27	0,1	2463,0	0,1	2,55	**2,55**
25.08.2002	17,55	20,13	10,47	81,89	1,24	2,01	1,6	0,36	0,1	2459,6	0,1	2,93	**2,93**
26.08.2002	19,72	18,72	9,74	61,73	1,80	2,30	1,4	0,88	0,1	2454,4	0,1	3,58	**3,58**
27.08.2002	16,60	9,73	5,06	77,64	1,47	1,89	1,5	0,42	0,1	2461,8	0,1	1,73	**1,73**
28.08.2002	14,28	11,59	6,03	92,52	1,07	1,63	1,5	0,12	0,1	2467,3	0,1	1,50	**1,50**
29.08.2002	14,14	11,38	5,92	94,50	1,19	1,62	1,5	0,09	0,1	2467,6	0,1	1,43	**1,43**
30.08.2002	15,09	14,96	7,78	88,60	1,29	1,72	1,5	0,20	0,1	2465,4	0,1	2,01	**2,01**
31.08.2002	15,74	18,27	9,50	85,03	1,51	1,79	1,5	0,27	0,1	2463,8	0,1	2,51	**2,51**
01.09.2002	12,90	5,79	3,01	99,30	0,97	1,49	1,5	0,01	0,1	2470,5	0,1	0,68	**0,68**
02.09.2002	12,53	12,07	6,28	93,43	1,09	1,45	1,4	0,10	0,1	2471,4	0,1	1,48	**1,48**
03.09.2002	14,62	18,80	9,77	70,86	1,66	1,67	1,2	0,49	0,1	2466,5	0,1	2,87	**2,87**
04.09.2002	15,69	18,14	9,43	68,52	1,35	1,79	1,2	0,56	0,1	2464,0	0,1	2,87	**2,87**
05.09.2002	12,28	9,09	4,73	91,90	1,40	1,43	1,3	0,12	0,1	2472,0	0,1	1,15	**1,15**
06.09.2002	12,02	15,44	8,03	87,58	1,33	1,41	1,2	0,17	0,1	2472,6	0,1	1,92	**1,92**
07.09.2002	13,04	17,86	9,29	84,74	1,37	1,50	1,3	0,23	0,1	2470,2	0,1	2,30	**2,30**
08.09.2002	14,81	18,04	9,38	77,29	1,43	1,69	1,3	0,38	0,1	2466,0	0,1	2,61	**2,61**
09.09.2002	16,05	17,05	8,87	76,47	1,49	1,83	1,4	0,43	0,1	2463,1	0,1	2,60	**2,60**
10.09.2002	10,73	4,15	2,16	99,82	1,54	1,29	1,3	0,00	0,1	2475,7	0,1	0,43	**0,43**
11.09.2002	10,31	9,15	4,76	92,95	1,25	1,26	1,2	0,09	0,1	2476,7	0,1	1,08	**1,08**
12.09.2002	10,02	15,39	8,00	84,71	1,37	1,23	1,0	0,19	0,1	2477,4	0,1	1,86	**1,86**
13.09.2002	7,18	16,45	8,56	84,54	1,65	1,02	0,9	0,16	0,1	2484,0	0,1	1,78	**1,78**
14.09.2002	8,11	17,09	8,88	82,32	1,49	1,08	0,9	0,19	0,1	2481,9	0,1	1,95	**1,95**
15.09.2002	6,76	4,66	2,42	99,11	1,25	0,99	1,0	0,01	0,1	2485,1	0,1	0,45	**0,45**
16.09.2002	7,31	9,90	5,15	90,91	1,21	1,02	0,9	0,09	0,1	2483,8	0,1	1,09	**1,09**
17.09.2002	7,86	13,86	7,21	86,11	1,55	1,06	0,9	0,15	0,1	2482,4	0,1	1,56	**1,56**
18.09.2002	9,36	16,57	8,62	85,72	1,68	1,18	1,0	0,17	0,1	2478,9	0,1	1,91	**1,91**
19.09.2002	10,15	5,29	2,75	95,26	1,02	1,24	1,2	0,06	0,1	2477,1	0,1	0,64	**0,64**
20.09.2002	11,89	4,69	2,44	99,32	1,06	1,39	1,4	0,01	0,1	2472,9	0,1	0,53	**0,53**
21.09.2002	10,78	5,86	3,05	98,82	0,85	1,30	1,3	0,02	0,1	2475,6	0,1	0,67	**0,67**
22.09.2002	8,08	4,87	2,53	97,75	1,02	1,08	1,1	0,02	0,1	2481,9	0,1	0,52	**0,52**
23.09.2002	5,47	2,15	1,12	100,00	0,92	0,90	0,9	0,00	0,1	2488,1	0,1	0,20	**0,20**
24.09.2002	3,44	1,97	1,02	100,00	0,66	0,78	0,8	0,00	0,1	2492,9	0,1	0,18	**0,18**
25.09.2002	0,79	2,87	1,49	100,00	1,69	0,65	0,6	0,00	0,0	2499,1	0,1	0,20	**0,20**
26.09.2002	1,32	2,12	1,10	100,00	1,08	0,67	0,7	0,00	0,0	2497,9	0,1	0,17	**0,17**
27.09.2002	3,47	1,73	0,90	100,00	0,90	0,78	0,8	0,00	0,1	2492,8	0,1	0,15	**0,15**
28.09.2002	1,54	2,92	1,52	100,00	0,87	0,68	0,7	0,00	0,0	2497,4	0,1	0,24	**0,24**
29.09.2002	2,80	11,18	5,82	92,27	1,19	0,75	0,7	0,06	0,1	2494,4	0,1	1,01	**1,01**
30.09.2002	3,98	14,56	7,57	87,65	1,44	0,81	0,7	0,10	0,1	2491,6	0,1	1,39	**1,39**
01.10.2002	6,51	14,35	7,46	83,28	1,58	0,97	0,8	0,16	0,1	2485,6	0,1	1,58	**1,58**
02.10.2002	7,29	12,75	6,63	83,35	1,52	1,02	0,9	0,17	0,1	2483,8	0,1	1,48	**1,48**
03.10.2002	9,28	11,28	5,87	81,46	1,47	1,17	1,0	0,22	0,1	2479,1	0,1	1,47	**1,47**
04.10.2002	8,62	2,45	1,28	99,49	1,20	1,12	1,1	0,01	0,1	2480,7	0,1	0,25	**0,25**
05.10.2002	6,68	9,98	5,19	88,58	1,30	0,98	0,9	0,11	0,1	2485,2	0,1	1,10	**1,10**
06.10.2002	5,38	3,33	1,73	99,33	1,02	0,90	0,9	0,01	0,1	2488,3	0,1	0,31	**0,31**
07.10.2002	3,54	11,01	5,73	91,21	1,74	0,79	0,7	0,07	0,1	2492,6	0,1	1,01	**1,01**
08.10.2002	3,27	11,36	5,91	87,36	1,55	0,77	0,7	0,10	0,1	2493,3	0,1	1,10	**1,10**
09.10.2002	4,63	12,74	6,62	87,47	1,30	0,85	0,7	0,11	0,1	2490,1	0,1	1,28	**1,28**
10.10.2002	6,26	10,45	5,43	90,22	1,06	0,95	0,9	0,09	0,1	2486,2	0,1	1,11	**1,11**
11.10.2002	4,69	3,63	1,89	100,00	1,31	0,85	0,9	0,00	0,1	2489,9	0,1	0,31	**0,31**
12.10.2002	0,95	1,18	0,61	100,00	1,07	0,65	0,7	0,00	0,0	2498,8	0,1	0,09	**0,09**
13.10.2002	3,16	2,36	1,23	99,89	1,04	0,77	0,8	0,00	0,1	2493,6	0,1	0,20	**0,20**
14.10.2002	5,34	5,05	2,63	99,02	0,84	0,89	0,9	0,01	0,1	2488,4	0,1	0,49	**0,49**
15.10.2002	8,06	4,23	2,20	99,35	0,99	1,08	1,1	0,01	0,1	2482,0	0,1	0,43	**0,43**
16.10.2002	11,02	10,64	5,53	83,55	1,58	1,32	1,1	0,22	0,1	2475,0	0,1	1,45	**1,45**
17.10.2002	7,86	3,78	1,97	94,87	1,62	1,06	1,0	0,05	0,1	2482,5	0,1	0,45	**0,45**
18.10.2002	2,20	5,25	2,73	95,66	1,36	0,72	0,7	0,03	0,1	2495,8	0,1	0,47	**0,47**
19.10.2002	0,97	3,97	2,06	98,97	1,47	0,66	0,6	0,01	0,0	2498,7	0,1	0,30	**0,30**
20.10.2002	1,63	7,18	3,74	93,22	1,10	0,69	0,6	0,05	0,0	2497,1	0,1	0,64	**0,64**
21.10.2002	6,69	6,27	3,26	86,83	1,37	0,98	0,9	0,13	0,1	2485,2	0,1	0,79	**0,79**
22.10.2002	7,78	3,22	1,67	94,82	1,49	1,06	1,0	0,05	0,1	2482,6	0,1	0,40	**0,40**
23.10.2002	7,52	9,71	5,05	87,72	1,71	1,04	0,9	0,13	0,1	2483,2	0,1	1,13	**1,13**
24.10.2002	3,17	6,38	3,32	88,53	1,37	0,77	0,7	0,09	0,1	2493,5	0,1	0,68	**0,68**
25.10.2002	5,84	5,24	2,73	85,80	1,19	0,93	0,8	0,13	0,1	2487,2	0,1	0,68	**0,68**
26.10.2002	8,60	6,39	3,32	72,19	2,06	1,12	0,8	0,31	0,1	2480,7	0,1	1,27	**1,27**
27.10.2002	8,48	7,76	4,03	68,28	1,89	1,11	0,8	0,35	0,1	2481,0	0,1	1,44	**1,44**
28.10.2002	5,06	3,65	1,90	61,74	2,42	0,88	0,5	0,34	0,1	2489,1	0,1	1,20	**1,20**
29.10.2002	4,37	8,17	4,25	72,96	1,65	0,84	0,6	0,23	0,1	2490,7	0,1	1,14	**1,14**
30.10.2002	7,55	2,35	1,22	75,23	2,05	1,04	0,8	0,26	0,1	2483,2	0,1	0,79	**0,79**
31.10.2002	6,53	1,03	0,53	100,00	0,71	0,97	1,0	0,00	0,1	2485,6	0,1	0,10	**0,10**

Temperatur [°C] 2 m]	Globalstrahlung [MJ/m2]	Strahlungsbilanz [MJ/m2]	rel. Luftfeuchte [%]	Windgeschwin-digkeit [m/s]	Sättigungsdampf-druck [kPa]	aktueller Dampf-druck [kPa]		VPD [kPa]		Δ [kPa/°C]	Latente Wärme λ[kJ/kg]	Psychromterkon-stante γ [kPa/°C]		ET_0 [mm]	$CorrET_0$
01.11.2002	7,71	4,37	2,27	99,72	1,22	1,05	1,0	0,00	0,1	2482,8	0,1	0,43	**0,43**
02.11.2002	6,21	1,32	0,69	99,85	1,16	0,95	0,9	0,00	0,1	2486,3	0,1	0,12	**0,12**
03.11.2002	5,15	2,05	1,06	99,45	1,32	0,88	0,9	0,00	0,1	2488,8	0,1	0,19	**0,19**
04.11.2002	1,36	0,99	0,51	99,96	1,35	0,67	0,7	0,00	0,0	2497,8	0,1	0,07	**0,07**
05.11.2002	-0,98	2,13	1,11	99,56	1,69	0,57	0,6	0,00	0,0	2503,3	0,1	0,14	**0,14**
06.11.2002	-1,05	5,67	2,95	95,31	1,30	0,57	0,5	0,03	0,0	2503,5	0,1	0,44	**0,44**
07.11.2002	-2,21	0,50	0,26	95,98	1,35	0,52	0,5	0,02	0,0	2506,2	0,1	0,08	**0,08**
08.11.2002	-2,17	0,17	0,09	100,00	1,73	0,52	0,5	0,00	0,0	2506,1	0,1	0,01	**0,01**
09.11.2002	-4,47	0,06	0,03	99,87	1,34	0,44	0,4	0,00	0,0	2511,5	0,1	0,00	**0,00**
10.11.2002	-0,03	1,12	0,58	91,18	2,21	0,61	0,6	0,05	0,0	2501,1	0,1	0,23	**0,23**
11.11.2002	1,84	1,82	0,95	99,92	1,73	0,70	0,7	0,00	0,0	2496,7	0,1	0,13	**0,13**
12.11.2002	2,78	6,68	3,47	96,96	1,57	0,75	0,7	0,02	0,1	2494,4	0,1	0,56	**0,56**
13.11.2002	2,19	5,54	2,88	90,60	1,66	0,72	0,6	0,07	0,1	2495,8	0,1	0,56	**0,56**
14.11.2002	7,88	0,95	0,49	68,94	1,93	1,07	0,7	0,33	0,1	2482,4	0,1	0,80	**0,80**
15.11.2002	7,63	0,48	0,25	76,74	2,05	1,05	0,8	0,24	0,1	2483,0	0,1	0,60	**0,60**
16.11.2002	13,44	5,16	2,68	55,69	2,55	1,54	0,9	0,68	0,1	2469,3	0,1	2,07	**2,07**
17.11.2002	5,74	6,96	3,62	87,02	1,88	0,92	0,8	0,12	0,1	2487,4	0,1	0,85	**0,85**
18.11.2002	4,85	2,59	1,35	99,78	0,97	0,86	0,9	0,00	0,1	2489,6	0,1	0,24	**0,24**
19.11.2002	2,96	1,14	0,59	100,00	1,77	0,76	0,8	0,00	0,1	2494,0	0,1	0,09	**0,09**
20.11.2002	2,22	4,87	2,53	97,78	1,31	0,72	0,7	0,02	0,1	2495,8	0,1	0,41	**0,41**
21.11.2002	5,20	1,03	0,53	77,96	1,75	0,89	0,7	0,20	0,1	2488,7	0,1	0,51	**0,51**
22.11.2002	4,52	0,86	0,45	85,58	2,22	0,84	0,7	0,12	0,1	2490,3	0,1	0,39	**0,39**
23.11.2002	1,47	5,31	2,76	97,82	1,38	0,68	0,7	0,01	0,0	2497,5	0,1	0,43	**0,43**
24.11.2002	4,72	2,30	1,20	80,88	1,82	0,86	0,7	0,16	0,1	2489,9	0,1	0,56	**0,56**
25.11.2002	10,97	1,61	0,84	64,90	2,64	1,31	0,9	0,46	0,1	2475,1	0,1	1,31	**1,31**
26.11.2002	7,28	3,88	2,02	85,84	1,69	1,02	0,9	0,14	0,1	2483,8	0,1	0,64	**0,64**
27.11.2002	3,63	1,24	0,64	100,00	0,88	0,79	0,8	0,00	0,1	2492,4	0,1	0,11	**0,11**
28.11.2002	4,41	4,88	2,54	95,96	1,42	0,84	0,8	0,03	0,1	2490,6	0,1	0,47	**0,47**
29.11.2002	1,75	1,83	0,95	99,91	1,47	0,69	0,7	0,00	0,0	2496,9	0,1	0,14	**0,14**
30.11.2002	1,61	1,72	0,90	99,58	1,25	0,69	0,7	0,00	0,0	2497,2	0,1	0,14	**0,14**

Temperatur [°C] 2 m]	Globalstrahlung [MJ/m2]	Strahlungsbilanz [MJ/m2]	rel. Luftfeuchte [%]	Windgeschwin-digkeit [m/s]	Sättigungsdampf-druck [kPa]	aktueller Dampf-druck [kPa]		VPD [kPa]		Δ [kPa/°C]	Latente Wärme λ[kJ/kg]	Psychromterkon-stante γ [kPa/°C]		ET_0 [mm]	$CorrET_0$
01.12.2002	1,19	3,22	1,67	96,54	1,41	0,67	0,6	0,02	0,0	2498,2	0,1	0,29	**0,29**
02.12.2002	-0,36	2,79	1,45	93,87	1,25	0,60	0,6	0,04	0,0	2501,8	0,1	0,27	**0,27**
03.12.2002	-0,97	0,75	0,39	99,97	0,75	0,57	0,6	0,00	0,0	2503,3	0,1	0,06	**0,06**
04.12.2002	-1,40	0,72	0,38	100,00	1,08	0,55	0,6	0,00	0,0	2504,3	0,1	0,05	**0,05**
05.12.2002	-0,89	0,60	0,31	100,00	0,61	0,57	0,6	0,00	0,0	2503,1	0,1	0,05	**0,05**
06.12.2002	-0,96	0,39	0,20	100,00	0,82	0,57	0,6	0,00	0,0	2503,3	0,1	0,03	**0,03**
07.12.2002	-0,66	1,01	0,52	100,00	0,66	0,58	0,6	0,00	0,0	2502,5	0,1	0,08	**0,08**
08.12.2002	-1,15	5,26	2,74	88,44	1,68	0,56	0,5	0,06	0,0	2503,7	0,1	0,50	**0,50**
09.12.2002	-4,79	4,40	2,29	65,31	2,60	0,43	0,3	0,15	0,0	2512,3	0,1	0,74	**0,74**
10.12.2002	-6,84	5,35	2,78	65,16	1,83	0,37	0,2	0,13	0,0	2517,1	0,1	0,63	**0,63**
11.12.2002	-7,98	5,29	2,75	87,67	1,33	0,34	0,3	0,04	0,0	2519,8	0,1	0,36	**0,36**
12.12.2002	-4,18	5,06	2,63	80,31	1,41	0,45	0,4	0,09	0,0	2510,9	0,1	0,50	**0,50**
13.12.2002	-2,02	4,19	2,18	88,57	1,25	0,53	0,5	0,06	0,0	2505,8	0,1	0,40	**0,40**
14.12.2002	-2,31	4,90	2,55	92,28	1,32	0,52	0,5	0,04	0,0	2506,4	0,1	0,40	**0,40**
15.12.2002	-3,31	1,89	0,98	98,37	0,80	0,48	0,5	0,01	0,0	2508,8	0,1	0,14	**0,14**
16.12.2002	0,76	4,31	2,24	97,86	1,09	0,65	0,6	0,01	0,0	2499,2	0,1	0,35	**0,35**
17.12.2002	-0,38	0,54	0,28	100,00	1,50	0,59	0,6	0,00	0,0	2501,9	0,1	0,04	**0,04**
18.12.2002	-1,92	0,28	0,15	100,00	1,59	0,53	0,5	0,00	0,0	2505,5	0,1	0,02	**0,02**
19.12.2002	-4,87	3,82	1,99	96,76	1,43	0,43	0,4	0,01	0,0	2512,5	0,1	0,25	**0,25**
20.12.2002	-3,16	5,02	2,61	94,67	1,59	0,48	0,5	0,03	0,0	2508,5	0,1	0,36	**0,36**
21.12.2002	1,07	0,69	0,36	100,00	1,54	0,66	0,7	0,00	0,0	2498,5	0,1	0,05	**0,05**
22.12.2002	2,10	2,68	1,39	99,92	1,26	0,71	0,7	0,00	0,1	2496,1	0,1	0,21	**0,21**
23.12.2002	3,28	0,70	0,36	99,30	1,82	0,77	0,8	0,01	0,1	2493,3	0,1	0,07	**0,07**
24.12.2002	1,65	0,60	0,31	100,00	0,74	0,69	0,7	0,00	0,0	2497,1	0,1	0,05	**0,05**
25.12.2002	1,11	1,58	0,82	100,00	0,66	0,66	0,7	0,00	0,0	2498,4	0,1	0,13	**0,13**
26.12.2002	0,26	4,92	2,56	98,66	1,03	0,62	0,6	0,01	0,0	2500,4	0,1	0,39	**0,39**
27.12.2002	0,87	2,40	1,25	95,64	1,41	0,65	0,6	0,03	0,0	2498,9	0,1	0,23	**0,23**
28.12.2002	5,72	0,80	0,42	76,96	1,83	0,92	0,7	0,21	0,1	2487,5	0,1	0,53	**0,53**
29.12.2002	0,62	1,45	0,75	99,64	1,57	0,64	0,6	0,00	0,0	2499,5	0,1	0,11	**0,11**
30.12.2002	4,23	0,75	0,39	100,00	1,70	0,83	0,8	0,00	0,1	2491,0	0,1	0,06	**0,06**
31.12.2002	2,91	0,77	0,40	100,00	1,42	0,75	0,8	0,00	0,1	2494,1	0,1	0,06	**0,06**

Tab. Annex D - 7: Bodenwasservorratsänderung in [m3m-3] θ_v bzw. [mm] für ausgewählte Regenereignisse (Angaben in Tagen von 0 – 24 Uhr)

	N	θv [m³m⁻³]		0/30 MP1a	30/60 MP1a	0/30 M1b	30/60 MP1b	0/30 MP2a	30/60 MP2a	0/30 M2b	30/60 MP2b	0/30 MP3a	30/60 MP3a	0/30 M3b	30/60 MP3b
10.08.2001	**29,2**	ΔBd			0,1013					-0,0013	-0,0095			0,1061	0,0030
17.08.2001	**22,4**	ΔBd			0,0528					0,0190	0,0121			0,1673	0,0301
12.09.2001	**48,4**	ΔBd			0,0156					-0,0027	-0,0071			0,0167	0,0066
19.05.2002	**28,4**	ΔBd		0,0291	-0,0002	0,0810	0,0104								
28.05.2002	**24,6**	ΔBd		0,0202	-0,0007	0,0543	0,0007								
07.06.2002	**82,8**	ΔBd		0,0327	0,0049	0,1057	0,0089								
28.06.2002	**19,4**	ΔBd		0,0067	-0,0005	0,0545	-0,0023					0,0519	0,0334	0,0325	0,0272
06.07.2002	**42,0**	ΔBd		0,0436	0,0075	0,0850	0,0075					0,1730	0,0165	0,3185	0,0376
6.-8.8.02	**97,2**	ΔBd		0,0365	-0,0046	0,0479	-0,0056					0,1334	0,0887	0,1738	0,0325
11.-13.8..02	**144,0**	ΔBd		0,0172	-0,0047	0,0354	-0,0046					0,0697	0,0303	0,0780	0,0236
21.-22.8.02	**25,6**	ΔBd		0,0229	0,0031	0,0478	0,0031	0,0321	0,0029	0,0236	0,0025	0,1124	0,0184	0,1060	0,0320
10.09.2002	**11,6**	ΔBd		0,0137	0,0016	0,0377	0,0010	0,0267	0,0005	0,0191	0,0015	0,0748	0,0125	-0,0236	0,0180

	N	[mm]	0/30 MP1a	30/60 MP1a	0/30 M1b	30/60 MP1b	0/30 MP2a	30/60 MP2a	0/30 M2b	30/60 MP2b	0/30 MP3a	30/60 MP3a	0/30 M3b	30/60 MP3b
10.08.2001	**29,2**	ΔBd		30,3886					-0,3753	-2,8548			31,8331	0,8949
17.08.2001	**22,4**	ΔBd		15,8441					5,7095	3,6298			50,1770	9,0243
12.09.2001	**48,4**	ΔBd		4,6911					-0,7982	-2,1419			4,9973	1,9656
19.05.2002	**28,4**	ΔBd	8,7326	-0,0485	24,2911	3,1146								
28.05.2002	**24,6**	ΔBd	6,0488	-0,2165	16,2879	0,2135								
07.06.2002	**82,8**	ΔBd	9,7992	1,4592	31,7143	2,6824								
28.06.2002	**19,4**	ΔBd	1,9993	-0,1628	16,3588	-0,6980					15,5809	10,0066	9,7442	8,1522
06.07.2002	**42,0**	ΔBd	13,0922	2,2540	25,5105	2,2445					51,9116	4,9637	95,5479	11,2818
6.-8.8.02	**97,2**	ΔBd	10,9448	-1,3805	14,3610	-1,6767					40,0344	26,6241	52,1340	9,7616
11.-13.8..02	**144,0**	ΔBd	5,1561	-1,4061	10,6182	-1,3774					20,9119	9,0826	23,3948	7,0879
21.-22.8.02	**25,6**	ΔBd	6,8817	0,9167	14,3422	0,9167	9,6170	0,8717	7,0705	0,7554	33,7192	5,5225	31,8107	9,6087
10.09.2002	**11,6**	ΔBd	4,0989	0,4864	11,3215	0,2953	8,0124	0,1644	5,7339	0,4357	22,4334	3,7552	-7,0836	5,3941

