

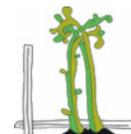
Gehölzstrukturen an Hochwasserschutzdämmen

Unter besonderer Berücksichtigung der Überströmbarkeit



Diplomarbeit der Studienrichtung
Landschaftsplanung und Landschaftspflege

Eingereicht von Gerda Holzapfel
Betreuung: o.Univ.Prof.Dr. Florin Florineth und DI Walter Lammeranner
Wien, Jänner 2008



Universität für Bodenkultur Wien
Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau

Universität für Bodenkultur Wien
Department für Bautechnik und
Naturgefahren

DANKSAGUNGEN

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mir in der Zeit des Studiums und besonders während des Schreibens der Diplomarbeit fachlich und menschlich mit Rat und Tat zur Seite gestanden sind.

Herrn o.Univ. Prof. Dr. Florin Florineth für die Begeisterung, mit der er mir die Ingenieurbiologie näher gebracht hat und die Betreuung der Diplomarbeit.

Herrn Dipl. Ing. Walter Lammeranner für die umsichtige Betreuung beim Schreiben der Diplomarbeit und die Beantwortung aller fachlichen Fragen.

Herrn Dr. Harald Meixner für die fachlichen Hilfestellungen.

Frau Elke Ebner für die gute Zusammenarbeit während der ganzen Diplomarbeitszeit.

Allen Mitarbeitern des Institutes für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau der BOKU, die mich beim Arbeiten unterstützt haben, sei es mit fachlichen Ratschlägen, einer warmen Mahlzeit oder motivierenden Worten.

Der Marchfeld Betriebsgesellschaft für die zur Verfügungstellung des Sickerwasserbeckens in der Sickerwasseranlage Stallingerfeld.

Den Gärtnern des Institutes für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau der BOKU, insbesondere Herrn Gerald Eggenberger, für die Unterstützung beim Bau der Versuchsanlage.

Herrn Univ. Ass. Dipl.-Ing. MBA Franz Aschauer für fachlichen Rat im Bereich der Geotechnik. Dem Laboranten Herrn Martin Grogger des Labors des Institutes für Geotechnik an der BOKU für die Unterstützung bei den Sieb- und Schlämmanalysen.

Meinen Eltern, weil sie mir dieses Studium ermöglicht haben, mich die ganze Zeit unterstützt und immer wieder motiviert haben und für das Korrekturlesen der Diplomarbeit.

Meinem Freund für das Korrekturlesen und die Motivation während des Schreibens der Diplomarbeit.

Zusammenfassung

Gehölze auf Hochwasserschutzdämmen sind ein sehr kontroverses Thema. In der Literatur wird Gehölzbewuchs allgemein als negativ und als Gefahrenquelle bewertet, wissenschaftliche Untersuchungen dazu gibt es jedoch wenige.

Diese Diplomarbeit fand im Rahmen des Forschungsprojektes „Gehölzstrukturen an Dämmen und Deichen“ statt, durchgeführt vom Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau der Universität für Bodenkultur. Anhand von zwei für die Forschungsarbeiten errichteten Versuchsdämmen, einem Durchsickerungsdamm und einem Überströmungsdamm, am Marchfeldkanal bei Deutsch Wagram/Niederösterreich, werden die Auswirkungen von Gehölzen auf die Standsicherheit und Instandhaltung untersucht.

Schwerpunkt dieser Arbeit ist der Überströmungsdamm. Der Damm ist mit vier verschiedenen Bauweisen zur Begrünung und Bepflanzung (Gräser-Kräuteransaat, Weidensteckhölzer, Weidenspreitlage längs und Weidenspreitlage quer) ausgestattet, welche miteinander verglichen werden. Diese vier Bereiche haben jeweils eine Überströmungsmulde, die während späterer Überströmungsversuche abwechselnd geflutet werden können. Im Zeitrahmen der Diplomarbeit waren allerdings noch keine Überströmungsversuche möglich.

Grundlage dieser Arbeit sind neben Literaturrecherche, Zustandsaufnahme eines Marchdammes, welche die Probleme eines solchen Bauwerkes aufzeigen. Hauptgegenstand dieser Arbeit sind Bau der Versuchsanlage, geotechnische Begleitaufnahmen während des Dammbaues sowie erste Auswertungen der Vegetationsaufnahmen.

Die Bauarbeiten verliefen planmäßig und die begleitenden geotechnischen Untersuchungen bestätigten die erwartete Standsicherheit. Die Vegetationsaufnahmen erfolgten bei den Steckholzpflanzungen und der Weidenspreitlage quer. Etwa 2 Drittel der gesetzten Steckhölzer überlebten und das in ausgezeichnetem Zustand. Am Schlechtesten entwickelten sich die Steckhölzer an den besonders stark verdichteten Stellen. Die Spreitlage quer trieb sehr gut aus. Im Herbst zeigte sich ein deutliches Höhengefälle: Die unteren auf die Drainage gebauten Weidenäste trieben in wesentlich größerer Anzahl und höherer Vitalität aus. Die Weidenspreitlage längs wurde wegen momentaner Schäden vorerst nicht aufgenommen. Die Überströmungsmulden entwickelten sich schnell und sehr dicht. Die Weidenspreitlage quer ist nach heutigem Stand die geeignetste Variante.

Abstract

Woody plants on levees are an often disputed subject. In technical literature it is generally seen very negative and as a source of danger. There are hardly any scientific researches about this topic.

This diploma thesis was set in the framework of the project “Woody plants on levees”, a research project of the Institute of Soil Bioengineering and Landscape Construction at the University of Natural Resources and Applied Life Science in Vienna. Two levees were built for the research work, a percolation and an overtopping levee at the Marchfeldkanal near Deutsch Wagram/Lower Austria. Based on that, effects of woody plants and their soil consolidating effect on the stability of the levees are under examination.

The main focus of this work is the overtopping levee. It is planted with four different planting types (grasses-herbs sowing, willow dormant cuttings, brush mattress crosswise, brush mattress lengthwise), which are compared to one another. Each of these four areas has an overtopping basin that can be flooded alternately. During this thesis no flooding could be done.

Base of this work is in addition to a well-founded literature research, an actual state research of a levee in the Marchfeld, which shows problems concerning these buildings. Main topics of this work are construction of the experimental complex, geotechnical analyses and first analysis of the vegetation.

The construction works proceeded very good and permanent geotechnical studies ensure satisfying stability data. The planting analysis occurred at the hardwood cuttings and the brush mattress crosswise. Two out of three planted hardwood cuttings survived mostly in very good condition. Worse developed are the dormant cuttings in very hard compacted soil. The brush mattress crosswise grew very good. In autumn there was a very clear increase in quality between higher and lower placed shoots on the levee. The lower willows, planted on the drainage, sprouted more healthy, more quickly and look more vital. The brush mattress lengthwise was not analysed until now because there have been too many erosion damages due to intense rainfalls. The overtopping basins developed quick and dense. The brush mattress crosswise is at the current condition the most adequate alternative.

INHALTSVERZEICHNIS

ZUSAMMENFASSUNG	3
ABSTRACT	4
1. EINLEITUNG	8
2. THEORIE	10
2.1. BEGRIFFSERKLÄRUNGEN	10
2.1.1. HOCHWASSERSCHUTZDÄMME	10
2.1.2. ART VON DÄMMEN	10
2.1.3. BEZEICHNUNG VON DAMMABSCHNITTEN	11
2.2. GEOTECHNISCHE PARAMETER	12
2.2.1. KÖRNUNG	12
2.2.2. WASSERGEHALT	13
2.2.3. DICHTHEIT	13
2.2.4. DURCHLÄSSIGKEIT	14
2.3. VEGETATIONSPARAMETER	15
2.3.1. TECHNISCHE EIGENSCHAFTEN	15
2.3.2. BIOLOGISCHE EIGENSCHAFTEN	16
2.4. ALLGEMEINES ZU DÄMMEN	18
2.4.1. LINIENFÜHRUNG VON DÄMMEN	18
2.4.2. DER DAMMUNTERGRUND	18
2.4.3. STANDSICHERHEITSNACHWEIS VON DÄMMEN	18
2.4.4. DAMMBAUSTOFFE	20
2.4.5. AUFBAU VON DÄMMEN	20
2.4.6. DAMMKRONE UND BERMEN	21
2.4.7. DAMMBÖSCHUNGEN	21
2.4.8. DRÄNUNG UND FILTER	21
2.4.9. DAMMDICHTUNGEN	22
2.4.10. SCHUTZ DER DAMMOBERFLÄCHE	22
2.4.11. DAMMUNTERHALTUNG	24
2.4.12. DAMMÜBERWACHUNG UND DAMMVERTEIDIGUNG	25
2.5. MÖGLICHE VERSAGENSGRÜNDE	26
2.5.1. ALLGEMEINES / ÜBERSICHT	26
2.5.2. SCHÄDEN AN DER BÖSCHUNGSOBERFLÄCHE	28
2.5.3. SCHÄDEN AN DER WASSERSEITIGEN BÖSCHUNG	29
2.5.4. SCHÄDEN AN DER LANDSEITIGEN BÖSCHUNG	30

2.5.5. SCHÄDEN IM INNEREN DES DAMMES	30
2.5.6. DAMMBRUCH	33
2.6. ÜBERSTRÖMUNG EINES DEICHES	35
2.6.1. ÜBERSTRÖMSTRECKEN	35
2.6.2. HYDRAULIK ÜBERSTRÖMTER DEICHE	36
2.6.3. LANDSCHAFTSVERTRÄGLICHE ÜBERSTRÖMSTRECKEN	37
2.6.4. MESSUNG DER ÜBERSTRÖMUNG	38
2.7. GEHÖLZE AUF DÄMMEN	40
2.7.1. NACHTEILE VON GEHÖLZEN AUF DÄMMEN	41
2.7.2. VORTEILE VON GEHÖLZEN AUF DÄMMEN	43
2.7.3. EINSATZ VON GEHÖLZEN AUF DÄMMEN	47
2.7.4. EINSATZ VON STRAUCHWEIDEN AUF DÄMMEN	48
3. METHODIK	50
3.1. GEOTECHNISCHE UNTERSUCHUNGEN	50
3.1.1. VERDICHTUNGSVORVERSUCH - PROBEFELD	50
3.1.2. KORNGRÖßENANALYSE	51
3.1.3. RAMMSONDIERUNG	54
3.1.4. STECHZYLINDER	55
3.1.5. DYNAMISCHE LASTPLATTE	56
3.1.6. PROCTORVERSUCH	58
3.1.7. INFILTRATIONSVERSUCH	59
3.1.8. ISOTOPENSONDE	62
3.1.9. VERGLEICH DER WICHTIGSTEN VERFAHREN ZUR BODENDICHTE	63
3.2. UNTERSUCHUNGEN AM MARCHDAMM	64
3.3. PLANUNG DES VERSUCHDAMMES	69
3.3.1. URSPRÜNGLICHES KONZEPT	69
3.3.2. AUSGEFÜHRTE PLANUNG	69
3.4. BAU DER VERSUCHSANLAGE	72
3.4.1. ZEITLICHER ABLAUF	72
3.4.2. GEPLANTE VERSUCHE	72
3.4.3. BAUABLAUF	73
3.5. BEPFLANZUNG UND BEGRÜNUNG DER VERSUCHSANLAGE	80
3.5.1. VERWENDETES PFLANZENMATERIAL	80
3.5.2. STECKHÖLZER	82
3.5.3. WEIDENFASCHINEN	83
3.5.4. WEIDENSPREITLAGE LÄNGS	83

3.5.5. WEIDENSPREITLAGE QUER	85
3.5.6. GRÄSER-KRÄUTER ANSAAT	86
3.6. PFLEGE	88
4. ERGEBNISSE AM ÜBERSTRÖMUNGSDAMM	89
4.1. AUSWERTUNG DER GEOTECHNISCHEN VERSUCHE	89
4.1.1. VERDICHTUNGSGRAD	89
4.1.2. TRAGFÄHIGKEIT (DYNAMISCHES VERFORMUNGSMODUL)	90
4.1.3. TROCKENDICHTE UND RELATIVE DICHTEN	91
4.1.4. WASSERDURCHLÄSSIGKEIT	92
4.1.5. KORNGRÖßENVERTEILUNG	93
4.2. AUSWERTUNG DER PFLANZENAUFNAHMEN	94
4.2.1. STECKHÖLZER	94
4.2.2. SPREITLAGE LÄNGS	103
4.2.3. SPREITLAGE QUER	106
4.2.4. WEIDENFASCHINEN	114
4.2.5. GRÄSER-KRÄUTER ANSAAT	115
5. DISKUSSION DER ERGEBNISSE	117
6. LITERATURNACHWEIS	119
6.1. REGELWERKE	119
6.2. LITERATUR	119
6.3. INTERNET	124
7. ANHANG	125
7.1. VORGESEHENE SIEBLINIE DER VERSUCHSDÄMME	125
7.2. RAMMSONDIERUNGEN AM MARCHDAMM	126
7.3. PROFILBESCHREIBUNG MARCHDAMM	131
7.4. STECHZYLINDERAUSWERTUNGEN DER MARCH	133
7.5. LAGE DER MESSSENSOREN	134
7.6. AUSWERTUNG DER LASTPLATTENVERSUCHE	135
7.7. STECHZYLINDERAUSWERTUNGEN	136
7.8. ISOTOPENSONDENVERSUCHE	137
7.9. FELDDURCHLÄSSIGKEIT NACH HORN	138

1. Einleitung

Bei Fließgewässern sind Schwankungen der Wasserführung ein natürlicher Prozess. Die Menschen haben auf den Aspekt der Fließgewässerdynamik bei der Besiedlung der Talräume nicht immer Rücksicht genommen, wodurch es zu einem Verlust von Teilen der Überschwemmungsgebiete und zu einer starken Beeinflussung der Hochwasserwelle kam. Durch die fehlenden Retentionsräume wird der Wasserspiegel erhöht und die fließende Welle beschleunigt. In Folge dessen werden Schutzeinrichtungen gegen Hochwässer gebaut, Hochwasserschutzdämme sind die älteste Methode. Wird der Bemessungsabfluss jedoch überschritten, ist das Schadenspotential entsprechend groß, da die Bevölkerung nicht mehr auf Überflutungen eingestellt ist.

Die ersten Hochwasserschutzdämme sind mit den heutigen nicht zu vergleichen. Geotechnische Gesichtspunkte waren noch weitgehend unbekannt und oft kam in den Damm alles, was an Erdmaterial nicht mehr zu gebrauchen war: Material aus Kelleraushüben und anderen Grabungen, Küchenabfälle, etc.. Dementsprechend wenig halten diese Dämme auch aus. Zusätzlich nimmt der Schutzwert des Hinterlandes durch zunehmende Besiedlungen zu. Im Laufe der Zeit entstanden Richtlinien und Vorgaben zum Dammbau, in denen vom Dammaterial bis hin zur Bepflanzung alles geregelt wurde.

Gerade in den letzten Jahren gewann das Thema Hochwasserschutz zunehmend an Interesse, da es vermehrt zu Extremereignissen kam. Leider gerät das Thema aber oft wieder viel zu schnell in politische Vergessenheit, wenn nicht regelmäßig extreme Hochwässer an die Gefahren erinnern (QUEIßER; 2006).

Aufgrund des brisanten Themas Hochwasserschutz beschäftigt sich diese Diplomarbeit mit dem Schwerpunkt Gehölzen auf Hochwasserschutzdämmen, Da Gehölze auf Dämmen ein viel umstrittenes Thema sind, stellt sich die Frage, wie sie sich wirklich auf die Standsicherheit und Instandhaltung auswirken. Die Diplomarbeit entstand im Rahmen des Forschungsprojektes „Gehölzstrukturen an Dämmen und Deichen“ und begleitete dieses Projekt in der Startphase.

„Gehölzstrukturen an Dämmen und Deichen – Vorteile bei Standsicherheit und Instandhaltung“ ist ein Forschungsprojekt des Institutes für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau an der Universität für Bodenkultur Wien. In Auftrag gegeben wurde es vom bmvit (Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie), dem Lebensministerium

(Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft) und dem Land Niederösterreich.

„Ziel des Projektes ist die Untersuchung des Einflusses von Gehölzstrukturen auf die Standsicherheit und Pflege von Dämmen und Deichen“ (LAMMERANNER und MEIXNER; 2007). Die Grundlage für das Projekt sind eine internationale Literaturstudie und Feldaufnahmen an der March. Der Schwerpunkt des Projektes ist die Errichtung einer Versuchsanlage. Ursprünglich war diese im Versuchsgarten des Institutes für Ingenieurbiologie und Landschaftsplanung in Essling/Wien geplant. Wegen des Angebotes eines besser geeigneten Standortes wurde die Versuchsanordnung neu geplant. Standort ist jetzt die Versicherungsanlage Stallingerfeld der Betriebsgesellschaft Marchfeldkanal in Deutsch-Wagram/Niederösterreich. So wurden im Sickerbecken 2 der Anlage zwei Versuchsdämme errichtet. Diese beiden Dämme formen ein Becken, welches für Einstauversuche mit Wasser befüllt werden kann. Anhand des einen Damms wird die Durchsickerung und anhand des anderen das Verhalten bei Überströmung beobachtet. Beide Dämme sind, um die beiden Vegetationsformen direkt vergleichen zu können, in verschiedenen Sektoren mit einer konventionellen Gräser-Kräutermischung begrünt oder mit Gehölzen bepflanzt.

Diese Arbeit behandelt im Besonderen den Überströmungsdamm und die Auswirkungen auf die Bepflanzung bei einer Überströmung. Mit den Auswirkungen von Gehölzen auf die Durchsickerung setzt sich die Diplomarbeit von Elke EBNER (in Arbeit) genauer auseinander.

2. Theorie

2.1. Begriffserklärungen

2.1.1. Hochwasserschutzdämme

„Flussdeiche sind Dämme aus Erdbaustoffen an Fließgewässern zum Schutz des Hinterlandes gegen Hochwasser. Sie werden im Gegensatz zu Stauhaltungsdämmen nur zeitweilig eingestaut“ (DVWK 210/1986). Hochwasserschutzdämme haben verschiedene Bezeichnungen, schon der deutschsprachige Raum kennt verschiedene Begriffe. Während in Österreich meist von Hochwasserschutzdämmen gesprochen wird, wird in Deutschland die Bezeichnung Deich verwendet und in Flussdeiche und Seedeiche unterschieden. In dieser Arbeit wird für Hochwasserschutzdämme in weiterer Folge kurz der Begriff Damm verwendet. Ausgenommen sind Zitate und Abbildungen, die deutscher Literatur entnommen sind.

2.1.2. Art von Dämmen

Nach der DVWK „Flussdeiche“ (DVWK 210/1986) können unter anderen folgende Deiche unterschieden werden:

Schardeiche: Liegen unmittelbar am Flussufer.

Offene Deiche: Können von unterstrom landseitig eingestaut werden.

Geschlossene Deiche: Sind an hochliegendes Gelände angeschlossen.

Leitdeiche: Leiten das Hochwasser in die gewünschte Richtung.

Volldeiche: Sind gegen große und seltene Hochwasser bemessen.

Teilschutzdeiche: Schützen landwirtschaftliche Flächen gegen kleinere und mittlere, aber häufige Hochwässer.

Schlafdeiche: Haben wegen Vorverlegung der Deichlinie ihre Aufgaben verloren. Haben als zweite Deichverteidigungslinie Bedeutung.

Rückstaudeiche: Begleiten Nebengewässer vom Deich des Hauptgewässers aus.

Binnendeiche: Unterteilen das eingedeichte Gebiet um Schäden bei Überflutungen oder Deichbrüchen einzugrenzen.

Polder: Zum Schutz vor Überflutung eingedeichte Niederungen.

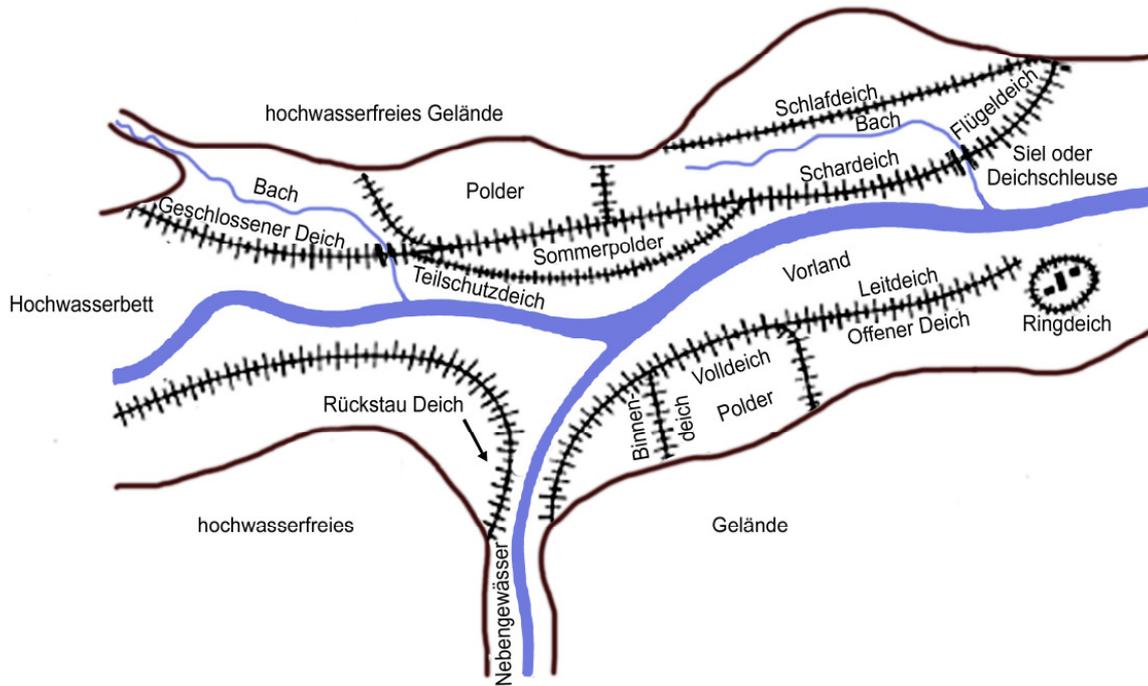


Abbildung 1: Deicharten (in Anlehnung an DVWK 210/1986)

2.1.3. Bezeichnung von Dammabschnitten

In Abbildung 2 sind die Bezeichnungen eines Dammes abgebildet.

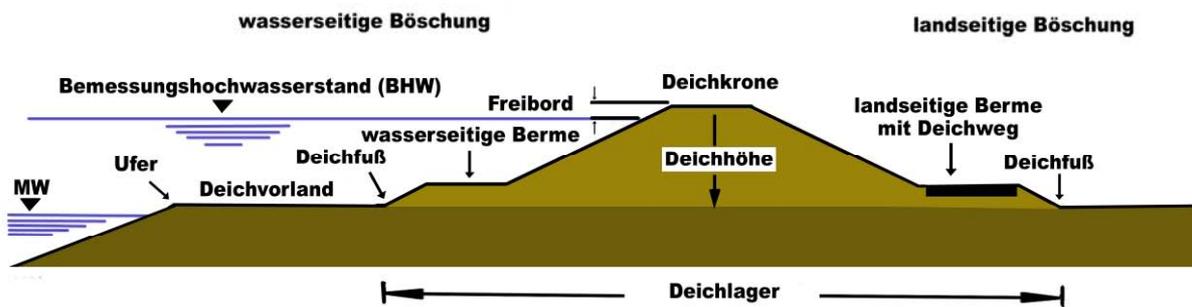


Abbildung 2: Bezeichnung von Dammabschnitten (in Anlehnung an DVWK 210/1986), MW = Mittelwasserlinie

2.2. Geotechnische Parameter

2.2.1. Körnung

Unter Körnung versteht man die Korngrößenverteilung. Die innerhalb eines Bodens vorkommenden Körner unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Größe und Form. In Bezug auf ihre Größe werden die Teilchen des Bodens in Fraktionen eingeteilt, die Kies, Sand, Schluff und Ton genannt werden (HARTIG und HORN; 1999). In Tabelle 1 wird die Einteilung der Kornfraktionen dargestellt:

Äquivalent (Ersatzwert)		Bezeichnung der Kornfraktion		Symbol
mm	µm	gerundet	eckig-Kantig	
>200		Blöcke, Geschiebe		Kies: G Steine: X
200-63		Geröll	Grobsteine	
63-20		Grobkies	Mittelsteine	
20-6,3		Mittelkies	Feinsteine	
6,3-2		Feinkies	Grus	
2-0,063	2000-630 630-200 200-63	Grobsand Mittelsand Feinsand	Sand	S
0,063-0,002	63-20 20-6,3 6,3-2,0	Grobschluff Mittelschluff Feinschluff	Schluff	U
<0,002	2,0-0,63 0,63-0,2 <0,2	Grohton Mittelton Feinton	Ton	T

Tabelle 1: Einteilung und Bezeichnung der Kornfraktionen (SCHRÖDER und BLUM; 1992)

Da bei einer Bestimmung der Korngrößen unregelmäßige und teilweise verschieden geformte Teilchen erfasst werden, wird oft anstelle der genauen Messung der einzelnen Teile ein Ersatzwert angegeben. Ein Ersatzwert gibt die Größe eines regelmäßig geformten Teilchens (z.B. Kugel) an, das sich wie das zu untersuchende Teilchen verhält. Bei der Sedimentation versteht man darunter eine Kugel, die ebenso schnell absinkt, wie das untersuchte Teilchen (HARTHORN;1999).

Bei der Bestimmung der Korngrößen ist zu bedenken, dass die einzelnen Körner oft nicht frei beweglich nebeneinander sind, sondern miteinander aggregieren. Diese Bindung nimmt vor allem mit abnehmender Korngröße zu, wodurch Böden oft grobkörniger erscheinen, als sie in Wirklichkeit sind. Um solche Aggregatstrukturen zu lösen, müssen Bodenproben vor der eigentlichen Korngrößenanalyse dispergiert werden. Die beschriebenen Kornfraktionen kommen in der Natur als Mischungen vor. Die unterschiedlichen Mischungen werden mittels

Sieb- und Schlämmanalyse ermittelt und in Häufigkeitsverteilungen oder Summenkurven (Sieblinien) dargestellt. Dabei wird nicht die Anzahl der Teilchen erfasst, sondern deren Massenanteile. Bei der Summenkurve werden in einem Koordinatensystem auf einer Achse die Anteile an der Gesamtprobe in Prozent und auf der anderen Achse in logarithmischer Einteilung die Korngröße eingetragen (HARTGE und HORN; 1992).

2.2.2. Wassergehalt

Als Wassergehalt (w) bezeichnet man die im Porenraum vorhandene Wassermenge, bezogen auf die Trockenmasse der Probe. Um die Trockenmasse der Probe zu ermitteln, muss das Material im Trockenschrank bei 105°C so lange getrocknet werden, bis sich eine Massenkonstanz einstellt.

Der Wassergehalt ist in Verbindung mit anderen Ergebnissen eine wichtige Kenngröße für die Beschreibung des Bodens, die Beurteilung der Verdichtbarkeit von Böden (Proctorversuch), sowie für die Bestimmung der Dichte und des Porenanteils.

$$w = \frac{m_w}{m_d} = \frac{m - m_d}{m_d} [-]$$

m_w = Masse des Wassers in Gramm

m = Masse der feuchten Probe in Gramm

m_d = Trockenmasse der Probe in Gramm

2.2.3. Dichte

Die **Dichte (ρ)** eines Bodens wird für erdstatische Berechnungen und für die Nachprüfung der vorhandenen oder erreichten Verdichtung benötigt. Man versteht unter der Dichte (ρ = Feuchtdichte) des Bodens das Verhältnis der Masse des feuchten Bodens (m) zum Volumen (V).

$$\rho = \frac{m}{V} \left[\frac{g}{cm^3} \right]$$

Zur Bestimmung der **Trockendichte (ρ_d)** muss die Trockenmasse (m_d) verwendet werden.

$$\rho_d = \frac{m_d}{V} \left[\frac{g}{cm^3} \right]$$

2.2.4. Durchlässigkeit

Unter der Durchlässigkeit im Allgemeinen versteht man die Fähigkeit eines porösen Materials, Flüssigkeiten und Gase durchzulassen. Sie wird durch den Durchlässigkeitsbeiwert k ausgedrückt. Für diese Arbeit ist vor allem die Durchlässigkeit k von Böden von Bedeutung. In der DIN 18130-1 von 1996 wird diese definiert als „Verhältnswert zwischen der Filtergeschwindigkeit v und dem hydraulischen Gefälle i bei gleichmäßiger, linearer Durchströmung eines wassergesättigten Bodens“.

Die oft angewandte und einfachste Methode zur Berechnung des Durchlässigkeitskoeffizienten k ist das Gesetz von DARCY, das Fließgesetz für gleichmäßige, lineare Durchströmung.

$$k = \frac{v}{i}$$

Tabelle 2 stellt dar, wie Böden entsprechend ihrer Durchlässigkeitsbereiche bezeichnet werden. Abbildung 3 zeigt Durchlässigkeitsbeiwerte für Lockersedimente.

k [m/s]	Bezeichnung
$k > 10^{-2}$	sehr stark durchlässig
$10^{-2} \geq k > 10^{-4}$	stark durchlässig
$10^{-4} \geq k > 10^{-6}$	mittel durchlässig
$10^{-6} \geq k > 10^{-8}$	gering durchlässig
$10^{-8} \geq k > 10^{-9}$	gehr gering durchlässig
$10^{-9} \geq k$	undurchlässig, technisch dicht

Tabelle 2: Vom Durchlässigkeitsbeiwert abhängige Durchlässigkeitsbereiche (PREGL; 1999a)

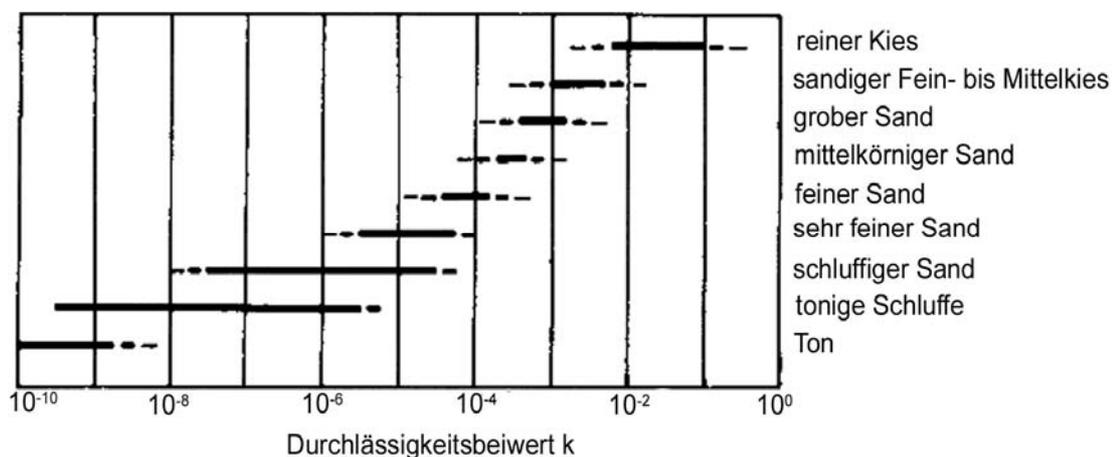


Abbildung 3: Durchlässigkeit von Lockersedimenten (BENTZ und MARTINI; 1969)

2.3. Vegetationsparameter

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit den technisch-biologischen Eigenschaften von Pflanzen. Entnommen sind die Informationen aus FLORINETH (2003/04a), FLORINETH (2004) und KRONER (2002).

2.3.1. Technische Eigenschaften

Erosionsschutz

Pflanzen bedecken den Boden, bilden dadurch einen Schutz gegen Witterung und somit gegen Bodenerosion.

Bodenentwässerung und Standsicherheit

Pflanzen verdunsten viel Wasser und entwässern so den Boden. Durch die Abnahme der Bodenfeuchtigkeit kommt es einerseits zu einer Zunahme der Kohäsion und des inneren Reibungswinkels, andererseits zu abnehmenden Schubkräften infolge von Gewichtsverminderungen, sodass die Standsicherheit von Böschungen erhöht wird.

Bodendurchwurzelung

Wurzeln helfen der Pflanze, sich selbst zu verankern und Bodenschichten zu verdübeln. Man unterscheidet Tiefwurzler, Intensiv- und Extensivwurzler. Es ist darauf zu achten, möglichst vielseitige Wurzler zusammen zu setzen, damit der Boden homogen durchwurzelt wird.

Die Ausbildung der Wurzeln hängt von verschiedenen äußeren Faktoren ab (MAZURE; 1999):

- Trockenheit bewirkt tiefere und stärker verzweigte Wurzeln.
- Je kleiner das Porenvolumen, desto weniger Wurzeln.
- Bei höheren Temperaturen wachsen Wurzeln schneller.
- Düngung erhöht die Vegetationsdichte, aber nicht unbedingt die Wurzeldichte.
- Durch intensive landwirtschaftliche Nutzung wachsen weniger und weniger tiefe Wurzeln.
- Viel Licht bringt viele Wurzeln.
- Der Stockschnitt fördert das Wurzelwachstum.
- In saurem Boden gibt es weniger Wurzeln als in basischem.

Auszugwiderstand

„Der Auszugwiderstand ist die Kraft, die erforderlich ist, um eine Pflanze aus dem Boden zu reißen“ (FLORINETH; 2004). Ausläuferbildende Arten haben einen geringen Auszugswiderstand, horstbildende einen höheren. Die Haupteinflussfaktoren sind: Bodenbeschaffenheit (Korngrößenverteilung, Bindigkeit,...), Wuchsbedingungen (Wasser, Licht, Nährstoffe,...), Pflanzenart und das Alter.

Scherfestigkeit

Die Scherfestigkeit entspricht dem maximalen Seitendruck bei einer Flächenauflast von 20 kN/m² und wird in Kilo-Newton pro Quadratmeter (kN/m²) gemessen. Die Vegetation erhöht die Scherfestigkeit durch:

- die mechanische Stabilisierung der Pflanzenwurzeln
- die Erhöhung der Kapillarkohäsion
- den Wasserentzug (Verminderung des Porenwasserdrucks)
- die Aggregatbildung durch Wurzelabscheidungen bzw. Bodenaktivität.
- Die Scherfestigkeit hängt sehr stark vom Wassergehalt ab.

Elastizität und Biegefestigkeit

Pflanzen müssen so flexibel gehalten werden, dass sie bei Überströmungen niedergedrückt und umgelegt werden können und so den Dammkörper schützen. Dadurch reduzieren sie die Fließgeschwindigkeit um vieles geringer als starre Gehölze und gewähren dennoch einen ordnungsgemäßen Abfluss. Die meisten getesteten Ufergehölze sind bis zu einem Durchmesser von 4 cm elastisch, danach müssen sie verjüngt, „auf den Stock gesetzt“, werden.

2.3.2. Biologische Eigenschaften

Regenerations- und Stockausschlagsvermögen

Vor allem Laubgehölze haben ein hohes Regenerationsvermögen. Wenn sie durch Hochwasser, Schneedruck oder Steinschlag geknickt werden, können sie wieder austreiben. Durch einen Schnitt an der Basis, das „auf den Stock setzen“, können einige Gehölze verjüngt werden und treiben wieder aus. Das Wurzelwachstum wird dadurch zusätzlich gefördert.

Anpassungsfähigkeit

Pflanzen können sich an Witterungsbedingungen anpassen. Einige Pflanzenwurzeln reagieren zum Beispiel bei verstärktem Schnee- oder Winddruck mit Wachstum in die

Gegenrichtung. Zusätzlich wachsen sie Wasser und Nährstoffen nach. Deshalb sollen sie auch nicht mehr als eine Starthilfe an Düngung und Wasser bekommen, damit sie sich von selbst anpassen müssen.

Überstaubarkeit

Einige Pflanzen können 1 bis 2 Wochen lang bis zu zwei Drittel ihrer Wuchshöhe überstaut sein und trotzdem überleben. Besonders Weiden haben diese Eigenschaft stark ausgebildet.

Vegetative Vermehrbarkeit

Spross- und Wurzelteile einiger Pflanzen können in die Erde eingelegt erneut austreiben:

- aus schlafenden Wurzeln = proventive Spross- oder Wurzelanlagen
- oder durch Verletzungen des Kambiums = adventive Spross- oder Wurzelanlagen.

Fähigkeit zur Sprosswurzelbildung (Adventivwurzelbildung)

Einige Pflanzen können bei mit Überschüttung mit Erde oder Steinen aus den abgedeckten Stammabschnitten, zusätzlich zum vorhandenen Wurzelsystem, proventive oder adventive Wurzeln, sogenannte Sprosswurzeln ausbilden.

Ökologische Fähigkeiten

Die wichtigsten ökologischen Fähigkeiten von Pflanzen sind:

- Erhöhung der Luftfeuchtigkeit und Abkühlung durch Transpiration
- Schattenspende
- Windschutz
- Staubfilter und Abgasschutz
- Spielraum und Erholungsraum
- ästhetisches Gestaltungselement
- abwechslungsreiches Farbenspiel in den Jahreszeiten
- Nutzpflanzen für Menschen und Tiere
- Lebensraum für Tiere und weitere Pflanzen
- mechanischer Schutz von Fassaden und Mauern.

2.4. Allgemeines zu Dämmen

2.4.1. Linienführung von Dämmen

Wie in Kapitel 2.1. der Definition von „Hochwasserschutzdämmen“ zu entnehmen ist, ist ein Damm vorrangig ein Schutzbauwerk zum Schutz der Siedlungsräume und anderer intensiv genutzter Flächen. Zusätzlich ist er Lebensraum für Pflanzen und Tiere. Innerhalb der intensiv genutzten Kulturlandschaft können Dämme ein wertvoller Rückzugsraum sein und wichtige Funktionen als Leitlinien und Verbindungselemente erfüllen. Weiters kann ein Damm, gerade in dicht besiedelten Gegenden, auch als Erholungsraum dienen. Sofern aus Gründen des Naturschutzes oder der Dammverteidigung nichts dagegenspricht, können Dammwege zur Erschließung der Auenlandschaften beitragen und den Erholungsverkehr lenken.

Beim Bau von Dämmen ist darauf zu achten, dass es zu keinen scharfen Krümmungen, plötzlichen Verengungen oder Erweiterungen des Flussquerschnittes kommt. Es sind möglichst breite Vorländer anzustreben, welche von jeglicher Bebauung, die den Abfluss stört, freizuhalten sind. Sollen natürliche, wertvolle Lebensräume erhalten bleiben, muss dies schon in anfängliche Hochwasserberechnungen eingehen.

2.4.2. Der Dammuntergrund

Der Dammuntergrund ist für die Standfestigkeit des ganzen Dammes entscheidend. Ein Untergrund mit einer Deckschicht aus bindigem Boden ist vorteilhaft. Es darf keine großen Unterschiede in der Verdichtung geben, da diese zu gefährlichen Setzungsunterschieden führen können. Die Hauptbeanspruchungen des Dammes gegenüber dem Untergrund sind Gewicht und Scherbeanspruchung. Ist die Tragfähigkeit des Bodens zu gering, sind vor dem Bau des Dammes verbessernde Maßnahmen zu treffen.

2.4.3. Standsicherheitsnachweis von Dämmen

„Die allgemeine Standsicherheit bei Hochwasserereignissen ist abhängig von der Deichgeometrie, von der Scherfestigkeit der eingebauten Bodenmaterialien und des Untergrundes, sowie in besonderem Maße von der Durchsickerung und den daraus resultierenden Strömungskräften innerhalb und unterhalb des Deichkörpers. Mit der örtlichen Standsicherheit des Dammes wird die Sicherheit gegen örtlich auftretende, oberflächennahe Rutschungen in der Deichböschung bezeichnet. Diese Rutschungen können noch nicht den Deich als Ganzes gefährden, wohl aber Ausgangspunkt weiterer

Schäden sein. Wie die allgemeine Standsicherheit ist auch die örtliche Standsicherheit abhängig von der Deichgeometrie, von der Scherfestigkeit des Baumaterials und von den im Hochwasserfall auftretenden Strömungskräften im Bereich der Böschungsoberfläche“ (DVWK 226/1993).

Ein Damm muss bei allen erdenklichen Belastungsfällen standsicher sein. Das bedeutet, dass für jede mögliche Gleitfläche ein Bruch ausgeschlossen werden kann. Damm und Untergrund sind als Einheit zu sehen, die Beschaffung des Untergrundes ist also für die Standsicherheit entscheidend.

Für die Berechnung der Standsicherheit gilt die DIN 4084 (1996). In DVWK 210/1986 wird die Standsicherheit nach folgenden Punkten berechnet.

- Statistische Sicherheit: Hier werden Gewichtskräfte (Schwerkraftwirkung) und die hydraulischen Wirkungen (Strömungskräfte) berücksichtigt
- Hydraulische Sicherheit: Neben den zur statischen Sicherheit zu berücksichtigenden hydraulischen Wirkungen muss ein Nachweis erbracht werden, dass vom Sickerwasser keine Einzelkörner aus dem Kornverband gelöst werden können (Sicherheit gegen Erosion und Suffosion).
- Rissicherheit: Gefährliche Setzungsunterschiede und Gewölbebildungen werden anhand des Verformungsbildes des Deichquerschnittes beurteilt.

Erreicht die Standsicherheit nicht die vorgegebenen Werte, kann sie durch folgende Maßnahmen verbessert werden (DVWK 210/1986):

- Verbesserung der Lagerungsdichte
- Verringerung des Porenwasser-Überdruckes durch längere Bauzeit und/oder Vertikaldränungen
- Verwendung eines Dammmaterials größerer Scherfestigkeit
- Abflachen der Böschung
- Einlegen einer Zugbewehrung in Form von Kunststofffolien oder Geotextilien, dabei muss die Entstehung horizontaler Sickerwege ausgeschlossen werden.

2.4.4. Dammbaustoffe

Die Baustoffe des Dammes müssen beständig sein. Geeignet sind alle natürlichen Materialien wie z.B.: Ton, Schluff, Sand, Kies und Steine mit einer Kantenlänge kleiner als 15 cm. Das Material sollte in der Nähe der Einbaustelle gewonnen werden. Auch künstliche Materialien können verwendet werden. Nicht geeignet sind Bodenarten mit größeren Anteilen an organischen Bestandteilen wie Torf, Moorerde, Halbfaulschlamm und organische Klärrückstände. Wichtig sind bei allen Materialien ein homogener Einbau und eine gute Verdichtung.

