

# Forstliche Standortmodellierung im Forstbetrieb Niederkreuzstetten

Masterarbeit  
im Rahmen des Masterstudiums  
066 427 Umwelt- und Bioressourcenmanagement  
eingereicht von

**Rupert Wilhelm, BSc**

Betreuer: Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr. Klaus Katzensteiner

Mitwirkender: Univ.Ass. Mag. Dr. Thomas Bauer

Institut für Waldökologie  
Department für Wald- und Bodenwissenschaften  
Universität für Bodenkultur Wien

30. Oktober 2014

## **Dank an**

die Firma ALWA und besonders Förster Michael Fink für die Ermöglichung der Arbeit und die Unterstützung in der Freilandarbeit, die Firma Umweltdata für die Bereitstellung der Datengrundlage, Prof. Klaus Katzensteiner für die Realisierung und Betreuung der Masterarbeit.

Weiters bedanke ich mich bei Jasmin und meiner Familie für die Liebe und mentale Unterstützung.

# Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1. Stand des Wissens	4
1.1.1. Standortkartierung und Standortmodellierung	4
1.1.2. Hydrologischer Kreislauf im Ökosystem Wald	8
1.1.3. Ziel und Forschungsfrage	12
2. Material und Methoden	14
2.1. Beschreibung des Untersuchungsgebietes	14
2.1.1. Lage	14
2.1.2. Klima	15
2.1.3. Geologie	18
2.1.4. Böden	21
2.2. Landnutzung im Untersuchungsgebiet	25
2.2.1. Forstliche Bewirtschaftung	25
2.2.2. Zeiger für historische Landnutzung	26
2.3. Datengrundlage	28
2.3.1. Geodaten	28
2.3.2. Klimadaten	29
2.4. Datenerhebung	30
2.4.1. Auswahl der Probestellen	30
2.4.2. Aufnahme der Bodenproben	31
2.5. Modellierung der Standorte	33
2.5.1. Verarbeitung des digitalen Terrainmodelles	33
2.5.2. Verarbeitung der Farb-Infrarot-Luftbildaufnahme (CIR)	35
2.5.3. Multivariate Datenanalyse in R	36

2.5.4.	Theorie zur logistischen Regression . . . . .	38
2.6.	Simulation des Wasserhaushaltes am Standort . . . . .	39
2.6.1.	Modellaufbau . . . . .	39
2.6.2.	Auswahl der Modellparameter . . . . .	41
3.	Ergebnisse . . . . .	43
3.1.	Explorative Statistik der Bodenproben . . . . .	43
3.1.1.	Bodentypen . . . . .	43
3.1.2.	Nutzbare Wasserspeicherkapazität . . . . .	46
3.1.3.	Statistische Ableitung der Standortseinheiten . . . . .	46
3.2.	Clusteranalyse . . . . .	49
3.3.	Regionalisierung der Standortseinheiten . . . . .	54
3.3.1.	Beschreibung und Erklärung der Standortstypen . . . . .	61
3.3.2.	Zusammenfassung der Standortstypen . . . . .	65
3.4.	Berechnung der Stresstage . . . . .	77
4.	Diskussion . . . . .	78
A.	Anhang . . . . .	83

## Abstract

### Forest site classification and modelling for a forest management unit in Lower Austria

The aim of this master thesis is a forest site mapping for the forest district Niederkreuzstetten (Company ALWA), to support silvicultural management. The investigated area encompasses 800 ha and is located in Lower Austria (region 'Weinviertel'). Classical forest site classification is often too expensive and time-consuming. For this reason we have conducted following approach: Point and remotely sensed data were combined in a mechanistic water balance model to obtain area-wide information that is meaningful for future forestry applications. At first the sampling was stratified by environmental gradients like natural forests, geological units and the aspect of the terrain. Afterwards soil attributes were collected on transects (catenae). Additional spatial groups, which can be treated as forest sites, are identified based on attributes derived from the digital terrain model (such as solar radiation, topographic wetness index and topographic position index); the normalized difference vegetation index was obtained from color infrared imagery. According to these attributes a cluster analysis was applied to determine differences in water balance and energy budget. With R the parameters slope, a radiation index and plan curvature were used in a multinomial logistic regression analysis to predict the area-wide distribution of the spatial groups for every raster cell. Altogether eight different spatial groups were identified. The predicted probabilities of the groups vary from 0.01 to 0.84. Finally the model Brook90 was applied to the groups (forest sites) which resulted water balance parameters and potential number of days with drought stress for vegetation

**Keywords:** forest site modelling, Weinviertel, Brook90, R, water balance

### Forstliche Standortmodellierung im Forstbetrieb Niederkreuzstetten

Ziel der Arbeit war die Erstellung einer forstlichen Standortstypenkarte als Bewirtschaftungsgrundlage für das Forstrevier Niederkreuzstetten (mit einer Fläche von rund 800 ha) der Firma ALWA, in Niederösterreich (Weinviertel). Eine klassische forstliche Standortkartierung ist zeitaufwändig und teuer. In der vorliegenden Arbeit wird daher eine Methode dargestellt, mit der terrestrisch erhobene Punktdaten, fernerkundliche Daten und ein mechanistisches Wasserhaushaltsmodell zur Ableitung flächendeckender forstlich relevanter Standortinformationen verknüpft werden. Vor der Punktaufnahme erfolgte eine Stratifizierung des Geländes nach Naturnähe der Bestände, geologischer Einheit und Lage. Die Erhebung der Stichprobe fand anschließend entlang von Transekten (Catenen) statt. Um aus der Stichprobe räumliche Gruppen zu bilden, die analog zu Standortseinheiten gehandhabt werden können, und das Untersuchungsgebiet nach Unterschieden im Energie- und Wasserhaushalt zu beschreiben, wurden zusätzlich Attribute aus dem digitalen Geländemodell (Solarstrahlung, Topographic Wetness Index, Topographic Position Index) und der Normalized Difference Vegetation Index aus Farb-Infrarot-Luftbildaufnahmen (CIR) abgeleitet und eine Clusteranalyse durchgeführt. Mittels multinomischer logistischer Regression wurden in der Folge in R Modelle erstellt, mit denen über die Prädiktoren Hangneigung, transformierte Exposition und horizontale Krümmung für jede Rasterzelle die Gruppenzugehörigkeit errechnet wurde. Die vorhergesagte Zuordnungswahrscheinlichkeit für die 8 ermittelten Einheiten reicht von 0.01 bis 0.84. Schließlich wurde für die Standortseinheiten das hydrologische Modell Brook90 angewendet, um Wasserhaushaltsparameter und potentiellen Wasserstress für die Vegetation abzuleiten.

**Schlüsselworte:** Standortmodellierung, Weinviertel, Brook90, R, Wasserhaushalt

# 1. Einleitung

Die Missachtung standortsnaher Waldbewirtschaftung kann dazu führen, dass die Anfälligkeit von Waldbeständen gegenüber Umwelteinflüssen und die Entwicklung von Schäden gefördert werden (Altenkirch et al., 2002). Ein Beispiel dafür ist der Anbau der Fichte (*Picea abies*) in Tieflagen Österreichs, da der Bedarf an Konstruktionsholz aufgrund von jahrhundertelangen Eingriffen in den Wald nicht mehr gedeckt werden konnte. Dokumentationen belegen, dass am Ende des 18. Jahrhunderts 159 ha an Borkenkäferholz, im August 1828 und im Juli 1929 390 ha sowie 13.700 fm Holz nach einem Windwurf im Raum Lambach (Oberösterreich) anfielen (Güde, 1960; Kusché, 2000). Obwohl bereits ab dem 18. Jahrhundert das erhöhte Gefahrenpotential von Fichtenreinbeständen in Tieflagen erkannt wurde, sind die Empfehlungen für standortsangepasste Mischbestände nur lokal umgesetzt worden. Die Dominanz der Fichtenreinbestände ist bis heute im Tiefland vorzufinden (Kusché, 2000).

Von den vier funktionalen Leistungen des Waldes erfährt die Nutzfunktion die größte Bedeutung, da die österreichischen Wälder zum großen Teil von kleinstrukturierten bäuerlichen Betrieben bewirtschaftet werden und die Erträge aus dem Wald einen Bestandteil des Betriebseinkommens darstellen (BFW, 2014). Bis ein Bestand Hiebsreife erreicht, vergehen bei vielen Baumarten mehrere Generationen. Während dieser Zeit steht der Wald in Wechselwirkung mit seiner Umwelt, die einer starken Dynamik unterliegen kann. Abiotische und biotische Umweltfaktoren wirken mit unterschiedlicher Intensität auf den Bestand ein und sich schließlich auf das Wachstum aus (Arbeitskreis Standortkartierung, 2003).

Für das Wachstum der Baumarten sind die Faktoren Licht, Wasser und Nährstoffe essentiell (Altenkirch et al., 2002). Major (1951) stellt in seiner Arbeit fünf Komponenten in Beziehung, die bei der Entwicklung der Vegetation eine Rolle spielen: Ähnlich wie in der Beschreibung der Bodenbildung nach Jenny (1941) zählen das regionale Klima, der Boden, das Relief, die Organismen und die Zeit zu den Einflussgrößen der Umweltfaktoren und folglich auf das Wachstums der Vegetation.

Das Mikroklima ist abhängig von der Gestalt und Höhe der Vegetation. Je nach Höhe und Dichte des Kronendaches fällt die Intensität der Luftbewegung oder des Lichtes unterschiedlich aus. Auch eine Wechselwirkung zwischen Relief und lokalem Klima ist vorhanden, was die höhere Sonneneinstrahlung an Südhängen im Vergleich zu Nordhängen verdeutlicht. An exponierten Stellen entlang von Rücken und Kuppen treten höhere Luftbewegungen als an geschützten Stellen auf. Gleichzeitig ist aufgrund der wechselnden Intensität der Sonneneinstrahlung und Windgeschwindigkeit mit unterschiedlichen Temperaturverhältnissen zu rechnen (Waring und Schlesinger, 1985; Major, 1951).

Neben dem Klima interagiert das Relief auch mit dem Boden, da der Niederschlagsabfluss unmittelbar von den Landschaftsformen beeinflusst wird: Konkave Landschaftsformen bedeuten eine höhere Niederschlagsakkumulation und lassen feuchtere Böden vermuten. Im Gegensatz dazu sind an konvexen Landschaftsformen trockenere Böden vorzufinden (Ellis, 1938). Auch in der Bodenentwicklung ist eine Beziehung zwischen Relief und Boden vorhanden: Die Mächtigkeit von Bodenhorizonten nimmt mit zunehmender Steigung ab, was sich auf den Wasserhaushalt eines Hanges auswirken kann ((Norton et.al., 1930) in Jenny (1941)).

Weiters nehmen Zusammenhänge zwischen Relief und Bodenbildung Einfluss auf die Erosion und Ablagerung von Bodenmaterialien (Ellis, 1938). Auf Ober- und Mittelhängen können Abträge, und am Unterhang oder auf Terrassen Ablagerungen von Bodenmaterial auftreten. Zuletzt ist der Zusammenhang zwischen dem Relief und dem Grundwasser anzusprechen: Es gilt, dass die Vegetation an Standorten am Talboden und in niedriger Seehöhe leichter Grundwasser erreicht, als an grundwasserfernen Standorten (Major, 1951).

Die Waldbestände im Weinviertel haben häufig keinen Grundwasserzugang und überstehen die trockenen klimatischen Bedingungen aufgrund der tiefgründigen und tonreichen Böden (Hochbichler, 2008). Dies zeigt, dass die Eigenschaften des Ausgangsmaterials (dazu zählen Bodentextur, Bodenart und chemische Eigenschaften) unter anderem die Wasserspeicherfähigkeit, die Nährstoffverfügbarkeit oder den pH-Wert der daraus resultierenden Böden prägen (Jenny, 1941).

Der Einfluss von Organismen auf die untersuchten Waldbestände ist in vielen Gestalten gegeben, sei es durch blattfressende Insekten an der Eiche oder durch den Menschen. Das Eichensterben etwa zählt zu den Komplexkrankheiten, die aus einer langfristigen Wechselwirkung von abiotischen und biotischen Faktoren resultieren. Es ist seit dem 18. Jahrhundert bekannt und tritt häufig periodisch auf. Als Grund liegt neben den extremen Witterungsbedingungen oder der Massenvermehrung von Schädlingen die vom Menschen verursachte Absenkung des Grundwasserspiegels nahe (BFW, 2012). Für die Planung ist es kaum möglich, alle Wechselwirkungen im System während des Lebenszykluses vorherzusagen. Umso mehr sollte der standortnahe Waldbau an Bedeutung gewinnen, damit sowohl die Ansprüche der Baumarten weitgehend erfüllt, als auch in Folge die Widerstandsfähigkeit gegenüber extremen Umwelteinflüssen sichergestellt werden kann.

Das Ziel dieser Arbeit stellt die Modellierung von Standortseinheiten im Forstrevier Niederkreuzstetten dar. Mit Hilfe statistischer Methoden werden Standortmerkmale, wie das Relief, das Klima und der Boden, in Gruppen eingeteilt. Diese Gruppen sind in der Forstwirtschaft als Standortseinheiten (Synonym: Standortstypen) beschrieben, welche ökologische Gegebenheiten, waldbauliche Maßnahmen, Ertrag und die Gefährdung so gut wie möglich zusammenfassen (Arbeitskreis Standortskartierung, 2003).

Auch hinsichtlich der Thematik des Klimawandels ist die Berücksichtigung von standörtlichen Gegebenheiten in der Planung wichtig. Trockenstress, verursacht durch die Veränderungen im Klima, zählt zu den Ereignissen, die die Schadensanfälligkeit des Ökosystemes Wald erhöhen kann, da das Wachstum der Bäume mit der Wasserverfügbarkeit des Bodens korreliert (Pallardy, 2008). Aufgrund der Tatsache, dass sich das Untersuchungsgebiet in der pannonischen Klimaprovinz Weinviertel befindet, wo Wasser regelmäßig einen limitierenden Faktor darstellt,

gelten Erkenntnisse über den Ablauf des Wasserkreislaufes als wichtige Grundlage für die Einschätzung der hydrologischen Eigenschaften einer Bestandesfläche. Für die Standortseinheiten werden nach der Klassifizierung jener die dazugehörigen Trockenstresstage ermittelt, um am Ende eine Empfehlung bezüglich der Baumartenwahl abzugeben. Die Ergebnisse der Arbeit dienen weiterfolgend als Grundlage bei der Planung von waldbaulichen Maßnahmen. Die Berücksichtigung der Standortseinheiten und der dazu empfohlenen Baumarten kann somit einen Beitrag zur Sicherstellung der nachhaltigen Bewirtschaftung leisten.

## **1.1. Stand des Wissens**

### **1.1.1. Standortskartierung und Standortmodellierung**

Der forstliche Standort versteht sich als die Summe von abiotischen Umweltfaktoren, die wesentlich auf das Wachstum und die Stabilität von Wäldern Einfluss nehmen. Die abiotischen Umweltfaktoren wie Licht, Wärme, Wasser, chemische und mechanische Faktoren variieren im Gelände nach Lage, Klima sowie Boden und können in der Regel indirekt über Standortmerkmale (Synonym: Standortsfaktoren) angesprochen werden. Standortmerkmale zur Lagebeschreibung können Relief, geographische Breite und Länge sein, für das Klima können das Energieangebot, die Temperatur, der Niederschlag oder die Vegetationsdauer herangezogen werden, für den Boden das geologische Substrat, die Bodenart, die Wasserspeicherkapazität oder der Bodentyp. Das Ziel der forstlichen Standortskartierung ist die Erfassung und Klassifizierung der Ausprägungen und Interaktionen dieser Faktoren, um einen Vergleich zwischen Standortgegebenheiten und Standortansprüchen der Baumarten und Waldgesellschaften zu ermöglichen (Arbeitskreis Standortskartierung, 2003; Gauer et al., 2011).

Barnes et al. (1982), der Arbeitskreis Standortskartierung (2003) und Gauer et al. (2011) zeigen auf, dass je nach Land die forstliche Standortskartierung mit Hilfe unterschiedlicher Verfahren umgesetzt wird. In Österreich gilt nach Englisch et al. (1998) das kombinierte Verfahren als Grundlage der forstlichen Standortskartierung. Das kombinierte Verfahren versteht sich als multivariater Ansatz, der

versucht mehrere Standortmerkmale bei der Bestimmung der Standortseinheiten zu berücksichtigen. Anhand der Kombination von Merkmalen aus den Bereichen Boden, Klima, Lage und Vegetation können ökologisch begründbare, einheitliche Standortstypen im Gelände bestimmt und abgegrenzt werden (Katzensteiner, 2013). Eine eindimensionale Einteilung von Standortseinheiten aufgrund von boden- oder vegetationskundlichen Aufnahmen wird dabei vermieden, damit eine naturwissenschaftlich fundierte Klassifikation vorliegt (Englisch et al., 1998). Auch der Arbeitskreis Standortkartierung (2003) empfiehlt ein kombiniertes Verfahren, da damit eine umfassende Betrachtung der Standortmerkmale umgesetzt wird. Zugleich ist damit vorausgesetzt, dass trotz Widersprüchen oder des Fehlens eines Merkmales die Kombination der vorhandenen restlichen Merkmale eine Anwendung des Verfahrens ermöglicht, da häufig Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Standortmerkmalen vorhanden sind (Englisch et al., 1998). In der Arbeit von Barnes et al. (1982) ist auch das Gegenteil des kombinierten Verfahrens erwähnt, welches einer Standortkartierung basierend auf einem Schwerpunkt gleichzusetzen ist. Dabei wird bei der Kartierung nur eine Ausprägung berücksichtigt, folglich also nur die Landschaftsform, der Boden oder die Vegetation.

Neben der Auswahl eines oder mehrerer Standortmerkmale können die Verfahren der Standortkartierung nach dem Arbeitskreis Standortkartierung (2003) und Gauer et al. (2011) zudem ein- oder mehrstufig sein. Das oben bereits erwähnte mehrstufige Verfahren sieht im Gegensatz zum einstufigen Verfahren vor, dass die Standortklassifikation in einer regionalen und lokalen Ebene stattfindet. Anhand von gesetzlich festgelegten Wuchsgebieten, die nach großräumigem Klima, geologischen Einheiten und potentieller Vegetation abgeleitet wurden und den wissenschaftlich bestimmten Höhenstufen erfolgt in Österreich eine erste Gliederung nach Großlandschaften, für die weiters eine Unterteilung in Wuchsbezirke stattfindet. In der lokalen Ebene werden in der jeweiligen regionalen Einheit die Standortseinheiten nach einheitlichen Faktoren wie Wasserhaushalt, Substrat und Relief unterschieden.

Ein Beispiel für ein mehrstufiges, kombiniertes Verfahren stellt das Baden-Württemberg Verfahren dar, im Zuge dessen sich eine qualitative Bewertung des Wasserhaushaltes mit Hilfe der Faktoren Lage am Hang, Exposition, Bodenentwick-

lungstiefe, Humosität, Bodenvegetation und der Wuchshöhe der Bäume ergibt. Barnes et al. (1982) wenden im Cyrus H. Mc Cormick Lehrforst in Michigan dieses kombinierte mehrstufige Verfahren an, wobei in zwei Standortseinheiten mit unterschiedlichem Substrat und anderer Bodenhydrologie eine ähnliche Vegetation festgestellt wurde. Barnes et al. (1982) betonen deshalb, bodenkundliche oder physiogeographische Informationen miteinzubeziehen, da sie zusätzlich Folgendes gewährleisten:

- Sie wirken unterstützend in der verlässlichen und effizienten Ansprache der Bodenvegetation.
- Gute Prädiktoren für die Produktivität des Standortes, da sie im Gegensatz zur Vegetation relativ stabil ausfallen.
- In großen Untersuchungsgebieten können physiogeographische Informationen aus Orthofotos abgeleitet werden.
- Das Wissen über die Bodenbeschaffenheit, die Wasserspeicherfähigkeit und die Geländeausstattung sind für waldbauliche Maßnahmen essentiell.

Mit der Etablierung von Geoinformationssystemen (kurz: GIS) ist ein vielfältiges Instrument vorhanden, das einerseits den Umgang mit räumlichen Standortdaten vereinfacht, und das im Falle von Punktdaten eine Umlegung der punktuellen Informationen auf Flächen anhand von Interpolationsverfahren ermöglicht. Hochaufgelöste Geländemodelle stellen außerdem eine weitere wertvolle Quelle für die Standortkartierung dar. Klimadaten als Tageswerte in Kombination mit Geländemodellen mit einer räumlichen Auflösung von 5 bis 20 m können mit Hilfe von geostatistischen Werkzeugen beispielsweise zu klimatischen Wasserbilanzen verarbeitet werden. Auch Datensätze, die Baumhöhen beschreiben und aus Laserscanning-Verfahren abgeleitet werden, zählen zu wesentlichen Informationen für weitere Überlegungen, da sich besonders die Oberhöhe als Indikator der Wechselwirkung zwischen Wasserhaushalt und Baumwachstum eignet (Gauer et al., 2011). Heurich et al. (2004) geben für ihr Baumhöhenmodell, das den Zusammenhang zwischen Baumhöhen von terrestrischen Aufnahmen und aus LIDAR-Daten abgeleiteten Baumhöhen beschreibt, ein  $R^2$  von 0.9874 an. Rund 72 % der relevanten Bäume

der Oberschicht konnten richtig identifiziert werden, wobei mit der Weiterentwicklung der Technik Verbesserungen in der Identifizierung zu erwarten sind.

Die derzeitige forstliche Standortskartierung in den deutschen Bundesländern ist ein semi-empirischer Ansatz, da beispielsweise der Gesamtwasserhaushalt mit Hilfe von Feldbeobachtungen eingeschätzt werden kann. Folglich wird eine qualitative Einstufung nach Krauss (1936) vorgenommen, die von „sehr trocken“ bis „sehr frisch“ reicht, wobei die Referenzsituation „frisch“ bis „mäßig frisch“ darstellt (Schwärzel et al., 2009). Schwärzel et al. (2009) deuten in ihrer Arbeit am Beispiel von Deutschland auf drei Probleme hin, die in der forstlichen Standortskartierung auftreten können:

- Das Standortsklima wird als konstante Bedingung angenommen und lediglich unter Rücksichtnahme auf das Relief modifiziert.
- Es ergibt sich eine unsichere Beurteilung des reliefbedingten Wasserhaushaltes, sowie eine vage Zuordnung von bodenhydrologischen Bedingungen zur Hangneigung und Exposition.
- Die Auswirkungen von waldbaulichen Maßnahmen, wie etwa der Baumartenwahl und der Bestockungsdichte, oder von Klimabedingungen auf den Standortwasserhaushalt können nicht eingeschätzt werden.

Die Modellierung als Instrument für die Standortskartierung stellt eine Möglichkeit dar, Prognosen bezüglich des Standortwasserhaushaltes bei variierenden Eingangsvariablen durchzuführen. Außerdem soll nach objektiven, nachvollziehbaren Kriterien der soeben erwähnte Objektivierungsbedarf umgesetzt werden. Ein Beispiel für ein Modellsystem ist das forsthydrologische Modell LWF-BROOK90 nach Hammel und Kennel (2001), das zusätzlich in Schwärzel et al. (2009) in eine GIS-Umgebung integriert wurde. Damit ist eine räumlich-differenzierte Modellierung von meteorologischen Eingangsgrößen umsetzbar. Die morphologisch bedingte Ausprägung lokalklimatischer Effekte kann in kurzer Zeit berechnet und auf die Fläche umgelegt werden.

## 1.1.2. Hydrologischer Kreislauf im Ökosystem Wald

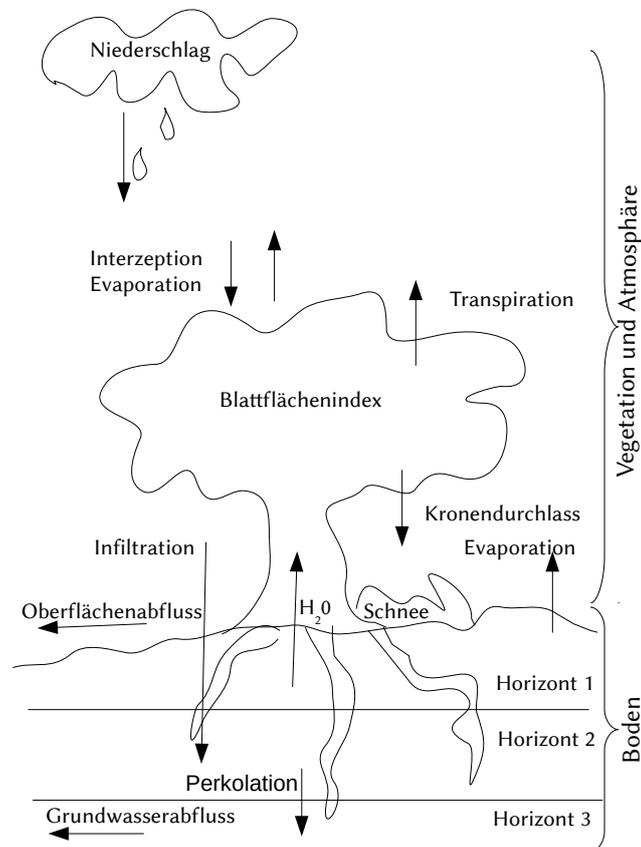


Abbildung 1.1.: Vereinfachte Darstellung des Wasserkreislaufes und Untergliederung in die einzelnen Prozesse (abgeändert nach Neilson (1995)).

In Grafik 1.1 ist ein Flussdiagramm nach Neilson (1995) abgebildet, das den hydrologischen Kreislauf in einem Mapped Atmosphere-Soil-Plant-System (MAPSS) wie folgt beschreibt: Niederschlag, Luftfeuchtigkeit, Temperatur, Globalstrahlung und Windgeschwindigkeit zählen zu den wichtigsten Einflussfaktoren auf das Mikroklima und die Hydrologie im Wald (Waring und Running, 1998). An dieser Stelle ist vor allem die Bedeutung der Einflussgrößen im Massen- und Energieaustausch hervorzuheben, der zwischen den Pflanzen und der Umwelt in verschiedenen Formen stattfindet. In Grafik 1.1 sind die Prozesse Evaporation und Transpiration angegeben, wo im ersten Fall über die Verdunstung von Wasser an Oberflächen und im

zweiten Fall über die Abgabe von Wasserdampf über die Stomata (Spaltöffnungen) der Pflanze Wasser und Energie ausgetauscht werden. Die natürliche Abgabe langwelliger Strahlung von Oberflächen über dem absoluten Nullpunkt oder die Konduktion, also der Wärmefluss von einem Medium mit höherer Temperatur zu einem Medium mit niedrigerer Temperatur, aber auch die Reflexion kurzwelliger Strahlung sind wichtige Bestandteile des Energiehaushaltes (Gates, 2012).

Die Evaporation ist ein physikalischer Vorgang, bei dem die Diffusion von Wassermolekülen ausgehend von feuchten Oberflächen erfolgt (Waring und Running, 1998). Wassermoleküle diffundieren von Oberflächen mit größerem Wasserdampfgehalt zu darüberliegenden Luftschichten mit geringerem Wasserdampfgehalt. Die Diffusionsrate wird wesentlich vom Wasserdampfgradienten zwischen der Oberfläche und den Luftschichten beeinflusst (Chang, 2012). Der Wasserdampfgradient berechnet sich aus dem Unterschied zwischen dem Wasserdampf-sättigungsdruck des Wassers an einer Oberfläche und dem Wasserdampfdruck der Luft. Der Wasserdampf-sättigungsdruck und der Wasserdampfdruck ergeben sich aus der Funktion von Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit. Somit wird die Rate der Diffusion vom Energieeintrag geregelt (Waring und Running, 1998).

Zusätzlich beeinflusst die Leitfähigkeit der Grenzschicht (boundary layer conductance) die Evaporation (Waring und Running, 1998): Es wird angenommen, dass unmittelbar über der feuchten Oberfläche eine Grenzschicht (boundary layer) vorliegt, innerhalb welcher Windstille herrscht (Chang, 2012). Ausgeprägte Grenzschichten isolieren feuchte Oberflächen vom Sättigungsdefizit der Luftschichten in der Umgebung. Eine geringe Leitfähigkeit liegt bei einer ausgeprägten Grenzschicht, einer geringen Rauigkeit der Vegetation und niedriger Windgeschwindigkeit vor (Waring und Running, 1998).

Die Interzeption stellt den Anteil am Niederschlag dar, der an der Oberfläche der Vegetation auftritt und nicht den Waldboden erreicht. Der Anteil der Interzeption am Jahresniederschlag beträgt zwischen 10-50%. Die tatsächliche Menge wird von der Intensität des Niederschlagsereignisses bestimmt, denn solange das Kronendach nicht gesättigt ist, kann Niederschlag aufgenommen werden. Erst nachdem eine Sättigung eintritt, fließt der Niederschlag über den Stamm ab und nur die Evaporation des Niederschlages während des Ereignisses kann die Sättigung

der Kronenspeicherkapazität reduzieren (Klaassen et al., 1998). Xiao et al. (2000) ermittelten mit Hilfe einer Sensitivitätsanalyse die Bedeutung von meteorologischen und morphologischen Faktoren bei der Interzeption: Die Windgeschwindigkeit und die Niederschlagsintensität zählen zu den meteorologischen Komponenten, die Blattflächengröße, oder allgemeiner die Gestalt des Kronendaches, zu den morphologischen Komponenten. Ihre Ergebnisse zeigen, dass Veränderungen am Blattflächenindex, in der Wuchsform des Baumes oder auch in der Rauigkeit der Rinde Auswirkungen auf den Interzeptionsverlust haben. In den Messungen, die Staelens et al. (2008) über zwei Jahre in einem Buchenwald (*Fagus sylvatica L.*) nahe Gehnt (Belgien) aufnahmen, ist ersichtlich, dass 71% des Niederschlages den Waldboden erreichen (throughfall), 8% über den Stamm abfließen und 21% der Interzeption zugehören.

Einen weiteren wichtigen Prozess im Wasserhaushalt der Pflanze stellt die Transpiration dar, während der die Pflanze Wasserdampf an die Umwelt abgibt. Die Bedeutung beruht auf den großen Mengen an Wasser, die in Form von Wasserdampf über längere Perioden abgegeben werden können. Transpiration erfolgt über zwei Vorgänge: Zuerst findet die Evaporation von Wasser an der Zelloberfläche in Richtung des Interzellularraumes statt. Nachfolgend diffundiert Wasserdampf über die Stomata in die Luft (Kramer und Boyer, 1995). Zu den Einflussgrößen zählen Faktoren, die die Evaporation bestimmen, das sind der Energieeintrag, der Wasserdampfgradient und die Widerstände in der Luft, die bei der Diffusion überwunden werden müssen.

Für die physikalische Beschreibung der Transpiration wird der physikalische Ansatz der Evaporation um den Blattwiderstand (leaf resistance) erweitert. Der Blattwiderstand variiert wiederum je nach Ausprägung folgender Faktoren: Erstens bildet die äußere Zellschicht (Epidermis) eine für Wasser schwer durchdringbare Schicht (Cuticula), deren Dicke und Durchdringbarkeit je nach Baumart variiert (Pallardy, 2008). Zweitens schützt sich die Pflanze vor Umwelteinflüssen, indem sie die Cuticula mit Wachs bedeckt (Shepherd und Wynne Griffiths, 2006). In der Arbeit von Jeffree et al. (1971) wird angenommen, dass die Wachsbedeckung die Transpirationsrate um 75 % und die Photosyntheserate um 33% reduziert. Misson et al. (2002) geben für einen Eichenbestand (*Quercus robur*) in Belgien eine Wassertran-

spirationsmenge von 169 mm und für einen Buchenbestand (*Fagus sylvatica L.*) 189 mm an. Das bedeutet im Vergleich zum Jahresniederschlag von rund 999 mm, dass die Transpiration im Eichenbestand rund 17% und im Buchenbestand 19% ausmacht. Zusätzlich wurde während der Vegetationsperiode 2008 eine maximale Transpiration von  $1.3 \text{ mm d}^{-1}$  im Eichenbestand und  $3.2 \text{ mm d}^{-1}$  im Buchenbestand aufgezeichnet. An dieser Stelle ist auf die Unterschiede zwischen dem Klima in der Arbeit von Misson et al. (2002) und dem Klima des hier zugrundeliegenden Untersuchungsgebietes zu verweisen.

Die beiden Prozesse Infiltration und Oberflächenabfluss in Grafik 1.1 werden gleichzeitig beschrieben, da der Abfluss stark von der Infiltrationskapazität abhängt. Im Falle, dass die Infiltrationskapazität, die gleich der maximalen Rate ist, die vom Boden aufgenommen werden kann, die Niederschlagsmenge am Erdboden unterschreitet, fließt Wasser an der Oberfläche ab (Horton, 1933). Nachdem der Niederschlag im Boden infiltriert ist, fließt das Wasser häufig entlang von Strömungswegen (flow paths) ab. Die Infiltration, aber auch der unterirdische Abfluss und somit auch der Wassergehalt im Boden variieren je nach Bodeneigenschaften. Dazu zählen die Bodentextur, die Bodenstruktur und die Porengröße. Zusätzlich sind biotische Einflüsse durch die von der Bodenfauna angelegten Gänge und durch Pflanzenwurzeln vorhanden. Die Dichte dieser kann unterschiedlich stark Einfluss auf die Wasserspeicherfähigkeit von Böden nehmen (Kramer und Boyer, 1995).