θ_v [m^3 m^{-3}]	V1 2001	V2 2001	V3 2001	V1 0-30cm	V1 30-60cm	V2 0-30cm	V2 30-60cm	V3 0-30cm	V3 30-60 cm	Ø 0-30cm	Ø 30-60cm
MW	0,6042	0,5508	0,6254	0,7444	0,5593	0,5535	0,5481	0,5918	0,6589	0,5139	0,5168
SD	0,0854	0,0200	0,0659	0,0118	0,0358	0,0233	0,0156	0,0689	0,0413	0,0405	0,0284

2001

Durchschnitt über alle Varianten beider Messperioden

θ_v [m^3 m^{-3}]	V1 2002	V2 2002	V3 2002	V1 0-30cm	V1 300-60cm	V2 0-30cm	V2 30-60cm	V3 0-30cm	V3 30-60cm
MW	0,6354	0,5562	0,5870	0,6217	0,6491	0,5615	0,5508	0,5241	0,6517
SD	0,0484	0,0270	0,0986	0,0568	0,0318	0,0326	0,0184	0,0900	0,0561

2002

Tab. Annex D - 8: Durchschnittlicher Wasseranteil pro Variante bzw. Messtiefe

ANNEX E: TABELLEN UND ABBILDUNGEN ZU BLOCK E

Tab. Annex E - 1: Ergebnisprotokoll der nicht linearen Regressionsanalyse zur Berechnung der Höhenkurve nach Pollanschütz

Höhe nach Pollanschütz

Iteration	Residual SS	a	b
1	1069,219875	,500000000	,500000000
1.1	1748,587710	2,78744338	-,64740045
1.2	710,4540649	1,16570952	,124369984
2	710,4540649	1,16570952	,124369984
2.1	287,9920470	2,14859680	-,65516409
3	287,9920470	2,14859680	-,65516409
3.1	112,5771499	2,32563286	-1,8185642
4	112,5771499	2,32563286	-1,8185642
4.1	35,15267583	2,59978808	-3,5249747
5	35,15267583	2,59978808	-3,5249747
5.1	26,56012129	2,69369163	-4,3886133
6	26,56012129	2,69369163	-4,3886133
6.1	26,33098525	2,71033338	-4,5573286
7	26,33098525	2,71033338	-4,5573286
7.1	26,32976845	2,71165978	-4,5701696
8	26,32976845	2,71165978	-4,5701696
8.1	26,32976475	2,71173668	-4,5708818
9	26,32976475	2,71173668	-4,5708818
9.1	26,32976474	2,71174085	-4,5709203

Run stopped after 19 model evaluations and 9 derivative evaluations.
Iterations have been stopped because the relative reduction between successive residual sums of squares is at most SSCON = 1,000E-08

Nonlinear Regression Summary Statistics Dependent Variable H

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square
Regression	2	1921,15024	960,57512
Residual	29	26,32976	,90792
Uncorrected Total	31	1947,48000	
(Corrected Total)	30	522,18839	

R squared = 1 - Residual SS / Corrected SS = ,94958

Parameter	Estimate	Asymptotic Std. Error	Asymptotic 95 % Confidence Interval Lower	Upper
a	2,711740851	,046678412	2,616272780	2,807208922
b	-4,570920302	,362037726	-5,311370590	-3,830470013

Asymptotic Correlation Matrix of the Parameter Estimates

	a	b
a	1,0000	-,8414
b	-,8414	1,0000

Tab. Annex E - 2: Biometrische Kenndaten getrennt nach Varianten innerhalb des Gesamtbestandes

			Fläche [ha]	fixe Probekreise n	Baumarten	Stammzahl N/ha	Baumartenanteil [%]	Grundfläche G/ha [m²]	Vorrat Schaftholz/ha nach Pollanschütz fs Poll [fm]	Grundflächenmittelstamm dg [cm]	Arithmetische Mittelhöhe hA [m]	Lorey'sche Mittelhöhe hL [m]	Oberhöhe nach Weise h20 [m]	Durchmesser nach Weise d20 [m]	gesamte erfasste Stammzahl n
V1 PK 1-20	Variante V1 Probekreise 1-20	*Alnus ssp.* Mill.				1.490,0	91,4	8,16	35,24	8,4	7,1	8,4	9,8	12,5	149
		Sorbus aucuparia L.				50,0	3,1	0,11	0,40	5,3	5,7	5,7	6,1	6,0	5
		Picea abies (L.) Karst.				60,0	3,7	0,11	0,27	5,0	3,3	3,4	3,9	6,0	6
		Acer pseudoplatanus L.				10,0	0,6	0,04	0,12	7,0	9,5	9,5	9,5	7,0	1
		Salix ssp. L.				10,0	0,6	0,05	0,15	8,0	6,0	6,0	6,0	8,0	1
		Abies alba P.Mill.				10,0	0,6	0,01	0,02	4,0	3,0	3,0	3,0	4,0	1
		Betula pendula Roth.				10,0	0,6	0,13	0,56	13,0	8,5	8,5	8,5	8,5	1
		V1	**5**	**20**	**7**	**1.630,0**	**100,6**	**8,5**	**36,2**						**164**
V2 PK 1-20	Variante V2 Probekreise 1-20	*Alnus ssp.* Mill.				590,0	63,4	2,08	7,77	6,7	5,8	6,9	8,2	10,4	59
		Sorbus aucuparia L.				110,0	11,8	0,20	0,71	4,8	5,4	5,5	5,6	6,0	11
		Picea abies (L.) Karst.				50,0	5,4	0,28	1,07	8,4	5,7	7,3	8,5	14,0	5
		Acer pseudoplatanus L.				60,0	6,5	0,14	0,22	5,5	6,5	6,4	6,4	6,8	6
		Salix ssp. L.				80,0	8,6	0,43	1,55	8,3	7,4	7,9	8,2	10,6	8
		Abies alba P.Mill.				30,0	3,2	0,11	0,43	6,8	6,7	6,8	7,0	8,0	3
		Betula pendula Roth.				10,0	1,1	0,04	0,15	7,0	6,5	6,5	6,5	7,0	1
		V2	**5**	**20**	**7**	**930,0**	**100,0**	**3,3**	**11,9**						**93**
V3 PK 1-20	Variante V3 Probekreise 1-20	*Alnus ssp.* Mill.				1.610,0	80,5	9,06	42,26	8,5	7,6	9,2	11,1	13,1	161
		Sorbus aucuparia L.				150,0	7,5	0,34	1,44	5,4	7,2	7,3	8,0	7,1	15
		Picea abies (L.) Karst.				90,0	4,5	0,23	0,73	5,7	4,5	5,2	6,4	7,6	9
		Acer pseudoplatanus L.				60,0	3,0	0,33	1,19	8,32	8,0	9,8	9,9	12,8	6
		Salix ssp. L.				50,0	2,5	0,31	1,08	8,9	7,5	7,9	8,5	12,0	5
		Abies alba P.Mill.				40,0	2,0	0,10	0,42	5,7	5,5	7,3	9,0	9,0	4
		Betula pendula Roth.				0,0	0,0								
		V3	**5**	**20**	**6**	**2.000,0**	**100,0**	**10,4**	**47,1**						**200**

Tab. Annex E - 3: Baumdaten der Probestämme zur Biomasseermittlung des Grauerlenbestandes (GE)

Laufende Nummer	Baumart	Baumkennzeichnungsnummer	BHD-Klasse	BHD [cm]	D10 [cm]	H [m]	SLA [cm²/g]	BLFL [m²/Baum]	FSAHR [kg]	FZW [kg]	FBL [kg]	FFR [kg]	F_ges [kg]	TSAHR [kg]	TZW [kg]	TBL [kg]	TFR [kg]	T_ges [kg]
1	Alnus incana	4	18	18,2	23,2	12,3	151,7	60,9	155,32	10,50	9,6		175,70	90,16	5,30	4,02	0,11	99,58
2	Alnus incana	3	18	16,2	21,2	13,8	146,7	37,3	129,70	8,84	6,7	2,33	147,56	64,61	4,08	2,54	0,66	71,90
3	Alnus incana	6	14	15,5	20,0	12,3	147,3	34,6	107,04	6,68	7,0	2,06	122,78	50,44	2,91	2,35	0,51	56,21
4	Alnus incana	2	14	14,3	20,5	10,9	147,5	36,6	82,69	7,04	6,1	0,76	96,61	43,06	3,58	2,48	0,24	49,36
5	Alnus incana	5	14	13,1	18,0	12,8	143,6	24,7	84,78	4,64	4,0	0,08	93,54	40,82	2,26	1,72	0,03	44,83
6	Alnus incana	1	14	12,4	16,8	11,0	133,0	19,4	70,36	4,06	3,8	0,51	78,70	38,91	1,76	1,45	0,15	42,28
7	Alnus incana	7	10	11,0	15,5	10,4	133,1	11,8	45,74	2,87	2,6	0,25	51,44	24,88	1,23	0,88	0,05	27,05
8	Alnus incana	8	10	10,3	12,2	11,8	156,9	14,2	39,42	2,04	2,9		44,40	19,50	0,75	0,90	0,00	21,16
9	Alnus incana	10	10	9,3	12,4	10,4	148,9	5,5	28,32	1,40	1,1	0,04	30,84	13,72	0,61	0,37	0,01	14,72
10	Alnus incana	9	10	8,3	12,1	10,0	155,6	4,8	20,52	0,79	1,0		22,32	10,17	0,33	0,31	0,00	10,81
11	Alnus incana	11	10	8,3	10,9	10,6	134,8	5,6	22,82	1,15	1,1	0,05	25,10	13,91	0,54	0,42	0,01	14,89
12	Alnus incana	12	6	7,2	10,7	10,5	164,4	4,8	20,02	1,42	0,9	0,01	22,34	11,70	0,62	0,29	0,00	12,61
13	Alnus incana	13	6	6,3	8,5	10,1	152,4	3,9	14,88	0,87	0,7		16,42	8,06	0,41	0,25	0,00	8,72
14	Alnus incana	14	6	4,3	7,3	5,3	153,0	4,1	5,70	0,85	0,7	0,04	7,28	2,73	0,39	0,27	0,01	3,39
15	Alnus incana	15	6	4,1	5,6	5,7	156,9	3,0	3,70	0,54	0,5	0,15	4,86	1,86	0,24	0,19	0,04	2,33
16	Alnus incana	11	≤4	4,0	6,4	5,1	143,2	4,0	4,52	0,92	0,80		3,35	1,4500	0,42	0,278		3,35
17	Alnus incana	19	≤4	3,6	5,3	7,2	149,9	3,2	2,12	0,64	0,57		3,32	1,1052	0,30	0,215		1,62
18	Alnus incana	14	≤4	3,3	4,8	3,3	121,7	1,9	1,99	0,48	0,36		2,82	1,2378	0,22	0,156		1,62
19	Alnus incana	8	≤4	3,2	5,2	4,9	149,4	0,6	2,04	0,19	0,12		2,35	1,0459	0,08	0,043		1,17
20	Alnus incana	2	≤4	3,0	4,6	4,5	155,8	1,4	1,82	0,44	0,23		2,49	0,9867	0,21	0,090		1,28
21	Alnus incana	1	≤4	2,8	4,2	4,2	131,6	0,7	1,47	0,32	0,14		1,93	0,8265	0,16	0,056		1,04
22	Alnus incana	20	≤4	2,7	4,3	2,5	146,2	1,4	1,28	0,21	0,26		1,76	0,7249	0,10	0,097		0,92
23	Alnus incana	9	≤4	1,9	3,0	3,6	162,8	0,7	0,69	0,19	0,12		0,99	0,4523	0,09	0,040		0,58
24	Alnus incana	5	≤4	1,5	2,5	2,5	158,0	0,5	0,31	0,09	0,08		0,48	0,1563	0,04	0,032		0,23
25	Alnus incana	10	≤4	1,5	2,4	3,2	154,5	0,6	0,48	0,11	0,12		0,70	0,2181	0,05	0,041		0,31
26	Alnus incana	17	≤4	1,4	3,0	2,8	128,1	1,4	0,44	0,16	0,21		0,81	0,2514	0,08	0,113		0,45
27	Alnus incana	7	≤4	1,3	2,8	2,5	193,1	1,7	0,46	0,37	0,25		1,08	0,2693	0,17	0,088		0,53
28	Alnus incana	12	≤4	0,7	2,2	2,1	118,2	0,3	0,21	0,08	0,07		0,36	0,1148	0,04	0,028		0,18
29	Alnus incana	13	≤4	0,5	3,4	1,5	127,5	0,3	0,23	0,07	0,08		0,38	0,1260	0,03	0,022		0,18
30	Alnus incana	6	≤4	0,5	1,9	1,4	113,2	0,1	0,10	0,05	0,02		0,17	0,0508	0,02	0,008		0,08
31	Alnus incana	18	≤4	0,3	1,0	1,4	151,4	0,1		0,08	0,02		0,10	0,0000	0,04	0,007		0,05
32	Alnus incana	15	≤4		1,5	1,3	133,7	0,2	0,07	0,04	0,04		0,14	0,0345	0,02	0,015		0,07
33	Alnus incana	4	≤4		1,3	1,3	325,2	0,2	0,02	0,04	0,02		0,07	0,0088	0,02	0,005		0,03
34	Alnus incana	3	≤4		1,1	0,9	177,8	0,1		0,04	0,01		0,05	0,0000	0,02	0,004		0,02
35	Alnus incana	16	≤4		0,8	1,3	121,7	0,1		0,03	0,01		0,04	0,0000	0,02	0,006		0,02
Mittelwert				*6,2*	*7,9*	*6,2*	*151,1*	*8,3*	*26,5*	*1,7*	*1,5*	*0,6*	*27,5*	*12,7*	*0,8*	*0,6*	*0,1*	*14,1*
Standardabweichung				*5,3*	*6,7*	*4,3*	*34,5*	*14,1*	*42,1*	*2,7*	*2,4*	*0,8*	*46,4*	*21,7*	*1,3*	*0,9*	*0,2*	*24,0*

Tab. Annex E - 4: Allometrische Funktionen zur Biomasseberechnung der Grauerle (GE)

Datengrundlage		Funktion	R^2	SE	Korrekturfaktor cf ($SE^2/2$)	Freiheitsgrade	Signifikanz F	F-Wert	Konstante c	Koeffizient a	SE Konstante	SE Koeffizient	Signifikanz T	N	MW abh. Var.	MW unabh. Var.	SE abh. Var.	SE unabh. Var.	Modellvorraus-etzungen	Bias	MSE	MD
GE (Alnus incana Gesamtbestand)	[16]	lnBLFL = c + a*ln(D10²H)	0,9360	0,50	0,12	$F_{1,33}$	0,000	479,2	-2,62	0,68	0,17	0,03	0,00	35	0,7	0,5	1,9	2,8	tw.erf.	-0,63	34,60	2,73
	[17]	lnBLFL = c + a*ln(D10*H)	0,9320	0,51	0,13	$F_{1,33}$	0,000	452,4	-2,64	1,04	0,18	0,05	0,00	35	0,7	3,2	1,9	1,8	tw.erf.	-0,84	44,94	3,10
	[18]	lnBLFL = c + a*lnBHD	0,9080	0,53	0,14	$F_{1,29}$	0,000	287,4	-0,90	1,46	0,15	0,09	0,00	31	1,0	1,3	1,7	1,1	tw.erf.	-1,28	39,15	3,03
	[19]	lnFSHR= c + a*lnD10	0,6780	1,37	0,94	$F_{1,27}$	0,000	56,8	-2,22	2,06	0,56	0,27	0,00	29	1,5	1,8	2,4	0,9	n.erf.	-0,52	449,53	13,55
	[20]	lnFAHR = c + a*lnD10	0,6150	1,20	0,72	$F_{1,30}$	0,000	48,0	-3,35	1,61	0,46	0,23	0,00	32	-0,5	1,8	1,9	0,9	n.erf.	-0,21	7,82	1,52
	[21]	lnFSAHR = c + a*lnD10	0,9750	0,40	0,08	$F_{1,30}$	0,000	1186,1	-3,96	2,90	1,69	0,08	0,00	32	1,3	1,8	2,5	0,8	erf.	4,04	138,79	5,03
	[22]	lnFZW = c + a*lnD10	0,9270	0,47	0,11	$F_{1,33}$	0,000	421,8	-3,64	1,73	0,16	0,08	0,00	35	-0,8	1,7	1,7	1,0	tw.erf.	-0,16	0,91	0,46
	[23]	lnFBL = c + a*lnD10	0,9550	0,42	0,09	$F_{1,33}$	0,000	704,2	-4,32	1,97	0,14	0,07	0,00	35	-1,0	1,7	2,0	1,0	erf.	-0,06	0,39	0,34
	[24]	lnFFR = c + a*lnD10	0,3780	1,39	0,97	$F_{1,10}$	0,000	6,1	-7,79	2,31	2,50	0,94	0,00	12	-1,7	2,6	1,7	0,4	tw.erf.	0,10	0,17	0,22
	[25]	lnF_ges = c + a*lnD10	0,9810	0,35	0,06	$F_{1,33}$	0,000	1668,0	-3,02	2,57	0,12	0,06	0,00	35	1,2	1,7	2,5	1,0	erf.	-0,52	41,30	3,39
	[26]	lnTSHR= c + a*lnD10	0,6850	1,35	0,91	$F_{1,27}$	0,000	58,6	-2,85	2,06	0,55	0,27	0,00	29	0,9	1,8	2,4	0,9	n.erf.	6,91	123,27	7,05
	[27]	lnTAHR = c + a*lnD10	0,6050	1,23	0,75	$F_{1,30}$	0,000	46,0	-4,02	1,60	0,47	0,24	0,00	32	-1,2	1,8	1,9	0,9	n.erf.	-0,17	3,30	0,88
	[28]	lnTSAHR =c + a*lnD10	0,9780	0,38	0,07	$F_{1,30}$	0,000	1327,2	-4,62	2,91	0,16	0,08	0,00	32	0,7	1,8	2,5	0,8	erf.	2,05	36,06	2,74
	[29]	lnTZW =c + a*lnD10	0,9210	0,49	0,12	$F_{1,33}$	0,000	385,9	-4,36	1,71	0,17	0,09	0,00	35	-1,5	1,7	1,7	1,0	tw.erf.	-0,09	0,28	0,25
	[30]	lnTBL =c + a*lnD10	0,9400	0,48	0,12	$F_{1,33}$	0,000	518,3	-5,28	1,96	0,16	0,09	0,00	35	-2,0	1,7	1,9	1,0	erf.	-0,02	0,08	0,14
	[31]	lnTFR =c + a*lnD10	0,4360	1,34	0,90	$F_{1,10}$	0,019	7,7	-9,62	2,51	2,41	0,90	0,02	12	-3,0	2,6	1,7	0,4	n.erf.	0,02	0,01	0,05
	[32]	lnT_ges =c + a*lnD10	0,9830	0,33	0,06	$F_{1,33}$	0,000	1931,2	-3,74	2,61	0,11	0,06	0,00	35	0,6	1,7	2,5	1,0	erf.	0,33	14,28	1,60
	[33]	lnTSAHR =c + a*ln(D10*H)	0,9810	0,35	0,06	$F_{1,30}$	0,000	1574,9	-4,63	1,53	0,15	0,04	0,00	32	-0,7	3,5	2,5	1,6	tw.erf.	-0,58	29,55	1,94
	[34]	lnTZW =c + a*ln(D10*H)	0,9180	0,50	0,13	$F_{1,33}$	0,000	367,1	-4,45	0,92	0,17	0,05	0,00	35	-1,5	3,2	1,7	1,8	erf.	-0,12	0,48	0,33
	[35]	lnTBL =c + a*ln(D10*H)	0,9310	0,52	0,14	$F_{1,33}$	0,000	445,4	-5,36	1,05	0,18	0,05	0,00	35	-2,0	3,2	1,9	1,8	erf.	-0,05	0,19	0,21
	[36]	lnTFR =c + a*ln(D10*H)	0,3640	1,42	1,02	$F_{1,10}$	0,038	5,7	-10,08	1,43	2,99	0,60	0,04	12	-3,0	5,0	1,7	0,7	n.erf.	0,03	0,01	0,05
	[37]	lnT_ges =c + a*ln(D10*H)	0,9850	0,31	0,05	$F_{1,33}$	0,000	2230,9	-3,88	1,41	0,11	0,03	0,00	35	0,6	3,2	2,5	1,8	erf.	-1,53	52,65	2,81
	[38]	lnTSAHR =c + a*lnBHD	0,9610	0,45	0,10	$F_{1,28}$	0,000	693,3	-1,96	2,09	0,14	0,08	0,00	30	1,0	1,4	2,2	1,0	n.erf.	-1,42	25,67	2,24
	[39]	lnTZW =c + a*lnBHD	0,8740	0,56	0,16	$F_{1,29}$	0,000	200,9	-2,90	1,28	0,16	0,09	0,00	31	-1,2	1,3	1,5	1,1	tw.erf.	-0,12	0,45	0,33
	[40]	lnTBL =c + a*lnBHD	0,9010	0,55	0,15	$F_{1,29}$	0,000	264,9	-3,55	1,43	0,15	0,88	0,00	31	-1,6	1,3	1,7	1,1	erf.	-0,07	0,18	0,21
	[41]	lnTFR =c + a*lnBHD	0,4570	1,32	0,87	$F_{1,10}$	0,016	8,4	-8,43	2,34	1,91	0,81	0,02	12	-3,0	2,3	1,7	0,5	n.erf.	0,02	0,01	0,05
	[42]	lnT_ges =c + a*lnBHD	0,9600	0,45	0,10	$F_{1,29}$	0,000	688,7	-1,42	1,90	0,13	0,07	0,00	31	1,1	1,3	2,2	1,1	tw.erf.	-2,23	49,91	3,10

Tab. Annex E - 5: Berechnete Biomassen für die Probestämme des Grauerlenbestandes (GE)