2.4.5. Aufbau von Dämmen

Nach DVWK 210/1986 ergibt sich die Höhe eines Dammes aus dem Bemessungshochwasserstand (BHW) und dem Freibord. Der Bemessungshochwasserstand wird durch eine bestimmte Eintrittswahrscheinlichkeit und die Schutzbedürftigkeit des angrenzenden Gebietes berechnet. Ändert sich der Abflussquerschnitt, die Flusskrümmungen und/oder die Vorländer, muss dies berücksichtigt werden. Das Restrisiko ist immer zu beachten. Der Freibord ergibt sich aus Windstau, Wellenlauf, gegebenenfalls Eisstau und Zuschläge. Er sollte nie niedriger als 0,5 m sein (siehe Abbildung 4).

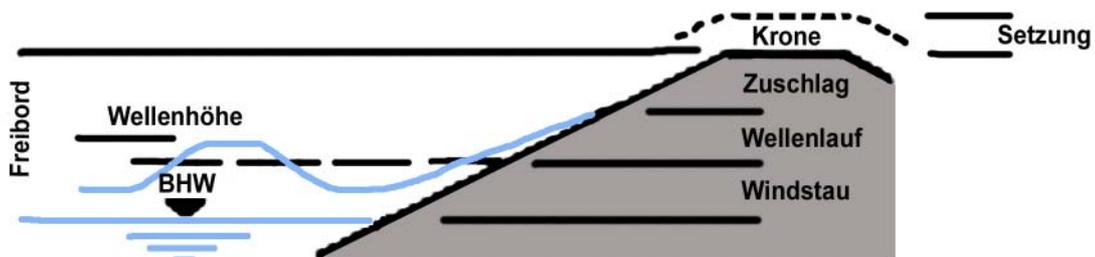


Abbildung 4: Freibord (in Anlehnung an DVWK 210/1986), BHW = Bemessungshochwasserstand

Ein Damm muss so bemessen werden, dass er für alle denkbaren Belastungen auf den Untergrund und im Querschnitt standsicher ist. Der Dammkörper kann leicht durchlässig oder vollkommen dicht sein und sollte auf einem möglichst dichten Untergrund stehen.

Inhomogene Dämme könnten wie folgt als Drei-Zonen Damm aufgebaut sein (siehe Abbildung 5). Wasserseitig ist eine abgedichtete Böschungszone. Wenn nötig, befindet sich im Dammkörper eine wandartige Dichtung, die in tiefer liegende dichte Untergrundzonen reicht. In der Mitte befindet sich ein Stützkörper. Landseitig erhält der Damm einen stark

durchlässigen Filterkörper, der das Sickerwasser ohne große Erosionserscheinungen austreten lässt. **Homogene Dämme** sind vollständig aus dem gleichen Material geschüttet.

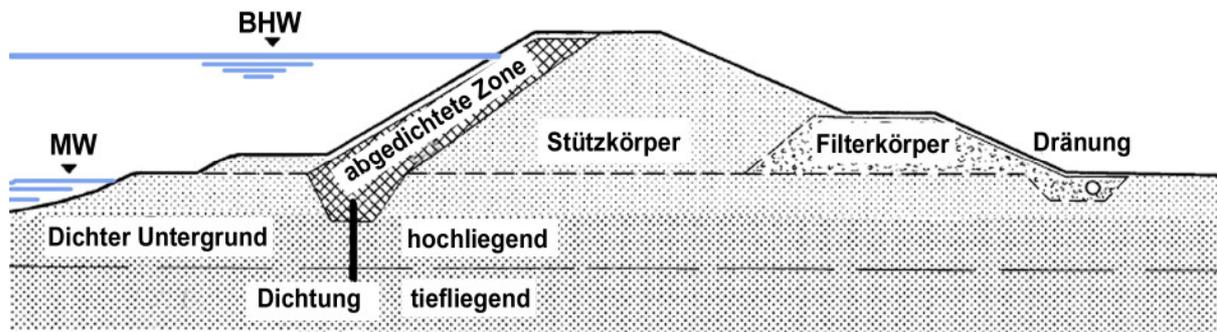


Abbildung 5: Drei-Zonen-Damm (in Anlehnung an DVWK 210/1986), BHW = Bemessungshochwasserstand

2.4.6. Dammkrone und Bermen

Die Dammkrone soll mindestens 3 m breit und leicht gewölbt, oder zu Wasserseite geneigt sein. Durch die Wölbung kann der Damm besser entwässert werden. Bermen können die Standsicherheit erhöhen und erleichtern die Unterhaltung von Dämmen. Auch diese müssen gut entwässert werden. Bermen, die Kolkungen verursachen können, sind nicht zugelassen. Je nach Nutzung sollten sie als Gehweg mindestens 1 m und als befestigte Fahrweg zur Dammüberwachung mindestens 3 m breit sein. Fahrwege sollten am landseitigen Dammfuß, oder auf der landseitigen Berme liegen.

2.4.7. Dammböschungen

Die wichtigsten Punkte bei einer Dammböschung nach DVWK 210/1986 sind:

- Standsicherheit: Flacher geneigte Böschungen sind allgemein sicherer. Sie bieten weniger Angriffsmöglichkeiten für aufschlagende Wellen.
- Unterhaltung: Zur Unterhaltung ist eine Neigung von 1:3 ausreichend, wird die Böschung steiler, müssen Bermen angebracht werden.
- Landschaftsgestaltung: Flachere Böschungen sind leichter landschaftsgerecht zu gestalten, ohne dabei die Sicherheit des Dammes zu gefährden.

2.4.8. Dränung und Filter

Die Dränung hat die Aufgabe, das Sickerwasser zu sammeln und aus dem Deichkörper zu leiten. Sie liegt an der landseitigen Böschung. Die Dränung ist so zu bemessen, dass die erwartete Sickerwassermenge zumindest mit zweifacher Sicherheit abgeführt werden kann.

Filter schützen die Dränschicht vor dem Eintrag feiner Materialien aus dem Stützkörper und werden allgemein aus Sand, Kies, Splitt, Schotter, Schlacke oder Geotextilien hergestellt.

2.4.9. Dammdichtungen

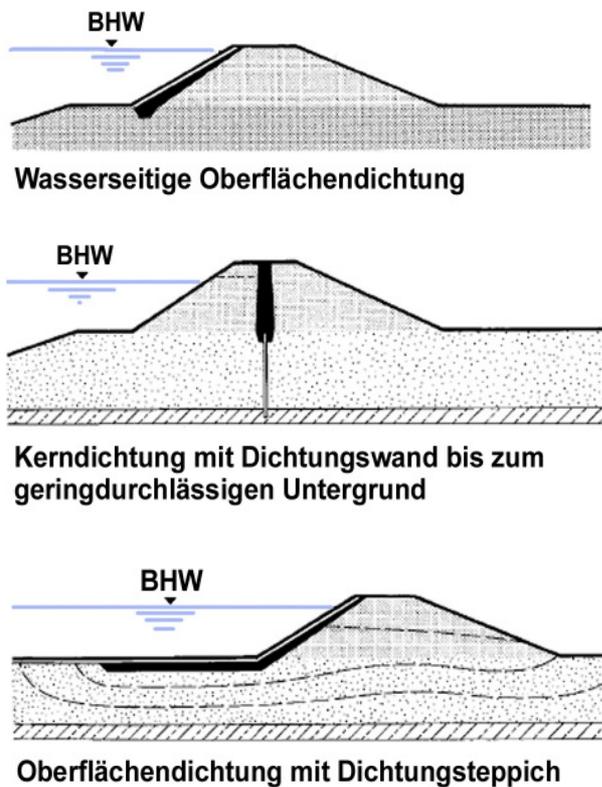


Abbildung 6: Dammdichtungen
(in Anlehnung an DVWK 210/1986),
BHW = Bemessungshochwasserstand

Dichtungen haben die Aufgabe, die Sickerwassermengen zu verringern. Es gibt Oberflächendichtungen und Kerndichtungen. Stößt die Dichtung nicht an eine gering durchlässige Untergrundsicht, ist eine tiefer reichende Dichtung zu planen. Alle Dichtungen sind aus Gründen der Standsicherheit bis zur Deichkrone durchzuziehen. Lässt eine Dichtung Sickerwasser zu, muss für eine schadlose Entwässerung gesorgt werden.

Als Baustoff können alle Materialien verwendet werden, die die gewünschte Dichtungswirkung haben. Sie dürfen sich nicht zersetzen oder auflösen, die Standsicherheit des Damms nicht gefährden und das Grundwasser nicht schädigen (DVWK 210/1986). Ein Überblick über die verschiedenen Dichtungsarten ist in Abbildung 6 zu sehen.

2.4.10. Schutz der Dammoberfläche

Die Dammböschung muss beidseitig gegen mögliche Angriffe gesichert werden. Solche Angriffe sind:

- Starkregen
- Wellen und Strömung
- Überströmung
- Eisgang und Eisstau
- Wühltiere
- Haustiere

Nach DVWK 210/1986 ist der beste wirtschaftliche, natürliche und nützliche Schutz für einen Deichkörper eine gute, dauerhafte, geschlossene und dichte Grasnarbe auf den Böschungen. Für eine bestmögliche Grasdecke sollte eine 10 bis 25 cm dicke, bindige

Oberbodenschicht vorhanden sein. Die Verwurzelung mit dem Dammkörper erhöht die Standsicherheit.

Als Vorzüge des Rasens als Uferschutzelement gegenüber anderen Bauweisen werden in der DVWK 210/1986 genannt:

- Der Rasen beeinflusst den Hochwasserabfluss nur minimal.
- Die Herstellung einer ausreichenden Schutzfunktion, also einer geschlossenen Rasendecke, ist relativ einfach, wenn man die Wachstums- und Standortbedingungen bei der Auswahl der Saatgutmischung beachtet. Mischungen und Samenmengen gibt die DIN 19657 (1973) an.
- Der Rasen hat eine lange Lebensdauer.
- Die Herstellungskosten von Rasenböschungen sind niedriger als die von anderen Uferschutzmethoden.
- Maschinelle Methoden erleichtern die Pflege.
- Die Ablagerungen von Treibholz sind geringer als bei Gehölzpflanzungen.

Als Nachteile von Rasenpflanzungen:

- Die Tallandschaft verarmt.
- Durch eine regelmäßige notwendige Pflege entstehen hohe Kosten.
- Durch die fehlende Beschattung wird bei wassernahen Dämmen das Wachstum von Wasserpflanzen gefördert.

Die Stabilität geschlossener Rasenflächen ist sehr groß. Der Rasen verträgt längerfristig Strömungsgeschwindigkeiten bis zu 1,8 m/s, kurzzeitig sogar von 4,5 m/s. Die zulässige Schleppspannung beträgt nach SCHIECHTL und STERN (2002) 105 N/m². Bei einer geschlossenen Rasendecke bildet sich unterhalb der Halme, die sich bei größeren Strömungsgeschwindigkeiten umlegen, eine strömungsarme Schicht, die den Boden sogar bei geringer Halmhöhe schützt. (SCHIECHTL. und STERN; 2002) Laut QUEIBER (2006) hält aber selbst ein gut gepflegter Grasbewuchs einer Fließgeschwindigkeit von 3 m/s nur ca. 10 h stand. Nach FLORINRTH (2004) beträgt die Belastungsgrenze eines Gräser-Kräuterbestandes je nach Zusammensetzung und Vitalität 40 – 60 N/m².

Als weitere Böschungssicherungen bieten sich ingenieurbioologische Verfahren an. Diese haben eine gute technische und gleichzeitig gute ökonomische, ökologische und ästhetische

Wirkung. Bei diesen Verfahren wird meistens mit Gehölzen gearbeitet. Genaueres zu Gehölzen auf Dämmen gibt es in Kapitel 2.7. (SCHIECHTL und STERN; 2002).

Bei Schardeichen, bei Dämmen mit schmalen Vorland, in Ortslagen mit steiler als 1:1,5 geneigten Böschungen oder wenn mit außergewöhnlichen äußeren Angriffen zu rechnen ist, sind andere Sicherungsarbeiten notwendig. Bei einigen wasserseitigen Böschungen werden besondere Sicherungen wie Steinschüttungen, Raupflaster, Plattenbelag aus Naturstein oder Ortbeton, Betonschwellen und andere verwendet.

2.4.11. Dammunterhaltung

Um die Grasnarbe dauerhaft und dicht zu erhalten, bedarf es einer aufwändigen Pflege. Fehlstellen sind umgehend durch Andecken guter Rasensonden oder Einsäen mit geeigneten Gräsern und Kräutern auszubessern. Nötigenfalls muss auch neuer Oberboden angebracht werden. Stark beanspruchte Flächen wie die wasserseitige Böschung sind mehrmals pro Jahr zu mähen und die Mahdrückstände sind aus dem Hochwasserabflussbereich zu entfernen. Aus Gründen des Artenschutzes ist die Mahd bei wenig beanspruchten Flächen auszusetzen. Bei Halbtrocken- und Wildrasen soll erst Anfang September gemäht werden, damit die Gräser und Kräuter zur Blüte und Samenreife kommen. Überständige Gräser müssen entfernt werden, genauso wie von Hochwässern angeschwemmtes Treibgut. Maulwurfshaufen und Gänge von Wühltieren sind zu verfüllen und festzutreten. Maschinelles Mähen ist bis zu einer Neigung von 1:3 möglich, mit Spezialgeräten ist auch das Mähen von steileren Böschungen möglich. Wachstumshemmende Chemikalien dürfen wegen möglicher Gewässerunreinigungen nicht verwendet werden. Beweiden mit Schafen hält den Rasen kurz und ist gut für die Verdichtung und Düngung, kleine Schlupflöcher von Wühltieren werden immer wieder zugetreten. Bei feuchtem Boden und steilen Böschungen darf solche allerdings nicht zugelassen werden. Von Beweidung mit Großvieh ist abzuraten, da die Grasnarbe von ihm durchgetreten werden kann (DVWK 226/1993).

Maßnahmen der Gehölzpflege richten sich nach der Standfestigkeit der Dämme. Um Pflegemaßnahmen auf ein Mindestmaß zu beschränken sollten bevorzugt Sträucher und niedrigwachsende Bäume gepflanzt werden. Für rechtzeitige Verjüngung der Gehölzbestände durch Fachleute ist zu sorgen.

Wege, Rampen, Fußpfade, etc. sind in ordnungsgemäßem Zustand zu halten. Die Dammkrone sollte regelmäßig einmalig mit einer Rüttelwalze befahren werden um durch

Frost entstandene Lockerungen wieder zu verdichten. Am Besten eignen sich Herbst und Frühjahr (DVWK 226/1993).

2.4.12. Dammüberwachung und Dammverteidigung

Zur Dammüberwachung sind Überwachungsunterlagen wie ein Dammbuch zu führen, worin Erläuterungen, Tagebuch, Rechtsbestimmungen, Betriebsvorschriften, Übersichtskarten, Lagepläne, Zeichnungen der Bauwerke, Verzeichnisse der Grundeigentümer, Verzeichnisse der Höhenmarken und Unterlagen für die Dammverteidigung, enthalten sind. Die Dammschau sollte mindestens einmal im Jahr stattfinden. Das Ergebnis ist schriftlich festzuhalten. Auch die Höhe der Dammkrone ist regelmäßig zu überprüfen. Bei der Dammverteidigung ist der oberste Grundsatz kleine Schäden sofort zu beheben. Der Einsatz sollte so lange dauern, bis entweder der Schaden behoben ist oder eine Gefahr für die Mannschaft besteht (DVWK 210/1986).

2.5. Mögliche Versagensgründe

2.5.1. Allgemeines / Übersicht

Nach DIN 19712 (1997) gebaute Dämme halten in der Regel bei Belastungsfällen, die in den Berechnungen berücksichtigt sind, auch bei längerem Einstau bis zur Krone. Dem Dammversagen geht also eine nicht bemessene Belastung voraus. Je mehr Schäden an Dämmen vorhanden sind, desto größer ist die Versagenswahrscheinlichkeit. Der Damm wird an einer Schwachstelle brechen, wo zu viele Belastungen und Schäden aufeinander treffen. Weiters hängt die Versagenswahrscheinlichkeit von der Größe der Einwirkungen und den Lasten auf den Damm ab (HASELSTEINER und STROBL; 2005).

NIESCHE und KRÜGER (1998) in HASELSTEINER und STROBL (2005) bestätigen durch Beobachtungen während des Oderhochwassers 1997, bei dem *„von den 10 Deichbrüchen (...) acht auf Überströmungen zurückzuführen“ sind, dass „die wahrscheinlichste Versagensursache die Überströmung ist“*. ARMBRUSTER-VENETI (1999) in HASELSTEINER und STROBL (2005) gibt als Versagensgründe hydraulische Beanspruchung inklusive Überströmung (50%), Versickerungsschäden und innere Erosion (30%) und statisches Versagen (20%) an.

Es gibt verschiedenste Ursachen für Dammschäden. Allgemein gilt, je mehr negative Einwirkungen und unbehobene Schäden auf den Deich einwirken und je stärker die Hochwässer ausfallen, umso weniger widerstandsfähig wird der Damm. Deshalb sind Primärschäden sofort zu beseitigen, oft ist dies allerdings erst nach dem Abklingen der Hochwässer möglich. HASELSTEINER und STROBL (2005) unterscheiden nach Einwirkung, Ursachen und Schäden und ob diese Schäden bzw. Schadensursachen vor und nach oder während dem Hochwasser auftreten (siehe Tabelle 4).

vor/nach dem Hochwasser			
Einwirkung	Ursachen		Primärschäden
	Bepflanzung mit Gehölzen ohne Sicherung	Beschattung	
Absterben der Wurzeln		Durchwurzelung (Dichtung, Deich, Drän)	Veränderung Bodengefüge
Bodenlockerung		Kraftbelastung Böschung (Wind, Eigengewicht)	Abbrüche/Risse im Deichkörper
Erschwerung Unterhaltung			Unterhaltsdefizite
Wühltiere	Durchlöcherung (Dichtung, Deich, Grasnarbe)	Wurzelfraß	Schädigung Vegetationsdecke
Hitze/Kälte	Austrocknung von Oberflächen-dichtungen	Bodenschädigung durch Frost-Tau-Wechsel	Unsachgemäßer Deichaufbau
Starkregen/Wind/Schnee	Erosion Deichoberfläche		Unwirksamkeit Dichtung/Drän
Geologische/geo-technische Verformungen	Bergsenkung	Setzung	Hohe Lasteinwirkung
	Erdbeben	Zerrungen, Stauchungen	
Mensch	Planungs- und Ausführungs-fehler beim Bau	Vandalismus	
	Schädigung durch Weidevieh	Unsachgemäße Bauten/ Baumaßnahmen	
Kein Hochwasser, keine mittlere Deichbruchgefahr, kein Risiko für materielle und immaterielle Güter im Deichhinterland			

Tabelle 3: Ursachen für Deichschäden vor/nach dem Hochwasser (in Anlehnung an HASELSTEINER und STROBL; 2005)

während dem Hochwasser			
Einwirkung	Ursachen	Folgeschäden	
		Hydrodynamische Bodendeformation	Globales/Lokales geotechnisches Versagen
Bepflanzung mit Gehölzen ohne Sicherung	Erschwerung von Deich-überwachung und Deich-verteidigung	Erosion ¹ der Untergrundsichten (Kontakterosion)	Setzungen, Senkungen, Zerrungen, Stauchungen
	Ansatzpunkte für Erosion/Kolk	Rückschreitende Erosion ¹ (Piping)	Grundbruch am Dammfuß
	Erhöhung Sickerlinie durch Pumpeffekt	Erosion ¹ an Bauwerksfugen (Fugenerosion)	Spreizen am Böschungsfuß
	Erhöhung Wasserspiegel durch Verkläuerung oder Windwurf auf Deich-oberfläche	Suffosion/Kolmation	Gleiten/Abschieben Deich mit Dichtung
¹ Innere Erosion ² Oberflächenerosion		Erosion ² durch Überströmen (Krone/Böschung)	Bodenverfüssigung
		Erosion ² durch Hangquelle (landseitig)	Sackungen/Einbrüche
		Erosion ² durch Windwellen/Strömung (wasserseitig)	Auftrieb
		Hydraulischer Grundbruch	Böschungsbruch Rutschungen (global+lokal)
		↓	
		Deichbruch (Überschwemmung des Hinterlandes)	
Durchsickerung des Deiches und des Untergrundes, Gefahr des Deichbruches, hohes Risiko für materielle und immaterielle Güter im Deichhinterland			

Tabelle 4: Ursachen für Deichschäden während des Hochwassers (in Anlehnung an HASELSTEINER und STROBL; 2005)

In dieser Diplomarbeit werden die von HASELSTEINER und STROBL (2005) angeführten Schäden ergänzt durch aufgezählte Schäden des BAYRISCHEN LANDESAMTES (2002) und des MINISTERIUMS FÜR UMWELT UND FORST RHEINLAND PFALZ (2005). Sie sind geordnet nach Schäden an der Böschungsoberfläche, Schäden an der landseitigen Böschung, Schäden an der wasserseitigen Böschung und nach Schäden im Inneren des Dammes. Einen Überblick über einige Auswirkungen dieser Schäden auf den Damm bietet Abbildung 7.

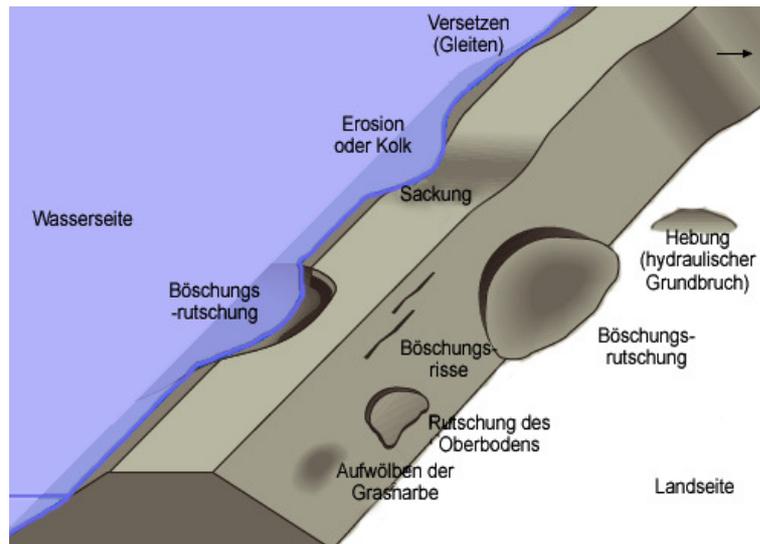


Abbildung 7: Dammverformungen (in Anlehnung an das MINISTERIUM FÜR UMWELT UND FORST RHEINLAND PFALZ; 2005)

2.5.2. Schäden an der Böschungsoberfläche

Wetterbedingte Schäden

Ist die Oberfläche des Dammes nicht ausreichend geschützt, können wetterbedingte Einflüsse wie Wind, Regen und Schnee eine Oberflächenerosion hervorrufen (siehe Abbildung 8). Besonders hilflos der Witterung gegenüber sind Dämme nach

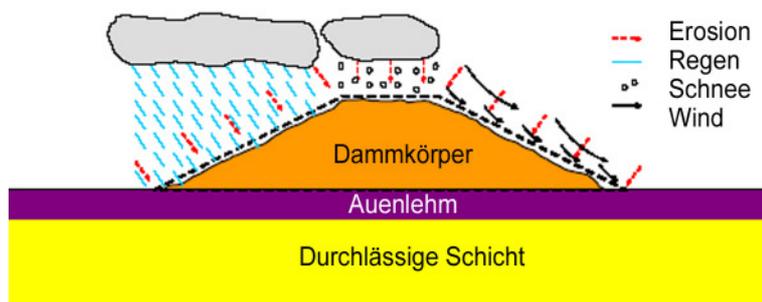


Abbildung 8: Wetterbedingte Erosion (in Anlehnung an HASELSTEINER und STROBL; 2005)

Baumaßnahmen, wenn Böschung und Oberfläche noch keine Vegetationsdecke haben. Eine schnelle Abdeckung mit Heu oder Stroh kann eine Abhilfe schaffen. Frost-Tau-Wechsel können den Boden durch Volumenänderung bis zur Frosttiefe lockern.

Wühltiere

Wühltiere können die Vegetationsdecke, den Dammkörper und Dichtungen schädigen. Sie bauen Gänge in Form von länglichen Hohlräumen in den Damm, die bei hydraulischer Belastung einsturzgefährdet und erosionsanfällig sind. Besonders gerne gehen Wühltiere in flussnahe Dämme (Schardeiche) aus standfestem, bindigem Material.

Fremdnutzung durch Beweidung

Durch zu lange Beweidung eines Dammes oder Beweidung mit Großvieh kann die Vegetationsdecke und somit der Erosionsschutz zerstört werden. Besonders stark sind die Auswirkungen, wenn der Boden durch Regenfälle durchfeuchtet ist.

Gehölze

Gehölze können nach DVWK 210/1986 und HASELSTEINER UND STROBL (2005) eine Erhöhung des Wasserspiegels, durch Windwurf bedingte Wurzelkrater oder eine Beschädigung des Dränkörpers durch eingewachsene Wurzeln verursachen und dadurch den Damm schädigen. Mehr dazu in Kapitel 2.7.

Austrocknen von Oberflächendichtungen

Durch den Volumsverlust bei der Austrocknung der Dichtung können Risse auftreten, die eine verstärkte Durchsickerung zulassen.

2.5.3. Schäden an der wasserseitigen Böschung

Durch Strömungskraft, Wellenlauf (siehe Abbildung 9) und Eisstau können wegen der hohen Belastungen Erosionserscheinungen an der Dammseite auftreten. Ist erst einmal die Vegetationsschicht zerstört, können die Belastungen ungehindert auf

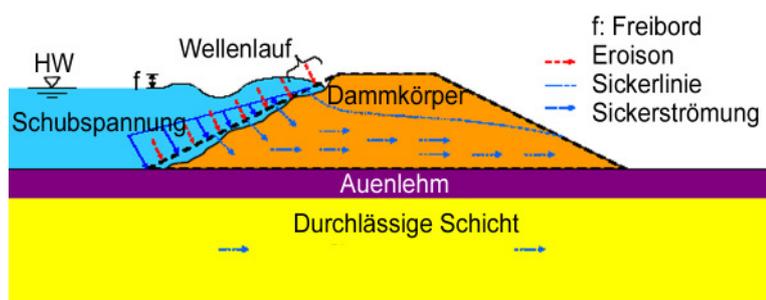


Abbildung 9: Schäden an der Böschung durch Wellenlauf (in Anlehnung an HASELSTEINER und STROBL; 2005)

den Damm einwirken. Es kann zu Verformungen, Sackungen und Böschungsabbrüchen kommen (siehe Abbildung 7). Diese sind im Hochwasserfall meist nur oberhalb des aktuellen Hochwasserspiegels zu erkennen. Wasseraustritte auf der landseitigen Böschung können ein Hinweis für eine Beschädigung der wasserseitigen Böschung sein.

2.5.4. Schäden an der landseitigen Böschung

Böschungsbruch/Böschungsrutschung

Ein Böschungsbruch tritt ein, wenn die Böschung eines Dammes mit einem Teil des umgebenden Erdreiches auf einer Gleitfläche, auf welcher der Scherwiderstand des Bodens überwunden wird, abrutscht. Die Gleitfläche ist für homogene Dammkörper etwa kreisförmig, für nicht homogene Dämme kann sie andere Formen annehmen (DIN 4084).

Böschungsbrüche treten besonders bei Durchsickerung des Dammes und bei durch Sättigung des Bodens veränderten Scherkräften auf. Durch hydraulische Belastungen wird die Standsicherheit noch weiter herabgesetzt (HASELSTEINER und STROBL; 2005).

Landseitiges Austreten von Sickerwasser

Sickerwasser tritt an der landseitigen Böschung aus, wenn der Damm lange genug eingestaut ist und Wasser durchsickert. Beim Austreten kann die Oberfläche erodiert werden (siehe Abbildung 10). Der Austritt von trübem Sickerwasser (Materialtransport Ausspülung von Feinteilen) kündigt weitere gefährliche Verformungen wie in Abbildung 7 an.

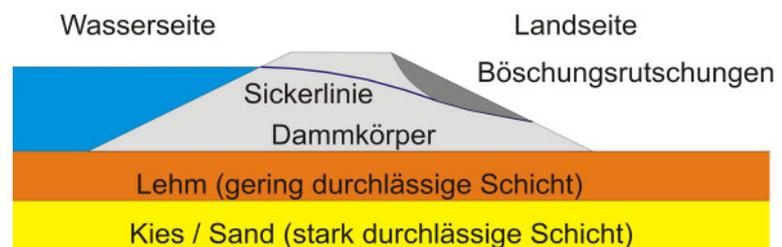


Abbildung 10: Böschungsrutschung auf Grund von Sickerwasseraustritten (LAMMERANNER und MEIXNER; 2007)

2.5.5. Schäden im Inneren des Dammes

Schäden im inneren des Dammes sind oft strömungsbedingte Versagensfälle. Durch die Strömung kommt es zu Materialtransporten.

Hydraulischer Grundbruch

Ein hydraulischer Grundbruch tritt ein, wenn eine nach oben gerichtete Grundwasserströmung die Scherfestigkeit des Bodens verringert: Bodenteilchen werden mit dem Wasserstrom aus dem Boden nach oben

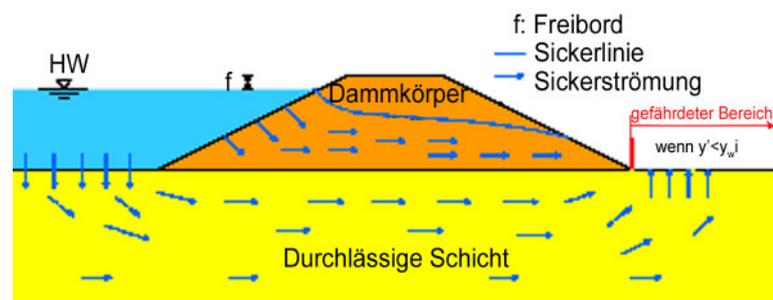


Abbildung 11: Hydraulischer Grundbruch (in Anlehnung an HASELSTEINER und STROBL; 2005)

gerissen. Dadurch entstehen am landseitigen Dammfuß Auflockerungen in Form von Rissen und Spalten (siehe Abbildung 11) (RÖSSERT; 1994).

Grundbruch

Ist der Damm auf weichen Schichten gebaut, können diese nachgeben und Rutschungen oder Nachsacken der Böschung am Böschungsfuß verursachen. Es kommt zu Spalten- und Rissbildung auf Böschung und Krone (siehe Abbildung 12).

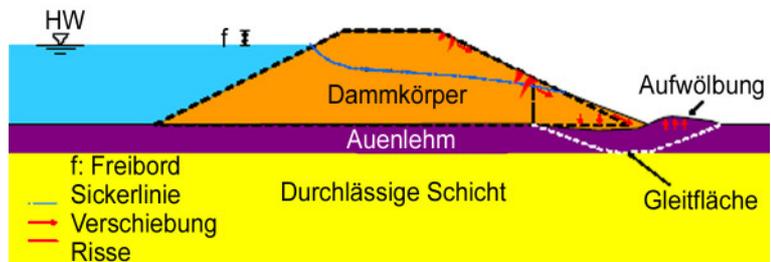


Abbildung 12: Grundbruch (in Anlehnung an HASELSTEINER und STROBL; 2005)

Auftrieb

Liegt eine gering durchlässige Schicht über einer stark durchlässigen Schicht, kann sich der Wasserdruck vom Oberwasser bis zum Hinterland hin weiterentwickeln. Ist der Druck (S) dann größer als die Auflast (G) kann der Damm, wie

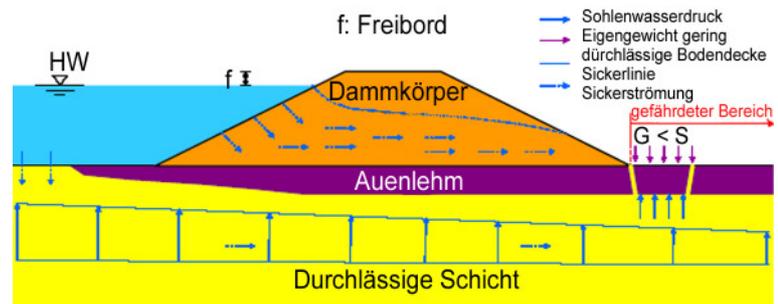


Abbildung 13: Auftrieb (in Anlehnung an HASELSTEINER und STROBL; 2005)

in Abbildung 13 zu sehen ist, gehoben werden. Sohlenwasserdruck im Hinterland kann sich nur entwickeln, wenn der Untergrund durchlässig genug ist.

Rückschreitende Erosion

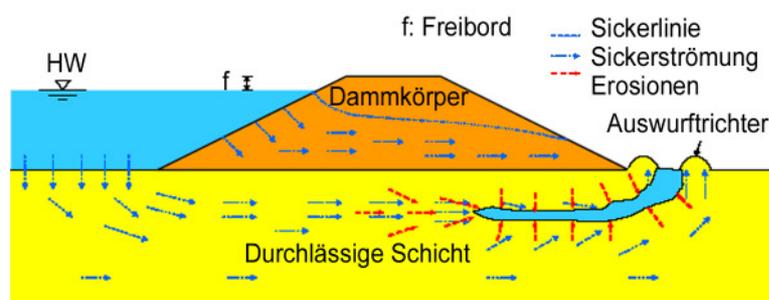


Abbildung 14: Rückschreitende Erosion (in Anlehnung an HASELSTEINER und STROBL; 2005)

Strömungsbedingt wird Material von der Wasserseite zur Landseite hin transportiert. Dadurch entsteht ein Erosionskanal,

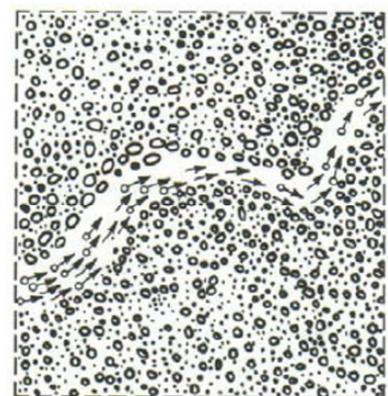


Abbildung 15: Rückschreitende Erosion (DVWK 210/1986)

der zur Wasserseite hin wächst (siehe Abbildung 14 und 15). Hierbei spricht man von rückschreitender Erosion. Bildet sich ein durchgehender Kanal, kann es zu großflächigen Ausbrüchen kommen.

Kontakterosion

Kontakterosion tritt an der Grenze zweier verschiedenkörniger Bodenschichten von fein- zu grobkörnig. Durch die Strömung werden die feineren Teilchen ausgewaschen und durch den größeren Boden transportiert. Dadurch wird das Bodenvolumen an den Schichtgrenzen vermindert, größere Teilchen können in den feineren Boden einsinken (siehe Abbildung 16). Dies vermindert die Stabilität des Damms.

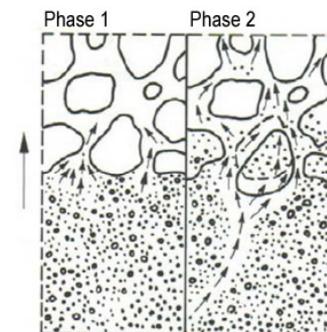


Abbildung 16: Kontakterosion (DVWK 210/1986)

Suffosion

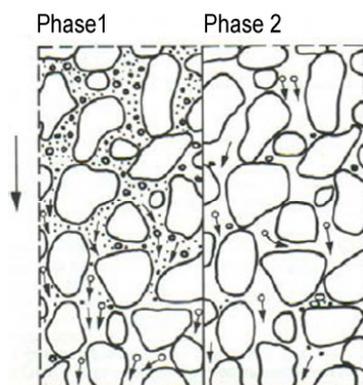


Abbildung 17: Suffosion (DVWK 210/1986)

Suffosion ist die Auswaschung der Feinteile aus dem Boden (siehe Abbildung 17). Das Korngerüst bleibt bestehen, wird aber immer instabiler. Bei Dämmen kommt dies beim Übergang von Dichtungen zu Stützkörpern vor, die Dichtungswirkung geht dadurch verloren. Weiters kann der Damm als Konsequenz einsacken.

Kolmation

Ist das Gegenteil der Suffosion, Bodenteilchen werden in einen Erdkörper eingespült. Dadurch kann sich eine Schicht, bei Dämmen meist die Dränschicht, verdichten. Diese wirkt nun als Dichtung und kann den Austritt der Sickerwasserlinie erhöhen.

Bewegung des Dammkörpers

Ist der Dammkörper oder der Untergrund Bewegungen wie Setzungen oder Senkungen ausgesetzt, können Zerrungen oder Stauchungen auftreten (siehe Abbildung 18), die zu Rissen führen können. Entlang

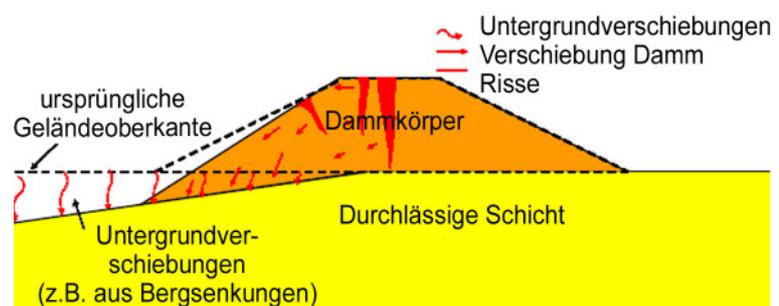


Abbildung 18: Setzungen und Senkungen des Deichuntergrundes (in Anlehnung an HASELSTEINER und STROBL; 2005)

dieser kann vermehrt Sickerwasser eindringen und Erosion bewirken.

Beim Spreizen bewegt sich der Dammfuß entlang einer Scherfuge sternförmig vom Damm weg. Es kann zu Rutschungen oder Nachsacken kommen, Risse und Spalten entstehen.

Entstehen durch verrottete Wurzeln, Wühltiertätigkeit oder aus anderen Gründen Hohlräume, kann es zu Einbrüchen, Senkungen oder Sackungen kommen (siehe Abbildung 7). Besonders kritisch sind Einbrüche der Dammkrone, da diese den Freibord verringern.

Unsachgemäßer Dammaufbau und Ausführungsfehler

Dämme bekommen durch Reparaturen und Veränderungen oft einen sehr heterogenen Aufbau. Das Verhalten dieser Dämme bei einem Hochwasser ist nicht vorauszusagen. Landseitig dichtere Schichten können zur Erhöhung der Sickerlinie und somit auch zur Erhöhung der Druckbeanspruchung der Böschung führen, was zu Instabilitäten führt.

Gehölze

Auch im Inneren des Dammes können Gehölze nach DVWK 210/1986 und HASELSTEINER und STROBL (2005) durch die Wurzeln, ihre Bewegungen und hinterlassenen Hohlräume, Schäden verursachen. Mehr dazu in Kapitel 2.7.

2.5.6. Dambruch



Abbildung 19: Dambruch an der Elbe 2002
(INTERNET 1)



Abbildung 20: Dambruch am Kamp 2002
(INTERNET 2)

Der Dambruch ist das Kompletterversagen eines Dammes. In Folge wird das Hinterland überflutet (siehe Abbildung 19 und 20). Die Höhe des Schadens hängt meist von der Nutzung der Fläche und der Höhe und Geschwindigkeit der Überflutung ab. Dammkörper und Dammuntergrund werden durch die Schleppkraft erodiert. Meist geht dem Dambruch eine Überströmung voran (siehe Kapitel 2.6.). Zum Dambruch kommt es durch das Zusammenwirken verschiedener Folgeschäden vorangegangener Belastungen. *“Der Deich*

*bricht nicht am Regelquerschnitt, sondern im Bereich einer Anomalie“ (ARMBRUSTER-
VENETI; 1999).*

Zwei bedeutende Fragen, die bei der Dammverteidigung zur Sicherheit der Betroffenen beitragen, sind:

- Wie lange dauert es, bis ein Damm bricht?
- Wie schnell breitet sich das Hochwasser bei einem Dambruch im Hinterland aus?

Dämme sind sehr heterogene Bauwerke mit einer geringen Höhe. Die Überflutung des Hinterlandes ist stark von der Hochwasserwelle abhängig. Daher sind theoretische Erkenntnisse oft in der Praxis nicht umsetzbar.

Die Definition des Beginns eines Bruches und somit auch die Weiterentwicklung anzugeben, ist schwierig. Es könnte der Zeitpunkt angenommen werden, an dem sich der Zufluss zum Hinterland wesentlich vergrößert, eine exakte Angabe ist aber nicht möglich. HASELSTEINER und STROBL (2005) geben sehr verschiedene Beispiele mit verschiedenen langen Zeiten vom Beginn bis zum tatsächlichen Dambruch an: 15 min bis mehrere Stunden. Daher ist in der Praxis immer eine Annahme zu treffen, die den schlimmsten Fall berücksichtigt. Für das Dammhinterland muss immer mit einer besonders schnellen und großen Überflutung gerechnet werden.

Die Versagenswahrscheinlichkeit von Dämmen ist stark abhängig von der Einstaudauer, der Einstauhöhe und dem Zustand des Dammes. Lang eingestaute Dämme halten niedrigeren Überströmungshöhen stand im Vergleich zu kurz eingestauten. Die Ermittlung der Versagenswahrscheinlichkeit muss immer im Zusammenhang mit dem Schadenspotential gesehen werden. Dadurch wird das Risiko definiert. Durch das Risikomanagement wird es auf ein vertretbares Restrisiko reduziert. Reduzieren kann man dieses durch Modernisierungen, Sanierungen, etc. und durch die Anlage von Überlaufstrecken und Flutpoldern.