### Evapotranspiration

Für die forstliche Planung zählen Niederschlagsverluste im Bestand zu den wichtigsten Informationen. Die Summe aus dem Verlust durch die Transpiration der Vegetation und die Evaporation des Waldbodens wird Evapotranspiration genannt (Pallardy, 2008). Nach Zhang et al. (2001) kann der Wasserhaushalt eines Standortes über Gleichung 1.1 beschrieben werden. Die einzelnen Komponenten können mit den im vorigen Abschnitt beschriebenen Prozessen in Verbindung gestellt werden, da der Niederschlag (P), die Evapotranspiration (ET), der Abfluss (R), der Grundwasserrückfluss (D) und die Änderung im Bodenwassergehalt ( $\Delta S$ ) im Wasserhaushalt Einfluss nehmen.

$$P = ET + R + D + \Delta S \quad (1.1)$$

In Regionen mit wasserlimitierenden Bedingungen zählt die Evapotranspiration zu einer der größten Ursachen von Wasserverlusten (Wang et al., 2011). Die Wichtigkeit dieses Prozesses heben Law et al. (2002) in ihrer Arbeit vor, indem sie die Verbindungen zwischen Evapotranspiration und Ökosystemproduktion (gross ecosystem production) mit Hilfe einer Regression beschreiben.

Um die Standortstypen bezüglich des Wasserhaushaltes zu beschreiben und dabei auch den Einfluss von Klimaextremen zu berücksichtigen, wird in der vorliegenden Arbeit eine modellgestützte Bewertung mit BROOK90 nach Federer (2002) durchgeführt. Dafür ist der Begriff Evapotranspiration in die potentielle Evapotranspiration und die aktuelle Evapotranspiration zu unterscheiden. Bereits seit der Arbeit von Thornthwaite (1948) wurden diese Begriffe ausführlich diskutiert. Lhommel (1997) hielt in seiner Arbeit fest, dass trotz der unterschiedlichen Definitionen in den vergangenen Publikationen das Konzept der potentiellen Evapotranspiration folgende Kriterien umfasst:

Die potentielle Evapotranspiration stellt eine Obergrenze für die Evaporation in der gegebenen Umwelt, die sich in diesem Zusammenhang als Ausprägung der meteorologischen Bedingungen und Oberflächeneigenschaften der Pflanzen versteht, dar. Da die potentielle Evapotranspiration je nach Oberfläche variiert, wird eine niedrige grüne Wiese häufig als Referenzfläche herangezogen. Die aktuelle Evapotranspiration stellt eine Fraktion der potentiellen Evapotranspiration dar, falls die Bodenfeuchte die Feldkapazität unterschreitet oder ein Wasserdefizit vorherrscht. Liegen diese zwei Umstände vor, kann die Verdampfung nicht auf dem Niveau der potentiellen Evapotranspiration erfolgen (Chang, 2012). Weiters wird in Abschnitt 2.6 auf die Evapotranspiration eingegangen.

### 1.1.3. Ziel und Forschungsfrage

Bereits einleitend wurde darauf eingegangen, dass räumliche Gruppen (Standortseinheiten) das Ergebnis dieser Modellierung darstellen, die die ökologische Gegebenheit, die möglichen waldbaulichen Maßnahmen, den Ertrag und die Gefährdung bestmöglich zusammenfassen.

Die Umsetzung der klassischen forstlichen Standortskartierung und speziell die

Aufnahme der Bodenpunkte und der Vegetation gilt als aufwendig und teuer. Deshalb soll mit den Ergebnissen dieser Arbeit folgenden Fragestellung geklärt werden:

*Inwieweit lassen sich aus stichprobenhaft aufgenommenen Punktdaten und aus fernerkundlichen Daten, wie etwa dem digitalen Terrainmodell, den Color Infrared Echtfarb- und Farb-Infrarot-Luftbildaufnahmen, für die forstwirtschaftliche Bewirtschaftung relevante Standortinformationen mit Hilfe eines mechanistischen Modelles flächendeckend beschreiben?*

Vor allem Wasser ist in der Entwicklung des Bestandes ein limitierender Faktor ist, daher besteht im folgenden Konzept(-ansatz) der Versuch, im Untersuchungsgebiet räumliche Gruppen anhand des Wasser- und Energiehaushaltes zu bestimmen. Die Modellierung der Standorte erfolgte nach dem Ablauf, der in Abbildung 1.2 dargestellt ist und wurde in Anlehnung an die Arbeiten von Hengl (2007) und Hengl (2009) erarbeitet.

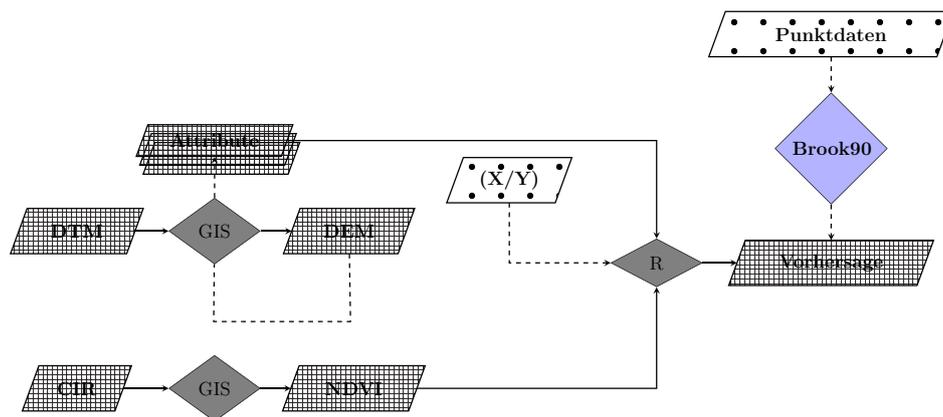


Abbildung 1.2.: Flussdiagramm zur Darstellung des Modellierungsprozesses. Die Umsetzung in den Programmen sind als graue Rhomben dargestellt. Die karierten Parallelogramme geben Rasterdaten, die gepunkteten Punktdaten wieder.

Vereinfacht ausgedrückt kann damit etwa eine über die Stichprobe aufgenommene Variable mit fernerkundlichen Variablen kombiniert werden. Aus dem Datensatz, der sich auf die Lage der Stichprobe bezieht, wird die Wechselwirkung zwischen der Zielvariable (die etwa über die Stichprobe aufgenommen wurde) und den fernerkundlichen Variablen über ein Modell beschrieben. Mit Hilfe des Modelles ist es möglich, die Zielvariable für jede Stelle im Untersuchungsgebiet vorherzusagen, da die fernerkundlichen Daten für die gesamte Fläche zur Verfügung stehen.

## 2. Material und Methoden

### 2.1. Beschreibung des Untersuchungsgebietes

#### 2.1.1. Lage

Das Untersuchungsgebiet befindet sich im Weinviertel im Bundesland Niederösterreich. Wie in Abbildung 2.1 ersichtlich, erstreckt es sich im Bezirk Mistelbach über die Gemeinde Kreuttal und die Marktgemeinde Kreuzstetten, bis auf eine Fläche im Nordwesten mit dem Namensgut Haberfeld, die im Bezirk Korneuburg in der Gemeinde Großrußbach liegt.

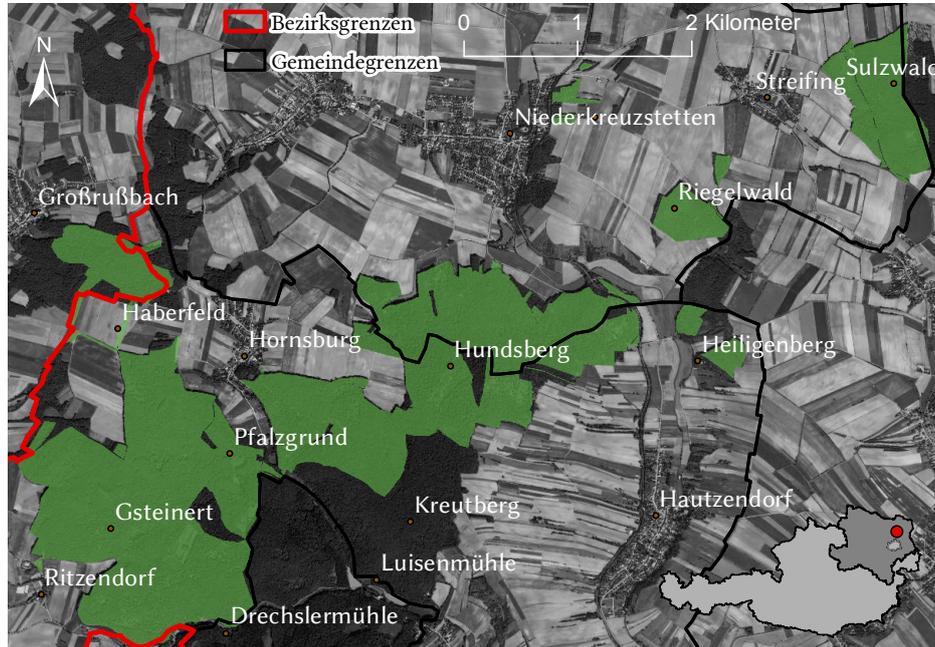


Abbildung 2.1.: Geographische Lage und Namensgut des Untersuchungsgebietes (Abgeändert nach ESRI, 2014a; Landesregierung NÖ, 2014b; Perlot, 2013).

Der flächenmäßig größte Teil des Untersuchungsgebietes umfasst die Namensgüter Gsteinert, Pfalzgrund und Hundsberg. Weitere Flächen mit den Namensgütern Heiligenberg, Riegelwald und Sulzwald liegen östlich bzw. nordöstlich des Hundsberges. Die UTM-Koordinaten in der Zone 33N mit den beiden Ostwerten von 5371786,1183 sowie 5366246,1183 und den dazugehörigen Nordwerten von 604889,3251 und 612909,3251 geben die Ausdehnung des Gebietes an. Das Untersuchungsgebiet erstreckt sich von 214 m bis auf 374 m Seehöhe und umfasst eine Fläche von rund 800 ha.

### 2.1.2. Klima

Das Klima ist pannonisch-subkontinental, es weist über das ganze Jahr gesehen eine trockene, warme Vegetationsperiode und einen mäßig kalten Winter auf. In dieser Klimaregion ist besonders in den Sommermonaten mit Trockenperioden zu rechnen, die zusätzlich von häufig auftretenden warmen SO-Winden begleitet werden können (Killian et al., 1994).

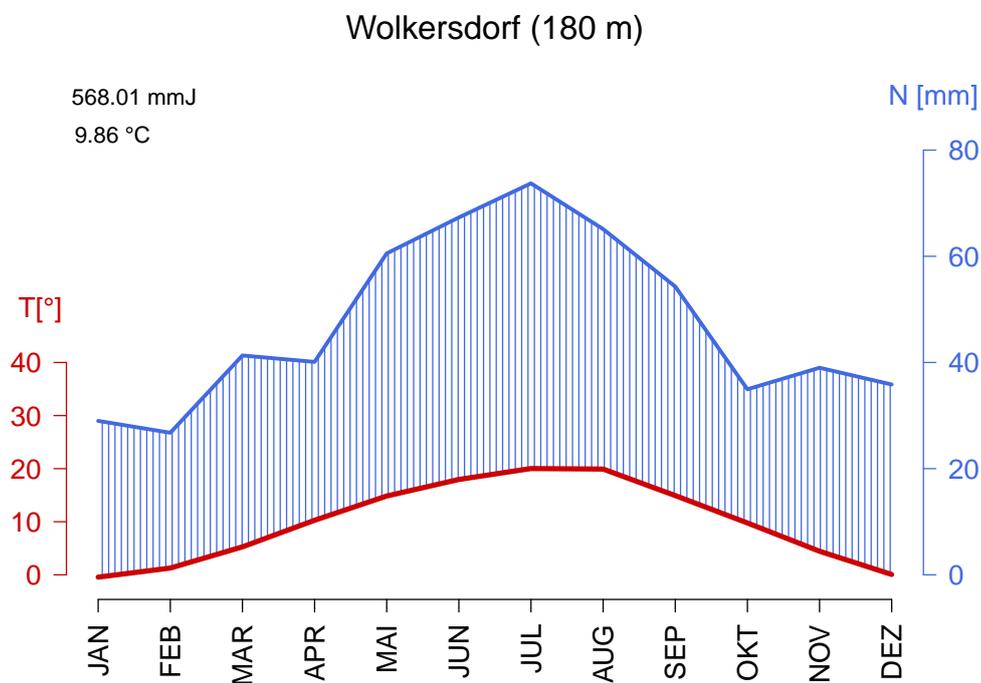


Abbildung 2.2.: Klimadiagramm nach Walter & Lieth für Wolkersdorf und Umgebung (Abgeändert nach BMLFUW, 2014; Landesregierung NÖ, 2014a).

In Hanglagen kann sich einerseits, bedingt durch Frühnebel, eine höhere Luftfeuchtigkeit bilden, andererseits ist durch das Absinken von Kaltluft eine Minderung von Winterfrösten möglich, wenn diese über der Inversionsschicht liegen. In Abbildung 2.2 sind Temperatur- und Niederschlagsdaten grafisch aufbereitet. Die Zeitreihen beziehen sich auf den Zeitraum von 1989 bis 2011 und ergeben ein Klimadiagramm nach Walter & Lieth. Darin ist deutlich erkennbar, dass in den Sommermonaten ein Maximum an Niederschlag und Temperatur vorliegt. Zudem sind die Wintermonate bezüglich Temperatur und Niederschlag mäßig ausgeprägt. Auch die Klimakarten der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik bestätigen die Plausibilität der Abbildung 2.2 (Hiebl et al., 2011).

Um auch mögliche vergangene Veränderungen in den Klimabedingungen aufzuzeigen, wurde auf die HISTALP-Datenbank zugegriffen, die Zeitreihen für Klimavariablen wie Temperatur, Luftdruck, Niederschlag, Sonnenscheindauer und Bewölkung für den Alpenraum umfasst. Für die Temperatur und den Luftdruck reichen die Aufzeichnungen bis 1760 zurück (Auer et al., 2007). Die von der ZAMG (2014c) verwalteten Raster- und Stationsdaten sind im Internet abrufbar. Die Klimavariablen Temperatur und Niederschlag sind als Abbildungen 2.3, 2.4, 2.5, 2.6 für die Station Wien-Hohe Warte dargestellt.

Die Ergebnisse der Trendanalysen nach Brunetti et al. (2009) zeigen, dass den Temperaturdaten ein signifikant positiver Trend zugrunde liegt. Sie geben für den Zeitraum 1886 bis 2005 einen Anstieg der Jahresmitteltemperatur von 1.3 K je Jahrhundert an. Bezüglich des Niederschlages gestaltet sich die Auswertung schwieriger als für die Temperatur. Es zeigt sich aber in den Daten, dass die Niederschlagsmengen im Norden anstiegen und im Süden abnahmen. Smiatek et al. (2009) bewerteten die Resultate der Klimamodelle COSMO-CLM, HIRHAM und RegCM im Alpenraum. Es zeigte sich, dass eine große Unsicherheit in der Vorhersage der erwarteten Folgen des Klimawandels vorliegt. Für den Alpenraum wird angegeben, dass eine Verlagerung des Niederschlages vom Sommer in den Herbst wahrscheinlich ist. Wohlfahrt und Mayer (2011) vermuten, dass in den Vegetationsperioden länger andauernde, als auch intensivere Trockenphasen auftreten können. Weiters sind in den HISTALP-Zeitreihen auch Anstiege im Wasserdampfdruck und Luftdruck erkennbar, welche auch auf den Temperaturanstieg zurückzuführen sind. Der Wasserdampfdruck stieg um 0.5 hPa, der Luftdruck um 1 hPa pro Jahrhundert (Brunetti et al., 2009).

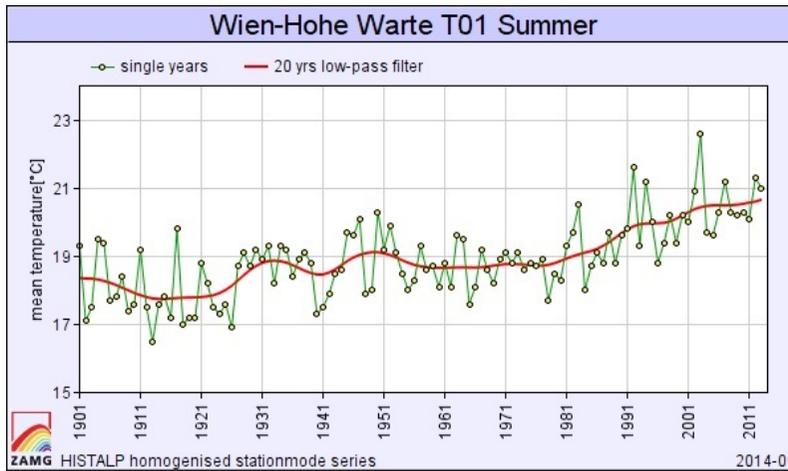


Abbildung 2.3.: Mittlere Temperatur im Sommer



Abbildung 2.4.: Jahresmitteltemperatur

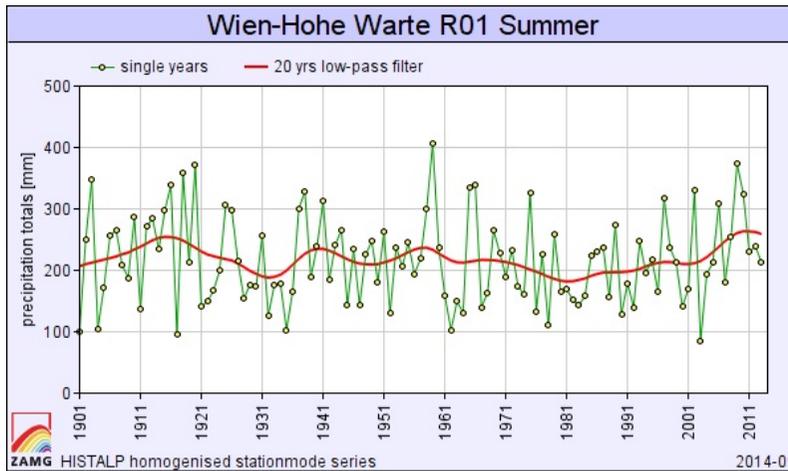


Abbildung 2.5.: Niederschlagssumme im Sommer



Abbildung 2.6.: Niederschlagssumme pro Jahr

### 2.1.3. Geologie

Im Untersuchungsgebiet sind mehrere geologische Einheiten vorzufinden. Karten im kleinen Maßstab, wie etwa in der Publikation nach Schuster et al. (2013), stellen in der Region einen Übergang zwischen dem Flysch, der allochthonen Molassezone und dem intramontanen Becken dar. Andererseits teilt die oberflächengeologische Karte des Europäischen Projektes Transenergy das Untersuchungsgebiet in sechs verschiedene geologische Einheiten, wie in Abbildung 2.7 dargestellt.

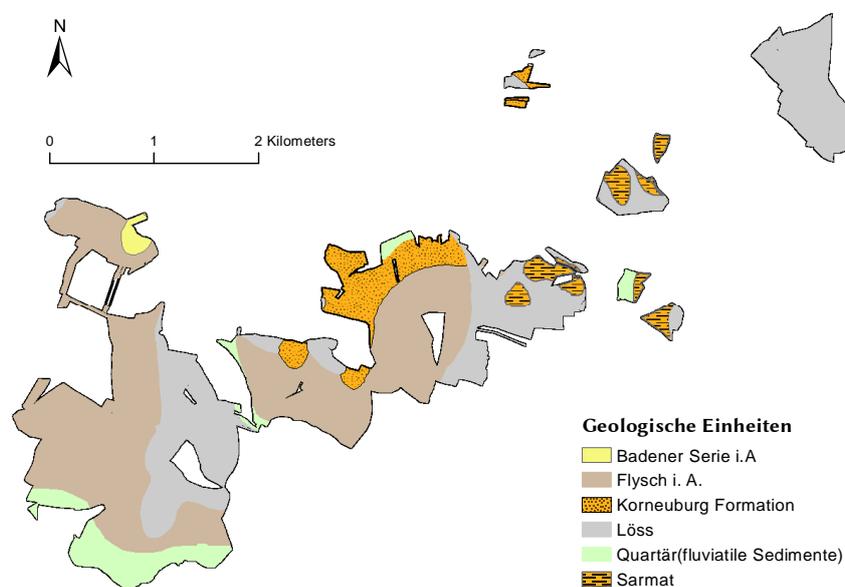


Abbildung 2.7.: Geologische Karte des Europäischen Projektes Transenergy für das Untersuchungsgebiet bei Niederkreuzstetten (Abgeändert nach GBA, 2014).

#### Flysch

Es wird vermutet, dass der Flysch aus dem Erdzeitalter der Oberkreide sich aus der Greifensteiner Teildecke bei Großrußbach hervorhebt. Er weist eine Längserstreckung von West-Süd-West nach Ost-Nord-Ost mit einem häufig steilen Einfall nach Süd-Süd-Ost auf. Die Grundlage des Schichtstoßes ist der Greifensteiner Sandstein (Grill, 1968). Dieser weist im Norden des Flysches häufig grobkörnigen Quarzsandstein ohne kalkhaltiges Bindemittel auf. So gesehen stellt der Greifensteiner Sandstein im Gegensatz zu den Gesteinen aus der Oberkreide eine Ausnahme dar, da diese durch Kalksandsteine und Mergel-Ablagerungen gekennzeichnet sind (Göttinger et al., 1952).

Grill (1968) spricht gelben bis rötlichen Mergelstein, der rund 400 m südöstlich des Haberlfeldes liegt, als Oberkreide an. Dieser tritt in Begleitung von dichten, aber dünn geschichteten Kalksandsteinen und kieseligen Sandsteinen auf. Für den Ort Weinsteig, der wenige Kilometer nordwestlich von Ritzendorf liegt, ist eine geologische Beschreibung zu finden. Dort sind in Hohlwegen blaugraue, dichte, dünn geschichtete Kalksandsteine vorhanden, welche von Mürbsandstein und Ton-schiefer begleitet werden. Grill (1968) vergleicht diesen Fund mit Gesteinen aus den Altlenzbacher Schichten im Wienerwald. Das bewaldete Gebiet am Hundsb-erg, sowie die südöstlich von Hornsburg liegende Flyschfläche, können laut Grill (1968) ebenfalls dem Erdzeitalter der Oberkreide zugeordnet werden (Grill, 1968).

### Korneuburg-Formation

Das Korneuburger Becken wird in einen nördlichen, vom Meer geprägten und in einen südlichen, von einem Wasserkörper einer Flussmündung geprägten Abschnitt eingeteilt (Zuschin et al., 2014). Es weist bezüglich dem Unterbau, der Füllung und der Entstehungsgeschichte mit dem Wiener Becken Ähnlichkeiten auf (WESS-SELY, 2009). Vor allem Sedimentationsprozesse, die zeitlich im Karpatium statt-fanden, zeigen sich deutlich. Diese Ablagerungen sind im Korneuburger Becken häufig der Korneuburg-Formation zugehörig. Zu den Hauptbestandteilen zählen gelbe bis graue Tonmergel und feiner bis mittlerer Sand. Im Übergangsbereich zur Flyschzone können auch Schotter und Gestein hervortreten. In der Umgebung von Großrußbach ist eine zweite lithologische Einheit vorhanden, die sich aus tonigem Mergel und Diatomeenschiefer mit Fischresten zusammensetzt (Harzhauser und Wessely, 2003).

### Sarmat

Über Sarmat sind in der Nähe des Untersuchungsgebietes keine geologischen Be-schreibungen vorhanden. Generell bildet sich Sarmat im Wiener Becken aus San-den, Sandstein und Tonmergeln. Zudem ist der Reichtum an Fossilien besonders (Grill, 1968). Weitere Bestandteile sind der anschließenden Tabelle 2.1 zu entneh-men.

## Löss

Feinmaterial aus dem Gebirge, das beispielsweise aus Moränen und vor allem aus den *Sandergebieten* (periglaziale Schotterfluren im Gletschervorfeld) stammte, gelangte über Winde ins Flachland. Die daraus resultierenden Ablagerungen werden als Löss bezeichnet (Oberhauser et al., 1980). Löss gilt im periglazialen Hügelland als das am weitesten verbreitete Sediment und kann im Korneuburger Becken und im Wiener Becken, das im Osten angrenzt, Mächtigkeiten von 10 bis 20 m aufweisen. Eine Besonderheit des Löss ist der hohe Kalkgehalt. Häufig sind Hänge mit Expositionen nach Nord und Ost mit Löss bedeckt (Grill, 1968).

## Badener Serie i.A.

Der Begriff Badener Serie wurde auch als Synonym für Schichtfolgen aus dem Torton des Wiener Beckens verwendet (Papp, 1963). Ihre Bestandteile sind ebenfalls in Tabelle 2.1 angegeben. Die Literaturrecherche ergab für die Region um Niederkreuzstetten keine weiteren Informationen .

## Quartär

Aus den geologischen Aufnahmen aus dem Raum Tulln ist zu entnehmen, dass diese geologische Einheit aus sandig-tonigen Lehmen bis lehmigen Sanden oder auch Quarzgeröllen besteht. Diese Einheit zählt zum jüngsten zeitlichen Erdabschnitt (Havlíček, 2003).

Tabelle 2.1.: Zusammenfassung der Charakteristika der geologischen Einheiten im Untersuchungsgebiet (abgeändert nach Schweizer, 2012; GBA, 2014).

Einheit	Alter	Bestandteile
Flysch i.A.	Jura-Eozän	Sand-, Schluff- oder Tonstein, Mergel, Kalkmergel
Badener Serie i.A.	Baden	Flachmeer- und Tiefwasserporentierchen (Foraminifera), weichtierhaltiger Tonmergel, Ton
Löss	Pleistozän	Löss
Quartär	Holozän	Ton, Schluff, Sand, Kies, Schotter (Fluviatile Sedimente)
Korneuburg-Formation	Karpat	Küstensandstein, Kies-Schotterkonglomerat, Flachmeersandstein mit Fleckenriff, gipshaltiger Ton
Sarmat (Seichtwasser Fazies)	Sarmat	Weichtierhaltiger Ton aus Brackwasser, Ton-, Kalkmergel, Sandstein

## 2.1.4. Böden

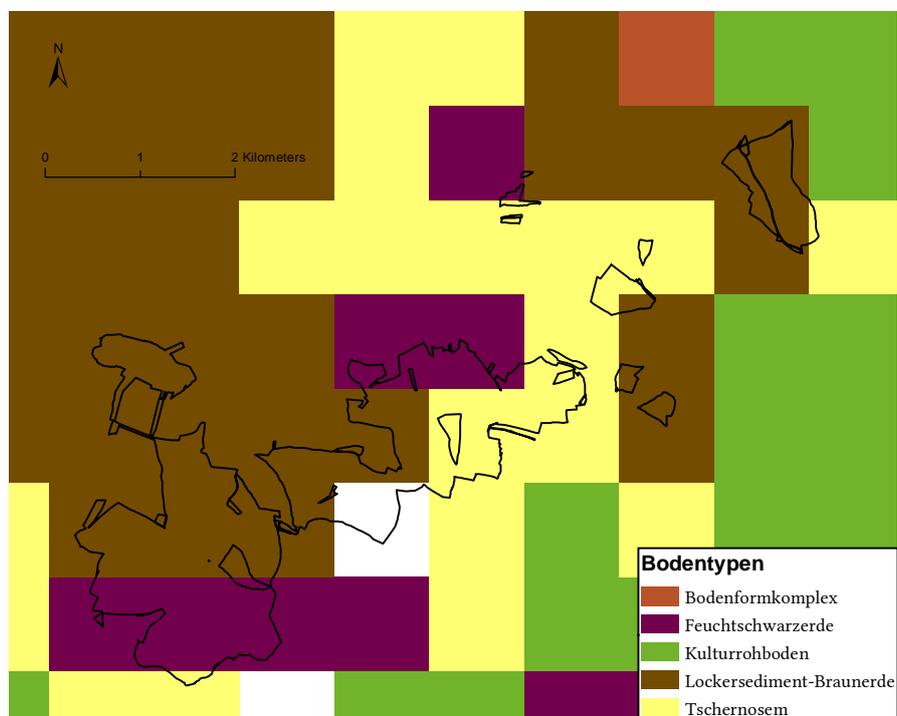


Abbildung 2.8.: Bodentypen der landwirtschaftlich genutzten Flächen nahe des Forstreviers Niederkreuzstetten (abgeändert nach BFW (2013))

Über das Portal Digitale Bodenkarte *eBOD*, verwaltet vom BFW (2013) können die für landwirtschaftliche Flächen erhobenen Bodenattribute abgerufen werden, die in Form eines Rasterdatensatzes mit einer räumlichen Auflösung von 1 km aufbereitet sind. In Abbildung 2.8 sind die Bodentypen mit dem größten Flächenanteil in der Rasterzelle abgebildet. Zu den häufigsten Bodentypen in der Nähe des Untersuchungsgebietes zählen die Feuchtschwarzerde, der Kulturrehoboden, die Lockersediment-Braunerde und der Tschernosem. Zusätzlich sind in Darstellung 2.8 leere Rasterzellen in Weiß und komplexe Bodenformen in Rot dargestellt. In der nachfolgenden Auflistung sind auch die Parabraunerde und der Pseudogley beschrieben, da diese im Untersuchungsgebiet vorgefunden werden können. Die Böden sind nach Nestroy et al. (2011) und Leitgeb et al. (2013) wie folgt beschrieben:

- Die Feuchtschwarzerde ist auf Standorten vorzufinden, an denen in der Vergangenheit Grundwassereinfluss herrschte und die später unter anthropogene oder natürliche Einflüsse zunehmend austrockneten. Ein vollentwickeltes A-C-Profil ist an der Feuchtschwarzerde zu erkennen, die sich aus carbonathaltigem oder carbonatfreiem Lockermaterial gebildet hat. Beispiele für eine Horizontfolge sind A-Agg-Cgg-Cu, Ahb-Ag-Cu,g oder A-Agg-CG. Die Mächtigkeit des A-Horizontes beträgt mindestens 30 cm. Feuchtschwarzerden stellen im Allgemeinen gute bis sehr gute Ackerstandorte dar, die je nach Mächtigkeit, Grundwasserstand und Ausgangsmaterial zu unterschiedlicher Ertragsfähigkeit führen.
- Der Kultur-Rohboden ist auf exponierten Standorten an Kuppen und in Hanglagen vorzufinden und mit Tschernosemen und Paratschernosemen oder Braunerden vergesellschaftet sind. Infolge von langandauernder, intensiver Bodenbearbeitung und Erosionen ist eine Humusreduktion für diesen Bodentyp charakteristisch. Häufig lässt sich der Kultur-Rohboden über die Horizontfolge ApC-C beschreiben. Deutlich sind Merkmale von periodischer Bodenbearbeitung und Erosion und ein auffälliger Übergang in den C-Horizont erkennbar. Kultur-Rohböden stellen zumeist mittel- bis geringwertige Acker- und Grünland-, aber gute Weinbaustandorte dar, die eine mittlere Nährstoffversorgung, Austauschkapazität und Wasserspeicherfähigkeit aufweisen und gut durchlüftet sind. Für die forstwirtschaftliche Nutzung ist die Eignung als Windschutzstreifen relevant.
- Die Braunerde ist der am häufigsten anzutreffende Bodentyp des gemäßigten Klimaraumes und folglich auch in Österreich. Sie entsteht aus kalkfreiem, kalkarmem oder entkalktem Ausgangsmaterial über Verwitterungsprozesse wie Hydrolyse von Silikaten, Verlehmung und Verbraunung. Die Braunerde stellt im Allgemeinen einen vielfältigen Bodentyp dar, der sich unter gemäßigten humiden Klimabedingungen bei intensiven Verwitterungsprozessen und Entkalkung bildet. Das Auftreten und die Verteilung von Kalk im Bodenprofil, sowie die Intensität der Tonverlagerung, sind wichtige Kennzeichen für die Einteilung des Bodentypes. Die Weiterentwicklung von Braunerden

aus Rankern, Regosolen oder Pararendzinen bei gemäßigten, humiden Klimabedingungen ist dabei ein wichtiger Aspekt (Leitgeb et al., 2013). Ist eine geringe Tonverlagerung erkennbar, spricht man von lessivierter Braunerde und bei zu intensiver Verlagerung muss eine Einteilung in eine Parabraunerde in Betracht gezogen werden. Die Horizontfolgen A-Bv-C, A-Bv-Cca-C, AB-C und A-BC-C können in den Bodenproben erkannt werden. Zusätzlich ist zahlreich ein humusreicher A-Horizont erkennbar, der auf die hohe Aktivität (Bioturbation) des Edaphones hinweist.

Der durch Eisenoxide und Eisenhydroxide braun gefärbte Verwitterungshorizont (B-Horizont) gilt als Kennzeichen dieses Bodentypes. Dieser kann stark in der Erscheinung und Mächtigkeit stark variieren, was auch für die gesamten anderen Bodenhorizonte gültig ist. Typische Ausprägungen einer Braunerde können fehlen, ein schwach entwickelter A-Horizont über einem BC-Horizont kann im Bodenprofil erkennbar sein.

- Parabraunerden sind in Österreich in der Flyschzone der Nördlichen Randalpen, im Nördlichen Alpenvorland, im Mühl- und Waldviertel, im Mittel- sowie Südburgenland vorzufinden. Sie bilden sich aus lockeren bis schwach verfestigten Sedimenten, wobei der Carbonatgehalt dieser variiert. Beispiele für das geologische Substrat der Parabraunerden sind Löss, Mergel oder kalkhaltiger Schotter.

Bei der Bildung von Parabraunerden findet eine vertikale Tonverlagerung (Lessivierung) statt, die zu einer Tonverarmung im Oberboden und einer Tonanreicherung im Unterboden führt. Im Profil liegt ein tonverarmter, fahler Al-/E-Horizont (Eluvialhorizont) über einem bräunlichen, mit Ton angereicherten Bt-Horizont (Illuvialhorizont). Die Tonteilchen lagern sich auf den Aggregaten des Bt-Horizonts ab und bilden *Toncutane*. Starke Tonverlagerung hat zur Folge, dass sich der Illuvialhorizont verdichtet und die Bildung eines Staukörpers zur Pseudovergleyung führt. Folgende Horizontfolgen beschreiben im Wald aufgenommene Parabraunerden: L-F-Ahb-Al-Bt-C und Al-E-Bt-C.