Laufende Nummer	Baumart	Baumkennzeichnungsnummer	BHD-Klasse	D10 [cm]	H Pollanschütz [m]	SLA [cm²/g]	BLFL [m²/Baum]	FSAHR [kg]	FZW [kg]	FBL [kg]	FFR [kg]	F_ges [kg]	FGES [kg]	TSAHR [kg]	TZW [kg]	TBL [kg]	TFR [kg]	T_ges [kg]	TGES [kg]
		Funktion		[1]			[16]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]		[11]	[12]	[13]	[14]	[15]	
1	Alnus incana	4	18	23,8	13,0	145,5	32,75	140,57	5,75	5,98	1,43	129,77	153,73	73,08	2,61	2,25	0,40	71,51	78,34
2	Alnus incana	3	18	21,3	12,7	145,5	31,33	131,61	5,53	5,71	1,35	122,35	144,20	68,41	2,51	2,15	0,38	67,35	73,45
3	Alnus incana	6	14	20,4	12,5	145,7	26,77	104,16	4,80	4,87	1,12	99,26	114,95	54,11	2,19	1,84	0,30	54,45	58,44
4	Alnus incana	2	14	18,9	12,2	145,7	25,50	96,91	4,60	4,64	1,05	93,06	107,19	50,34	2,10	1,75	0,29	50,99	54,47
5	Alnus incana	5	14	17,4	11,9	145,8	23,83	87,65	4,33	4,33	0,97	85,07	97,28	45,52	1,97	1,63	0,26	46,54	49,39
6	Alnus incana	1	14	16,6	11,7	146,0	19,57	65,42	3,63	3,54	0,76	65,50	73,37	33,96	1,66	1,34	0,20	35,68	37,16
7	Alnus incana	7	10	14,8	11,2	146,2	16,89	52,54	3,18	3,05	0,64	53,83	59,41	27,26	1,46	1,16	0,17	29,23	30,04
8	Alnus incana	8	10	13,9	11,0	146,4	13,29	36,80	2,57	2,39	0,48	39,16	42,24	19,08	1,18	0,91	0,12	21,15	21,29
9	Alnus incana	10	10	12,7	10,5	146,5	12,47	33,48	2,43	2,24	0,44	35,98	38,59	17,35	1,12	0,85	0,11	19,41	19,43
10	Alnus incana	9	10	11,4	10,0	146,6	11,74	30,62	2,30	2,11	0,41	33,22	35,45	15,87	1,06	0,80	0,10	17,90	17,83
11	Alnus incana	11	10	11,4	10,0	146,7	10,60	26,30	2,10	1,90	0,36	29,00	30,67	13,63	0,97	0,72	0,09	15,59	15,41
12	Alnus incana	12	6	10,1	9,3	146,7	10,27	25,09	2,04	1,84	0,35	27,81	29,33	13,00	0,94	0,70	0,09	14,93	14,73
13	Alnus incana	13	6	8,9	8,6	147,1	7,31	15,16	1,51	1,31	0,23	17,72	18,20	7,84	0,70	0,50	0,05	9,44	9,10
14	Alnus incana	14	6	6,4	6,5	147,8	3,83	5,81	0,85	0,68	0,11	7,52	7,44	3,00	0,40	0,26	0,02	3,95	3,68
15	Alnus incana	15	6	6,2	6,2	148,1	2,81	3,66	0,64	0,49	0,07	4,97	4,87	1,89	0,30	0,19	0,02	2,60	2,40
16	Alnus incana	11	≤4	6,1	6,1	148,0	3,13	4,29	0,71	0,55	0,08	5,74	5,63	2,22	0,33	0,21	0,02	3,00	2,78
17	Alnus incana	19	≤4	5,6	5,5	148,0	3,04	4,12	0,69	0,54	0,08	5,53	5,42	2,13	0,32	0,21	0,02	2,89	2,67
18	Alnus incana	14	≤4	5,2		148,7	1,57	1,54	0,38	0,27	0,04	2,30	2,24	0,80	0,18	0,11	0,01	1,18	1,09
19	Alnus incana	8	≤4	5,1		148,3	2,30	2,72	0,54	0,40	0,06	3,81	3,71	1,40	0,25	0,15	0,01	1,98	1,82
20	Alnus incana	2	≤4	4,8	4,6	148,6	1,83	1,94	0,44	0,32	0,04	2,82	2,74	1,00	0,21	0,12	0,01	1,46	1,34
21	Alnus incana	1	≤4	4,6	4,2	148,8	1,54	1,50	0,38	0,27	0,04	2,25	2,18	0,77	0,18	0,10	0,01	1,16	1,06
22	Alnus incana	20	≤4	4,4	4,1	149,1	1,11	0,92	0,28	0,19	0,02	1,45	1,42	0,47	0,13	0,07	0,00	0,74	0,69
23	Alnus incana	9	≤4	3,4	2,7	149,4	0,87	0,65	0,23	0,15	0,02	1,06	1,04	0,33	0,11	0,06	0,00	0,54	0,50
24	Alnus incana	5	≤4	2,9	2,0	149,9	0,54	0,32	0,15	0,09	0,01	0,56	0,57	0,16	0,07	0,04	0,00	0,28	0,27
25	Alnus incana	10	≤4	2,9	2,0	149,8	0,60	0,37	0,16	0,10	0,01	0,64	0,65	0,19	0,08	0,04	0,00	0,32	0,31
26	Alnus incana	17	≤4	2,8	1,9	149,6	0,74	0,50	0,20	0,13	0,01	0,85	0,84	0,26	0,09	0,05	0,00	0,43	0,40
27	Alnus incana	7	≤4	2,7	1,7	149,7	0,63	0,40	0,17	0,11	0,01	0,68	0,69	0,20	0,08	0,04	0,00	0,35	0,33
28	Alnus incana	12	≤4	1,9	1,3	150,2	0,40	0,20	0,11	0,07	0,01	0,37	0,39	0,10	0,05	0,03	0,00	0,19	0,19
29	Alnus incana	13	≤4	1,7	1,3	149,8	0,59	0,36	0,16	0,10	0,01	0,62	0,63	0,18	0,08	0,04	0,00	0,31	0,30
30	Alnus incana	6	≤4	1,7		150,8	0,25	0,10	0,07	0,04	0,00	0,20	0,22	0,05	0,04	0,02	0,00	0,10	0,10
31	Alnus incana	18	≤4	1,4		151,8	0,10	0,03	0,03	0,02	0,00	0,06	0,08	0,01	0,02	0,01	0,00	0,03	0,04
32	Alnus incana	15	≤4	1,1		151,2	0,17	0,06	0,05	0,03	0,00	0,12	0,14	0,03	0,03	0,01	0,00	0,06	0,07
33	Alnus incana	4	≤4	1,1		151,4	0,14	0,04	0,04	0,02	0,00	0,09	0,11	0,02	0,02	0,01	0,00	0,05	0,05
34	Alnus incana	3	≤4	1,1		151,9	0,09	0,02	0,03	0,01	0,00	0,05	0,07	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02	0,03
35	Alnus incana	16	≤4	1,1		152,1	0,07	0,02	0,02	0,01	0,00	0,04	0,05	0,01	0,01	0,00	0,00	0,02	0,03
Mittelwert				*7,9*	*7,2*	*148,4*	*7,7*	*25,0*	*1,5*	*1,4*	*0,3*	*25,0*	*28,2*	*13,0*	*0,7*	*0,5*	*0,1*	*13,6*	*14,3*
Standardabweichung				*6,7*	*4,2*	*2,1*	*10,0*	*40,3*	*1,8*	*1,8*	*0,4*	*38,0*	*44,3*	*20,9*	*0,8*	*0,7*	*0,1*	*20,9*	*22,5*

Tab. Annex E - 6: Prozentuelle Anteile der Trocken- an der Frischmasse bzw. der Kompartimente am Gesamtgewicht

	TSAHR [%]	TZW [%]	TBL [%]	TFR [%]	T_ges [%]	TGES [%]	FSAHR [%]	FZW [%]	FBL [%]	FFR [%]	FGES [%]	TSAHR [%]	TZW [%]	TBL [%]	TFR [%]	TGES [%]
	Anteil Trockenmasse an der Frischmasse						*Anteil der jeweiligen Kompartimente am Gesamtgewicht*									
SH	51,8	46,1	38,0	24,9	53,9	50,3	86,3	6,6	5,9	1,1	100,0	88,9	6,0	4,5	0,6	100,0
JW	51,5	47,6	38,7	18,8	51,1	48,4	64,0	20,5	13,8	1,7	100,0	68,1	20,2	11,1	0,7	100,0
GB	51,8	46,6	38,1	23,9	53,6	50,1	83,8	8,2	6,9	1,2	100,0	86,6	7,6	5,2	0,6	100,0
GB Bias-korrigiert	*53,9*	*46,6*	*38,1*	*23,9*	*55,7*	*51,5*	*80,9*	*9,6*	*8,1*	*1,4*	*100,0*	*84,7*	*8,7*	*6,0*	*0,7*	*100,0*

Tab. Annex E - 7: Baumdaten der Probestämme zur Biomasseermittlung der Stockausschlagtriebe der Schwarzerlen (SE STA)

Laufende Nummer	Baumart	Baumkennzeichnungsnummer	BHD-Klasse	BHD [cm]	BD [cm]	H [m]	SLA [cm²/g]	BLFL [m²/Trieb]	FBHR [kg]	FSAHR [kg]	FZW [kg]	FBL [kg]	F_ges [kg]	TBHR [kg]	TSAHR [kg]	TZW [kg]	TBL [kg]	T_ges [kg]
36	Alnus glutinosa	*1/1*	≤4	0,8	2,8	2,0	188,2	1,0	*0,55*	0,30	0,26	*0,148*	0,70	*0,26*	0,15	0,110	0,0550	0,31
37	Alnus glutinosa	*1/6*	≤4	1,7	3,8	3,2	180,0	2,5	*1,36*	0,91	0,45	0,382	1,75	*0,72*	0,51	0,211	0,1410	0,86
38	Alnus glutinosa	1/8	≤4	1,0	1,6	1,9	159,0	0,4	*0,17*	0,08	0,08	0,058	0,23	*0,08*	0,04	0,040	0,0246	0,10
39	Alnus glutinosa	2/1	≤4	0,5	1,3	1,0	161,1	0,1	*0,11*	0,04	0,07	0,020	0,13	*0,06*	0,02	0,038	0,0083	0,07
40	Alnus glutinosa	2/3	≤4	1,0	2,5	2,3	156,6	0,5	*0,52*	0,33	0,18	0,081	0,60	*0,25*	0,17	0,083	0,0333	0,29
41	Alnus glutinosa	2/7	≤4	2,7	4,2	3,0	162,5	2,9	*1,86*	1,24	0,62	0,487	2,35	*1,07*	0,79	0,283	0,1769	1,25
42	Alnus glutinosa	2/16	≤4		0,9	1,4	149,4	0,1	*0,06*		0,06	0,013	0,07	*0,03*		0,030	0,0057	0,04
43	Alnus glutinosa	3/1	≤4	1,2	3,5	2,3	131,6	1,3	*0,95*	0,59	0,36	0,246	1,19	*0,47*	0,31	0,160	0,1009	0,57
44	Alnus glutinosa	3/8	≤4	0,8	1,8	1,7	162,9	0,4	*0,24*	0,13	0,11	0,066	0,31	*0,71*	0,67	0,050	0,0233	0,74
45	Alnus glutinosa	4/1	≤4	0,6	2,8	1,4	263,7	0,1	*0,14*	0,11	0,04	0,010	0,15	*0,07*	0,05	0,020	0,0025	0,08
46	Alnus glutinosa	5/1	≤4	1,2	3,0	1,8	224,1	0,5	*0,49*	0,31	0,18	0,068	0,56	*0,25*	0,17	0,086	0,0233	0,27
47	Alnus glutinosa	5/2	≤4	1,3	2,4	1,7	216,7	0,6	*0,49*	0,28	0,21	0,079	0,57	*0,24*	0,14	0,099	0,0266	0,27
48	Alnus glutinosa	5/31	≤4	2,9	4,7	3,1	177,6	2,7	*2,33*	1,49	0,84	0,419	2,75	*1,19*	0,80	0,396	0,1504	1,34
49	Alnus glutinosa	6/1	≤4	0,9	1,4	1,8	207,3	0,2	*0,26*	0,15	0,11	0,029	0,29	*0,14*	0,09	0,050	0,0095	0,15
50	Alnus glutinosa	6/2	≤4	2,0	3,4	2,8	182,6	1,4	*1,23*	0,73	0,50	0,220	1,45	*0,66*	0,43	0,232	0,0778	0,74
51	Alnus glutinosa	6/8	≤4	1,3	2,4	2,6	151,3	0,8	*0,74*	0,51	0,23	0,136	0,87	*0,39*	0,30	0,096	0,0504	0,44
52	Alnus glutinosa	7/1	≤4	1,2	2,0	2,0	188,5	0,6	*0,53*	0,28	0,25	0,084	0,61	*0,27*	0,15	0,122	0,0298	0,30
53	Alnus glutinosa	8/1	≤4	0,7	2,8	1,7	147,1	0,3	*0,29*	0,19	0,10	0,046	0,34	*0,15*	0,10	0,049	0,0182	0,17
54	Alnus glutinosa	8/4	≤4		0,9	1,1	122,6	0,0	*0,03*		0,03	0,003	0,03	*0,02*		0,016	0,0011	0,02
55	Alnus glutinosa	9/1	≤4		0,5	0,5	239,0	0,0	*0,01*		0,01	0,002	0,01	*0,00*		0,003	0,0004	0,00
56	Alnus glutinosa	9/7	≤4		1,2	0,9	178,7	0,1	*0,06*	0,01	0,05	0,022	0,08	*0,03*	0,01	0,023	0,0077	0,04
57	Alnus glutinosa	9/8	≤4		0,9	1,2	147,7	0,1	*0,03*		0,03	0,016	0,05	*0,01*		0,014	0,0073	0,02
58	Alnus glutinosa	10/1	≤4		1,6	1,2	136,9	0,1	*0,07*	0,02	0,05	0,017	0,09	*0,26*	0,02	0,237	0,0077	0,26
59	Alnus glutinosa	10/7	≤4		0,6	0,3	139,5	0,0	*0,00*		0,00	0,004	0,01	*0,00*	0,00	0,002	0,0019	0,00
60	Alnus glutinosa	11/13	≤4	0,3	1,4	1,5	170,0	0,2	*0,11*	0,05	0,06	0,025	0,13	*0,05*	0,02	0,028	0,0091	0,06
61	Alnus glutinosa	11/14	≤4		1,0	1,3	204,9	0,2	*0,05*		0,05	0,032	0,08	*0,02*		0,018	0,0102	0,03
62	Alnus glutinosa	11/15	≤4	1,0	2,5	1,7	159,6	0,8	*0,56*	0,22	0,34	0,139	0,69	*0,27*	0,11	0,159	0,0524	0,32
63	Alnus glutinosa	12/1	≤4	1,1	2,8	1,9	162,0	1,0	*0,49*	0,31	0,18	0,166	0,66	*0,23*	0,15	0,081	0,0626	0,29
64	Alnus glutinosa	12/13	≤4	3,2	5,2	3,0	178,3	3,3	*3,01*	1,78	1,23	0,499	3,51	*1,54*	0,92	0,617	0,1840	1,72
65	Alnus glutinosa	12/18	≤4	1,3	2,5	1,8	187,7	0,4	*0,15*	0,06	0,09	0,060	0,21	*0,07*	0,03	0,043	0,0214	0,09
66	Alnus glutinosa	13/2	≤4	0,9	1,6	1,7	159,9	0,4	*0,25*	0,19	0,07	0,062	0,31	*0,13*	0,10	0,028	0,0230	0,16
67	Alnus glutinosa	13/14	≤4	0,7	2,1	1,7	160,0	0,4	*0,22*	0,13	0,09	0,065	0,29	*0,11*	0,07	0,037	0,0236	0,13
68	Alnus glutinosa	14/1	≤4	1,2	2,9	2,0	144,7	0,5	*0,56*	0,31	0,26	0,091	0,65	*0,32*	0,19	0,125	0,0347	0,35
69	Alnus glutinosa	14/14	≤4	0,3	1,3	1,5	182,5	0,1	*0,09*	0,04	0,05	0,021	0,11	*0,05*	0,03	0,027	0,0077	0,06
70	Alnus glutinosa	15/2	≤4	1,4	2,9	2,2	175,7	1,1	*0,67*	0,28	0,38	0,179	0,85	*0,37*	0,28	0,089	0,0604	0,43
71	Alnus glutinosa	15/12	≤4	0,5	1,0	1,7	164,2	0,2	*0,12*	0,06	0,06	0,035	0,15	*0,07*	0,04	0,030	0,0115	0,08
	Mittelwert			*1,1*	*1,9*	*1,5*	*167,5*	*0,5*	*0,4*	*0,3*	*0,2*	*0,1*	*0,4*	*0,2*	*0,1*	*0,1*	*0,0*	*0,2*
	Standardabweichung			*0,7*	*1,1*	*0,6*	*26,3*	*0,7*	*0,7*	*0,4*	*0,3*	*0,1*	*0,8*	*0,3*	*0,2*	*0,1*	*0,0*	*0,4*

Tab. Annex E - 8: Allometrische Funktionen zur Biomasseberechnung der Stockausschlagtriebe der Schwarzerlen (SE STA)

Datengrundlage	Funktion	R^2	SE	Korrekturfaktor cf ($SE^2/2$)	Freiheitsgrade	Signifikanz F	F-Wert	Konstante c	Koeffizient a	SE Konstante	SE Koeffizient	Signifikanz T	N	MW Abh.	MW Unabh.	SE Abh.	SE Unabh.	Modellvorrausetzungen	Bias	MSE	MD
SE STA	[61] BHD = c + a*BD	0,8140	0,34		$F_{1,29}$	0,000	126,8	-0,41	0,62	0,15	0,06	0,00	31	1,1	2,4	0,8	1,1	tw.erf.	-0,01	1,08	0,21
	[62] H = c + a*BD	0,7450	0,35		$F_{1,34}$	0,000	99,5	0,67	0,51	0,13	0,05	0,00	36	1,8	2,2	0,7	1,2	erf.	0,01	0,98	0,30
	[63] lnBLFL = c + a*lnBD	0,7900	0,66	0,22	$F_{1,34}$	0,000	127,7	-2,55	2,22	0,17	0,20	0,00	36	-1,1	0,7	1,4	0,6	tw.erf.	0,07	0,09	0,20
	[64] lnBLFL = c + a*ln(BD^2H)	0,8310	0,59	0,17	$F_{1,34}$	0,000	167,6	-2,58	0,82	0,15	0,06	0,00	36	-1,1	1,8	1,3	1,6	tw.erf.	0,03	0,05	0,15
	[65] lnTBHR =c + a*lnBD	0,8290	0,67	0,22	$F_{1,34}$	0,000	165,1	-3,74	2,56	0,17	0,20	0,00	36	-2,1	0,7	1,6	0,6	erf.	0,06	0,04	0,12
	[66] lnTBL =c + a*lnBD	0,7620	0,70	0,24	$F_{1,34}$	0,000	1083,8	-5,36	2,18	0,18	0,21	0,00	36	-3,9	0,7	1,4	0,6	tw.erf.	0,01	0,00	0,01
	[67] lnT_ges =c + a*lnBD	0,8430	0,61	0,18	$F_{1,34}$	0,000	182,6	-3,49	2,45	0,16	0,18	0,00	36	-1,9	0,7	1,5	0,6	erf.	0,05	0,03	0,12
	[68] lnTBHR =c + a*ln(BD^2H)	0,8780	0,56	0,16	$F_{1,34}$	0,000	244,2	-3,78	0,95	0,14	0,06	0,00	36	-2,1	1,8	1,6	1,6	tw.erf.	0,03	0,02	0,09
	[69] lnTBL =c + a*ln(BD^2H)	0,8050	0,63	0,20	$F_{1,34}$	0,000	140,6	-5,40	0,81	0,16	0,07	0,00	36	-3,9	1,8	1,4	1,6	tw.erf.	0,00	0,00	0,01
	[70] lnT_ges =c + a*ln(BD^2H)	0,8878	0,52	0,13	$F_{1,34}$	0,000	265,6	-3,52	0,90	0,13	0,06	0,00	36	-1,9	1,8	1,5	1,6	tw.erf.	0,02	0,02	0,08
GE JW	[71] H = c + a*D10	0,6820	0,93		$F_{1,17}$	0,000	36,4	0,14	0,90	0,48	0,15	0,00	19	2,8	2,9	1,6	1,5	tw.erf.	0,35	0,43	0,52
	[72] lnH = c + a*lnD10	0,6470	0,35	0,06	$F_{1,17}$	0,000	31,2	0,14	0,75	0,15	0,14	0,00	19	0,9	0,9	0,6	0,6	erf.	0,37	0,31	0,45

Tab. Annex E - 9: Berechnete Biomassen der Stockausschlagtriebe nach SE STA

Laufende Nummer	Baumart	Baumkennzeichnungsnummer	BHD-Klasse	H Pollan-schütz [m]	SLA [cm²/g]	BLFL/Trieb [m²]	FBHR [kg]	FBL [kg]	F_ges [kg]	FGES Produkt	TBHR [kg]	TBL [kg]	T_ges [kg]	TGES Produkt
		Funktion				[43]	[44]	[47]	[48]		[49]	[52]	[53]	
36	Alnus glutinosa	1/1	≤4	1,3	167,5	0,82	0,56	0,13	0,68	0,69	0,34	0,05	0,38	0,39
37	Alnus glutinosa	1/6	≤4	2,3	169,4	2,19	1,75	0,35	2,04	2,10	1,08	0,13	1,15	1,21
38	Alnus glutinosa	1/8	≤4	1,5	165,9	0,37	0,23	0,06	0,29	0,29	0,14	0,02	0,16	0,16
39	Alnus glutinosa	2/1	≤4	1,3	163,8	0,13	0,06	0,02	0,09	0,09	0,04	0,01	0,05	0,05
40	Alnus glutinosa	2/3	≤4	1,5	167,5	0,84	0,58	0,14	0,71	0,71	0,36	0,05	0,40	0,41
41	Alnus glutinosa	2/7	≤4	4,1	169,5	2,30	1,84	0,37	2,14	2,21	1,14	0,14	1,21	1,28
42	Alnus glutinosa	2/16	≤4		163,8	0,12	0,06	0,02	0,08	0,08	0,04	0,01	0,05	0,04
43	Alnus glutinosa	3/1	≤4	1,6	168,4	1,30	0,95	0,21	1,14	1,16	0,59	0,08	0,64	0,66
44	Alnus glutinosa	3/8	≤4	1,3	165,9	0,38	0,23	0,06	0,29	0,29	0,14	0,02	0,16	0,16
45	Alnus glutinosa	4/1	≤4	1,3	166,6	0,52	0,33	0,08	0,41	0,41	0,20	0,03	0,23	0,23
46	Alnus glutinosa	5/1	≤4	1,6	167,4	0,78	0,53	0,13	0,65	0,65	0,32	0,05	0,37	0,37
47	Alnus glutinosa	5/2	≤4	1,7	166,7	0,54	0,35	0,09	0,44	0,44	0,21	0,03	0,25	0,25
48	Alnus glutinosa	5/31	≤4	4,4	169,9	2,76	2,28	0,44	2,63	2,73	1,42	0,16	1,49	1,58
49	Alnus glutinosa	6/1	≤4	1,4	165,5	0,29	0,17	0,05	0,22	0,22	0,10	0,02	0,12	0,12
50	Alnus glutinosa	6/2	≤4	2,8	168,8	1,61	1,22	0,26	1,44	1,48	0,75	0,10	0,82	0,85
51	Alnus glutinosa	6/8	≤4	1,7	167,7	0,94	0,65	0,15	0,79	0,80	0,40	0,06	0,45	0,46
52	Alnus glutinosa	7/1	≤4	1,6	166,6	0,53	0,34	0,09	0,42	0,42	0,21	0,03	0,24	0,24
53	Alnus glutinosa	8/1	≤4	1,3	167,0	0,64	0,42	0,10	0,52	0,52	0,26	0,04	0,29	0,30
54	Alnus glutinosa	8/4	≤4		163,2	0,09	0,04	0,01	0,06	0,06	0,03	0,01	0,03	0,03
55	Alnus glutinosa	9/1	≤4		159,8	0,02	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
56	Alnus glutinosa	9/7	≤4		163,4	0,10	0,05	0,02	0,07	0,07	0,03	0,01	0,04	0,04
57	Alnus glutinosa	9/8	≤4		163,4	0,10	0,05	0,02	0,07	0,07	0,03	0,01	0,04	0,04
58	Alnus glutinosa	10/1	≤4		164,8	0,21	0,11	0,03	0,15	0,15	0,07	0,01	0,08	0,08
59	Alnus glutinosa	10/7	≤4		159,0	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
60	Alnus glutinosa	11/13	≤4	1,3	164,9	0,22	0,12	0,04	0,16	0,16	0,08	0,01	0,09	0,09
61	Alnus glutinosa	11/14	≤4		163,7	0,12	0,06	0,02	0,08	0,08	0,04	0,01	0,05	0,04
62	Alnus glutinosa	11/15	≤4	1,5	166,8	0,57	0,37	0,09	0,46	0,46	0,23	0,03	0,26	0,26
63	Alnus glutinosa	12/1	≤4	1,5	167,3	0,76	0,52	0,12	0,63	0,64	0,32	0,05	0,36	0,36
64	Alnus glutinosa	12/13	≤4	4,9	170,0	3,02	2,52	0,49	2,90	3,01	1,57	0,18	1,64	1,75
65	Alnus glutinosa	12/18	≤4	1,7	166,9	0,62	0,40	0,10	0,50	0,50	0,25	0,04	0,28	0,28
66	Alnus glutinosa	13/2	≤4	1,4	165,7	0,32	0,19	0,05	0,25	0,24	0,12	0,02	0,14	0,14
67	Alnus glutinosa	13/14	≤4	1,3	166,3	0,44	0,27	0,07	0,35	0,35	0,17	0,03	0,19	0,19
68	Alnus glutinosa	14/1	≤4	1,6	167,5	0,85	0,59	0,14	0,72	0,72	0,36	0,05	0,40	0,41
69	Alnus glutinosa	14/14	≤4	1,3	164,8	0,21	0,12	0,03	0,15	0,15	0,07	0,01	0,09	0,08
70	Alnus glutinosa	15/2	≤4	1,9	167,8	0,96	0,67	0,16	0,82	0,83	0,42	0,06	0,46	0,47
71	Alnus glutinosa	15/12	≤4	1,3	164,5	0,18	0,10	0,03	0,13	0,12	0,06	0,01	0,07	0,07
	Mittelwert			*1,7*	*165,2*	*0,5*	*0,3*	*0,1*	*0,4*	*0,4*	*0,2*	*0,0*	*0,2*	*0,2*
	Standardabweichung			*1,0*	*2,6*	*0,7*	*0,6*	*0,1*	*0,6*	*0,7*	*0,3*	*0,0*	*0,4*	*0,4*

Tab. Annex E - 10: Baumdaten der Probestämme des Grauerlenjungwuchses (GE JW)