2.6. Überströmung eines Deiches

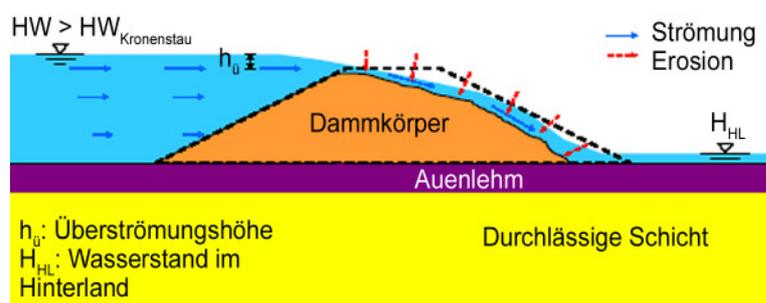


Abbildung 21: Überströmen der Krone und Erosion der Krone und landseitigen Böschung abgeändert (in Anlehnung an HASELSTEINER und STROBL; 2005)

(siehe Abbildung 21). HASELSTEINER und STROBL (2005) geben als Hauptversagensursachen die einwirkenden Strömungskräfte durch Infiltration der oberen Schicht an. Dadurch wird die Scherfestigkeit verringert und es kann zu Böschungsruutschungen kommen, die Böschung nachsacken (= Kappensturz). Vorzugsweise werden Dämme an Stellen überströmt, an denen durch jahrelange Erosionsprozesse eine Senkung der Dammkrone stattgefunden hat. Eine intakte Vegetationsdecke, ein stabiler Kronenaufbau und eine flache landseitige Böschung können die Erosion einschränken (HASELSTEINER und STROBL; 2005).

Wegen der meist schwerwiegenden Auswirkungen einer unkontrollierten Überströmung von Dämmen sollten Überströmstrecken eingeplant werden, die gezielt Flächen mit geringerem Schadenspotential überfluten (QUEIßER; 2006).

2.6.1. Überströmstrecken

Überströmstrecken haben eine geringere Kronenhöhe und flachere Böschungen mit entsprechenden Erosionssicherungen. Sie entlasten den Rest des Dammes durch „gezielten Wasserablass“ (QUEIßER; 2006). Die Anschlüsse an die nebenliegenden Dammbereiche sind besonders sorgfältig zu konstruieren, speziell am Böschungsfuß.

Bei der Planung von Überströmstrecken muss darauf geachtet werden, dass bei einer geplanten Überflutung keine Schäden auftreten und dass sich keine Verschlechterung der Durchsickerung und der Standsicherheit des Dammes ergibt. Weiters muss der Einbau in schon bestehende Dämme möglich sein. Der Bau soll wirtschaftlich sein. Das Deckwerk muss starken Belastungen widerstehen und daher sehr dauerhaft, erosionsstabil, und plastisch sein, eine hohe Wasserdurchlässigkeit sowie eine Begrünung zulassen.

Ein Damm wird überströmt, wenn der Wasserstand höher als die Dammkrone steigt. Die auftretende Schubspannung kann die landseitige Böschung und die Krone erodieren: In Abhängigkeit vom Dammaufbau und Untergrund verschieden stark, bis hin zum Dambruch

Die Widerstandsfähigkeit einer Überströmstrecke hängt von ihrer Lage, der Ausbildung des Überlaufbauwerkes (Überlaufkoten, Anströmung, Kronenform) und dem resultierenden Wasserstand der zu erwartenden Hochwasserwelle ab. Nach HASELSTEINER und STROBL (2005) können folgende Maßnahmen zur Sicherung von Böschungen an Überlaufstrecken herangezogen werden:

- Abflachen der Böschungen (z. B. auf 1:15)
- Naturnahe Sicherungsbauweisen (z. B. lebender Steinsatz)
- Verwendung von Geokunststoffen (z. B. Bewehrung mit Geogitter oder Maschenware)
- Bodenverfestigung (z. B. mit Kalk und Zement)
- Gebundene, dränfähige Baustoffe (z. B. Dränasphalt, -beton, Mastix-Schotter)
- Deckwerke (z. B. Steinwurf oder Steinsatz)
- Besondere Konstruktionslösungen / Kombinationen (z. B. mit Geogitter ummantelte Steinpackungen).

Aufgrund der fehlenden Platz- und Eigentumsverhältnisse ist eine Abflachung auf die empfohlenen Neigungen mit entsprechender Ausdehnung der Böschung oft nicht möglich. Der Erosionsschutz einer Vegetationsdecke hängt von der Vegetationszeit ab und kann im Winter geringer sein. Deshalb wird eine Abflachung der Böschungen mit Sicherung des Böschungsfußes ohne zusätzliche Schutzmaßnahmen i. d. R. keine Anwendung finden (HASELSTEINER und STROBL; 2005).

2.6.2. Hydraulik überströmter Deiche

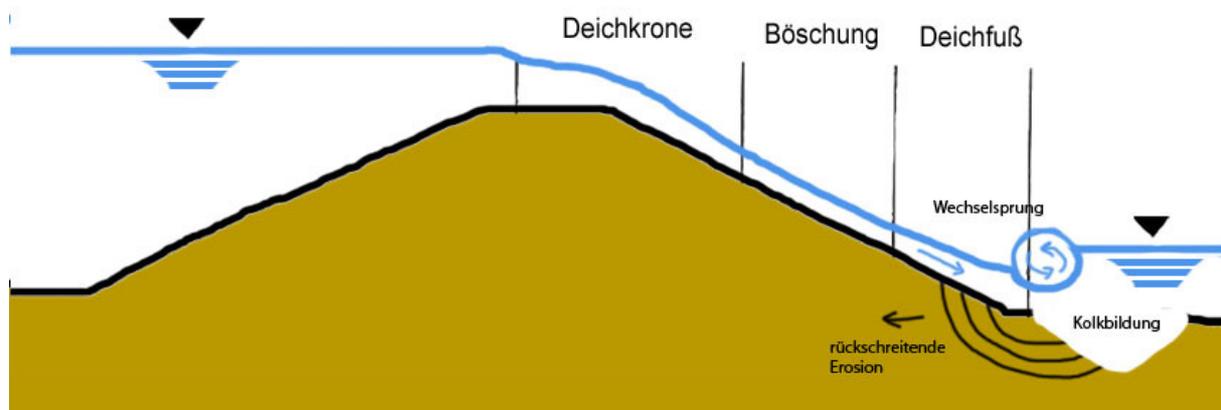


Abbildung 22: Hydraulik überströmter Dämme (in Anlehnung an BIEBERSTEIN et al; 2004)

Abbildung 22 zeigt die hydraulisch maßgebenden Abflussbereiche bei der Überströmung eines Dammes.

Diese sind: (BIEBERSTEIN et al; 2004 sowie QUEIßER; 2006)

- **Dammkrone:** Der Wechsel vom strömenden zum schießenden Abfluss findet dort statt, wo sich der höchste Punkt der Dammkrone befindet. Nach der Kante beschleunigt sich der Abfluss, bis sich ein gleich bleibender, schießender Normalabfluss einstellt.
- **Böschung:** Auf der Böschung herrscht gleich bleibender, schießender Normalabfluss. Geschwindigkeit und Fließtiefe bleiben gleich, die Schubspannung wirkt auf die Oberfläche.
- **Dammfuß:** Durch einen erneuten Gefällewechsel/Fließwechsel in Form eines Wechselsprunges kommt es zum strömenden Abfluss. Es entstehen hohe Turbulenzen, welche eine starke Belastung für die Sohle sind. Diese gilt es daher gezielt zu sichern, ansonsten kommt es zu unzulässiger Kolkbildung und zur Gefahr der rückschreitenden Erosion (siehe Abbildung 15, S.32), welche zum Versagen des ganzen Dammes führen kann.

2.6.3. Landschaftsverträgliche Überströmstrecken

Landschaftsgestalterische Kriterien

Ein leicht geschwungener Verlauf und flache Böschungen fügen den Damm natürlicher in die Umgebung ein. Eine Begrünung ist für die Landschaftsverträglichkeit unumgänglich. Kostenaspekte und das mangelnde Platzangebot machen teilweise den Bau von steilen Böschungen notwendig (QUEIßER; 2006).

Technische Kriterien

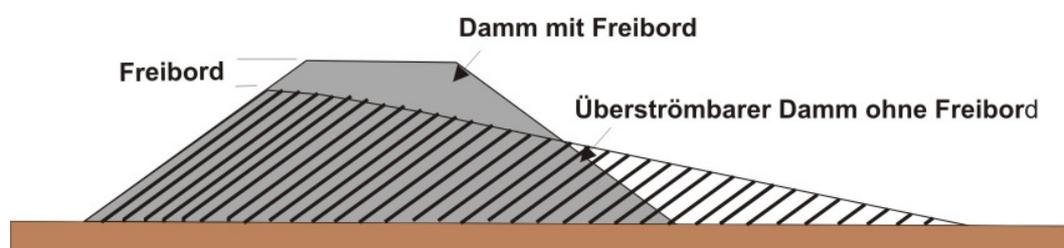


Abbildung 23: Vergleich von Dämmen mit und ohne Freibord (in Anlehnung an QUEIßER; 2006)

Bei Überströmstrecken wird von dem Grundsatz abgewichen, unter allen Umständen eine Überschwemmung zu verhindern und es wird versucht, die landseitige Böschung gegen diesen Lastfall zu sichern (QUEIßER, 2006). Abbildung 23 zeigt einen Damm mit und einen

Damm ohne Freibord. Ist die landseitige Böschung flach genug und gut gesichert, kann sie Überströmungen besser überstehen als Dämme mit geringerer Aufstandsfläche und steileren Böschungen.

Insgesamt lassen sich nach BIEBERSTEIN et al; (2004) für Böschungssicherungen folgende technische Anforderungen definieren:

- Widerstandsfähigkeit gegen Überströmung
- Dauerhaftigkeit/Langzeitstabilität
- Zuverlässig hohe Wasserdurchlässigkeit
- Erosionsstabilität und Fugenlosigkeit
- Verformbarkeit/Plastizität (wegen möglicher Setzung)
- Möglichkeit zur Begrünung.

2.6.4. Messung der Überströmung

Folgende Messmethode für die Überströmung führt QUEIBER (2006) an: An einem computergesteuerten Messwagen (siehe Abbildung 24), der an jede beliebige Stelle der Deichböschung fahren kann, ist ein Laser montiert, der den Abstand vom Gerät zur Dammoberfläche misst. So kann die Geometrie des Dammes vor und nach einer Überströmung verglichen werden. Zusätzlich ist ein Mikroflügel am Messwagen befestigt, der die Fließgeschwindigkeit während der Überströmung bestimmt. Durch eine mit durchsichtigem Millimeterpapier beklebte Plexiglaswand können Wasserstände abgemessen werden. Dies ist allerdings nur an der Dammkrone gut möglich. Ein weiteres Messverfahren ist das der Druckmessung.



Abbildung 24: Messhäuschen
QUEIBER; 2006

Druckmessgeräte an der Sohle geben Angaben über die Druckverhältnisse und somit über die Höhe der Wassersäule an der Sohle.

In einem Überflutungsversuch von KRONER (2002) wurde die Messung der Schäden hauptsächlich über visuelle Beurteilung durchgeführt. Es wurden vier Versuchsflächen angelegt, die jeweils einen Meter breit und überflutbar waren. Jede dieser 4 Flächen wurde anders gesichert. Es gab eine Nullvariante (Grasbewuchs ohne zusätzliche Sicherung) und

drei extra gesicherte Flächen durch verschiedene Systeme. Nach der Flutung wurden die Systeme bezüglich ihrer Bewurzelung, mechanischen Schäden am Bewuchs, der Dichte der Grasnarbe, Erosionserscheinungen und dem Zustand der Sicherungssysteme untersucht. Die Ergebnisse wurden zwischen den verschiedenen Versuchsflächen verglichen (KRONER; 2002).

2.7. Gehölze auf Dämmen

Zu Beginn des Kapitels sollen einige Zitate die Kontroversität des Themas „Gehölze auf Dämmen“ aufzeigen.

„Bepflanzte Dämme an Gewässern sind den meisten Wasserbauern ein Graus. Schäden an Dämmen werden fehlinterpretiert und schlagen sich rückfällig in übersteigertem technisch geprägtem Sicherheitsdenken nieder. Auf die landschaftsbezogene Bepflanzung von Flusseitendämmen dürfen wir aber nicht verzichten.“ (KAGERER; 1999)

„Nach den Verfassern der DIN 19712 sind Bäume auf Deichen unerwünscht!“ (WESSOLLY; 2007)

“In light of recent reviews of levees in Missouri, the attitude that woody vegetation is undesirable and negatively affects the maintenance and stability of the levee structure may be unjustified and an unwarranted position”. (WALLACE et al; 1994)

„Im Regelfall beeinträchtigen Bäume, Sträucher und Hecken auf Deichen die Standsicherheit und die Unterhaltung.“ (DVWK 210/1986)

„Gehölzbewuchs kann nur zugelassen werden, wenn eine Durchwurzelung des statisch erforderlichen Deichquerschnittes durch geeignete Maßnahmen ausgeschlossen werden kann und Dichtungen auch nach längerem Wachstum unbeschädigt bleiben. Wasserseitige Böschungen, Krone, Bermen und das untere Drittel der landseitigen Böschung sind gehölzfrei zu halten.“ (DVWK 226/1993)

“Levees may fail from overtopping, surface erosion, shear failure (slope instability) of the embankment or foundation, and piping. Vegetation on levees can potentially influence all of these processes.” (REMR EI-M-1,4)

„Die Berechnungen durch ein Spezialbüro für Deiche (Seidl & Partner, Regensburg) hat erbracht, dass die Durchwurzelung mit Baumwurzeln eine signifikante Erhöhung der Deichstabilität erbringen kann. Das ist zwar ein Einzelergebnis eines bestimmten Deiches mit zwei Baumarten. Aber sie lassen zumindest den Schluss zu, dass die Unvereinbarkeit von Bäumen und Deichen nicht zwangsläufig gegeben ist.“ (WESSOLLY; 2007)

Wie aus den oben angeführten Zitaten ersichtlich, gibt es zum Thema „Gehölze auf Dämmen“ die verschiedensten Meinungen. Allgemein kann gesagt werden, dass

Regelwerke, Landesämter und andere öffentliche Stellen Gehölzen auf Dämmen negativ gegenüberstehen. Im Gegensatz dazu verlangen Ingenieurbiologen, weite Kreise der Bevölkerung und ökologische Einrichtungen aus ästhetischen, ökologischen und ökonomischen Gründen nach Gehölzen auf Dämmen und suchen nach Wegen dies zu ermöglichen. Gehölze können an Dämmen positive und negative Funktionen übernehmen. Auf den folgenden Seiten werden, die Vor- und Nachteile von Gehölzen auf Dämmen behandelt. Viele Studien zum Thema Gehölze auf Dämmen gibt es allerdings noch nicht. Außerdem wird großteils über alle Gehölze ohne jegliche Differenzierung gesprochen. „Untersuchungen zu diesem Thema scheinen nicht gemacht worden zu sein, jedenfalls sind Untersuchungsergebnisse in der Literatur nicht zu finden. Eine Differenzierung nach Ausbildung des Gehölzbestandes, nach Gehölzarten und nach standörtlichen Gegebenheiten wird nicht vorgenommen“ (PFLUG und STÄHR; 1999).

2.7.1. Nachteile von Gehölzen auf Dämmen

Windbelastung

Der Wind ist die mechanische Hauptlast, gegen die sich ein Gehölz behaupten muss. Die Belastung wird bestimmt durch die Windgeschwindigkeit und Größe der Angriffsflächen. Die Lasten werden vom Blattwerk, über die Äste und den Stamm in die Wurzeln und schließlich in den Boden übertragen. Ältere Gehölze sind standsicherer als Junge, die eine große Schlankheit und relativ geringe Stammdurchmesser und Wurzelreichweiten haben (HASELSTEINER und STROBL; 2005).

Durch die Anwesenheit von Gehölzen am Damm erfährt dieser also eine Mehrbelastung durch das Eigengewicht und die übertragenen Schubkräfte. Durch den Wind kommt es, wie in Abbildung 25 zu sehen ist, zur Bewegung der Wurzeln, wodurch diese nach

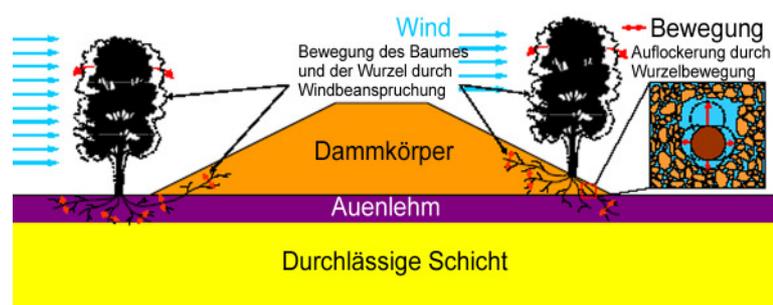


Abbildung 25: Auflockerung des Bodens durch Gehölze (in Anlehnung an HASELSTEINER und STROBL; 2005)

HASELSTEINER und STROBL (2005) den Damm lockern können. Die Lagerungsdichte des Bodens wird in diesem Bereich vermindert und die Durchlässigkeit erhöht. Entlang der Wurzel kann dadurch Kontakterosion auftreten.

Dringen Gehölze von der Wasserseite mit ihren Wurzeln in den Dammkörper ein, kann durch die vom Wind ausgelöste Bewegung entlang der Wurzelkanäle Wasser in den Damm

„gepumpt“ werden, was zur Erhöhung der Sickerlinie führt (HASELSTEINER und STROBL;2005).

Windwurf

Starker Sturm kann Wurzeln soweit lockern, dass die Gehölze in weiterer Folge umstürzen (= Windwurf). Sie reißen Wurzelkrater in den Damm, die zu Rutschungen und Einbrüchen und in den meisten Fällen zum Dambruch führen (DVWK 210/1986).

Abgestorbene Gehölzwurzeln

Stirbt eine Wurzel ab, verrottet sie und hinterlässt nach DVWK 210/1986 Hohlräume in Form von Sickerwegen. Diese können den Boden durchlässiger und somit erosionsanfälliger machen HASELSTEINER und STROBL (2005).

Durchwurzelung von Dichtungen

Wenn Wurzeln in Dichtungen wachsen und nachher absterben, können sie eine Sickerwegverkürzung und somit eine Durchströmung des Dammes verursachen. Der Wasserdruck wird durch die beginnende Durchströmung erhöht und die allgemeine Standsicherheit herabgesetzt (DÖSHER; 1999).

Durchwurzelung des Dränkörpers

Auch das Einwachsen der Wurzeln in den Dränkörper und die damit verbundenen mechanischen Beschädigungen können sich negativ auswirken. Es kommt zur Einspülung verschiedener Materialien in den Dränkörper, welche diesen nach HASELSTEINER und STROBL (2005) unwirksam machen. Dadurch wird die Sickerwasserlinie erhöht und es tritt in weiterer Folge vermehrt Erosion auf.

Aufstau des Wassers durch wasserseitige Gehölze

Gehölze an der Wasserseite der Dämme können den Wasserstand durch Aufstauen der Strömung und Verklausung zum Ansteigen bringen (HASELSTEINER und STROBL; 2005). Bei starken Strömungen sind diese Gehölze Ansatzpunkt für Beschädigungen der Böschung (DVWK 210/1986).

Beschattung

Die starke Beschattung durch den Gehölzbewuchs unterdrückt nach DVWK 210/1986 die Ausbildung einer schützenden, geschlossenen Grasnarbe.

Wühltiere

Die Attraktivität von Dämmen als Lebensstandort für viele Wühltierarten, wird aufgrund der Schutzwirkung von Gehölzen, gesteigert (DVWK 210/1986). Für HASELSTEINER und STROBL (2005) wird durch verstärkte Wühltieraktivität der Damm besonders geschwächt.

Dammunterhaltung und Dammverteidigung

Die Unterhaltung des Dammes kann durch Gehölze erschwert werden, da großmaschinelle Einsätze teilweise unmöglich werden. Die Behebung von Schäden wird erschwert. Ebenso können Deichverteidigung und Überwachungsarbeiten durch Gehölz behindert oder unmöglich gemacht werden. So zum Beispiel die Beobachtung von Sickerwasseraustritten (HASELSTEINER und STROBL; 2005).

Aus all diesen Argumenten heraus hat sich die allgemeine Meinung gebildet, dass Dämme nicht mit Gehölzen zu bepflanzen sind. Allerdings wird von Seiten des Landschaftsschutzes immer mehr zu bewachsenen Dämmen gedrängt. Daher ist nach Lösungen zu suchen, die zumindest teilweise Gehölze auf Dämmen zulassen, die Sicherheit dieser aber nicht herabsetzen.

2.7.2. Vorteile von Gehölzen auf Dämmen

Gehölze können Dämmen für die Standsicherheit, den ökologischen und den ästhetischen Wert zahlreiche Vorteile verschaffen.

Eigenschaften von Pflanzen mit hohem ökotechnischen Wert (= Widerstandsfähigkeit von Pflanzen und/oder Pflanzenteilen gegenüber mechanischen Kräften, die auf den Spross und/oder die Wurzel wirken) nach SCHIECHTL und STERN (2002):

- Die Resistenz gegen mechanische Beanspruchung von Spross und Wurzel (durch hohe Fließgeschwindigkeiten, große Schleppkräfte, starke Strömungsdrücke und turbulente Wasserströmungen, Geschiebeeinstoss, temporären Abtrag und Auflandung, Zug- und Scherspannung).
- Die Resistenz gegen periodische und episodische Überflutungen: Rascher Einstau ist schädlicher als langsamer.
- Die Resistenz gegen Einschotterung: Weiden vertragen das Einschütten mit dichten Schichten bis zu 3 m bzw. 30% der Baumhöhe. Dichtes, schluffig-toniges Sediment überstehen diese Pflanzen schlechter als die Überschüttung mit Grobgeschiebe.
- Die Fähigkeit, im Wasser schwimmende Wurzeln zu bilden.

- Eine bodenfestigende (bodenbindende) Wirkung. Diese hängt von Wurzelform, Wurzeltiefe und Dichte der Bewurzelung, also der Wurzelmasse ab.
- Die Fähigkeit zur Rohbodenbesiedelung.
- Eine standortverbessernde Wirkung. Die Aufbaukraft Böden für die nächste Sukzessionsstufe vorzubereiten (Bodenfestigung, Verbesserung des Kleinklimas, Wuchsgeschwindigkeit, Stoffproduktion)
- Salzrestistenz
- Die Lebensfähigkeit in verschmutztem, mit Schadstoffen belastetem Wasser.
- Wasserreinigungskraft

Mit diesen Eigenschaften können Gehölze wichtige Bestandteile der Böschungssicherung von Dämmen sein. Die genannten Faktoren leisten wie im Folgenden beschrieben einen wichtigen Beitrag zur Standsicherheit.

Stabilisierende Wirkungen der Wurzeln auf den Damm

Im Vergleich zur Bewehrung der obersten Bodenschicht durch eine Grasnarbe, ist die Bewehrung des Dammkörpers durch einen Gehölzbestand ungleich stärker und wirkungsvoller.

Gehölze dringen in verschiedenen tiefe Schichten des Dammes ein und bilden so eine homogene, tiefgehende Bewurzelung (siehe Abbildung 26). Gibt es Inhomogenitäten wie Risse, Fugen, Spalten und Füllungen mit Feinkorn, wurzeln sie noch tiefer und sichern dadurch die instabilen Schichten.

Die Bewurzelungstiefe ist für Sicherungsarbeiten mit Gehölzen ein wichtiger Faktor. Es besteht jedoch das Problem, dass es kaum nachweisbare Berechnungsgrundlagen

für verlässliche Wurzeltiefen gibt. So muss auf Erfahrungswerte zurückgegriffen werden. Diese besagen, dass Böden, die mit ingenieurb biologischen Bauweisen bepflanzt sind bis zu 2 m nachhaltig gesichert sind. Bäume und Sträucher können tiefer wurzeln als Gräser oder

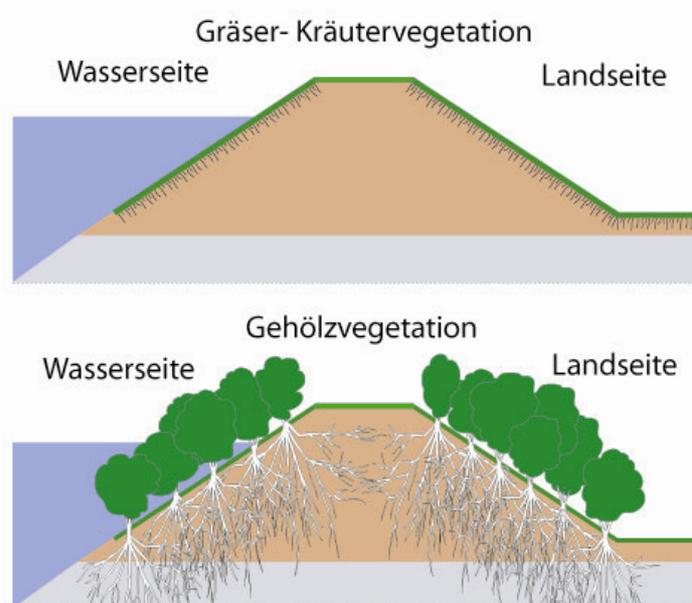


Abbildung 26: Homogenes Wachstum der Gehölzwurzeln durch die Schichten (LAMMERANNER und MEIXNER; 2007)

Kräuter (siehe KUTSCHERA und LICHTENEGGER; 2002). Ausschlaggebend hierfür ist allerdings die Tiefe der größten Durchwurzelungsintensität oder –dichte. Nur diese garantieren die Stabilität (NIEDERSCHICK; 2007).

Die Untersuchungen von STANGL und SCARPATETTI (2005) ergeben schon für eingelegte Gehölzspresse, die durch Dickenwachstum Hauptwurzelcharakter annehmen, eine sehr gute Tiefenbewehrung bis 2 m quer in den Hang hinein

Besonders wichtig, sowohl bei Gräser-Kräuter Begrünungen als auch bei Gehölzpflanzungen, ist die Diversität der Pflanzen in Wurzelart und Wurzeltiefe, die ein sehr vielseitiges, kräftiges Wurzelnetz ergeben.

Gehölze sind wie Gräser. Wenn ihre Wurzeln absterben, entstehen keine Hohlräume, sondern die Wurzeln vermodern und hinterlassen Humus. Bei Einzelbäumen können diese das Eindringen von Sickerwasser begünstigen, in einem geschlossenen Bestand werden diese allerdings schnell von neuen Wurzelgenerationen bewachsen und es entsteht keine Standsicherheitsminderung des Dammes. Ebenso ist es im Falle eines Windwurfes: Im geschlossenen Bestand übernehmen die nebenstehenden Gehölze die sichernde Funktion (PFLUG und STÄHR; 1999). Außerdem ist die Windwurfgefahr eher bei Bäumen eine Gefahr, nicht so bei kleineren, biegsamen Gehölzen.

Gehölze können die allgemeine Standsicherheit erhöhen, indem sie die Gleitflächen durchwachsen (siehe Abbildung 27). Dadurch ergibt sich eine so genannte Dübelwirkung, die den Scherwiderstand erhöht. In Bezug auf die örtliche Standsicherheit können Gehölze im Bereich eines

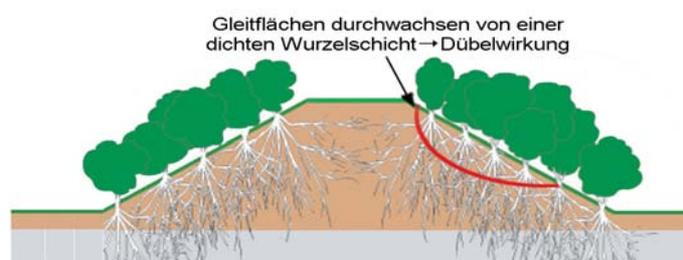


Abbildung 27: Dübelwirkung durch Wurzeln (in Anlehnung an LAMMERANN und MEIXNER; 2007)

Wasseraustrittes einen Drän ersetzen, wenn sie am Dammfuß wachsen und die Sickerwassermenge dem Wasserbedarf der Pflanzen entspricht (DÖSHER; 1999).

An Bahndämmen wurden die bodenfestigenden Eigenschaften von Gehölzen durch Untersuchungen bestätigt. Mehr dazu in KATZENBACH und WERNER (2005).

Stabilisierende Wirkung der Pflanzen bei starker Strömung

Gehölzbestand verringert die Strömungsgeschwindigkeit in Böschungsnähe je nach Verformbarkeit stärker als Grasbewuchs. Oberirdische Sprosse brechen die erodierende

Kraft des Wassers und vermindern die kinetischen Energie durch Umwandlung von Turbulenzen in Reibung, Wärme, Schwingung und Schall. Weiters wird bei Abgang von Treibholz und Eis die Böschung geschützt. *„Gehölze, die über die Böschungskante hinausragen, vermindern beim Austritt des Wassers aus dem Profil in die Überschwemmungszone die Strömungsgeschwindigkeit und schützen so die gefährdete Böschungsoberkante“* (SCHIECHTL, STERN; 2002). Gerade diese gilt es besonders zu schützen, da sie bei einer Überströmung extrem beansprucht wird und Überströmung der Hauptauslöser für einen Dambruch ist (SCHIECHTL, STERN; 2002).

Elastische Ufergehölze wie z.B. Strauchweiden biegen sich bei einer Überströmung und legen sich an den Boden an. Dadurch schützen sie die Böschung vor Erosion. Fließgeschwindigkeit und Durchflussfläche und damit der Wasserabfluss werden so nur geringfügig verändert (FLORINETH; 2004 und RAUCH; 2006).

Pflege von Gehölzen auf Dämmen

Im Gegensatz zu der aufwändigen Pflege eines Gräser-Kräuterbestandes, der mindestens 1 oder 2 mal im Jahr gemäht werden muss, braucht ein Gehölzbestand sehr wenig Pflege (PFLUG und STÄHR; 1999). Es reicht ein „auf Stock setzen“ größerer Bestände in größeren Zeitabständen von 5 bis 10 Jahren. Bei manchen Sträuchern und strauchförmigen Weiden (z.B. Korbweide, Purpurweide, Mandelweide) ist dies erst nach 10 bis 12 Jahren notwendig (FLORINETH; 2004). Daher ist die Auswahl der Gehölze ausschlaggebend für die Sicherheit und Pflege von Dämmen.

Oft kann nicht genau zwischen Nachteilen und Vorteilen unterschieden werden. Hier einige Beispiele: (PFLUG und STÄHR; 1999)

- Durch Wurzelbewegungen können einerseits lockere, labile Schichten entstehen, andererseits hemmen sie die Oberflächenerosion von Einzelkörnern.
- Durch Lockerungen erhöhen sie die Erosionsgefahr von Einzelkörnern, sie fördern allerdings die Wasseraufnahme im Gesamtkörper und hemmen dadurch wieder die Erosion.
- Das Gehölz nimmt zwar an Gewicht zu, schützt aber vor Starkregen und Wellenschlag und verankert sich stärker.
- Pflanzenbewegungen führen einerseits zur Festigkeitsabnahme, durch die Verankerung und Austrocknung im stammfernen Wurzelbereich erhöhen sie aber andererseits die Festigkeit.

2.7.3. Einsatz von Gehölzen auf Dämmen

Behörden und Planer haben oft eine sehr abweisende Haltung gegen Gehölze auf Dämmen. Diese resultiert nicht aus einem verminderten Umweltbewusstsein, sondern aus dem Verantwortungsbewusstsein gegenüber den zu schützenden Menschen und Sachgütern. Die technischen Möglichkeiten, einen Damm unter Berücksichtigung der Standsicherheit zu erbauen, sind vorhanden und sicher anzuwenden. Die Sicherheit des Dammes hat immer Vorrang gegenüber der Bepflanzung (HASELSTEINER und STROBL; 2005).

Grundsätzlich gilt: Normal dimensionierte Dämme aus Bodenarten, die Durchwurzungen begünstigen, dürfen nicht mit Gehölzen bepflanzt werden. Wasserseitige Böschungen, Bermen, die Dammkrone, Überlaufstrecken und überströmbare Teilschutzdämme sind von jeglicher Gehölzbepflanzung freizuhalten (DVWK 210/1986; DIN 19712/1997).

Nach DVWK 210/1986 und DIN 19712/1997 ist unter bestimmten Bedingungen die Bepflanzung der landseitigen Böschung mit Sträuchern und niedrig wachsenden Baumarten erlaubt. Die bepflanzten Bereiche müssen so überhöht sein, dass auch bei Überschreitungen des Bemessungshochwasserstandes kein Überlaufen stattfindet. Die Wurzeln der Gehölze dürfen nicht in den erdstatisch wichtigen Dammquerschnitt eindringen. Das untere Drittel der Böschung muss für Sickerwasserbeobachtungen und die Dammverteidigung frei bleiben. Bepflanzungen sollten nur in Gruppen und nicht zu dicht vorgenommen werden. Flutungsversuche am Wienfluss haben das Gegenteil festgestellt: Dichte, elastische Bestände schützen am stärksten vor Erosion (RAUCH; 2006).

Damm und Fahrbahnen sind von Gehölzen freizuhalten. Oberflächendichtungen sowie Drän- und Filterschichten sind in jedem Fall vor Durchwurzlung zu schützen. Auf den wasserseitigen Böschungen von Schardämmen darf kein Gehölz vorhanden sein, wasserseitig angeordnete Gehölze müssen einer regelmäßigen Überflutung standhalten, der rechnerisch notwendige Hochwasserabfluss darf nicht eingeschränkt werden. (HASELSTEINER und STROBL; 2005)

Im Dammhinterland sollten Baumbestände einen Mindestabstand zum Dammfuß von 10 m aufweisen (Pappeln 30 m). Sträucher können bis an den Dammfuß gepflanzt werden. In breiten Vorländern können Anpflanzungen zugelassen werden, solange sie den Abfluss des Hochwassers nicht behindern und nicht in den Damm einwurzeln können. Auf Pflege und Bewirtschaftung nach wasserwirtschaftlichen Grundsätzen ist zu achten (DVWK 210/1986; DIN 19712/1997).

Mit Gehölzen bepflanzte Dämme orientieren sich schon durch die Dammform am Aufbau einer Windschutzhecke, dadurch verringert sich die Gefahr von Windbruch (HÄHNE; 1999). *„Bei der Belassung und/oder Pflanzung von Bäumen in Gruppen sollte darauf geachtet werden, dass die einzelnen Bäume genügend Platz haben, um ein überproportionales Höhenwachstum im Konkurrenzkampf mit anderen Artgenossen zu verhindern“* (HASELSTEINER und STROBL; 2006).

Beeinträchtigen Gehölze die Standsicherheit, müssen sie entfernt werden. Die abgestorbene Wurzel muss spätestens 2 Jahre danach entfernt und der Damm wiederhergestellt werden (DVWK 210/1986; DIN 19712/1997).

Es gibt allerdings immer wieder Beispiele von Dämmen, die mit Gehölzen bepflanzt sind und keine Schäden zeigen. Vor der Wende des 19./20. Jahrhunderts wurden zum Beispiel Begleitdämme an Wasserstraßen in Frankreich teilweise mit hochstämmigen Pappeln bepflanzt und blieben trotzdem dicht und ohne wesentliche Schäden. Auf Dämmen an der Elbe im Bundesland Niedersachsen konnte sich nach Bepflanzungen ein Auwald entwickeln. Der Damm hielt schon starken Hochwässern stand (SCHIECHTL und STERN, 2002).

2.7.4. Einsatz von Strauchweiden auf Dämmen

Weiden sind, da sie Adventivwurzeln bilden, besonders für den Einsatz auf Dämmen geeignet. Durch einen periodischen Schnitt können sie strauchartig gehalten und immer wieder verjüngt werden. Sie sind also stockausschlagfähig. Durch ihre Elastizität halten sie selbst extremen Beanspruchungen, wie sie bei einem Hochwasser oder Eisstoß existieren, stand. Sie können 8 Tage gänzlich unter Wasser stehen ohne einen Schaden zu erleiden, Überflutungen ertragen einige Weiden sogar einige Wochen lang. Werden sie beschädigt, verfügen sie über ein ausgezeichnetes Regenerationsvermögen. Weiden haben eine Lebensdauer von 60 Jahren im Bestand, bei ständiger Verjüngung durch einen Schnitt an der Basis („auf Stock setzen“) und richtiger Pflanzenwahl überdauern sie bis zu 100 Jahren (SCHIECHTL und STERN, 2002).

Um Weiden erfolgreich zu verwenden, muss man bedenken, dass Weiden sehr lighthungrige Pflanzenarten sind. Sie vertragen nur wenig Beschattung, was bei der Bepflanzung von Dämmen kein Problem darstellt, da diese nach dem Bau maximal Grasbewuchs aufweisen. Weidenmaterial, das für die Pflanzung auf Dämmen verwendet wird, muss heimisch, also standortgerecht sein. Die Weiden brauchen mindestens eine Vegetationsperiode, bevor sie hochwassersicher verwurzelt sind. In der Zwischenzeit können zusätzliche Sicherungselemente mit ingenieurb biologischen Bauweisen die

stabilisierende Funktion übernehmen. Die Schleppspannung darf an diesen mit Weiden gesicherten Böschungsstellen aber nie mehr als 100 bis 140 N/m² erreichen. Als Weidenspreitlage eingebaut halten sie allerdings einer Schleppspannung bis zu 300 N/m² stand (FLORINETH; 2004). „Das Wurzelwerk der Weiden ist weit reichend, geht aber nur auf lockeren Böden in die Tiefe“ (SCHIECHTL und STERN; 2002). Das Wurzelwachstum der Weiden wird durch einen periodischen Schnitt gefördert. (SCHIECHTL und STERN; 2002) Die Zugfestigkeit ist eine weitere gut ausgebildete Fähigkeit der Weiden. Im Vergleich zu Gräsern und Kräutern ist sie als hoch einzustufen (SCHIECHTL; 1992) (siehe Tabelle 5).

Gräser	5-10 MN/m ²
Kräuter	3-6 MN/m ²
Weiden und Pappeln	10-70 (max. 160) MN/m ²

Tabelle 5: Zugfestigkeit von Pflanzenwurzeln nach SCHIECHTL; 1992

HÄHNE (1999) führte Wurzeluntersuchungen durch. Diese ergaben unter anderem, dass die Purpurweide (*Salix purpurea*) ab 0,4 m Tiefe nur mehr in vorhandene Risse oder in Trennflächen zwischen unterschiedlich gelagerten Schichten eindringt. In diesen Ebenen bilden sich Fächerwurzeln aus.

Die Wurzelfreilegung einer Purpurweide (*Salix purpurea*) aus St. Ruprecht bei Villach ergab eine Wurzeltiefe von 1,50 m und eine Breite von 2,20 m. (KUTSCHERA und LICHTENEGGER; 2002)

STANGL und SCARPATETTI (2005) fanden bei Wurzeluntersuchungen an Holzkrainerwänden und Hangrosten ein 18 Jahre altes Weidensteckholz mit Wurzeln bis über einer Länge von 2,60 m.

An diesen Beispielen ist zu erkennen, dass es sehr auf die verschiedenen Bodenbedingungen ankommt, wie sich die Wurzeln einer Pflanze entwickeln. Dichter Boden könnte so unter Umständen dazu führen, dass die Weiden nicht so tief in den Damm vordringen.

3. Methodik

3.1. Geotechnische Untersuchungen

In diesem Kapitel wird kurz auf die unterschiedlichen geotechnischen Untersuchungsmethoden, welche während des Baus der Dämme angewandt wurden, eingegangen.

3.1.1. Verdichtungsvorversuch - Probefeld

Ein Probefeld dient der Ermittlung der geeigneten Verdichtungsgeräte, der günstigen Schütthöhe, sowie der Anzahl der Arbeitsgänge zur Erreichung der vorgegebenen Verdichtung. Das verwendete Material und der Einbau hat der späteren Bauausführung zu entsprechen (PREGL; 1999b).

Geprüft und untersucht werden sollen laut ÖNORM S 2074:

- Die mögliche Dicke der Einzellage.
- Die Anzahl der Übergänge.
- Die Eignung der Erdbaugeräte.
- Der Vergleich mit den Laborkennwerten.
- Die Durchlässigkeit und Verformbarkeit des Materials.

Abbildung 28 stellt eine Systemskizze eines Prüffeldes dar.

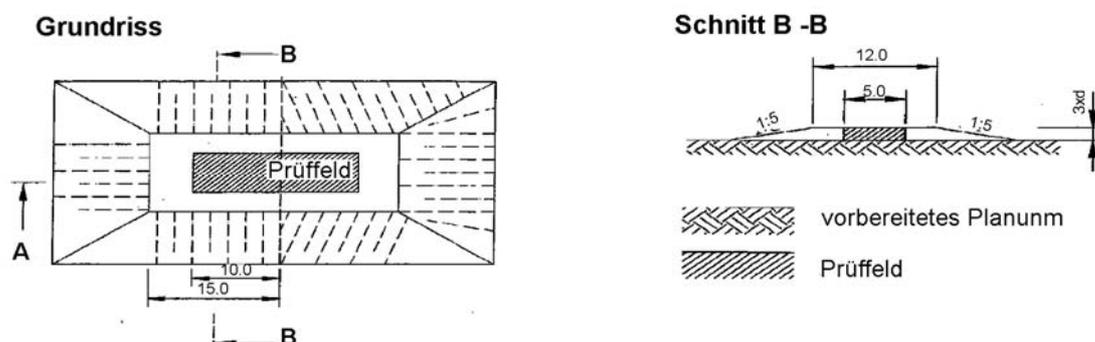


Abbildung 28: Systemskizze eines Probefeldes mit Mindestabmessung (Maße in m) (ÖNORM S2074)

3.1.2. Korngrößenanalyse

Um mehr über die Massenanteile der in den Bodenarten vorhandenen Körnungsgruppen zu erfahren, werden verteilt über das Querschnittsprofil eines Dammes Materialproben für eine Korngrößenanalyse entnommen.

Siebanalyse nach ÖNORM B 4412

In der ÖNORM B 4412 findet man Empfehlungen hinsichtlich der Durchführung von Sieb- und Schlämmanalysen sowie deren Auswertung und die zu verwendenden Geräte.

Zur Vorbereitung werden die Proben im Trockenschrank bei 105 Grad 5 Tage lang getrocknet. Die Probenmenge orientiert sich nach dem geschätzten Größtkorn (siehe Tabelle 6).