- Pseudogleye sind im humiden Klima vorzufinden, in Österreich können sie im Alpenvorland und in der Flyschzone häufig angetroffen werden. Die Bildung der Pseudogleye ist stark vom geologischen Substrat abhängig, Beispiele dafür können feine Sedimente mit hohem Schluff- oder Tonanteil, Decklehme, tonreiche Flyschgesteine und tertiäre Sedimente sein.

Für die meisten Pseudogleye sind eine Stauzone (S-Horizont) und ein Staukörper (P-Horizont) typisch. Die Entstehung dieses Bodens und seine Erscheinung resultiert aus dem gegenüber der Stauzone tonreicheren Staukörper, der die Versickerung von Niederschlag beeinträchtigt oder hindert. Ursache für den höheren Tongehalt im P-Horizont können das Substrat oder der Prozess der Lessivierung sein. Weiters nehmen der Niederschlag beziehungsweise die klimatischen Bedingungen auf die Intensität der Pseudovergleyung Einfluss. Auch der Unterschied in der Bodenart zwischen Staukörper und Stauzone ist zu berücksichtigen.

Die Färbung und das Muster des Bodens entstehen vor allem durch chemische Reaktionen. Als Folge mikrobieller Oxidation von organischen Substanzen in den Grobporen der Stauzone wird im Wasser gebundener Sauerstoff verbraucht. Folglich werden an der Oberfläche der Aggregate Mangan- und Eisenoxide oder -hydroxide reduziert. Dies führt zur einer fahlen Bodenfarbe. Anschließend dringen die mobilen zweiwertigen Eisen- und Manganionen ins Aggregatinnere und werden durch den restlichen Sauerstoff oxidiert, der an feinen humusfreien Poren vorhanden ist. Die dadurch vorliegenden dreiwertigen Eisen- und vierwertigen Manganoxide und -hydroxide fallen im ersten Fall rostrot und im zweiten Fall schwarz aus. In der Stauzone finden die Reaktionen gehäuft im Aggregatinneren statt und bilden Konkretionen aus. Im tonreicheren Staukörper liegen größere Aggregate vor, daher bilden sich durch die Reaktionen graue Aggregatoberflächen mit rötlichbrauner Fleckung, die Marmorierungen genannt werden.

Folgende Horizontfolgen sind bei einem Pseudogley möglich: A-P-S, Agd-P-S, Al-P-SC und A-BP-S.

- Tschernoseme können vermehrt im Osten Österreichs bis in eine Seehöhe von 250 m vorgefunden werden. In der dazugehörigen pannonischen Klimaregion liegt ein kontinentaler Klimaeinfluss vor, dieser ist durch einen niedrigen Jahresniederschlag und hohe Temperaturen während der Vegetationsperiode wahrnehmbar. Die dargestellten Klimabedingungen wirken sich auf die Bodenbildung wie folgt aus: Die niedrigen Niederschlagsmengen schränken die Carbonatauswaschung und die Verwitterungsprozesse ein. Die Bildung eines B-Horizontes erfolgt selten, stattdessen liegen mächtige humose Horizonte aufgrund der hohen biologischen Aktivität vor. Auffällig ist die dunkle Färbung dieser, die auf eine Anreicherung von Huminstoffen und eine geringere Mineralisierung zurückzuführen ist. Carbonathaltiges, feines Lockermaterial wie Löss, Sand, Tegel und feines Schwemmmaterial zählen zum geologischen Substrat der Tschernoseme.

Tschernoseme kennzeichnen sich durch ein voll entwickeltes A-C-Profil, das folgende Horizontfolgen annehmen kann: A-C, A-AC-C und A-C-Cu.

## 2.2. Landnutzung im Untersuchungsgebiet

### 2.2.1. Forstliche Bewirtschaftung

Das Weinviertel zählt nach der Forstlichen Vermehrungsgutverordnung 2002 zum Herkunftsgebiet Pannonisches Tief- und Hügelland. Weiterführend ist das Gebiet in zwei Höhenstufen untergliedert (BMLFUW, 2002): Die kollin-planare Höhenstufe reicht bis 350 m, daran schließt die montane Stufe an, die Höhenlagen von 350 bis 500 m umfasst. Für beide Höhenstufen sind für die forstliche Bewirtschaftung Baumarten empfohlen, die Tabelle 2.2 entnommen werden können.

Tabelle 2.2.: Empfohlene Baumartenwahl für das Herkunftsgebiet Pannonisches Tief- und Hügelland nach Höhenstufen (abgeändert nach BFW, 2004).

Höhenstufe	Empfohlene Baumarten
kollin-planar	Traubeneiche, Stieleiche, Vogelkirsche, Winterlinde <i>lokal:</i> Esche, Schwarzerle, Bergahorn, Roteiche, Douglasie
submontan	Buche, Traubeneiche, Stieleiche, Winterlinde, Vogelkirsche, Esche <i>lokal:</i> Schwarzerle, Bergahorn, Weißkiefer, Douglasie, Roteiche

Im Revier Niederkreuzstetten nimmt der Mittelwald die größte Fläche ein, Hochwald und Niederwald liegen an zweiter und dritter Stelle. In Zahlen ausgedrückt bedeutet dies, dass die Kategorie Hochwald 240,90 ha, die Kategorie Mittelwald 421,10 ha und die Kategorie Niederwald 24,80 ha an Fläche umfasst. Laut der letzten Aufnahme, die im Zuge der Erstellung des Operates stattfand, zählen besonders Eichenarten und in geringeren Anteilen Robinie, Esche, Buche, Pappel und Kirsche zu den Baumarten des Mittelwaldes.

Auch Nadelhölzer und weitere Laubbaumarten sind in kleinem Umfang vorhanden. Der Hochwald besteht sowohl aus Nadelholzarten, wie etwa Schwarzkiefer, Waldkiefer, Lärche und Fichte, als auch aus Eichen und anderen Baumarten in geringen Anteilen. Niederwälder haben keine Hauptbaumarten, sind aber auf Extremstandorte begrenzt (Smolka, 2003).

### 2.2.2. Zeiger für historische Landnutzung

Über die vergangene Nutzung im Untersuchungsgebiet können teilweise nur Vermutungen angestellt werden. Aufgrund der vorhandenen Landschaftsformen im Forstrevier können anthropogene Tätigkeiten seit der Bronzezeit angenommen werden. Für die landwirtschaftliche Zwischennutzung, wie etwa Streuentnahme oder Schweinemast, haben Recherchen keine konkreten Ergebnisse geliefert. Da Eichenarten bis heute zu den Hauptbaumarten zählen, kann die Bestossung der Wälder mit Schweinen nicht ausgeschlossen werden.

#### Erdwall

Nennenswert ist ein sehr gut erhaltener Erdwall im Südwesten des Untersuchungsgebietes, der volkstümlich „Türkenschanze“ genannt wird. Die Anlage erstreckt sich über rund 4,7 km Länge und zeigt einen strategisch geplanten Aufbau. Haupt- und Vorwälle, sowie Außengräben sind teilweise sehr gut erhalten. Die mehrere Meter hohen Steilhänge sind auch in Abbildung 2.9 gut erkennbar (Schwammenhöfer, s.d.). Matthias Kucera vom Ludwig Boltzmann Institute for Archaeological Prospection and Virtual Archaeology hat in einem Telefonat am 23. Januar 2014 angedeutet, dass der gute Zustand der Anlage auf einen zeitlich lange bestehenden Waldbestand hinweisen könnte, da der Wall seinen Ursprung wahrscheinlich in der

Bronzezeit hat. Im Weinviertel besteht besondere Erosionsgefahr, weshalb der gute Zustand des Walls darauf schließen lässt, dass eine schützende Vegetation ihn vor stärkerem Abtrag bewahrt hat.



Abbildung 2.9.: Erdwall beim Namensgut Gsteinert in der Nähe des Ortes Hornsburg.

### Konkave Landschaftsformen

Im Untersuchungsgebiet sind außerdem konkave, kleinräumige Landschaftsformen willkürlich vorzufinden. Teils umfassen diese nur wenige Quadratmeter an Fläche. Grill (1968) beschreibt mehrere Bodenressourcen, die im Weinviertel häufig genutzt wurden. Der Abbau fand im Vergleich zu heute in lokalen Dimensionen statt. In den Flyschablagerungen und im Sarmat könnte im Untersuchungsgebiet Hartgestein abgebaut worden sein. Auch kalkhaltiges Material wurde für die Erzeugung von Branntkalk herangezogen. Ein Abbau von Kalk aus dem Torton des Wiener Beckens (Badener Serie) ist ebenfalls möglich. Da in der Region saure Böden selten anzutreffen sind, liegt der Handel als Baumaterial nahe. Noch heute ist der Ernstbrunner Kalk bekannt, der in der Waschbergzone abgebaut wird.

Wichtig waren auch Vorkommen von Schotter und Sanden, die laut Tabelle 2.1 im Gebiet vorhanden sein können. Nicht zuletzt sind auch die nicht weniger relevanten Ton-, Tonmergel- und Lössvorkommen hervorzuheben. Sie galten als wichtige Rohstoffe für Ziegeleien (Grill, 1968). Folglich besteht die Vermutung, dass konkave Landschaftsformen als stumme Zeugen entweder auf die vergangene Gewinnung von Ressourcen oder aber auch auf aufgelassene Hohlwege hinweisen.

## 2.3. Datengrundlage

### 2.3.1. Geodaten

Zur Datengrundlage für die weiteren Berechnungen in dieser Arbeit zählen neben Bodenproben in Form von Punktdaten, deren Aufnahme in Abschnitt 2.4.2 beschrieben wird, auch Daten aus der Fernerkundung. Die Firma Umweltdata GmbH hat den Großteil der Vektor- und Rasterdaten für das Gebiet bereitgestellt. Dazu zählen etwa ein lasergescanntes digitales Terrainmodell (DTM), das in dieser Arbeit analog zu einem Geländemodell verwendet wird, sowie Echtfarb- und Farb-Infrarot-Luftbildaufnahmen (Color Infrared Imagery, kurz: CIR). Farb-Infrarot-Luftbildaufnahmen sind Falschfarbbilder, die nach dem Statewide Mapping Advisory Committee (2011) nahes Infrarot in Rot, grünes Licht in Blau und rotes Licht in Grün wiedergeben. Die Aufnahmen stammen vom 12. Juli 2012 und sind mit Hilfe eines Flugzeuges erstellt worden. Das Terrainmodell weist eine räumliche Auflösung von 1 m auf, die CIR haben eine Auflösung von 20 cm. Allgemein gelten Geländemodelle als wichtige Grundlage für die Ableitung von Terrainattributen, wie etwa der Steigung, der Krümmung oder der Exposition, die mit Hilfe von Werkzeugen aus Geoinformationssystemen für große Fläche berechnet werden. Die Attribute haben in mehreren Studien gezeigt, dass etwa der pH-Wert, der Wasserhaushalt und die Bodenart von den eben genannten Terrainattributen abhängen (Smith et al., 2006). Für die Darstellungen wurden Web Map Services herangezogen worden, die in ein Geoinformationssystem eingebunden und etwa als Hintergrundkarte dargestellt werden können. Die einzelnen Web Map Services sind in den Grafiken als Quelle vermerkt.

### 2.3.2. Klimadaten

Für die hydrologische Modellierung anhand des Modelles BROOK90 nach Federer (2002), das in Abschnitt 2.6 beschrieben wird, wurden Daten der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (kurz: ZAMG) herangezogen. An der Messstation Wolkersdorf gemessene Tageswerte dienten als Grundlage, die Aufzeichnung reicht von Juli 2008 bis Juni 2014. Alle Werte sind aufgrund der Datenmenge als

Tabelle 2.3.: Messgrößen der Klimadaten aufgezeichnet an der Station Wolkersdorf (ZAMG, 2014e)

Messgröße	Abkürzung	Einheit
Temperaturminimum	tmin	°C
Temperaturmaximum	tmax	°C
Temperatur um 07:00 Uhr	t7	°C
Temperatur um 19:00 Uhr	t19	°C
Relative Luftfeuchtigkeit	rel	%
Niederschlag	n	mm
Globalstrahlung	strahl	$W/cm^2$
Mittlere Wingschwindigkeit	vv	m/s
Datum	datum	YYYY:MM:DD

ganze Zahlen angegeben und mussten durch einen entsprechenden Faktor (häufig der Wert 10) dividiert werden. Für BROOK90 (2002) sind weiters die Einheiten der Eingabe zu berücksichtigen. Die Globalstrahlung musste von  $W/cm^2$  in  $MJm^{-2}d^{-1}$  umgerechnet werden. Über folgende Formel

$$t_m = \frac{(t7 + t19 + tmax + tmin)}{4} \quad (2.1)$$

nach Pilger et al. (2010) lässt sich der Temperaturmittelwert ( $t_m$ ) pro Tag ermitteln. Die Variablen der Formel 2.1 sind in Tabelle 2.3 angeführt. Der Temperaturmittelwert wird in der anschließenden Umrechnung der relativen Luftfeuchtigkeit (rel) in den Sättigungsdampfdruck ( $e_w(t)$ ) benötigt. Die Berechnung des Sättigungsdampfdruckes für Wasser ( $e_w(t)$ ) in hPa erfolgte mittels der Formel 2.2 nach der WMO (2008), wobei für t der Temperaturmittelwert in °C eingesetzt wurde.

$$e_w(t) = 6.112 \exp^{\frac{17.62 * t}{243.12 + t}} \quad (2.2)$$

$$e_i(t) = 6.112 \exp^{\frac{22.46 \cdot t}{272.62 + t}} \quad (2.3)$$

Der Sättigungsdampfdruck für Eis ( $e_i(t)$ ) ist nach Formel 2.3 zu bestimmen. Das Klimadiagramm (Grafik 2.2) nach Walter & Lieth basiert auf Niederschlagstagesummen der Messstelle Pillichsdorf (HZBNR 108571), abgerufen am Portal für hydrographische Daten (kurz: eHYD) des BMLFUW (2014). Die Messstation befindet sich rund 3 km südlich der Stadt Wolkersdorf. Die in der Grafik 2.2 dargestellten Temperaturwerte wurden vom Niederösterreichischen Umwelt-Beobachtungs- und Informationssystem (kurz: Numbis) in der Stadt Wolkersdorf in einem Intervall von 30 Minuten aufgezeichnet (Landesregierung NÖ, 2014a).

## 2.4. Datenerhebung

### 2.4.1. Auswahl der Probestellen

Im Sommer 2013 erfolgte die Erhebung der Bodendaten im Forstrevier. Die dafür geeigneten Flächen wurden zu Beginn über eine Stratifizierung nach geologischen Einheiten, Relief, Exposition und naturnahen Beständen ausgewählt. Die Probestellen waren entlang von Transekten angeordnet. Transekte, die unter anderem auch in botanischen Studien Verwendung finden, basieren auf dem Prinzip, dass sich die Zielgröße mit einem Umweltgradienten oder Habitat ändert (Sutherland, 1996). In der Arbeit von Guisan und Zimmermann (2000) wird auf die Stratifizierung von Untersuchungsgebieten und ihrer Umsetzung ausführlich eingegangen. Diese Methode gilt als kostengünstige Variante und kann mit Hilfe von Geoinformationssystemen folgende Kriterien erfüllen: Erstens kann das Untersuchungsgebiet einfach nach ausgewählten Gradienten in Strata unterteilt werden. Zweitens kann daraus eine Anzahl an Probestellen zufällig ausgewählt werden.

Für die Festlegung der Transekte wurde die Lage berücksichtigt, da diese auch auf die Bodenentwicklung einen großen Einfluss nimmt. Diese Abhängigkeit zwischen Bodentyp und Lage wird in der Bodenkunde im Catena-Prinzip dargestellt. Der Begriff Catena stellt somit eine Abfolge von Bodenprofilen dar, die hangabwärts aufeinanderfolgen. In der Abfolge ist idealerweise eine Veränderung der

Bodentypen festzustellen, wobei keine Veränderung im Klima oder im Ausgangsgestein vorausgesetzt ist. Vielmehr nimmt bei diesem Ansatz die Steigung des Geländes Einfluss, da diese Größe etwa die Ausprägung von Erosion und Deposition von Bodenmaterial prägt. Das bedeutet, dass flache Stellen häufig größere Bodenmächtigkeiten und höhere Bodenfeuchtigkeiten aufweisen, Proben an steilen Hängen hingegen entsprechend seichte und trockene Eigenschaften haben (Waugh, 2000; Schaetzl und Anderson, 2005). In Abbildung 2.10 sind Aufnahmen entlang eines Transektes dargestellt, wobei sich Unterschiede in der geologischen Einheit, als auch im Relief zeigen sollen.

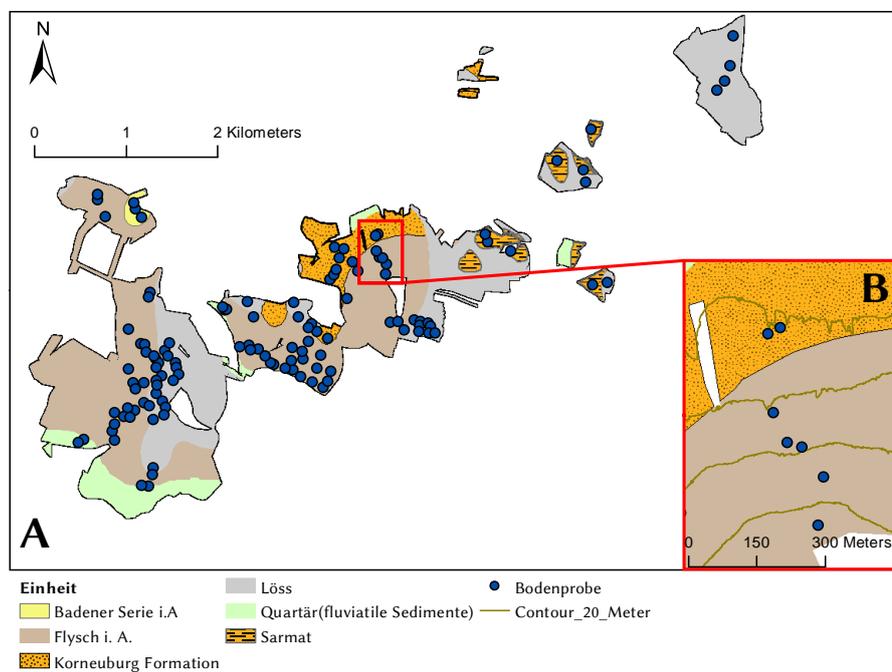


Abbildung 2.10.: (A) Verteilung der Probepunkte im Untersuchungsgebiet und (B) Darstellung eines Transektes (GBA, 2014).

#### 2.4.2. Aufnahme der Bodenproben

Entlang der Transekte wurde versucht, in regelmäßigen Abständen von 50 m Bodenprofile zu beschreiben. In der Umsetzung sind aber Schwierigkeiten in Bezug auf die Einhaltung dieser Abstände aufgetreten, da etwa das GPS-Signal aufgrund des Kronendaches eine Ungenauigkeit erfuhr. In den Aufnahmen sind Proben vorhanden, die eine Abweichung der Koordinatenangaben von bis zu 7 m zeigen.

Ein weiterer Grund der unregelmäßigen Aufnahmen können der eingehaltene Abstand zu gestörten Flächen in den Waldbeständen, wie etwa Kahlschlägen oder Forststraßen, sowie Grundstücksgrenzen sein. Auch in Abbildung 2.10 sind Unregelmäßigkeiten vorzufinden. Zur Entnahme der Bodenprofile wurde ein Schlagbohrer mit 1 m Länge, ein Hammer und ein Spaten verwendet. Die Tabelle 2.4 stellt die wesentlichen Bodenmerkmale vor, die für die Bodenprofilansprache herangezogen wurden.

Tabelle 2.4.: Merkmale für die Bodenprofilansprache sowie kurze Beschreibung.

Bodenmerkmale	Beschreibung
Humusform	Beschreibung nach Kilian et al. (2002)
Horizontmächtigkeit	Angabe in cm
Farbe	Munsell-Soil-Color-Chart nach Munsell und Notation (1954)
Muster	Konkretionen Marmorierungen
Bodenart	Fingerprobe nach dem Arbeitskreis Standortkartierung (2003)
Grobboden	Bestimmung anhand der Schätztafel des Arbeitskreises Standortkartierung (2003)
Bodentyp	Einteilung nach Kilian et al. (2002)
Carbonat	Test mit 10 % iger Salzsäure

Im ersten Schritt erfolgte eine Untergliederung des Profiles in einzelne Horizonte und die Festlegung des Bodentypes. Für jeden Boden wurde eine Bodenprofilformel angegeben. Über die einzelnen Horizonte fand anschließend die Aufnahme der Daten statt. Die optischen Erscheinungsformen, wie etwa Marmorierungen oder Konkretionen, wurden zusammen mit der Angabe der prozentualen Anteile jener, sowie des Grobbodens an der Gesamtfläche festgehalten. Nach den Angabe des Arbeitskreises Standortkartierung (2003) erfolgte vor Ort eine vereinfachte Aufnahme der Bodenart per Fingerprobe. Da für das Untersuchungsgebiet carbonatreiche Böden charakteristisch sind, erfolgte ein Test mittels 10%iger Salzsäure. Ist im Boden Carbonat vorhanden, erkennt man dies an einer schäumenden Reaktion. Es wurde notiert, ob eine Reaktion stattfand oder nicht. War Kalk vorhanden, wurde zusätzlich festgehalten, ab welcher Tiefe sich eine Reaktion gezeigt hatte. Angaben zum Porengefüge oder zur Durchwurzelung fehlen in Tabelle 2.4, da diese über den Schlagbohrer schwer bestimmbar waren. Eine Markierung der Probepunkte im Wald fand anhand von Akazienstangen und mit Hilfe des GPS-Handgerätes

GARMIN extrex LEGEND HCx (Garmin Ltd., Schweiz) per GPS-Koordinaten statt. Die Eingabe der erhobenen Daten in ein Tabellenkalkulationsprogramm erfolgte während der Aufnahme im Wald. Weiters ist darin die nWSK (nutzbare Wasserspeicherkapazität) nach dem Arbeitskreis Standortkartierung (2003) für jeden Bodenhorizont ermittelt und anschließend aufsummiert worden. Die folgenden Tabellenangaben beziehen sich auf das gerade genannte Werk. Man entnimmt aus Tabelle 48 die nach der Bodenart spezifische nutzbare Wassspeicherkapazität. Nachfolgend zieht man den bestimmten Skelettgehalt ab und oder schlägt bei vorhandener biologischer Substanz die Werte nach Tabelle 49 auf.

## 2.5. Modellierung der Standorte

Die Aufbereitung und Verarbeitung der Geodaten erfolgte in den Geoinformationssystemen ArcGIS® und SagaGIS (ESRI, 2014b; SAGA GIS, 2014). Die Ausgaben daraus dienen in R als Eingabedateien für die Regionalisierung und Gruppierung (R Core Team, 2013). Die Verarbeitung der Geodaten ergibt unter anderem Attribute, die das Gelände beschreiben, wobei zwischen primären und sekundären Attributen unterschieden wird: Zu den primären Attributen zählen etwa die Steigung des Geländes, die Krümmung des Geländes und das Einzugsgebiet (upslope contributing area). Aus den primären Attributen können in weiterer Folge sekundäre Attribute abgeleitet werden. Ein häufig verwendetes sekundäres Attribut ist der Compound Topographic Index (CTI), auch Topographic Wetness Index (TWI) genannt (McBratney et al., 2003).

Vor allem SAGA GIS zeigt bei der Berechnung von Rasterdaten, denen das digitale Geländemodell zugehörig ist, Vorteile auf. Die Berechnung von sekundären Attributen benötigt in ArcGIS® (2014b) häufig Zwischenrechnungsschritte, da sonst unübersichtliche Formeln eingegeben werden müssen.

### 2.5.1. Verarbeitung des digitalen Terrainmodelles

Die Ausgangsdatei für die Umsetzung stellt ein digitales lasergescanntes Terrainmodell (DTM) mit einer räumlichen Auflösung von 1 m dar. Dieser Datensatz besteht aus Reflexionsmesswerten der Erdoberfläche, die auch deutliche Abwei-

chungen beinhalten können. Hengl (2009), sowie auch Romstad und Etzelmüller (2012), geben an, dass eine Vorbereitung des Geländemodelles für die Berechnung der Terrainattribute zweckmäßig ist. In dieser Arbeit wurde das digitale Terrainmodell mit einem Lowpassfilter in Saga GIS (2014) bearbeitet. Für den Parameter, der die Stärke der Glättung im Filter beeinflusst, wurde durch Ausprobieren der Wert 26 ermittelt. Das Ergebnis des Lowpassfilters diente folglich als Eingabedatei für die Berechnungen und wurde analog zu einem Geländemodell verwendet. Damit die räumlichen Gruppen die Geländeeigenschaften berücksichtigen wurden aus dem digitalen Geländemodell Attribute abgeleitet. Folgende finden in den weiteren Arbeitsschritten Verwendung:

- Die maximale Steigung (SLOPE) des Geländes in Prozent.
- Die horizontale Krümmung (PLANC) verhält sich senkrecht zur maximalen Neigung der Oberfläche. Positive, große Werte deuten auf konvexe, seitlich wegfallende Geländeformen (Rücken) und negative Werte auf konkave, von der Seite in die Mitte einfallende Geländeformen (Rinnen) hin. Werte nahe bei 0 sind als Geländeformen ohne Krümmung zu interpretieren (Buckley, 2010; ESRI, 2014d)
- Die vertikale Krümmung (PROFC) verhält sich parallel zur maximalen Neigung der Oberfläche. Ein negativer Wert deutet auf eine in Neigungsrichtung konvexe Geländeform hin, ein positiver Wert auf eine konkave Geländeform. Werte nahe bei 0 sind als Geländeformen ohne Krümmung zu interpretieren (Buckley, 2010; ESRI, 2014d).
- Die Exposition (ASPECT) beschreibt die Ausrichtung der Oberfläche in Grad und kann Werte zwischen 0 und 359,9 annehmen. Werte nahe bei 0 geben eine Orientierung nach Norden an, wobei in Uhrzeigerrichtung die Himmelsrichtungen Ost, Süd und West nach weiteren 90° wie angegeben folgen (ESRI, 2014c).
- Der Topographic Position Index (TPI) vergleicht die Seehöhe einer Rasterzelle mit der mittleren Seehöhe der Nachbarschaft. Positive Werte sagen aus, dass die Stellen höher liegen als ihre Umgebung und vice versa. Werte bei

0 beschreiben ebene Geländeformen oder Hänge mit konstanter Steigung (Weiss, 2001).

- Der Topographic Wetness Index (TWI) beschreibt die Intensität der Wasserakkumulation an einem räumlichen Standort. Hohe Werte deuten auf eine hohe, niedrige Werte auf eine geringe Bodenfeuchtigkeit hin (Cooley, S, 2013). Über Gleichung 2.4 nach Beven und Kirkby (1979) wird der TWI beschrieben. Variable  $a$  stellt die Fläche dar, von dem ein bestimmter Punkt seinen Abfluss bezieht (upslope contributing area) und Variable  $\beta$  beschreibt das Gefälle.

$$\ln\left(\frac{a}{\tan(\beta)}\right) \quad (2.4)$$

- Die Seehöhe (DTM) kann aus dem Geländemodell abgelesen werden.
- Die Exposition wurde über die Formel 2.5 nach Moisen und Frescino (2002) in das Attribut TRASP umgewandelt. Diese Transformation legt fest, dass Werte bei 0 eine Orientierung nach Nord bis Nordost und Werte bei 1 eine Orientierung nach Süd bis Südwest aufweisen.

$$TRASP = \frac{1 - \cos((\pi/180)(aspect - 30))}{2} \quad (2.5)$$

Zusätzlich wurde mit Hilfe des Werkzeuges „Solar Radiation“ in ArcGIS® die Berechnung der Globalstrahlung (GS) durchgeführt. Die Globalstrahlung wurde anhand der Methode Special Days ermittelt, die zum Zeitpunkt der Sommersonnenwende, der Wintersonnenwende und Tag- und Nachtgleiche die Globalstrahlung bestimmt.

### 2.5.2. Verarbeitung der Farb-Infrarot-Luftbildaufnahme (CIR)

Der unterste Pfad in Abbildung 1.2 beschreibt die Berechnung des Normal Difference Vegetation Index (kurz: NDVI), welcher mit Hilfe des Werkzeuges „Image Analysis“ in ArcGIS® von den Farb-Infrarot-Luftbildaufnahmen (kurz: CIR) abgeleitet wurde. Der Aufbau der Pflanze verursacht in einzelnen Bereichen des elektromagnetischen Spektrums unterschiedliche physikalische Prozesse. Im Blatt

bricht elektromagnetische Strahlung im Bereich einer Wellenlänge von 740-1100 nm (nahes Infrarot, kurz: NIR), dabei wird wenig Strahlung absorbiert, nahes Infrarot wird reflektiert. Im Bereich zwischen 600 und 700 nm, dem des roten Bestandteiles des Lichtes, tritt eine starke Absorption auf. Diese Gegebenheit wird bei der Anwendung des NDVI herangezogen, der sich über die Gleichung 2.6 ermitteln lässt (Tucker und Sellers, 1986).

$$\frac{NIR - red}{NIR + red} \quad (2.6)$$

Aufgrund der einfachen Handhabung ist er in wissenschaftlichen Publikationen häufig vorzufinden. D'Arrigo et al. (2000) zeigten, dass der NDVI mit forstlichen Produktivitätskennzahlen korrelieren kann. Dies war der Anlass, um den NDVI zu verwenden, denn die Standortseinheiten sollen auch nach Erträgen eingeteilt werden. Zahner (1968) zeigte in seiner Arbeit, dass etwa der Zuwachs des Baumdurchmessers mit der Wasserverfügbarkeit korreliert. Somit kann der NDVI auch mit dem Wasserangebot in Verbindung gebracht werden.

### 2.5.3. Multivariate Datenanalyse in R

In Grafik 1.2 meint der graue Rhombus mit der Inschrift *R* die statistische Modellierung der vorbereiteten Datensätze, die im folgenden Abschnitt beschrieben wird. Nach der Berechnung der Attribute und der Skalierung von 1 m auf 5 m Auflösung können ihre Werte nach dem Einlesen in R an den Stellen der Stichproben mithilfe der Koordinaten extrahiert werden. Im sich daraus ergebenden Datensatz legt eine Zeile jeweils einen bestimmten Probestandort fest, der aus zwei Spalten für die Koordinaten und weiteren Spalten für die Werte der einzelnen Attribute besteht. Die Berechnung beruht auf der Tatsache, dass bei der Auswahl der Probestellen naturnahe Bestände ausgewählt wurden. Somit kann auch der NDVI für die Berechnungen herangezogen werden.

Um die Variablen, die unterschiedliche Einheiten aufweisen, in Verbindung zu bringen, ist eine Standardisierung der Variablen erforderlich (Yusta et al., 1998). Über die Standardisierung der Variablen erhält man ein dimensionsloses Ergebnis, das die Variablen nach Lage und Streuung beschreibt (Zwerenz, 2008). Infolge der Standardisierung nach Yusta et al. (1998) werden zentrierte Variablen über die

Subtraktion des Medians berechnet. Über die Division mit dem Interquartilsabstand (IQR) erhält man eine Angabe, inwieweit der Wert vom Median abweicht. Gegenüber der klassischen  $z$ -Transformation wurde der Mittelwert und die Standardabweichung durch den Median und den Interquartilabstand ausgetauscht, damit der Einfluss von Ausreißern reduziert wird. In der Arbeit nach Yusta et al. (1998) erfolgt die Standardisierung über Gleichung 2.7.

$$z_i = \frac{x_i - \text{Median}}{IQR} \quad (2.7)$$

Die Globalstrahlung zum Zeitpunkt der Sommersonnenwende (SOLARS), der Topographic Wetness Index (TWI), der Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) und der Topographic Position Index (TPI) wurden nach der Standardisierung für die Klassifikation herangezogen. Das in R bereits vorinstallierte Paket *stats* bietet die Funktion *hclust* an, die ein hierarchisches agglomeratives Clusterverfahren durchführt (R Core Team, 2013). Die Clusteranalyse, ein statistisches Verfahren, ermöglicht die Einteilung von Daten in sinnvolle Gruppen (Cluster). Für das Adjektiv „sinnvoll“ liegt keine eindeutige Definition vor, diese ergibt sich aus der vorliegenden Problemstellung. Trotzdem ist es möglich, dass unter folgenden Kriterien eine sinnvolle Einteilung vorliegt:

Die Ähnlichkeit der einzelnen Objekte innerhalb der Gruppe ist maximiert und die Ähnlichkeit zwischen den Gruppen ist minimiert. In dieser Arbeit wird die Gruppeneinteilung nicht anhand der Ähnlichkeit bewertet. Für diese Aufgabe ist es vielmehr relevant, ob die Gruppen die Charakteristik der Daten abbilden (Zhao und Karypis, 2005). Schließlich sollen die Gruppen etwa Exposition oder Relief berücksichtigen und als Kartengrundlage ein plausibles Muster ergeben.