Laufende Nummer	Baumart	Baumkennzeichnungsnummer	BHD-Klasse	BHD [cm]	D10 [cm]	H [m]	SLA [cm²/g]	BLFL [m²/Baum]	FBHR [kg]	FSAHR [kg]	FZW [kg]	FBL [kg]	F_ges [kg]	TBHR [kg]	TSAHR [kg]	TZW [kg]	TBL [kg]	T_ges [kg]
16	Alnus incana	11	≤4	4,0	6,4	5,1	143,2	4,0	5,44	4,52	0,92	0,80	3,35	1,87	1,45	0,42	0,28	3,35
17	Alnus incana	19	≤4	3,6	5,3	7,2	149,9	3,2	2,76	2,12	0,64	0,57	3,32	1,41	1,11	0,30	0,21	1,62
18	Alnus incana	14	≤4	3,3	4,8	3,3	121,7	1,9	2,47	1,99	0,48	0,36	2,82	1,46	1,24	0,22	0,16	1,62
19	Alnus incana	8	≤4	3,2	5,2	4,9	149,4	0,6	2,23	2,04	0,19	0,12	2,35	1,13	1,05	0,08	0,04	1,17
20	Alnus incana	2	≤4	3,0	4,6	4,5	155,8	1,4	2,26	1,82	0,44	0,23	2,49	1,19	0,99	0,21	0,09	1,28
21	Alnus incana	1	≤4	2,8	4,2	4,2	131,6	0,7	1,79	1,47	0,32	0,14	1,93	0,98	0,83	0,16	0,06	1,04
22	Alnus incana	20	≤4	2,7	4,3	2,5	146,2	1,4	1,49	1,28	0,21	0,26	1,76	0,82	0,72	0,10	0,10	0,92
23	Alnus incana	9	≤4	1,9	3,0	3,6	162,8	0,7	0,87	0,69	0,19	0,12	0,99	0,54	0,45	0,09	0,04	0,58
24	Alnus incana	5	≤4	1,5	2,5	2,5	158,0	0,5	0,40	0,31	0,09	0,08	0,48	0,20	0,16	0,04	0,03	0,23
25	Alnus incana	10	≤4	1,5	2,4	3,2	154,5	0,6	0,58	0,48	0,11	0,12	0,70	0,27	0,22	0,05	0,04	0,31
26	Alnus incana	17	≤4	1,4	3,0	2,8	128,1	1,4	0,60	0,44	0,16	0,21	0,81	0,33	0,25	0,08	0,11	0,45
27	Alnus incana	7	≤4	1,3	2,8	2,5	193,1	1,7	0,83	0,46	0,37	0,25	1,08	0,44	0,27	0,17	0,09	0,53
28	Alnus incana	12	≤4	0,7	2,2	2,1	118,2	0,3	0,29	0,21	0,08	0,07	0,36	0,15	0,11	0,04	0,03	0,18
29	Alnus incana	13	≤4	0,5	3,4	1,5	127,5	0,3	0,30	0,23	0,07	0,08	0,38	0,16	0,13	0,03	0,02	0,18
30	Alnus incana	6	≤4	0,5	1,9	1,4	113,2	0,1	0,15	0,10	0,05	0,02	0,17	0,08	0,05	0,02	0,01	0,08
31	Alnus incana	18	≤4	0,3	1,0	1,4	151,4	0,1	0,08		0,08	0,02	0,10	0,04		0,04	0,01	0,05
32	Alnus incana	15	≤4		1,5	1,3	133,7	0,2	0,11	0,07	0,04	0,04	0,14	0,05	0,03	0,02	0,01	0,07
33	Alnus incana	4	≤4		1,3	1,3	325,2	0,2	0,06	0,02	0,04	0,02	0,07	0,03	0,01	0,02	0,01	0,03
34	Alnus incana	3	≤4		1,1	0,9	177,8	0,1	0,04		0,04	0,01	0,05	0,02		0,02	0,00	0,02
35	Alnus incana	16	≤4		0,8	1,3	121,7	0,1	0,03		0,03	0,01	0,04	0,02		0,02	0,01	0,02
	Mittelwert			*2,0*	*3,1*	*2,9*	*153,1*	*1,0*	*1,1*	*1,1*	*0,2*	*0,2*	*1,2*	*0,6*	*0,5*	*0,1*	*0,1*	*0,7*
	Standardabweichung			*1,2*	*1,6*	*1,6*	*45,3*	*1,1*	*1,4*	*1,2*	*0,2*	*0,2*	*1,2*	*0,6*	*0,5*	*0,1*	*0,1*	*0,8*

Tab. Annex E - 11: Berechnete Biomassen für die Probestämme des Grauerlenjungwuchses (GE JW)

Laufende Nummer	Baumart	Baumkennzeichnungsnummer	BHD-Klasse	H Pollanschütz [m]	SLA [cm²/g]	BLFL [m²/Baum]	FBHR [kg]	FBL [kg]	F_ges [kg]	*FGES Produkt*	TBHR [kg]	TBL [kg]	T_ges [kg]	*TGES Produkt*
		Funktion				*[66]*	*[67]*	*[68]*	*[69]*		*[70]*	*[71]*	*[72]*	
16	Alnus incana	11	≤4	6,1	141,5	3,00	4,21	0,54	4,62	*4,75*	2,5	0,212	2,73	*2,75*
17	Alnus incana	19	≤4	5,5	143,3	2,13	2,68	0,38	2,99	*3,06*	1,6	0,149	1,72	*1,72*
18	Alnus incana	14	≤4		144,2	1,78	2,11	0,31	2,38	*2,42*	1,2	0,123	1,35	*1,35*
19	Alnus incana	8	≤4		143,4	2,05	2,56	0,37	2,86	*2,92*	1,5	0,143	1,64	*1,64*
20	Alnus incana	2	≤4	4,6	144,6	1,64	1,90	0,29	2,16	*2,20*	1,1	0,114	1,21	*1,21*
21	Alnus incana	1	≤4	4,2	145,5	1,39	1,53	0,24	1,75	*1,78*	0,9	0,096	0,97	*0,97*
22	Alnus incana	20	≤4	4,1	145,2	1,45	1,62	0,26	1,85	*1,88*	0,9	0,100	1,03	*1,03*
23	Alnus incana	9	≤4	2,7	148,7	0,75	0,68	0,13	0,81	*0,81*	0,4	0,051	0,43	*0,42*
24	Alnus incana	5	≤4	2,0	150,5	0,54	0,44	0,09	0,53	*0,53*	0,2	0,036	0,27	*0,27*
25	Alnus incana	10	≤4	2,0	150,9	0,50	0,40	0,08	0,48	*0,48*	0,2	0,033	0,25	*0,24*
26	Alnus incana	17	≤4	1,9	148,7	0,75	0,68	0,13	0,81	*0,81*	0,4	0,051	0,43	*0,42*
27	Alnus incana	7	≤4	1,7	149,4	0,67	0,58	0,11	0,69	*0,69*	0,3	0,045	0,36	*0,36*
28	Alnus incana	12	≤4	1,3	151,8	0,43	0,32	0,07	0,39	*0,40*	0,2	0,028	0,20	*0,20*
29	Alnus incana	13	≤4	1,3	147,5	0,95	0,92	0,16	1,08	*1,08*	0,5	0,064	0,58	*0,57*
30	Alnus incana	6	≤4		153,3	0,33	0,23	0,05	0,28	*0,28*	0,1	0,021	0,14	*0,14*
31	Alnus incana	18	≤4		159,9	0,10	0,05	0,02	0,06	*0,06*	0,0	0,006	0,03	*0,03*
32	Alnus incana	15	≤4		155,7	0,21	0,13	0,03	0,16	*0,16*	0,1	0,014	0,08	*0,08*
33	Alnus incana	4	≤4		157,2	0,16	0,09	0,03	0,12	*0,12*	0,0	0,010	0,05	*0,06*
34	Alnus incana	3	≤4		158,9	0,12	0,06	0,02	0,08	*0,08*	0,0	0,008	0,04	*0,04*
35	Alnus incana	16	≤4		162,3	0,07	0,03	0,01	0,04	*0,04*	0,0	0,004	0,02	*0,02*
	Mittelwert			*3,1*	*150,1*	*1,0*	*1,1*	*0,2*	*1,2*	*1,2*	*0,6*	*0,1*	*0,7*	*0,7*
	Standardabweichung			*1,7*	*6,1*	*0,8*	*1,1*	*0,1*	*1,3*	*1,3*	*0,7*	*0,1*	*0,7*	*0,7*

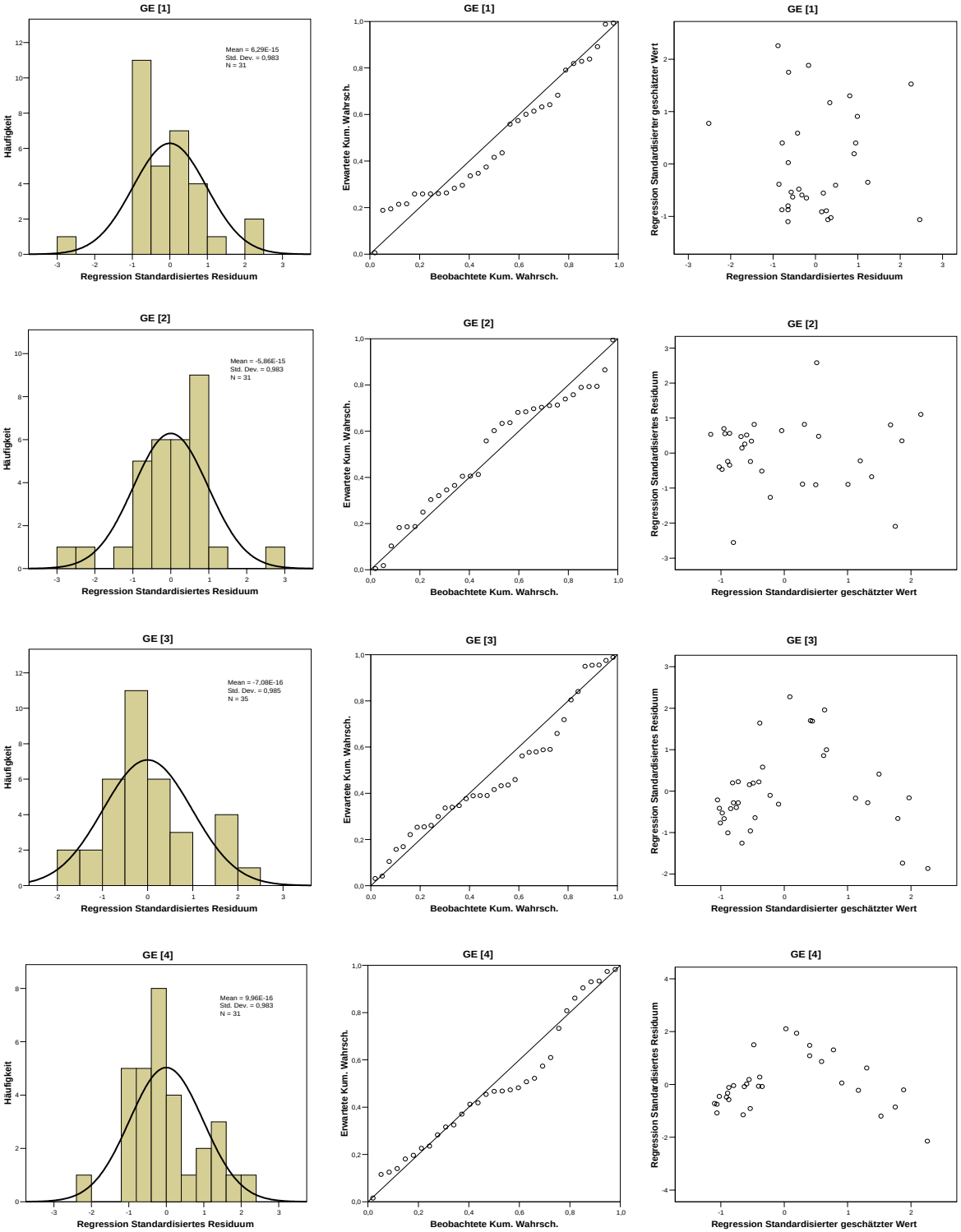
Tab. Annex E - 12: Prozentuelle Anteile der Trocken- an der Frischmasse bzw. der Biomassekompartimente am Gesamtgewicht des Stockausschlags

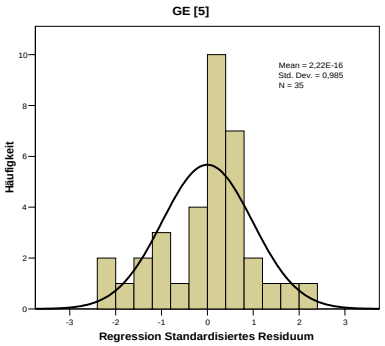
Funktion		**BHR [%]**	**BL [%]**	**T_ges [%]**	***TGES [%]***	**FBHR [kg/ha]**	**FBL [kg/ha]**	***FGES [kg/ha]***	**TBHR [kg/ha]**	**TBL [kg/ha]**	***TGES [kg/ha]***
		Anteil Trockenmasse an der Frischmasse				*Anteil der jeweiligen Kompartimente am Gesamtgewicht*					
SE STA	***A. incana***	60,2	37,2	56,1	53,7	71,8	28,2	100,0	80,4	19,6	100,0
SE STA	***A. x pubescens***	60,3	37,1	56,1	52,3	73,2	26,8	100,0	84,5	19,1	100,0
SE STA	***A.glutinosa***	60,8	37,0	56,3	55,1	76,1	23,9	100,0	83,9	16,1	100,0
SE STA	***STA gesamt***	**60,4**	**37,1**	**56,2**	**53,7**	**73,7**	**26,3**	**100,0**	**82,9**	**18,2**	**100,0**
GE JW	***A. incana***	45,1	40,6	42,6	43,8	72,0	28,0	100,0	74,0	26,0	100,0
GE JW	***A. x pubescens***	45,9	40,5	43,5	44,5	73,5	26,5	100,0	75,9	24,1	100,0
SE STA	***A.glutinosa***	60,8	37,0	56,3	55,1	76,1	23,9	100,0	83,9	16,1	100,0
	STA gesamt	**50,6**	**39,4**	**47,4**	**47,8**	**73,8**	**26,2**	**100,0**	**77,9**	**22,1**	**100,0**

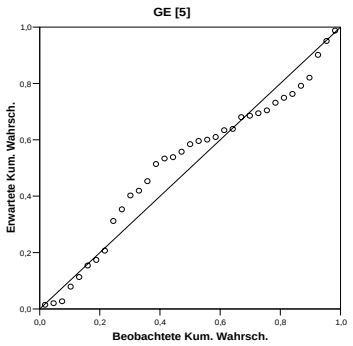
Tab. Annex E - 13: Standardabweichung, Standardfehler und Stichprobenfehler für Stammzahlen, Trockengesamtgewicht und Blattflächen des Erlenbestandes und des Stockausschlags

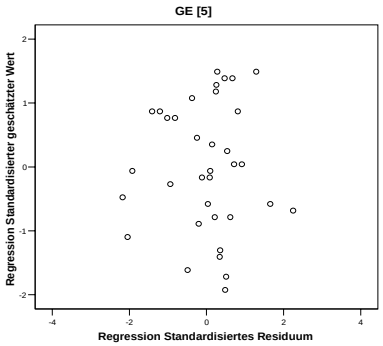
	Erlenbestand								Stöcke										Stockausschlag						
	Stangenholz				Jungwuchs				geschnitten		vital								Triebe					Biomasse	Blattfläche
Variante Punkt	N SH	HW SH	HW TGES SH	HW BLFL SH	N JW	HW JW	HW TGES JW	HW BLFL JW	N gesamt	HW gesamt	N *A. glutinosa*	N *A. incana*	N *A. x. pubescens*	N gesamt	HW *A. glutinosa*	HW *A. incana*	HW *A. x. pubescens*	HW gesamt	N *A. glutinosa*	N *A. incana*	N *A. x. pubescens*	N gesamt	HW STA	HW TGES STA	HW BLFL STA
1 1	14	2.800	21.279,4	21.552,1	22	4.400	1.644,5	2.627,5	10	2.000		6		6	0	1200	0	1200		60		60	12.000	63,5	208,3
1 2	8	1.600	26.664,0	14.235,1	2	400	136,3	217,2	4	800		1		1	0	200	0	200		5		5	1.000	2,5	9,4
1 3	8	1.600	17.997,7	21.855,4	50	10.000	3.316,2	5.325,9	3	600		1	2	3	0	200	400	600		6	5	11	2.200	11,1	35,6
1 4	7	1.400	13.274,5	11.847,0	47	9.400	1.171,1	1.956,1	4	800	1		1	2	200	0	200	400	36		4	40	8.040	483,7	1.215,7
1 5	3	600	6.877,8	2.903,2	11	2.200	820,1	1.306,7	3	600	1	1	1	3	200	200	200	600	37	1	9	47	9.400	113,2	311,3
1 6	9	1.800	10.980,4	21.139,2	75	15.000	4.597,3	7.426,2	4	800	2	1		3	400	200	0	600	43	1		44	8.800	94,6	279,4
1 7	10	2.000	28.575,3	13.027,6	64	12.800	2.390,6	3.886,9	6	1.200		3	3	6	0	600	600	1200		33	13	46	9.200	18,5	67,3
1 8	14	2.800	42.780,9	33.387,4	49	9.800	3.722,6	5.970,3	9	1.800		1	2	3	0	200	400	600		3	3	6	1.200	2,1	7,3
1 9	11	2.200	15.439,0	26.214,2	19	3.800	708,6	1.158,3	11	2.200	2		1	3	400	0	200	600	45		10	55	11.000	395,6	1.048,9
1 10	1	200	538,6	838,3	25	5.000	2.454,6	3.905,2	0	0				0	0	0	0	0				0	0	0,0	0,0
1 11	12	2.400	26.674,1	11.389,2	14	2.800	1.491,7	2.363,8																	
1 12	10	2.000	32.859,6	11.389,2	37	7.400	2.057,2	3.289,9																	
1 13	4	800	8.313,2	6.146,3	21	4.200	2.426,7	3.830,3																	
1 14	9	1.800	13.785,5	22.058,6	37	7.400	2.342,3	3.755,9																	
1 15	0	0	0,0	0,0	4	800	537,6	846,7																	
1 16	10	2.000	17.893,5	12.259,6	44	8.800	2.911,9	4.689,3																	
1 17	0	0	0,0	0,0	10	2.000	823,5	1.316,4																	
1 18	8	1.600	13.279,8	10.194,7	10	2.000	828,2	1.328,5																	
1 19	7	1.400	8.254,9	9.691,7	52	10.400	6.200,4	9.786,1																	
1 20	4	800	9.239,8	17.435,9	19	3.800	182,8	347,6													2				
2 1	13	2.600	33.202,3	21.649,2	8	1.600	29,6	79,7	13	2.600	11		1	12	2200	0	200	2400	211		1	212	42.300	1.117,1	3.118,3
2 2	3	600	8.471,3	4.577,3	0	0	0,0	0,0	3	600	3			3	600	0	0	600	80			80	16.000	1.146,6	2.879,5
2 3	0	0	0,0	0,0	51	10.200	75,7	210,1	0	0			0	0	0	0	0	0				0	0	0,0	0,0
2 4	2	400	3.253,9	1.676,5	51	10.200	4.393,6	7.024,2	2	400	2			2	400	0	0	400	37			37	7.400	111,3	328,9
2 5	2	400	3.928,9	6.175,5	33	6.600	1.588,0	2.623,1	3	600	3			3	600	0	0	600	58			58	11.600	479,1	1.265,6
2 6	4	800	3.986,6	7.462,0	54	10.800	3.001,9	4.784,6	3	600			3	3	0	0	600	600			19	19	3.800	48,0	147,5
2 7	9	1.800	12.571,2	20.158,3	89	17.800	7.007,1	11.208,9	9	1.800	3	2	4	9	600	400	800	1800	67	7	22	96	19.160	749,1	1.983,5
2 8	0	0	0,0	0,0	13	2.600	564,4	919,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				0	0	0,0	0,0
2 9	0	0	0,0	0,0	38	7.600	3.668,7	5.824,7	0	0	0		0	0	0	0	0	0				0	0	0,0	0,0
2 10	0	0	0,0	0,0	14	2.800	1.214,7	1.919,8	0	0	0		0	0	0	0	0	0				0	0	0,0	0,0
2 11	4	800	8.782,8	5.203,7	4	800	268,9	423,5																	
2 12	0	0	0,0	0,0	10	2.000	288,8	479,7																	
2 13	2	400	1.400,0	6.066,7	56	11.200	4.894,4	7.773,5																	
2 14	5	1.000	4.738,5	7.249,3	55	11.000	4.893,8	7.773,2																	
2 15	0	0	0,0	0,0	76	15.200	6.721,9	10.739,7																	
2 16	0	0	0,0	0,0	89	17.800	9.500,9	15.068,2																	
2 17	2	400	1.118,1	1.676,5	24	4.800	1.375,6	2.205,5																	
2 18	1	200	2.172,7	2.774,8	6	1.200	416,8	671,5																	
2 19	9	1.800	21.320,8	13.915,9	25	5.000	1.368,6	2.185,0																	
2 20	3	600	8.814,8	4.489,4	8	1.600	296,1	496,3																	
3 1	8	1.600	32.293,3	15.698,4	8	1.600	16,2	47,7																	
3 2	19	3.800	72.180,9	32.660,6	6	1.200	23,3	70,7																	
3 3	7	1.400	15.354,4	12.402,3	46	9.200	97,9	286,4																	
3 4	10	2.000	26.352,8	32.930,4	21	4.200	1.755,0	2.774,5																	
3 5	13	2.600	37.032,9	26.277,0	23	4.600	2.305,7	3.656,0																	
3 6	6	1.200	38.374,7	7.956,0	8	1.600	408,3	649,7																	
3 7	4	800	2.862,4	6.450,3	11	2.200	451,4	764,0																	
3 8	0	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0																	
3 9	13	2.600	19.119,0	24.163,9	33	6.600	2.190,8	3.500,8																	
3 10	11	2.200	16.492,5	17.604,8	29	5.800	2.578,4	4.090,5																	
3 11	3	600	2.723,1	6.730,5	37	7.400	2.591,9	4.126,6																	
3 12	1	200	1.241,3	2.300,6	12	2.400	297,1	500,9																	
3 13	11	2.200	15.797,5	19.288,2	29	5.800	699,9	1.139,2																	
3 14	6	1.200	13.066,0	7.921,0	23	4.600	17,0	49,2																	
3 15	10	2.000	15.700,9	20.725,8	90	18.000	5.656,2	9.078,5																	
3 16	2	400	3.373,2	5.592,5	2	400	134,8	212,9																	
3 17	14	2.800	34.863,8	26.018,6	14	2.800	43,8	119,5																	
3 18	11	2.200	16.926,7	19.930,7	14	2.800	146,5	246,6																	
3 19	12	2.400	14.627,3	28.560,2	16	3.200	1.215,5	1.922,0																	
3 20	0	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0																	
HW Hektarwert	6	1.230	15.953,5	11.677,8	29	5.793	2.009,3	3.214,0	4	870	3	2	1	3	280	160	180	620	68	15	10	41	8.155	241,8	645,3
SD Standardabweichung	5	982	14.056,4	9.884,6	24	4.793	2.101,4	3.339,4	4	803	3	2	1	3	508	295	250	625	55	21	7	50	9.930	371,0	977,5
SE Standardfehler	1	127	1.814,7	1.276,1	3	619	271,3	431,1	1	180	1	0	0	1	114	66	56	140	12	5	2	11	2.220	83,0	218,6
% Stichprobenfehler	10,3	10,3	11,4	10,9	10,7	10,7	13,5	13,4	20,6	20,6	26,5	22,5	21,4	22,6	40,6	41,2	31,1	22,6	18,2	32,6	17,0	27,2	27,2	34,3	33,9

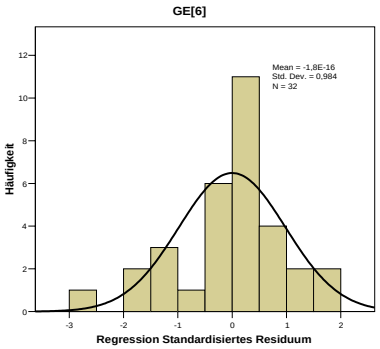
Abb. Annex E - 1: Residualplots für die Biomassefunktionen des Grauerlengesamtbestandes (GE)