Geschätztes Größtkorn der Bodenprobe in mm	Mindestprobenmenge in g
2	150
5	300
10	700
20	2 000
30	4 000
40	7 000
50	12 000
60	18 000

Tabelle 6: Auswahl der Probenmenge (ÖNORM B 4412)

Bei der Siebung wird bei einem relativ hohen Anteil von Korngrößen unter 0,063 mm das Prinzip der Siebung nach nassem Abtrennen der Feinteile angewandt.

Die Probemenge wird mit Wasser vermengt und gut verrührt, um die Feinteilchen von den größeren Körnern zu trennen. Diese Aufschlämmung wird nun im ersten Schritt durch Siebe der Maschenweite 1 mm und 0,063 mm gespült. Als Siebmaschine dient die Analysesiebmaschine Haver EML 400 digital. Der erste Siebdurchgang dauert 7 Minuten. In dieser Zeit wird die Stärke der Vibration von Stufe 5 auf Stufe 9 kontinuierlich erhöht. Nach diesem Durchgang kann das 1 mm Sieb entfernt werden. Der Siebdurchgang wird in einem Gefäß aufgefangen. Die Teilchen größer als 1 mm werden sorgfältig aus dem Netz geputzt und erneut in den Trockenschrank gestellt. Die restliche Probemenge wird wieder mit Wasser aufgerührt und 3 Minuten mit einer Stärke von 5 – 7 durch das 0,063 mm Sieb

gespült. Dies wird solange wiederholt, bis die abgegossene Flüssigkeit keine Trübung mehr zeigt.

Auch die restlichen beiden Teilproben (kleiner 0,063 mm und 0,063 – 1 mm) werden bei 105 Grad für 5 Tage getrocknet. Nach der Trocknungszeit erfolgt eine Weiterbehandlung der einzelnen Proben durch maschinelle Trockensiebung, sowie einer Nachsiebung per Hand. Für diese nun kleineren Mengen, kann die Siebmaschine Retsch Vibratronic Typ VE 1 eingesetzt werden. Die Probe >1 mm wird abgewogen und unter Verwendung der Siebe 8 mm, 4 mm, 2 mm und 1 mm 3 Minuten mit der höchsten Stufe (Stufe 3) gesiebt. Die einzelnen Siebrückstände sind abzuwiegen und der Durchgang durch das 1 mm Netz zur nächst kleineren Probemenge (1 – 0,063 mm) zu geben. Mit dieser wird ebenso verfahren wie mit der >1 mm Probe. Es werden die Siebe mit einer Maschenweite von 0,5 mm, 0,25 mm, 0,125 mm und 0,063 mm verwendet. Wenn diese Probe durch die geringere Lochweite innerhalb von 3 Minuten nicht vollständig getrennt wird, muss die Siebzeit auf 7 Minuten erhöht werden. Der Durchgang durch das 0,063 mm Netz wird in die <0,063 mm Probe gegeben und mit dieser gemeinsam abgewogen.

Der Massenunterschied zwischen der Einwaage und der Summe der Rückstände sollte höchstens einen Unterschied von 1% aufweisen. Abschließend werden die Daten in Tabellen und Sieblinien dargestellt.

Kombinierte Sieb- und Schlämmanalyse

Eine weitere Möglichkeit, eine Sieblinie festzustellen, ist die kombinierte Sieb- und Schlämmanalyse. Die hier beschriebene Methode wird am Institut für Geotechnik der Universität für Bodenkultur Wien angewandt.

Bei der Korngröße unter 0,063 mm (Schluff und Ton) ist eine Trennung der einzelnen Kornfraktionen durch Siebung nicht mehr möglich. Wenn der Anteil der Körner mit einem Durchmesser von <0,063 mm mehr als 3% der Trockenmasse ausmachen, muss laut ÖNORM B 4412 eine Sedimentationsanalyse durchgeführt werden. Bei dieser Methode wird die Tatsache ausgenutzt, dass verschieden große Körner mit unterschiedlicher Geschwindigkeit im Wasser absinken. Die Ermittlung des Korndurchmessers d basiert auf dem Gesetz von STOKES.

$$d = \sqrt{\frac{18\mu}{(\rho_s - \rho_w)v}}$$

$$v = \frac{h_p}{t}$$

t	Zeit
v	Geschwindigkeit
h_p	Höhe in cm
d	Korndurchmesser
μ	dynamische Zähigkeit der Flüssigkeit
ρ_s	Korndichte
ρ_w	Dichte des Wassers

Vorgehensweise:

Die zu untersuchende Probemenge wird laut ÖNORM B 4412 ermittelt und hängt von der maximalen Korngröße ab. Die Probe wird durch eine Nasssiegung mittels einer Handbrause in die Rückstände 8 mm und 4 mm, sowie in den Durchgang 4 mm geteilt, wobei der Durchgang 4 mm aufgefangen wird. Die Rückstände in den Sieben 8 mm und 4 mm werden getrocknet und anschließend in die gewünschten Fraktionen gesiebt.

Wenn sich der Durchgang 4 mm abgesetzt hat, kann das überschüssige Wasser abgezogen werden (mit Hilfe eines Schlauches). Je nach dem, wie groß die Siebprobe ist, wird entweder die nun erhaltene Masse gut durchmischt und eine Teilprobe für die Feinsiegung sowie die Schlämmanalyse daraus genommen oder (wie bei dieser Arbeit) die gesamte Masse getrocknet.

Aus der getrockneten Masse wird ein Anteil von ca. 120 g entnommen, wobei darauf zu achten ist, dass man das Material möglichst in der Mitte des Behälters und bis zum Boden entnimmt um eine aussagekräftige Probe zu bekommen. Aus dieser Probe werden mittels Handsiegung durch ein Sieb mit der Maschenweite 0,125 mm ca. 40 g für die Schlämmanalyse ausgesiebt. Der Rest der Probe wird mit Wasser vermengt und durch ein Sieb mit der Maschenweite 0,125 mm gespült. Der Rückstand wird wieder getrocknet. Anschließend wird damit eine Feinsiegung (Maschenweite 0,125 mm und 0,25 mm) durchgeführt.

Die zuvor ausgesiebten 40 g werden in destilliertem Wasser zu einer Suspension aufgerührt. Da die Feinstteilchen meist in Form von Aggregaten vorliegen, ist es notwendig, ein Dispergierungsmittel zuzusetzen. Als Dispergierungsmittel werden in dieser Arbeit ca. 11 g Calgon verwendet. Calgon ist ein Gemisch von Phosphaten (Natriumhexametaphosphat, Natriumtripolyphosphat, Natriumpentatriphosphat, u.a.) und hat den Vorteil, dass der pH-Wert der Suspension durch die Zugabe des Mittels nicht verändert wird.

Die Suspension wird einige Minuten (empfohlen sind 10 min) mit einem Handrührer kräftig durchgerührt, um auch mechanisch die Zerstörung der Aggregate zu unterstützen. Anschließend wird die Suspension in einen Zylinder gegeben. Dieser wird bis zur 1000 cm³ Marke mit destilliertem Wasser aufgefüllt und noch einmal aufgerührt.

In der ersten Versuchsphase wird die Suspension gut durchgerührt, wobei darauf zu achten ist, dass keine Luft eingerührt wird. Ab dem



Abbildung 29: Aräometer; März 2007

Moment, in dem das Rührgerät herausgezogen wird, wird die Zeit gemessen und das Aräometer (siehe Abbildung 29) sanft in die Suspension eingetaucht. In dieser Phase wird das Aräometer während den Messungen in der Suspension belassen. Die Ablesungen erfolgen nach 0.5 min, 1 min und 2 min. Dieser Vorgang wird dreimal wiederholt und die Ablesungen gemittelt. Die Temperatur wird einmal gemessen.

In der zweiten Versuchsphase wird nach dem Durchmischen die Uhrzeit des Versuchsbeginns festgehalten und der Aräometer zur Ablesung zu einem bestimmten Zeitpunkt in die Suspension gegeben. Die Ablesungen erfolgen nach 5 min, 15 min, und 45 min, sowie nach 2 h, 4 h, 6 h und 24 h (siehe Abbildung 30). Der Aräometer sollte ca. 30 sec vor der Ablesezeit eingetaucht werden, damit sich ein Heben und Senken des Gerätes austarieren kann. Die Temperatur wird nach jeder Ablesung gemessen.

Die Ablesung erfolgt am oberen Miniskusrand, wobei nicht die angezeigte Dichte r' sondern der Hilfswert R' vermerkt wird ($r' = 1 + R'/1000$). R' kann dabei auch negativ sein.

Auch hier wird das Ergebnis anhand einer Sieblinie dargestellt.

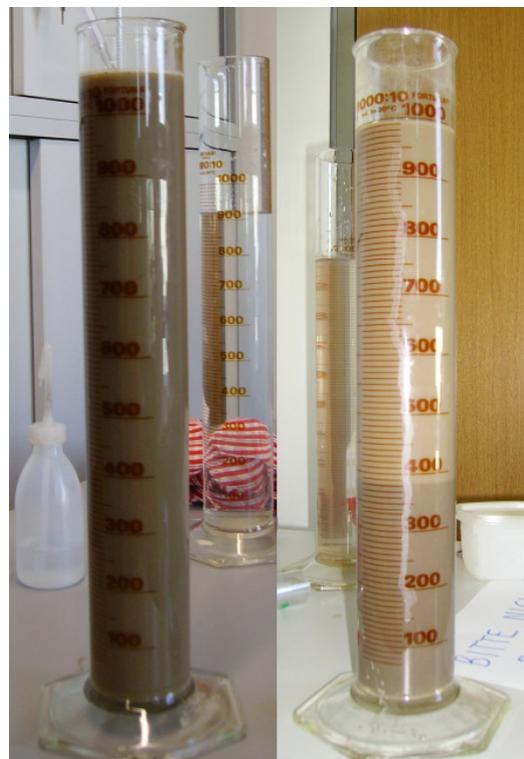


Abbildung 30: Absinken der Teilchen im Zylinder; März 2007

3.1.3. Rammsondierung

Bei einer Rammsondierung wird der Eindringwiderstand einer Sondenspitze gemessen, die mit einer definierten Rammenergie in den Untergrund gerammt wird. Gezählt wird die Anzahl der Schläge (N_{10}) eines Fallgewichtes (G) pro 10 cm Eindringung. Bei Böden mit sehr geringer Festigkeit, bei denen das Eindringen pro Schlag mehr als 10 cm beträgt, ist die Eindringtiefe pro Schlag anzugeben. Die Masse des Rammjärens sowie dessen Fallhöhe sind vom gewählten Rammsondentyp abhängig. Eine Schlagfolge von 15 bis 30 Schlägen

pro Minute soll eingehalten werden. Bei grobkörnigen Böden darf sie bis auf 60 Schläge erhöht werden (MÖLLER; 2004).

Im Einsatz sind drei Typen von Rammsonden mit unterschiedlichen Spitzendurchmessern und unterschiedlichen Fallgewichten:

- 1.) Leichte Rammsonde (Gewicht 10 kg, Fallhöhe 50 cm)
- 2.) Mittelschwere Rammsonde (G= 30 kg, H= 50 cm)
- 3.) Schwere Rammsonde (G=50 kg, H= 50 cm)

(INTERNET 3)

Die gemessenen Schlagzahlen N_{10} werden in Abhängigkeit von der Tiefe in ein Diagramm (Rammdiagramm) eingezeichnet.

3.1.4. Stechzylinder

Anhand von Bodenproben mittels Stechzylinder können die Dichte und der Wassergehalt der einzelnen Schichten ermittelt werden.

Beim Ausstechzylinder-Verfahren werden zylindrische Stechringe mit innen liegenden Schnittkanten verwendet, welche mit einem Schlaggerät, möglichst ohne zu verkanten, in den vertikal in den Boden oder horizontal in

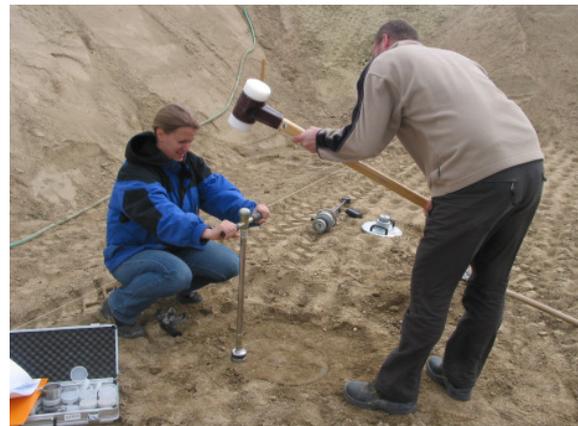


Abbildung 31: Probenentnahme; 07.04.2007

die Profilwand getrieben werden (siehe Abbildung 31). Der Zylinder wird vorsichtig aus dem Boden herausgeholt und der Überstand mit einem scharfen Messer abgeschnitten. Hierbei ist zu beachten, dass beim Glattstreichen der Kanten keine Verdichtung der Probe erfolgt. Nach der Probenentnahme muss der Zylinder luftdicht verschlossen werden.

Das Volumen V der gewonnenen Bodenprobe kann man mittels des Innendurchmessers d_i und der Höhe h des Ausstechzylinders errechnen. Durch eine Wiegung vorerst des naturfeuchten und anschließend des getrockneten Materials erhält man nach Abzug des Eigengewichtes des Zylinders die Massen m bzw. m_d . Dieses Verfahren ist nur für feinkörnige Böden geeignet (MÖLLER, 2004). Abbildung 32 zeigt die Trocknung der Erdproben im Trockenschrank.



Abbildung 32: Trocknung der Stechzylinderproben im Trockenschrank; Labor am Institut für Geotechnik/BOKU; 07.12.2006

3.1.5. Dynamische Lastplatte

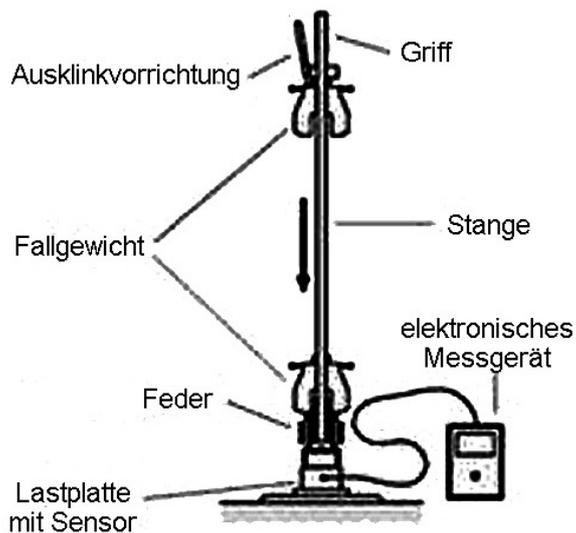


Abbildung 33: Dynamische Lastplatte (INTERNET 4) und dynamische Lastplatte des Institutes

Der dynamische Lastplattenversuch eignet sich zur Verdichtungskontrolle und zur Bewertung der Tragfähigkeit des Untergrundes. Er ist ein schneller Feldversuch zur Ermittlung des dynamischen Verformungsmoduls von Böden und Schütthanlagen. Man verwendet dabei ein leichtes Fallgewicht, welches aus einer Führungsstange besteht, an deren oberen Ende ein 10 kg schweres Fallgewicht ausgeklinkt werden kann. Am unteren Ende der Führungsstange sitzt ein Tellerfedernpaket, das das Fallgewicht wieder nach oben katapultiert, wo es wieder eingeklinkt wird. Diese Führungsstange wird auf eine 30 cm breite Lastplatte aus Stahl aufgesetzt (siehe Abbildung 33). Die Lastplatte ist über ein Messkabel mit einer elektronischen Messeinrichtung verbunden, welche die Setzung der Lastplatte misst und die Daten speichert (siehe Abbildung 34).

Mit einer Erstbelastung durch 3 Stöße soll kontrolliert werden, dass die Verdichtung nicht beim eigentlichen Versuch herbeigeführt wird. Anschließend werden die eigentlichen drei Stöße ausgeführt. Nach jedem Stoß wird die Setzung in mm angezeigt. Nach dem dritten Stoß werden automatisch der Mittelwert der Setzung und der Wert des dynamischen Verformungsmoduls E_{vd} in MN/m² angegeben. Dieser Wert kann mit der Tabelle von PREGL (1999b) auf den E_{v2} Wert umgerechnet werden. Allerdings hängt der genaue Umrechnungsfaktor von der Bodenart, dem Wassergehalt und dem erreichten Verdichtungsgrad ab. In Tabelle 7

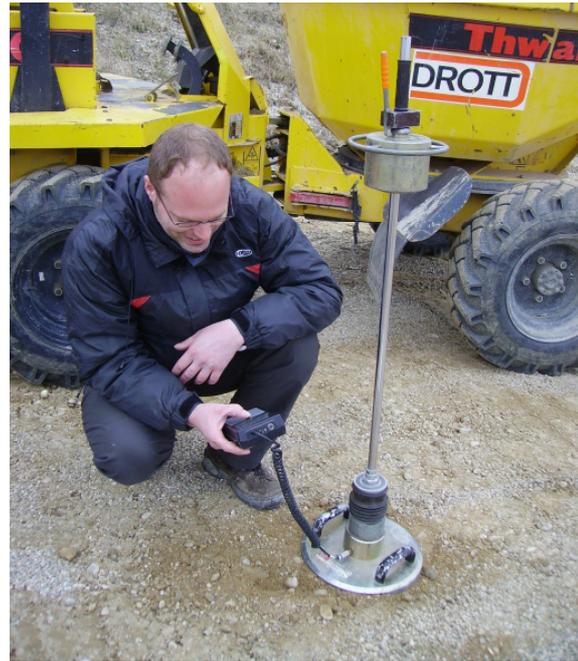


Abbildung 34: Ablesen der E_{vd} -Werte vom elektronischen Messgerät; 18.03.2007

wird ersichtlich, dass zum Beispiel der Umrechnungsfaktor bei bindigen Böden auf 1 bis 1,5 sinken kann. Für Kiese und Sande beträgt der Faktor E_{v2}/E_{vd} ca. 2.

Bodengruppen nach DIN 18196	Verdichtungsgrad D_{Pr} in %	Verformungsmodul stat. Plattendruckversuch E_{v2}	Verformungsmodul dyn. Plattendruckversuch E_{vd}
Kiese und Sande mit < 7 Gew.-% < 0,063 mm (GW, GI, GT, GU)	> 100 > 98 > 97	> 100 MN/m ² > 80 MN/m ² > 70 MN/m ²	> 50 MN/m ² > 40 MN/m ² > 35 MN/m ²
Enggestufte Kiese und Sande, weitgestufte und intermittierende Sande (GE, SE, SW, SI)	> 100 > 98 > 97	> 80 MN/m ² > 70 MN/m ² > 60 MN/m ²	> 40 MN/m ² > 35 MN/m ² > 32 MN/m ²
Gemischtkörnige Kiese und Sande mit 7 – 15 Gew.-%n < 0,063 mm, (GU, GT, SU, ST)	> 100 > 97	> 100 > 97	> 35 MN/m ² > 25 MN/m ²
Schluffige und tonige sowie und gemischtkörnige Böden mit 15 – 40 Gew.-% < 0,063 mm (U, T, GU*, GT*, SU*, ST*)	> 97 > 95	> 45 MN/m ² > 30 MN/m ²	> 25 MN/m ² > 20 MN/

Tabelle 7: Zuordnung von Verdichtungsgrad und Verformungsmodul E_{v2} bzw. E_{vd} (nach ZTVE-StB 94, ZTVT-StB 95, Bundesbahnrichtlinie A 2015); (INTERNET 5)

3.1.6. Proctorversuch

Beim Proctorversuch wird die größtmögliche Dichte eines Bodens, die bei optimalem Wassergehalt erreicht werden kann, ermittelt. Die ermittelte Dichte nennt man Proctordichte ρ_{pr} . Aufgrund des Ergebnisses kann man erkennen, welchen Wassergehalt eines Bodens günstig ist, um eine bestimmte Trockendichte zu erreichen. (ÖNORM B 4418; DIN 18127)

Definitionen

Proctordichte ρ_{pr}

Die Proctordichte ist die größte erreichbare Trockendichte bei einer volumsbezogenen Verdichtungsarbeit von $W \approx 0,6 \text{ MN/m}^3$. Der optimale Wassergehalt w_{pr} ist der Wassergehalt, bei dem die Proctordichte erreicht wird.

Verdichtungsgrad D_{pr}

Der Verdichtungsgrad ist ein Verhältnis, das sich aus Trockendichte (ρ_d) und Proctordichte (ρ_{pr}) des Bodens ergibt.

$$D_{pr} = \frac{\rho_d}{\rho_{pr}}$$

Durchführung des Versuches

Die Bodenprobe wird in einem Stahlzylinder mit festgelegten Abmessungen durch einen Fallbär mit einer bestimmten Verdichtungsarbeit und nach einem festgelegten Arbeitsverfahren verdichtet (PREGL; 1999b). Dies wird mehrmals mit unterschiedlichem Wassergehalt wiederholt, wobei der Wassergehalt einer jeden Probe mittels folgender Formel ermittelt werden muss:

$$w = \frac{m_w}{m_d} = \frac{m - m_d}{m_d}$$

m_w = Masse des Wasser in Gramm

m = Masse der feuchten Probe in Gramm

m_d = Trockenmasse der Probe in Gramm

Nach Abschluss aller Einzelversuche erhält man für jeden Versuch das berechnete Wertepaar w, ρ_d .

Nach Eintragung aller Werte in ein ρ_d-w Diagramm und einer Ausgleichskurve (Proctorkurve), die mit möglichst großem Krümmungskreis in ihrem Scheitel in Anpassung an die Messpunkte eingetragen wird, erhält man den Funktionszusammenhang zwischen den Trockendichten und den zugehörigen Wassergehalten des untersuchten Bodens.

3.1.7. Infiltrationsversuch

Die Durchlässigkeit eines Bodens ist abhängig von seiner Korngröße, der Kornverteilung, Struktur und seinem Porenanteil. Sie wird durch den Durchlässigkeitsbeiwert k in m/s angegeben, wodurch zum Ausdruck gebracht wird, wie schnell Wasser in Abhängigkeit von Druck durch einen Stoff strömt. Abbildung 35 zeigt den Verlauf einer solchen Infiltration.

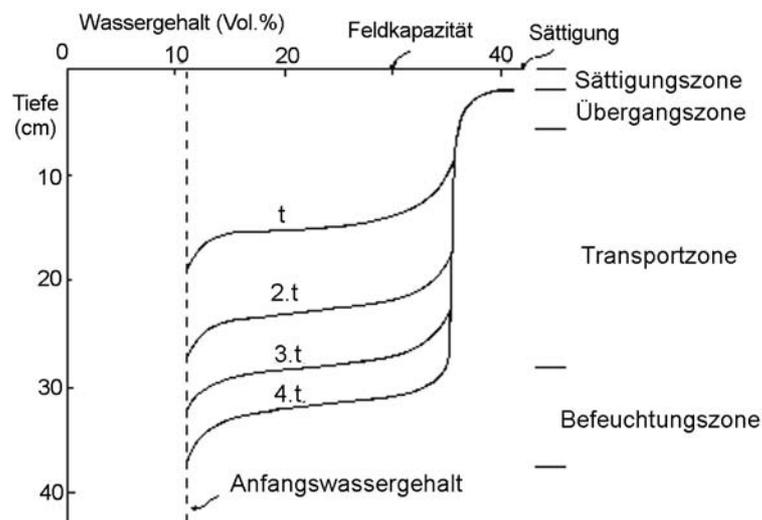


Abbildung 35: Verlauf der Infiltration (SCHEFFER et al.; 1998)

Bei dieser Arbeit wurde zur Ermittlung der Feld-Durchlässigkeit das „Versuchsgerät nach Horn“ verwendet. Zusätzlich wurde zur Kontrolle auch noch ein Durchlässigkeitsversuch im Labor durchgeführt. Bei beiden Versuchen wird mit einer fallenden Druckhöhe gearbeitet.

Laborversuch mit fallender Druckhöhe

Zur Kontrolle der Daten der Erhebungen auf dem Feld besteht die Möglichkeit einer Untersuchung des Materials im Labor. Diese Versuche werden in der Regel als Zylinder – Durchlässigkeitsversuche durchgeführt. Dabei werden die Versuchszylinder, an denen oben ein Standrohr angeschlossen wird, in eine Überlaufschale gestellt. Die Höhen des Wasserspiegels im Standrohr werden zu gewissen Zeitpunkten gemessen.

Diese durchfließenden Wassermengen sind nach dem Gesetz von Darcy zu berechnen (PREGL; 1999a)

$$q = A_p \times v = -k \times A_p \frac{\phi}{h_p} \quad \text{und gleichzeitig} \quad q = -A_R \frac{d\phi}{dt}$$

Diese beiden Gleichungen werden gleichgesetzt und zwischen den beiden Zeitpunkten t_1 und t_2 bzw. zwischen den beiden Höhen Φ_1 und Φ_2 integriert. Zusätzlich wird eine Korrektur auf 10 °C (Temperaturkorrekturwert α) vorgenommen.

$$k = 2,30 \times \frac{A_R}{A_p} \frac{h_p}{\Delta t} \ln \frac{\phi_1}{\phi_2} = 2,30 \times \alpha \frac{A_R}{A_p} \frac{h_p}{b}$$

In dieser Arbeit wurde ein Gerät des Institutes für Geotechnik der Universität für Bodenkultur verwendet, welches in Abbildung 36 dargestellt ist.

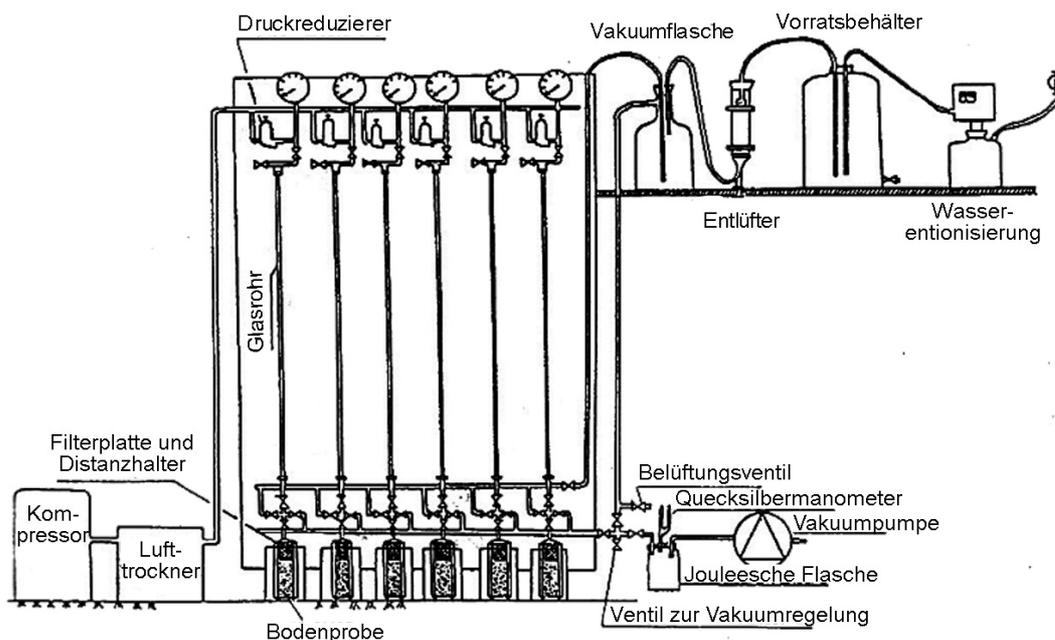


Abbildung 36: Versuchsgerät mit fallender Druckhöhe (PREGL;1999a)

Felddurchlässigkeitsversuch nach Horn

Der Unterschied zwischen normalen Standrohren mit konstantem Querschnitt und dem Gerät nach Horn besteht darin, dass es bei diesem möglich ist, sehr geringe Wasserspiegelabfälle zu messen, die durch eine minimale Durchlässigkeit des Bodens entstehen. Gemessen wird das Absinken des Wassers im Rohr in Abhängigkeit von der Zeit. Bei dem Gerät, das auf Abbildung 37 dargestellt ist, ist der Eindringquerschnitt A_1 möglichst groß im Verhältnis zum Messpipettenquerschnitt A_2 , welcher möglichst klein gehalten wird.

Ein Verhältnis von $A_1/A_2 = 25$ ist günstig. Der Übergang zwischen A_1 und A_2 ist möglichst hoch angesetzt, um ein Anheben des Gerätes durch Rohrauftrieb zu verhindern. Die Auswahl des Standortes muss sehr sorgfältig vor sich gehen, da sich Inhomogenität im Umkreis des Rohrauslaufes störend auf das Ergebnis auswirken könnte.

Die Auswertung erfolgt laut PREGL (1999a) für kugelförmige Durchströmung des Bodens in der Sohle des Standrohres:

$$k = \frac{A_1}{A_2} \times \frac{r_1}{4t} \ln \frac{h_1}{h_2} = \frac{r_2^2}{4r_1 \times t} \ln \frac{h_1}{h_2}$$

wobei $t=t_2-t_1$ (Zeitintervall zwischen den Messungen)

Da es durch Temperaturunterschiede während der Messung zu unterschiedlicher Ausdehnung des Wassers kommen kann, muss während der Messung die Wassertemperatur und die Lufttemperatur gemessen und aufgezeichnet werden (siehe Abbildung 38). Bei starker Sonneneinstrahlung während der Messungen ist ein

Sonnensegel anzubringen. Durch die zeitliche Entwicklung der Messwerte kann erst nach einer Mindestdauer, welche für den Ausgleich des Sättigungsgrades an der Prüfstelle benötigt wird, ein konstanter Wert gemessen werden.



Abbildung 37: Infiltrometer nach Horn (11.04.2007)



Abbildung 38: Temperaturmessung am Versuchsdamme; 11.04.2007

3.1.8. Isotopensonde



Abbildung 39: Isotopensondenmessungen in der Lehmschicht des Versuchsdammes; 05.04.2007

Bei radiometrischen Verfahren wird die Gamma- und/oder Neutronenstrahlung radioaktiver Isotope mit Hilfe von Sonden und Zählgeräten gemessen. Diese Messwerte werden in Beziehung zur Dichte und zum Wassergehalt des untersuchten Bodens gebracht.

Isotopensonden dürfen nur von speziell in Strahlenschutz geschulten Personen bedient werden. Es ist zu beachten, dass das Fahrzeug, in dem die Sonde transportiert wird, gesondert zu kennzeichnen ist.

Das Gerät nutzt die Tatsache, dass die Gammastrahlen in Abhängigkeit der Dichte abgeschwächt und zurückgestreut werden. Der volumetrische Wassergehalt kann durch eine neutronenemittierende Sonde bestimmt werden, welche schnelle Neutronen emittiert, die von Wasserstoffatomen auf thermische Geschwindigkeit abgebremst werden. Bei dieser Methode wird neben dem freien Wasser auch das in den Mineralien gebundene Wasser gemessen. Dies führt zu einem erhöhten und scheinbaren Wassergehalt.

Der Vorteil dieser Messmethode ist, dass es nur wenig Zeit in Anspruch nimmt, bis man vergleichbare Daten hat. Eine Dichtemessung mit einer Isotopensonde dauert ca. 5-15 min, während ein Proctorversuch mit fünf Einzelversuchen einschließlich der Probenvorbereitung und nachträglicher Trocknung ca. 30 Stunden dauert (INTERNET 6).

3.1.9. Vergleich der wichtigsten Verfahren zur Bodendichte

Überprüfungsverfahren	Vorteil	Nachteil
Rammsondierung	<ul style="list-style-type: none"> • Rasch und einfach durchzuführen • stabiles Gerät • einfache Auswertung • bis in Tiefen von 8 Meter einsetzbar • Werte liegen sofort nach dem Messvorgang vor 	<ul style="list-style-type: none"> • Werte auch von der Bodenart abhängig • bei bindigen Böden kann die Reibung an der Sonde eine zu hohe Verdichtung vortäuschen
Proctorversuch	<ul style="list-style-type: none"> • Der optimale Wassergehalt für eine Verdichtung wird festgestellt. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ergebnisse liegen erst nach einigen Tagen vor • bei bindigen Böden kann auch bei optimaler Verdichtung keine ausreichende Tragfähigkeit vorliegen
Dynamischer Plattendruckversuch	<ul style="list-style-type: none"> • schnell und kostengünstig • Werte liegen sofort nach dem Messvorgang vor 	<ul style="list-style-type: none"> • In Ausschreibungen werden meist EV2-Werte des statischen Plattendruckversuchs angegeben • Umrechnungsfaktor für Ev2-Werte ist bodenabhängig

Tabelle 8: Vergleich der wichtigsten Verfahren zur Überprüfung der Bodenverdichtung (INTERNET 5)

3.2. Untersuchungen am Marchdamm



Abbildung 40: Überströmung eines Dammes und darauf folgender Dammbbruch an der March im März 2006 VIA-DONAU

Der Damm entlang der March wird nach Dammbbrüchen und daraus resultierenden Hochwasserüberflutungen 2006 (siehe Abbildung 40) in den Bereichen Angern-Mannersdorf-Stillfried und Waidendorf-Dürnkrot-Jedenspeigen saniert beziehungsweise neu errichtet. Die Sanierungsarbeiten begannen im September 2006. Dank der Zustimmung der VIA-DONAU, die diese Sanierungsarbeiten koordiniert, war es möglich, im Dezember 2006 an einem noch nicht umgegrabenen Teilstück des Dammes, im Gemeindegebiet von Dürnkrot, zwei Grabungen vorzunehmen, die mit Rammsondierungen ergänzt wurden.

Ziel dieser Grabungen war es, mehr über die Struktur und den Aufbau der alten



Abbildung 41: Grabungen am Marchdamm; 05.12.2006

Marchdämme zu erfahren. Ein weiteres Augenmerk wurde auf die vorhandene Durchwurzelung gelegt. Um die Stabilität des noch vorhandenen Dammes nicht zu gefährden, wurden mit einer Baggerschaufel zwei Probeschürfe bis zur Mitte der Dammkrone ausgeführt (siehe Abbildung 41). Der erste Schurf erfolgte von der wasserseitigen Seite, der zweite in einem Abstand von ca. 20 m von der landseitigen Böschung. In jedem Schurf wurden drei Profile aufgenommen, jeweils in der Dammmitte, in der Böschungsmatte und am Dammfuß. Die Bewertung der einzelnen Schichten erfolgte mit Hilfe des Buches „Bodenzustandsinventur“ von BLUM et al. (1996).

Aus den einzelnen Schichten des Damms wurden Stechzylinderproben für eine Korngrößenanalyse genommen. Ziel war es, aus den erhaltenen Sieblinien eine Vorgabe (Anhang 1) für das bei den Versuchsdämmen verwendete Schüttmaterial abzuleiten. Da diese Daten aber nur aus einer einzelnen Grabung stammen und der Damm viel zu inhomogen war, wurde für die endgültige Sieblinie auf bereits vorhandene umfangreiche Daten von Sieblinien der VIA-DONAU zurückgegriffen. In Absprache mit dem Institut für Grundbau und Bodenmechanik (O.Univ.Prof.Dr. H. Brandl) der TU-Wien wurde eine Vorgabe für das bei den Versuchsdämmen zu verwendende Dammschüttmaterial erarbeitet (siehe Abbildung 42).

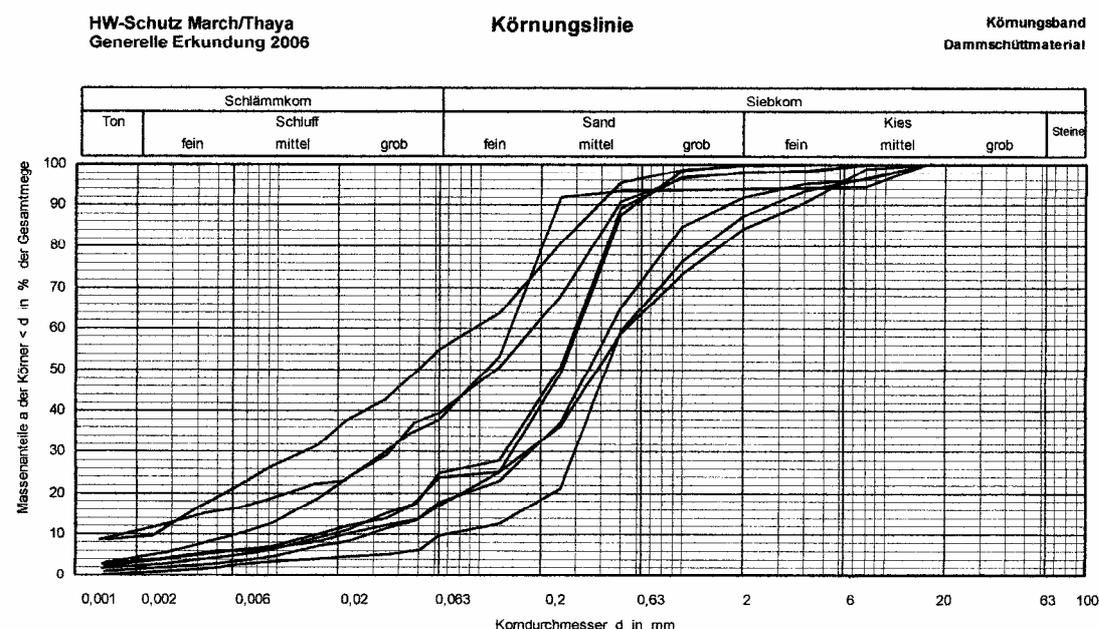
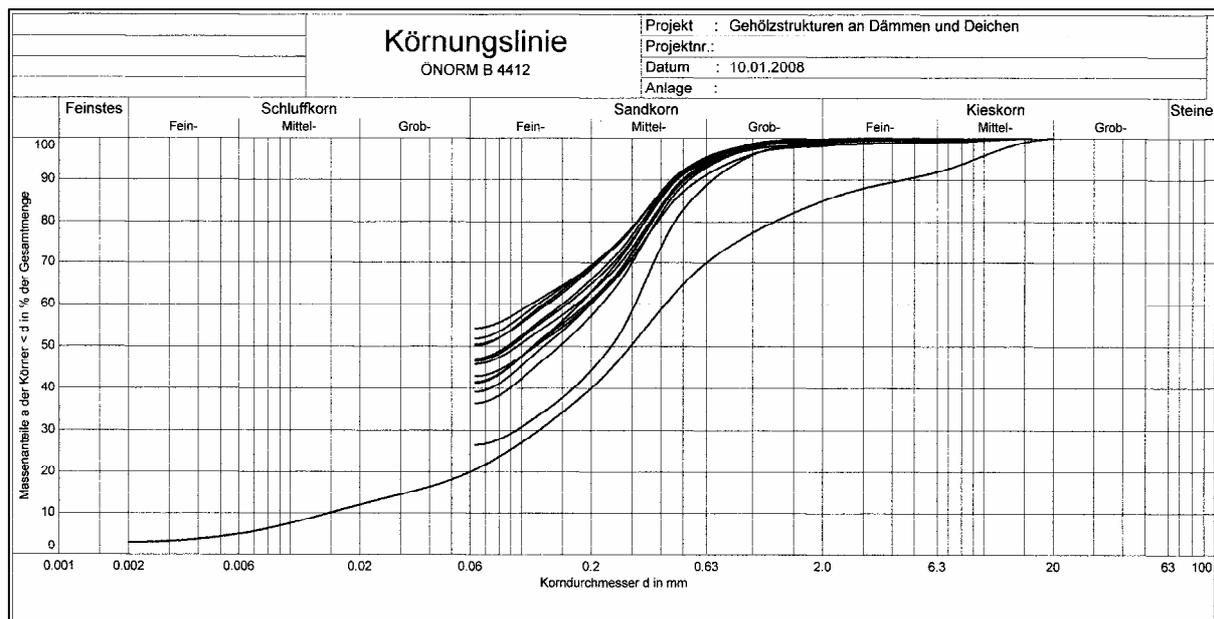


Abbildung 42: oben: Sieblinien des Marchdammes im Vergleich zur Vorgabe der TU-Wien (lange Linie)
Unten: Sieblinien der VIA-DONAU an verschiedenen Dammabschnitten.

In den Abbildungen 43 und 44 ist gut ersichtlich, dass sich der Damm aus mehreren, unterschiedlichen Schichten zusammensetzt. Das lässt darauf schließen, dass im Laufe der Zeit mehrmals Erhöhungen der Dammkrone stattgefunden haben. Viele Dämme, so auch der Marchdamm, wurden im Laufe der Zeit immer wieder ausgebaut und neu überschüttet. Oft wurden dazu Baumaterialien verwendet, die in der Umgebung des Dammes vorhanden, für die Standsicherheit des Dammes aber ungeeignet waren. Diese Erkenntnis wurde bereits bei anderen Grabungen an alten Dämmen gemacht. Ein Beispiel für eine solche mehrmalige Erhöhung ist im Zuge einer archäologischen Begleitgrabung zu einer Dammsanierung im Oderbruch (Deutschland) dokumentiert worden. Hier wurden an einem Damm drei ältere Dammkronen sichtbar, die sich deutlich durch ihr dunkles humoses Sediment von den übrigen Sand- und Lehmschüttungen absetzten. Teilweise wurden auch noch längs verlegte Rundhölzer gefunden, welche vermutlich als Unterbau für einen auf der Deichkrone verlaufenden Weg dienten (HAHN et al;2003).

Die NIEVELT-Labor Ges.m.b.H führte an der Stelle der Probeschürfe Rammsondierungen durch. Diese ergaben, dass der Damm sehr geringe Eindringwiderstände aufwies, was auf eine geringe Dichte schließen lässt. Die Ergebnisse der Rammsondierungen sind in Anhang 7.2. angeführt.

Der Bewuchs des Marchdammes setzte sich zum Zeitpunkt der Untersuchungen aus Gräsern und Kräutern zusammen. Die Durchwurzelung des Dammes ist wie folgendermaßen zu beschreiben. In den oberen 50 cm befand sich eine recht dichte Durchwurzelung, die gegen einen Meter Tiefe spärlicher wurde. Bis zum Dammfuß waren nur noch vereinzelt Wurzeln zu finden. Einen Überblick dazu geben Abbildung 43 und 44. Erstaunlicherweise wurden im Dammkörper Wurzeln gefunden, die aufgrund ihrer Stärke nicht vom vorgefundenen Bewuchs am Damm stammen konnten. Eine Erklärung dafür könnte der an den Damm grenzende Auwald sein. Dies drängt die Frage auf, ob die nahe dem Dammfuß wachsenden Bäume ihre Wurzeln im Dammkörper nach oben wachsen ließen.