In der Ausgangssituation stellen alle Daten eine Gruppe dar, die in den fortlaufenden Verfahrensschritten zu einer festgelegten Anzahl von Clustern zusammengefasst werden (Zhao und Karypis, 2005). Bei der Einteilung der Gruppen ergab die Methode nach Ward das plausibelste Ergebnis. Das Verfahren fasst in jedem Schritt folgende Objekte zusammen, die für die Quadratsumme der Residuen den geringsten Wert ergeben (Manning et al., 2009). Die Gruppen, die sich aus der Clusteranalyse ergeben, wurden in dieser Arbeit über eine multinomische logisti-

sche Regression für das gesamte Untersuchungsgebiet vorhergesagt. Die Vorhersage der Standortseinheiten, die gleich der Gruppenzugehörigkeit ist, erfolgt nach der Modellgleichung 2.8

$$\text{Gruppenzugehörigkeit} = f(\text{dtm} + \text{slope} + \text{trasp} + \text{planc} + \text{prof}c) \quad (2.8)$$

In diese Arbeit erfolgte die multinomische logistische Regression in R mit dem Paket nach *nnet* (Venables und Ripley, 2002).

#### 2.5.4. Theorie zur logistischen Regression

Im Vergleich zur multivariaten Regression werden multinomische logistische Regressionen verwendet, um kategoriale (nominal oder ordinal skaliert) Zielvariablen über metrische oder kategoriale Prädiktoren vorherzusagen. Zwischen der logistischen und linearen Regression bestehen Ähnlichkeiten, die auch in den beiden Gleichungen 2.9 und 2.10 vorzufinden sind. Anhand von Gleichung 2.9 wird in der linearen Regression eine Gerade mit der Steigung  $b_1$  und dem Schnittpunkt  $b_0$  an der Y-Achse an den Datensatz angepasst. Für  $X_{1i}$  werden die Messwerte eingesetzt und für  $\epsilon_i$  die Residuen angegeben. Schließlich erhält man für die Zielvariable  $Y_i$  eine Vorhersage (Field et al., 2012).

$$Y_i = b_0 + b_1 X_{1i} + \epsilon_i \quad (2.9)$$

In der logistischen Regression wird die Wahrscheinlichkeit des Auftretens  $P(Y)$  über Gleichung 2.10 ermittelt. Die Bedeutung der einzelnen Variablen ist dieselbe wie in Gleichung 2.9. Für  $P(Y)$  erhält man Werte zwischen 0 und 1, wobei Werte nahe bei 0 eine geringe Wahrscheinlichkeit bedeuten und vice versa.

$$P(Y) = \frac{1}{1 + e^{b_0 + b_1 X_{1i}}} \quad (2.10)$$

Für die Interpretation, die im Kapitel 3 erfolgt, ist die Theorie des „odds ratio“ nennenswert. „Odds“, auch als Chance bezeichnet, sind ähnlich der Wahrscheinlichkeit und werden nach Gleichung 2.11 berechnet (Fahrmeir et al., 2009; Field et al., 2012). Der „odds ratio“ gibt an, wie sich die Chance bei einer Verände-

rung des Prädiktors um eine Einheit verhält. Man berechnet dafür die Chance vor der Veränderung und die Chance nach der Veränderung und stellt sie ins Verhältnis. Ein Wert größer als 1 bedeutet, dass die Veränderung des Prädiktors um eine Einheit die Wahrscheinlichkeit erhöht. Andererseits zeigt ein Wert nahe bei 0 an, dass die Erhöhung des Prädiktors um eine Einheit die Wahrscheinlichkeit der Zielvariable mindert (Field et al., 2012).

$$odds = \frac{P(\text{Auftreten eines Ereignisses})}{P(\text{Kein Auftreten eines Ereignisses})} \quad (2.11)$$

## 2.6. Simulation des Wasserhaushaltes am Standort

### 2.6.1. Modellaufbau

Der folgende Abschnitt bezieht sich auf die rechte Seite in Abbildung 1.2, in der ein hellblauer Rhombus dargestellt ist, der die Anwendung von Brook90 darstellt. Brook90 nach Federer (2002) ist ein prozessorientiertes Modell, mithilfe dessen man die vertikalen Bodenwasserflüsse, die Evapotranspiration und die Abflüsse für Standorte mit unterschiedlichen Landbedeckungen auf Tagesbasis modellieren kann. Die umfassenden Eingabemöglichkeiten von Parametern zielen darauf ab, den Einfluss dieser und den Ablauf der Evaporation besser nachvollziehen zu können. In Brook90 wird separat die Evaporation von Böden und die potentielle Transpiration von Pflanzen nach der von Shuttleworth und Wallace (1985) erweiterten Penman-Monteith-Gleichung nach Monteith (1965) bestimmt (Federer, 2002). Neben der separaten Berechnung der Evaporation zählen die fünf neuen Widerstände zu den wesentlichen Ergänzungen im Ansatz nach Shuttleworth und Wallace (1985) (Federer et al., 1996). Einfachheitshalber stellt die Gleichung 2.12 lediglich die Penman-Monteith-Gleichung dar, um die im Prozess involvierten Einflussgrößen darzustellen (Richard et al., 1998).

$$\lambda ET = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho_a c_p \frac{(e_s - e_a)}{r_a}}{\Delta + \gamma(1 + \frac{r_s}{r_a})} \quad (2.12)$$

- $R_n$ : Netto-Globalstrahlung
- $G$ : Bodenwärmeumsatz
- $(e_s - e_a)$ : Wasserdampfdefizit der Luft
- $r_a$ : Mittlere Dichte der Luft bei konstantem Luftdruck
- $c_p$ : Spezifische Wärme der Luft
- $D$ : Steigung der Kurve zwischen dem Wasserdampf-sättigungsdruck und der Temperatur
- $g$ : Psychrometrische Konstante
- $r_s$ : Blattflächenwiderstand
- $r_a$ : Aerodynamischer Widerstand

Das Schema des hydrologischen Kreislaufes und die darin ablaufenden Vorgänge können zusammenfassend wie folgt beschrieben werden: Am Anfang steht ein Niederschlagsereignis, mit dem Wasser in den Bestand eingetragen wird. Das kann in Form von Regen oder Schnee geschehen, die im Modell getrennt berücksichtigt werden. Die folgenden Prozesse finden oberirdisch entweder im flüssigen oder gasförmigen Zustand statt, als auch unterirdisch im flüssigen Zustand. Der gefallene Niederschlag verweilt nach dem Ansatz von Brook90 nach Federer (2002) in verschiedenen Formen: Einerseits durch die Interzeption von Regen und Schnee, andererseits durch die gebildete Schneedecke am Waldboden, sowie auch als Bodenwasser in den verschiedenen Bodenhorizonten und als Grundwasser (Federer, 2002). Für die Berechnung der Interzeption, der Ablagerung von Schnee, der Schneeschmelze, der Evaporation von Böden sowie des Schnees und der Transpiration von Pflanzen wird ein vereinfachtes Kronendach angenommen, das aus einer großen Baumschicht besteht. Im Boden finden die hydrologischen Prozesse über mehrere Bodenhorizonte statt, wobei maximal 21 Bodenhorizonte einbezogen werden können (Federer et al., 2003).

## 2.6.2. Auswahl der Modellparameter

Die Klimadaten, dazu zählen beispielsweise der Niederschlag, die maximale und minimale Lufttemperatur, die Globalstrahlung, der Wasserdampfdruck und die Windgeschwindigkeit, wurden als Eingangsgrößen in dieser Arbeit zur Berechnung berücksichtigt. In der Modellierung handelt es sich um einen fiktiven Traubeneichenbestand (*Quercus petraea*). Die Lagebeschreibung des Standortes erfolgt über eine Textdatei mit dem Namen „Location file“, wobei die geologische Breite LAT, die mittlere Steigung des Geländes des Standortes ESLOPE, und die mittlere Exposition des Standortes ASPECT, die Lage und somit den hydrologischen Kreislauf beeinflussen. Für jeden Standort muss die mittlere Steigung des Geländes und die mittlere Exposition angepasst werden. Die restlichen Parameter sind für alle Berechnungen konstant gehalten. Die Werte für die Abkürzungen RSTEMP und MELFAC sind gleich den Einstellungen wie im Beispieldatensatz LHbw6a.txt und beeinflussen die Schneebildung.

Der Parameter DURATN beschreibt die mittlere Niederschlagsdauer in Stunden pro Monat. Da Modellierungen für verschiedene Landbedeckungen möglich sind, kann auch die maximale Höhe dieser über das gesamte Jahr in Form von Anteilen zwischen 0 und 1 angegeben und zusätzlich um eine Zeitangabe (Tag im Jahr) ergänzt werden. Würden wir etwa eine Kulturpflanze in Österreich betrachten, bedeutet der Wert 0, dass sich bisher keine Vegetationbedeckung entwickelt hat. Erst mit Beginn der Vegetationsperiode nimmt der Anteil mit dem Wert von 0.1 zu und erreicht im Sommer sein Maximum bei 1. In dieser Arbeit wird der Wert 1 herangezogen, da ein Wald über das gesamte Jahr betrachtet eine konstante Höhe aufweist. Der Parameter RELLAI beschreibt die Entwicklung der Blattfläche und wurde aus den Auswertungen der Phänologiebeobachtungen nach ZAMG (2014a) und ZAMG (2014b) übernommen. Auch RELLAI ist eine Angabe in Form eines Anteiles, der Werte zwischen 0 und 1 annehmen kann. Eine Zeitangabe (Tag im Jahr) wird ebenfalls angegeben. In der Textdatei „Flow file“ können Parameter verändert werden, die die Infiltration und Drainage des Bodenwassers bestimmen. Außer dem Parameter DRAIN mit einem Wert von 0.59 für Parabraunerden, 0.79 für Tschernoseme und 0.3 für Pseudogleye, liegen die gleichen Einstellungen wie im Beispieldatensatz FHbw6a.txt vor. Der Einfluss der Vegetation im Prozess wird

über die Datei „Canopy file“ gesteuert. ALB beschreibt das Albedo und nimmt für den Traubeneichenbestand einen Wert von 18% ein. Die Werte für den Parameter ALB aus dem Beispieldatensatz CHbw6a.txt stimmen mit den Werten aus der Studie nach DeWalle und McGuire (1973) überein. Die maximale Höhe des Bestandes MAXHT beträgt 20 m. Ein wichtiger Parameter, der sowohl starken Einfluss auf die Interzeption, als auch auf die Verdunstung nimmt, ist die Blattfläche. Mit MAXLAI definiert man den Wert des maximalen Blattflächeindex. In dieser Arbeit wird ein Wert von 5 angenommen, der unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus Bréda (2003) pausibel erscheint. Einen weiteren wichtigen Parameter stellt die maximale stomatäre Blattleitfähigkeit (GLMAX) dar, für die der Wert von 0.79 aus der Studie von Granier und Bréda (1996) stammt. Da für die tatsächliche Verteilung der Feinwurzeln keine genauen Angaben zu finden waren, wurde eine uniforme Verteilung innerhalb der durchwurzelten Bodenzone angenommen. Die restlichen Parameter sind aus dem Beispieldatensatz CHbw6a.txt übernommen worden. Das hydrologische Verhalten des Boden wurde nach den Angaben nach Clapp und Hornberger (1978) in Federer (2002) beschrieben und im „Soil file“ eingetragen. Darunter fallen die Saugspannung bei Feldkapazität (PSIF oder  $y_x$ ), der Wassergehalt bei Feldkapazität (THETAF oder  $q_x$ ), der Wassergehalt bei Sättigung (THSAT oder  $q_s$ ), der Parameter zur Beschreibung des Kurvenverlaufs nach Brooks and Corey (BEXP oder b), die hydraulische Leitfähigkeit bei Feldkapazität (K oder  $K_x$ ) und der Parameter für die Clapp-, Hornberger-Erweiterung (WETINF oder  $W_i$ ). Die Datensätze „Fixed file“ und „Initial file“ sind inhaltlich gleich den beiden Datensätzen XHbw6a.txt und IHbw6a.txt. Die Simulation bezieht sich auf die im Untersuchungsgebiet vorhergesagten Standortseinheiten. Als Kennzahl für den Vergleich des Wasserhaushaltes zwischen den einzelnen Standorten wird die Anzahl der Stresstage verwendet. Ein Stresstag wurden wie folgt definiert:

$$\text{Stresstag} = \frac{\text{transpiration}_{actual}}{\text{transpiration}_{potential}} = < 0.2 \quad (2.13)$$

# 3. Ergebnisse

## 3.1. Explorative Statistik der Bodenproben

### 3.1.1. Bodentypen

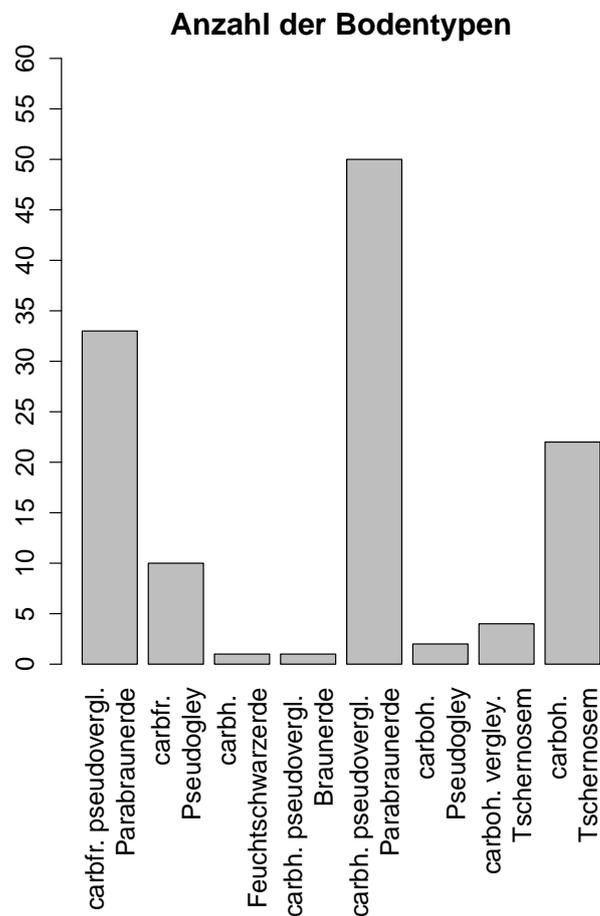


Abbildung 3.1.: Anzahl der im Forstrevier Niederkreuzstetten beschriebenen Bodentypen. Die Stichprobe umfasste eine Anzahl von 123 Bodenproben

Im Untersuchungsgebiet sind 8 Bodentypen angesprochen worden. Die Häufigkeit der einzelnen Bodentypen ist in Abbildung 3.1 aufgetragen. Die Beschreibung der Bodenklassen erfolgt im nachfolgenden Text nach den Angaben von Leitgeb et al. (2013) und Nestroy et al. (2011). Auf die einzelnen Varietäten wird nicht weiter eingegangen.

### Braunerden

Eine Braunerde konnte im Untersuchungsgebiet nur einmal aufgenommen werden. Für die Region und das darin vorliegende carbonathaltige Ausgangsgestein ist der Prozess der Entkalkung wichtig. Braunerden eignen sich vorwiegend als Laub- und Laubmischwaldstandorte. Zu berücksichtigen ist die sehr unterschiedliche Trophiestufe in Abhängigkeit von Gründigkeit, Bodenschwere und Skelettgehalt. Braunerden können eine sehr gute Nährstoffversorgung und einen ausgeglichenen Wasserhaushalt vorweisen, weshalb sie häufig landwirtschaftlich genutzt werden. In der Forstwirtschaft können sie als Standort für anspruchsvolle Baumarten dienen, es sind beispielsweise Kombinationen von Esche und Bergahorn oder Eiche und Hainbuche möglich.

### Parabraunerde

Die Parabraunerde ist der am häufigsten aufgenommene Bodentyp im Untersuchungsgebiet. Die Trophie ist meistens sehr gut eingestuft, wie auch der Wasserhaushalt, da die Böden tiefgründig sind und ausreichend Mittelporen aufweisen. Aufgrund dessen sind diese Böden neben der landwirtschaftlichen Nutzung auch forstwirtschaftlich interessant. Buchen- und Eichen-Hainbuchen-Gesellschaften und Bestände aus anspruchsvollen Edellaubhölzern sind am Standort vorzufinden.

### Pseudogley

Die dritthäufigste Gruppe der aufgenommenen Bodenproben stellt der Pseudogley dar. Seine Nährstoffverfügbarkeit ist großteils gut ausgestattet. Entscheidend bei der Nutzung dieses Bodentypes ist die Intensität der Pseudovergleyung, nur bestimmte Waldbäume sind unter Sauerstoffmangel fähig, Wurzeln zu entwickeln. Eiche, Hainbuche und in höheren Lagen die Tanne zählen zu den Baumarten, die mit

ihrer Wurzelenergie den häufig dicht vorliegenden Staukörper aufschließen können. Weder das potentielle Wasser-, noch das potentielle Nährstoffangebot des Standortes können Flachwurzler nutzen, da ihr effektiver Wurzelraum eingeschränkt ist. Zusätzlich sind diese in Trockenperioden welkegefährdet und besonders in niederschlagsreichen Perioden können Windwürfe Schaden verursachen, was besonders für die Fichte und in geringem Maß für die Buche gilt.

### Tschernosem

Bei 26 der rund 123 gezogenen Bodenproben handelte es sich um Tschernoseme. Jene aus Löss, die häufig im Untersuchungsgebiet vorliegen, sind im Allgemeinen aufgrund ihrer guten Wasser- und Nährstoffverfügbarkeit sehr gute Ackerstandorte und für den Anbau von Weizen und Zuckerrüben ausgezeichnet geeignet. In der pannonischen Klimaregion werden diese Standorte in Form von natürlichen Laubmischwäldern forstlich bewirtschaftet. Je nach Ausgangsmaterial liegen unterschiedliche Bodeneigenschaften vor: Ist Schotter beigemischt, kann ein „trockener“ bis „sehr trockener“ Wasserhaushalt vorherrschen, andernfalls sind „mäßig trockene“ Wasserhaushalte üblich. Bei Waldstandorten ist eine Auswahl von anspruchsvollen Baumarten denkbar, dennoch ist auf die geringen Niederschlagsmengen im Gebiet Rücksicht zu nehmen.

### Feuchtschwarzerde

Wie die Braunerde, konnte eine Feuchtschwarzerde nur in einem Fall bestimmt werden. Feuchtschwarzerden stellen im Allgemeinen gute bis sehr gute Ackerstandorte dar, die je nach Mächtigkeit, Grundwasserstand und Ausgangsmaterial zu unterschiedlicher Ertragsfähigkeit führen. In der Forstwirtschaft sind Laubmischwälder, unter anderem in Kombination von Stieleichen und Eschen, denkbar.

### 3.1.2. Nutzbare Wasserspeicherkapazität

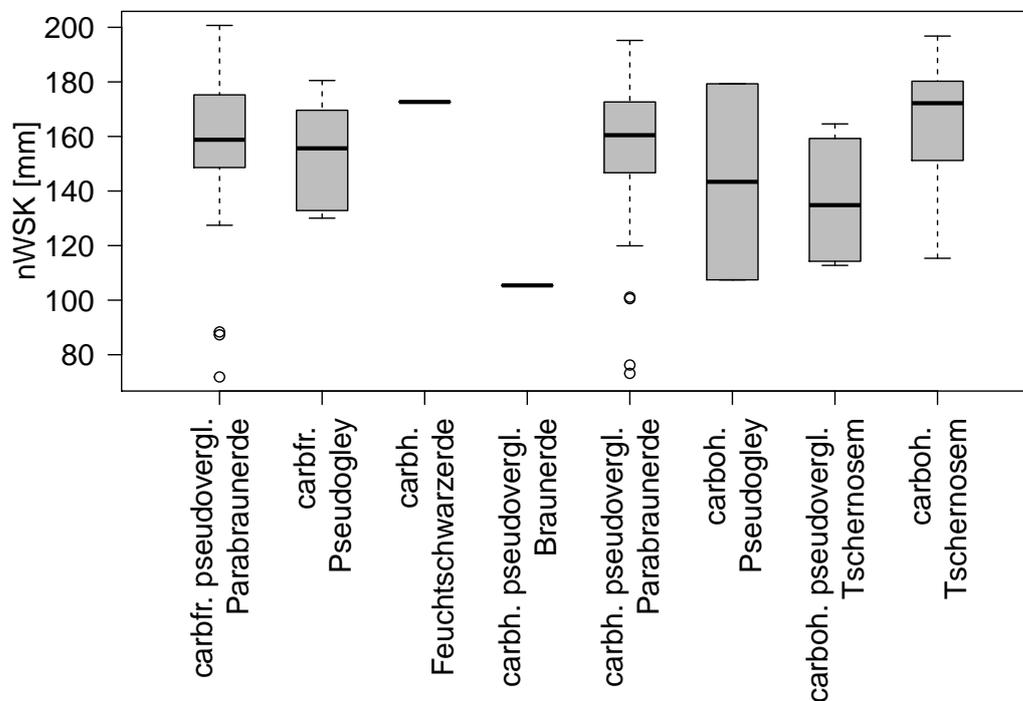


Abbildung 3.2.: Nutzbare Wasserspeicherkapazität (nWSK) für die im Forstrevier Niederkreuzstetten beschriebenen Bodentypen. Die Stichprobe umfasste eine Anzahl von 123 Bodenproben

In Abbildung 3.2 sind die 8 angesprochenen Bodentypen sowie die jeweils dazugehörige nutzbare Wasserspeicherkapazität aufgetragen. Der Median der nutzbaren Wasserspeicherkapazität liegt bei rund 140 mm. Die carbonathaltige Feuchtschwarzerde und die carbonathaltige pseudovergleyte Braunerde wurden jeweils nur einmal aufgenommen.

### 3.1.3. Statistische Ableitung der Standortseinheiten

Der folgende Abschnitt umfasst die deskriptive Statistik der Eingangsvariablen für die Clusteranalyse und die anschließende grafische Aufbereitung und Interpretation der Ergebnisse dieser.

solars		tpi		twi		ndvi	
Min.	:4898	Min.	:-15.0	Min.	:0.8	Min.	:0.19
1st Qu.	:5544	1st Qu.	:-3.4	1st Qu.	:1.9	1st Qu.	:0.23
Median	:5685	Median	: 1.0	Median	:2.6	Median	:0.25
Mean	:5634	Mean	: 0.1	Mean	:2.6	Mean	:0.25
3rd Qu.	:5803	3rd Qu.	: 4.1	3rd Qu.	:3.1	3rd Qu.	:0.27
Max.	:5895	Max.	: 11.6	Max.	:5.8	Max.	:0.36

R-Output 1: Mittelwerte der Eingangsvariablen in die Clusteranalyse: Solarstrahlung (solars) [Wh/m<sup>2</sup>], Topographic Position Index (tpi), Topographic Wetness Index (twi) und Normalized Difference Vegetation Index (ndvi).

Die Mittelwerte der Eingangsvariablen aus der Zusammenfassung für die Clusteranalyse im R-Output 1 deuten auf eben bis leicht gekrümmte, sonnenexponierte Geländeformen mit aus ausgeglichener Wasserakkumulation hin. Der NDVI weist geringe Werte auf, die nach Zawawi et al. (2014) auf trockene Wälder hindeuten. Die Variablen sind mit Ausnahme der Solarstrahlung annähernd normalverteilt. Aufgrund der hohen Anzahl an großen Werten ist im Fall der Solarstrahlung eine linksschiefe Verteilung deutlich erkennbar. Für die Standardisierung sind keine weiteren Arbeitsschritte notwendig. Weiters sind auf den folgenden Seiten in Abbildung 3.4, 3.5, 3.6 die Faktoren Globalstrahlung, Topographic Wetness Index und Hangneigung aufbereitet worden.

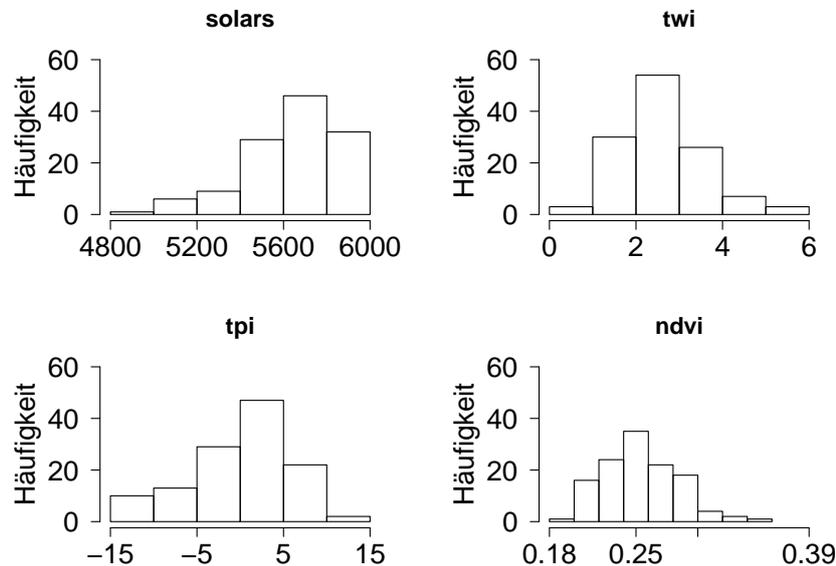


Abbildung 3.3.: Eingangsvariablen der Clusteranalyse: Solarstrahlung (solars) [Wh/m<sup>2</sup>], Topographic Wetness Index (twi), Topographic Position Index (tpi), Normalized Difference Vegetation Index (ndvi)

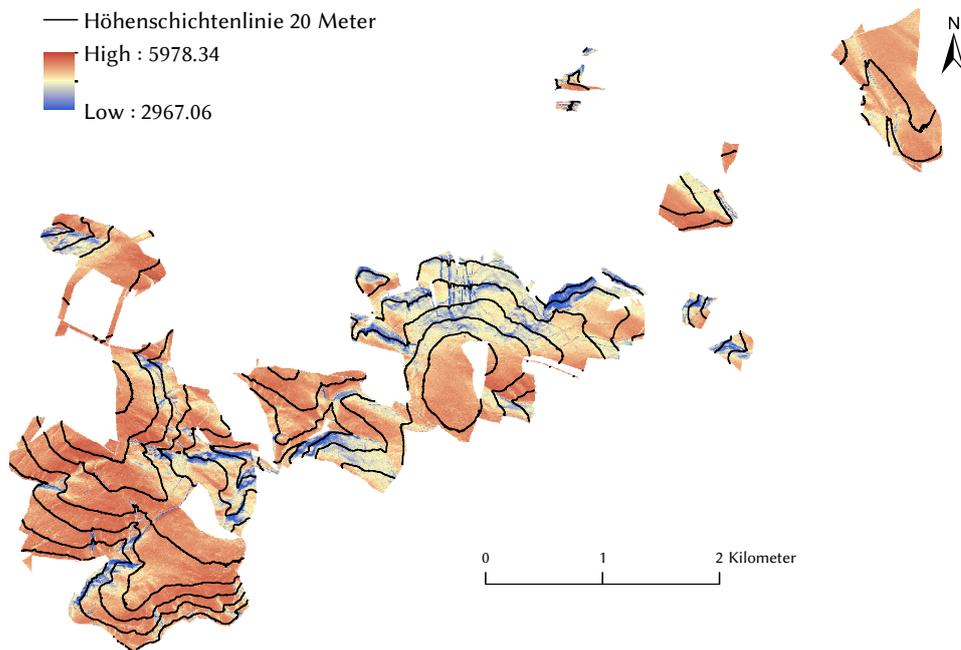


Abbildung 3.4.: Globalstrahlung [ $\text{Wh}/\text{m}^2$ ] zur Sommersonnenwende.

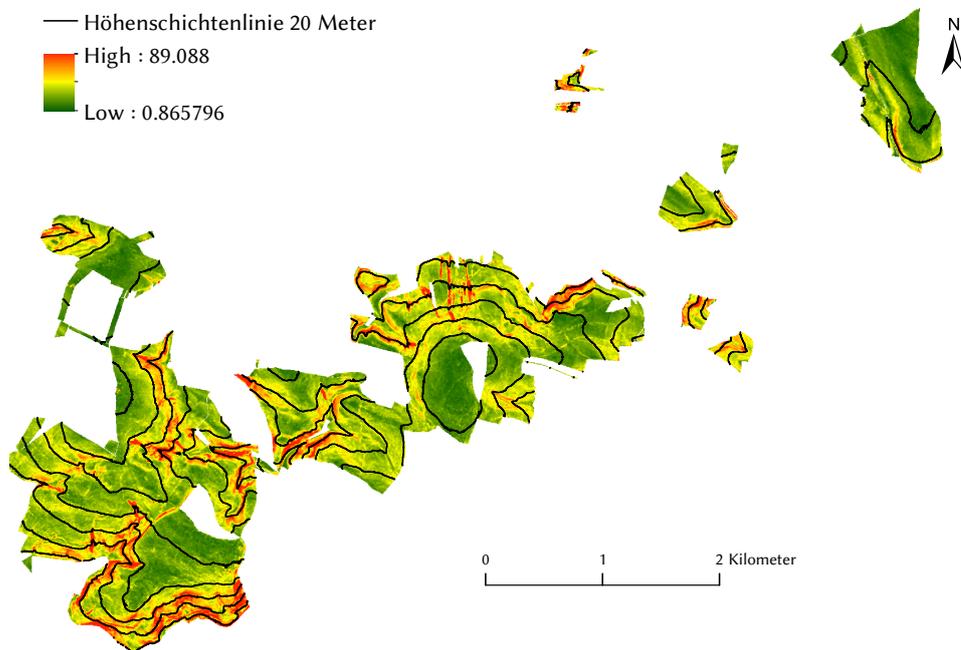


Abbildung 3.5.: Hangneigung in Prozent.

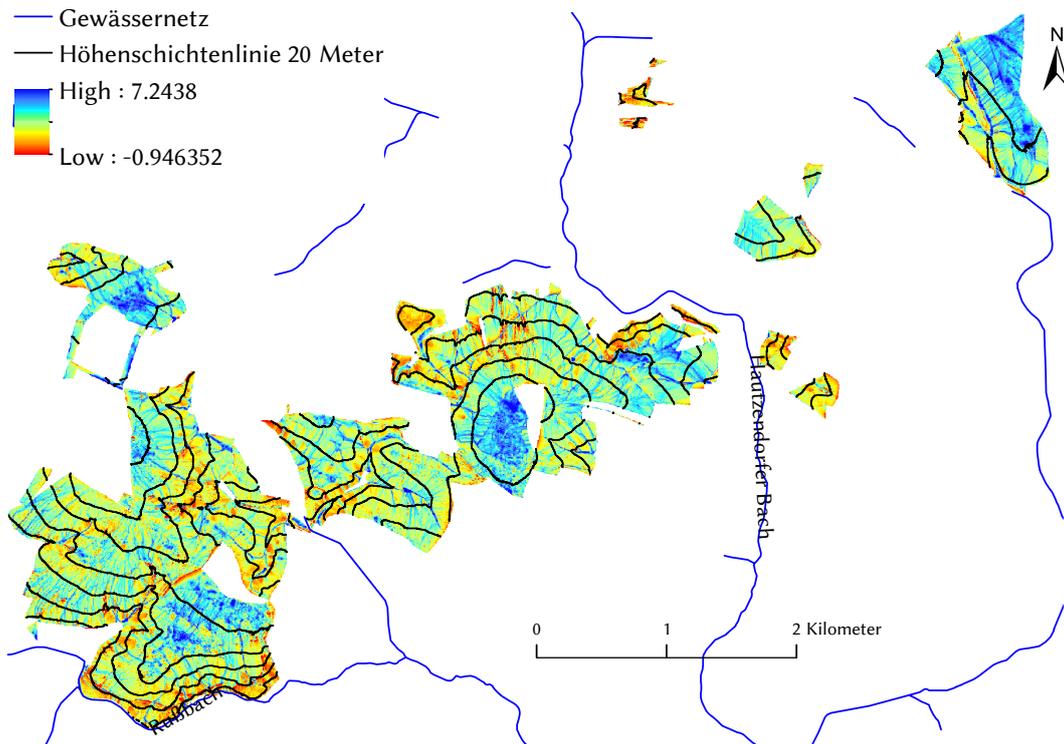


Abbildung 3.6.: Topographic Wetness Index mit Gewässernetz (abgeändert nach OpenStreetMap-Mitwirkende (2014)).

### 3.2. Clusteranalyse

Die in Abbildung 3.7 dargestellte Clusteranzahl wurde nach mehrmaligem Probieren ausgewählt. Über die auf der y-Achse aufgetragene Höhe können die Ähnlichkeiten bei einer Zusammenlegung von Gruppen interpretiert und die Konsistenz der Gruppen abgeleitet werden. Zusätzlich sind im Anhang in Tabelle A.1 die Bodenproben und die Clusterzugehörigkeit zusammengefasst. Für eine detailliertere Interpretation ist in Abbildung 3.8 ein Silhouette-Plot abgebildet. Die an der x-Achse aufgetragene Silhouettenweite  $s(d)$  wird herangezogen, um die Ähnlichkeiten eines bestimmten Objektes zu allen anderen Objekten der gleichen Gruppe  $a(i)$  als auch zu irgendeinem Objekt der nächstgelegenen Gruppe festzustellen. Dafür werden die Mittelwerte der Distanzen verwendet (Wildi, 2013).