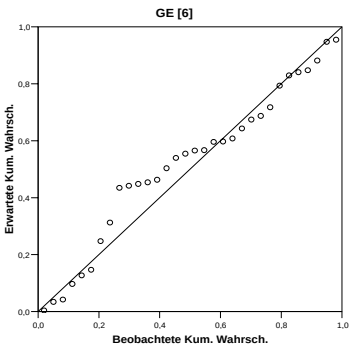


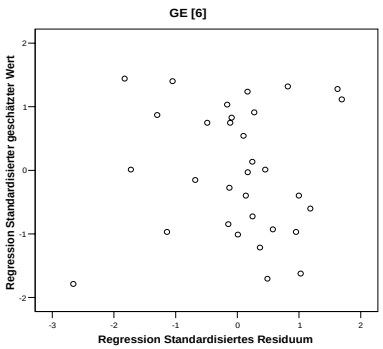

GE [5]
Mean = 2,22E-16
Std. Dev. = 0,985
N = 35
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

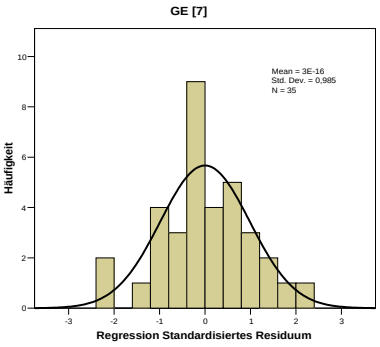

GE [5]
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

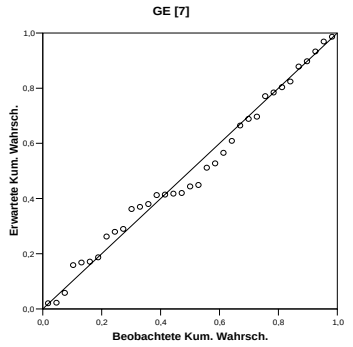

GE [5]
Regression Standardisierter geschätzter Wert
Regression Standardisiertes Residuum

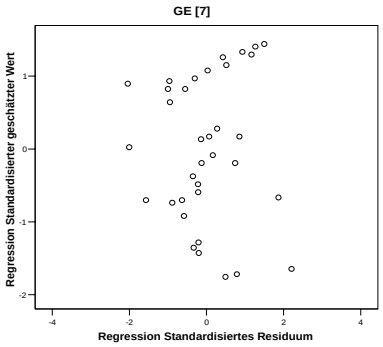

GE[6]
Mean = -1,8E-16
Std. Dev. = 0,984
N = 32
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

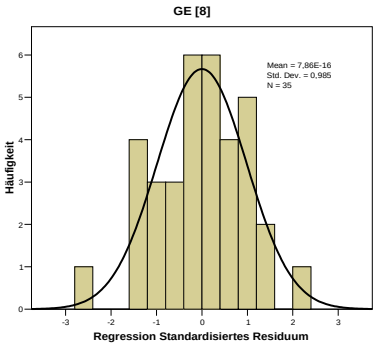

GE [6]
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

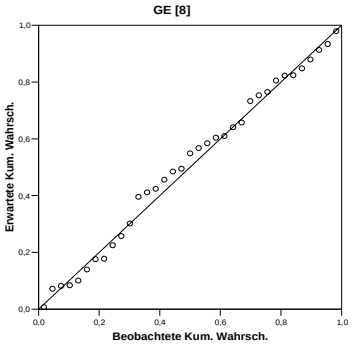

GE [6]
Regression Standardisierter geschätzter Wert
Regression Standardisiertes Residuum

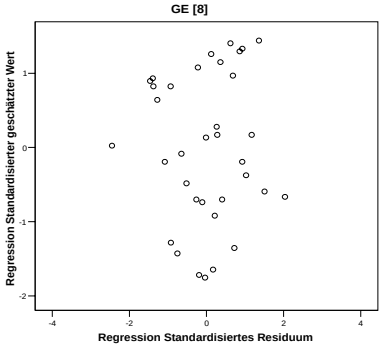

GE [7]
Mean = 3E-16
Std. Dev. = 0,985
N = 35
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

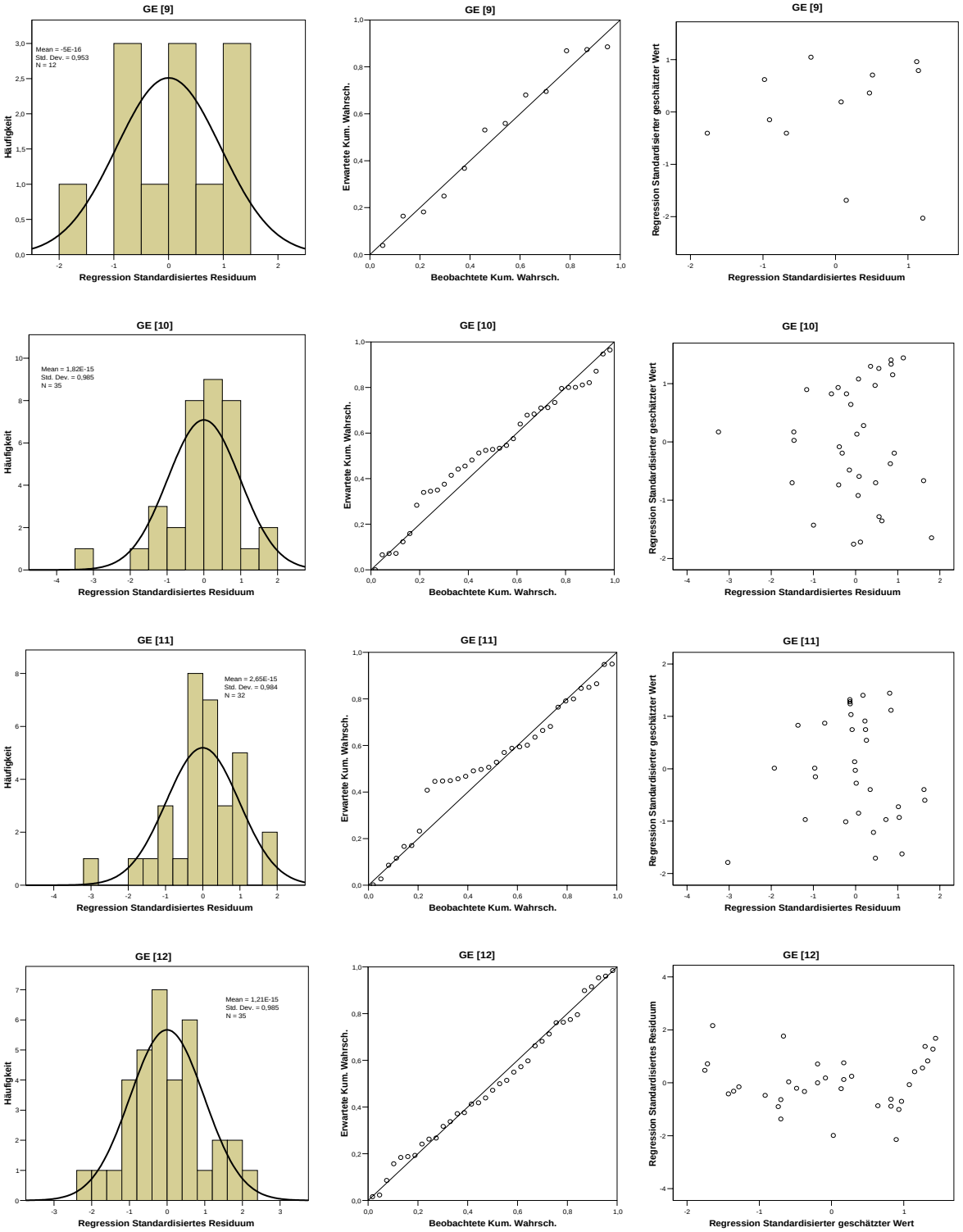

GE [7]
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

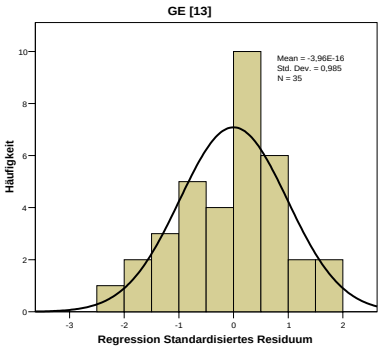

GE [7]
Regression Standardisierter geschätzter Wert
Regression Standardisiertes Residuum

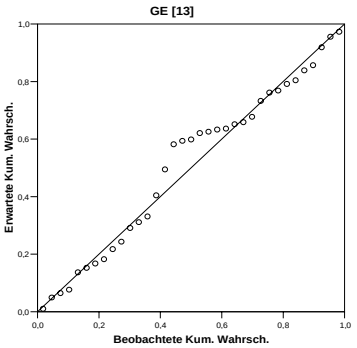

GE [8]
Mean = 7,86E-16
Std. Dev. = 0,985
N = 35
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

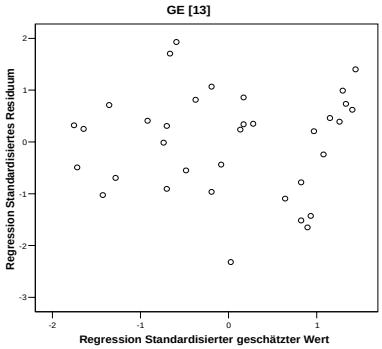

GE [8]
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

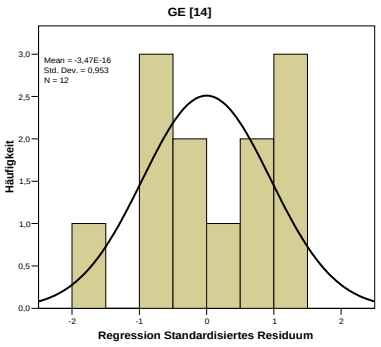

GE [8]
Regression Standardisierter geschätzter Wert
Regression Standardisiertes Residuum

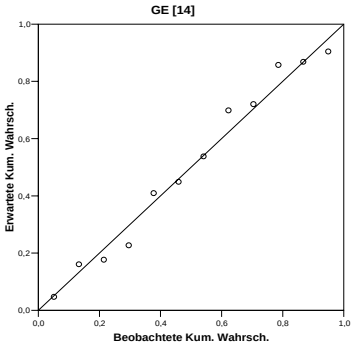

GE [9]
Mean = -5E-16
Std. Dev. = 0,953
N = 12
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum
GE [9]
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.
GE [9]
Regression Standardisierter geschätzter Wert
Regression Standardisiertes Residuum
GE [10]
Mean = 1,82E-15
Std. Dev. = 0,985
N = 35
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum
GE [10]
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.
GE [10]
Regression Standardisierter geschätzter Wert
Regression Standardisiertes Residuum
GE [11]
Mean = 2,65E-15
Std. Dev. = 0,984
N = 32
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum
GE [11]
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.
GE [11]
Regression Standardisierter geschätzter Wert
Regression Standardisiertes Residuum
GE [12]
Mean = 1,21E-15
Std. Dev. = 0,985
N = 35
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum
GE [12]
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.
GE [12]
Regression Standardisiertes Residuum
Regression Standardisierter geschätzter Wert

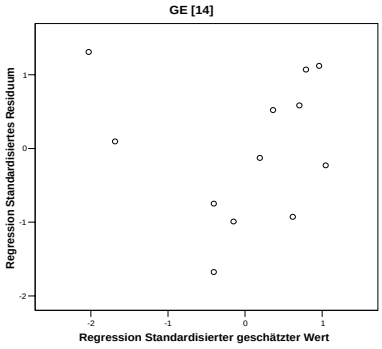

GE [13]
Mean = -3,96E-16
Std. Dev. = 0,985
N = 35
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

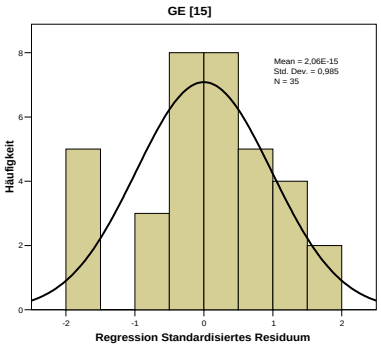

GE [13]
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

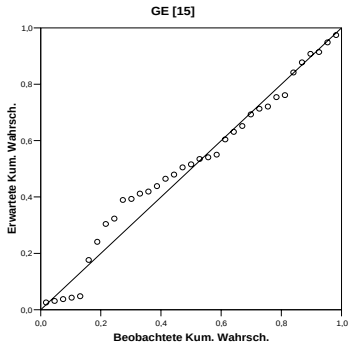

GE [13]
Regression Standardisiertes Residuum
Regression Standardisierter geschätzter Wert

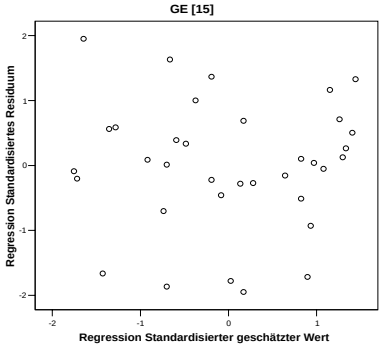

GE [14]
Mean = -3,47E-16
Std. Dev. = 0,953
N = 12
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

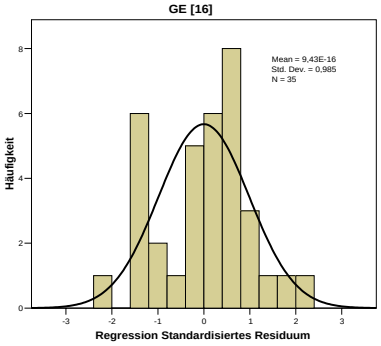

GE [14]
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

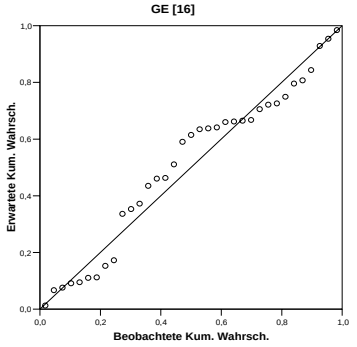

GE [14]
Regression Standardisiertes Residuum
Regression Standardisierter geschätzter Wert

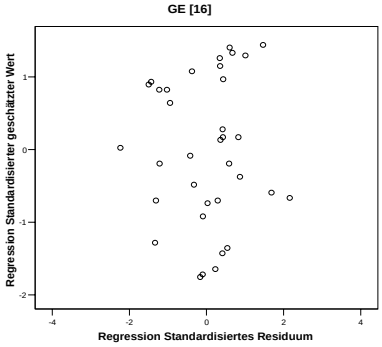

GE [15]
Mean = 2,06E-15
Std. Dev. = 0,985
N = 35
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

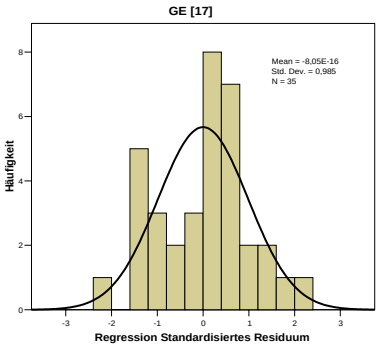

GE [15]
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

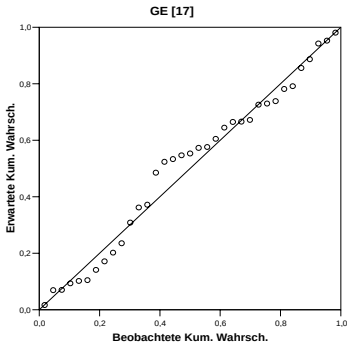

GE [15]
Regression Standardisiertes Residuum
Regression Standardisierter geschätzter Wert

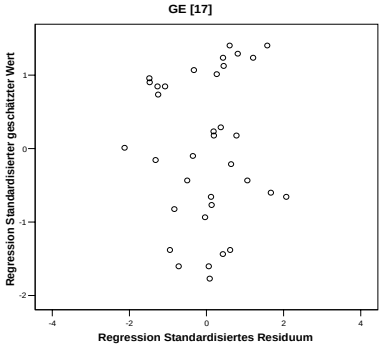

GE [16]
Mean = 9,43E-16
Std. Dev. = 0,985
N = 35
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

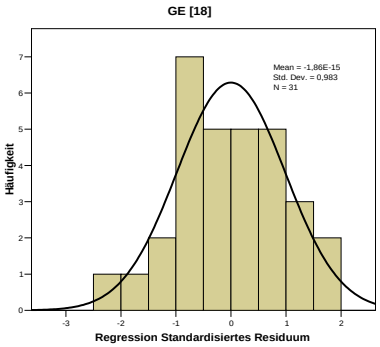

GE [16]
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

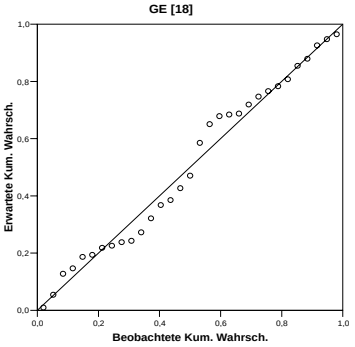

GE [16]
Regression Standardisierter geschätzter Wert
Regression Standardisiertes Residuum

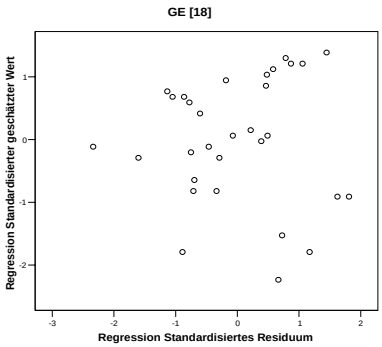

GE [17]
Mean = -8,05E-16
Std. Dev. = 0,985
N = 35
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

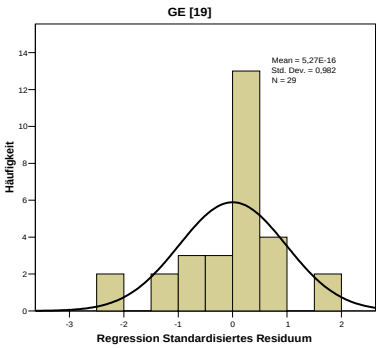

GE [17]
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

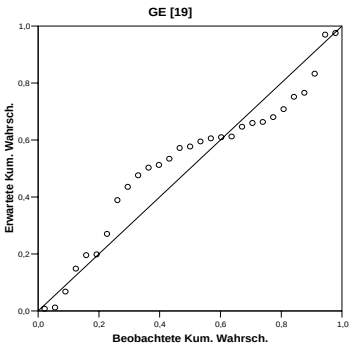

GE [17]
Regression Standardisierter geschätzter Wert
Regression Standardisiertes Residuum

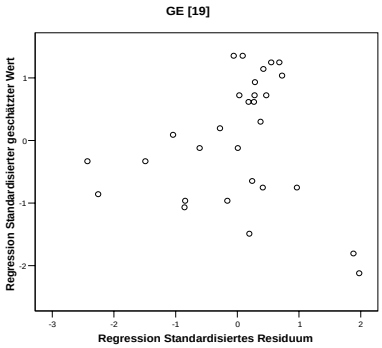

GE [18]
Mean = -1,86E-15
Std. Dev. = 0,983
N = 31
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

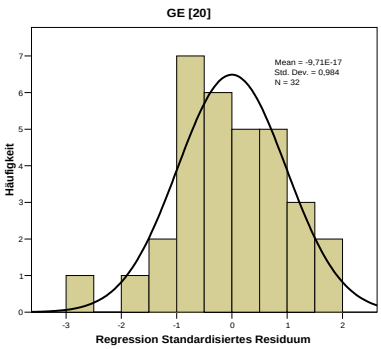

GE [18]
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

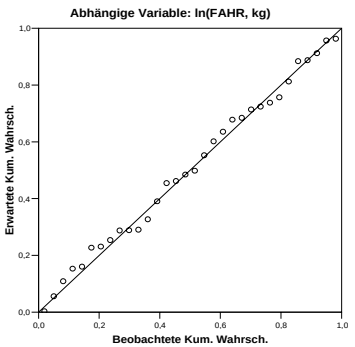

GE [18]
Regression Standardisierter geschätzter Wert
Regression Standardisiertes Residuum

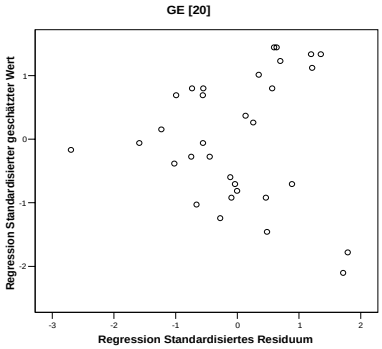

GE [19]
Mean = 5,27E-16
Std. Dev. = 0,982
N = 29
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

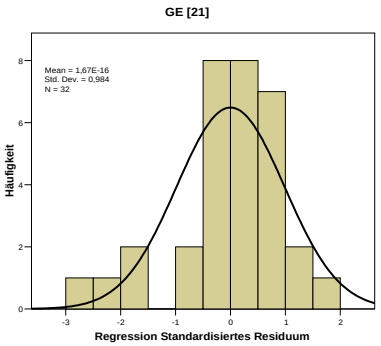

GE [19]
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

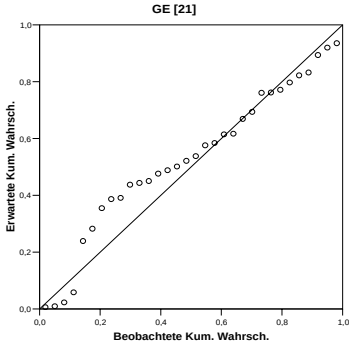

GE [19]
Regression Standardisierter geschätzter Wert
Regression Standardisiertes Residuum

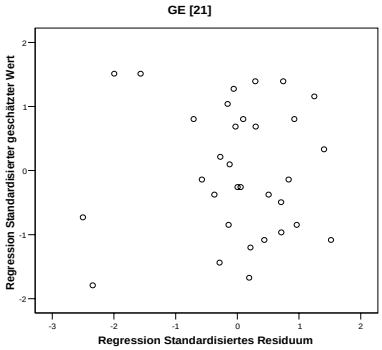

GE [20]
Mean = -9,71E-17
Std. Dev. = 0,984
N = 32
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

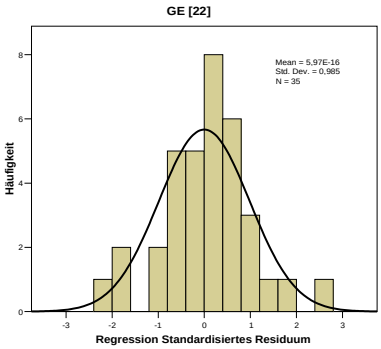

Abhängige Variable: ln(FAHR, kg)
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

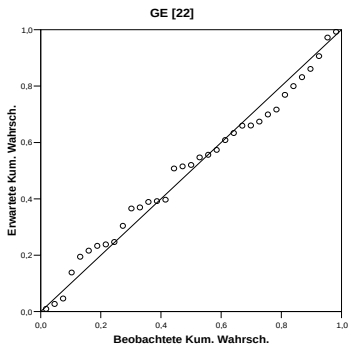

GE [20]
Regression Standardisierter geschätzter Wert
Regression Standardisiertes Residuum

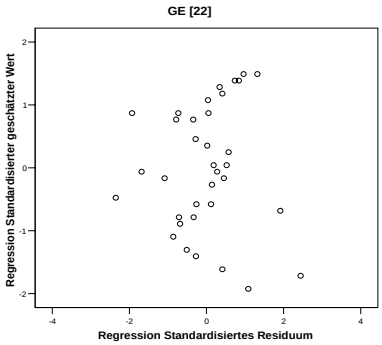

GE [21]
Mean = 1,67E-16
Std. Dev. = 0,984
N = 32
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

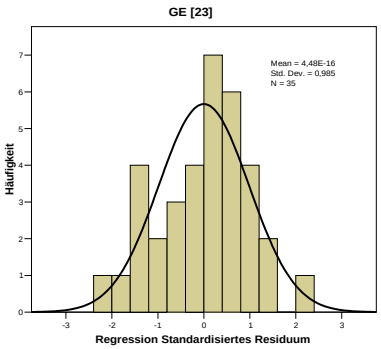

GE [21]
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

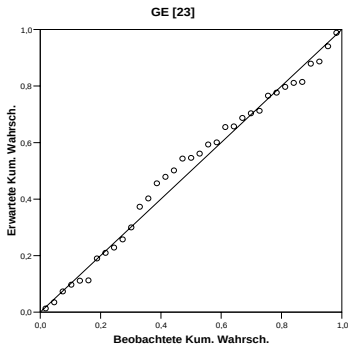

GE [21]
Regression Standardisierter geschätzter Wert
Regression Standardisiertes Residuum