Abbildungen 43 und 44 zeigen einen Überblick über die Profile des Marchdammes. Genauere Profilbeschreibungen befinden sich in Anhang 7.3. und die Berechnungen der Stechzylinderproben in Anhang 7.4.

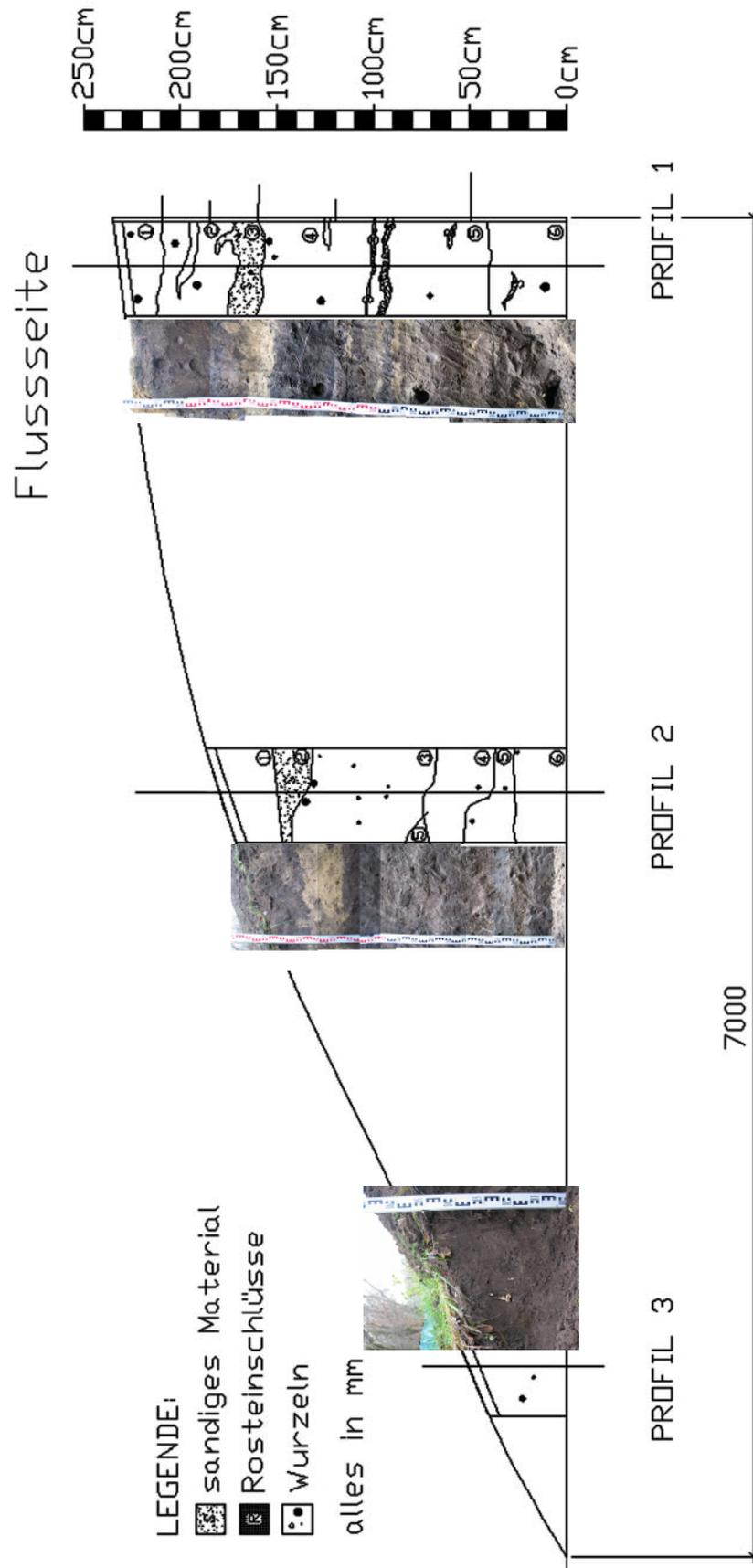


Abbildung 43: Profile des wasserseitigen March-Hochwasserschutzdammes, an des Photos sind deutlich Inhomogenitäten wie Sandeinlagerungen, etc. zu sehen; Jänner 2007

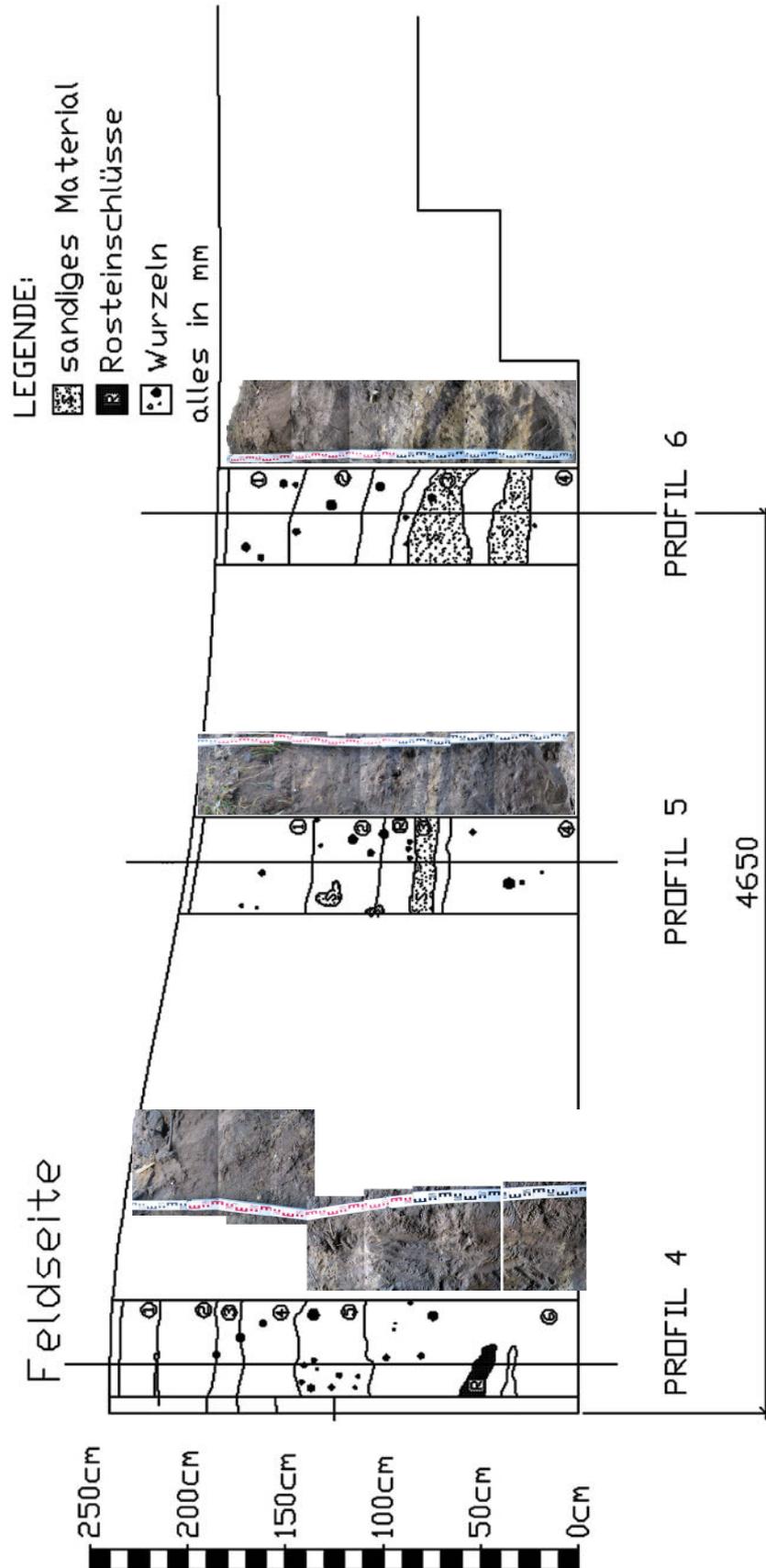


Abbildung 44: Landseitige Profile des March-Hochwasserschutzdammes, an des Photos sind deutlich Inhomogenitäten wie Sandeinlagerungen, etc. zu sehen; Jänner 2007

3.3. Planung des Versuchdammes

3.3.1. Ursprüngliches Konzept

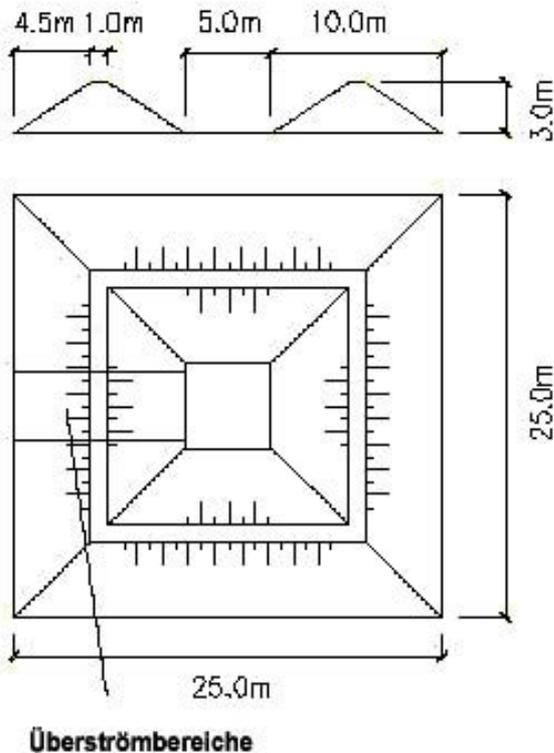


Abbildung 45: Ursprüngliche Pläne für die Versuchsanlage Essling/Wien (LAMMERANNER und MEIXNER; 2007)

Laut dem ursprünglichen Planungskonzept sollten die Versuchsdämme im Versuchsgarten des Institutes für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau der Universität für Bodenkultur Wien in Essling errichtet werden.

Die dortige Versuchsanordnung bestand aus zwei quadratischen Ringdämmen (siehe Abbildung 45), von denen einer mit einer konventionellen Gräser-Kräuter Mischung begrünt, der andere mit Gehölzen bepflanzt werden sollte. Die Dämme wären mit einer Höhe von 3 m, einer Dammböschung von 2:3, einer 1 m breiten Dammkrone und mit 0,2 m tiefen Überströmungsmulden, geplant gewesen. Ein Problem bei diesem Konzept war das zum Fluten benötigte Wasser. Da es keinen

Fluss in der Nähe gibt, hätte auf die Grundwasserpumpe zurückgegriffen werden müssen. Da der Versuchsgarten in einer Siedlung liegt, wären beim Ablassen oder Überströmen der Becken auch die angrenzenden Häuser zu berücksichtigen gewesen. Der Bau der Dämme hätte eine erhebliche Lärm- und Staubbelastung durch anliefernde Lkw für die ansässige Bevölkerung bedeutet.

3.3.2. Ausgeführte Planung

Bei einer Besprechung in St. Pölten mit der Abteilung Wasserbau und Wasserwirtschaft des Landes Niederösterreich wurde vereinbart, die Versuchsanordnung in einem momentan nicht gebrauchten Becken der Versickerungsanlage Stallingerfeld, der Betriebsgesellschaft Marchfeldkanal, in Deutsch-Wagram zu errichten. Der Vorteil dieses neuen Konzeptes ist, dass keine größeren Aushubarbeiten nötig waren. Die Dämme werden direkt in das Becken gebaut. Außerdem besteht die Möglichkeit, das benötigte Wasser direkt aus dem nebenan fließenden Marchfeldkanal zu pumpen. Die Versickerungsanlage befindet sich inmitten von

Feldern, wodurch beim Ablassen des Wassers keine Gefahr für Anrainer besteht. Das abgelassene Wasser versickert im Boden. Ein weiterer positiver Effekt ist die Aussicht, die Anlage einen längeren Zeitraum stehen und sich entwickeln zu lassen. Im Versuchsgarten Essling wäre dies nicht möglich gewesen, da dieser in den nächsten Jahren eventuell verlegt wird.

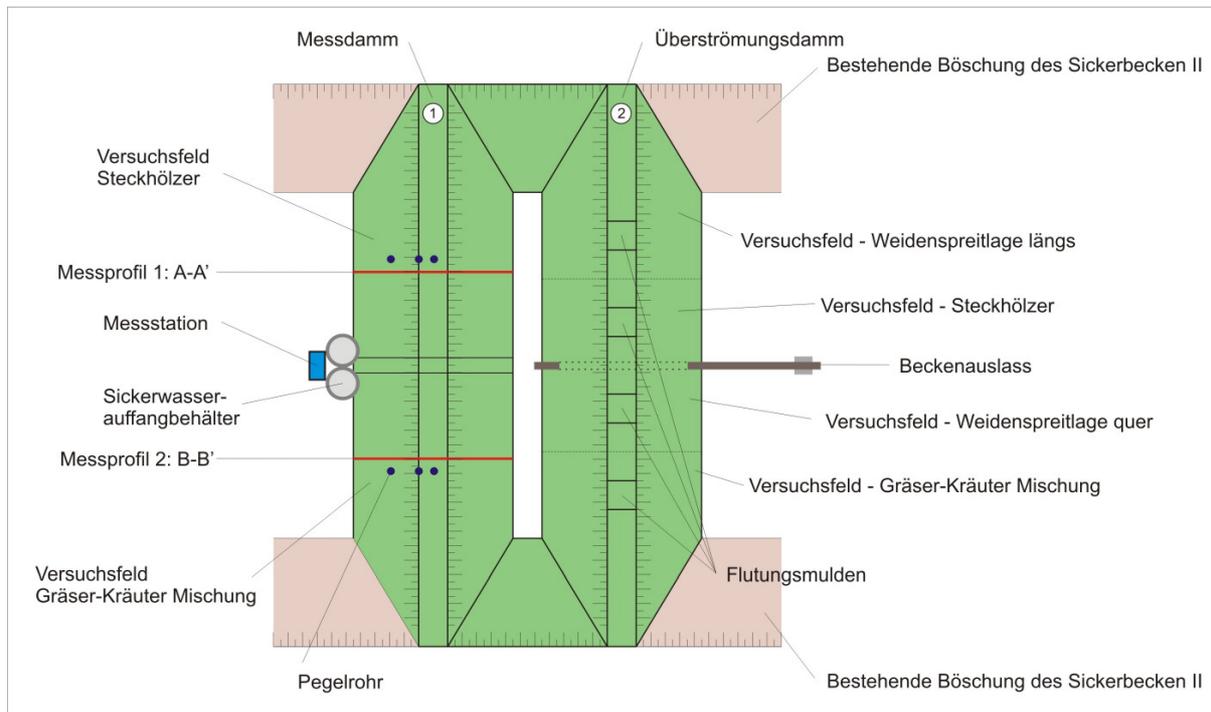


Abbildung 46: Planung der Versuchsanordnung im Sickerbecken 2 der Sickerwasseranlage Stallingerfeld bei Deutsch Wagram/Niederösterreich

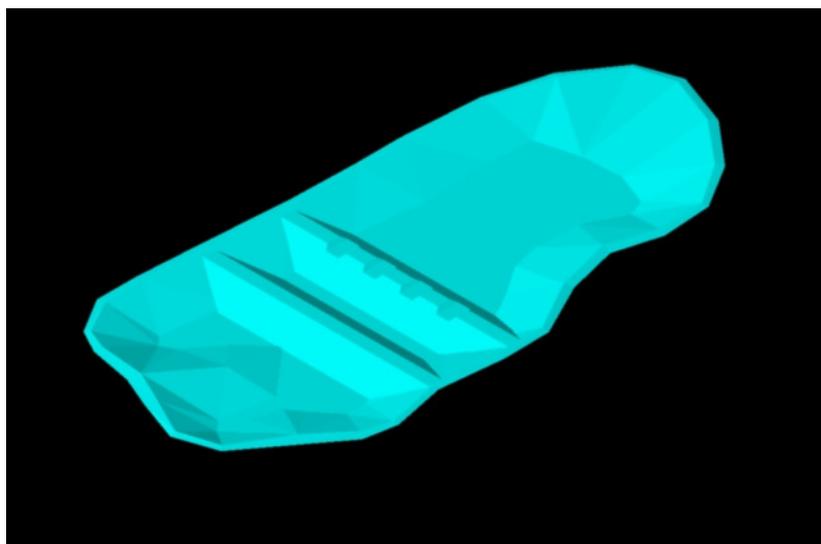


Abbildung 47: 3D Modell der Versuchsanlage Stallingerfeld bei Deutsch Wagram/Niederösterreich

Durch die Festlegung des neuen Versuchsstandortes wurde eine neue Versuchsanordnung entwickelt (siehe Abbildungen 46 und 47). Die neue Versuchsanordnung besteht aus zwei nebeneinander liegenden Dämmen, anhand des einen wird die Durchsickerung und anhand des anderen das Verhalten bei Überströmung untersucht. Beide Dämme werden in verschiedenen Sektoren mit einer konventionellen Gräser-Kräutermischung begrünt oder mit Gehölzen bepflanzt. Die Höhe der Dämme beträgt 2,7 m, die Dammböschung wird mit einer Neigung von 2:3 ausgeführt. Die Dammkrone hat eine Breite von 2,4 m, der Dammfuß ist 10 m breit. Beide Dämme haben eine Länge von 25 m am Dammfuß und 40 m an der Dammkrone. Zwischen den Dämmen befindet sich ein Becken mit einem Volumen von ca. 400 m³. Dieses wird während der Flutungsversuche mit Wasser aus dem Marchfeldkanal gefüllt. Bei beiden Dämmen handelt es sich um so genannte Homogendämme. Sie sind durchgängig aus gleichartigem Material (siehe Anhang 7.1.) geschüttet.

Bei der Sieblinie wurde wie bereits erwähnt auf die Untersuchungen der VIA-DONAU zurückgegriffen. Nach Absprache mit Univ. Prof. Dr. Heinz Brandl der TU Wien wurde beschlossen, dass eine Proctordichte von 97% anzustreben ist. Die Abdichtung des Untergrundes und der Böschung des bestehenden Beckens erfolgt mittels einer 30 cm dicken Lehmschicht. Auf den Außenseiten werden zur Sicherung der Dämme am Dammfuß 1,5 m breite Kiesdränagen eingebaut.

Am **Durchsickerungsdamm** wird der Einfluss von Gehölzen auf die Durchsickerung, dem von Gräsern gegenübergestellt. Die beiden Bewuchszonen sind mit einer 1,5 m dicken Lehm trennschicht voneinander getrennt. Zur Untersuchung der Durchsickerung werden Temperatur- und Porenwasserdrucksensoren in den Damm eingebaut. Auf der Außenseite werden Dränrohre am Grunde des Kiesdräns verlegt. Die Rohre enden in zwei Sammelschächten, die der Messung der Sickerwassermenge dienen.

Der zweite Damm ist als **Überströmungsdamm** konzipiert. Er wird in vier Bereiche eingeteilt, von denen drei mit verschiedenen Gehölzpflanzungen und einer mit einer Gräser-Kräutermischung bepflanzt werden. Die Dammkrone dieses Dammes ist zusätzlich mit Überströmbereichen ausgestattet, welche etwa 0,5 m tief und 1 m breit sind. Zum Schutz vor den durchströmenden Wassermassen werden die Seitenwände der Überflutungsmulden mit Weidenfaschinen ausgelegt.

3.4. Bau der Versuchsanlage

3.4.1. Zeitlicher Ablauf

Zu Beginn dieses Kapitels zeigt Tabelle 9 den zeitlichen Überblick über den Ablauf des Baus der Versuchsanlage, die geotechnischen Untersuchungen, die Erdarbeiten, die Pflanzungen und Vegetationsaufnahmen.

Geotechnische Untersuchungen	Yellow
Bauarbeiten	Red
Messgeräteinbau	Blue
Pflanzungen/Vegetationsaufnahmen	Green

	Dez. 06	Jän. 07	Feb. 07	Mär. 07	Apr. 07	Mai. 07	Jun. 07	Jul. 07	Aug. 07	Sep. 07	Okt. 07
Sieben d. Materialproben d. Marchdammes	Yellow	Yellow									
Bau der Lehmschicht				Red	Red						
Sieben der Materialproben von Magyar				Yellow							
Erdarbeiten am Überflutungsdamm				Red	Red						
Einbau der Sensoren					Blue						
Geotechnische Untersuchungen am Damm				Yellow	Yellow	Yellow					
Erdarbeiten am Durchsickerungsdamm				Red	Red	Red					
Bau der Überströmungsmulden						Red					
Setzen der Stechhölzer						Green					
Bau der Weidenspreitlagen						Green					
Ansaat der Gräser-Kräuter Mischung							Green				
Aufbau der Bewässerungsanlage							Red				
Anschluss des Modems								Blue			
Aufnahme der Stechhölzer								Green	Green		
Aufnahme der Weidenspreitlage									Green		
Nachsaat										Green	
Sieben d. Materialproben d. Versuchsanlage											Yellow

Tabelle 9: Zeitlicher Überblick über den Bau der Versuchsanlage, Deutsch Wagram/Niederösterreich

3.4.2. Geplante Versuche

Überströmungsdamm

Am Überströmungsdamm werden Überflutungsversuche unternommen. Dazu wird Wasser vom Marchfeldkanal mit Hilfe einer Pumpe in das Becken gefüllt, bis es in den Überflutungsmulden überläuft. Die vier Überflutungsmulden werden abwechselnd geöffnet oder geschlossen gehalten, um jeweils nur einen der Vegetationstypen zu beanspruchen. Diese sind Stechholzpflanzungen, Gräser-Kräuter Ansaat, Spreitlage längs und Spreitlage quer. Während der Überflutungsversuche wird besonders genau auf Erosionserscheinungen und Bodenabtrag geachtet. Der Zustand der Pflanzen wird ebenso vor und nach der Flutung verglichen. Die Beobachtungen und die Unterschiede bei den verschiedenen bepflanzt Böschungen werden dokumentiert.

Mit der Berechnung für den vollkommenen Überfall nach POLENI (RÖSSERT; 1994) kann die sekundliche Überfallmenge in m³/s berechnet werden, wobei:

$$Q = \frac{2}{3} * \eta * b * \sqrt{2g} * h_{\bar{u}}^{\frac{3}{2}}$$

η Überfallbeiwert, kann in diesem Fall mit 0,5 angenommen werden

b Breite der Öffnung in m

$h_{\bar{u}}$ Überfallhöhe in m

Dies ergibt bei den verschiedenen Überfallshöhen von 10 cm, 20 cm, 30 cm, 40 cm und 50 cm die in Tabelle 10 angegebenen Werte.

Überfallhöhe	Überfall in m ³ /s	Überfall l/s
10 cm	0,04	40
20 cm	0,12	120
30 cm	0,22	220
40 cm	0,34	340
50 cm	0,47	470

Tabelle 10: sekundliche Überfallsmenge in m³/s und l/s

Durchsickerungsdamm

Hier werden durch eingebaute Messsensoren die Durchsickerungsdaten gewonnen. Zusätzlich ist die Sickerwassermenge in den Auffangbehältern des Dränrohres zu messen. Wie am Überströmungsdamm wurden auch hier die 2 Sektoren verschiedenartig bepflanzt: Ein Abschnitt mit einer Gräser-Kräutermischung der andere mit Stechhölzern.

3.4.3. Bauablauf



Abbildung 48: Versickerungsanlage Stallingerfeld Sickerwasserbecken 2, Deutsch Wagram/ Niederösterreich; 11.02.2007

Erdarbeiten

Wie in 3.3.2. beschrieben, wurde die Versuchsanlage im Becken 2 der Versickerungsanlage Stallingerfeld der Betriebsgesellschaft Marchfeldkanal in Deutsch-Wagram errichtet (siehe Abbildung 48). Die Erdarbeiten wurden vom Bautrupps des Landes Niederösterreich, Abteilung Wasserbau, durchgeführt.

Das Dammschüttmaterial wurde nach den vorgegebenen Sieblinien von der Firma Magyar zusammengestellt und angeliefert (siehe Abbildung 49).



Abbildung 49: Anlieferung des Erdmaterials, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich; (13.04.2007)

Nach einem Verdichtungs- Vorversuch (siehe Kapitel 3.1.1.) wurden am 19. März 2007 mit den Arbeiten begonnen. Um die Wasserundurchlässigkeit des Untergrundes zu erlangen, wurde zu Beginn eine Lehmschicht aufgebracht. Diese wurde in drei 10 cm dicken Schichten geschüttet und jeweils mit einer Tandem-Vibrationswalze verdichtet (siehe Abbildungen 50 und 51).



Abbildung 50: Schütten der Lehmschicht, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich; 02.04.2007



Abbildung 51: Verdichten der Lehmschicht, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich; 05.04.2007

Anfang April haben die Arbeiter mit dem Schütten des Überströmungsdammes begonnen. Es wurden jeweils 30 cm Material geschüttet und diese dann mit Hilfe der Walze verdichtet. Im verdichteten Zustand muss jede Schicht eine Proctordichte von mindestens 97 % vorweisen. Die Dämme wurden bis zu einer Höhe von 3 m, einer Breite am Dammfuß von 10 Metern, einer Breite an der Dammkrone von 3 m und einer Neigung von 2:3 geschüttet (siehe Abbildungen 52 und 53).



Abbildung 52: Schütten des Überströmungsdammes, Versuchsanlage Deutsch Wagram/ Niederösterreich; 10.04.2007



Abbildung 53: Fast fertig gestellter Überströmungsdamm, Versuchsanlage Deutsch Wagram/ Niederösterreich; 17.04.2007

Nach der Schüttung jeder Schicht wurden die folgenden Versuche zur Überprüfung des Dammes durchgeführt: Felddurchlässigkeitsversuche nach Horn, Lastplattenversuche, Isotopensondenversuche und Stechzylinderentnahmen zur Ermittlung der Dichte. Zusätzlich wurde immer wieder Material zur Erstellung von Sieblinien und der Kontrolle gegenüber den vorgegebenen Sieblinien entnommen. Die genauen Ergebnisse dieser Messungen sind in Kapitel 4.1. zu finden.

Einbau der Dränage und des Sickerwassersammelbehälters



Abbildung 54: Einbau der Dränschicht am Überströmungsdamm, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich; 11.04.2007

An den landseitigen Böschungen wurde Kiesmaterial (8/16 mm) als Dränage angeschüttet. Die Böschungsneigung von 2:3 wurde auch hier eingehalten. Der Kiesdrän wurde wie in Abbildung 54 zu sehen ist, vom Dammkörper mit einem Vlies getrennt.

Der Durchsickerungsdamm wurde durch eine senkrechte Lehmschicht in einer Breite von 1,5 m in zwei unabhängige Dämme getrennt (siehe Abbildung 55). In der Kiesdrainage wurden zusätzlich Dränrohre mit einem Durchmesser von 10 cm eingebaut. Sie fangen das Sickerwasser auf und leiten es in zwei zylinderförmige Auffangbehälter (siehe Abbildung 56). Hier kann die Sickerwassermenge abgelesen werden. Mitte April waren die Bauarbeiten am Überströmungsdamm weitgehend fertig gestellt.



Abbildung 55: Einbau der Lehm trennschicht in den Durchsickerungsdamm, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich; 18.04.2007



Abbildung 56: Einbau des Dränagerohres und der Sickerwassersammelbehälter, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich; 18.04.2007

Einbau des Wasserablasses

Durch den Überströmungsdamm verläuft in der Mitte ein 15 m langes Rohr zum Beckenauslass, dieses wurde vor Aufbringen der ersten Schicht auf der Lehmschicht fest betoniert. Es dient dem Ablassen des Wassers aus dem Becken (siehe Abbildung 57).



Abbildung 57: Festbetoniertes Entwässerungsrohr, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich; 11.04.2007



Messgeräteeinbau und Anschluss des Modems

Mit dem Bau des Durchsickerungsdammes wurde nach Fertigstellung des Überströmungsdammes begonnen. Die Messgeräte wurden entlang zweier Profile (Profile A-A' und B-B'; jeweils in der Mitte der beiden Abschnitte) in vier Höhen und verschiedenen Tiefen eingebaut (siehe Abbildung 59). Verwendet wurden, wie in Abbildung 58 zu sehen ist, Feuchtigkeitssensoren (Type EC5) und Temperatursonden (Type PT 100). Die Kabel wurden



Abbildung 58: Feuchtigkeits- und Temperatursensoren, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich; 18.04.2007

in flexiblen Installationsrohren verlegt, um sie vor Wühltieren zu schützen. An den Sensorstandpunkten wurden erneut Lastplattenversuche durchgeführt und Stechzylinder entnommen.



Abbildung 59: Einbau der Messsensoren in 3. Schichten, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich:
oben links: 1.Schicht; 18.04.2007
oben rechts: 2.Schicht; 20.04.2007
unten links: 3.Schicht; 24.04.2007;
unten rechts: Messsensoren mit in flexiblen Rohren verlegten Kabeln; 18.04.2007

Die vier Schichten der Messsensoren befinden sich in 25 cm, 90 cm, 150 cm und 200 cm Höhe. Die genaueren Positionen der Messgeräte sind Abbildung 60 und in Tabellenform Anhang 7.5. zu entnehmen.

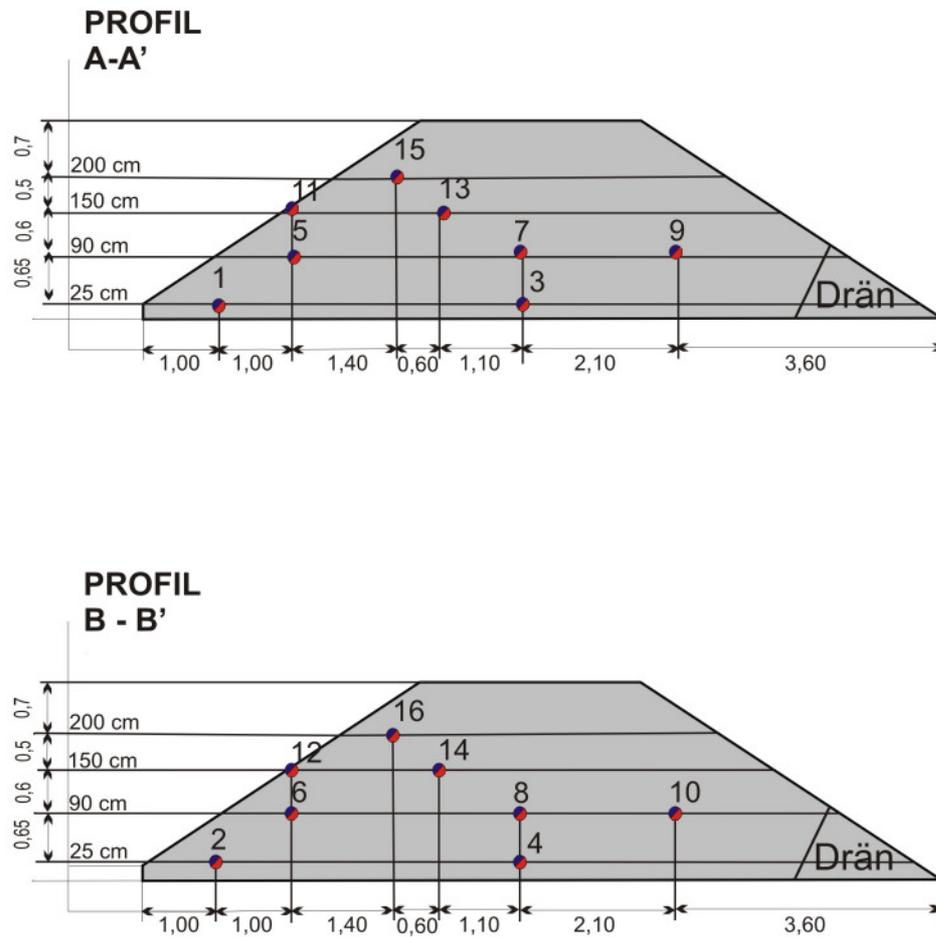


Abbildung 60: Profil der eingebauten Messsensoren im Dammkörper, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich

Ende Mai wurden die letzten Arbeiten am Überströmungsdamm durchgeführt. Vier Überströmungsmulden wurden mit einer Breite von 1 m und einer Tiefe von 0,5 m ausgehoben (Abbildung 61). Dies geschah mit dem Bagger, nachgearbeitet wurde per Hand. Außerdem wurden die Dammböschungen beider Dämme mit dem Bagger glatt abgezogen (Abbildung 62).



Abbildung 61: Ausheben der Überströmungsmulden, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich; 25.04.2007



Abbildung 62: Abziehen der Böschung, Versuchsanlage Deutsch Wagram/ Niederösterreich; 24.04.2007

Am 26.6.2007 wurde die Messstation errichtet und die Sensoren an den Datenlogger angeschlossen. Die Messstation ist mit einem Modem zur Datenübertragung ausgestattet (Abbildung 63).

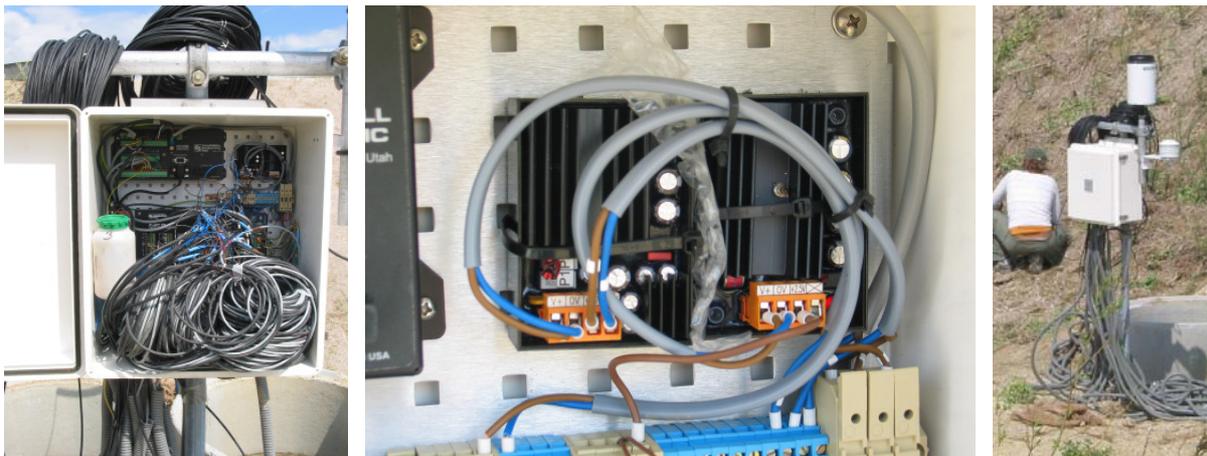


Abbildung 63: Aufbau der Messstation, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich; 26.06.2007

3.5. Bepflanzung und Begrünung der Versuchsanlage

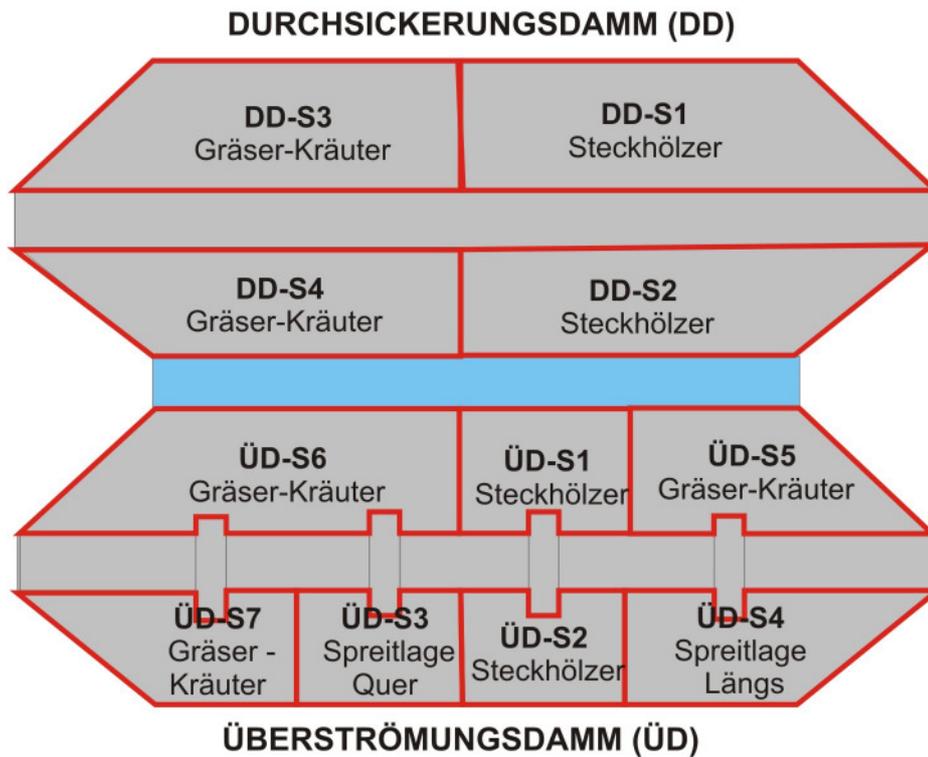


Abbildung 64: Einteilung des Dammes in Sektoren, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich

Nach abgeschlossenen Erdarbeiten starteten Anfang Mai (3./4. Mai) die Pflanzarbeiten an den Dämmen. Die Dämme wurden in verschiedenartig bepflanzte bzw. begrünte Sektoren geteilt (siehe Abbildung 63).

3.5.1. Verwendetes Pflanzenmaterial



Abbildung 65: *Salix purpurea* (INTERNET 7)



Abbildung 66: Weidenzweige in Großenzersdorf; 06.03.2007

Das Weidenmaterial für die Pflanzungen stammt aus den Anbauflächen des Institutes für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau der Universität für Bodenkultur Wien in Großenzersdorf. Es wurde Anfang März geschnitten und im Keller der Betriebsgesellschaft Marchfeldkanal bis zur Pflanzung zwischengelagert (siehe Abbildung 67). Vor dem Einbau wurde es einige Tage ins Wasser gelegt (siehe Abbildung 68). Verwendet wurde wegen ihrer Eigenschaften ausschließlich *Salix purpurea* – die Purpurweide.



Abbildung 67: Lagerung des Weidenmaterials im Keller der Betriebsgesellschaft Marchfeldkanal; 11.05.2007



Abbildung 68: Einwässern des Weidenmaterials in einem Teich der Versickerungsanlage; 11.5.2007



Abbildung 69: *Salix purpurea* (INTERNET 8)

Die Purpurweide ist eine Strauchweide und wird 1 – 8 m hoch. Sie blüht von März bis April, noch vor Entfaltung der Laubblätter. Ihre Verbreitung erstreckt sich über ganz Österreich, weiters ist sie auch in ganz Europa, N-Afrika, Kleinasien und Zentralasien zu finden und zwar in Höhenstufen von collin bis montan (subalpin). Die Purpurweide ist eine Pionierpflanze und siedelt sich daher besonders gerne an Ufern, Kiesbänken, Steinbrüchen, etc. an. Sie hat eine große ökologische Amplitude, ist ausgezeichnet vegetativ vermehrbar und hat eine außerordentlich gute Biegsamkeit, außerdem ist sie schadstoff-, salz, und trockenresistent. Diese Eigenschaften machen die Purpurweide zur am häufigsten verwendeten Weide bei der Ufer- und Hangsicherung. Sie ist damit bestens geeignet für die Bepflanzung des Versuchdammes. (HÖRANDL et al.; 2002)

3.5.2. Steckhölzer



Abbildung 70: Einwässern der Steckhölzer, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich; 04.05.2007



Abbildung 71: Setzen der Steckhölzer, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich; 04.05.2007

Sektor 1 und 2 des Durchsickerungsdammes und des Überströmungsdammes wurden mit Steckhölzern bepflanzt. Wegen der starken Verdichtung des Dammkörpers mussten die Löcher teilweise mit Eisenstangen vorgeschlagen oder mit dem Bohrer vorgebohrt werden. Die 1-3 cm starken und 40-80 cm langen Steckhölzer wurden in einem Raster von 60 x 60 cm und in einem Winkel von 90° zum Hang, in Wuchsrichtung, mit dem Fäustel eingeschlagen. Jede zweite Reihe ist in den Zwischenraum



Abbildung 72: gesetzte Steckholzreihen, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich; 11.05.2007

versetzt. Abschließend wurden die Steckhölzer auf 3 - 5 cm zurückgeschnitten. In den Abbildungen 70 bis 72, sind die Photos der Pflanzarbeiten zu sehen. In Abbildung 73 sieht man die Lage des Steckholzes im Dammkörper.



Abbildung 73: Steckholzpflanzungen, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich

3.5.3. Weidenfaschinen

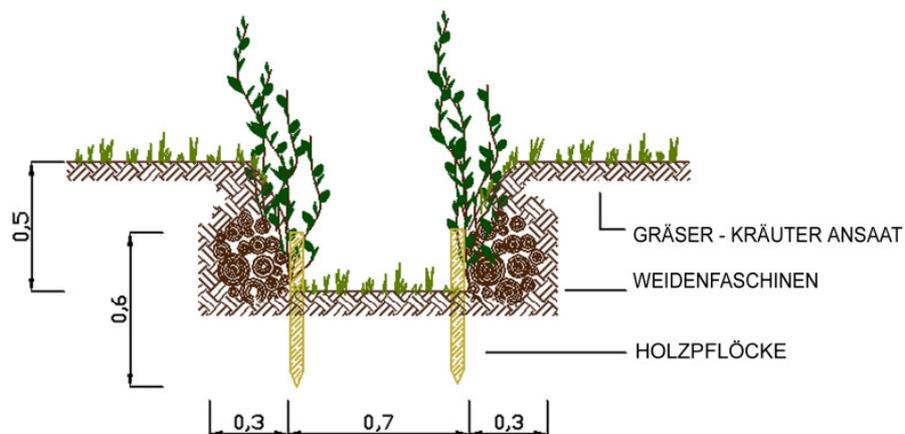


Abbildung 74: Überflutungsmulden, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich

Am Überflutungsdamm wurden Sektor 1 und 2 (siehe Abbildung 64 auf S.81) auf die gleiche Art und Weise mit Steckhölzern bestückt. Zusätzlich wurden hier auch andere



Abbildung 75: Überflutungsmulde, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich; 29.05.2007

Bauweisen eingesetzt. Die Überflutungsrinnen wurden an den Seitenwänden mit jeweils 2 Weidenfaschinen ausgelegt (Abbildung 75). Dazu wurden Weidenäste in ca. 1,5 - 2 m Länge zu Bündel gebunden und dann an den Seitenwänden mit 4 Holzpflocken befestigt. Der Boden der Überflutungsmulden wurde mit einer Gräser-Kräuter-Ansaat begrünt. In Abbildung 75 ist der Querschnitt einer Überflutungsmulde zu sehen.