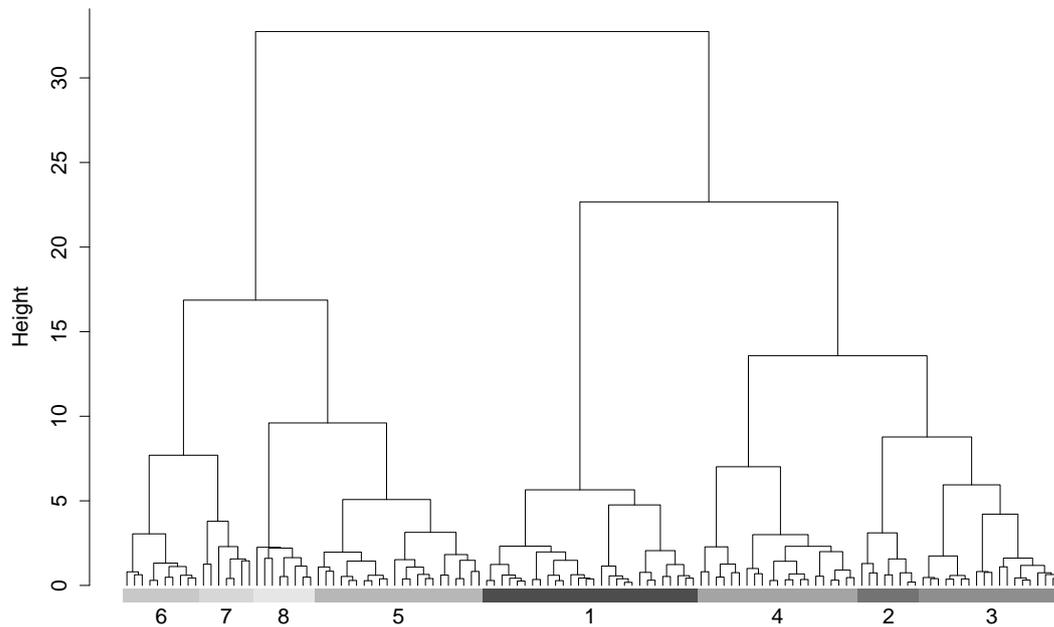


Abbildung 3.7.: Dendrogramm des Ward-Verfahren mit Kennzeichnung der 8 Cluster

Somit kann die Validierung der Klassenbildung über die Silhouettenweite erfolgen und nach Gleichung 3.1 aus Kaufman und Rousseeuw (2009) errechnet werden.

$$\frac{b(i) - a(i)}{\max(a(i), b(i))} \quad (3.1)$$

Silhouettenweiten gegen 1 deuten auf eine deutliche Klassifikation, Werte um 0 auf eine schwache Klassifikation und negative Werte auf eine Missklassifikation hin. Kaufman und Rousseeuw (2009) geben bei einem Wert unter 0.25 an, dass die Klassifikation als mangelhaft zu interpretieren ist. Folglich können die Gruppen 1, 2, 6 und 8 in Abbildung 3.8 nach Kaufman und Rousseeuw (2009) noch eine ausreichende Unterscheidung vorweisen. Der Rest und hier besonders die Gruppen 3, 4 und 5 beinhalten Elemente, die aufgrund der Silhouettenweite auf Missklassifikationen überprüft werden müssen. Zusätzlich können aus Abbildung 3.9 nähere Beschreibungen der Beziehung zwischen den Eingangsvariablen und den 8 eingeteilten Gruppen abgeleitet werden. Die beiden Grafiken 3.8 und 3.9 deuten auf folgende Zusammenfassung hin:

- Gruppe 1 lässt einen sonnenexponierten Standort vermuten, der auch den geringsten NDVI-Wert aufzeigt. Ein Median von 3 beim TWI und 5 beim TPI deuten auf erhöhte Standorte in der Nähe von Oberhängen, Rücken und Kuppen hin. Die Niederschlagsakkumulation ist leicht bis mäßig ausgeprägt.
- Gruppe 2 beschreibt einen kühleren Standort, der im Gegensatz zur Gruppe 1 höhere NDVI-Werte umfasst. Da der TPI-Wert die höchste Ausprägung aller Gruppen einnimmt, ist die Gruppe an Kuppen oder Rücken vorzufinden. Der Median für die Variable TWI liegt zwischen dem Wert 2 bis 3, wobei ähnliche Werte wie in Gruppe 1 auftreten können.
- Gruppe 3 enthält die höchsten Werte im Bezug auf die Solarstrahlung und ist folglich den sonnenexponierten Standorten zugehörig. Im Vergleich zu den restlichen Gruppen schließt Gruppe 3 die höchsten NDVI-Werte ein und befindet sich auf flacheren, exponierten Standorten mit einer ähnlichen Wasserakkumulation wie sie Gruppe 1 und Gruppe 2 aufweisen.
- Gruppe 4 ist der letzte der sonnenexponierten Standorte mit einem durchschnittlichen NDVI von 0.25 und geringer Wasserakkumulation. Der TPI bei 0 weist auf einen kaum gekrümmten Standort an Hängen hin.
- Gruppe 5 beschreibt sich über eine geringere Solarstrahlung mit dem zweitkleinsten Median. Auch der NDVI-Wert zählt neben jenem von Gruppe 1 zu den kleinsten Werten. Der Standort mit einem Median von 0 für den TPI und 2 für den TWI deuten auf einen Hang mit geringer Wasserakkumulation hin.
- Gruppe 6 enthält ähnlich geringe Werte für die Solarstrahlung wie etwa die Gruppen 2, 5, 6 und 7, was auf einen Übergang zwischen Sonn- und Schatt- hang hindeutet. Der NDVI-Wert zwischen 0.25 und 0.30 ist durchschnittlich hoch, die negativen Werte für den TPI und die positiven Werte für den TWI weisen auf eine konkave Geländeform hin.

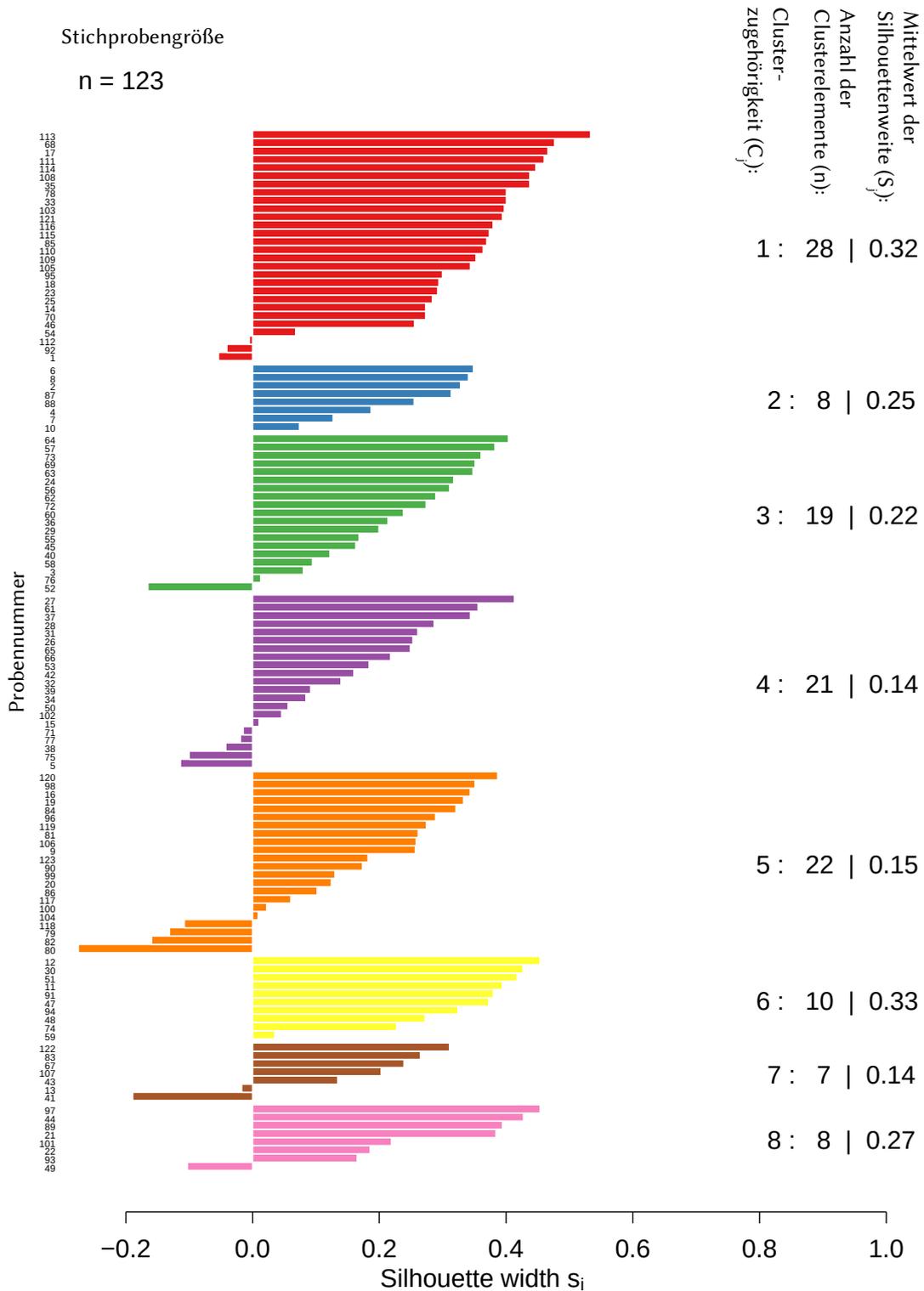


Abbildung 3.8.: Darstellung von der Ähnlichkeiten zwischen den 8 Standortseinheiten ( $c_j$ ) anhand der mittleren Silhouettenweite ( $s_j$ ) sowie die der Gruppe zugehörigen Elementen ( $n_j$ )

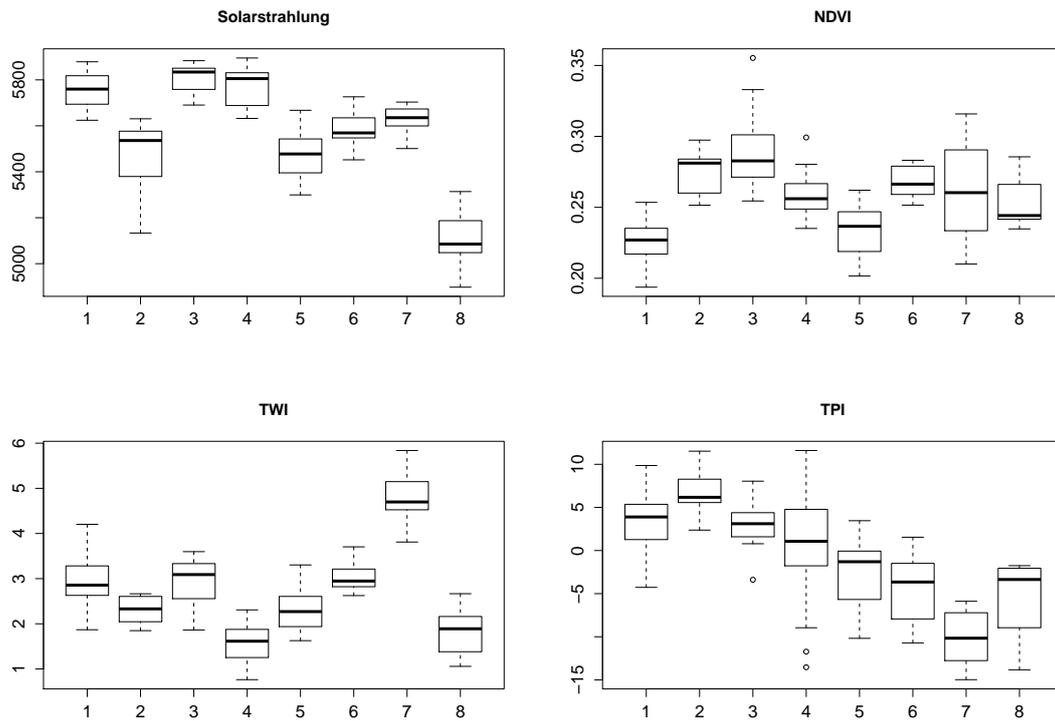


Abbildung 3.9.: Vergleich der einzelnen Gruppen an den Eingangsvariablen

- Gruppe 7 zählt zu den letzten der 4 Übergangstandorte. Der NDVI umfasst eine große Bandbreite an Werten und der TPI deutet durch den großen, negativen Wert auf eine Rinne hin, welche mit dem höchsten TWI-Wert plausibel wäre.
- Gruppe 8 enthält die geringsten Werte der Solarstrahlung und umfasst ausgeglichene NDVI-Werte. Ein niedriger TWI-Wert und ein TPI-Wert zwischen -5 und 0 lassen auf Hänge mit geringerer Wasserakkumulation schließen.

### 3.3. Regionalisierung der Standortseinheiten

Die Regionalisierung der Cluster (Standortseinheiten) erfolgte anhand der Komponenten, die im R-Output 2 dargestellt sind:

```
'data.frame': 123 obs. of 8 variables:
 $ x      : num  608109 607995 607863 607777 607694 ...
 $ y      : num  5367684 5367744 5367799 5367877 5367897 ...
 $ Cluster: int   1 2 3 2 2 2 4 4 5 2 ...
 $ dtm    : num   310 306 304 298 297 ...
 $ slope  : num   7.62 10.23 4.63 8.17 7.32 ...
 $ profc  : num  -0.00066 0.001457 -0.000126 0.002064 0.003105 ...
 $ planc  : num   0.00631 0.00883 0.06974 0.01286 0.05347 ...
 $ trasp  : num   0.0562 0.0651 0.5589 0.1358 0.2778 ...
```

R-Output 2: Variablen, die zur Regionalisierung der Standortseinheiten verwendet wurden: Koordinaten (x, y), Clusterzugehörigkeit (Cluster), Seehöhe (dtm), Hangneigung (slope), vertikale Krümmung (profc), horizontale Krümmung (planc) und transformierte Exposition nach Moisen und Frescino (2002) (trasp).

Dem R-Output 3 sind die Modellgleichung 2.8, die Regressionskoeffizienten und zwei Kennzahlen zu entnehmen. Die zu bestimmende Clusterzugehörigkeit jeder Rasterzelle stellt die Zielvariable dar, die Parameter, die nach der Tilde angeführt sind, sollen diese vorhersagen.

```
Call:
multinom(formula = Cluster ~ slope + trasp + planc + dtm + profc,
         data = Punktdaten)

Coefficients:
(Intercept) slope trasp planc dtm profc
2          10.4 -0.662  4.7  -5.3 -0.0240  2.879
3           9.8  0.158 -3.5   6.3 -0.0387 -25.180
4           1.6 -0.016 -2.0 -65.5 -0.0056 -2.985
5           4.4 -0.262 -4.1 -126.3 -0.0150  1.783
6           9.7 -0.294  4.3  -2.8 -0.0262 -0.074
7          -8.3  0.240  7.0  47.1 -0.0059 -3.499
8           1.5 -0.152  6.8  -4.6 -0.0118  3.493

Residual Deviance: 263
AIC: 347
```

R-Output 3: Modellgleichung zur Regionalisierung der Cluster: Clusterzugehörigkeit (Cluster), Hangneigung (slope), transformierte Exposition nach Moisen und Frescino (2002) (trasp), horizontale Krümmung (planc), Seehöhe (dtm) und vertikale Krümmung (profc), sowie die dazugehörigen Regressionskoeffizienten, die Residual Deviance und das Akaike Informationskriterium (AIC).

Nachfolgend wird die Signifikanz der Prädiktoren im Modell anhand einer ANOVA (Typ II-Test) bestimmt, um Variablen, die nicht signifikant sind, ausgescheiden zu können. Das Ergebnis dieses Tests ist dem R-Output 4 zu entnehmen.

```

Analysis of Deviance Table (Type II tests)

Response: Cluster
      LR Chisq Df Pr(>Chisq)
dtm      7.9  7    0.34
slope  148.7  7    < 2e-16 ***
trasp   90.5  7    < 2e-16 ***
planc   51.4  7    7.5e-09 ***
profc    0.7  7     1.00
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

R-Output 4: Ergebniss der ANOVA (Typ II-Test) für die Prädiktoren Seehöhe (dtm), Hangneigung (slope), transformierte Exposition nach Moisen und Frescino (2002) (trasp, horizontale Krümmung (planc) und vertikale Krümmung (profc).

Die Variablen 'dtm' und 'profc' zeigen einen p-Wert, der größer ist als 0.05. Daher werden diese in das neue Modell nicht inkludiert. Die drei restlichen Variablen zeigen sich als hochsignifikante Parameter im Modell. Das endgültige Modell für die Vorhersage lautet somit:

```

Call:
multinom(formula = Cluster ~ slope + trasp + planc, data = Punktdaten)

Coefficients:
  (Intercept)  slope  trasp  planc
2      2.76 -0.593  4.2   -7.8
3     -1.91  0.174 -2.6    4.2
4     -0.11 -0.014 -2.1  -63.8
5     -0.33 -0.240 -4.0 -123.7
6      1.33 -0.233  4.0   -2.9
7     -9.80  0.240  6.7   44.0
8     -2.11 -0.128  6.4   -5.9

Std. Errors:
  (Intercept)  slope  trasp  planc
2      1.8 0.188  1.9  21
3      1.0 0.060  1.5  17
4      1.1 0.072  1.9  20
5      2.9 0.181  3.9  33
6      1.1 0.085  1.3  15
7      3.1 0.090  2.8  27
8      1.5 0.087  1.8  18