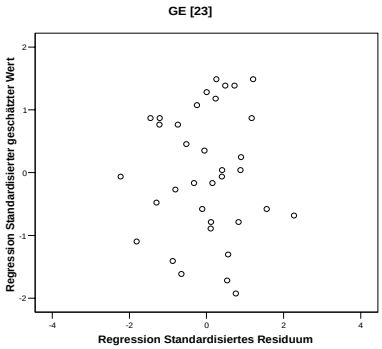

GE [22]
Mean = 5,97E-16
Std. Dev. = 0,985
N = 35
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

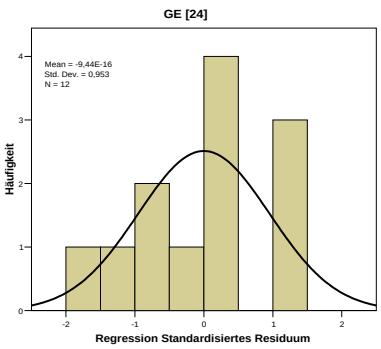

GE [22]
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

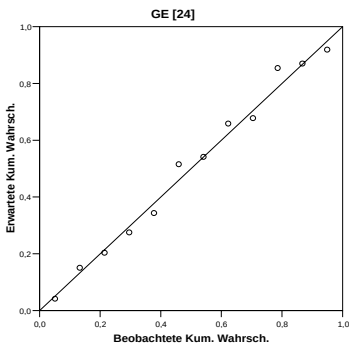

GE [22]
Regression Standardisierter geschätzter Wert
Regression Standardisiertes Residuum

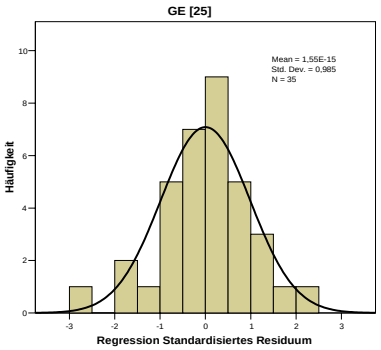

GE [23]
Mean = 4,48E-16
Std. Dev. = 0,985
N = 35
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

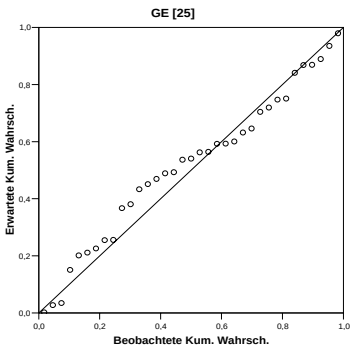

GE [23]
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

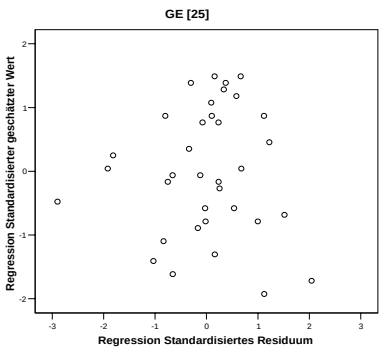

GE [23]
Regression Standardisierter geschätzter Wert
Regression Standardisiertes Residuum

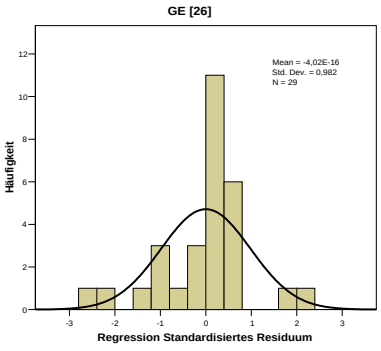

GE [24]
Mean = -9,44E-16
Std. Dev. = 0,953
N = 12
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

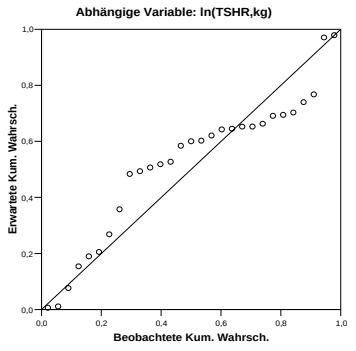

GE [24]
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

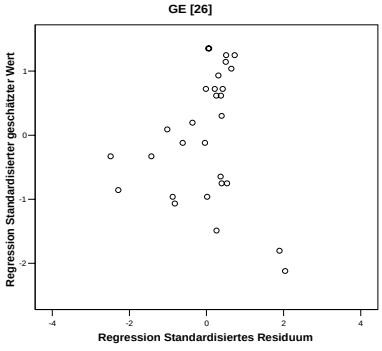

GE [25]
Mean = 1,55E-15
Std. Dev. = 0,985
N = 35
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

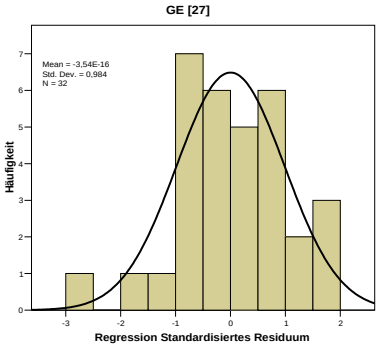

GE [25]
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

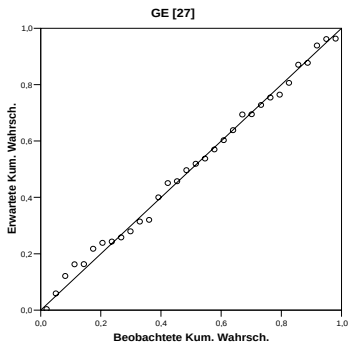

GE [25]
Regression Standardisierter geschätzter Wert
Regression Standardisiertes Residuum

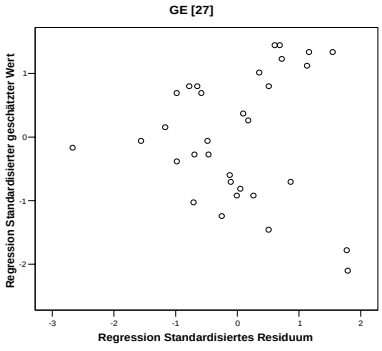

GE [26]
Mean = -4,02E-16
Std. Dev. = 0,982
N = 29
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

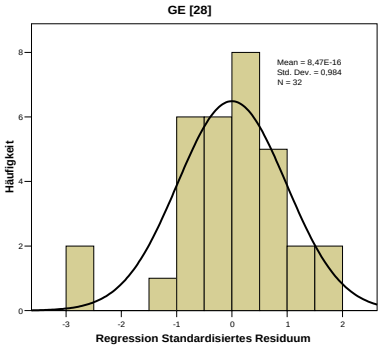

Abhängige Variable: ln(TSHR,kg)
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

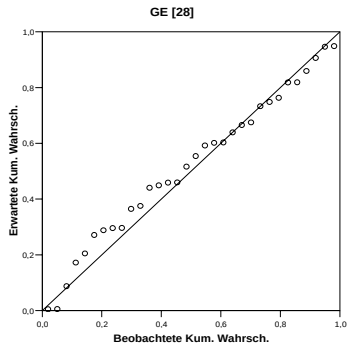

GE [26]
Regression Standardisierter geschätzter Wert
Regression Standardisiertes Residuum

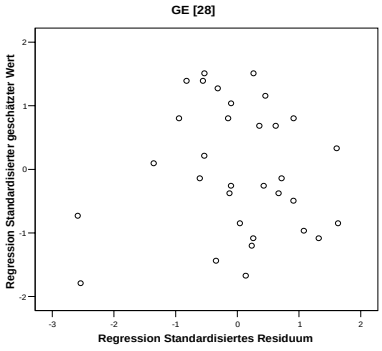

GE [27]
Mean = -3,54E-16
Std. Dev. = 0,984
N = 32
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

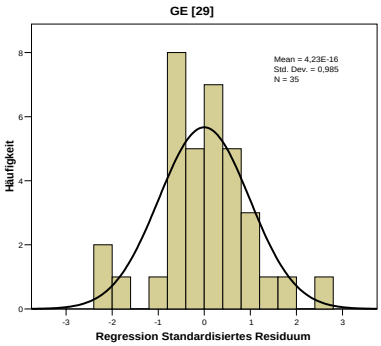

GE [27]
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

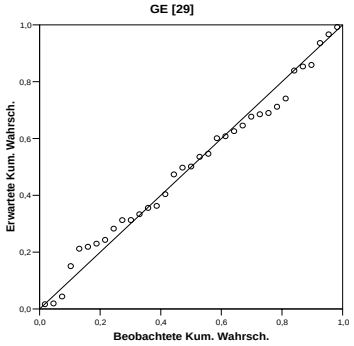

GE [27]
Regression Standardisierter geschätzter Wert
Regression Standardisiertes Residuum

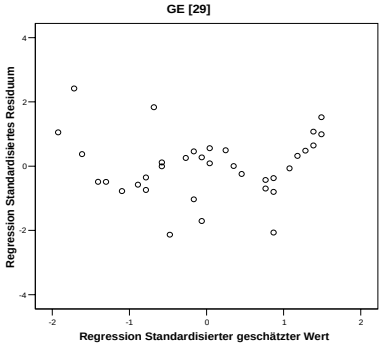

GE [28]
Mean = 8,47E-16
Std. Dev. = 0,984
N = 32
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

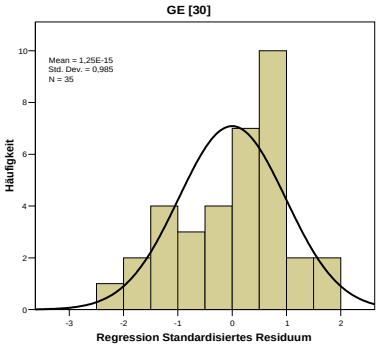

GE [28]
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

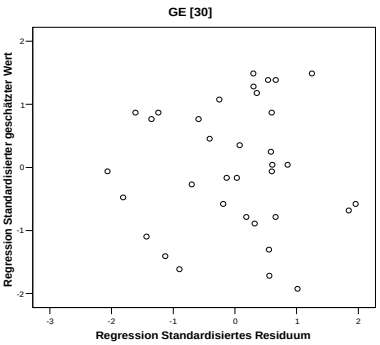

GE [28]
Regression Standardisierter geschätzter Wert
Regression Standardisiertes Residuum

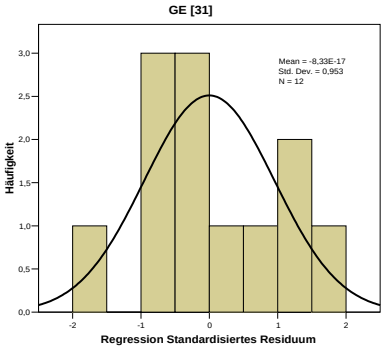

GE [29]
Mean = 4,23E-16
Std. Dev. = 0,985
N = 35
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

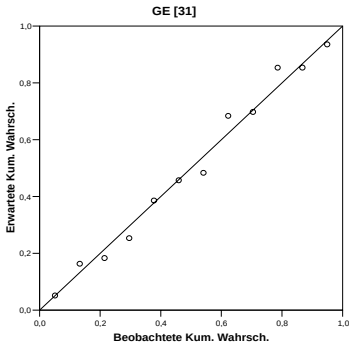

GE [29]
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

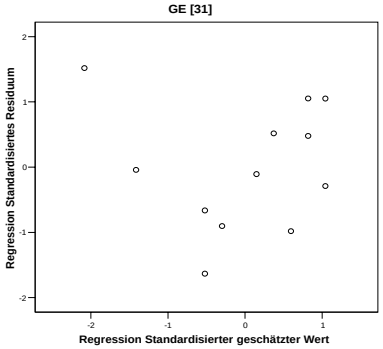

GE [29]
Regression Standardisiertes Residuum
Regression Standardisierter geschätzter Wert

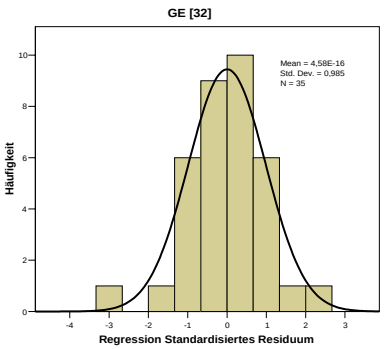

GE [30]
Mean = 1,25E-15
Std. Dev. = 0,985
N = 35
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

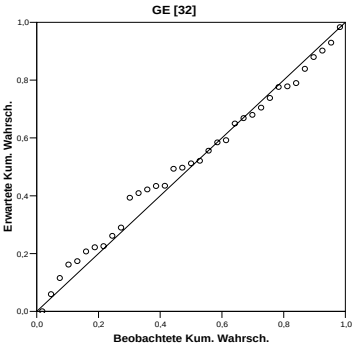

GE [30]
Regression Standardisierter geschätzter Wert
Regression Standardisiertes Residuum

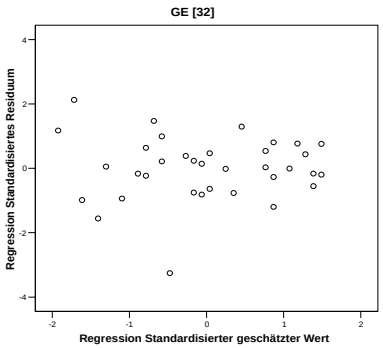

GE [31]
Mean = -8,33E-17
Std. Dev. = 0,953
N = 12
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

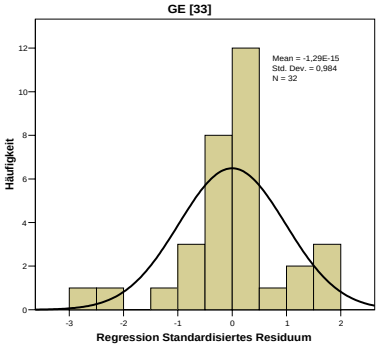

GE [31]
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

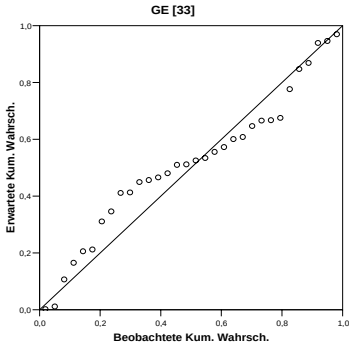

GE [31]
Regression Standardisiertes Residuum
Regression Standardisierter geschätzter Wert

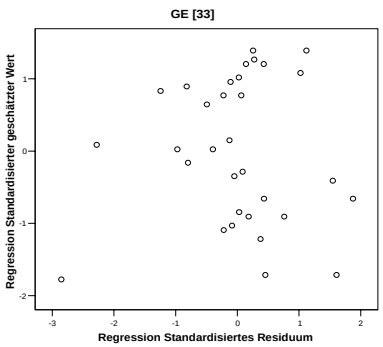

GE [32]
Mean = 4,58E-16
Std. Dev. = 0,985
N = 35
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

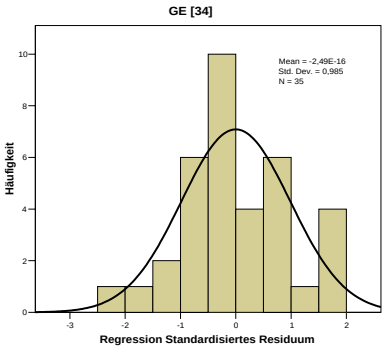

GE [32]
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

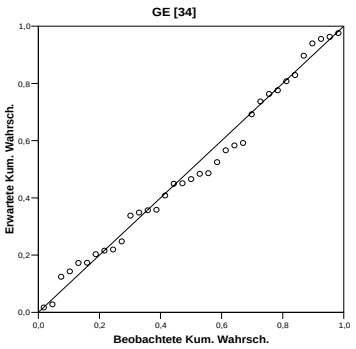

GE [32]
Regression Standardisiertes Residuum
Regression Standardisierter geschätzter Wert

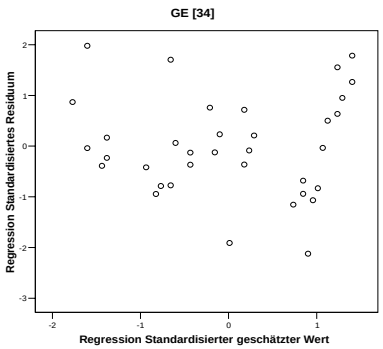

GE [33]
Mean = -1,29E-15
Std. Dev. = 0,984
N = 32
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

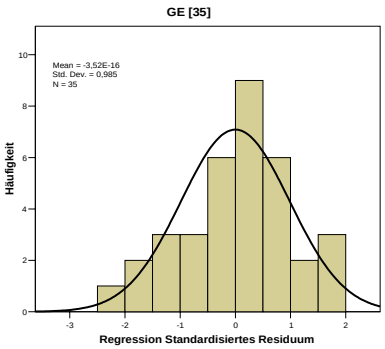

GE [33]
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

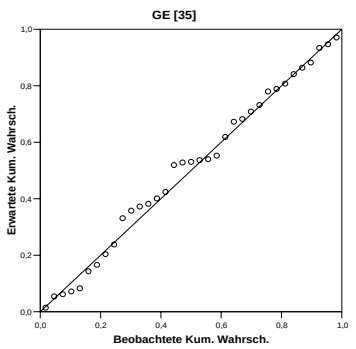

GE [33]
Regression Standardisierter geschätzter Wert
Regression Standardisiertes Residuum

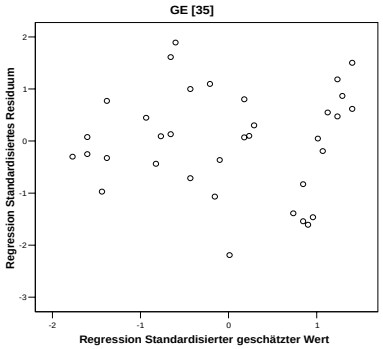

GE [34]
Mean = -2,49E-16
Std. Dev. = 0,985
N = 35
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

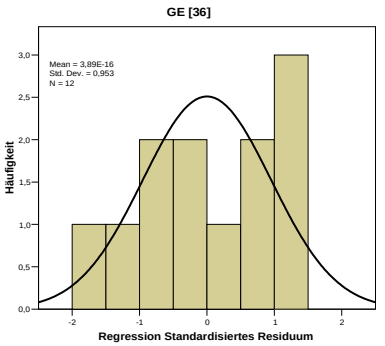

GE [34]
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

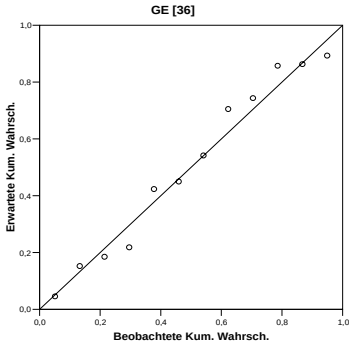

GE [34]
Regression Standardisiertes Residuum
Regression Standardisierter geschätzter Wert

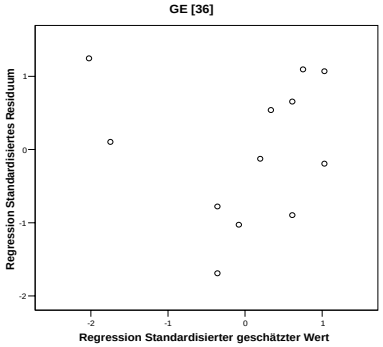

GE [35]
Mean = -3,52E-16
Std. Dev. = 0,985
N = 35
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

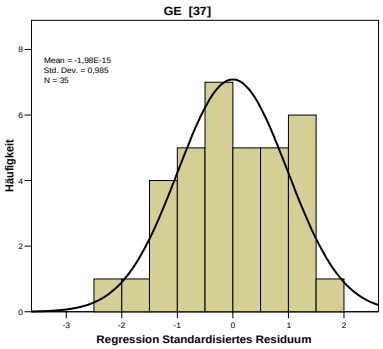

GE [35]
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

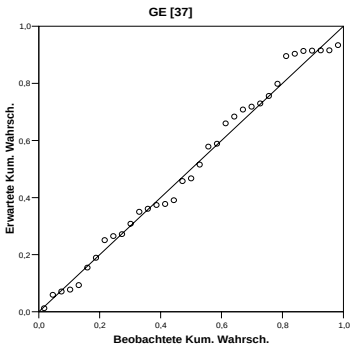

GE [35]
Regression Standardisiertes Residuum
Regression Standardisierter geschätzter Wert

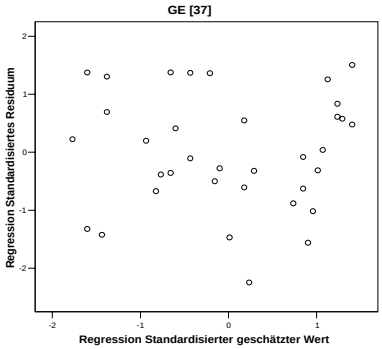

GE [36]
Mean = 3,89E-16
Std. Dev. = 0,953
N = 12
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

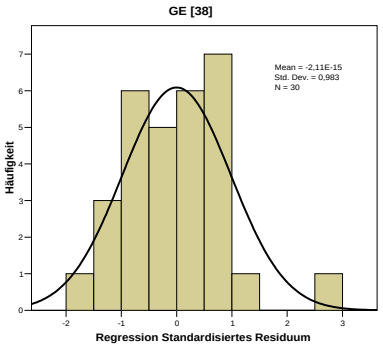

GE [36]
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

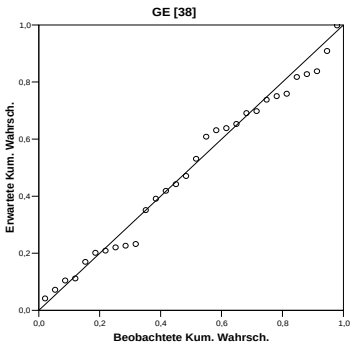

GE [36]
Regression Standardisiertes Residuum
Regression Standardisierter geschätzter Wert

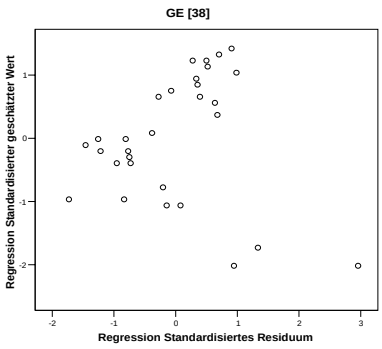

GE [37]
Mean = -1,98E-15
Std. Dev. = 0,985
N = 35
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

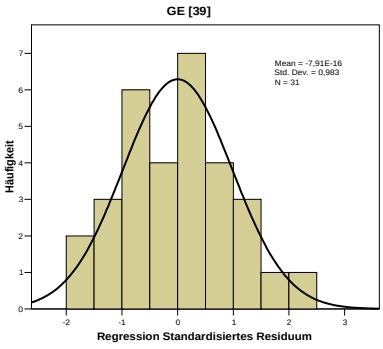

GE [37]
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

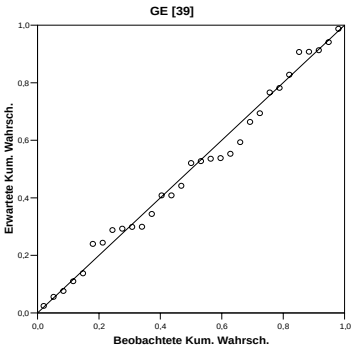

GE [37]
Regression Standardisiertes Residuum
Regression Standardisierter geschätzter Wert

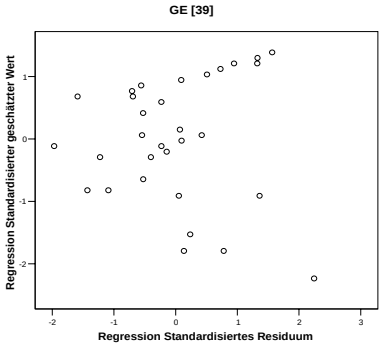

GE [38]
Mean = -2,11E-15
Std. Dev. = 0,983
N = 30
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

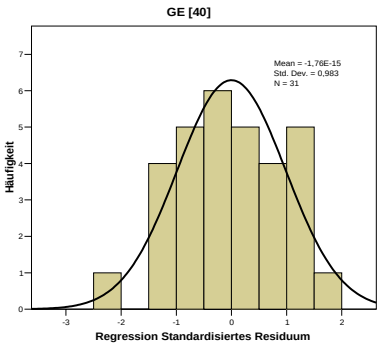

GE [38]
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

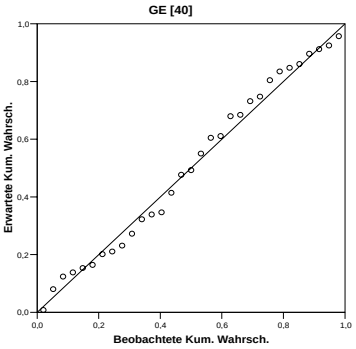

GE [38]
Regression Standardisierter geschätzter Wert
Regression Standardisiertes Residuum

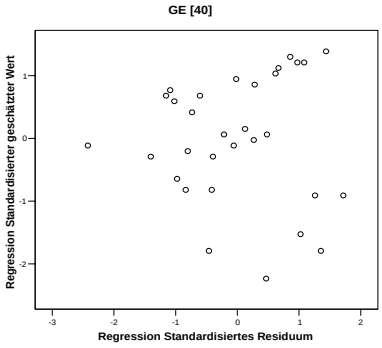

GE [39]
Mean = -7,91E-16
Std. Dev. = 0,983
N = 31
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum


GE [39]
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.