3.5.4. Weidenspreitlage längs



Abbildung 76: Weidenspreitlage längs, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich; 15.05.2007



Abbildung 77: Überschütten mit Humus, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich; 15.05.2007

Sektor 4 (siehe Abbildung 64 auf S.81) wurde mit einer Weidenspreitlage längs zur Böschung bedeckt, Sektor 3 mit einer Weidenspreitlage quer zur Böschung. Das verwendete Weidenmaterial bestand wieder ausschließlich aus der Purpurweide (*Salix purpurea*).

Für die Weidenspreitlage längs wurde zuerst der Boden aufgeraut, damit die Weiden besser anwachsen können. In 1 – 2 m Abständen wurden Pflöcke eingeschlagen. Die 2 – 4 m langen Weidenruten wurden längs der Böschung mit den dicken Enden nach unten aufgelegt, wobei darauf geachtet wurde, dass sie sich immer gut überlappen. Zur Befestigung und zum Andruck an den Damm wurden die Weiden mit Draht an den Pflöcken niedergebunden. Abschließend wurde die Spreitlage mit einer 3 – 4 cm dicken Humusschicht bedeckt. Der Bau der Weidenspreitlage ist in den Abbildungen 76 bis 78 dokumentiert.

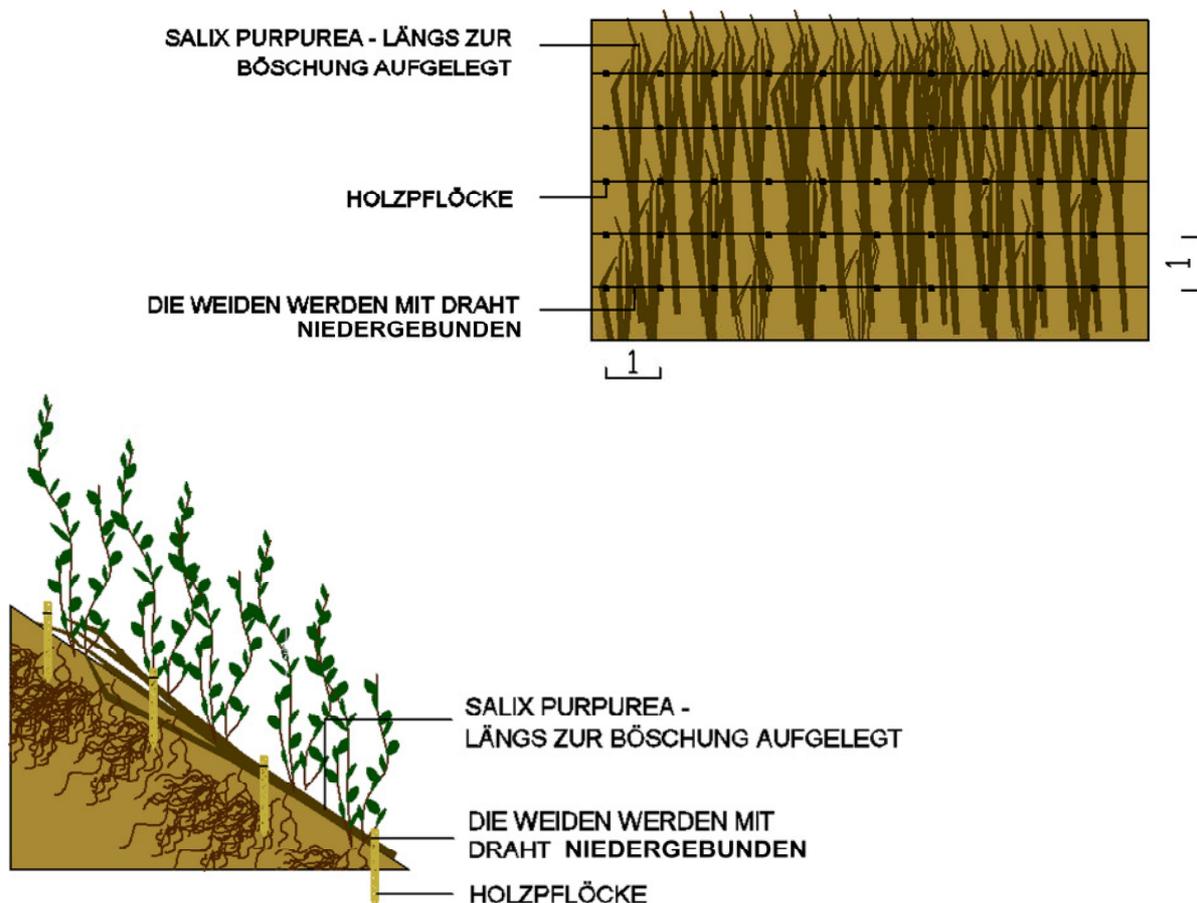


Abbildung 78: Weidenspreitlage längs – Ansicht und Querschnitt, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich

3.5.5. Weidenspreitlage quer

Der Bau der Weidenspreitlage quer erfolgte sehr ähnlich dem der Weidenspreitlage längs, nur wurden die Weidenruten quer zur Böschung aufgelegt. Es wurden wieder Pflöcke eingeschlagen, Weidenäste überlappend aufgelegt, diese mit Draht an den Pflöcken hinunter gebunden und das Ganze mit einer Humusschicht von 3 – 4 cm dicke überschüttet (siehe Abbildung 79 und 80).



Abbildung 79: Bau der Weidenspreitlage quer, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich; 15.05.2007

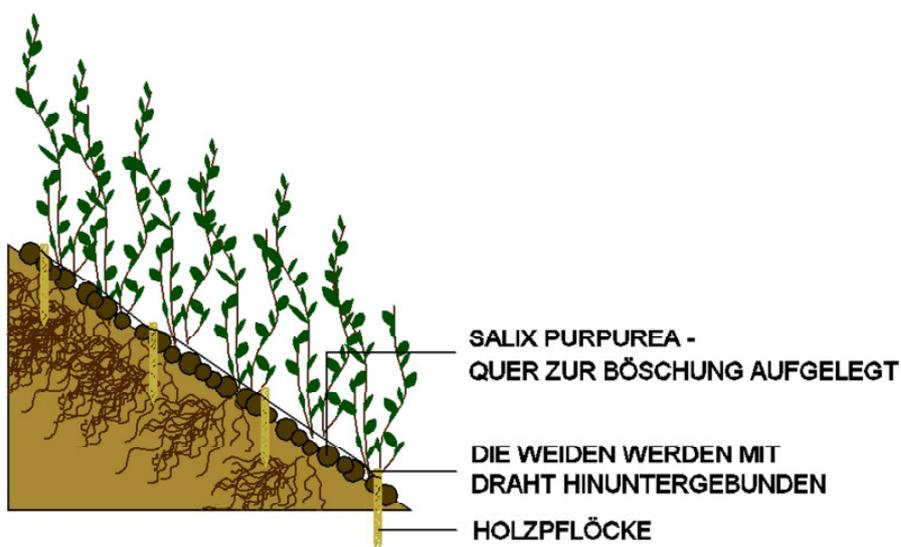
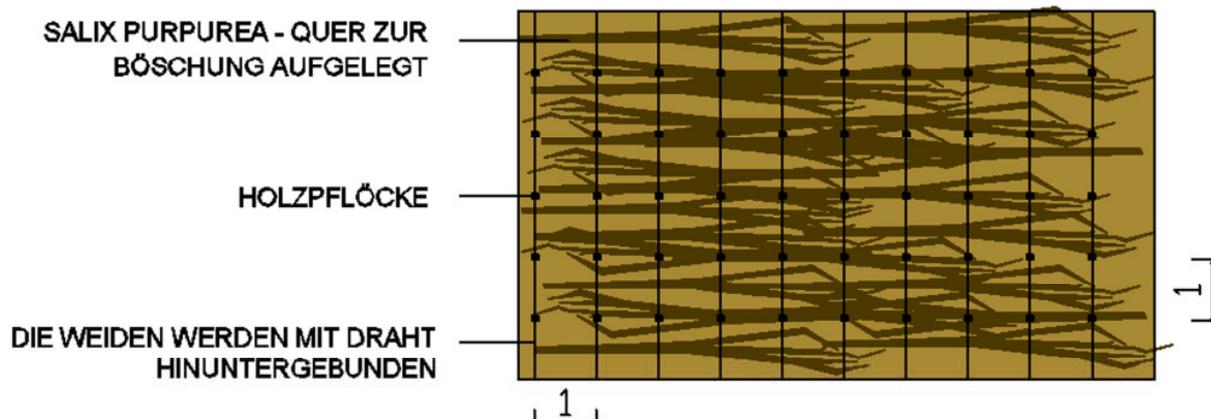


Abbildung 80: Weidenspreitlage quer - Ansicht und Querschnitt, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich

3.5.6. Gräser-Kräuter Ansaat

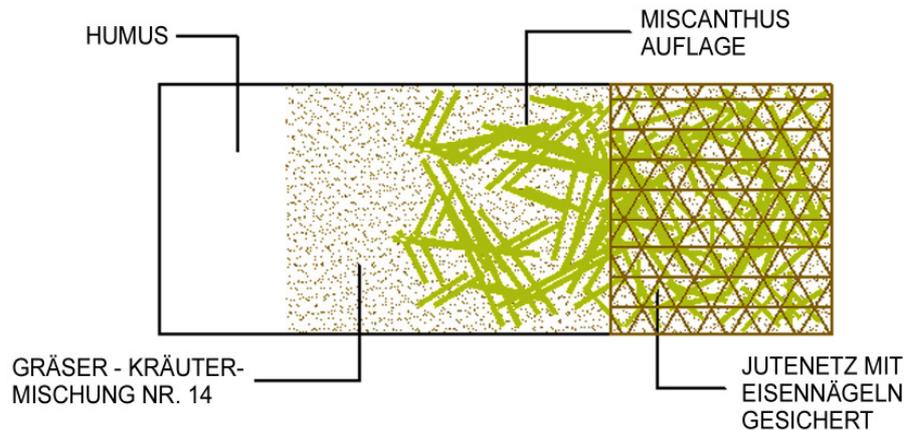


Abbildung 81: Gräser – Kräuter Ansaat, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich

Die restlichen Flächen sind mit der Gräser–Kräuter Trockenrasenmischung Nr. 14 des Institutes für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau der Universität für Bodenkultur Wien begrünt worden. Sie wurden mittels Jutenetz Strohecksaat (siehe Abbildung 81) aufgebracht. Als Abdeckung wurde Miscanthusstroh verwendet.

Gräser		
Bromus erectus	2,00%	Aufrechte Trespe
Bromus inermis	2,00%	Wehrlose Trespe
Festuca duriuscula	15,00%	Hartschwingel
Festuca ovina	20,00%	Schafschwengel
Festuca rubra commundata	10,00%	Horstbildender Rotschwengel
Festuca rubra rubra	8,00%	Ausläuferbildender Rotschwengel
Festuca vallesiaca	2,00%	Walliser Schwingel
Koeleria cristata	5,00%	Kammschmiele
Lolium perenne	5,00%	Englisches Raygras
Poa compressa	7,00%	Platthalmrispe
Poa pratensis	2,00%	Wiesenrispe
Kräuter		
Achillea millefolium	2,00%	Schafgarbe
Anthyllis vulneraria	2,00%	Wundklee
Coronilla varia	4,00%	Kronwicke
Lathyrus pratensis	1,00%	Wiesenplatterbse
Lotus corniculatus	4,00%	Hornschotenklee
Medicago lupulina	2,00%	Gelbklee
Onobrychis viciifolia	2,00%	Espartette
Papaver rhoeas	0,10%	Wilder Mohn
Plantago lanceolata	1,90%	Spitzwegerich
Trifolium repens	3,00%	Weißklee

Tabelle 11: Trockenrasenmischung Nr.14 – für die Versuchsdämme in Deutsch Wagram/Niederösterreich

Zuerst wurde der Boden aufgeraut und eine etwa 3 – 4 cm dicke Humusschicht aufgebracht. Darauf wurde das Saatgut der Gräser – Kräuter Trockenrasenmischung Nr. 14 (siehe Tabelle 11) aufgebracht, zirka 25 g/m². Die Gräser und Kräuter dieser Saatgutmischung sind besonders trockenresistent, wodurch sie sich gut für die extremen Bedingungen an den Versuchsdämmen eignen. Anschließend wurden sie mit einer 3 - 4 cm dicken Schicht aus Miscanthusstroh abgedeckt (500 – 700 g/m²). Abschließend wurde ein Jutenetz darüber gespannt und mit 40 cm langen Eisennägeln festgenagelt. Das Jutenetz ist ein Produkt der Firma HasTech und ist ein 100%iges Jutegewebe mit 10 mm Maschenweite.

Die Arbeiten sind in Abbildung 82 bis 85 dargestellt.



Abbildung 82: Ansaat, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich; 26.06.2007



Abbildung 83: Aufbringen von Miscanthusstroh und Jutenetz, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich; 28.06.2007



Abbildung 84: Überdeckung des Dammes mit Jutenetz, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich; 28.06.2007



Abbildung 85: abgeschlossene Jutenetz-Strohdecksaat, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich; 28.06.2007

3.6. Pflege

Dämme sind generell trockene Standorte. Die Lage der Versuchsanlage in einem der niederschlagärmsten Gebiete Österreichs, dem Marchfeld, machte eine Bewässerung für einen optimalen und raschen Aufwuchs notwendig. Anfangs musste wegen des geringen Niederschlags händisch mittels Schlauch beregnet werden (Abbildung 86). Am 19/20.06.2007 wurde eine Beregnungsanlage installiert, die den Damm mittels Zeitschaltuhr automatisch bewässert (Abbildungen 87 und 88).



Abbildung 86: Händische Bewässerung, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich; 29.05.2007



Abbildung 87: Installation der Beregnungsanlage, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich; 23.06.2007



Abbildung 88: Bewässerungsanlage, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich; 02.10.2007

Um den Weiden den Aufwuchs zu erleichtern, werden größere, spontan aufkommende, ungewollte Pflanzen regelmäßig entfernt.

4. Ergebnisse am Überströmungsdamm

4.1. Auswertung der geotechnischen Versuche

4.1.1. Verdichtungsgrad

Vom Institut für Geotechnik an der Universität für Bodenkultur Wien wurde mit dem beim Dammbau verwendeten Material ein Proctorversuch (siehe auch Kapitel 3.1.6.) durchgeführt. Ein Verdichtungsgrad von 100% entspricht einer Trockendichte von $2,028 \text{ g/cm}^3$. Bei dem geforderten Verdichtungsgrad (D_{Pr}) von 97%, ergibt sich daraus eine Trockendichte (ρ_d) von $1,968 \text{ g/cm}^3$. Ein guter Wassergehalt des Materials für eine erfolgreiche Verdichtung liegt zwischen 7,1 % und 12,1 %. Optimal ist ein Wassergehalt von 9,7 %. In Abbildung 91 sind die Ergebnisse des Proctorversuches graphisch dargestellt.

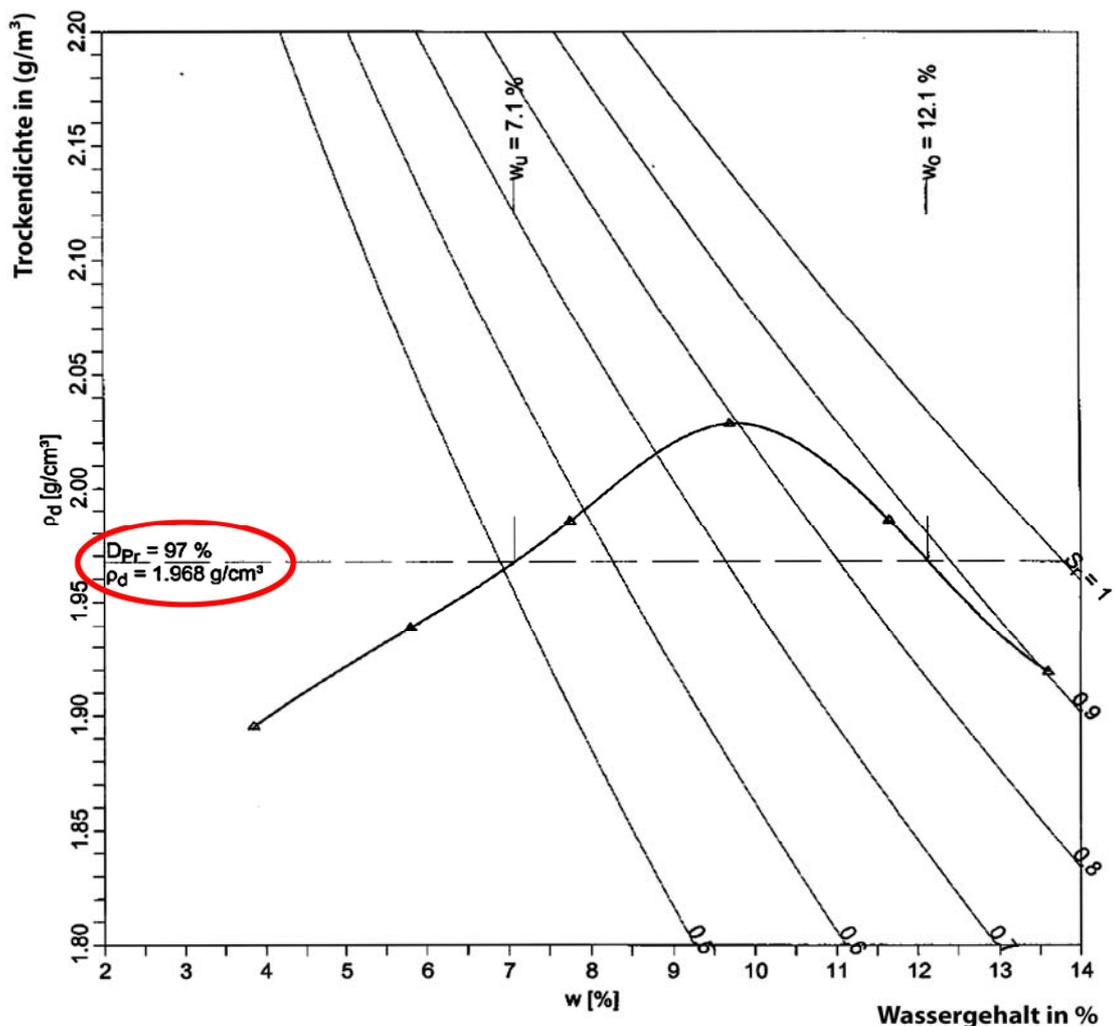


Abbildung 89: Verdichtungsgrad des Dammschüttmaterials an der Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich, (ASCHAUER – Institut für Geotechnik an der BOKU Wien; 05.04.2007)

4.1.2. Tragfähigkeit (dynamisches Verformungsmodul)

Beim dynamischen Lastplattenversuch (siehe auch Kapitel 3.1.5.) ist ein guter E_{vd} - Wert (= Wert des dynamischen Verformungsmoduls = Tragfähigkeit) größer oder gleich 25 MN/m^2 . Dies entspricht Tabelle 6 in Kapitel 3.1.5. einem Verdichtungsgrad von 97% bei schluffigen und tonigen sowie gemischtkörnigen Böden.

In der Tabelle in Anhang 6 ist zu erkennen, dass der E_{vd} - Wert an den Stellen des Sensoreinbaues zwischen $31,6 \text{ MN/m}^2$ und $58,6 \text{ MN/m}^2$ pendelt. Dies ergibt einen Mittelwert von $45,58 \text{ MN/m}^2$. Abbildung 90 zeigt das dynamische Verformungsmodul aller Messungen. Dieses bewegt sich zwischen in etwa 24 MN/m^2 und 58 MN/m^2 und hat einen Mittelwert von $40,3 \text{ MN/m}^2$.

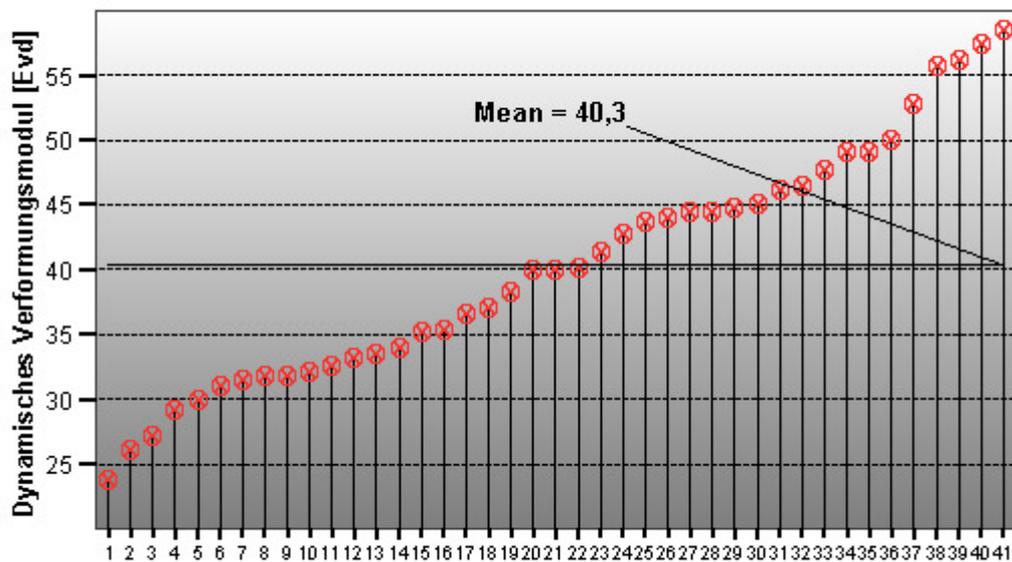


Abbildung 90: Ergebnisse der Messungen mit der dynamischen Lastplatte, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich

4.1.3. Trockendichte und Relative Dichte

Eine gute Trockendichte bezogen auf die Proctordichte von 97% ist größer gleich $1,968 \text{ g/cm}^3$. Die aus unterschiedlichen Schichten des Dammes entnommenen Zylinder (siehe auch Kapitel 3.1.4.) haben eine mittlere Trockendichte von $1,951 \text{ g/cm}^3$. Dies kommt dem angestrebten Wert sehr nahe. In Abbildung 91 ist die relative Dichte, angegeben. Diese bewegt sich bei den 37 Proben zwischen 91,98% und 101,67% und hat einen Mittelwert von 96,22%, der sehr nahe bei den erwünschten 97% Proctordichte liegt. Die Tabelle in Anhang 7 zeigt die genauen Daten der Auswertung.

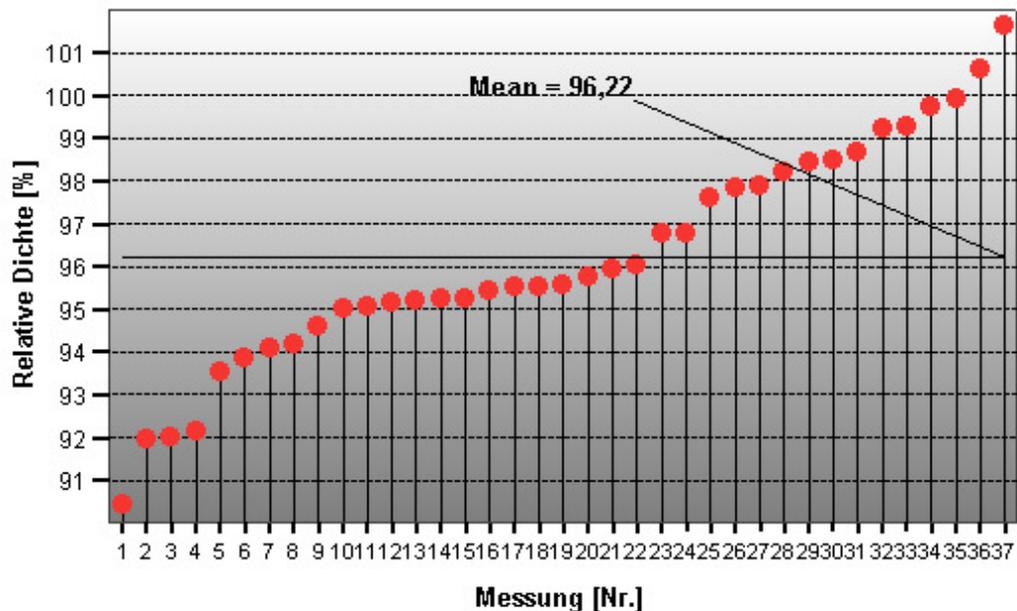


Abbildung 91: Relative Dichte der Stechzylinderproben, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich

Der Wassergehalt des Bodens verhält sich in den 3 gemessenen Schichten zwischen 10 cm und 30 cm sehr ähnlich. Er liegt sich zwischen 5 % und 6,9 %. Das Wassergehaltmittel liegt bei 5,59 %. Dies entspricht nicht ganz den notwendigen 9,7%, das Material war zu trocken um hinreichend verdichtet werden zu können, deshalb musste das Material vor der Verdichtung befeuchtet und mit der Walze besonders oft befahren werden.

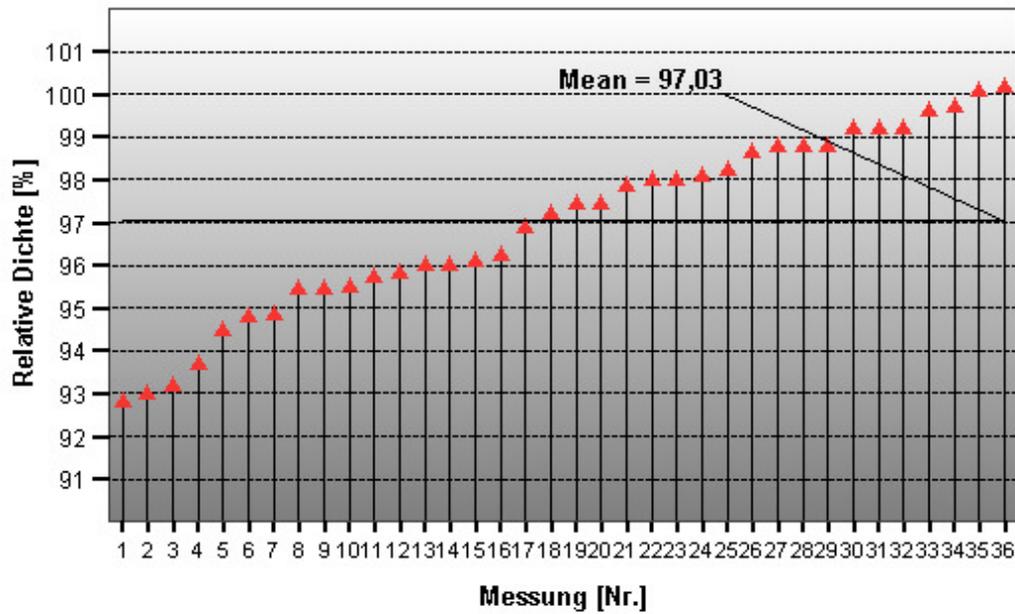


Abbildung 92: Relative Dichte (%) der Isotopensonnenmessungen, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich

Die Isotopenmessungen (siehe auch Kapitel 3.1.8.) wurden beim Bau des Damms auf einer Höhe von 90 cm, über den ganzen Damm in Länge und Breite verteilt, durchgeführt. Die Messungen erfolgten in 10 cm, 20 cm und 30 cm Tiefe. Die relative Dichte erreichte zwischen 92% und 100%, im Mittel 97,03% (siehe Abbildung 92)

Die Trockendichte wurde neben den Messstellen der Isotopensonde zusätzlich durch Stechzylinder ermittelt. Sie variiert zwischen 1,9 g/cm³ und 2,06 g/cm³. Es ergibt sich eine mittlere Trockendichte von 2 g/cm³ (siehe Tabelle in Anhang 7.8.).

4.1.4. Wasserdurchlässigkeit

Vom Dammschüttmaterial wurde im Labor des Institutes für Geotechnik ein Durchlässigkeitsversuch (siehe auch Kapitel 3.1.7.) gemacht. Die Probe des Dammschüttmaterials hatte bei einer Proctordichte von 97% einen Durchlässigkeitsbeiwert von $k_{10} = 8,5 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$. Tabelle 2 auf Seite 14 zeigt Richtwerte für die Durchlässigkeit an. Ein Wert von 10^{-9} m/s ist dabei praktisch nicht mehr durchlässig, 10^{-2} m/s hingegen sehr stark durchlässig. Das Dammschüttmaterial ist daher mittelmäßig bis gering durchlässig.

Die Lehmschicht soll die Dämme nach unten abdichten, also fast vollkommen undurchlässig sein. Die Durchlässigkeit der Lehmschicht wurde mit dem Felddurchlässigkeitversuch (siehe auch Kapitel 3.1.7.) nach Horn bestimmt. Die Durchlässigkeit beläuft sich auf $k_{10} = 3,24 \cdot 10^{-9}$ bis $5,9 \cdot 10^{-10}$. Die Lehmschicht ist also undurchlässig, technisch dicht. Die genauen Ergebnisse sind Tabelle in Anhang 7.9. zu entnehmen.

4.1.5. Korngrößenverteilung

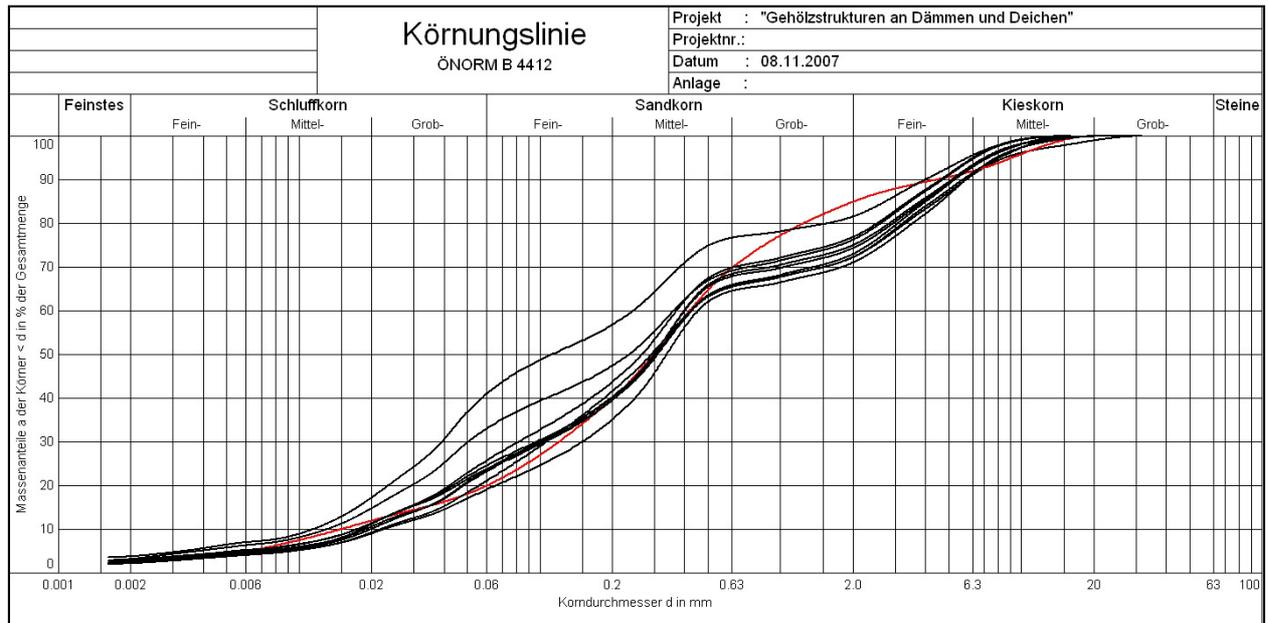


Abbildung 93: Sieblinien der Erdproben des für den Deich verwendeten Materials der Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich

Zur Überprüfung des angelieferten Erdmaterials wurden daraus Proben genommen und weitere kombinierte Sieb- und Schlämmanalysen durchgeführt (siehe auch 3.1.2.). Die Sieblinien wurden mit der anzustrebenden roten Linie gemäß Abbildung 93 verglichen. Wie zu sehen ist, gleichen die Ergebnisse weitgehend der roten, vorgegebenen Kurve. Nur im Bereich des Grobsandes bzw. Feinkieses gibt es geringfügige Abweichungen. Das Dammschüttmaterial entspricht also den Erwartungen.

4.2. Auswertung der Pflanzenaufnahmen

Die Kontrollen der Stechkölzer fanden am 25.07.2007 und am 02.08.2007 statt. Die der Spreitlage quer am 13.08.2007.

4.2.1. Stechkölzer

Aufnahme

Aufgenommen wurden die Stechkölzer nach Spalte, Zeile, Stechkolnummer, Exposition, Anzahl, Durchmesser der Stechkölzer, lebend/tot (Stechkölzer), Anzahl der Sprosse, Länge der Sprosse, Durchmesser der Sprosse und Vitalität der Sprosse. Die Vitalitätsstufen gliedern sich wie folgt in:

1 – Sehr guter Zustand
2 – Guter Zustand
3 – Schlechter Zustand
4 – Abgestorben

Abbildungen 94 und 95 zeigen die aufgenommenen Stechkölzer. Überströmungsdamm Sektor 1 (ÜD-S1) ist Richtung Westen exponiert und Überströmungsdamm Sektor 2 (ÜD-S2) Richtung Osten. Um die Stechkölzer bei zukünftigen Aufnahmen leichter zu erkennen wurden sie in Spalten und Zeilen aufgenommen.

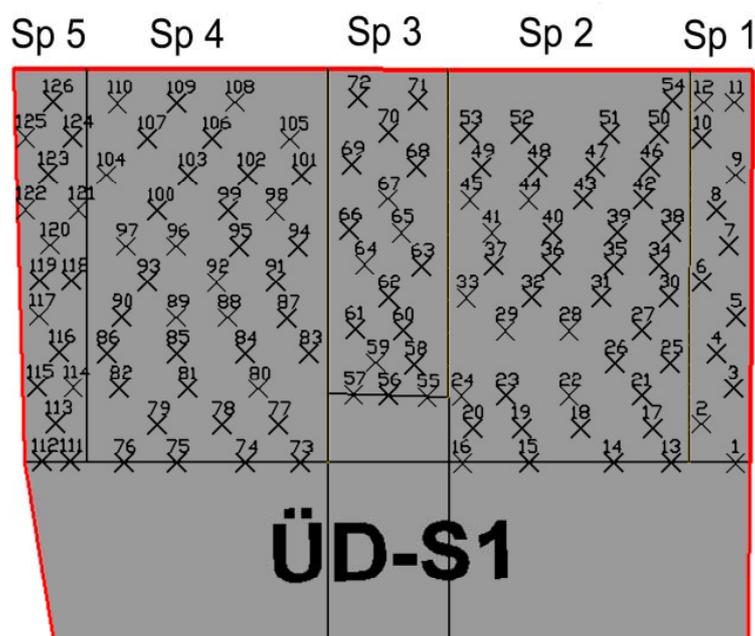


Abbildung 94: Stechkölzer am Überströmungsdamm Sektor 1, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich

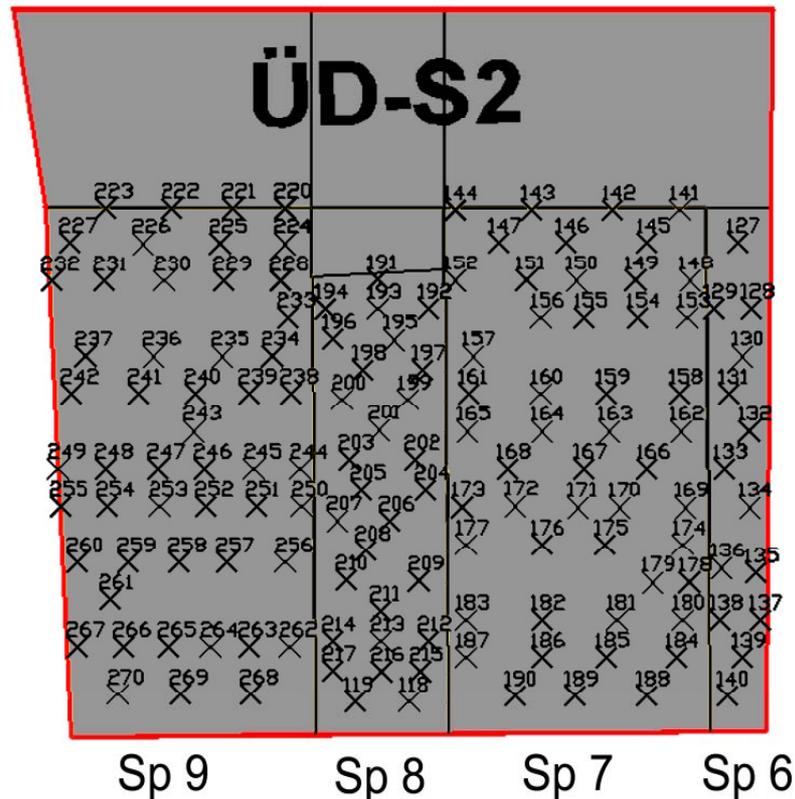


Abbildung 95: Steckhölzer am Überströmungsdamm Sektor 2, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich

Entwicklung der Steckhölzer

Am 04.05.2007 wurden die Steckhölzer gesetzt. Zwei Wochen später trieben die ersten aus (siehe Abbildung 96). In den ersten Wochen wurden die Steckhölzer noch händisch gegossen, später durch die Beregnungsanlage. Nach anfänglich gutem Wachstum verlangsamte sich dieses zunehmend. Es könnte an dem sehr stark verdichteten Boden und der anfänglichen Wasserknappheit gelegen sein.



Abbildung 96: Austrieb 2 Wochen nach Einbau, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich; 16.05.2007

Die Abbildungen 97 bis 100 zeigen den Wachstumsfortschritt der Weiden. Weiters sind auf Abbildung 100 auch erste Ausfälle der Steckhölzer zu erkennen.



Abbildung 97: Steckhölzer an der Wasserseite, 1,5 Monate nach Einbau, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich; 25.06.2007



Abbildung 98: Steckhölzer an der Landseite, 2,5 Monate nach Einbau, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich; 26.07.2007



Abbildung 99: Wachstumsfortschritt der Steckhölzer an der Landseite, 5 Monate nach Einbau, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich; 04.10.2007



Abbildung 100: Wachstumsfortschritt der Steckhölzer an der Wasserseite, 3 Monate nach Einbau, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich; 14.08.2007

Auswertung

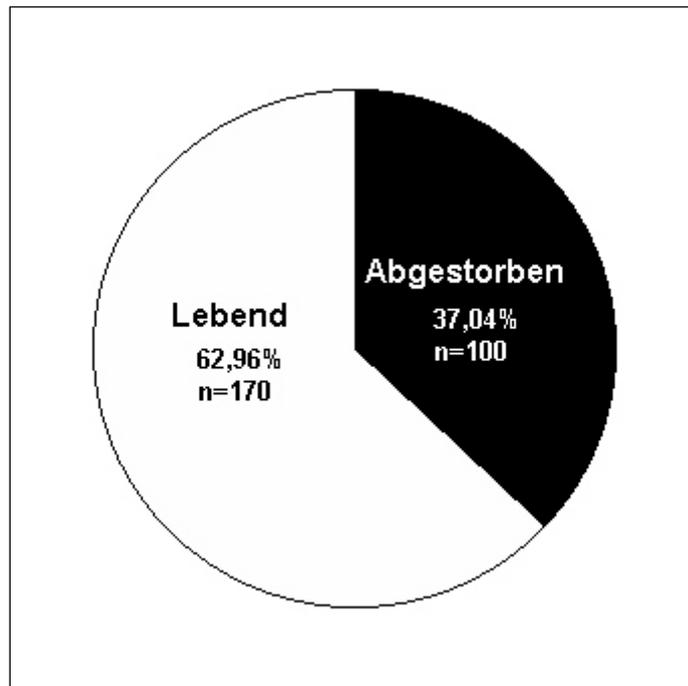


Abbildung 101: Überlebensrate der Steckhölzer, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich; 3 Monate nach Einbau

Insgesamt wurden 270 Steckhölzer gepflanzt. 126 auf der nach Westen exponierten und 144 an der nach Osten exponierten Seite. Wie in Abbildung 101 zu sehen ist, sind 100 Steckhölzer (37%) abgestorben, 170 Steckhölzer (63%) haben überlebt und ausgetrieben.

Wird die Austriebsrate nach Exposition betrachtet, so haben 67% der 126 nach Westen exponierten Steckhölzer ausgetrieben und 60% der nach Osten ausgerichteten. Hier gibt es also keinen Unterschied.

Die Untersuchungen der Austriebsrate nach Lage der Steckhölzer am Damm brachten keine unterschiedlichen Ergebnisse. Prinzipiell sind die Steckhölzer in Reihen gepflanzt, wegen der leicht unregelmäßigen Pflanzungen sind keine einheitlichen Pflanzreihen zu erkennen. Nach visuellen Beurteilungen wachsen die Weiden auf den verschiedenen Höhen des Dammes aber gleichmäßig.