Residual Deviance: 274
AIC: 330

```

R-Output 5: Adaptierte Modellgleichung zur Regionalisierung der Cluster: Clusterzugehörigkeit (Cluster), Hangneigung (slope), transformierte Exposition nach Moisen und Frescino (2002) (trasp) und horizontale Krümmung (planc).

Auch die Modellgüte, dargestellt anhand des Akaike Informationskriteriums (AIC), hat sich durch das Ausscheiden der Variablen 'dtm' und 'profc' verbessert, da der Wert von 347 auf 330 verringert wurde. Die daraus formulierten Modellgleichungen lauten:

$$\log\left(\frac{P_{(Cluster2)}}{P_{(Cluster1)}}\right) = 2.76 - 0.593slope + 4.2trasp - 7.8planc \quad (3.2)$$

$$\log\left(\frac{P_{(Cluster3)}}{P_{(Cluster1)}}\right) = -1.91 + 0.174slope - 2.6trasp + 4.2planc \quad (3.3)$$

$$\log\left(\frac{P_{(Cluster4)}}{P_{(Cluster1)}}\right) = -0.11 - 0.014slope - 2.1trasp - 63.8planc \quad (3.4)$$

$$\log\left(\frac{P_{(Cluster5)}}{P_{(Cluster1)}}\right) = -0.33 - 0.240slope - 4trasp - 123.7planc \quad (3.5)$$

$$\log\left(\frac{P_{(Cluster6)}}{P_{(Cluster1)}}\right) = 1.33 - 0.233slope + 4trasp - 2.9planc \quad (3.6)$$

$$\log\left(\frac{P_{(Cluster7)}}{P_{(Cluster1)}}\right) = -9.80 + 0.240slope + 6.7trasp + 44planc \quad (3.7)$$

$$\log\left(\frac{P_{(Cluster8)}}{P_{(Cluster1)}}\right) = -2.11 - 0.128slope + 6.4trasp - 5.9planc \quad (3.8)$$

Die Modellgleichungen 3.2 bis 3.8 ermöglichen die Berechnung der Wahrscheinlichkeiten für die Zugehörigkeit zu einem Cluster. Diese Wahrscheinlichkeiten können aus den Abbildungen 3.10, 3.11 und 3.12 abgelesen werden. Abbildung 3.13 zeigt die maximale Wahrscheinlichkeit für die Vorhersage der Standortseinheit für jede Rasterzelle im Untersuchungsgebiet.

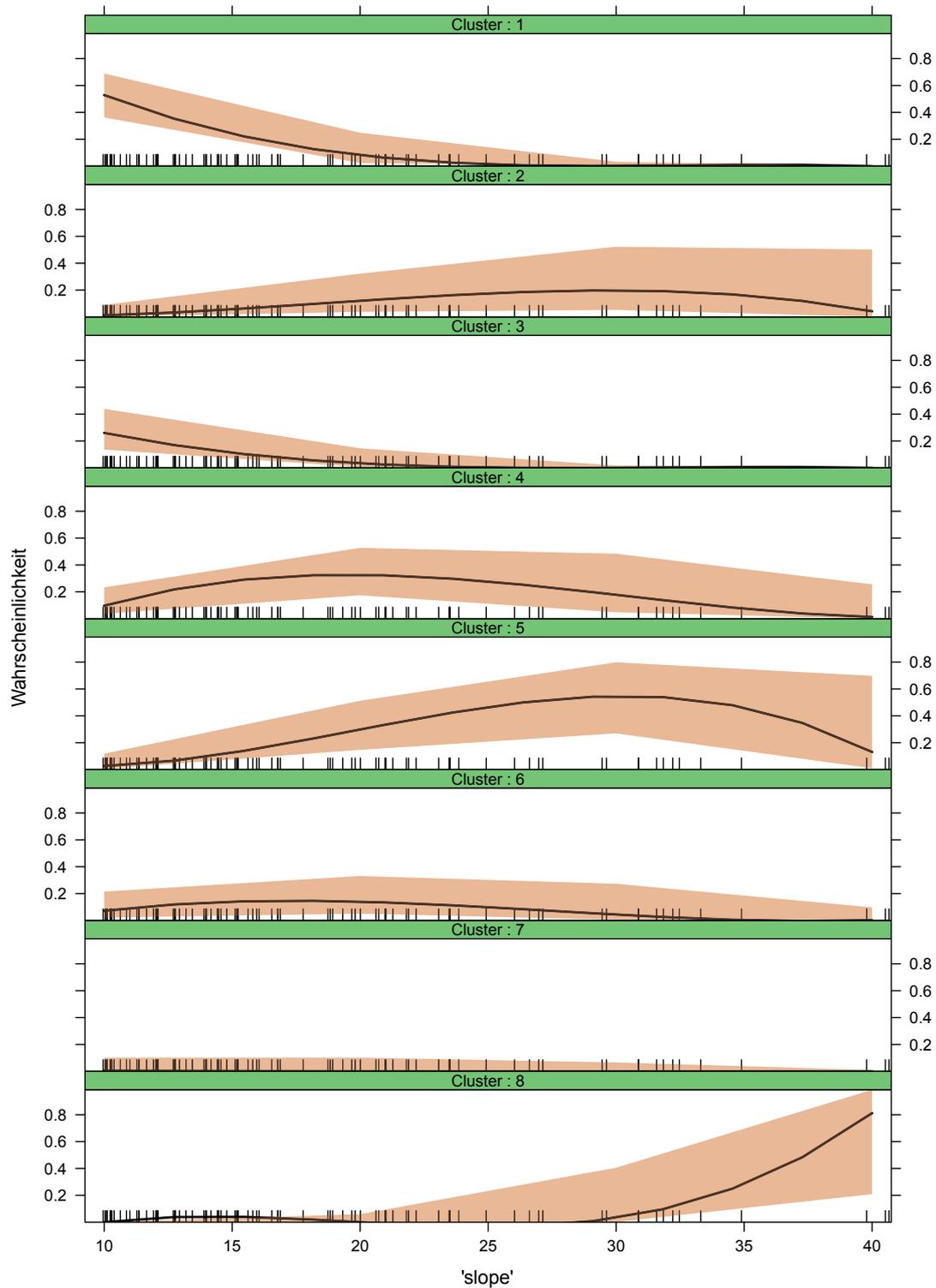


Abbildung 3.10.: Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten der einzelnen Cluster in Abhängigkeit von der Steigung des Geländes (slope). Die an der X-Achse angezeigten vertikalen Markierungen repräsentieren die Messpunkte. Das 95%ige Konfidenzintervall ist als braune Fläche dargestellt.

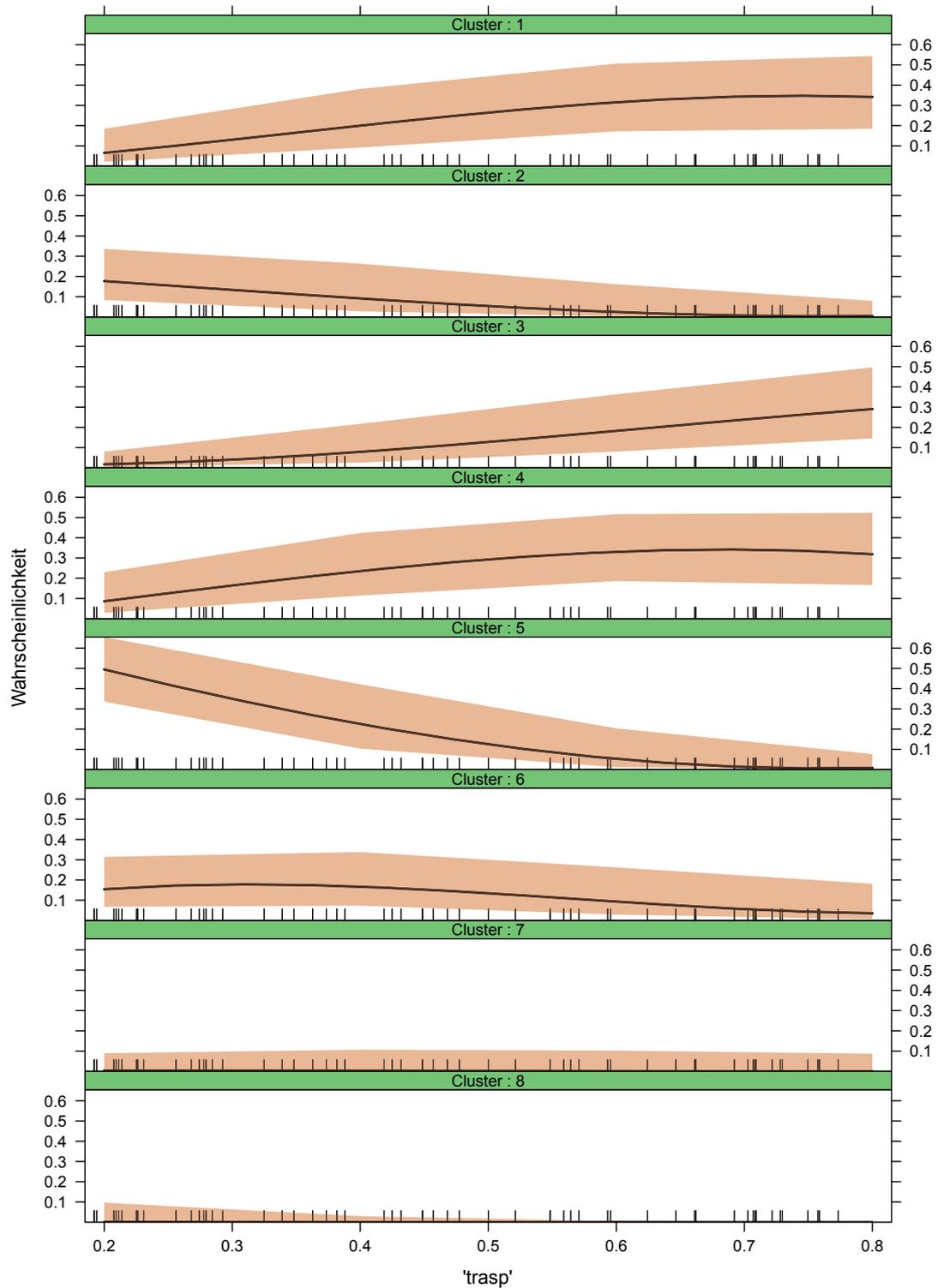


Abbildung 3.11.: Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten der einzelnen Cluster in Abhängigkeit von der transformierten Exposition. Die an der X-Achse angezeigten vertikalen Markierungen repräsentieren die Messpunkte. Das 95%ige Konfidenzintervall ist als braune Fläche dargestellt.

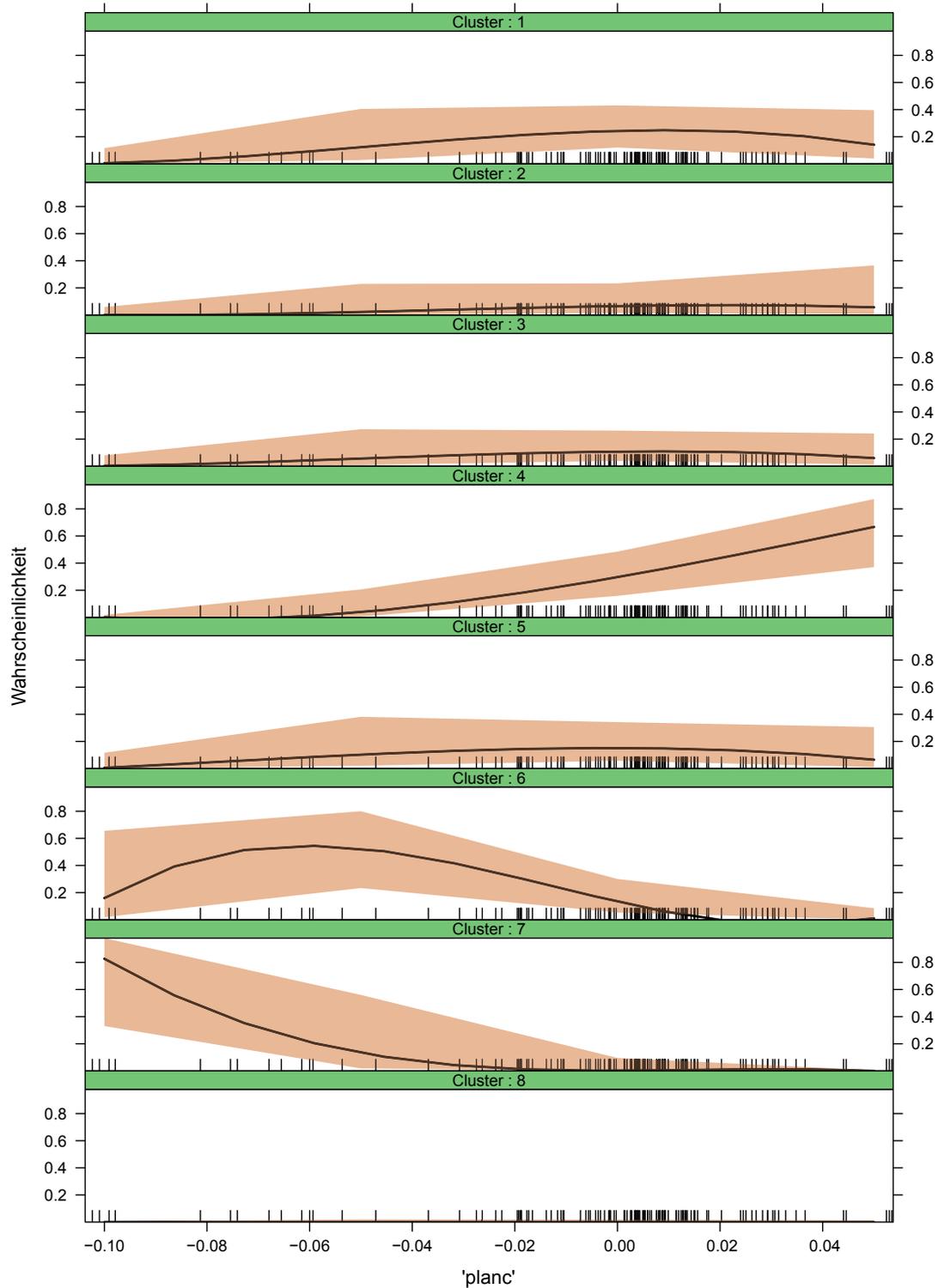


Abbildung 3.12.: Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten der einzelnen Cluster in Abhängigkeit von der horizontalen Krümmung (planc). Die an der X-Achse angezeigten vertikalen Markierungen repräsentieren die Messpunkte. Das 95%ige Konfidenzintervall ist als braune Fläche dargestellt.

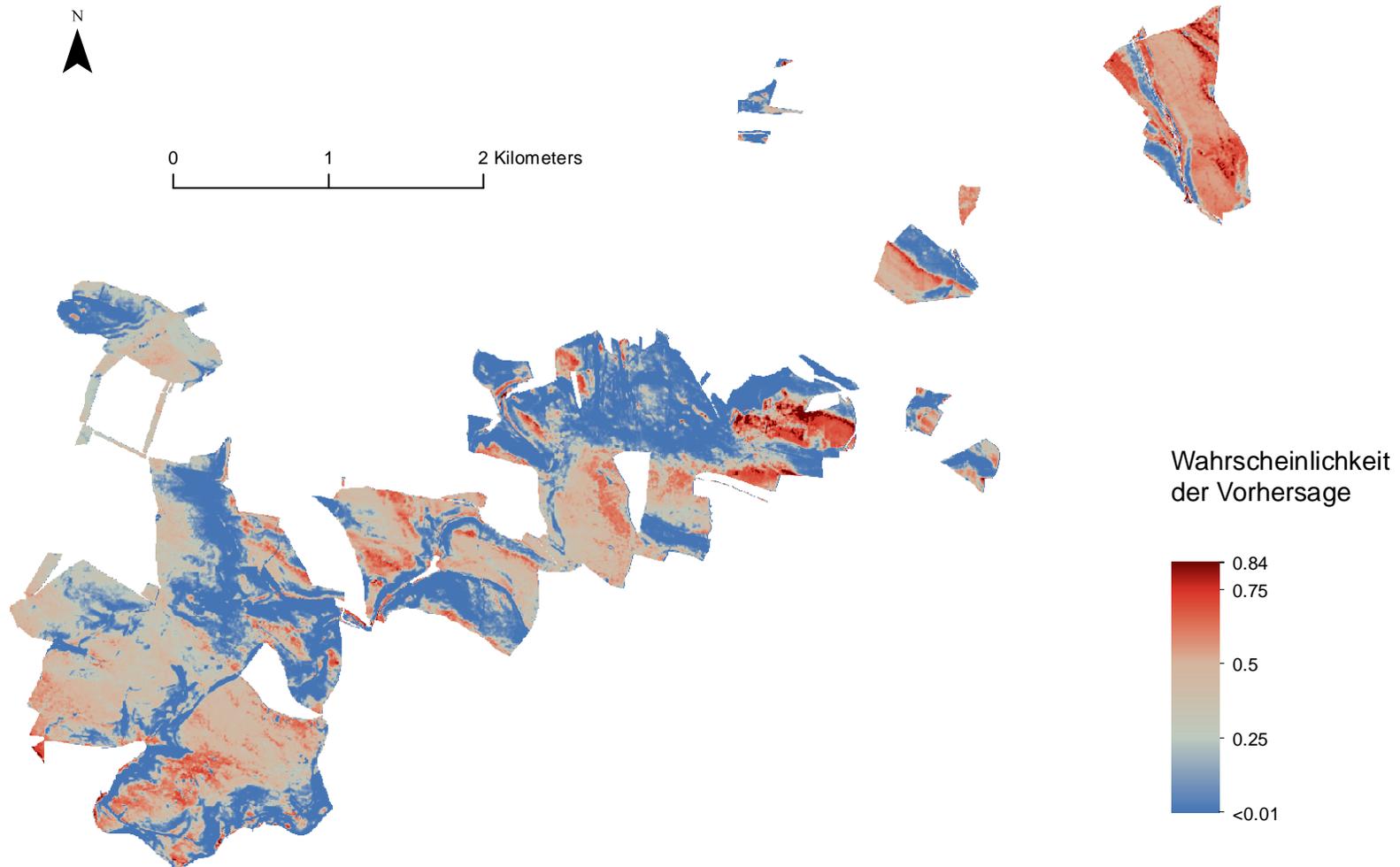


Abbildung 3.13.: Darstellung der maximalen Wahrscheinlichkeit pro Rasterzelle für den vorhergesagten Standortstyp. Rot gefärbte Bereiche umfassen eine sicherere Vorhersage, als die blau gefärbten und diffusen Gebiete.

Die Standortseinheit 1 umfasst mit 27.6% den größten Flächenanteil am Untersuchungsgebiet, gefolgt von Standortseinheit 5 mit 19.3%, Standortseinheit 8 mit 15.7%, Standortseinheit 3 mit 14.3% und Standortseinheit 4 mit 11.8%. Die restlichen drei Einheiten weisen Flächenanteile unter 10% der Gesamtfläche auf, es sind dies: Standortseinheit 7 (5.9%), Standortseinheit 2 (3.1%) und Standortseinheit 6 (2.3%). Abbildung 3.14 zeigt die Anteile der 8 Standortseinheiten am Untersuchungsgebiet in Hektar.

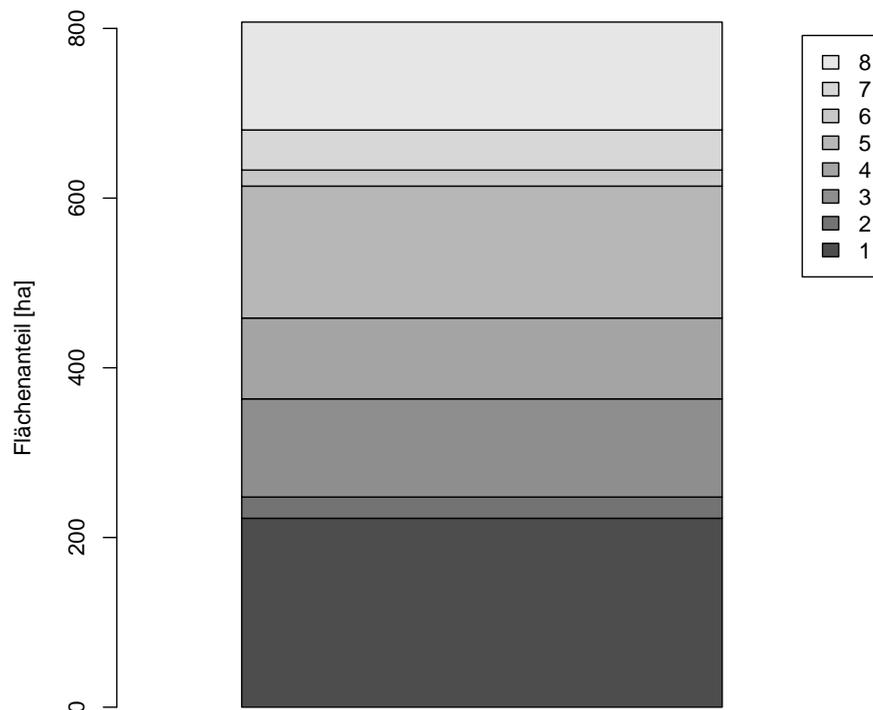


Abbildung 3.14.: Flächenanteile der 8 Standortseinheiten im Untersuchungsgebiet in Hektar.

### 3.3.1. Beschreibung und Erklärung der Standortstypen

Ein Ergebnis in Form einer Karte resultiert aus der Vorhersage von 8 Standortstypen, welcher im Anhang beigelegt ist. Innerhalb der Standortstypen ist eine Variabilität gegeben, weshalb mit dem Wissen aus der Freilandarbeit eine Gliederung in Subtypen durchgeführt wurde, die jedoch nicht auf einer Berechnung beruht. Aus der Standortstypenkarte ist letztlich ersichtlich, dass Standortstyp 2 nur in wenigen Zellen aufgetragen wurde und somit als Ausreißer angesehen werden kann.

- Der Standortstyp 1 umfasst geologische Einheiten wie Flysch, Karpat, Löss, Sarmat sowie die Korneuburg Formation und zählt zu den exponierteren Standorten an Kuppen, Oberhängen und Rücken. Die Bodenproben innerhalb des Standortes zeigten auf, dass eine Variabilität bezüglich des Bodentypes vorzufinden ist. Da dadurch ökologische Unterschiede zu erwarten sind, wurde folglich auf diese Gegebenheit Rücksicht genommen und der Standortstyp 1 in drei Subtypen (a, b, c ) unterteilt. Besonders die Flächen mit vorhandenen Lössdecken können als Standorte für anspruchsvolle Baumarten herangezogen werden. Der Standort lässt sich im Allgemeinen als warmer Standort beschreiben, wobei je nach Substrat unterschiedliche Ausprägungen vorhanden sein können. Besonders in den Abteilungen 10, 15, 16, 17 und 20 kann sich die Trockenheit auf den Bestand auswirken. Am Plateau des Hundsberges können wechsellrockene Standorte vorzufinden sein. Die natürliche Verjüngung der Eiche und das starke Auftreten der Haselnuss zeigen, dass die Kombination von Stieleichen und Traubeneichen empfehlenswert sind, da auch vereinzelt intensive Pseudovergleyung vorliegt. Die nach Süden orientierten Oberhänge nahe des Plateaus am Hundsberg können auch Standorte für Douglasienmischbestände sein.
- Standortstyp 3 ist ein Teil der geologischen Einheiten Flysch und überschneidet sich in kleinen Bereichen mit den Einheiten Löss, Korneuburg Formation und Badener Serie. Da keine ökologischen Unterschiede zu erwartet sind, wurde Standortstyp 3 nicht weiter unterteilt. Das Auftreten von Lössdecken ist auch in dieser Einheit nicht ausgeschlossen. Die Böden wie Parabraunerden sind tiefgründig, die Exposition nach S-SW bedeutet, dass dieser Standort an vielen Stellen warm und die Vegetation auch trockenen Phasen ausgesetzt sein kann.

- Standortstyp 4 schließt Teile der geologischen Einheit Flysch, Korneuburg Formation, Löss und Quartär ein. Innerhalb des Standortes sind teils steile Hänge mit einer Exposition nach S-SW anzutreffen. Daher zählt Standort 4 zu einer der wärmsten Einheiten, dies zeigt sich auch durch Stellen ohne Bodenvegetation. Es erfolgte keine weitere Subtypenunterteilung, da keine ökologischen Unterschiede zu erwarten sind. Trotzdem muss an manchen Stellen mit Lössablagerungen gerechnet werden, die lokal unterschiedliche Bedingungen verursachen. Da hohe Temperatur und Trockenheit an diesem Standort während der Vegetationsperiode verstärkt auftreten können, sind hier Baumarten empfehlenswert, die wärmeliebend und trockenheitsresistent sind. Speziell steile Hangabschnitte in tieferen Lagen des Untersuchungsgebietes sind gefährdet. Auch eine mögliche Gefährdung durch Spätfrost ist in exponierten tieferen Lagen bei der Baumartenwahl zu berücksichtigen.
- Standortstyp 5 beschreibt Schatthänge des Untersuchungsgebietes, wobei der Standort vormittags und abends der Sonne direkt ausgesetzt sein kann. Er ist im Vergleich zu den ersten drei Standorten auch frischer. Die geologischen Einheiten Flysch, Löss, Korneuburg Formation und Sarmat wechseln darin ab. Die Standortstyp wurde in zwei Subtypen (a, b) geteilt, da im Osten (Subtyp b) in der Korneuburg Formation häufiger Lössdecken vorgefunden wurden. Der Carbonatgehalt dieser Proben kann regelmäßig bis zum Mineralbodenhorizont nachgewiesen werden. Auch im Subtyp a im Westen sind vereinzelt Bodenprofile mit Lössablagerungen aufgenommen worden, diese sind im Untersuchungsgebiet vereinzelt verteilt und der Carbonatgehalt konnte erst ab 50 cm Tiefe bestimmt werden. Eine Eignung des Standorts für anspruchsvolle Baumarten ist gegeben. Bei der Verwendung der Douglasie kann der westliche Subtyp a in Betracht gezogen werden, da die gezogenen Bodenproben nur in tiefer liegenden Bodenhorizonten Carbonat aufwiesen.

- Die Standortstypen 6 und 7 liegen häufig in der Standortstypenkarte nebeneinander vor. Sie beschreiben Standorte, welche eine höhere Wasserakkumulation vorweisen, da sie tiefer liegende, konkave Landschaftsformen umfassen. Daher werden ihnen frische und stellenweise auch feuchte Wasserhaushalte zugeteilt, diese können in Rinnen, Gräben oder Mulden vorliegen. Die Unterschiede zwischen den beiden Einheiten liegt in der Solarstrahlung und Seehöhe. Der ökologische Unterschied ist nur an einzelnen Stellen gegeben, wobei kleinräumig in Standort 7 ein frischerer Wasserhaushalt vorherrscht. Da diese Stellen die Ausnahme bilden, sind die Standortstypen 6 und 7 zusammengefasst worden. Weiters wurde innerhalb der Einheit in zwei Subtypen (a, b) differenziert, da an bestimmten Stellen Lössablagerungen festgestellt werden konnten, die in Subtyp a zusammengefasst wurden. Edellaubhölzer wie Esche oder Ahorn können sich hier etablieren. Subtyp b fasst Bodentypen mit Anzeichen von Pseudovergleyung zusammen. Trotzdem ist auch hier stellenweise carbonathaltiges Substrat im Boden eingelagert. Der Wasser- und der Nährstoffhaushalt sind im konkaven Standortstyp für die Etablierung von anspruchsvollen Baumarten ausreichend.
- Standortstyp 8 umfasst Unterhänge beziehungsweise konkave Geländeformen wie Erosionsrinnen in Hanglage. Er beschreibt nach der Interpretation der Ergebnisse die kühlest Standorte im Untersuchungsgebiet. Dieser Standortstyp wurde anhand der Geländeform in zwei Subtypen (a, b) eingeteilt. Subtyp a beschreibt vor allem Standorte am Unterhang. Die höchste Variabilität der Lössablagerungen ist in diesem Subtyp anzutreffen. Subtyp b umfasst häufig Erosionsrinnen und steile Schatthänge im Osten des Untersuchungsgebietes. Speziell an diesem Standort sind carbonathaltige Böden wahrscheinlich. Da die beiden Einheiten kühle und frische, sowie auch nährstoffreiche Standorte darstellen können sind sie auch für anspruchsvolle Baumarten interessant.

### 3.3.2. Zusammenfassung der Standortstypen

Die Interpretation der Ergebnisse ist nachfolgend in Form einer Standortstypenbeschreibung zusammengefasst. Jede Standortseinheit wird darin nach ihrer Geländeeigenschaft, ihren Bodentypen, ihrem Wasserhaushalt und ihrer vorhandenen Vegetation beschrieben. Für die Standorte ist nach den Angaben aus Mayer (1992), LKÖ (2011) und Leitgeb et al. (2013) eine Baumarteneignung abgeleitet worden. Darin ist nach dem Ampelprinzip die Eignung für ausgewählte Baumarten angegeben. Nach Mayer (1974) wurde die potenzielle natürliche Vegetation eingeschätzt.

## Frischer bis feuchter, eutropher Grabenstandort auf Löss

STANDORTSTYP 6+7 | Subtyp a

Wasserhaushalt:	feucht bis frisch
Trophie:	eutroph

### Lagebeschreibung

Seehöhe:	240 - 280 Meter
Geländeform:	Rinne oder Graben
Exposition:	expositionsunabhängig
Neigung:	schwach geneigt
Kleinrelief:	unruhig (Erosionsformen)

### Geologie und Boden

Substrat:	Löss häufig und vereinzelt Sandstein, Tonstein, Kalkmergel und Schluffstein vorliegend
Bodentypen:	Tschernosem und Feuchtschwarzerde
Schlagbohrergründigkeit:	80cm
Skelettgehalt:	kein Skelettanteil vorzufinden
Humusform:	Mull
Stauwassereinfluss:	Trockenphasen fallen schwach aus, da kein einschränkender Staukörper vorgefunden wurde. Außerdem gelten die Böden als sehr humus- und porenreich.
nWSK:	rund 170 mm

### Aktuelle Vegetation

Baumschicht:	Esche
Strauchschicht:	Haselnuss
Krautschicht:	Kl. Springkraut, Maiglöckchen, Leberblümchen, Haselwurz, Giersch
PNV:	Eichen-Hainbuchenwald (Carici pilosae-Carpinetum)

### Baumarteneignung

●	Hainbuche, Stieleiche, Esche
●	Traubeneiche, Elsbeere, Roteiche, Vogelkirsche
●	Douglasie

### Anmerkung

Für Standortseinheit 6+7a gelten die Bodenproben 74 und 104 als Bezugspunkte. Im folgenden Beispiel ist anhand der Bodenprobe 74 das Bodenprofil einer Feuchtschwarzerde dargestellt.

Horizont:	Mächtigkeit:
Ahb	0-32cm
Agd	32-66cm
Cu	66-83cm

**Abgrenzung** Die Standortseinheit 6+7a bezieht sich auf konkave, nach Süden orientierte Geländeformen zwischen den Abteilungen 2 und 3. Nicht nur die Proben unmittelbar an den Hängen zur Rinne, sondern auch Proben darin zeigen, dass Löss an dieser Stelle abgelagert ist. In Abteilung 11 fallen vom Rücken nahe der Kellergasse Hänge in Richtung einer Rinne ab, die auch zur Standortseinheit zählen. Auch die Rinnen in Abteilung 12, 16 sind mit dieser Einheit angesprochen

# Frischer, meso-/eutropher, lössarmer Grabenstandort

STANDORTSTYP 6+7 | Subtyp b



Wasserhaushalt: frisch bis feucht  
Trophie: mesotroph bis eutroph

## Lagebeschreibung

Seehöhe: 240 - 280 Meter  
Geländeform: Rinnen bis Gräben  
Exposition: expositionsunabhängig  
Neigung: schwach geneigt  
Kleinrelief: unruhig

## Geologie und Boden

Substrat: Sandstein, Tonstein, Kalkmergel und Schluffstein sind häufiger vorzufinden als Löß. Letzterer wurde vereinzelt wahrgenommen.  
Bodentypen: carbonath. Pseudogleye, carbonath. pseudovergleyte Parabraunerden  
Schlagbohrergründigkeit: 80cm  
Skelettgehalt: kaum ein Skelettanteil vorzufinden, selten sandiger-grusiger Lehm  
Humusform: Moder  
Stauwassereinfluss: Trockenphase selten vorhanden, aber aufgrund von Spuren von Pseudovergleyung an den Proben ist in diesen Einheiten auf Staunässe Rücksicht zu nehmen. An Probe 13 sind in einer Tiefe zwischen 50-65 cm blau-graue Flecken nachweisbar. Danach ist carbonatreiches Substrat eingelagert.  
nWSK: 150-180 mm

## Aktuelle Vegetation

Baumschicht: Esche, Waldkiefer, Hainbuche, Rotbuche, Lärche, Bergahorn  
Strauchschicht: Haselnuss, Winterlinde  
Krautschicht: Kl. Springkraut, Leberblümchen, Geflecktes Lungenkraut  
PNV: Bodenfeuchter Stieleichen-Hainbuchenwald (Robori-Carpinetum, Wraber 1969)

## Baumarteneignung

- Hainbuche, Stieleiche, Esche
- Schwarznuss, Winterlinde, Douglasie
- Vogelkirsche

## Anmerkung

Für Standortseinheit 6+7b gelten die Bodenproben 46 und 13 als Bezugspunkte. Im folgenden Beispiel ist anhand des Bodenprofils der Bodenprobe 13 eine carbonath. pseudovergl. Parabraunerde dargestellt.

Horizont:	Mächtigkeit:
Ahb	0-18cm
Al	18-46cm
Bt	46-65cm
Bt, gd	65-77cm
Cv	77+cm

## Abgrenzung

Der Standortstyp 6+7b wurde in den Abteilungen 7, 7a, 9 und 10 (nahe des Umkehrplatzes) festgelegt und erstreckt sich entlang der Gräben (konkave Geländeformen). In Abteilung 10 und 7b ist der Standortstyp 6+7b in Rinnen der tieferen Lagen vorfindbar. In den Abteilungen 7 und 7a schließen an die konkaven Geländeformen häufig steile Hänge an, was ein Unterscheidungsmerkmal bildet.

# Frischer, kühler, meso-/eutropher Standort am Unterhang

STANDORTSTYP 8 | Subtyp a



Wasserhaushalt: frisch  
Trophie: mesotroph bis eutroph

## Lagebeschreibung

Seehöhe: 240 - 320 Meter  
Geländeform: Hang  
Exposition: NO - OSO  
Neigung: stark geneigt  
Kleinrelief: Rinnen und Gräben

## Geologie und Boden

Substrat: Löß am Unterhang häufig, Richtung Oberhang mit Sandstein, Tonstein, Kalkmergel, Schluffstein vermischt  
Bodentypen: pseudovergleyte (carbonath.) Parabraunerden, Tschernoseme; Tschernoseme häufig am Unterhang zwischen 260 - 280 Meter Seehöhe auftretend; sehr heterogene Böden in Bezug auf den Carbonatgehalt  
Schlagbohrergründigkeit: 80cm  
Skelettgehalt: kein Skelettgehalt in den Bodenproben bemerkt  
Humusform: Moder  
Stauwassereinfluss: Wechselfeuchte Standorte, Stauwassereinfluss nicht stark ausgeprägt, aber in Rinnen und Gräben stärkerer Stauwassereinfluss. Insgesamt sind jedoch keine einflussreichen Staukörper in den Proben erkennbar.  
nWSK: rund 180 mm

## Aktuelle Vegetation

Baumschicht: Douglasie, Rotbuche, Waldkiefer  
Strauchschicht: Haselnuss  
Krautschicht: Kl. Springkraut, Brombeere, Einblütiges Perlgras, Männerfarn, Hainbuche, Kranzmoos  
PNV: Eichen-Hainbuchenwald (Carici pilosae-Carpinetum)

## Baumarteneignung

- Hainbuche, Rotbuche, Traubeneiche
- Roteiche, Winterlinde, Stieleiche, Traubeneiche, Douglasie
- Schwarznuss, Kirsche

## Anmerkung

Für Standortseinheit 8a gelten die Bodenproben 23 und 24 als Bezugspunkte. Im folgenden Beispiel stellt das Bodenprofil der Bodenprobe 24 eine pseudovergleyte Parabraunerde dar.

Horizont:	Mächtigkeit:
Ah	0-16cm
Al	17-32cm
Bt,gd	32-51cm
Bt	51-80cm

## Abgrenzung

An den nach Nordosten bis Osten orientierten Unterhängen am Übergang zu Gräben in den Abteilungen 7, 7a und 3 vorzufinden. In Abteilung 9 an den Unterhängen entlang des Baches und der Forststraße, sowie des Umkehrplatzes gelegen.

## Frischer, eutropher Rinnenstandort in Hanglage auf Löss

STANDORTSTYP 8 | Subtyp b



Wasserhaushalt:	frisch
Trophie:	eutroph

### Lagebeschreibung

Seehöhe:	240 - 320 Meter
Geländeform:	Hang
Exposition:	NO - OSO
Neigung:	stark geneigt
Kleinrelief:	Rinnen und Gräben

### Geologie und Boden

Substrat:	Häufig vorzufinden ist Löß, der sich selten mit Sandstein, Tonstein, Kalkmergel, Schluffstein abwechselt.
Bodentypen:	vergleyte (carbonath.) Tschernoseme; vereinzelt pseudovergleyte (carbonath.) Parabraunerden
Schlagbohrergründigkeit:	80cm
Skelettgehalt:	kein Skelettgehalt in der Bodenprobe bemerkt
Humusform:	Mull
Stauwassereinfluss:	Wechselfeuchte Standorte, Stauwassereinfluss mäßig ausgeprägt. In Rinnen und Gräben stärkerer Stauwassereinfluss, jedoch kein einflussreicher Staukörper in den Proben vorhanden.
nWSK:	129 mm

### Aktuelle Vegetation

Baumschicht:	Vogelkirsche, Esche, Lärche, Hainbuche
Strauchschicht:	Haselnuss, Hainbuche, Esche
Krautschicht:	Kl. Springkraut, Maiglöckchen, Leberblümchen, Esche, auch vegetationslose Stellen vorhanden
PNV:	Eichen-Hainbuchenwald (Carici pilosae-Carpinetum)

### Baumarteneignung

●	Esche, Hainbuche, Traubeneiche, Stieleichen
●	Kirsche, Roteiche, Walnuss, Spitzahorn, Elsbeere, Speierling
●	Douglasie

### Anmerkung

Für Standortseinheit 8b gelten die Bodenproben 99, 108 und 113 als Bezugspunkte. Im folgenden Beispiel ist das Bodenprofil eines pseudovergleyten Tschernosems anhand der Bodenprobe 113 dargestellt.

Horizonte:	Mächtigkeit:
Ahb	0-19cm
C	19-69cm
Cgd	69-84cm

### Abgrenzung

Auf die Verwechslungsmöglichkeit mit der Standortseinheit 6+7b wird hingewiesen. Standortstyp 8b bezieht sich auf die deutlich konkaven Formen (Erosionsrinnen), die in den Schatthängen vorkommen. In den Abteilungen 11, 12,13 und 15 ist die Standortseinheit häufig vorzufinden.

# Frischer, meso-/eutropher, lössarmer Standort am Übergangshang



STANDORTSTYP 5 | Subtyp a

Wasserhaushalt: frisch  
Trophie: mesotroph bis eutroph

## Lagebeschreibung

Seehöhe: 280 - 360 Meter  
Geländeform: Hang  
Exposition: NO - SO  
Neigung: mäßig geneigt  
Kleinrelief: unruhig

## Geologie und Boden

Substrat: Sandstein, Tonstein, Kalkmergel, Schluffstein und selten Löß  
Bodentypen: häufig pseudovergleyte (carbonath.) Parabraunerden und Braunerden, vereinzelt Tschernoseme; Carbonat ab einer Tiefe von rund 50cm häufig nachweisbar;  
Schlagbohrergründigkeit: 80cm  
Skelettgehalt: kaum Skelettanteil vorzufinden, häufig sandige Ablagerungen  
Humusform: Moder  
Stauwassereinfluss: Staunässeanzeichen an den Bodenproben erkennbar, aber häufig kein mächtiger Staukörper ausgebildet  
nWSK: rund 155 mm

## Aktuelle Vegetation

Baumschicht: Waldkiefer, Rotbuche, Traubeneiche, Feldulme, Winterlinde  
Strauchschicht: Feldahorn, Elsbeere, Hainbuche  
Krautschicht: Kl. Springkraut, Waldmeister, Leberblümchen  
PNV: Eichen-Hainbuchenwald (Carici pilosae-Carpinetum)

## Baumarteneignung

● Buche, Roteiche, Traubeneiche  
● Hainbuche, Elsbeere, Douglasie, Kirsche, Stieleiche, Lärche  
● Esche

## Anmerkung

Für Standortseinheit 5a gelten die Bodenproben 12, 51 und 64 als Bezugspunkte. Im folgenden Beispiel ist anhand des Bodenprofils der Bodenprobe 51 ein carbonath. pseudovergleyte Parabraunerde dargestellt.

Horizont:	Mächtigkeit:
Ahb	0-15cm
Al	15-32cm
Bt	32-59cm
Cv	59-82cm

## Abgrenzung

Der Standortstyp 5a ist zum größten Teil in den Abteilungen 7, 7a, 9 und 9a, auf nach Nordosten orientierten, mäßig abfallenden Hängen und Oberhängen vorzufinden und schließt in den höheren Lagen an Rücken an.

# Frischer, eutropher, Standort am Übergangshang auf Löss

STANDORTSTYP 5 | Subtyp b



Wasserhaushalt:	mäßig frisch bis frisch
Trophie:	eutroph

## Lagebeschreibung

Seehöhe:	280 - 360 Meter
Geländeform:	Hang
Exposition:	NO - OSO
Neigung:	mäßig geneigt
Kleinrelief:	unruhig

## Geologie und Boden

Substrat:	Vorallem Löß, vereinzelt sind Sandstein, Tonstein, Kalkmergel und Schluffstein vorzufinden.
Bodentypen:	häufig (pseudovergleyte) carbonath. Tschernoseme und selten pseudovergleyte (carbonath.) Parabraunerden vorhanden
Schlagbohrergründigkeit:	80cm
Skelettgehalt:	Skelettanteil im Oberhang in Abteilung 13
Humusform:	Moder
Stauwassereinfluss:	In konkaven Formen können Merkmale von Vergleyung an den Bodenproben vorkommen, die anscheinend aber keinen starken Einfluss auf das Wachstum der Bäume hat. Ein großer Anteil der Bodenproben zeigt keine Spuren von Vergleyung, sondern beschreibt sich über lockere luftige Böden.
nWSK:	140 - 196 mm

## Aktuelle Vegetation

Baumschicht:	Esche, Lärche, Hainbuche, Traubeneiche
Strauchschicht:	Hainbuche, Haselnuss, Kirsche
Krautschicht:	Maiglöcken, Leberblümchen, Efeu
PNV:	Eichen-Hainbuchenwald (Carici pilosae-Carpinetum)

## Baumarteneignung

●	Esche, Hainbuche, Traubeneiche
●	Kirsche, Stieleichen, Winterlinde, Walnuss
●	Douglasie, Lärche

## Anmerkung:

Für den Standortstyp 5b stellen die Bodenproben 107 und 112 einen repräsentativen Bezugspunkt dar. Das folgende Bodenprofil beschreibt einen carbonathaltigen Tschernosem am Beispiel der Bodenprobe 112.

Horizonte:	Mächtigkeit:
Ahb	0-18cm
A	18-41cm
AC	41-60cm
C	60-78cm

## Abgrenzung

Die Einteilung des Standorttypes 5b bezieht sich vorwiegend auf die Abteilungen 11, 12, 13 und 15 auf Nord bis Nordost exponierten Unterhängen und Hängen. Einzelne Fragmente sind in Abteilung 15, 17 und 19 vorzufinden.

# Wechselfeuchter, mesotropher Standort an Kuppen und Rücken



STANDORTSTYP 1 | Subtyp a

Wasserhaushalt: | mäßig frisch bis frisch  
Trophie: | mesotroph

## Lagebeschreibung

Seehöhe: | 290 - 360 Meter  
Geländeform: | Plateau  
Exposition: | O - SO  
Neigung: | schwach geneigt  
Kleinrelief: | unruhig

## Geologie und Boden

Substrat: | Sandstein, Tonstein, Mergel  
Bodentypen: | Pseudogleye, pseudovergleyte Parabraunerden  
Schlagbohrergründigkeit: | 80cm  
Skelettgehalt: | Selten kleine Quarzsteine eingelagert (10%), eher ist an einigen Stellen lehmiger Sand anzutreffen.  
Humusform: | Moder  
Stauwassereinfluss: | Wechselfeuchte Standorte, Stauwassereinfluss ausgeprägt, deutliche Staunässeanzeichen an den Bodenproben erkennbar. Staukörper (ab 50cm Tiefe) können Wurzelbarriere darstellen.  
nWSK: | 134 mm

## Aktuelle Vegetation

Baumschicht: | Waldkiefer, Hainbuche, Lärche, Traubeneiche, Esche, Zitterpappel  
Strauchschicht: | Haselnuss  
Krautschicht: | Brombeere, Kl. Springkraut, Waldmeister, Geflecktes Lungenkraut, Wimpernsegge  
PNV: | Eichen-Hainbuchenwald (Carici pilosae-Carpinetum)

## Baumarteneignung

- Hainbuche, Traubeneiche, Stieleiche
- Speierling, Elsbeere, Kirsche, Esche, Lärche
- Douglasie

Auf Kombinationen mit Stieleiche zurückgreifen, die die Staukörper am besten aufschließen können.

## Anmerkung

Für Standortseinheit 1a gelten die Bodenproben 35, 57 und 128 als Bezugspunkte. Im folgenden Beispiel ist das Bodenprofil einer pseudovergleyten Parabraunerde anhand der Bodenprobe 128 dargestellt.

Horizont:	Mächtigkeit:
Ahb	0-8cm
Al	8-17cm
Bt	17-37cm
Bt,gd	37-52cm
C	52-80cm

## Abgrenzung

Entlang von ebenen Flächen (Kuppen und Rücken) in den Abteilungen 5, 7, 7a und 7b.

## Mäßig frischer, eutropher, warmer Standort am Sonnhang



### STANDORTSTYP 4

Wasserhaushalt:	mäßig frisch
Trophie:	eutroph

### Lagebeschreibung

Seehöhe:	260 - 320 m
Geländeform:	Hang und Rinne
Exposition:	S - SW
Neigung:	mäßig geneigt
Kleinrelief:	unruhig

### Geologie und Boden

Substrat:	In der Nähe der Abteilungen 1 und 11, sowie zwischen den Abteilungen 2 und 3 besonders in Rinnen und den Übergängen zwischen Rinne und Hang sind Lößdecken vorhanden.
Bodentypen:	Tschernoseme und carbonatreiche pseudogvergleyte Parabraunerden; im letzteren Fall kann Carbonat teilweise in der Hälfte der Probe nachgewiesen werden.
Schlagbohrergründigkeit:	80cm
Skelettgehalt:	kaum ein Skelettanteil vorzufinden; eher deutliche Sandablagerungen vorhanden
Humusform:	Moder
Stauwassereinfluss:	Trockenphase in den Sommermonaten an den Hängen wahrscheinlich; es sind leichte Merkmale von Pseudovergleyung vorhanden, es wurden aber keine einschränkenden Staukörper bemerkt.
nWSK:	146,95 mm

### Aktuelle Vegetation

Baumschicht:	Esche, Traubeneiche, Hainbuche
Strauchschicht:	Haselnuss, Esche
Krautschicht:	Haselwurz, Maiglöckchen, Kleinblütiges Springkraut, Leberblümchen, stellenweise vegetationsloser Boden
PNV:	Eichen-Hainbuchenwald (Carici pilosae-Carpinetum)

### Baumarteneignung

●	Robinie, Traubeneiche, Vogelkirsche, Stieleiche
●	Elsbeere, Speierling, Mehlbeere, Hainbuche, Walnuss, Douglasie, Lärche, Esche, Winterlinde