GE [39]
Regression Standardisierter geschätzter Wert
Regression Standardisiertes Residuum


GE [40]
Mean = -1,76E-15
Std. Dev. = 0,983
N = 31
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum


GE [40]
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.


GE [40]
Regression Standardisierter geschätzter Wert
Regression Standardisiertes Residuum

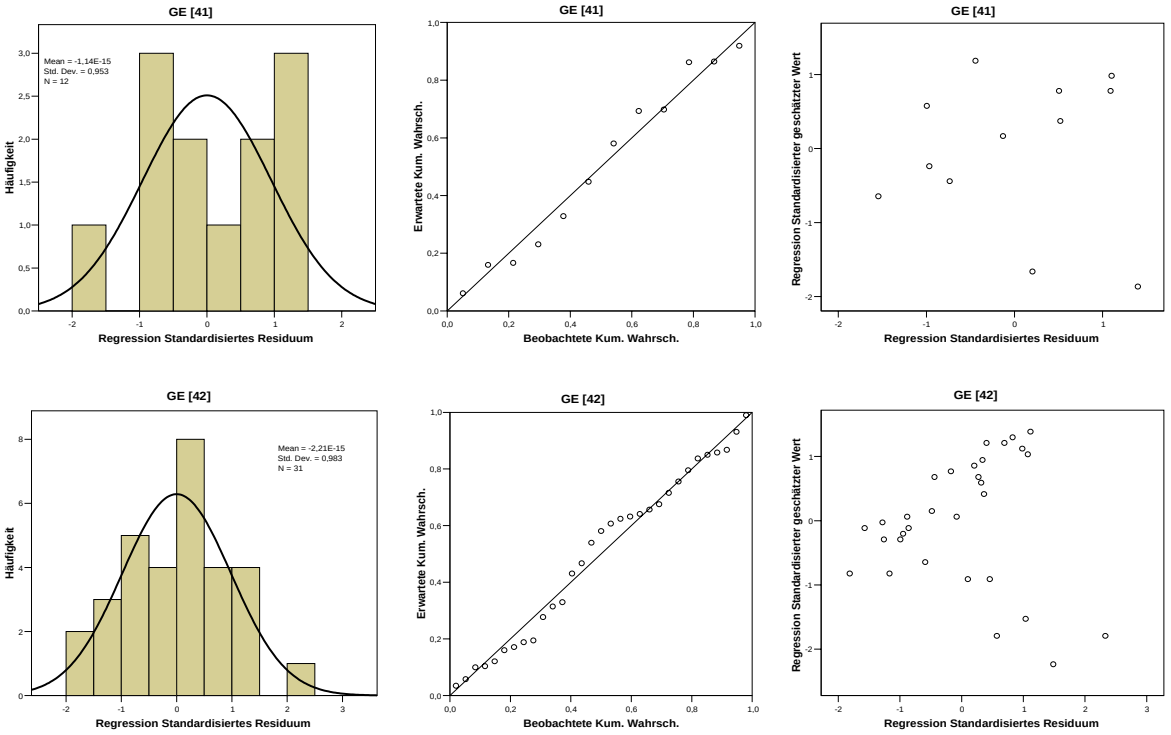
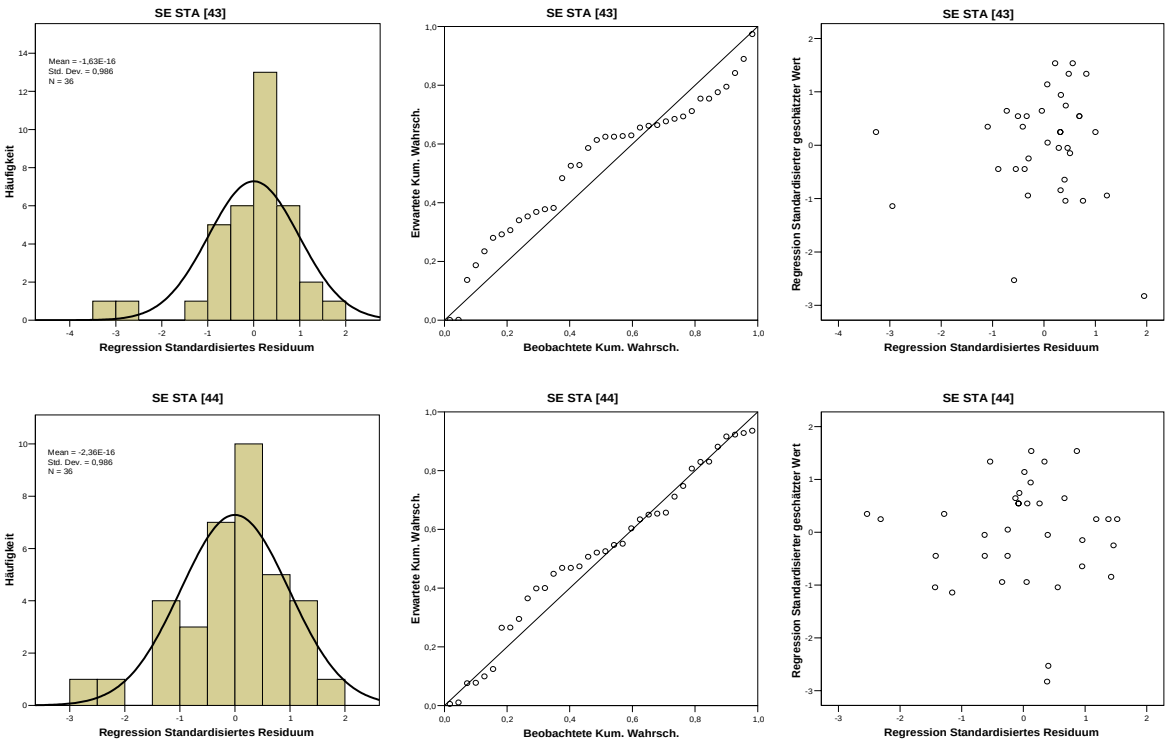
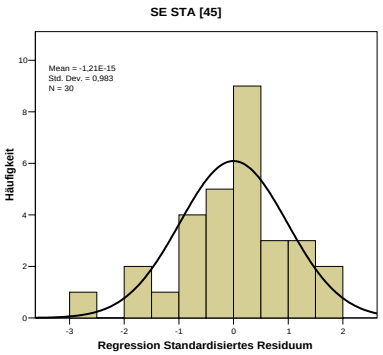
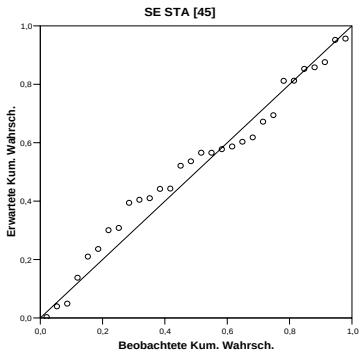
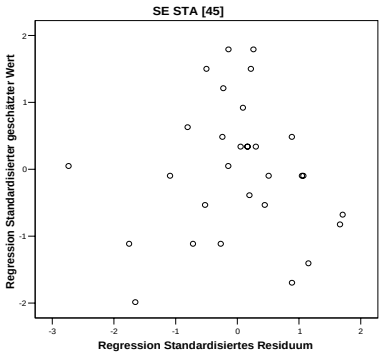


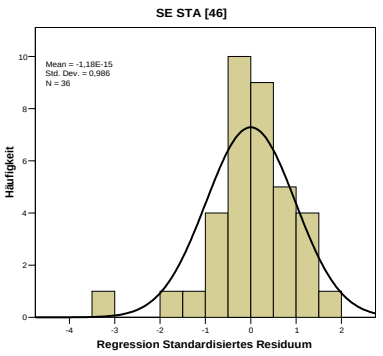
Abb. Annex E - 2: Residualplots für die Biomassefunktionen des Schwarzerlenstockausschlages (SE STA)

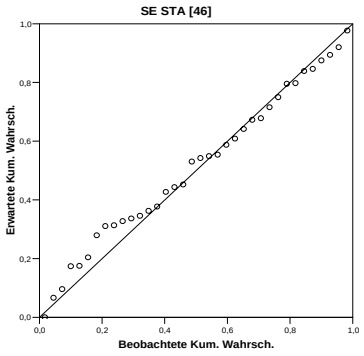


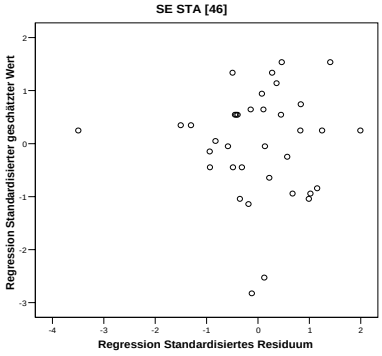

SE STA [45]
Mean = -1,21E-15
Std. Dev. = 0,983
N = 30
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

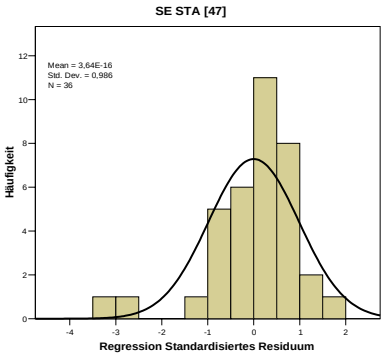

SE STA [45]
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

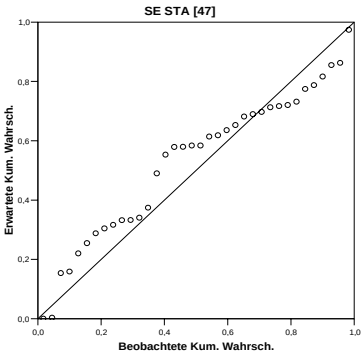

SE STA [45]
Regression Standardisierter geschätzter Wert
Regression Standardisiertes Residuum

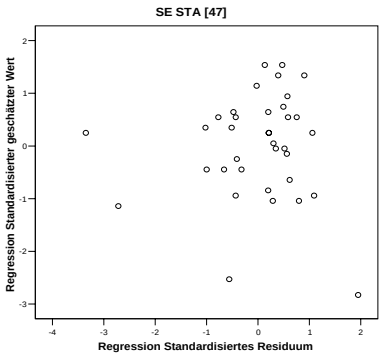

SE STA [46]
Mean = -1,18E-15
Std. Dev. = 0,986
N = 36
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

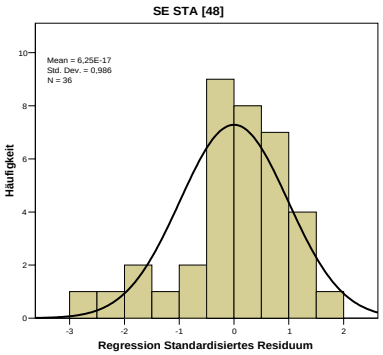

SE STA [46]
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

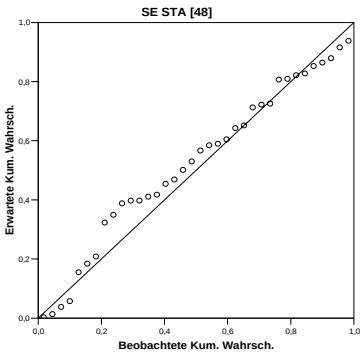

SE STA [46]
Regression Standardisierter geschätzter Wert
Regression Standardisiertes Residuum

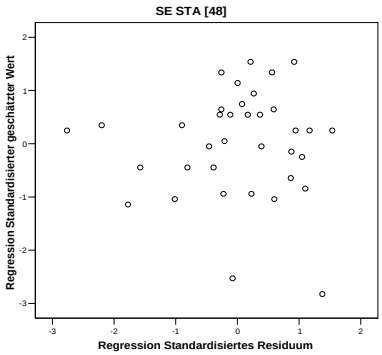

SE STA [47]
Mean = 3,64E-16
Std. Dev. = 0,986
N = 36
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

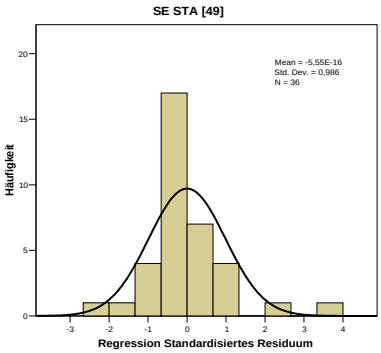

SE STA [47]
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

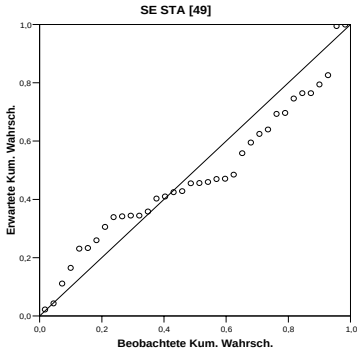

SE STA [47]
Regression Standardisierter geschätzter Wert
Regression Standardisiertes Residuum

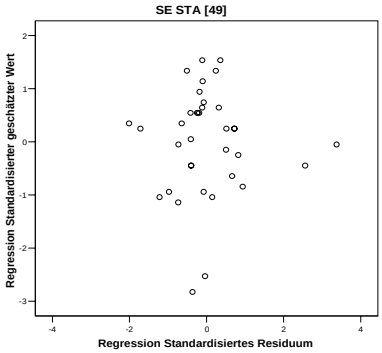

SE STA [48]
Mean = 6,25E-17
Std. Dev. = 0,986
N = 36
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

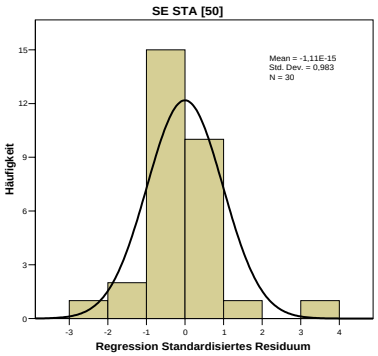

SE STA [48]
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

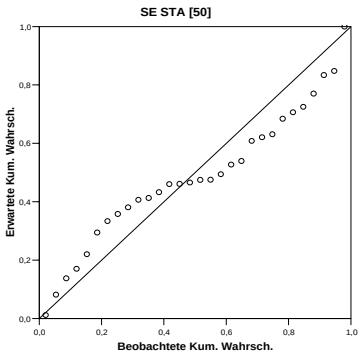

SE STA [48]
Regression Standardisierter geschätzter Wert
Regression Standardisiertes Residuum

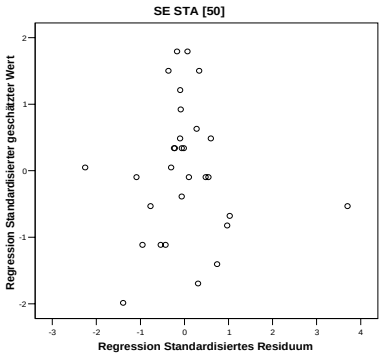

SE STA [49]
Mean = -5,55E-16
Std. Dev. = 0,986
N = 36
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

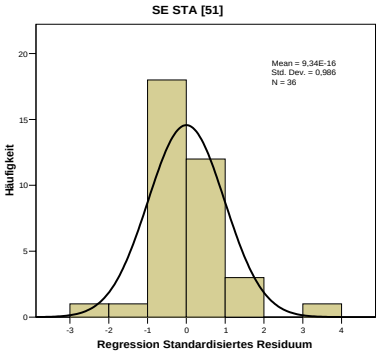

SE STA [49]
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

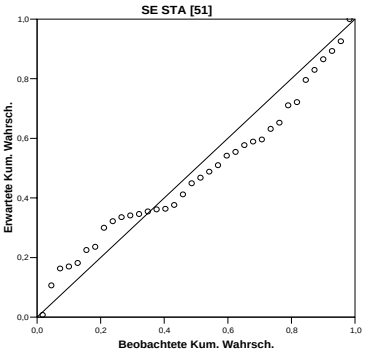

SE STA [49]
Regression Standardisierter geschätzter Wert
Regression Standardisiertes Residuum

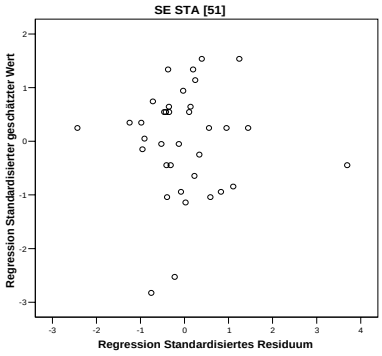

SE STA [50]
Mean = -1,11E-15
Std. Dev. = 0,983
N = 30
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

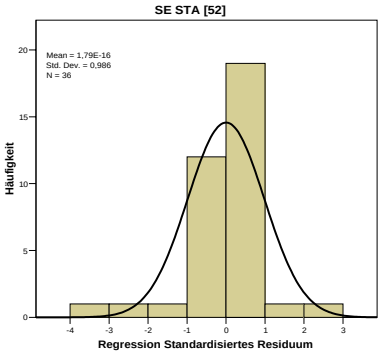

SE STA [50]
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

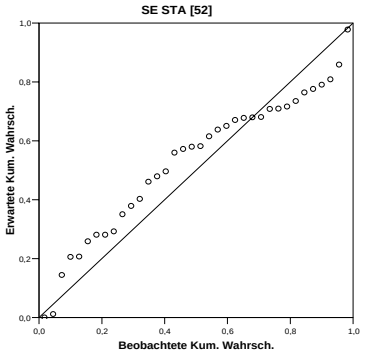

SE STA [50]
Regression Standardisierter geschätzter Wert
Regression Standardisiertes Residuum

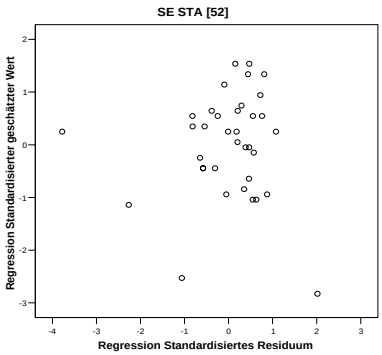

SE STA [51]
Mean = 9,34E-16
Std. Dev. = 0,986
N = 36
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

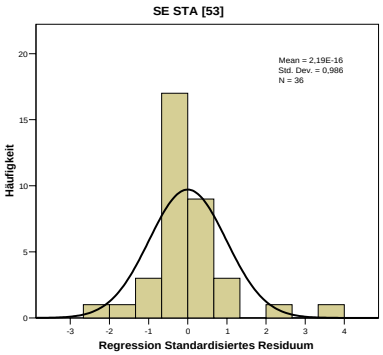

SE STA [51]
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

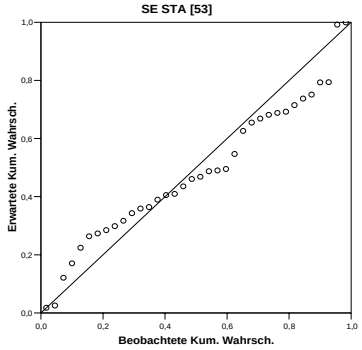

SE STA [51]
Regression Standardisierter geschätzter Wert
Regression Standardisiertes Residuum

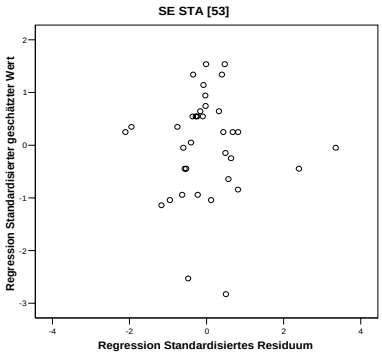

SE STA [52]
Mean = 1,79E-16
Std. Dev. = 0,986
N = 36
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

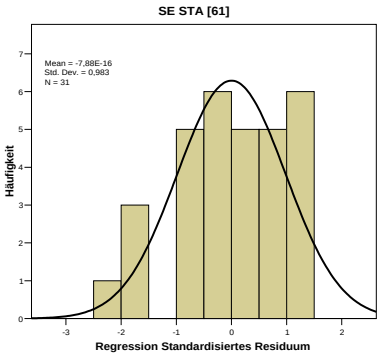

SE STA [52]
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

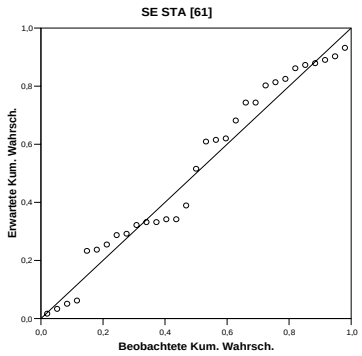

SE STA [52]
Regression Standardisierter geschätzter Wert
Regression Standardisiertes Residuum

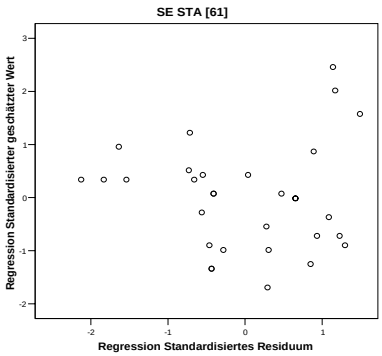

SE STA [53]
Mean = 2,19E-16
Std. Dev. = 0,986
N = 36
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

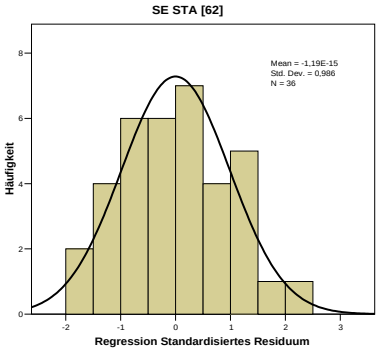

SE STA [53]
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

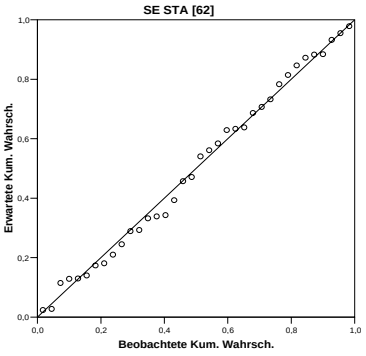

SE STA [53]
Regression Standardisierter geschätzter Wert
Regression Standardisiertes Residuum

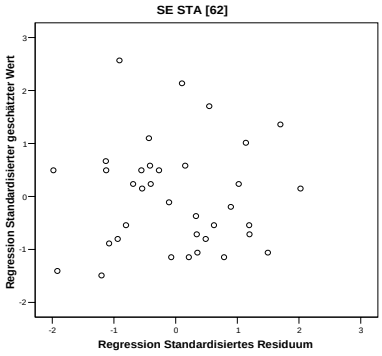

SE STA [61]
Mean = -7,88E-16
Std. Dev. = 0,983
N = 31
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

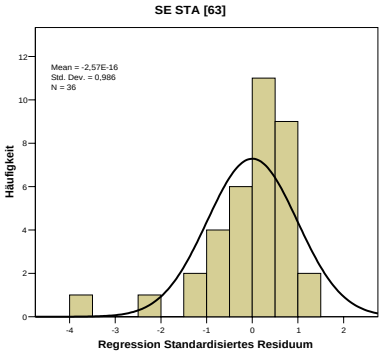

SE STA [61]
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

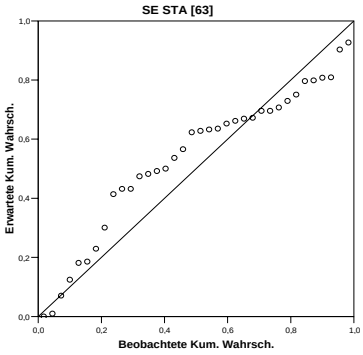

SE STA [61]
Regression Standardisierter geschätzter Wert
Regression Standardisiertes Residuum