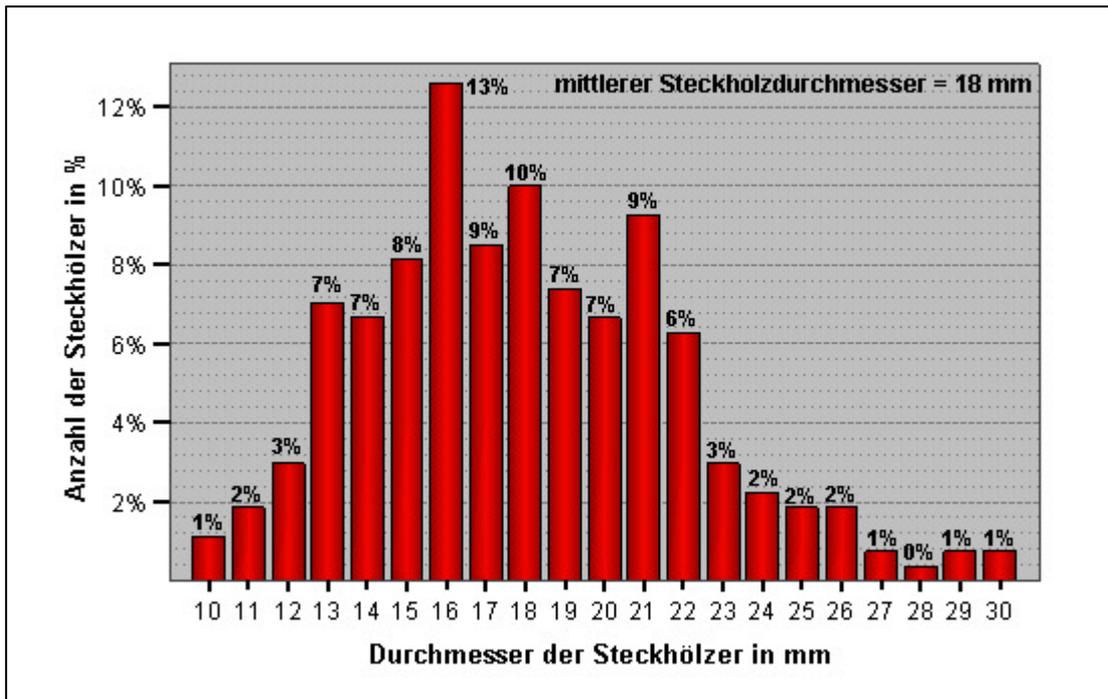


Abbildung 102: Durchmesser der Stechkölzer, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich; 3 Monate nach Einbau

Abbildung 102 zeigt die Durchmesser der gesetzten Stechkölzer. Über 80% der Stechkölzer haben einen Durchmesser von 13 cm bis 22 cm. Der mittlere Steckholzdurchmesser ist 18 mm. Wie Abbildung 103 zeigt, haben 33% der 270 Stechkölzer überhaupt nicht ausgetrieben. Von den restlichen Stechkölzern sind im Laufe der Zeit weitere 4% abgestorben. Die meisten der Stechkölzer haben 1 bis 3 Sprosse. 4 und 5 Sprosse haben immerhin noch 12% Stechkölzer. Jeweils ein Steckholz hat 9 und 10 Sprosse.

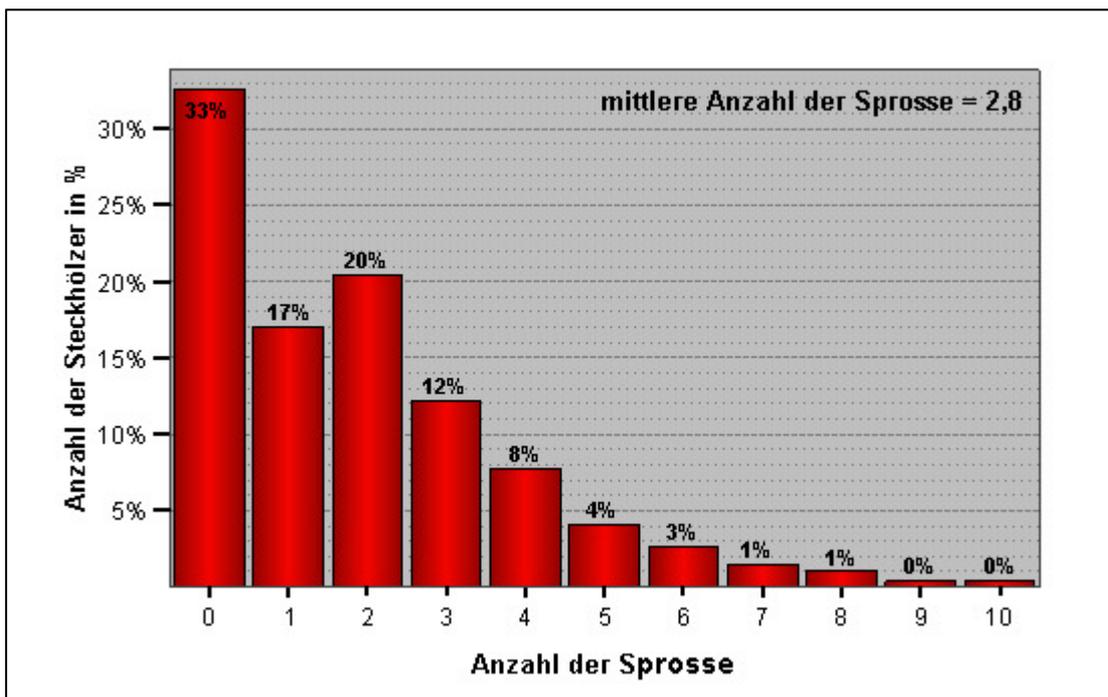


Abbildung 103: Anzahl der neuen Sprosse pro Steckholz, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich; 3 Monate nach Einbau

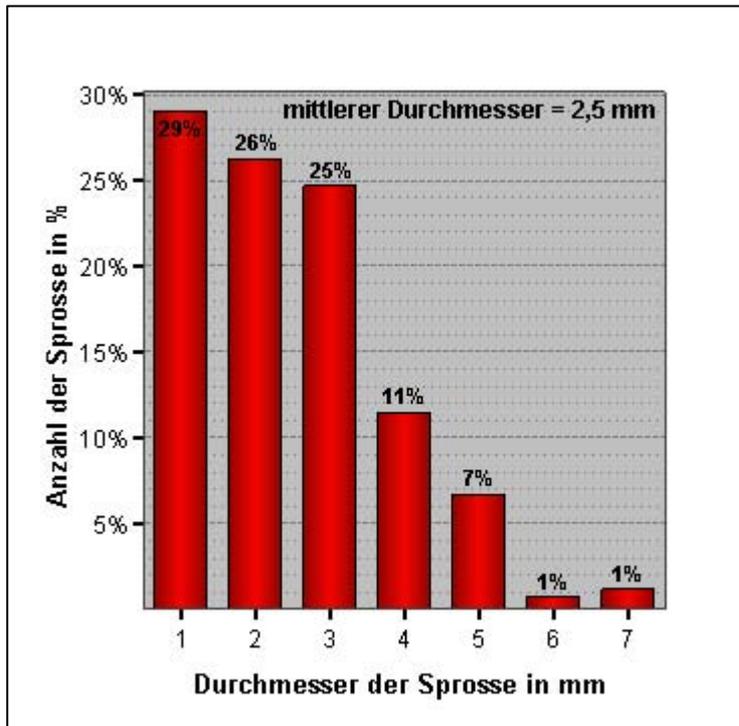


Abbildung 104: Durchmesser der Sprosse der Steckhölzer, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich; 3 Monate nach Einbau

Die Durchmesser der einzelnen Sprosse liegen, wie in Abbildung 104 zu sehen ist, größtenteils zwischen 1 mm und 3 mm, vereinzelt kommen Durchmesser bis zu 7 mm vor. Der durchschnittliche Durchmesser der Sprosse ist 2,5 mm.

Die Länge der Sprosse wurde gemäß Abbildung 105 gemessen. Die Längen sind in Klassen zu je 5 cm eingeteilt. Am stärksten vertreten sind die Sprosse bis 5 cm mit 82 Stück. Über 80% der

Sprosse fällt in die Klassen von 5 bis 50 cm. Längeres Wachstum wurde selten erreicht, Sprosse über 90 cm sind überhaupt die Ausnahme. Die mittlere Länge beträgt 30,7 cm.

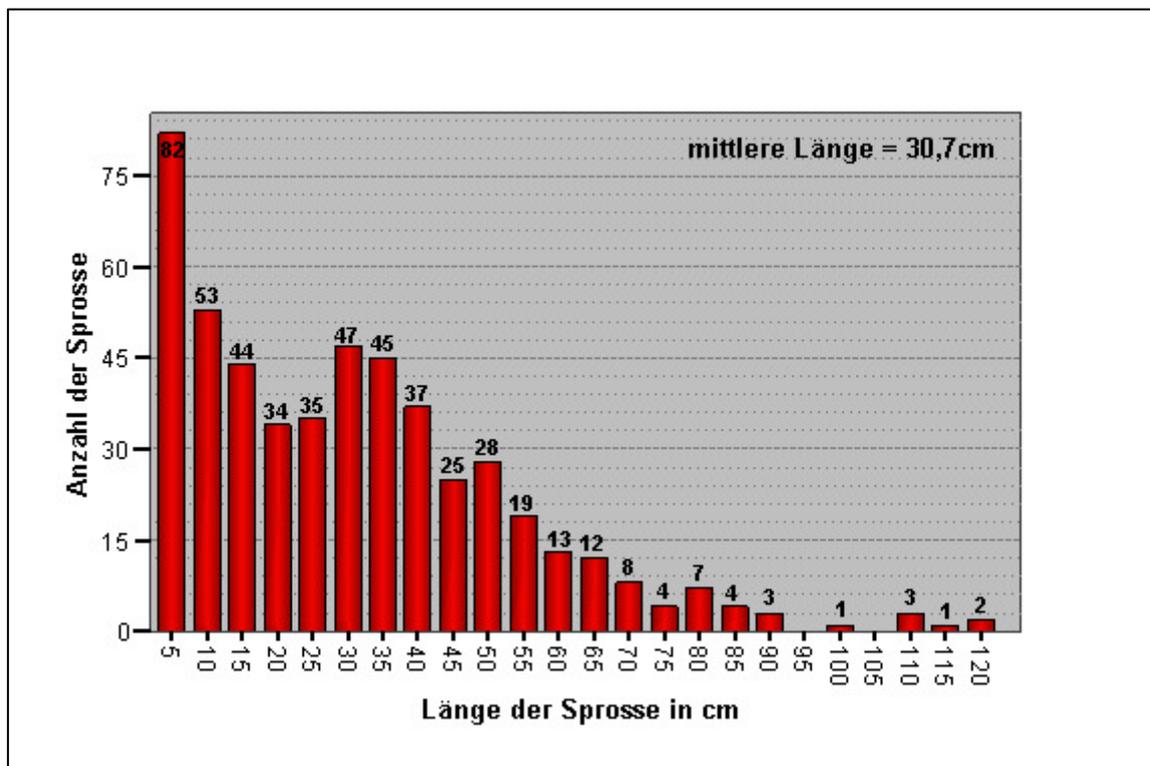
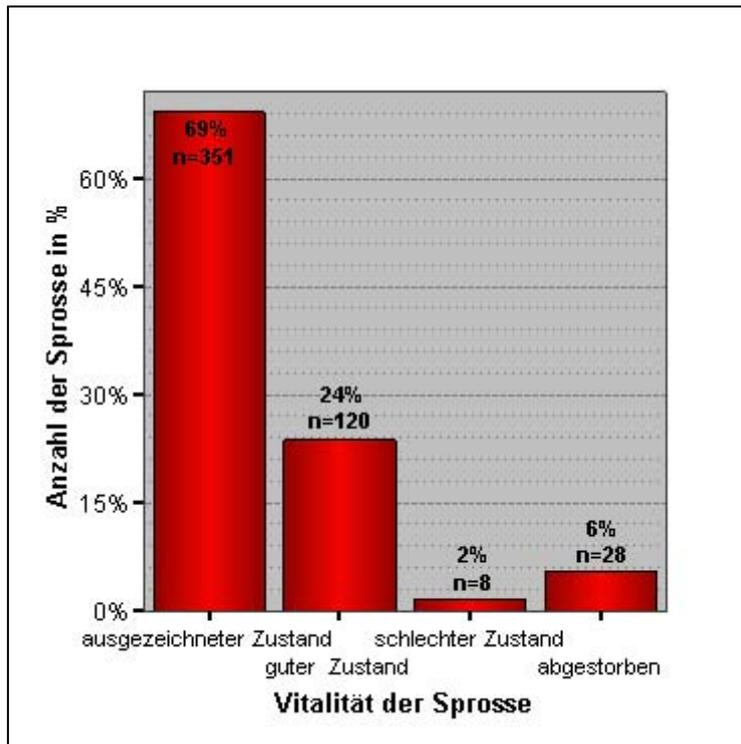
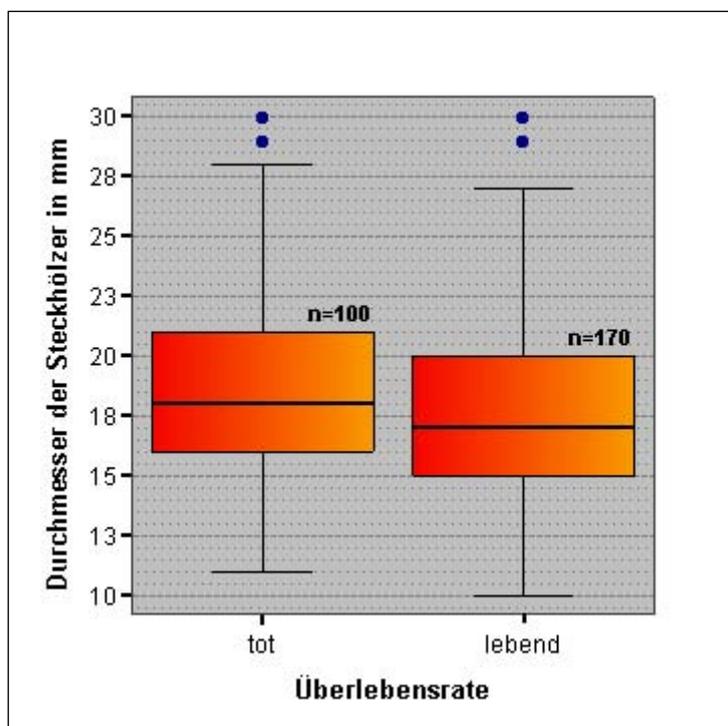


Abbildung 105: Anzahl der Sprosse in den Längenklassen, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich; 3 Monate nach Einbau



Die Vitalität der Sprosse ist in Abbildung 106 zu sehen. Knapp 70% der Sprosse sind in ausgezeichnetem Zustand. 24% sind in gutem Zustand, Insgesamt 8% sind in schlechterem Zustand.

Abbildung 106: % der Sprosse der Stechhölzer in den Vitalitätsklassen, Versuchsanlage Deutsch Wagram/ Niederösterreich; 3 Monate nach Einbau



In Abbildung 107 sieht man die Überlebensrate der Stechhölzer nach Durchmesser. Hier ist zu erkennen, dass der Durchmesser der Stechhölzer keinen Einfluss auf die Überlebensrate hatte.

Abbildung 107: Überlebensrate der Stechhölzer nach Durchmesser, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich; 3 Monate nach Einbau

Abbildung 108 zeigt die Vitalität der Triebe nach Exposition. Hier gibt es praktisch keine Unterschiede.

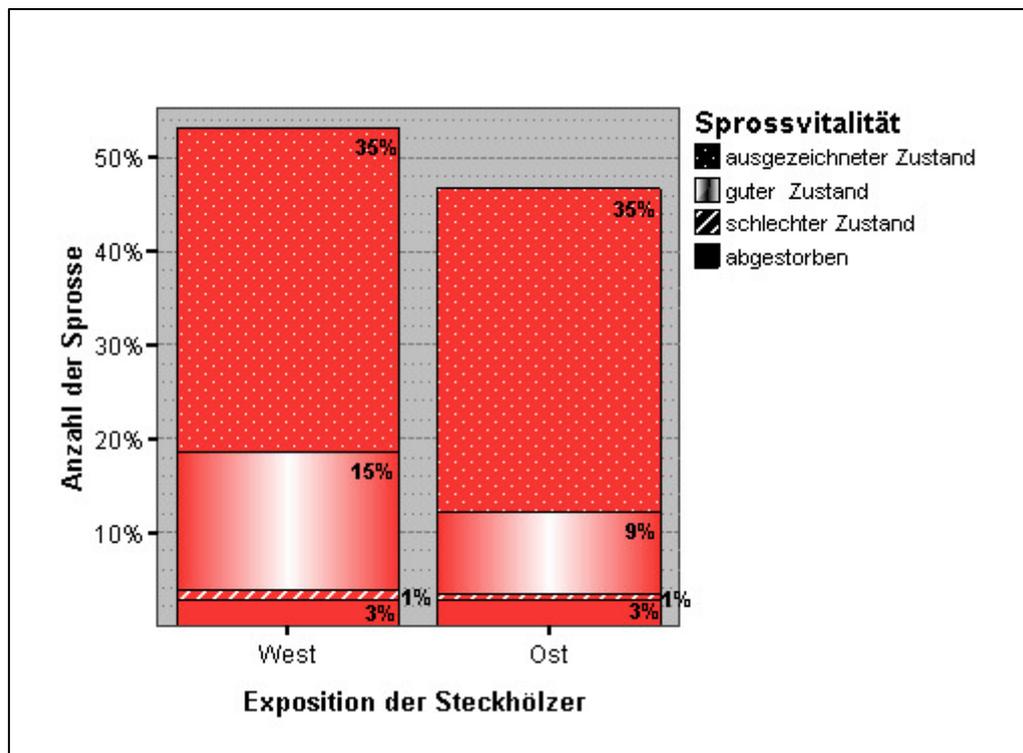


Abbildung 108: Vitalität der Sprosse nach der Exposition der Stechkölzer, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich; 3 Monate nach Einbau

Schäden

Durch die geringe Bodenbedeckung sind bei starken Regenfällen immer wieder Erosionserscheinungen aufgetreten. In der Mitte der wasserseitigen Dammböschung kam es zur Bildung von etwa 15 cm tiefen Rissen, wie sie in den Abbildungen 109 und 110 dokumentiert sind.



Abbildung 109: Rutschung an der wasserseitigen Böschung nach stärkeren Regenfällen, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich; 07.09.2007



Abbildung 110: Rillenbildung an den Böschungen, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich; 12.06.2007



Sich auf der Dammkrone sammelndes Regenwasser führte anfangs immer wieder zu Rillenbildungen. Mit der Zeit stabilisierte sich aber die Dammoberfläche zwischen den Steckhölzern. Steckhölzer sind eine punktuelle Bepflanzungsmaßnahme und kein Erosionsschutz.

4.2.2. Spreitlage längs

Aufnahmen

Auf Grund des schlechten Wachstums der Spreitlage längs und der entstandenen Schäden, wurde diese vorerst nicht näher untersucht.

Entwicklung der Spreitlage längs

Anfangs trieben die Weiden sehr schnell und sehr gut aus, doch mit der Zeit nahm das Wachstum ab und es gingen spontane Gräser auf. Mittlerweile sind in diesem Abschnitt mehr Gräser als Weidensprosse zu finden. Außerdem hat sich ein Oben – Unten - Gefälle eingestellt. Oben in den dichten Dammschichten wachsen die Weiden weniger gut als in der lockeren Dränschicht. Die Abbildungen 111 und 112 zeigen die unterschiedliche Entwicklung der Pflanzen.



Abbildung 111: oben links: erste Triebe und erste Schäden, 1 Monat nach Einbau, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich; 12.06.2007
oben rechts: schon recht dichter Bewuchs, 1 Monat nach Bewuchs; 25.06.2007
unten links: sehr schütterer Bewuchs mit Erosionsrinne in der Mitte, 3 Monate nach Einbau; 14.08.2007
unten rechts: Unterschied zwischen dem Bewuchs unten und oben, 3 Monate nach Einbau; 14.08.2007



Abbildung 112: , Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich
links: schütterer Bewuchs oben, etwas dichterer Bewuchs unten, 4 Monate nach Einbau; 07.09.2007
rechts: weniger dichte Bereiche in den Bereichen nahe der Dammkrone, 4,5 Monate nach Einbau; 04.10.2007

Schäden

Auf Grund der starken Regenfälle gleich nach dem Einbau der Weidenspreitlage längs kam es zu erheblichen Schäden. Bei den Unwettern wurden ausgehend von den Überströmungsmulden Erosionsrillen in den Damm geschwemmt. Die zarten, jungen Sprosse konnten die Sicherung der Böschung noch nicht übernehmen (siehe Abbildung 113). Die längs gelegten Weidenäste förderten die Rillenbildung und Ausschwemmung des Dammmaterials. Die Rillen wurden immer wieder ausgebessert, aber bei jedem stärkeren Niederschlag neuerlich ausgewaschen.



Abbildung 113: Schäden an der Weidenspreitlage längs durch Ausschwemmung, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich:

oben links: Erosion ausgehend von der Böschungskante; 23.06.2007

oben rechts/unten links: Ausschwemmung einer Rille zw. den längs gelagerten Weidenästen; 12.06.2007

unten rechts: offene gebliebene Stelle zwischen den Weiden; 23.06.2007

4.2.3. Spreitlage quer

Aufnahmen

Zur Aufnahme wurde ein 1 m breiter Streifen (Transekt) in der Mitte der Spreitlage ausgewählt. Dieser reicht von der Überflutungsmulde in der Dammkrone bis zum Böschungsfuß und wird in 4 1 mal 1 m² große Sektoren eingeteilt. Aufgenommen wurde in diesen Sektoren die Spreitlage quer nach Sektor, Sprossnummer, Länge der Sprosse in cm, Durchmesser der Sprosse und Vitalität der Sprosse. Die Vitalitätsstufen gliedern sich wie bei den Stechkölzern nach:

- | |
|------------------------|
| 1 – Sehr guter Zustand |
| 2 – Guter Zustand |
| 3 – Schlechter Zustand |
| 4 – Abgestorben |

Entwicklung der Spreitlage quer

Die Spreitlage quer trieb sehr gut aus. Im Herbst waren deutliche Unterschiede zwischen dem unteren Bereich (Dränbereich) und dem oberen Bereich zu erkennen. Die Sprosse im unteren Bereiche waren vitaler, länger und dichter. Die Sprosse im oberen Bereich weniger vital, kürzer und weniger dicht. Dies ist in Abbildung 119 deutlich am satteren Grün der Sprosse im unteren Bereich zu erkennen. Die Entwicklung der Weidenspreitlage quer ist von Abbildung 114 bis 117 zu sehen.



Abbildung 114: Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich; 29.05.2007
links: beginnender Austrieb der Spreitlage quer, 2 Wochen nach Einbau
rechts: dichter Austrieb der Spreitlage quer, 1 Monat nach Einbau; 25.06.2007



Abbildung 115: Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich,
links: Wachstumsfortschritt der Spreitlage quer, 2 Monate nach Einbau; 18.07.2007
rechts: Vergleich: dichte Spreitlage quer und schütterere Spreitlage längs; 26.07.2007



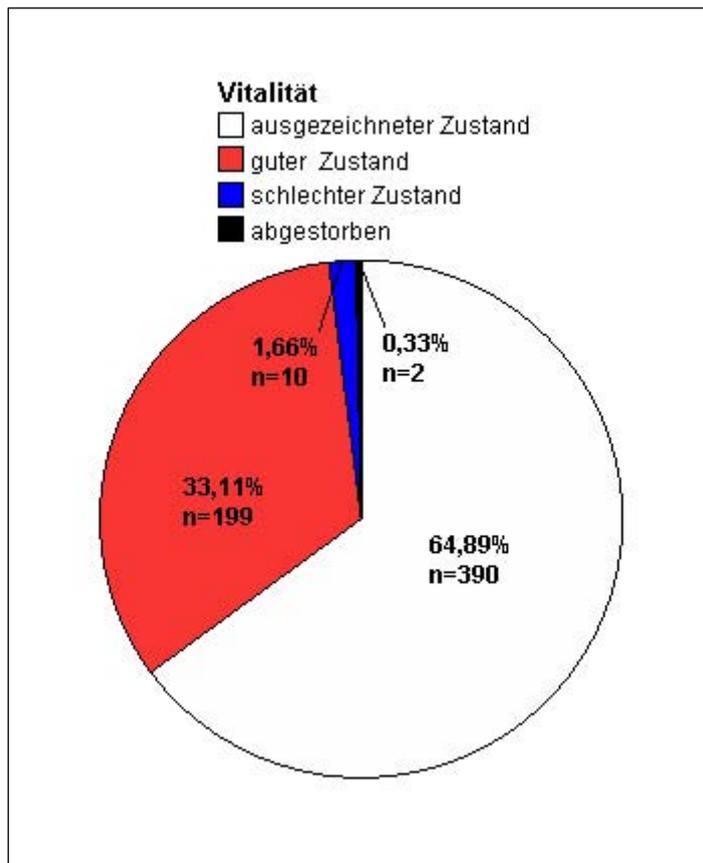
Abbildung 116: Wachstumsfortschritt der Spreitlage quer, 3 Monate nach Einbau, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich; 14.08.2007



Abbildung 117: Blick auf den oben schüttereren und den unten dichteren Bewuchs, gut an den verschiedenen Farben zu erkennen, 4-5 Monate nach Einbau, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich
oben links; 07.09.2007
oben rechts; 04.10.2007
unten rechts; 02.10.2007

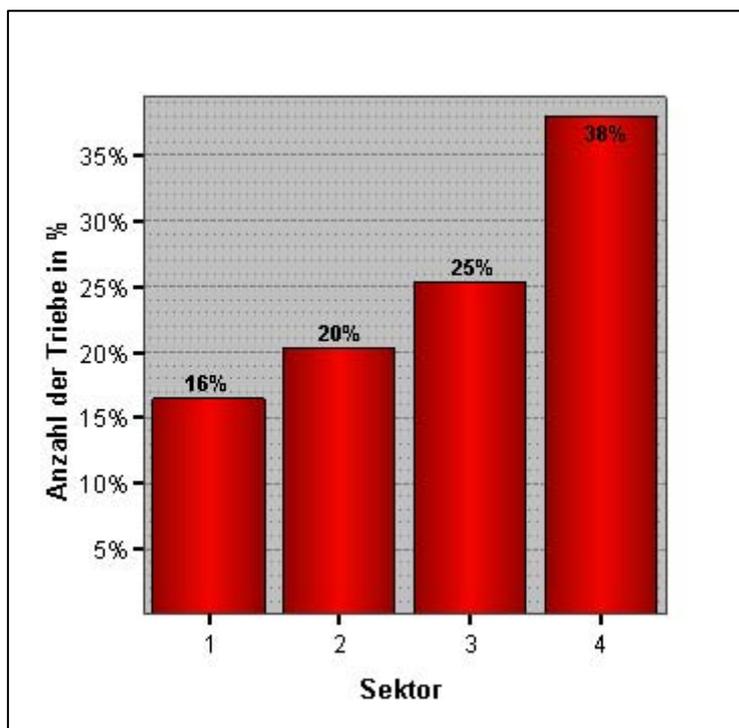


Auswertung



Insgesamt sind in den 4 Sektoren 601 Sprosse gezählt worden. Diese teilen sich wie folgt in die 4 Vitalitätsklassen (siehe Abbildung 118). 2 Stück (0,33%) sind abgestorben, 10 Sprosse (1,66%) sind in schlechtem Zustand, also kurz vor dem Absterben, 199 Stück (33,11%) sind in gutem Zustand und der Großteil, nämlich 390 (64,89%) sind in ausgezeichnetem Zustand.

Abbildung 118: Vitalität der Sprosse an der Weidenspreitlage quer, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich; 3 Monate nach Einbau



Sektor 1 befindet sich an der Dammkrone, Sektor 4 am Dammfuß. 16% der 601 Sprosse befinden sich in Sektor 1, 20% in Sektor 2, 25% in Sektor 3 und 38% in Sektor 4. In Abbildung 119 ist eindeutig zu erkennen, dass in der Nähe des Dammfußes mehr Weiden ausgetrieben sind, als an der Dammkrone.

Abbildung 119: Anzahl der Sprosse in den Sektoren, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich; 3 Monate nach Einbau

Die Länge der Sprosse ist, wie bei den Steckhölzern, in Klassen zu je 5 cm eingeteilt. Der kürzeste Spross ist 1 cm, der längste 155 cm lang. In Abbildung 120 ist deutlich zu sehen, dass sich die meisten Sprosse im Bereich zwischen 10 cm und 40 cm Länge befinden. Häufig treten Sprosse zwischen 40 cm und 110 cm Länge auf, nur wenige überschreiten diese Länge. Die mittlere Länge der Sprosse beträgt 41,5 cm.

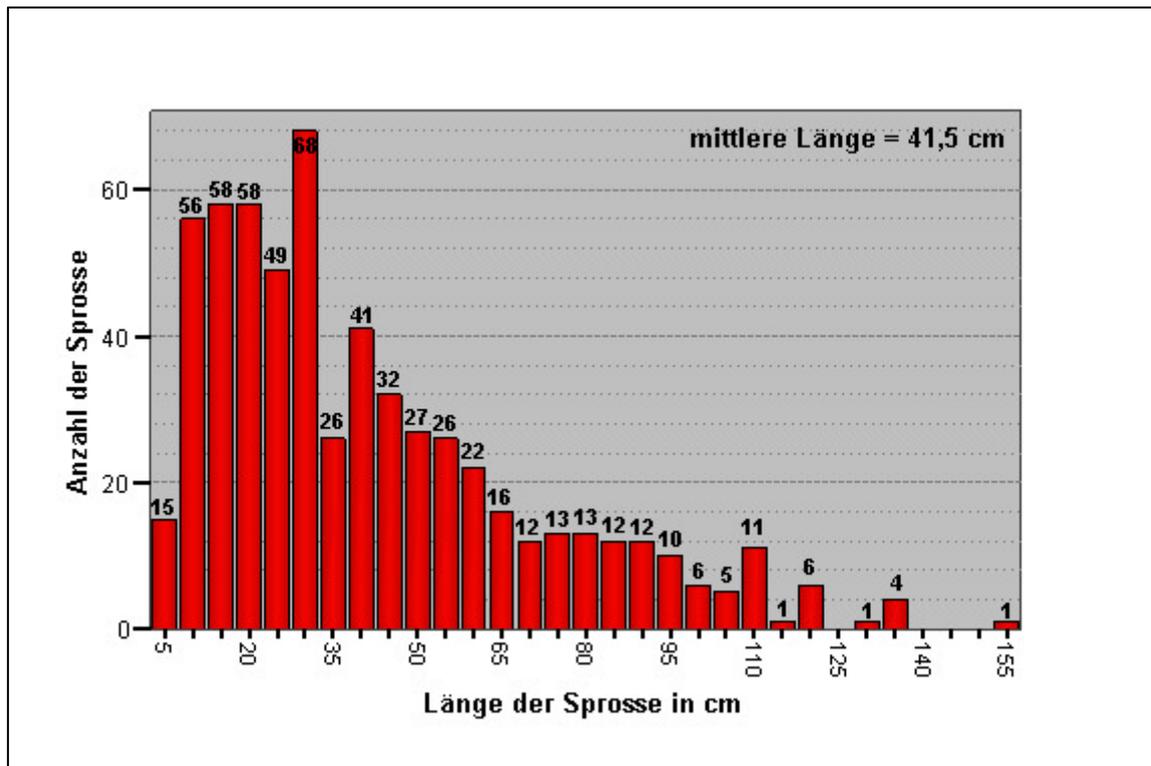


Abbildung 120: Länge der Sprosse der Weidenspreitlage quer, Versuchsanlage Deutsch Wagram/ Niederösterreich; 3 Monate nach Einbau

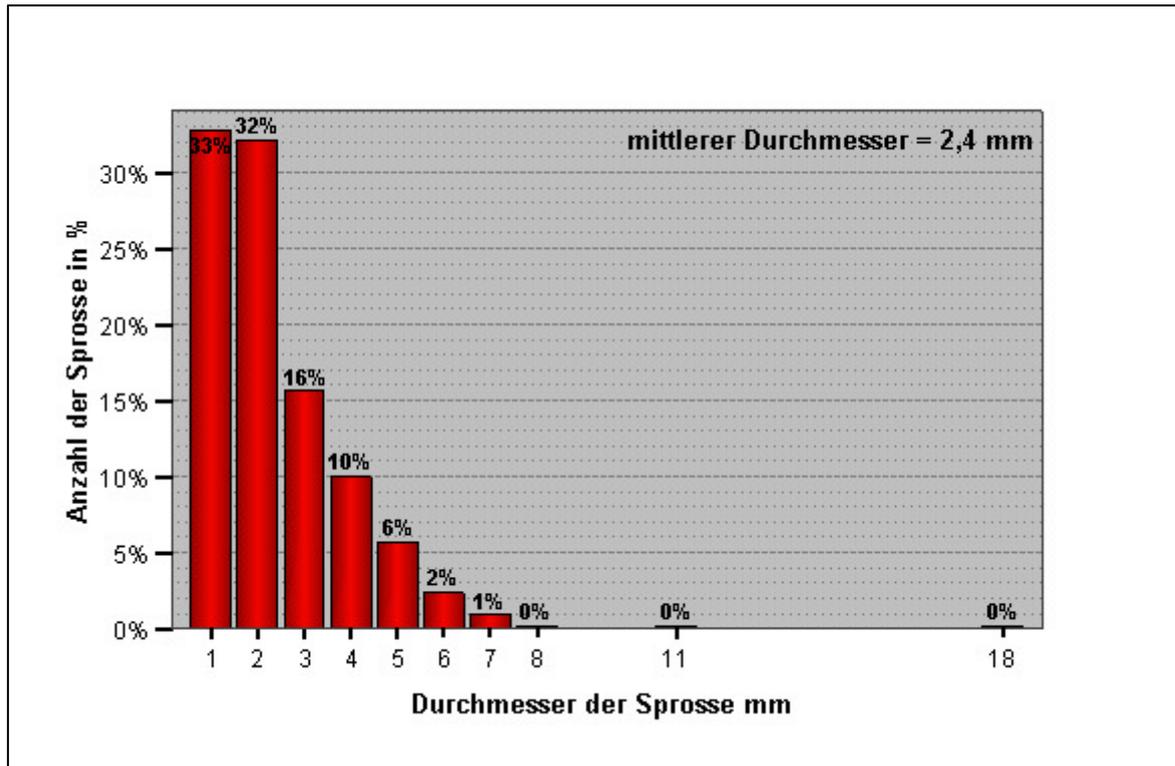


Abbildung 121: Durchmesser der Sprosse, Versuchsanlage Deutsch Wagram/ Niederösterreich; 3 Monate nach Einbau

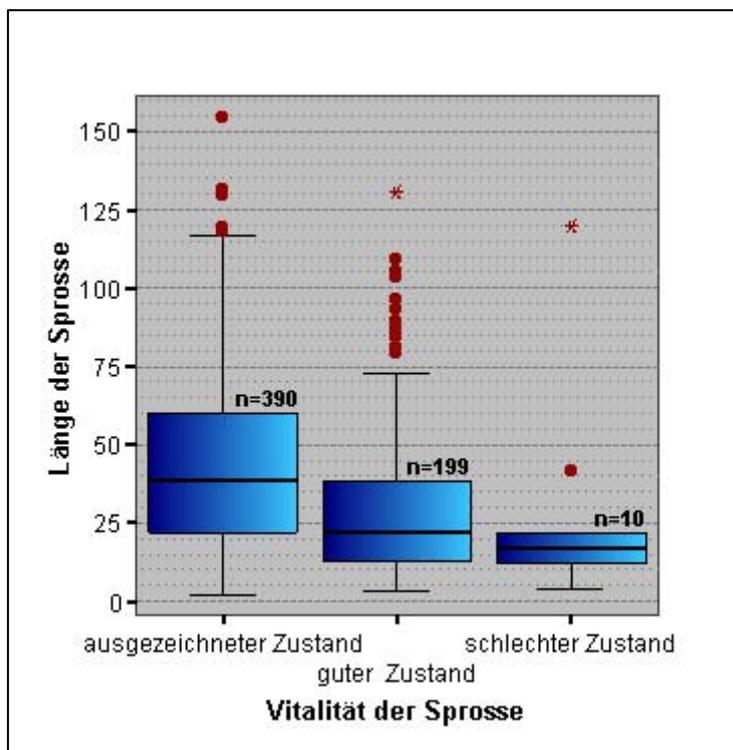


Abbildung 122: Vitalität der Sprosse nach Länge, Versuchsanlage Deutsch Wagram/ Niederösterreich; 3 Monate nach Einbau

Abbildung 121 zeigt die Durchmesser der Sprosse in einer Streuung zwischen 1 mm und 18 mm. 1 mm und 2 mm sind mit insgesamt über 60% eindeutig die häufigsten Sprossdurchmesser. 3 mm und 4 mm sind noch häufig mit 16% und 10% vertreten. Der mittlere Durchmesser beläuft sich auf 2,4 mm.

Länge und Vitalität der Sprosse korrelieren eindeutig (siehe Abbildung 122).

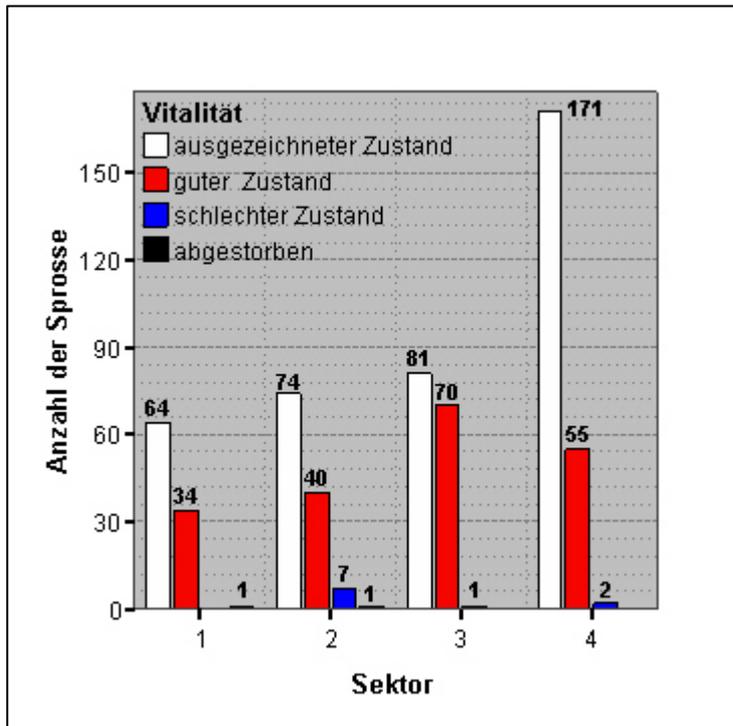


Abbildung 123: Vitalität der Sprosse nach Sektoren, Versuchsanlage Deutsch Wagram/ Niederösterreich; 3 Monate nach Einbau

Abbildung 123 und 124 beschäftigen sich mit der Vitalität der Sprosse in den Sektoren. Analog der bisherigen Ausführungen überwiegen auch laut Abbildung 123 die Sprosse in Sektor 4 (= Dammfuß). In allen 4 Sektoren überwiegen die Sprosse mit ausgezeichnetem Zustand (über 60%) und gutem Zustand (über 30%), besonders wieder im Sektor 4. Die meisten Sprosse in schlechtem Zustand befinden sich in Sektor 2. Auch hier ist wieder

das Dammkronen-Dammfußgefälle zu bemerken.

Abbildung 124 zeigt die gleiche

Situation in Prozent, bezogen auf die Sektoren aufgeschlüsselt. Alle Sprosse des jeweiligen Sektors zusammen sind jeweils 100%. Auch anteilmäßig hat Sektor 4 die meisten Sprosse mit ausgezeichnetem Zustand, gefolgt von Sektor 1. Bei der Kategorie guter Zustand liegt eindeutig Sektor 3 mit 46% vorne. Am Vitalsten sind also Sektor 3 und 4, die Bereiche am Dammfuß.

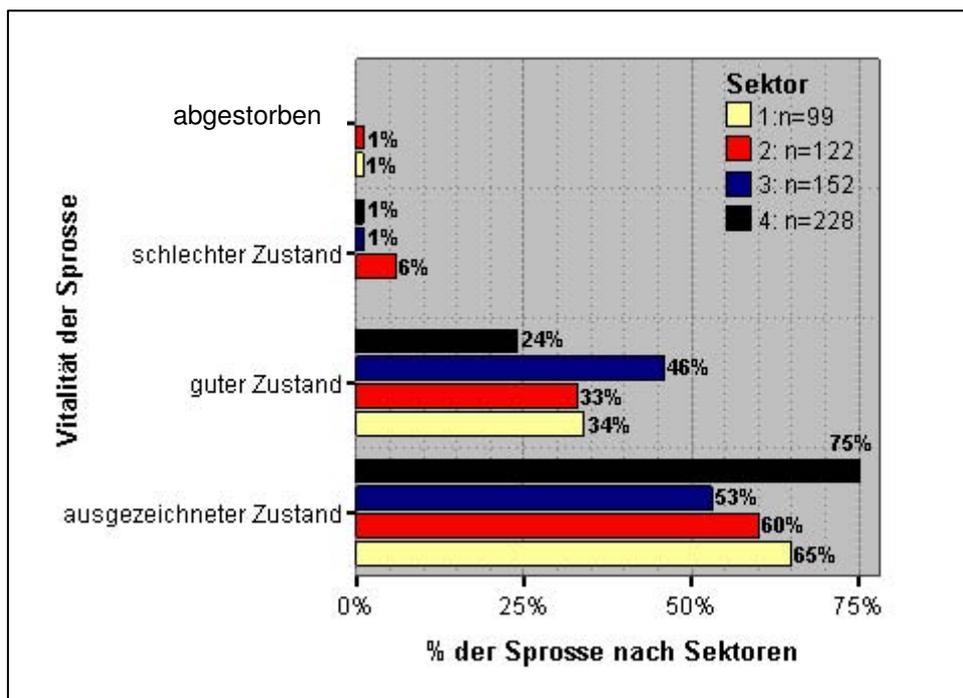


Abbildung 124: Vitalität der Sprosse nach Sektoren, Versuchsanlage Deutsch Wagram/ Niederösterreich; 3 Monate nach Einbau

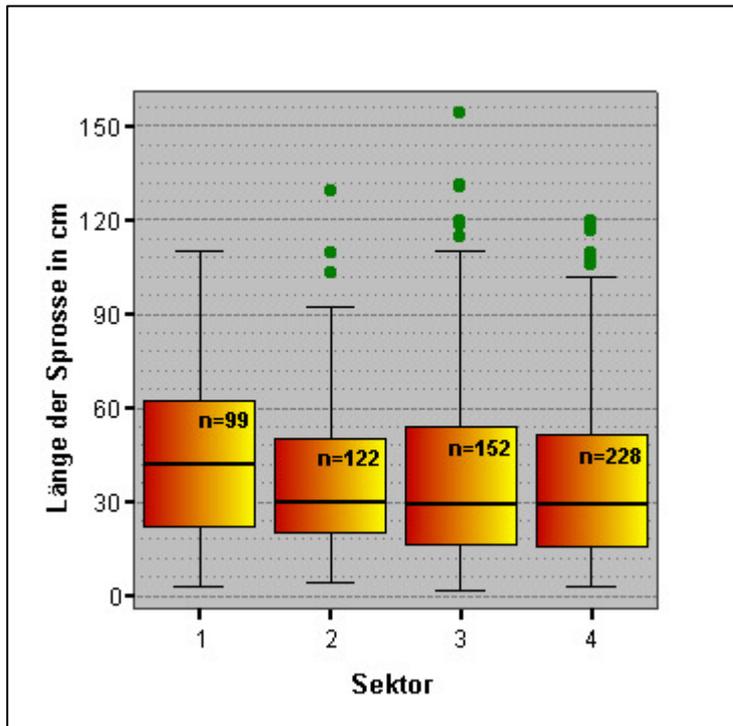


Abbildung 125: Länge der Sprosse nach Sektoren, Versuchsanlage Deutsch Wagram/ Niederösterreich; 3 Monate nach Einbau

In Abbildung 125 ist die Länge der Sprosse in den Sektoren dargestellt. Diese verhalten sich in allen 4 Sektoren sehr ähnlich. Die Abbildung zeigt jeweils die mittelsten Werte der Längen eines Sektors, durch den Median.