●	Mehlbeere

### Anmerkung

Für Standortseinheit 4 gelten die Bodenproben 72, 76 und 15 als Bezugspunkte. Im folgenden Beispiel ist das Bodenprofil (carbonathaltige pseudovergleyte Parabraunerde) der Bodenprobe 76 dargestellt.

Horizont:	Mächtigkeit:
Ahb	0-20cm
Al	20-42cm
Bt,gd	42-61cm
Cuv	61-81cm

### Abgrenzung

Standort 4 befindet sich am Übergang zwischen der deutlich nach Süden abfallenden Rinne und den stark geneigten Hängen zwischen Abteilung 2 und 3. Weiters an den Südhängen in Abteilung 4 7, 10, 16 und 17.

## Warmer, wechselrockener, südexponierter Hangstandort



### STANDORTSTYP 3

Wasserhaushalt:	mäßig trocken - mäßig frisch
Trophie:	meist mesotroph

### Lagebeschreibung

Seehöhe:	260 - 320 m
Geländeform:	Hang
Exposition:	S - SW
Neigung:	mäßig geneigt
Kleinrelief:	unruhig

### Geologie und Boden

Substrat:	Sandstein, Tonstein, Kalkmergel, Schluffstein;
Bodentypen:	In Bezug auf die Gesamtfläche häufig pseudovergleyte, (carbonath.) Parabraunerden aber selten auch Pseudogley vorhanden.
Schlagbohrergründigkeit:	80cm
Skelettgehalt:	kaum ein Skelettanteil vorzufinden, selten sandig-grusiger Lehm
Humusform:	Moder
Stauwassereinfluss:	Ausgeprägte Trockenphasen sind in den Sommermonaten zu berücksichtigen. An ebenen Stellen, etwa Terrassen, kann ein frischerer Wasserhaushalt anzutreffen sein. Ein Stauwassereinfluss wurde an den Bodenproben festgestellt, welcher aber keinen einflussreichen sondern tieferen Staukörper umfasst.
nWSK:	136,7 mm

### Aktuelle Vegetation

Baumschicht:	Hainbuche, Traubeneiche, Robinie
Strauchschicht:	Robinie, Hainbuche
Krautschicht:	Hain-Rispengras, Verschiedenblättriger Schwingel, Klebriger Salbei, Wimpernsegge und Brombeere; in den tieferen, steileren Standorten häufig vegetationsloser Boden
PNV:	Eichen-Hainbuchenwald (Carici pilosae-Carpinetum)

### Baumarteneignung

●	Douglasie, Robinie, Traubeneiche
●	Hainbuche, Stieleichen, Speierling, Elsbeere, Kirsche
●	Esche, Walnuss

### Anmerkung

Für Standortseinheit 3 gelten die Bodenproben 27, 38, 67 und 71 als Bezugspunkte. Im folgenden Beispiel ist das Bodenprofil eines carbonatfr. Pseudogleyes anhand der Bodenprobe 71 dargestellt.

Horizont:	Mächtigkeit:
Ahb	0-10cm
A	10-28cm
P	28-63cm
S	63+cm

### Abgrenzung

Standort 3 findet sich auf leicht geneigten, nach Süden exponierten Hängen, die häufig an steile Hänge anschließen. In den Abteilungen 1, 2, 3, 4, 7, 9 und 10 befinden sich die größten Anteile des Standortes, in den Abteilungen 9 und 10 sind vor allem Oberhänge nennenswert, die an Kuppen oder Rücken anschließen.

## Warmer, (mäßig) trockener, flacher Standort am Sonnenhang



STANDORTSTYP 1 | Subtyp c

Wasserhaushalt: mäßig trocken bis trocken  
Trophie: eutroph

### Lagebeschreibung

Seehöhe: 240 - 250  
Geländeform: Rücken bis Oberhang  
Exposition: S - SO  
Neigung: schwach geneigt  
Kleinrelief: unruhig (Lichtungen), selten Mulden

### Geologie und Boden

Substrat: Löß vorhanden, kann aber vereinzelt abwechseln mit Sandstein, Tonstein, Kalkmergel oder Schluffstein  
Bodentypen: Tschernosem  
Schlagbohrergründigkeit: 80cm  
Skelettgehalt: keine grusigen Komponenten bemerkt; Sandkomponente im Horizont möglich  
Humusform: Mull  
Stauwassereinfluss: Mit ausgeprägten Trockenphasen ist während der Vegetationsperiode zu rechnen; an Bodenproben keine Stauwassereinflüsse bemerkt  
nWSK: rund 160 mm

### Aktuelle Vegetation

Baumschicht: Traubeneiche, Lärche  
Strauchschicht: Haselnuss, Esche  
Krautschicht: Wimpernsegge, Leberblümchen, Maiglöckchen  
PNV: Hepatica nobilis-Convallaria majalis-Traubeneichen-Hainbuchenwald

### Baumarteneignung

- Elsbeere, Lärche, Traubeneiche, Speierling, Mehlbeere, Kirsche
- Hainbuche, Walnuss, Winterlinde, Stieleiche
- Douglasie

### Anmerkung

Für Standortseinheit 1c gilt die Bodenprobe 117 als Bezugspunkt. An einem tiefer gelegenen Rücken bei Abteilung 15 wurde anhand der Bodenprobe 117 ein Tschernosem mit folgendem Profil beschrieben:

Horizont:	Mächtigkeit:
A	0-23cm
AC	23-32cm
C	32-80cm

### Abgrenzung

Standort 1c verläuft vom Hangrücken bei Abteilung 15 abwärts in Richtung Südosten zur befestigten Forststraße. Auch flache, höher gelegene Teile im Nordosten der Abteilung 20 im Namensgut Sulzwald zählen dazu.

# Wechsellrockener, mesotropher, warmer Kuppen- und Rückenstandort



STANDORTSTYP 1 | Subtyp b

Wasserhaushalt:	wechsellrocken
Trophie:	mesotroph

## Lagebeschreibung

Seehöhe:	300 - 330 m
Geländeform:	Kuppe bis Rücken
Exposition:	meist expositionsunabhängig, sonst S - SO
Neigung:	eben bis schwach geneigt
Kleinrelief:	unruhig (Lichtungen), selten Mulden

## Geologie und Boden

Substrat:	Sandstein, Tonstein, Kalkmergel, Schluffstein
Bodentypen:	Pseudogleye oder pseudovergleyte Parabraunerden
Schlagbohrergründigkeit:	70cm
Skelettgehalt:	z.T steinig grusig (5-20%) und lehmiger Sand am Oberhang bei Abteilung 10 möglich
Humusform:	Mull
Stauwassereinfluss:	ausgeprägte Trockenphase möglich; Anzeichen für wechselfeuchte Bedingungen an den Bodenproben erkennbar; Staukörper ab 50cm mit Mn-Konkretionen und blau-grauer, rostiger Marmorierung. Boden konnte mit Schlagbohrer nur bis in eine Tiefe von rund 70 cm untersucht werden, da dieser mit starkem Widerstand entgegenwirkte.
nWSK	Rund 115 mm

## Aktuelle Vegetation

Baumschicht:	Traubeneiche, Stieleiche, Hainbuche
Strauchschicht:	Haselnuss
Krautschicht:	Wimpernsegge, Waldmeister
PNV:	Eichen-Hainbuchenwald (Carici pilosae-Carpinetum)

## Baumarteneignung

- Stieleiche, Traubeneiche
- Douglasie, Hainbuche, Robinie, Speierling, Elsbeere, Kirsche
- Lärche, Walnuss

## Anmerkung

Für Standortseinheit 1b gilt die Bodenprobe 84 als Bezugspunkt. Nahe der Abteilung 10 wurde anhand dieser Bodenprobe ein Pseudogley mit folgendem Profil beschrieben:

Horizont:	Mächtigkeit:
Ahb	0-8cm
A	8-27cm
P	27-50cm
S	50-70cm

## Abgrenzung

Standort 1b erstreckt sich am Hundsberg entlang der Kuppe (Abteilung 10) und des Rückens (Abteilung 14). Diese Einheit ist durch eine flache Geländeform von den anderen Standorten unterscheidbar.

### 3.4. Berechnung der Stresstage

Tabelle 3.1 gibt die Anzahl der Stresstage für die Namensgüter (siehe Abbildung 2.1) wieder, die sich durch die Anwendung des Modelles Brook90 aus den Standortseinheiten und den Referenzbodenpunkten ergeben. Die Visualisierung liegt im Anhang in Form einer Karte bei.

Tabelle 3.1.: Stresstage der einzelnen Namensgüter im Untersuchungsgebiet.

Gebiet		Haberfeld	Gebiet		Gsteinert
Standort	Anzahl an Stresstagen		Standort	Anzahl an Stresstagen	
1	13		1	15	
2	-		2	-	
3	16		3	9	
4	15		4	18	
5	15		5	14	
6	extrafeuchter Standort		6	extrafeuchter Standort	
7	extrafeuchter Standort		7	extrafeuchter Standort	
8	13		8	9	

Gebiet		Hundsberg	Gebiet		östl. Pfalzgrund
Standort	Anzahl an Stresstagen		Standort	Anzahl an Stresstagen	
1	23		1	14	
2	16		2	-	
3	16		3	9	
4	17		4	15	
5	14		5	15	
6	extrafeuchter Standort		6	extrafeuchter Standort	
7	extrafeuchter Standort		7	extrafeuchter Standort	
8	16		8	16	

Gebiet		Sulzwald
Standort	Anzahl an Stresstagen	
1	16	
2	16	
3	20	
4	17	
5	16	
6	extrafeuchter Standort	
7	extrafeuchter Standort	
8	16	

## 4. Diskussion

Die Bodenproben im Forstrevier Niederkreuzstetten ergaben für die Region typische Bodentypen. Zusammengefasst sind dies Parabraunerden, Tschernoseme, Pseudogleye, Braunerde und Feuchtschwarzerde, wobei die beiden letzten genannten Typen nur einmal aufgenommen wurden. Das wesentliche Merkmal dieser tiefgründigen Böden ist der hohe Anteil an Ton und Schluff und die folglich hohe nutzbare Wasserspeicherkapazität. Regelmäßig waren auch Anzeichen von Stauwassereinfluss an den Bodenproben zu erkennen. Die daraus resultierende Pseudovergleyung, insbesondere mit einflussreichen Stauwasserkörpern, konnte häufig in der geologischen Einheit Flysch und der Standortseinheit 3 und 1 bestimmt werden. Auch Hochbichler (2008) erwähnt diese bedeutende Eigenschaft für Böden im Weinviertel, da die Standorte in der Region zum größten Teil vom Grundwassereinfluss ausgenommen sind. Niederschlagsdefizite in Trockenperioden, die für das Weinviertel charakteristisch sind, können durch das hohe Wasserspeichervermögen der tonigen Böden ausgeglichen werden. Auch die Gespräche mit dem zuständigen Förster, Michael Fink, bestätigen diese Annahme, da einem niederschlagsreichen Frühjahr und Frühsommer im Jahr 2013 eine ausgeprägte Hitzeperiode im Sommer 2013 mit Temperaturen nahe 40°C folgte und keine unmittelbaren Auswirkungen auf die Wälder festzustellen waren.

Hervorzuheben ist die geologische Variabilität im Untersuchungsgebiet, die sich besonders durch die unterschiedlich ausgeformten Lössdecken ergibt. Über das gesamte Untersuchungsgebiet gesehen ist keine klare Verteilung der Bodentypen, die mit bestimmten geologischen Einheiten einhergehen, vorhanden. Einzig in der Korneuburger Formation sind in tieferen Lagen vermehrt Tschernoseme bestimmt worden. Die Heterogenität in den Aufnahmedaten hatte auch Auswirkungen auf die Methodik in dieser Arbeit.

Anstatt wie ursprünglich geplant eine überwachte Klassifikation auf die terrestrisch erhobenen Bodendaten anzuwenden und anschließend die Ergebnisse daraus über die geologische Karte und Fernerkundungsdaten für die gesamte Untersuchungsfläche vorherzusagen, wurde die oberste Ebene einer hierarchischen Klassifikation rein anhand der fernerkundlichen Daten durchgeführt. Die flächendeckend vorhergesagten Standortstypen sind im Weiteren über terrestrisch erhobene Informationen (Boden und Vegetation) in Subtypen untergliedert worden. Die Standortstypenkarte stellt die Vorhersage der Standortstypen dar, die Legende umfasst die Standorte 1 bis 8. Anhand des in der Feldarbeit erworbenen Wissens wurde versucht, die einzelnen Standortseinheiten in Subtypen zu gliedern. Zur besseren Orientierung erfolgte die Beschreibung unter Einbeziehung der Abteilungsnummern. Die Untergliederung in die einzelnen Subtypen ist aus der Standortstypenbeschreibung zu entnehmen. In dieser Beschreibung sind die Standortstypen 1 bis 8 um die Subtypen in Kleinbuchstaben erweitert. Aufgrund dieser ergänzenden subjektiven Untergliederung der Standorte ist die Standortstypenbeschreibung als Erläuterung der Standortstypenkarte zu verstehen. Bei der Dokumentation der Lage der Stichproben trat die Schwierigkeit auf, dass das Signal des GPS-Gerätes eine Abweichung von 2-7 m erfuhr. Für die Modellierung der Standorte nimmt dies insofern Einfluss, da das Gelände und/oder die geologische Gegebenheit kleinräumig stark variierten. Die Aufnahme von Bodenproben in Rinnen oder anderen konvexen Formen können durch diese Abweichungen eine geringfügig andere Lage im erstellten Kartenmaterial aufweisen, als die im Gelände aufgenommene.

Nach der ersten gemeinsamen Begehung mit Prof. Klaus Katzensteiner und Förster Michael Fink waren seitens des Professors für das Untersuchungsgebiet 8 Standortseinheiten als Richtwert für die Klassifikation angegeben worden. Nach mehreren Versuchen mit jeweils unterschiedlicher Anzahl an Clustern wurden plausible Ergebnisse mit 6, 7 und 8 Clustern erzielt. Die beste Klassifizierung der aufgenommenen Bodenproben lieferten schließlich 8 Cluster, auch wenn Gruppe 2 sich hauptsächlich aus Ausreißern bildet. Die Standortseinheiten wurden schließlich vor Ort über Zeigerarten und den Zustand der Vegetation plausibilisiert.

Die erst nach der Bodenprobenaufnahme erhaltenen Farb-Infrarot-Luftbildaufnahmen (CIR) ergeben für die Einteilung der Strata eine wichtige Grundlage.

Daraus sind Koniferenbestände (*Pinus sylvestris* und *Pinus nigra*) gut erkennbar, die die Auswahl naturnaher Bestände schon bei der Stratifizierung des Untersuchungsgebietes unterstützt hätten, jedoch bei der Berechnung des NDVI angewendet wurden.

Zu Beginn der Arbeit wurde in der Modellierung die Anwendung von forstlichen Kennzahlen angestrebt, die aus lasergescannten Daten abgeleitet waren. Diese Umsetzung, etwa anhand des Höhenzuwaches oder der Baumhöhen, musste aufgrund der unterschiedlichen räumlichen Auflösung in den Datensätzen verworfen werden. In Anlehnung an die Arbeit von Zawawi et al. (2014) wurde als Alternative zu den forstlichen Kennzahlen der NDVI angewendet. Zawawi et al. (2014) zeigen, dass sich der NDVI in ihrem Untersuchungsgebiet schlüssig nach der Geländeform veränderte. Bei der Validierung der Standortseinheiten mit Hilfe von Grafik 3.9 ist beim NDVI in der vorliegenden Arbeit kein einheitliches Verhalten in Bezug auf die restlichen drei Eingangsvariablen zu erkennen. Einerseits zeigen Gruppe 1 und 2 ein plausibles Verhalten. Andererseits weist Gruppe 3 im Vergleich zu Gruppe 1 größere Unterschiede im NDVI auf, obwohl beide sonnenexponierte Standorte darstellen. Gründe für diesen Unterschied können Höhenunterschiede, die Artenzusammensetzung, die Dichte des Kronendaches oder Stress im Bestand sein (Pettorelli et al., 2005). In diesem Beispiel zeigt sich am NDVI, dass generell niedrige Werte vorliegen und die Unterschiede zwischen der Gruppen gering ausfallen. Die hohe nutzbare Wasserspeicherkapazität und ein Niederschlag von 57 mm im Monat Juni (gemessen von der ZAMG (2014d)) vor der Aufnahme der CIR am 06.07.2012 kommen zur geringen Ausprägung des berechneten NDVI im gesamten Untersuchungsgebiet hinzu, und können aus erster Sicht ausreichend sein, um keine deutlichen Unterschiede zwischen den einzelnen Standortseinheiten zu erkennen.

Der Abbildung 3.13 ist erkennbar, dass die Wahrscheinlichkeiten für die Vorhersage der Standortseinheiten in den tieferen Lagen deutlich geringer ausfallen als an den höher gelegenen Standorten. Außerdem ist dort ein höheres Gefälle mit Ausnahme von Rinnen nachweisbar. Im Namensgut Gsteinert sind die Standorte nahe der nach Süden abfallenden Rinne als problematisch, da diese bei Betrachtung der Variable TRASP der Sonne zugewandt sind, aber die Horizonterhöhung die Solarstrahlung beeinflusst. Die restlichen Bereiche mit geringer Wahrchein-

lichkeit zeigen, dass die Missklassifikation der Gruppen am Schatthang mögliche Probleme verursacht. Trotzdem zeigt sich, dass die trockenen Gebiete gut erklärt werden können. Dadurch dass die trockenen Standorte wenig Spielraum für die waldbauliche Planung zulassen, gilt die Identifikation dieser als entscheidend.

Bei der Interpretation der Standortseinheiten mit Hilfe der Karte wird auch ersichtlich, dass einige Standorte geringere Werte in Bezug auf die Solarstrahlung aufweisen, aber zumindest in einer Tageshälfte hoher Solarstrahlung ausgesetzt sind. Standorte, die eine deutlich geringere Solarstrahlung als jene mit Maximalwerten umfassen, werden anhand von Standort 8 beschrieben.

Das Ausscheiden der Prädiktoren Seehöhe und vertikale Krümmung aufgrund von fehlender Signifikanz im Regressionsmodell ist im Fall der Variable DTM überraschend, da sich vor der Anwendung der Regression der Anschein ergab, dass an tiefer gelegenen Standorten in Gräben und höheren Standorten auf Kuppen unterschiedliche Bedingungen herrschen, da das lokale Klima in seinen Ausprägungen von Windgeschwindigkeit, Globalstrahlung und Temperatur variieren. Die Bandbreite der Seehöhe von 200 bis 360 m könnte jedoch zu gering sein, um einen deutlichen Einfluss auf die Standortsausprägung zu haben.

In Bezug auf die Klimadatensätze dieser Arbeit sind zwei Punkte zu berücksichtigen: Erstens stammen die Messdaten des Klimadiagrammes von zwei unterschiedlichen Messstationen und Quellen. Niederschlagsdaten wurden am Portal des hydrografischen Dienstes Österreich (eHYD) für die Messstelle Pillichsdorf abgerufen. Die Temperaturdaten wurden von der Station Wolkersdorf vom Niederösterreichischen Luftgütemessnetz (numbis) aufgezeichnet. Die Messstationen befinden sich etwa 2 km voneinander entfernt und liegen rund 6 bis 10 km südlich des Untersuchungsgebietes, wodurch sich die Problematik der Aufzeichnung/Nichtaufzeichnung lokaler Starkniederschläge ergibt. Der Aufnahmezeitraum der Niederschlags- und Temperaturdaten reicht zudem lediglich von 1989 bis 2011, es liegen somit Aufzeichnungen über 21 Jahre vor. Folgt man der WMO (2014), die das Klima als Zeitperiode von 30 Jahren definiert, so ist der Aufzeichnungszeitraum der beiden Stationen nicht lang genug, um nach dieser Definition von einem Klimadiagramm zu sprechen. Zweitens gilt für die Simulation von Brook90, dass lediglich Zeitreihen von 2008 bis 2014 für die Region um Wolkersdorf bereitstehen, da die Globalstrahlung,

die stündlichen Niederschlagsaufzeichnungen, die relative Luftfeuchtigkeit und die mittlere Windgeschwindigkeit für die Anwendung des Modelles benötigt werden, diese jedoch erst ab 2008 von der Messstation in Wolkersdorf aufgezeichnet wurden. Folglich kam es zu einer Replikation der vorhandenen Aufzeichnungen, wobei nur die Jahre 2010 bis 2013 verwendet wurden, da Schaltjahre Verschiebungen im Datensatz verursachten.

Bei den Berechnungen der Stresstage in Brook90 stellte die Auswahl der Bodenprofile eine Schwierigkeit dar, da diese Eingabe großen Einfluss auf das Endergebnis hat. Nicht alle Bodenarten, die nach dem Arbeitskreis Standortkartierung (2003) aufgenommen wurden, stimmen mit den Bodenarten überein, anhand welcher nach Clapp und Hornberger (1978) die bodenhydrologischen Parameter angegeben wurden. In der vorliegenden Arbeit wurden für die Bodenart Schluff die Parameter der Bodenart schluffiger Ton übernommen, da diese nicht in der Tabelle nach Clapp und Hornberger (1978) angegeben sind. Die Berechnung der Stresstage für die einzelnen Standortseinheiten erfolgte anhand von Referenzbodenpunkten. Da pro Standortseinheit nur eine Bodenprobe verwendet werden konnte, waren unterschiedliche Ergebnisse die Folge der Variation von Referenzbodenpunkten. Besonders nahm in der Berechnung die Horizonttiefe der Probe eine bedeutende Rolle ein, da die Bodenproben, die mit Hilfe des Schlagbohrers entnommen worden waren, keine einheitliche Länge aufwiesen. Der angenommene Wert von 0.79 cm/s für die Blattleitfähigkeit gilt als erhöhter Wert, da dieser nach Granier und Bréda (1996) für sonnenexponierte Blätter im oberen Kronenbereich gilt. Die Berechnung der Stresstage kann somit als Worst-Case-Szenario angesehen werden.

Die Bedienung von Brook90 erwies sich als intuitiv, die Umsetzung zeigt, dass die Auswahl der Parameter Erfahrung in der Bodenkunde benötigt.

# A. Anhang

Tabelle A.1.: Bodenprobennummern (Pnr.) nach Clusterzugehörigkeit (Gruppe).

Gruppe	Pnr.	Gruppe	Pnr.	Gruppe	Bpnr.
1	1	3	45	5	81
1	14	3	52	5	82
1	17	3	55	5	84
1	18	3	56	5	86
1	23	3	57	5	90
1	25	3	58	5	96
1	33	3	60	5	98
1	35	3	62	5	99
1	46	3	63	5	100
1	54	3	64	5	104
1	68	3	69	5	106
1	70	3	72	5	117
1	78	3	73	5	118
1	85	3	76	5	119
1	92	4	5	5	120
1	95	4	15	5	123
1	103	4	26	6	11
1	105	4	27	6	12
1	108	4	28	6	30
1	109	4	31	6	47
1	110	4	32	6	48
1	111	4	34	6	51
1	112	4	37	6	59
1	113	4	38	6	74
1	114	4	39	6	91
1	115	4	42	6	94
1	116	4	50	7	13
1	121	4	53	7	41
2	2	4	61	7	43
2	4	4	65	7	67
2	6	4	66	7	83
2	7	4	71	7	107
2	8	4	75	7	122
2	10	4	77	8	21
2	87	4	102	8	22
2	88	5	9	8	44
3	3	5	16	8	49
3	24	5	19	8	89
3	29	5	20	8	93
3	36	5	79	8	97
3	40	5	80	8	101

Tabelle A.2.: Bodenhydrologische Parameter für das Namensgut Haberfeld

Namensgut	Haberfeld						
Standort	1						
NLAYER: 3							
THICK	STONEF	PSIF	THETAF	THSAT	BEXP	KF	WETINF
110	0	-3.7	0.358	0.426	10.4	2.9	0.93
480	0.1	-6.3	0.317	0.42	7.12	4.2	0.92
130	0.1	-6.5	0.433	0.492	10.4	4.2	0.93
Standort	3						
NLAYER: 3							
THICK	STONEF	PSIF	THETAF	THSAT	BEXP	KF	WETINF
120	0	-3.7	0.358	0.426	10.4	2.9	0.93
180	0	-6.5	0.433	0.492	10.4	4.2	0.93
500	0	-3.8	0.203	0.41	4.38	3.5	0.92
Standort	4						
NLAYER:3							
THICK	STONEF	PSIF	THETAF	THSAT	BEXP	KF	WETINF
90	0	-7.9	0.266	0.435	4.9	5.5	0.92
230	0	-25	0.365	0.485	5.3	13.1	0.92
470	0	-14.8	0.402	0.476	8.52	7.3	0.92
Standort	5						
NLAYER:3							
THICK	STONEF	PSIF	THETAF	THSAT	BEXP	KF	WETINF
400	0	-3.7	0.358	0.426	10.4	2.9	0.93
230	0	-6.5	0.433	0.492	10.4	4.2	0.93
180	0	-7.9	0.266	0.435	4.9	5.5	0.92
Standort	8						
NLAYER:3							
THICK	STONEF	PSIF	THETAF	THSAT	BEXP	KF	WETINF
140	0	-6.5	0.433	0.492	10.4	4.2	0.93
360	0	-3.7	0.358	0.426	10.4	2.9	0.93
360	0	-3.8	0.203	0.41	4.38	3.5	0.92

Tabelle A.3.: Bodenhydrologische Parameter für das Namensgut Gsteinert

Namensgut	Gsteinert						
Standort	1						
NLAYER: 2							
THICK	STONEF	PSIF	THETAF	THSAT	BEXP	KF	WETINF
350	0.15	-6.5	0.433	0.492	10.4	4.2	0.93
350	0.2	-3.7	0.358	0.426	10.4	2.9	0.93
Standort	3						
NLAYER: 1							
THICK	STONEF	PSIF	THETAF	THSAT	BEXP	KF	WETINF
820	0	-6.5	0.433	0.492	10.4	4.2	0.93
Standort	4						
NLAYER: 4							
THICK	STONEF	PSIF	THETAF	THSAT	BEXP	KF	WETINF
180	0	-3.7	0.358	0.426	10.4	2.9	0.93
230	0	-3.8	0.203	0.41	4.38	3.5	0.92
190	0	-6.5	0.433	0.492	10.4	4.2	0.93
180	0	-3.7	0.358	0.426	10.4	2.9	0.93
Standort	5						
NLAYER: 3							
THICK	STONEF	PSIF	THETAF	THSAT	BEXP	KF	WETINF
400	0	-3.7	0.358	0.426	10.4	2.9	0.93
230	0	-6.5	0.433	0.492	10.4	4.2	0.93
180	0	-7.9	0.266	0.435	4.9	5.5	0.92
Standort	8						
NLAYER:3							
THICK	STONEF	PSIF	THETAF	THSAT	BEXP	KF	WETINF
230	0	-14.8	0.402	0.476	8.52	7.3	0.92
360	0	-3.7	0.358	0.426	10.4	2.9	0.93
240	0	-6.5	0.433	0.492	10.4	4.2	0.93

Tabelle A.4.: Bodenhydrologische Parameter für das Namensgut Hundsberg

Namensgut	Hundsberg						
Standort	1						
NLAYER:	4						
THICK	STONEF	PSIF	THETAF	THSAT	BEXP	KF	WETINF
130	0	-6.5	0.433	0.492	10.4	4.2	0.93
290	0	-6.3	0.317	0.42	7.12	4.2	0.92
220	0	-7.9	0.266	0.435	4.9	5.5	0.92
170	0	-7.9	0.266	0.435	4.9	5.5	0.92
Standort	2						
NLAYER:	2						
THICK	STONEF	PSIF	THETAF	THSAT	BEXP	KF	WETINF
440	0.05	-6.5	0.433	0.492	10.4	4.2	0.93
230	0.05	-14.8	0.402	0.476	8.52	7.3	0.92
Standort	3						
NLAYER:	3						
THICK	STONEF	PSIF	THETAF	THSAT	BEXP	KF	WETINF
260	0	-3.7	0.358	0.426	10.4	2.9	0.93
300	0	-6.5	0.433	0.492	10.4	4.2	0.93
300	0	-3.8	0.203	0.41	4.38	3.5	0.92
Standort	4						
NLAYER:	3						
THICK	STONEF	PSIF	THETAF	THSAT	BEXP	KF	WETINF
230	0	-14.8	0.402	0.476	8.52	7.3	0.92
370	0	-3.7	0.358	0.426	10.4	2.9	0.93
240	0	-6.5	0.433	0.492	10.4	4.2	0.93
Standort	5						
NLAYER:	4						
THICK	STONEF	PSIF	THETAF	THSAT	BEXP	KF	WETINF
180	0	-3.8	0.203	0.41	4.38	3.5	0.92
120	0	-3.7	0.358	0.426	10.4	2.9	0.93
190	0	-6.5	0.433	0.492	10.4	4.2	0.93
300	0	-6.5	0.433	0.492	10.4	4.2	0.93
Standort	8						
NLAYER:	3						
THICK	STONEF	PSIF	THETAF	THSAT	BEXP	KF	WETINF
240	0	-3.7	0.358	0.426	10.4	2.9	0.93
400	0	-6.5	0.433	0.492	10.4	4.2	0.93
240	0	-3.7	0.358	0.426	10.4	2.9	0.93

Tabelle A.5.: Bodenhydrologische Parameter für das Gebiet östlich von dem Namensgut Pfalzgrund

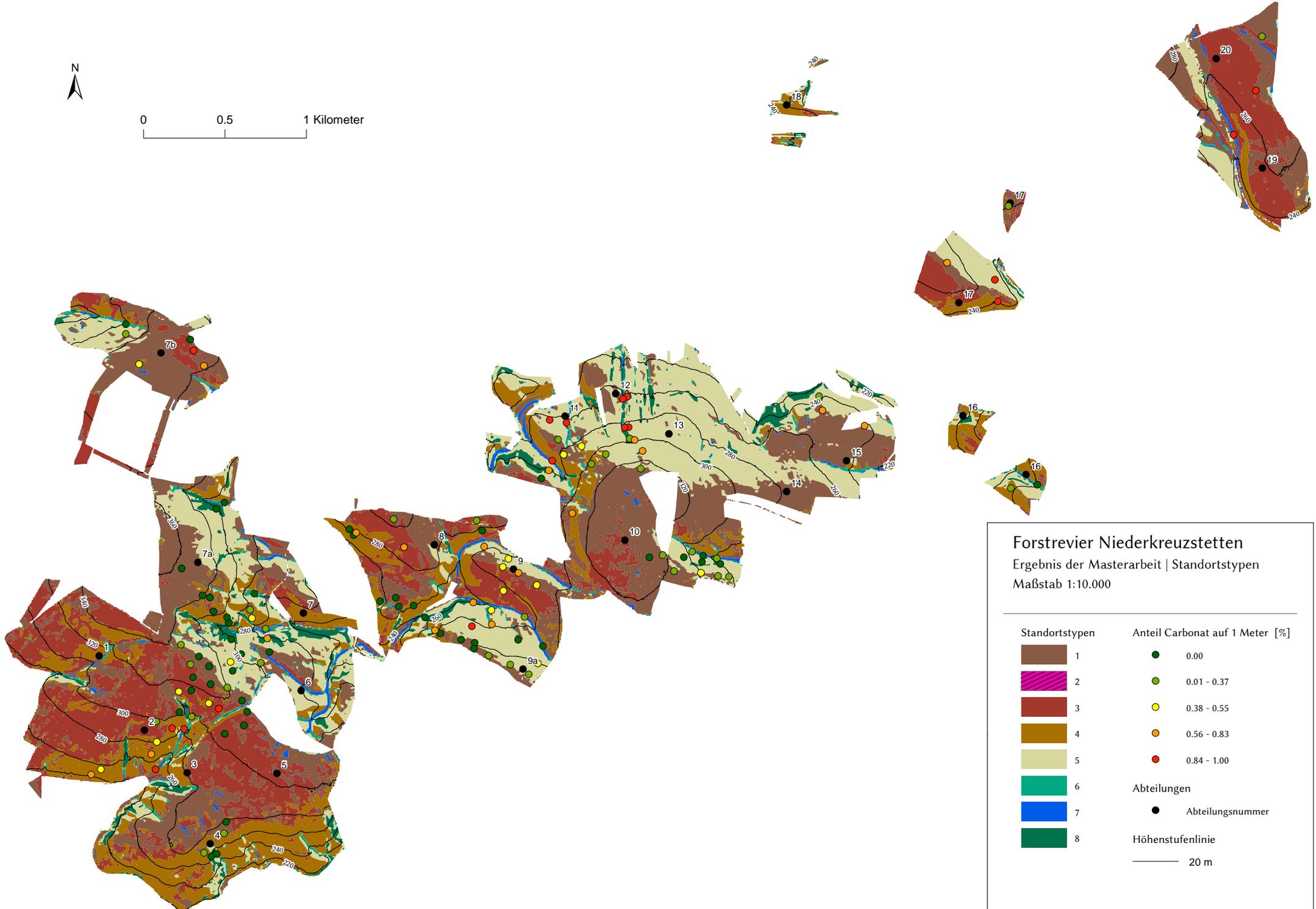
Namensgut	Pfalzgrund						
Standort	1						
NLAYER:	2						
THICK	STONEF	PSIF	THETAF	THSAT	BEXP	KF	WETINF
500	0	-7.9	0.266	0.435	4.9	5.5	0.92
310	0.1	-3.8	0.203	0.41	4.38	3.5	0.92
Standort	3						
NLAYER:	3						
THICK	STONEF	PSIF	THETAF	THSAT	BEXP	KF	WETINF
400	0	-3.7	0.358	0.426	10.4	2.9	0.93
320	0	-7.9	0.266	0.435	4.9	5.5	0.92
80	0	-6.5	0.433	0.492	10.4	4.2	0.93
Standort	4						
NLAYER:	3						
THICK	STONEF	PSIF	THETAF	THSAT	BEXP	KF	WETINF
150	0	-3.7	0.358	0.426	10.4	2.9	0.93
380	0	-7.9	0.266	0.435	4.9	5.5	0.92
250	0	-3.7	0.358	0.426	10.4	2.9	0.93
Standort	5						
NLAYER:	3						
THICK	STONEF	PSIF	THETAF	THSAT	BEXP	KF	WETINF
400	0	-3.7	0.358	0.426	10.4	2.9	0.93
230	0	-6.5	0.433	0.492	10.4	4.2	0.93
180	0	-7.9	0.266	0.435	4.9	5.5	0.92
Standort	8						
NLAYER:	3						
THICK	STONEF	PSIF	THETAF	THSAT	BEXP	KF	WETINF
500	0	-3.7	0.358	0.426	10.4	2.9	0.93
310	0	-3.8	0.203	0.41	4.38	3.5	0.92

Tabelle A.6.: Bodenhydrologische Parameter für das Namensgut Sulzwald

Namensgut	Sulzwald						
Standort	1						
NLAYER: 2							
THICK	STONEF	PSIF	THETAF	THSAT	BEXP	KF	WETINF
500	0	-7.9	0.266	0.435	4.9	5.5	0.92
310	0.1	-3.8	0.203	0.41	4.38	3.5	0.92
Standort	3						
NLAYER: 3							
THICK	STONEF	PSIF	THETAF	THSAT	BEXP	KF	WETINF
400	0	-3.7	0.358	0.426	10.4	2.9	0.93
320	0	-7.9	0.266	0.435	4.9	5.5	0.92
80	0	-6.5	0.433	0.492	10.4	4.2	0.93
Standort	4						
NLAYER: 3							
THICK	STONEF	PSIF	THETAF	THSAT	BEXP	KF	WETINF
150	0	-3.7	0.358	0.426	10.4	2.9	0.93
380	0	-7.9	0.266	0.435	4.9	5.5	0.92
250	0	-3.7	0.358	0.426	10.4	2.9	0.93
Standort	5						
NLAYER: 3							
THICK	STONEF	PSIF	THETAF	THSAT	BEXP	KF	WETINF
400	0	-3.7	0.358	0.426	10.4	2.9	0.93
230	0	-6.5	0.433	0.492	10.4	4.2	0.93
180	0	-7.9	0.266	0.435	4.9	5.5	0.92
Standort	8						
NLAYER: 3							
THICK	STONEF	PSIF	THETAF	THSAT	BEXP	KF	WETINF
500	0	-3.7	0.358	0.426	10.4	2.9	0.93
310	0	-3.8	0.203	0.41	4.38	3.5	0.92



0 0.5 1 Kilometer



**Forstrevier Niederkreuzstetten**  
Ergebnis der Masterarbeit | Standortstypen  
Maßstab 1:10.000

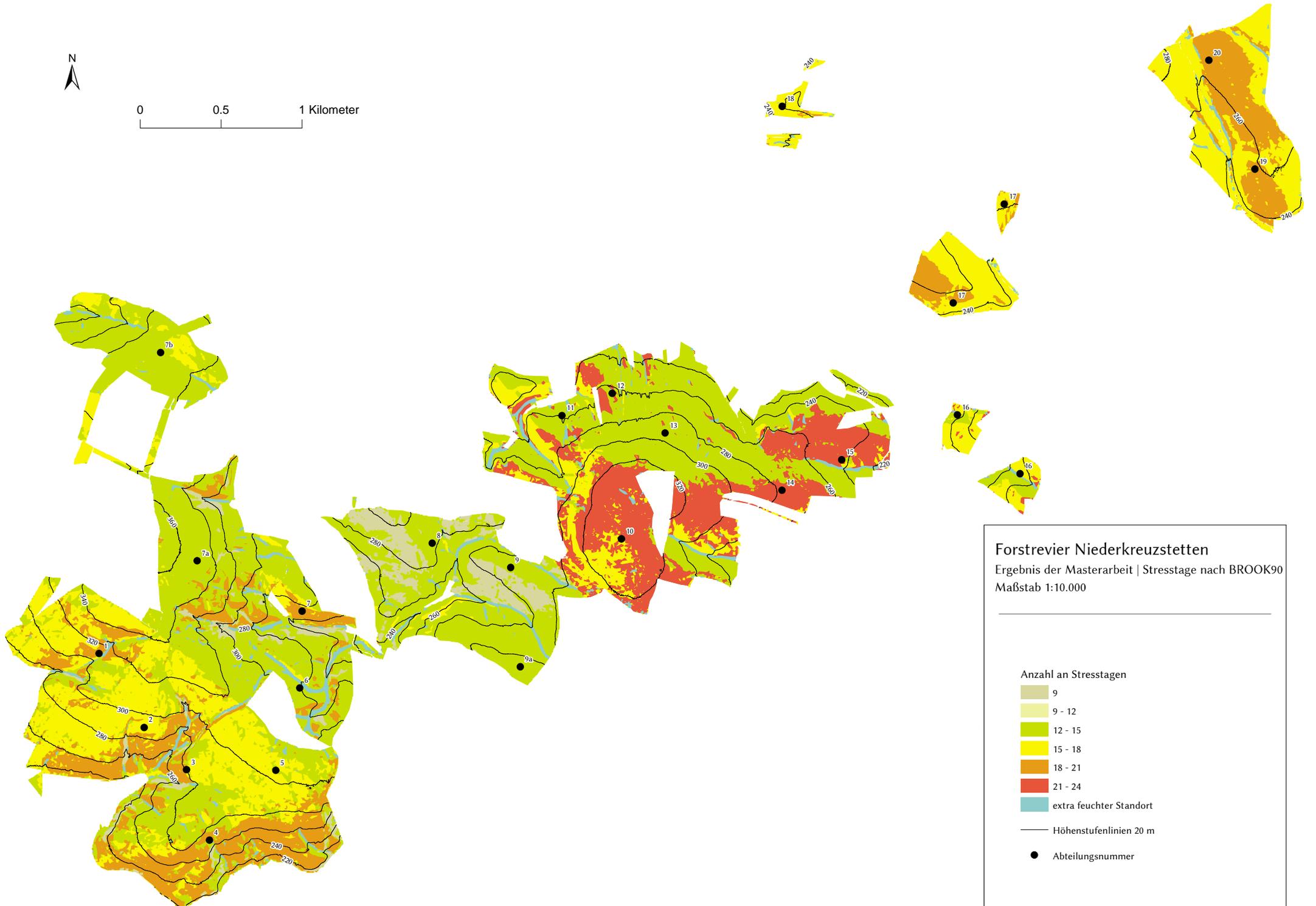
Standortstypen	Anteil Carbonat auf 1 Meter [%]
1	● 0.00
2	● 0.01 - 0.37
3	● 0.38 - 0.55
4	● 0.56 - 0.83
5	● 0.84 - 1.00
6	
7	
8	

**Abteilungen**  
● Abteilungsnummer

**Höhenstufenlinie**  
— 20 m



0 0.5 1 Kilometer



**Forstrevier Niederkreuzstetten**  
Ergebnis der Masterarbeit | Stresstage nach BROOK90  