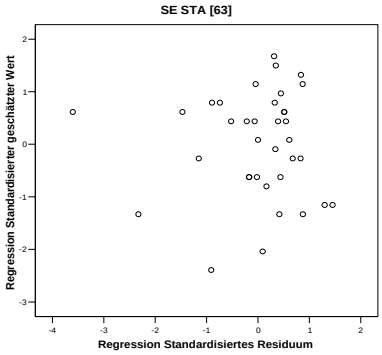

SE STA [62]
Mean = -1,19E-15
Std. Dev. = 0,986
N = 36
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

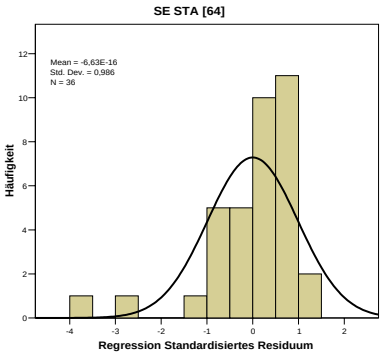

SE STA [62]
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

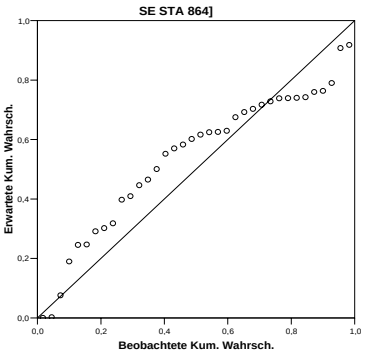

SE STA [62]
Regression Standardisierter geschätzter Wert
Regression Standardisiertes Residuum

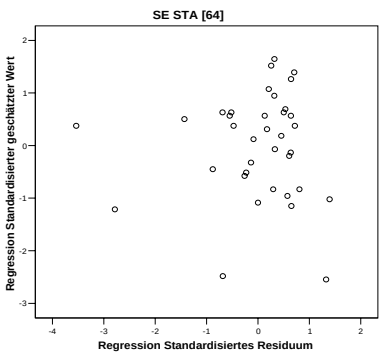

SE STA [63]
Mean = -2,57E-16
Std. Dev. = 0,986
N = 36
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

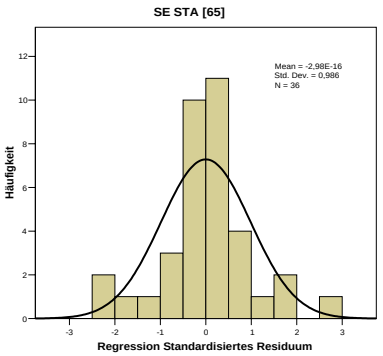

SE STA [63]
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

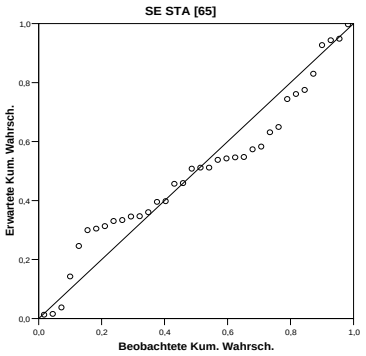

SE STA [63]
Regression Standardisierter geschätzter Wert
Regression Standardisiertes Residuum

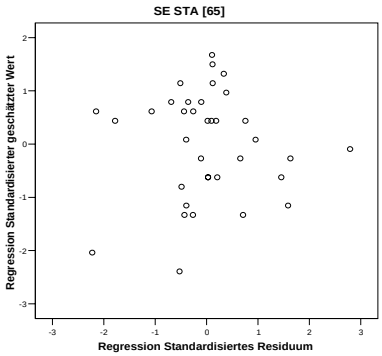

SE STA [64]
Mean = -6,63E-16
Std. Dev. = 0,986
N = 36
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

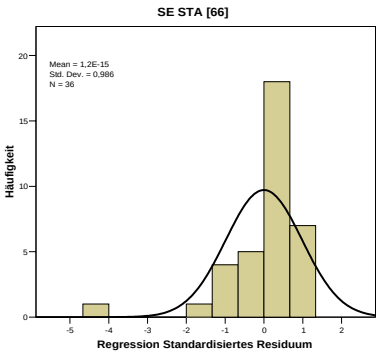

SE STA 864]
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

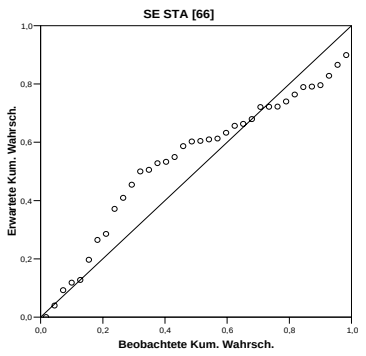

SE STA [64]
Regression Standardisierter geschätzter Wert
Regression Standardisiertes Residuum

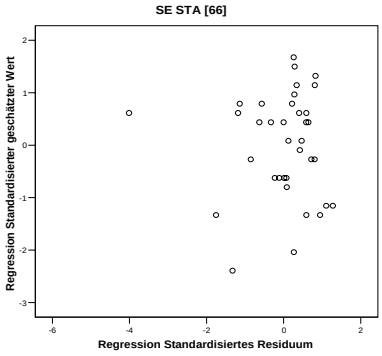

SE STA [65]
Mean = -2,98E-16
Std. Dev. = 0,986
N = 36
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

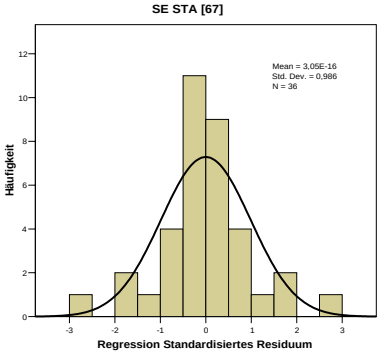

SE STA [65]
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

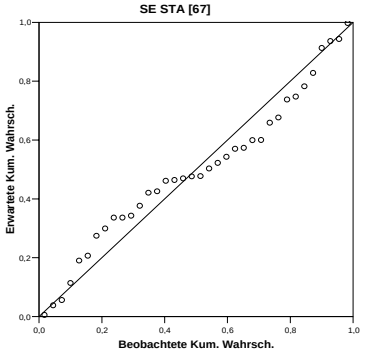

SE STA [65]
Regression Standardisierter geschätzter Wert
Regression Standardisiertes Residuum

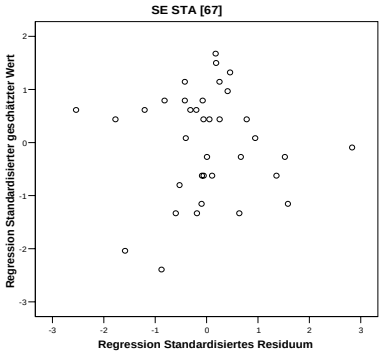

SE STA [66]
Mean = 1,2E-15
Std. Dev. = 0,986
N = 36
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum


SE STA [66]
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.


SE STA [66]
Regression Standardisierter geschätzter Wert
Regression Standardisiertes Residuum


SE STA [67]
Mean = 3,05E-16
Std. Dev. = 0,986
N = 36
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum


SE STA [67]
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.


SE STA [67]
Regression Standardisierter geschätzter Wert
Regression Standardisiertes Residuum

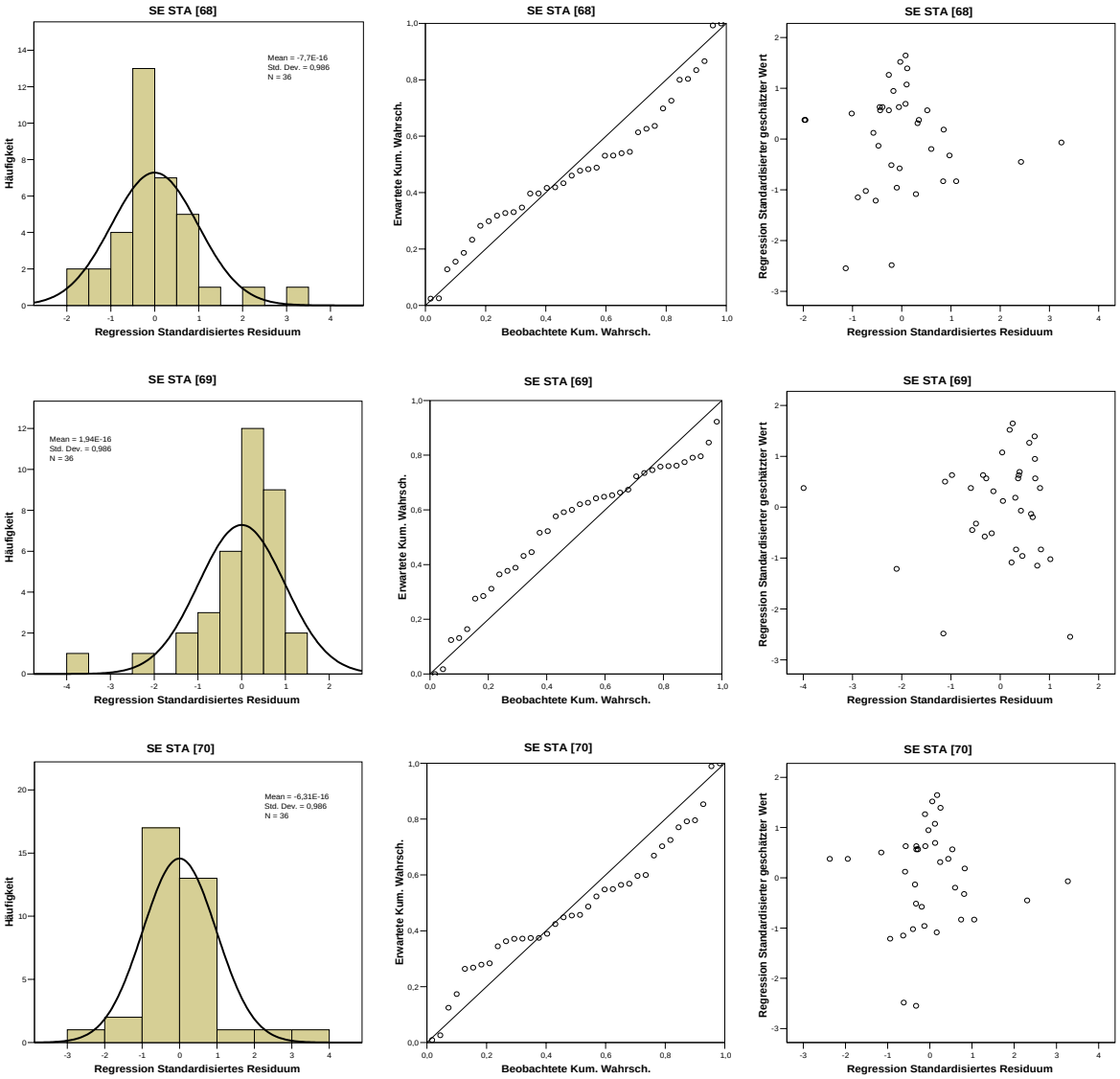
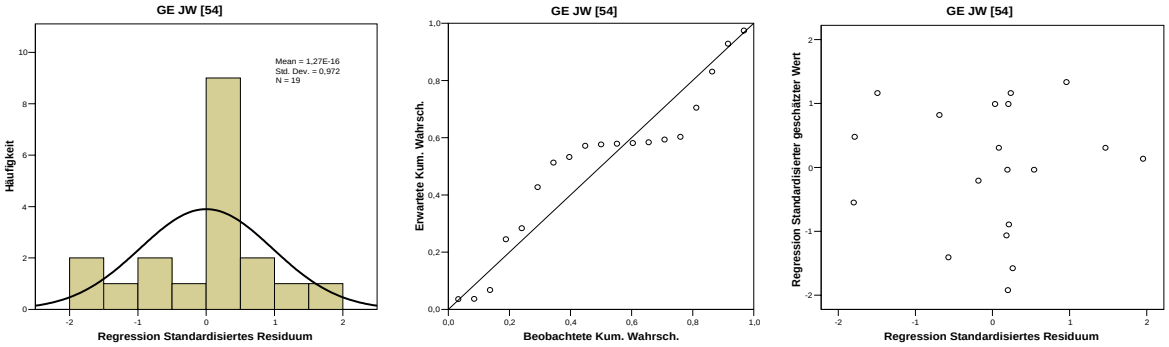
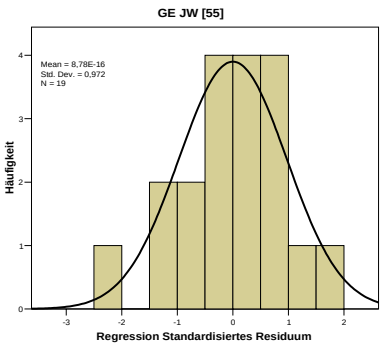
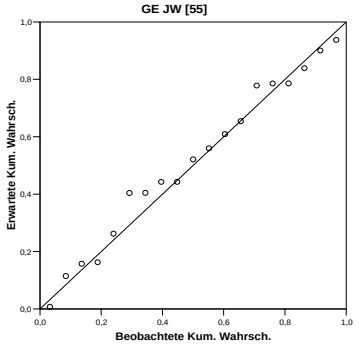
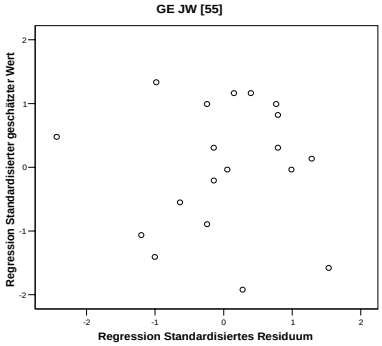


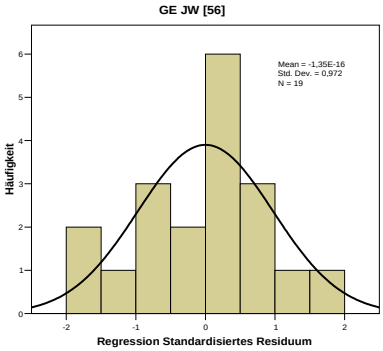
Abb. Annex E - 3: Residualplots für die Biomassefunktionen des Grauerlenjungwuchses (GE JW)

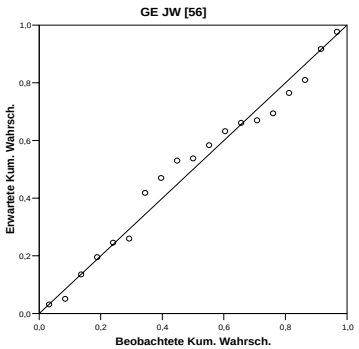


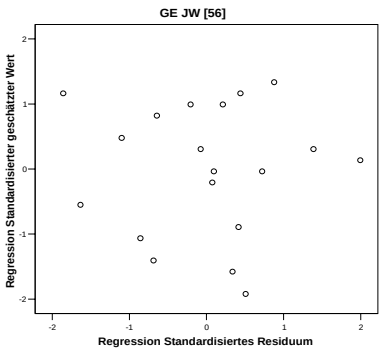

GE JW [55]
Mean = 8,78E-16
Std. Dev. = 0,972
N = 19
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

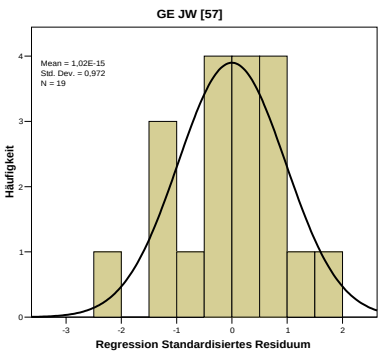

GE JW [55]
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

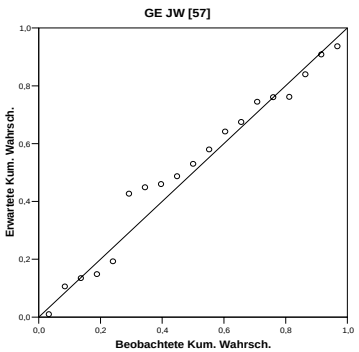

GE JW [55]
Regression Standardisierter geschätzter Wert
Regression Standardisiertes Residuum

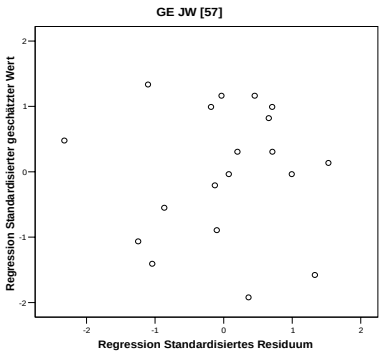

GE JW [56]
Mean = -1,35E-16
Std. Dev. = 0,972
N = 19
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

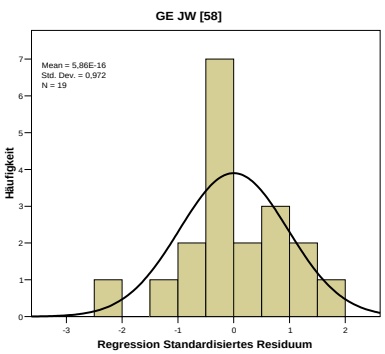

GE JW [56]
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

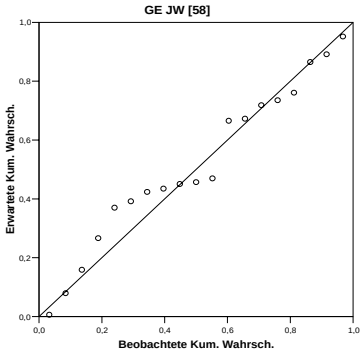

GE JW [56]
Regression Standardisierter geschätzter Wert
Regression Standardisiertes Residuum

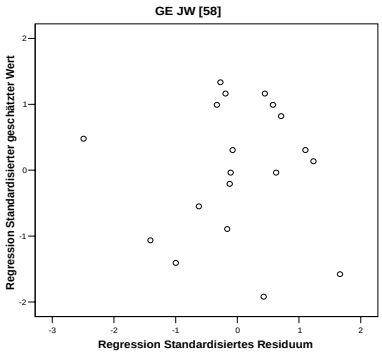

GE JW [57]
Mean = 1,02E-15
Std. Dev. = 0,972
N = 19
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

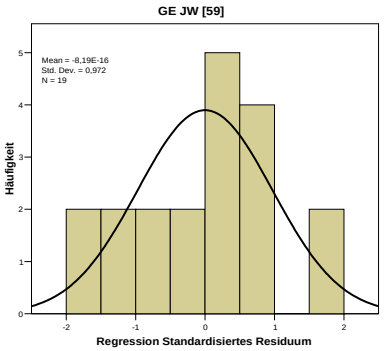

GE JW [57]
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

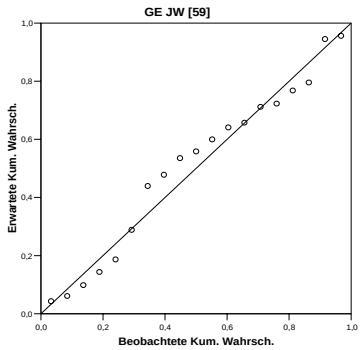

GE JW [57]
Regression Standardisierter geschätzter Wert
Regression Standardisiertes Residuum

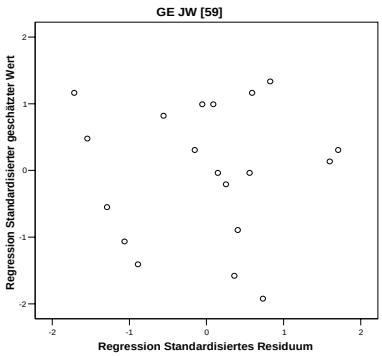

GE JW [58]
Mean = 5,86E-16
Std. Dev. = 0,972
N = 19
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

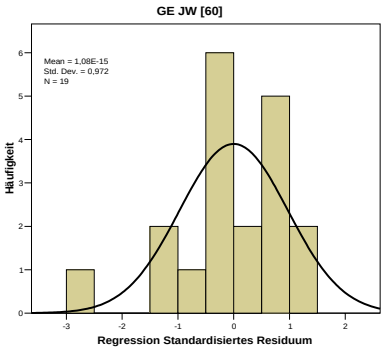

GE JW [58]
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

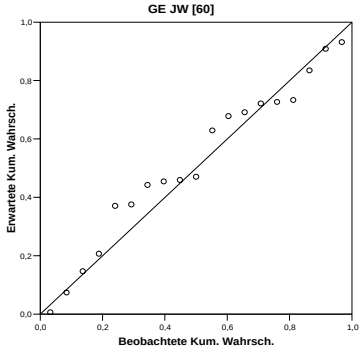

GE JW [58]
Regression Standardisierter geschätzter Wert
Regression Standardisiertes Residuum

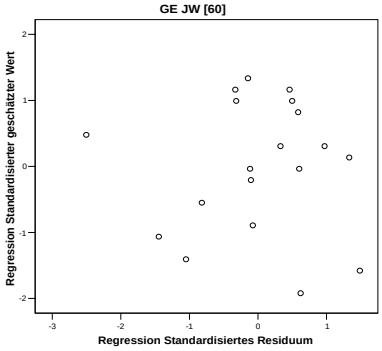

GE JW [59]
Mean = -8,19E-16
Std. Dev. = 0,972
N = 19
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

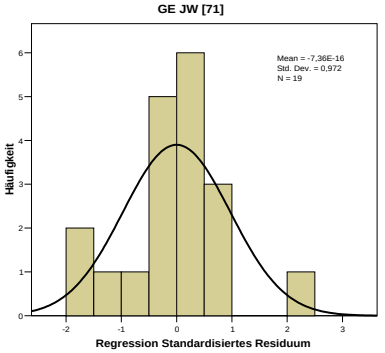

GE JW [59]
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

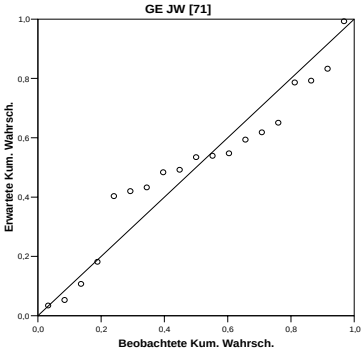

GE JW [59]
Regression Standardisierter geschätzter Wert
Regression Standardisiertes Residuum

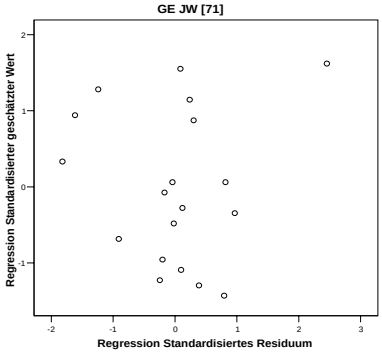

GE JW [60]
Mean = 1,08E-15
Std. Dev. = 0,972
N = 19
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum

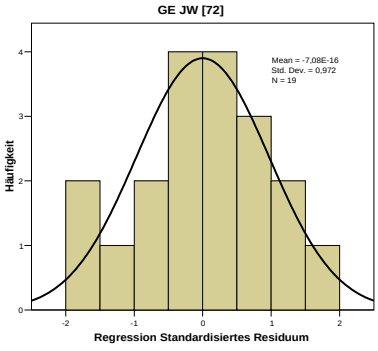

GE JW [60]
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.

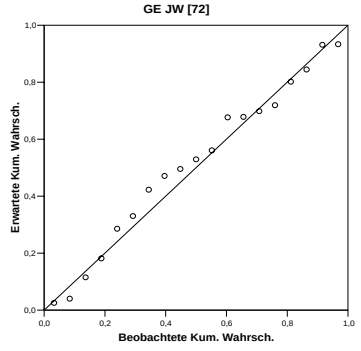

GE JW [60]
Regression Standardisierter geschätzter Wert
Regression Standardisiertes Residuum

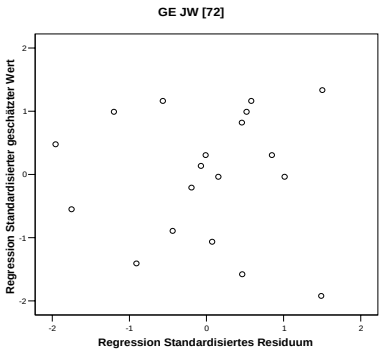

GE JW [71]
Mean = -7,36E-16
Std. Dev. = 0,972
N = 19
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum


GE JW [71]
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.


GE JW [71]
Regression Standardisierter geschätzter Wert
Regression Standardisiertes Residuum


GE JW [72]
Mean = -7,08E-16
Std. Dev. = 0,972
N = 19
Häufigkeit
Regression Standardisiertes Residuum


GE JW [72]
Erwartete Kum. Wahrsch.
Beobachtete Kum. Wahrsch.


GE JW [72]
Regression Standardisierter geschätzter Wert
Regression Standardisiertes Residuum