Maßstab 1:10.000

---

**Anzahl an Stresstagen**

- 9
- 9 - 12
- 12 - 15
- 15 - 18
- 18 - 21
- 21 - 24
- extra feuchter Standort
- Höhenstufenlinien 20 m
- Abteilungsnummer

# Literatur- und Datenverzeichnis

## Publikationen

- Altenkirch, W., Majunke, M., Ohnesorge, B und Bogenschütz, H., 2002: *Waldschutz auf ökologischer Grundlage*. Stuttgart: Ulmer Eugen Verlag.
- Arbeitskreis Standortskartierung, 2003: *Forstliche Standortsaufnahme: Begriffe, Definitionen, Einteilungen, Kennzeichnungen, Erläuterungen*. IHW-Verlag.
- Auer, I., Böhm, R., Jurkovic, A., Lipa, W., Orlik, A., Potzmann, R., Schöner, W., Ungersböck, M., Matulla, C., Briffa, K., Jones, P., Efthymiadis, D., Brunetti, M., Nanni, T., Maugeri, M., Mercalli, L., Mestre, O., Moisselin, J.-M., Begert, M., Müller-Westermeier, G., Kveton, V., Bochnicek, O., Stastny, P., Lapin, M., Szalai, S., Szentimrey, T., Cegnar, T., Dolinar, M., Gajic-Capka, M., Zaninovic, K., Majstorovic, Z. und Nieplova, E., 2007: HISTALP—historical instrumental climatological surface time series of the Greater Alpine Region. *International Journal of Climatology* 27.1, S. 17–46.
- Barnes, B. V., Pregitzer, K. S., Spies, T. A. und Spooner, V. H., 1982: Ecological forest site classification. *Journal of Forestry* 80.8, S. 493–498.
- Beven, K. J. und Kirkby, M. J., 1979: A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrological Sciences Bulletin* 24.1, S. 43–69.
- Bréda, N. J. J., 2003: Ground based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies. *Journal of Experimental Botany* 54.392, S. 2403–2417.
- Brunetti, M., Lentini, G., Maugeri, M., Nanni, T., Auer, I., Böhm, R. und Schöner, W., 2009: Climate variability and change in the Greater Alpine Region over the last two centuries based on multi-variable analysis. *International Journal of Climatology* 29.15, S. 2197–2225.

- Buckley, A., 2010: *Understanding curvature rasters*. URL: <http://blogs.esri.com/esri/arcgis/2010/10/27/understanding-curvature-rasters/> (besucht am 20.08.2014).
- [BFW] Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft, 2004: *Forstliches Vermehrungsgut-Kurzbeschreibung der Herkunftsgebiete*. BFW. URL: [http://www.bfw.ac.at/020/1930\\_1581.html](http://www.bfw.ac.at/020/1930_1581.html) (besucht am 18.05.2014).
- [BFW] – , 2012: *Lexikon waldschädigende Luftverunreinigungen und Klimawandel*. BFW. URL: [www.bfw.ac.at/rz/wlv.lexikon?keywin=470](http://www.bfw.ac.at/rz/wlv.lexikon?keywin=470) (besucht am 17.07.2014).
- [BMLFUW] Bundesministers für Land-und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2002: *Verordnung des Bundesministers für Land-und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über forstliches Vermehrungsgut*. URL: <http://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20002374> (besucht am 18.05.2014).
- Chang, M., 2012: *Forest Hydrology: An Introduction to Water and Forests, Third Edition*. Taylor & Francis.
- Clapp, R. B. und Hornberger, G. M., 1978: Empirical equations for some soil hydraulic properties. *Water Resources Research* 14, S. 601–604.
- Cooley, S., 2013: *Hillslope Wetness Index*. URL: <http://gis4geomorphology.com/hillslope-wetness-index/> (besucht am 20.08.2014).
- D'Arrigo, R. D., Malmstrom, C. M., Jacoby, G. C., Los, S. O. und Bunker, D. E., 2000: Correlation between maximum latewood density of annual tree rings and NDVI based estimates of forest productivity. *International Journal of Remote Sensing* 21.11, S. 2329–2336.
- Ellis, J., 1938: *The Soils of Manitoba*. Manitoba Economic Survey Board. URL: <http://peel.library.ualberta.ca/bibliography/6189/5.html> (besucht am 17.07.2014).
- Englisch, M., Kilian, W. und Gartner, M., 1998: *Anleitung zur Forstlichen Standortskartierung in Österreich: Guidelines for forest site mapping in Austria*. Bd. 104. FBVA-Berichte. BFW.

- [ESRI] Environmental Systems Research Institute, 2014c: *Ausrichtung (Spatial Analyst)*. URL: <http://resources.arcgis.com/de/help/main/10.2/index.html#//009z000000tr000000> (besucht am 20.08.2014).
- [ESRI] – , 2014d: *Krümmung (Spatial Analyst)*. URL: <http://help.arcgis.com/de/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//009z000000tw000000> (besucht am 20.08.2014).
- Fahrmeir, L., Kneib, T. und Lang, S., 2009: *Regression. Modelle, Methoden und Anwendungen*. Statistik und ihre Anwendungen. Springer Berlin Heidelberg.
- Federer, C., Vörösmarty, C. und Fekete, B., 1996: Intercomparison of Methods for Calculating Potential Evaporation in Regional and Global Water Balance Models. *Water Resources Research* 32.7, S. 2315–2321.
- Federer, C, Vörösmarty, C. und Fekete, B., 2003: Sensitivity of annual evaporation to soil and root properties in two models of contrasting complexity. *Journal of Hydrometeorology* 4.6, S. 1276–1290.
- Field, A., Miles, J. und Field, Z., 2012: *Discovering Statistics Using R*. London: SAGE Publications Ltd.
- Gates, D., 2012: *Biophysical Ecology*. Dover Books on Biology. Dover Publications.
- Güde, J, 1960: Der historische Fichtenvorstoß in das oberösterreichische Alpenvorland im Raume von Lambach. *Centralblatt für das gesamte Forstwesen* 1, S. 1–18.
- Grill, R., 1968: *Erläuterung zur geologischen Karte des nordöstlichen Weinviertels und zu Blatt Gänserndorf*. unk. URL: [http://opac.geologie.ac.at/wwwopacx/wwwopac.ashx?command=getcontent&server=images&value=Weinviertel\\_Gaenserndorf.pdf](http://opac.geologie.ac.at/wwwopacx/wwwopac.ashx?command=getcontent&server=images&value=Weinviertel_Gaenserndorf.pdf) (besucht am 06.04.2014).
- Götzinger, G, Grill, R., Küpper, H, Lichtenberger, E und Rosenberg, G, 1952: *Erläuterung zur geologischen Karte der Umgebung von Wien*. unk. URL: [http://opac.geologie.ac.at/wwwopacx/wwwopac.ashx?command=getcontent&server=images&value=EG0003\\_001\\_A.pdf](http://opac.geologie.ac.at/wwwopacx/wwwopac.ashx?command=getcontent&server=images&value=EG0003_001_A.pdf) (besucht am 06.04.2014).
- Guisan, A. und Zimmermann, N., 2000: Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling* 135.2–3, S. 147 –186.
- Hammel, K. und Kennel, M., 2001: “Charakterisierung und Analyse der Wasserverfügbarkeit und des Wasserhaushalts von Waldstandorten in Bayern mit

- dem Simulationsmodell BROOK90". *Forstliche Forschungsberichte München*. Bd. 185. Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt der Technischen Universität München und Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, S. 146.
- Harzhauser, M. und Wessely, G., 2003: *The Karpatian of the Korneuburg Basin*. Department of Geology und Paleontology, Natural History Museum. URL: [http://www.nhm-wien.ac.at/jart/prj3/nhm/data/uploads/mitarbeiter\\_dokumente/harzhauser/2004/Harzhauser\\_Wessely\\_2003.pdf](http://www.nhm-wien.ac.at/jart/prj3/nhm/data/uploads/mitarbeiter_dokumente/harzhauser/2004/Harzhauser_Wessely_2003.pdf) (besucht am 17.04.2014).
- Havlíček, P., 2003: *Bericht 2004 über geologische Aufnahmen im Neogen und Quartär auf Blatt 39 Tulln*. Department of Geology und Paleontology, Natural History Museum. URL: [http://opac.geologie.ac.at/wwwopacx/wwwopac.ashx?command=getcontent&server=images&value=JB1453\\_314\\_A.pdf](http://opac.geologie.ac.at/wwwopacx/wwwopac.ashx?command=getcontent&server=images&value=JB1453_314_A.pdf) (besucht am 13.05.2014).
- Hengl, T., 2009: *A practical guide to geostatistical mapping*. URL: [http://spatial-analyst.net/book/system/files/Hengl\\_2009\\_GEOSTATE2c1w.pdf](http://spatial-analyst.net/book/system/files/Hengl_2009_GEOSTATE2c1w.pdf) (besucht am 16.06.2014).
- Hengl, T., 2007: A practical guide to geostatistical mapping of environmental variables. *JRC Scientific and Technical Reports. Office for Official Publication of the European Communities, Luxembourg*.
- Heurich, M, Günther, S, Schröder, S und Kennel, E, 2004: Baumhöhenmessung mit flugzeuggetragenen Laserscannern. *AFZ-Der Wald* 2004, S. 2–4.
- Hiebl, J., Reisenhofer, S., Auer, I., Böhm, R. und Schöner, W., 2011: Multimethodical realisation of Austrian climate maps for 1971–2000. *Advances in Science and Research* 6, S. 19–26. URL: <http://www.adv-sci-res.net/6/19/2011/>.
- Hochbichler, E, 2008: Fallstudien zur Struktur, Produktion und Bewirtschaftung von Mittelwäldern im Osten Österreichs (Weinviertel). *Forstliche Schriftenreihe* 20, S. 246.
- Horton, R. E., 1933: The role of infiltration in the hydrologic cycle. *Transactions, American Geophysical Union* 14, S. 446–460.

- Jeffree, C., Johnson, R. und Jarvis, P., 1971: Epicuticular wax in the stomatal antechamber of sitka spruce and its effects on the diffusion of water vapour and carbon dioxide. English. *Planta* 98.1, S. 1–10. DOI: 10.1007/BF00387018.
- Jenny, H., 1941: *Factors of Soil Formation: A System of Quantitative Pedology*. Dover books on earth sciences. Dover.
- Katzensteiner, K., 2013: *Einführung. Methoden der forstlichen Standortsklassifikation*.
- Kaufman, L und Rousseeuw, P., 2009: *Finding groups in data: An introduction to cluster analysis*. Wiley Series in Probability and Statistics. Wiley.
- Kilian, W, M, Herzberger, E., Nestroy, O, Pehamberger, A., Wagner, J., Huber, S., Nelhiebel, P., Pecina, E. und Schneider, W., 2002: *Schlüssel zur Bestimmung der Böden Österreichs*. Mittelungen der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft. Österreichische Bodenkundliche Gesellschaft.
- Killian, W., Müller, F. und Starlinger, F., 1994: *Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs. Eine Naturraumgliederung nach waldökologischen Gesichtspunkten*. BFW. URL: <http://www.bfw.ac.at/030/pdf/2377.pdf> (besucht am 06.04.2014).
- Klaassen, W., Bosveld, F. und Water, E. de, 1998: Water storage and evaporation as constituents of rainfall interception. *Journal of Hydrology* 212–213.0, S. 36–50.
- Kramer, P. und Boyer, J., 1995: *Water Relations of Plants and Soils*. Academic Press.
- Kusché, W, 2000: “Geschichtliche Entwicklung, Umfang und Verteilung sekundärer Fichtenwälder im Alpenvorland”. *Tagungsband Mariabrunner Waldbautage 1999. Umbau sekundärer Nadelwälder*. Hrsg. von Müller, F. Bd. 111. FBVA-Berichte. Wien: Forstliche Bundesversuchsanstalt Wien, S. 45–53.
- [LKÖ] Landwirtschaftskammer Österreich, 2011: *Standortsgerechte Verjüngung des Waldes*. URL: [http://www.waldverband.at/downloads/cms\\_uploaded/broschuere\\_waldverjuengung.pdf](http://www.waldverband.at/downloads/cms_uploaded/broschuere_waldverjuengung.pdf) (besucht am 04.09.2014).
- Law, B., Falge, E, Gu, L, Baldocchi, D., Bakwin, P, Berbigier, P, Davis, K, Dolman, A., Falk, M, Fuentes, J., Goldstein, A, Granier, A, Grelle, A, Hollinger, D, Janssens, I., Jarvis, P, Jensen, N., Katul, G, Mahli, Y, Matteucci, G, Meyers,

- T, Monson, R, Munger, W, Oechel, W, Olson, R, Pilegaard, K, U, K. P., Thorgeirsson, H, Valentini, R, Verma, S, Vesala, T, Wilson, K und Wofsy, S, 2002: Environmental controls over carbon dioxide and water vapor exchange of terrestrial vegetation. *Agricultural and Forest Meteorology* 113.1–4, S. 97–120.
- Leitgeb, E., Reiter, R., Englisch, M., Lüscher, P. und Feger, K.-H., 2013: *Waldböden: Ein Bildatlas der wichtigsten Bodentypen aus Österreich, Deutschland und der Schweiz*. Wiley-VCH.
- Lhomme, J.-P., 1997: Towards a rational definition of potential evaporation. *Hydrology and Earth System Sciences* 1.2, S. 257–264.
- Major, J., 1951: A functional, factorial approach to plant ecology. *Ecology* 32.3, S. 392–412.
- Manning, C., Raghavan, P. und Schütze, H., 2009: *Introduction to Information Retrieval*. Cambridge University Press.
- Mayer, H., 1974: *Wälder des Ostalpenraumes. Standort, Aufbau und waldbauliche Bedeutung der wichtigsten Waldgesellschaften in den Ostalpen samt Vorland*. Bd. 3. Ökologie der Wälder und Landschaften. Fischer.
- , 1992: *Waldbau: Auf soziologisch-ökologischer Grundlage*. Springer.
- McBratney, A., Santos, M. M. und Minasny, B., 2003: On digital soil mapping. *Geoderma* 117.1–2, S. 3–52.
- Misson, L., Rasse, D. P., Vincke, C., Aubinet, M. und François, L., 2002: Predicting transpiration from forest stands in Belgium for the 21st century. *Agricultural and Forest Meteorology* 111.4, S. 265–282.
- Moisen, G. G. und Frescino, T. S., 2002: Comparing five modelling techniques for predicting forest characteristics. *Ecological Modelling* 157.2–3, S. 209–225.
- Monteith, J., 1965: “Evaporation and the environment”. *The State and Movement of Water in Living Organisms*. 19th Symposium of the Society for Experimental Biology. Swansea, UK: Cambridge University Press, S. 205–234.
- Neilson, R. P., 1995: A model for predicting continental-scale vegetation distribution and water balance. *Ecological Applications* 5.2, S. 362–385.
- Nestroy, O., Aust, G, Blum, W., Englisch, M, Hager, H, Herzberger, E, Kilian, W, Nelhiebel, P, Ortner, G, Pecina, E et al., 2011: Systematische Gliederung der Böden Österreichs: Österreichische Bodensystematik 2000 in der revidierten Fas-

- sung von 2011. *Mitteilungen der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft* 79, S. 96.
- Oberhauser, R., Bauer, F. und Bundesanstalt, G., 1980: *Der Geologische Aufbau Österreichs*. Springer.
- Pallardy, S. G., 2008: *Physiology of Woody Plants*. Third Edition. San Diego: Academic Press.
- Papp, A., 1963: *Die biostratigraphische Gliederung des Neogens im Wiener Becken*. Department of Geology und Paleontology, Natural History Museum. URL: [http://www2.uibk.ac.at/downloads/oegg/Band\\_56\\_1\\_225\\_317.pdf](http://www2.uibk.ac.at/downloads/oegg/Band_56_1_225_317.pdf) (besucht am 13.05.2014).
- Pettorelli, N., Vik, J. O., Mysterud, A., Gaillard, J.-M., Tucker, C. J. und Stenseth, N. C., 2005: Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology and Evolution* 20.9, S. 503–510.
- Pilger, H., Podesser, A. und Prettenthaler, F., Hrsg., 2010: *Klimaatlas Steiermark. Periode 1971-2000 Eine anwenderorientierte Klimatographie*. Bd. 4. Studien zum Klimawandel in Österreich. Wien: Österreichische Akademie der Wissenschaften. URL: [http://www.umwelt.steiermark.at/cms/dokumente/10741599\\_16178332/56180d1d/4\\_NIEDERSCHL%C3%84GE%20-%20Vers\\_2.0\\_.pdf](http://www.umwelt.steiermark.at/cms/dokumente/10741599_16178332/56180d1d/4_NIEDERSCHL%C3%84GE%20-%20Vers_2.0_.pdf) (besucht am 21.06.2014).
- Richard, A., Luis, P., Dirk, R. und Martin, S., 1998: *Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements*. Bericht 56. Food and Agriculture Organization of the United Nations. URL: <http://www.fao.org/docrep/x0490e/x0490e00.htm#Contents> (besucht am 26.07.2014).
- Romstad, B. und Etzelmüller, B., 2012: Mean-curvature watersheds: A simple method for segmentation of a digital elevation model into terrain units. *Geomorphology* 139–140.0, S. 293–302.
- Schaetzl, R. und Anderson, S., 2005: *Soils: Genesis and Geomorphology*. Cambridge University Press.
- Schuster, R., Daurer, A., Krenmayr, H., Linner, M., Mandl, G., Pestal, G. und Reitner, J., 2013: *Rocky Austria. Geologie von Österreich - kurz und bunt*. Wien: Geologische Bundesanstalt.

- Schwammenhöfer, H., s.d.: *Archäologischer Lehrpfad. 2-Tagestour: Kronberg - Schleimbach- Hornsburg- Kleinebersdorf - Wetzleinsdorf - Weinsteig - Hetzmannsdorf - Obergänsersdorf*. URL: <http://books.sattlegger.net/Austrommler/> (besucht am 14.05.2014).
- Schweizer, V., 2012: “English – German”. German. *Wörterbuch der Geologie / Dictionary of Geology*. Spektrum Akademischer Verlag, S. 317–669. DOI: 10.1007/978-3-8274-2262-0\_2.
- Schwärzel, K., Häntzschel, J., Menzer, A., Spank, U., CLAUSNITZER, F., Köstner, B., BERNHOFER, C. und Feger, K.-H., 2009: Modellierung und Regionalisierung des Standortwasserhaushaltes von Wäldern im Mittelgebirge. *Bedeutung des Klimawandels für Bodenprozesse. Freiburger Forstliche Forschung* 82, S. 123–134.
- Shepherd, T. und Wynne Griffiths, D., 2006: The effects of stress on plant cuticular waxes. *New Phytologist* 171.3, S. 469–499.
- Shuttleworth, W. J. und Wallace, J. S., 1985: Evaporation from sparse crops – an energy combination theory. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 111.469, S. 839–855.
- Smiatek, G., Kunstmann, H., Knoche, R. und Marx, A., 2009: Precipitation and temperature statistics in high-resolution regional climate models: Evaluation for the European Alps. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 114.D19, n/a–n/a. DOI: 10.1029/2008JD011353.
- Smolka, F., 2003: *ALWA GmbH Forstbetrieb Niederkreuzstetten Operat 2003-2012*. ÖBF.
- Staelens, J., De Schrijver, A., Verheyen, K. und Verhoest, N. E., 2008: Rainfall partitioning into throughfall, stemflow, and interception within a single beech (*Fagus sylvatica* L.) canopy: influence of foliation, rain event characteristics, and meteorology. *Hydrological Processes* 22.1, S. 33–45.
- Statewide Mapping Advisory Committee, 2011: *Using Color Infrared (CIR) Imagery. A Guide for Understanding, Interpreting and Benefiting from CIR Imagery*. Working Group for Orthophotography Planning. URL: [http://www.nconemap.com/portals/7/documents/using\\_color\\_infrared\\_imagery\\_20110810.pdf](http://www.nconemap.com/portals/7/documents/using_color_infrared_imagery_20110810.pdf) (besucht am 14.08.2014).

- Sutherland, W. J., 1996: *Ecological Census Techniques: A Handbook*. Cambridge University Press.
- Thornthwaite, C. W., 1948: An approach toward a rational classification of climate. *Geographical review*, S. 55–94.
- Tucker, C. J. und Sellers, P. J., 1986: Satellite remote sensing of primary production. *International Journal of Remote Sensing* 7.11, S. 1395–1416.
- Venables, W. N. und Ripley, B. D., 2002: *Modern Applied Statistics with S*. Fourth. ISBN 0-387-95457-0. New York: Springer. URL: <http://www.stats.ox.ac.uk/pub/MASS4>.
- Wang, Y., Yu, P., Feger, K.-H., Wei, X., Sun, G., Bonell, M., Xiong, W., Zhang, S. und Xu, L., 2011: Annual runoff and evapotranspiration of forestlands and non-forestlands in selected basins of the Loess Plateau of China. *Ecohydrology* 4.2, S. 277–287.
- Waring, R. und Running, S., 1998: *Forest Ecosystems: Analysis at Multiple Scales*. 2. Forest Ecosystems: Analysis at Multiple Scales v. 1. Academic Press.
- Waring, R. und Schlesinger, W., 1985: *Forest ecosystems: concepts and management*. Academic Press. URL: <http://books.google.at/books?id=EoXwAAAAMAAJ>.
- Waugh, D., 2000: *Geography: An Integrated Approach*. Nelson.
- Weiss, A., 2001: “Topographic position and landforms analysis”. *Poster presentation, ESRI User Conference, San Diego, CA*, S. 200–200. URL: [http://www.jennessent.com/downloads/tpi-poster-tnc\\_18x22.pdf](http://www.jennessent.com/downloads/tpi-poster-tnc_18x22.pdf) (besucht am 20.08.2014).
- WESSELY, G., 2009: Das Korneuburger Becken: Unterlagerung, Bau und Entwicklung. *Berichte Geologische Bundesanstalt* 81.15, S. 29–31.
- Wildi, O., 2013: *Data Analysis in Vegetation Ecology*. Wiley.
- Wohlfahrt, G und Mayer, S, 2011: *Auswirkungen von Bodentrockenheit auf die Transpiration österreichischer Baumarten*. StarClim Endbericht C. BMLFUW, BMWF und ÖBF.
- [WMO] World Meteorological Organization, 2008: *Guide to meteorological instruments and methods of observation. Part 1: Measurement of meteorological variables*. URL: <http://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/CIMO-Guide.html> (besucht am 18.06.2014).

- [WMO] World Meteorological Organization, 2014: *Statistical depictions of climate*. URL: [http://www.wmo.int/pages/themes/climate/statistical\\_depictions\\_of\\_climate.php](http://www.wmo.int/pages/themes/climate/statistical_depictions_of_climate.php) (besucht am 31.08.2014).
- Xiao, Q., McPherson, E. G., Ustin, S. L. und Grismer, M. E., 2000: A new approach to modeling tree rainfall interception. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 105.D23, S. 29173–29188. ISSN: 2156-2202. DOI: 10.1029/2000JD900343. URL: <http://dx.doi.org/10.1029/2000JD900343>.
- Yusta, I., Velasco, F. und Herrero, J.-M., 1998: Anomaly threshold estimation and data normalization using {EDA} statistics: application to lithochemical exploration in Lower Cretaceous Zn–Pb carbonate-hosted deposits, Northern Spain. *Applied Geochemistry* 13.4, S. 421–439.
- Zahner, R., 1968: “Water Deficits and Growth of Trees”. *Water Deficits and Plant Growth*. Hrsg. von Kozłowski, T. Plant Water Consumption and Response. New York und London: Academic Press, S. 191–244.
- Zawawi, A. A., Shiba, M. und Jemali, N. J. N., 2014: Landform Classification for Site Evaluation and Forest Planning: Integration between Scientific Approach and Traditional Concept. *Sains Malaysiana* 43.3, S. 349–358.
- [ZAMG] Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, 2014a: *Eiche - Blattentfaltung (Station: Wolkersdorf)*. URL: [http://zacost.zamg.ac.at/phaeno\\_portal/no\\_cache/auswertungen/diagramme/diagramm.html?stat\\_id=21835&element\\_id=14](http://zacost.zamg.ac.at/phaeno_portal/no_cache/auswertungen/diagramme/diagramm.html?stat_id=21835&element_id=14) (besucht am 28.07.2014).
- [ZAMG] – , 2014b: *Eiche - Blattverfärbung (Station: Wien Hohe Warte)*. URL: [http://http://zacost.zamg.ac.at/phaeno\\_portal/no\\_cache/auswertungen/diagramme/diagramm.html?stat\\_id=5901&element\\_id=140](http://http://zacost.zamg.ac.at/phaeno_portal/no_cache/auswertungen/diagramme/diagramm.html?stat_id=5901&element_id=140) (besucht am 28.07.2014).
- [ZAMG] – , 2014d: *Jahrbuch - Niederschlag Juni 2012 in Wolkersdorf*. URL: <http://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/klimauebersichten/jahrbuch> (besucht am 01.09.2014).
- Zhang, L., Dawes, W. R. und Walker, G. R., 2001: Response of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale. *Water Resources Research* 37.3, S. 701–708.

- Zhao, Y. und Karypis, G., 2005: Data clustering in life sciences. *Molecular Biotechnology* 31.1, S. 55–80.
- Zuschin, M., Harzhauser, M., Hengst, B., Mandic, O. und Roetzel, R., 2014: Long-term ecosystem stability in an Early Miocene estuary. *Geology* 42.1, S. 7–10.
- Zwerenz, K., 2008: *Statistik verstehen mit Excel: Interaktiv lernen und anwenden - Buch mit Excel-Downloads*. Managementwissen für Studium und Praxis. Oldenbourg.

## Datensätze

- [Landesregierung NÖ] Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, 2014b: *WMS-Service*. Hrsg. von Geoland. URL: [http://geo.noe.gv.at/public/services/wms/geoland\\_wms\\_noe/MapServer/WSServer?request=GetCapabilities&service=WMS&version=1.3.0](http://geo.noe.gv.at/public/services/wms/geoland_wms_noe/MapServer/WSServer?request=GetCapabilities&service=WMS&version=1.3.0) (besucht am 20.10.2014).
- [Landesregierung NÖ] Amt der Niederösterreichischen Landesregierung, Abteilung Umwelttechnik, 2014a: *Niederösterreichische Umwelt-, Beobachtungs- und Informationssystem NUMBIS*. URL: [www.numbis.at](http://www.numbis.at) (besucht am 27.03.2014).
- [BFW] Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft, 2013: *Digitale Bodenkarte von Österreich, 1km-Raster*. URL: <http://bfw.ac.at/rz/bfwcms2.web?dok=8548> (besucht am 25.09.2014).
- [BFW] – , 2014: *Betriebsarten und Besitzverhältnisse*. URL: <http://duz.lebensministerium.at/duz/duz/theme/view/1891345/792289/800/354?REF=popup> (besucht am 17.07.2014).
- [BMLFUW] Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2014: *eHYD*. URL: <http://ehyd.gv.at/> (besucht am 07.04.2014).
- [ESRI] Environmental Systems Research Institute, 2014a: *ArcGIS®: Basemap Online Karten Service: Worldimagery*. URL: [http://services.arcgisonline.com/arcgis/rest/services/World\\_Imagery/MapServer/0](http://services.arcgisonline.com/arcgis/rest/services/World_Imagery/MapServer/0) (besucht am 20.06.2014).
- [GBA] Geologische Bundesanstalt, 2014: *WebService: Transenergy - Oberflächengeologie*. URL: <http://gisgba.geologie.ac.at/ArcGIS/rest/services/>

- projekte\_transenergy/transenergy\_de/MapServerArcGISMapService (besucht am 20.05.2014).
- OpenStreetMap-Mitwirkende, 2014: *Water ways- Austria*. Hrsg. von Geofabrik. URL: <http://www.openstreetmap.org/copyright> (besucht am 29.05.2014).
- Perlot, F., 2013: *GeoJSON-Daten Österreich*. URL: <http://www.strategieanalysen.at/wahlen/geojson/> (besucht am 09.07.2014).
- [ZAMG] Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, 2014c: *HISTALP homogenised series CSV Export*. URL: <http://www.zamg.ac.at/histalp/dataset/station/csv.php> (besucht am 29.09.2014).
- [ZAMG] – , 2014e: *Klimadaten: Station 4125 Wolkersdorf 2008-2014*. Wien.

## Software

- [ESRI] Environmental Systems Research Institute, 2014b: *ArcGIS® Version 10.2*. Redland, USA.
- Federer, C., 2002: *BROOK90: A simulation model for evaporation, soil water, and streamflow*. URL: <http://www.ecoshift.net/brook/brook90.htm> (besucht am 16.06.2014).
- R Core Team, 2013: *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. URL: <http://www.R-project.org/>.
- [SAGA GIS] SAGA Development Team, 2014: *SAGA GIS 2.1.1-System for Automated Geoscientific Analyses*. Hamburg. URL: <http://www.saga-gis.org> (besucht am 14.06.2014).