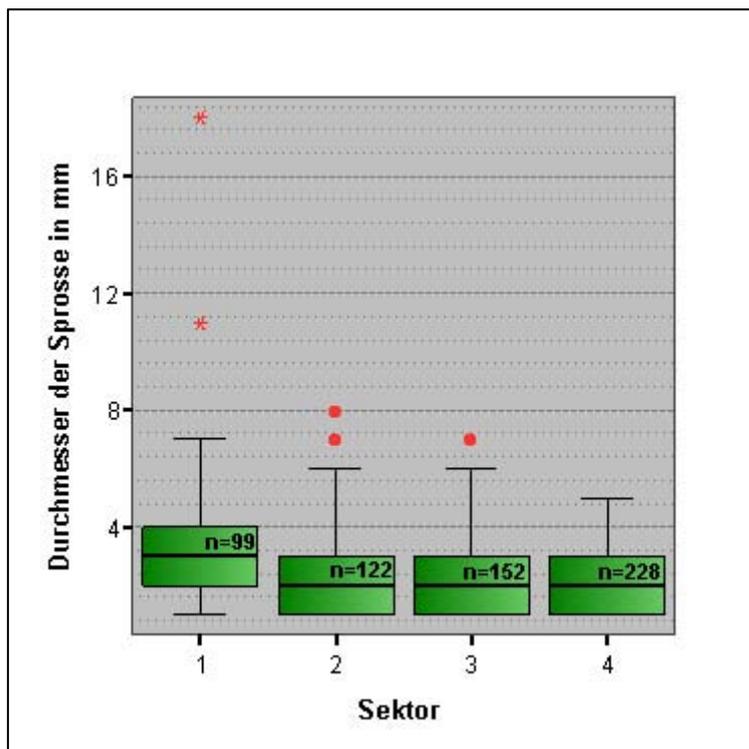


Abbildung 126: Durchmesser der Sprosse nach Sektoren, Versuchsanlage Deutsch Wagram/ Niederösterreich; 3 Monate nach Einbau

Die Durchmesser der Sprosse in den verschiedenen Sektoren verhalten sich wie in Abbildung 126 zu sehen ist, sehr ähnlich. Die Extreme sind in Sektor 1 zu finden.

Schäden

Bei der Spreitlage quer traten im Unterschied zur Spreitlage längs keine Schäden auf. Die quer aufgelegten Weidenruten bieten vor dem an der Dammböschung abfließenden Regenwasser mehr Schutz als die längs gelagerten.

4.2.4. Weidenfaschinen

Entwicklung der Überströmungsmulden

Die Pflanzungen an den Überströmungsmulden sind von Anfang an gut angewachsen. Die eingelegten Faschinen sind schnell und dicht ausgetrieben. Abbildung 127 zeigt das Wachstum der Weidenfaschinen.



Abbildung 127: Entwicklung der Weidenfaschinen ,
Versuchsanlage Deutsch Wagram/ Niederösterreich;
oben links, 1 Monat nach Einbau; 26.06.2007
rechts, 2 Monate nach Einbau; 18.07.2007
unten links, 3 Monate nach Einbau ;14.08.2007

Schäden

Schäden sind an den Überströmungsmulden und Weidenfaschinen selbst nicht aufgetreten. Nur an den Kanten der Mulden, besonders an den landseitigen, findet man die Beginne der Erosionsrillen. Besonders ausgeprägt sind diese bei der Weidenspreitlage längs und bei den Steckhölzern (siehe Kapitel 4.2.1.).

4.2.5. Gräser-Kräuter Ansaat

Entwicklung der Gräser-Kräuter Ansaat

Die Entwicklung der Gräser-Kräuter Ansaat wurde durch das darüber gespannte Jutenetz erst sehr spät sichtbar. Stellenweise wuchsen die Gräser und Kräuter sehr dicht, teilweise – besonders an der Dammkrone - kamen sie nur sehr spärlich auf. Dies könnte daran liegen, dass sie durch die Beregnung und Regenfälle an einigen Stellen zusammengewaschen und von anderen Stellen weggewaschen worden sind. Deshalb wurde im Oktober nachgesät. Abbildungen 128 bis 131 zeigen die Entwicklung der Ansaat.



Abbildung 128: Beginnendes Austreiben der Gräser-Kräutermischung, Versuchsanlage Deutsch Wagram/ Niederösterreich.

oben links: vollendete Ansaat, 2 Woche nach der Ansaat; 25.06.2007

oben rechts und unten links: erste Gräser und Kräuter wachsen durch das Jutenetz, 1 Monat nach der Ansaat; 18.07.2007

unten rechts: von der Böschung wegstehendes Jutenetz lässt die Pflanzen noch nicht durch; 25.07.2007



Abbildung 129: Wachstumsfortschritt der Gräser und Kräuter, 1 Monat nach der Ansaat, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich; links; 26.07.2007, rechts; 30.07.2007



Abbildung 130: Dichter Gräser-Kräuter Bewuchs unter dem Jutenetz, 2 Monate nach der Ansaat, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich; 14.08.2007



Abbildung 131: Wachstumsfortschritt der Gräser und Kräuter, 4 Monate nach der Ansaat, Versuchsanlage Deutsch Wagram/Niederösterreich; 2.10.2007

Schäden

An der Dammkrone wurden von Wühltieren teilweise das Jutenetz durchgebissen und kleine oberflächliche Wege durch die Gräser und Kräuter gefressen. Ansonsten liegen keine sichtbaren Schäden vor.

5. Diskussion der Ergebnisse

Die anfänglichen Literaturrecherchen brachten hauptsächlich Argumente gegen einen Bewuchs von Dämmen mit Gehölzen. Bei weiterer Vertiefung stellte sich heraus, dass Planer oft die großen Sicherheiten von Richtlinien und Regelwerken den noch wenig erforschten Auswirkungen von Gehölzen vorziehen.

Untersuchungen von Gehölzen und ihrer stabilisierenden Wirkung auf Hochwasserschutzdämme sind nur spärlich vorhanden. Große Einzelbäume und dadurch entstandene Schäden stehen oft als abschreckendes Beispiel da.

Dabei könnten Gehölze mit ihren vielseitigen Eigenschaften die Standsicherheit von Dämmen erhöhen: Im Dammkörper durch die festigende und entwässernde Wirkung von Wurzeln und an der Oberfläche durch elastische, biegsame Äste, die sich bei einem Hochwasser schützend über die Böschung legen. Zusätzlich erleichtert sich die Pflege. Die halbjährige Mahd eines Rasens fällt weg. Damit Gehölze auch wirksam sind, ist die Auswahl von standortgerechten Arten sehr wichtig. Sie sollten nicht als starrer Einzelbaum, sondern als elastischer Verband, niedrig bis mittelwüchsiger Gehölze gepflanzt werden.

Es besteht auf jeden Fall ein hoher Forschungsbedarf um in Zukunft Gehölze als sichere und landschaftlich attraktive Variante zu den Gräser-Kräuter Begrünungen zu etablieren.

Die Versuchsanlage befindet sich im Anfangsstadium und die Vegetation ist noch nicht voll entwickelt. Trotzdem können in dieser Arbeit bereits erste Ergebnisse gebracht werden.

Die Versuchsdämme entsprechen den geforderten geotechnischen Anforderungen (siehe auch Kapitel 4.1.). Die Trockendichten ergaben bei den Stechzylinderproben einen Mittelwert von ca. 96% (angestrebt 97%) der Proctordichte, was auch durch die Isotopensonnenmessungen mit einem Mittelwert von 97% relativer Dichte bestätigt wurde. Bei den Lastplattenversuchen lag der Mittelwert der Messungen bei 40,3 MN/m². Die Sieblinien der Proben stimmen mit der Vorgabe größtenteils überein und ergaben nur im Grobsand- und Feinkiesbereich geringfügige Abweichungen.

Die Pflanzung von Stechhölzern war in dem stark verdichteten Material sehr aufwändig. Außerdem ist anfangs eine gute Bewässerung notwendig. Die Stechhölzer sind nach anfänglich gutem Austrieb nur mehr schwach weiter gewachsen. 100 der 270 gepflanzten Stechhölzer haben gar nicht ausgetrieben, die Exposition der Gehölze hatte in diesem Fall

keinen Einfluss auf die Überlebensrate. Die Stechhölzer sind vor allem in den besonders stark verdichteten Bereichen abgestorben. Stechhölzer mit geringeren Durchmessern hatten eine höhere Überlebensrate. Für eine Bepflanzung mit Stechhölzern wäre also eine geringere Verdichtung oder ein Oberbodenauftrag notwendig. 93% der gewachsenen Sprosse befanden sich allerdings hinsichtlich der Vitalität in gutem bis ausgezeichnetem Zustand. Zwischen den Stechhölzern blieb der Boden kahl, was die Erosionsgefahr stark erhöht. Die Abdeckung mit einer Heu-/Strohauflage oder einem Jutenetz könnte diese Gefahr in der Startphase beheben.

Die Spreitlagen längs und quer verhielten sich sehr verschieden. Die Spreitlage quer war dichter und stabiler. So entstanden bei der Spreitlage längs erhebliche Erosionsrinnen. Die Spreitlage quer hingegen bot durch die quergelagerten Weidenäste schon vor dem Austrieb der Weiden einen guten Schutz für die Böschung, was als großer Vorteil zu sehen ist. Im Laufe der Zeit kristallisierte sich bei beiden Spreitlagen ein eindeutiges Dammkronen – Dammfuß Gefälle heraus. In den oberen, stärker verdichteten Bereichen wuchsen die Weidensprosse nicht so hoch, dicht und saftig grün wie in den unteren weniger dichten, feuchteren Bereichen der Kiesdrainage. Bei der Weidenspreitlage quer war dies besonders deutlich zu erkennen. 16% der 601 Triebe befanden sich im oberen Bereich der Böschung 20% - 25% in der Mitte und 38% am Dammfuß. Bei der Weidenspreitlage längs fielen die Triebe im oberen Bereich nahezu ganz aus. Hier stellt sich die Frage, wo der Grund dafür liegt. Wahrscheinlich trieben die oberen, dünnen Äste der Spreitlage längs schlechter aus, während bei der Spreitlage quer auch im oberen Bereich der Böschung dickere Weidenäste aufgebracht worden sind. Einige Fragen werden wohl nächstes Jahr beantwortet werden können, wenn die Weiden wieder zu treiben beginnen. Der Bau der Spreitlagen war im Vergleich zu den Stechholzpflanzungen weniger aufwändig und bringt bessere Ergebnisse. Er erfordert allerdings mehr Weidenmaterial als die Pflanzung von Stechhölzern.

Die Jutenetz-Strohdecksaat bot einen unmittelbaren Erosionsschutz. Anfänglich war die Gräser-Kräuter Bedeckung etwas lückig, was ein Nachsäen im Oktober 2007 notwendig machte. Der Erfolg dieser Maßnahmen wird im Frühjahr 2008 zu beurteilen sein.

Die Überströmungsmulden wurden maschinell zu gering dimensioniert und mussten daher händisch nachbearbeitet werden. In der Bepflanzung waren sie unkompliziert, das Wachstum der Weidenfaschinen entsprechend gut. Zwei zusätzliche Faschinen an den Enden der Mulden könnten den erosionsanfälligen Kanten und somit der darunter liegenden Böschungen besseren Schutz bieten. Der Einbau dieser Faschinen ist für März 2008 geplant.

6. Literaturnachweis

6.1. REGELWERKE

DVWK Merkblatt 210/ 1986: Flussdeiche. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (DVWK), Verlag Paul Parey Hamburg, Berlin

DVWK Merkblatt 226/ 1993: Landschaftsökologische Gesichtspunkte an Flussdeichen. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (DVWK), Verlag Paul Parey Hamburg/ Berlin (33 S.)

DIN 19712/ 1997: Flussdeiche. Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN)

DIN 4084 Böschungsbruch. Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN)

ÖNORM B 4412, 1974: Erd- und Grundbau – Untersuchungen von Bodenproben: Korngrößenanalyse. Österreichisches Normungsinstitut (11 S.) – entspricht DIN 18123, 1971.

ÖNORM S 2074-2: Geotechnik im Deponiebau. Österreichisches Normungsinstitut (14 S.)

REMR (Repair-Evaluation-Maintainance-Rehabilitation) – Technical Information: REMR Technical Note EI-M-1,4: Issues Regarding Vegetation Management on Levee Embankments (8 S.)

REMR (Repair-Evaluation-Maintainance-Rehabilitation) – Technical Information: REMR Technical Note EI-M-1,3: Vegetation and the structural integrity of levees: Result of field investigations (4 S.)

6.2. LITERATUR

BAYRISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT, 2002: Hinweise zur Deichverteidigung und Deichsicherung (pdf) (28 S.)

BAYRISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT, 1984: Hinweise zur standortgemäßen Bepflanzung von Flussdeichen, Stauhaltungsdämmen und Vorländern. Merkblatt Nr. 5.1/1 (pdf) (16 S.)

BENTZ A., MARTINI H.J.; (1969): Lehrbuch der Angewandten Geologie. Band II, Teil 2, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart

BIEBERSTEIN A., BRAUNS W., QUEIßER J. BERNHARD H:H., (2004): Überströmbare Dämme , Dammscharten und Flussdeiche – Landschaftsverträgliche Ausführvarianten für dezentralen Hochwasserschutz in Baden-Württemberg. Abschlussbericht BWPLUS (BWC 20005 und BWT 22004) http://bwplusex.fzk.de/bericht/p_ab_ressourcen.asp.
Uni Karlsruhe – Institut für Bodenmechanik und Felsmechanik (152 S.)

BLUM W.E.H., SPIEGEL H., WENZEL W.W., 1996: Bodenzustandsinventur – Konzeption, Durchführung und Bewertung, Empfehlungen zur Vereinheitlichung der Vorgangsweise in Österreich. Institut für Bodenforschung an der Universität für Bodenkultur, Wien. (102 S.)

BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU KARLSRUHE, HAMBURG, ILMENAU, 2005: Merkblatt Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen. (54 S.)

DÖSCHER H.D.,1999: Die Standsicherheit Flussdeichen und –dämmen unter Berücksichtigung der Vegetationsdecke. (73-83 S.); HACKER E., PFLUG W., 1999: Ingenieurbiologie Flussdeiche und Flussdämme – Bewuchs und Standsicherheit, Jahrbuch 4 der Gesellschaft für Ingenieurbiologie e.V., Aachen (501 S.)

EBNER E., noch in Arbeit: Gehölzstrukturen an Hochwasserschutzdämmen unter besonderen Berücksichtigung der Durchsickerung. Diplomarbeit am Institut für Landschaftsbau und Ingenieurbiologie

FELLIN W., 2007: Bodenmechanik und Grundbau Übung. Teil 1, Institut für Geotechnik und Tunnelbau, Universität Innsbruck

FLORINETH F., RAUCH H:P:, 2003/04a: Ingenieurbiologie – Studienblätter zur Vorlesung. Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau, BOKU Wien (156 S.)

FLORINETH F., MARGELIK E., 2003/04b: Vegetationstechnik – Studienblätter zur Vorlesung. Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau, BOKU Wien (191 S.)

FLORINETH F., 2004: Pflanzen statt Beton – Handbuch zur Ingenieurbiologie und Vegetationstechnik. Patzer Verlag, Berlin, Hannover (272 S.)

HABER B., 1982: Über den Erosionsbeginn bei der Überströmung von flexiblen Rauheitselementen. Mitteilungen Heft 74/1982, Leichtweiss-Institut für Wasserbau der TU Braunschweig (204 S.)

HAHN-WEIßHAUPT A.; Trömel H.P., 2003: Historischer Deichbau im Oderbruch. Wasser und Boden. 55/6, S. 15 - 18

HÄHNE K., 1999: Wurzeluntersuchungen an einem neuen Damm und zwei alten Deichen an der Donau bei Regensburg. (233-290 S.); HACKER E., PFLUG W., 1999: Ingenieurbiologie Flussdeiche und Flussdämme – Bewuchs und Standsicherheit, Jahrbuch 4 der Gesellschaft für Ingenieurbiologie e.V., Aachen (501 S.)

HARTGE, K.H.; HORN, R., 1992: Die Physikalische Untersuchung von Böden. Ferdinand Enke Verlag , Stuttgart

HARTIG, K.H.; Horn, R.,1999: Einführung in die Bodenphysik. Ferdinand Enke Verlag , Stuttgart

HASELSTEINER R., STROBL Th., 2005: Forschungs- und Entwicklungsvorhaben Deichsanierung Endbericht. Bayrisches Landesamt für Wasserwirtschaft (467 S.)

HASELSTEINER R., STROBL Th., 2006: Deichertüchtigung unter besonderer Berücksichtigung des Gehölzbewuchses. Lehrstuhl und Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft - TU München. (29 S.)

HASELSTEINER, R. (2007): Hochwasserschutzdeiche an Fließgewässern und ihre Durchsickerung.

HÖRANDL E., FLORINETH F, HADACEK F., 2002: Weiden in Österreich und angrenzenden Gebieten, Eigenverlag des Arbeitsbereiches Ingenieurbiologie und Landschaftsbau, Institut für Landschaftsplanung und Ingenieurbiologie, Universität für Bodenkultur Wien

KAGERER K., 1999: Bepflanzte Dämme an der Stauhaltung – landschaftsökologische Notwendigkeit oder Verstoß gegen Sicherheitsbestimmungen? (291-296 S.); HACKER E., PFLUG W., 1999: Ingenieurbiologie Flussdeiche und Flussdämme – Bewuchs und Standsicherheit, Jahrbuch 4 der Gesellschaft für Ingenieurbiologie e.V., Aachen (501 S.)

KRONER F.-V., 2002: Untersuchungen zum Sanierungskonzept für den Staudamm „Forchtenstein“. Diplomarbeit. Institut für Geotechnik der BOKU Wien

KUTSCHERA L., LICHTENEGGER E.; 2002: Wurzelatlas mitteleuropäischer Walsbäume und Sträucher. Leopold Stocker Verlag, Graz – Stuttgart

LAMMERANNER W., MEIXNER H., 2007: Gehölzstrukturen an Dämmen und Deichen. (20-23 S.) Departmentkongress – Bautechnik und Naturgefahren, Tagungsband. Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH, Berlin (122 S.)

MAZURE P.C., 1999: Erfahrungen mit Vegetation auf Flussdeichen und –dämmen in den Niederlanden. (153-164 S.); HACKER E., PFLUG W., 1999: Ingenieurbiologie Flussdeiche und Flussdämme – Bewuchs und Standsicherheit, Jahrbuch 4 der Gesellschaft für Ingenieurbiologie e.V., Aachen (501 S.)

MINISTERIUM FÜR UMWELT UND FORSTEN RHEINLAND, 2005: Rheinlandpfalz Hochwasservorsorge Hinweise für die Wasserwehren (pdf) (38 S.)

MÖLLER G., 2004: Geotechnik-Praxis. Band 1: Bodenmechanik; Bauwerk Verlag GmbH, Berlin

NIEDERSCHICK M., 2007: Erkennen und Beurteilen von Hangbewegungen – Grundlagen für die Anwendung ingenieurbiologischer Bauweisen zur Stabilisierung von Hängen und Untersuchungen an ausgewählten Rutschungen im Einzugsgebiet des Trattenbachs (Salzburg). Diplomarbeit am Institut für Landschaftsbau und Landschaftspflege der Universität für Bodenkultur, Wien (166 S.)

PFLUG W., STÄHR E., 1999: Wald auf und an Flussdeichen. (297-321 S.); HACKER E., PFLUG W., 1999: Ingenieurbiologie Flussdeiche und Flussdämme – Bewuchs und Standsicherheit, Jahrbuch 4 der Gesellschaft für Ingenieurbiologie e.V., Aachen (501 S.)

PREGL O. 1992: Laboratoriumsübungen zu Bodenmechanik der Geotechnik, Auszug für die Lehrveranstaltung. Eigenverlag des Institutes für Geotechnik, Universität für Bodenkultur, Wien. (42 S.)

PREGL, O. ,1999a: Handbuch der Geotechnik Band 9 - Wasser im Untergrund, Frost und Wärme im Untergrund; Eigenverlag Universität für Bodenkultur, Wien

PREGL, O. 1999b: Handbuch der Geotechnik Band 11 – Erdbau, Staudämme; Eigenverlag der Universität für Bodenkultur, Wien

QUEIBER J., 2006: Entwicklung landschaftsverträglicher Bauweisen für überströmbare Dämme. Universität Karlsruhe (Mitteilungen des Institutes für Wasser und Gewässerentwicklung – Bereich Wasserwirtschaft und Kulturtechnik – der Universität Karlsruhe (TH) Heft 233) (186 S.)

RAUCH H.P., 2006: Hydraulischer Einfluss von Gehölzstrukturen am Beispiel einer ingenieurbioologischen Versuchsstrecke am Wienfluss. Dissertation am Institut für Ingenieurbioologie und Landschaftsbau, BOKU Wien, Guthmann Peterson, Wien. (187 S.)

RÖSSERT R., 1994: Hydraulik im Wasserbau. Oldenbourg Verlag GmbH München (184 S.)

SCHEFFER F.; SCHACHTSCHNABEL P.; BLUME H.P.; BRÜMMER G.; KARTGE K. H.; SCHWERTMANN U., 1998: Lehrbuch der Bodenkunde. 14. neu bearbeitete und erweiterte Auflage; Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart

SCHIECHTL H.M.,1992: Weiden in der Praxis – Die Weiden Mitteleuropas, ihre Verwendung und ihre Bestimmung. Patzer Verlag, Berlin/ Hannover (130 S.)

SCHIECHTL H.M., STERN R., 2002: Naturnaher Wasserbau – Anleitung für ingenieurbioologische Bauweisen. Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH, Berlin (229 S.)

SCHRÖDER D.; BLUM W.E.H., 1992: Bodenkunde in Stichworten. Gebrüder Borntraeger Verlagsbuchhandlung, Berlin Stuttgart

STANGL R., SCARPATETTI M., 2005: Wurzelcharakteristik von Gehölzeinlagen zur ingenieurbioologischen Hangstabilisierung. Mitteilungsblatt für die Mitglieder des Vereins für Ingenieurbioologie. Heft Nr. 3+4/2005, 15.Jahrgang, 30-40

STRIEGLER W., 1998: Dammbau in Theorie und Praxis. Verlag für Bauwesen, Berlin

WALLACE D., BAUMER C., DWYER J., HERSHEY F., 1994: Flooding and its effects on trees. Forester, USDA Soil Conservation Service, Columbia, Missouri (9 S.)

WESSOLLY L., 2007: Rosskastanienallee auf einem Rheindeich: Wechselwirkungen und Sicherheiten. (10-14 S.); 2007: 1. Departmentkongress – Bautechnik und Naturgefahren, Tagungsband. Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH, Berlin (122 S.)

ZEH H., 2007: Ingenieurbiologisches Handbuch Bautypen. Verein für Ingenieurbiologie, vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, Grafische Gestaltung: Michael Fässler (441 S.)

6.3. INTERNET

Internet 1: www.iwd.tu-dresden.de/Resources/ResearchHeyerDeichbruch.jpg 04.01.2008

Internet 2: www.steinriegl.at/Wasser/index.htm 04.01.2008

Internet 3: www.plankel-bohrtechnik.at/rammsondierung.pdf 16.12.2007

Internet 4: www.bauwesen.tuwien.ac.at 25.11.2007

Internet 5: www.fachschule-gartenbau.de 17.12.2007

Internet 6: www.calice.igt.ethz.ch/bodenmechanik/classification_d/classification_d.htm 05.12.2007

Internet 7: http://commons.wikimedia.org/wiki/Image:Salix_purpurea_leaves.JPG 17.12.2007

Internet 8: www.biologie.uni-hamburg.de/b-online/thome/band2/tafel_012_small.jpg 05.01.2008

Internet 9: www.dr-haselsteiner.de/start.htm 10.12.2007

Internet 10:

http://www.bauwesen.tuwien.ac.at/forschung/forschungsprojekte/details/news/der-dynamische-lastplattenversuch-mit-dem-leichten-fallgeraet.html?tx_ttnews%5BbackPid%5D=224&cHash=7301ac385e 28.9.07

Internet 11:

http://www.calice.igt.ethz.ch/bodenmechanik/classification_d/classification_d.htm 29.12.07

Internet 12:

http://www.xfaweb.baden-wuerttemberg.de/alfaweb/berichte/mza08/bdg_i.html 16.12.07

Internet 13: www.plankel-bohrtechnik.at/rammsondierung.pdf 16.12.07

Internet 14: www.g16hamburg.de/projekte/tg_1/din4094.htm 16.12.07

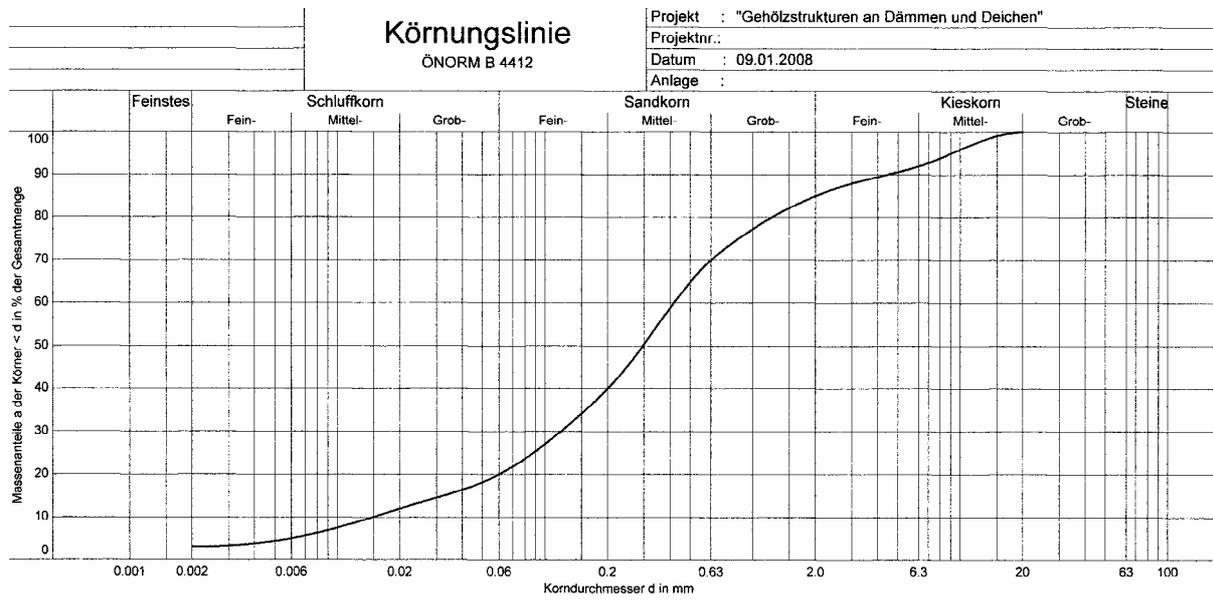
Internet 15: <http://hydroskript.de/html/index.html> 17.12.07

Internet 16: <http://www.geodynamik.com/languages/pdf/mcdde010.pdf> 17.12.07

Internet 17: <http://www.fachschule-gartenbau.de/Download/fallplatte.pdf> 17.12.07

7. Anhang

7.1. vorgesehene Sieblinie der Versuchsdämme



7.2. Rammsondierungen am Marchdamm



NIEVELT - Labor Ges. m. b. H.

PRÜF- UND ÜBERWACHUNGSSTELLE FÜR BAUSTOFFE
AKKREDITIERT DURCH DAS BMWA UND DAS OIB



BAUCONSULTING – BAUENGINEERING

A-2000 STOCKERAU, WIENER STRASSE 35 TEL. ++43-(0)2266/64110 FAX ++43-(0)2266/65897 e-mail: office@nievelt-labor.at

Rammsondierung mit der schweren Rammsonde
gemäß ÖNORM B 4419 Teil 1

Prüfbericht

Labor Nr.: P0107-06

Muster Nr.: 12-1

Auftraggeber: ARGE HWS March
Baustelle : HWS March
Jedenspeigen
Stationierung : Profil 28 Jedenspeigen
Dammkrone - Mitte
GOK: 0 = Dammkrone
Tiefe: 0,0 bis 2,5 m ab GOK
Ausgeführt von: Krupan

Prüfdatum, 06.12.2006

Typ SRS 15		Spitzenquerschn. 15,00 cm ²	Masse des Rambären 50 kg	Gestängeabschnitte 1 m	Antrieb Kette
Tiefe m	Schläge n(10)	Mittelwert für 50 cm	Schlaganzahl n(10)		
0,10	2	1			
0,20	2				
0,30	1				
0,40	1				
0,50	1				
0,60	1				
0,70	2				
0,80	1				
0,90	2				
1,00	5				
1,10	2				
1,20	1				
1,30	1				
1,40	1				
1,50	2				
1,60	1				
1,70	2				
1,80	1				
1,90	2				
2,00	2				
2,10	2				
2,20	6				
2,30	2				
2,40	3				
2,50	3				
2,60		3	<p>Bemerkungen:</p>		
2,70					
2,80					
2,90					
3,00					
3,10					
3,20					
3,30					
3,40					
3,50					
3,60					
3,70					
3,80					
3,90					
4,00					

Referent (zeichnungsberechtigt)

Laborleiter





NIEVELT - Labor Ges. m. b. H.

PRÜF- UND ÜBERWACHUNGSSTELLE FÜR BAUSTOFFE
AKKREDITIERT DURCH DAS BMWA UND DAS OIB



BAUCONSULTING – BAUENGINEERING

A-2000 STOCKERAU, WIENER STRASSE 35 TEL. ++43-(0)2266/64110 FAX ++43-(0)2266/65897 e-mail: office@nievelt-labor.at

Rammsondierung mit der schweren Rammsonde gemäß ÖNORM B 4419 Teil 1

Prüfbericht

Labor Nr.: P0107-06

Muster Nr.: 12-2

Auftraggeber: ARGE HWS March
Baustelle : HWS March
Jedenspeigen
Stationierung : Profil 28 Jedenspeigen
Dammkrone - Luftseite
GOK: 0 = Dammkrone
Tiefe: 0,0 bis 2,0 m ab GOK
Ausgeführt von: Krupan

Prüfdatum, 06.12.2006

Typ		SRS 15	Spitzenquerschn. 15,00 cm ²	Masse des Rammbaren 50 kg	Gestängeabschnitte 1 m	Antrieb Kette
Tiefe m	Schläge n(10)	Mittelwert für 50 cm				
0,10	1	1				
0,20	1	1				
0,30	2	1				
0,40	1	1				
0,50	1	1				
0,60	1	1				
0,70	0,5	1				
0,80	0,5	1				
0,90	1	1				
1,00	1	1				
1,10	1	1				
1,20	1	1				
1,30	1	1				
1,40	1	1				
1,50	1	1				
1,60	2	2				
1,70	2	2				
1,80	2	2				
1,90	2	2				
2,00	2	2				
2,10						
2,20						
2,30						
2,40						
2,50						
2,60						
2,70						
2,80						
2,90						
3,00						
3,10						
3,20						
3,30						
3,40						
3,50						
3,60						
3,70						
3,80						
3,90						
4,00						

Bemerkungen:

hch

Referent (zeichnungsberechtigt)



Laborleiter

Stockerau, 11.12.2006

Akkreditiert durch: BMWA mit Zahl 92714/585-IX/2/96
OIB mit Zahl OIB-130-003/99-027

P0107-06-12 Rammn bis 04 m

Firmenbuchnummer: FN 61376i
Firmenbuchgericht: Kreis- als Handelsgericht Korneuburg

DVR: 0701149



NIEVELT - Labor Ges. m. b. H.

PRÜF- UND ÜBERWACHUNGSSTELLE FÜR BAUSTOFFE
AKKREDITIERT DURCH DAS BMWA UND DAS OIB



BAUCONSULTING – BAUINGENIEERING

A-2000 STOCKERAU, WIENER STRASSE 35 TEL. ++43-(0)2266/64110 FAX ++43-(0)2266/65897 e-mail: office@nievelt-labor.at

Rammsondierung mit der schweren Rammsonde gemäß ÖNORM B 4419 Teil 1

Prüfbericht

Labor Nr.: P0107-06

Muster Nr.: 12-3

Auftraggeber: ARGE HWS March
Baustelle : HWS March
Jedenspeigen
Stationierung : Profil 28 Jedenspeigen
Dammkrone - Wasserseite
GOK: 0 = Dammkrone
Tiefe: 0,0 bis 3,5 m ab GOK
Ausgeführt von: Krupan

Prüfdatum, 06.12.2006

Typ	SRS 15	Spitzenquerschn. 15,00 cm ²	Masse des Rammbaren 50 kg	Gestängeabschnitte 1 m	Antrieb Kette
Tiefe m	Schläge n(10)	Mittelwert für 50 cm			
0,10	1	1			
0,20	2				
0,30	1				
0,40	1				
0,50	1				
0,60	1	1			
0,70	1				
0,80	1				
0,90	1				
1,00	2				
1,10	1	1			
1,20	2				
1,30	1				
1,40	1				
1,50	2				
1,60	2	2			
1,70	2				
1,80	2				
1,90	2				
2,00	2				
2,10	3	3			
2,20	2				
2,30	3				
2,40	2				
2,50	3				
2,60	2	3			
2,70	3				
2,80	3				
2,90	3				
3,00	3				
3,10	3	2			
3,20	2				
3,30	2				
3,40	2				
3,50	2				
3,60			Bemerkungen:		
3,70					
3,80					
3,90					
4,00					

Referent (zeichnungsberechtigt)



Laborleiter

Akkreditiert durch: BMWA mit Zahl 92714/585-IX/2/96
OIB mit Zahl OIB-130-003/99-027

P0107-06-12 Rammen bis 04 m

Firmenbuchnummer: FN 613761
Firmenbuchgericht: Kreis- als Handelsgericht Korneuburg

DVR: 0701149



NIEVELT - Labor Ges. m. b. H.

PRÜF- UND ÜBERWACHUNGSSTELLE FÜR BAUSTOFFE
AKKREDITIERT DURCH DAS BMWA UND DAS OIB



BAUCONSULTING – BAUENGINEERING

A-2000 STOCKERAU, WIENER STRASSE 35 TEL. ++43-(0)2266/64110 FAX ++43-(0)2266/65897 e-mail: office@nievelt-labor.at

Rammsondierung mit der schweren Rammsonde gemäß ÖNORM B 4419 Teil 1

Prüfbericht

Labor Nr.: P0107-06

Muster Nr.: 12-4

Auftraggeber: ARGE HWS March
Baustelle : HWS March
Jedenspeigen
Stationierung : Profil 28 Jedenspeigen
Dammfuß - Luftseite
GOK: 0 = Dammfuß
Tiefe: 0,0 bis 1,0 m ab GOK
Ausgeführt von: Krupan

Prüfdatum, 06.12.2006

Typ		SRS 15	Spitzenquerschn. 15,00 cm ²	Masse des Rammbaren 50 kg	Gestängeabschnitte 1 m	Antrieb Kette
Tiefe m	Schläge n(10)	Mittelwert für 50 cm	Schlaganzahl n(10)			
0,10	1	1				
0,20	2					
0,30	1					
0,40	2					
0,50	1					
0,60	1	1				
0,70	1					
0,80	2					
0,90	1					
1,00	2					
1,10						
1,20						
1,30						
1,40						
1,50						
1,60						
1,70						
1,80						
1,90						
2,00						
2,10						
2,20						
2,30						
2,40						
2,50						
2,60						
2,70						
2,80						
2,90						
3,00						
3,10						
3,20						
3,30						
3,40						
3,50						
3,60						
3,70						
3,80						
3,90						
4,00						

Bemerkungen:

kr

Referent (zeichnungsberechtigt)



kr, br ma

Laborleiter

Akkreditiert durch: BMWA mit Zahl 92714/585-IX/2/96
OIB mit Zahl OIB-130-003/99-027

P0107-06-12 Rammsonde bis 04 m

Firmenbuchnummer: FN 61376i
Firmenbuchgericht: Kreis- als Handelsgericht Korneuburg

DVR: 0701149



NIEVELT - Labor Ges. m. b. H.

PRÜF- UND ÜBERWACHUNGSSTELLE FÜR BAUSTOFFE
AKKREDITIERT DURCH DAS BMWA UND DAS OIB



BAUCONSULTING – BAUENGINEERING

A-2000 STOCKERAU, WIENER STRASSE 35 TEL. ++43-(0)2266/64110 FAX ++43-(0)2266/65897 e-mail: office@nievelt-labor.at

Rammsondierung mit der schweren Rammsonde
gemäß ÖNORM B 4419 Teil 1

Prüfbericht

Labor Nr.: P0107-06

Muster Nr.: 12-5

Auftraggeber: ARGE HWS March
Baustelle : HWS March
Jedenspeigen
Stationierung : Profil 28 Jedenspeigen
Dammfuß - Wasserseite
GOK: 0 = Dammfuß
Tiefe: 0,0 bis 1,0 m ab GOK
Ausgeführt von: Krupan

Prüfdatum, 06.12.2006

Typ	SRS 15	Spitzenquerschn. 15,00 cm ²	Masse des Rammhären 50 kg	Gestängeabschnitte 1 m	Antrieb Kette
Tiefe m	Schläge n(10)	Mittelwert für 50 cm	Schlaganzahl n(10)		
0,10	1	1			
0,20	1				
0,30	1				
0,40	1				
0,50	1				
0,60	1				
0,70	2				
0,80	1				
0,90	1				
1,00	2				
1,10		1			
1,20					
1,30					
1,40					
1,50					
1,60					
1,70					
1,80					
1,90					
2,00					
2,10					
2,20					
2,30					
2,40					
2,50					
2,60					
2,70					
2,80					
2,90					
3,00					
3,10					
3,20					
3,30					
3,40					
3,50					
3,60					
3,70					
3,80					
3,90					
4,00					

Bemerkungen:

Referent (zeichnungsberechtigt)



Laborleiter

Akkreditiert durch: BMWA mit Zahl 92714/585-IX/2/96
OIB mit Zahl OIB-130-003/99-027

P0107-06-12 Rammn bis 04 m

Firmenbuchnummer: FN 61376i
Firmenbuchgericht: Kreis- als Handelsgericht Korneuburg

DVR: 0701149

7.3. Profilbeschreibung Marchdamm

Profilbeschreibung des Hochwasserschutzdammes an der March

Profilbeschreibungen - Hochwasserschutzdamm an der March

Horizont	Mächtigkeit cm	Horizontbegrenzung	Skelettanteil >2mm	Korngrößenverteilung Struktur	Wurzeln	Probe Nr.	Sonstiges
Profil 1							
0	0 - 5	a/w					Wurzeln:
1	5 - 25	a/w	1	i	w3	1/1	feine, 1 ca 2cm
2	25 - 50	ü/t	1	i	w2	1/2	feine, 2 ca 1,5 cm
3	50 - 75	sa/w	1	h	w1	1/3	feine, 2 ca 2 cm
4	75 - 115	ü/w	1	i	w1	1/4	4 ca 2 cm
5	115 - 185	a/w	1	i	w1	1/5	1 ca 2 cm
6	185 - 235		1	i	w1	1/6	1 ca 2 cm
Profil 2							
0	0 - 5	a/w					viele große Wurzeln - ca. 20
1	5 - 35	a/w	1	i	w4	2/1	
2	35 - 55	a/w	1	h	w2	2/2	
3	55 - 120	a/w	1	i	w2	2/3	
4	120 - 150	sa/w	1	i	w1	2/4	
5	150 - 160	sa/w	1	h	w1	2/5	
6	160 - 180		1	i	w1	2/6	
Profil 3							
0	0 - 5	a/w					Nicht viele gr., mehr kl. Wurzeln (ca. 1cm)
1	5 - 90		1	i	w3	3/1	
Profil 4							
0	0 - 5	a/w					wie 3
1	5 - 20	a/w	1	i	w3	4/1	
2	20 - 50	a/w	1	i	w2	4/2	
3	50 - 65	a/w	1	i	w1	4/3	
4	65 - 85	a/w	1	i	w1	4/4	
5	85 - 115	a/w	1	i	w2	4/5	
6	115 - 240			i	w1	4/6	
Profil 5							
0	0 - 5	a/w					Rostflecken u flecken wie 4 und Sandeinlagerungen (zu 2)
1	5 - 65	a/w	1	i	w3	5/1	
2	65 - 100	a/w	1	i	w4	5/2	
3	100 - 130	ü/w	1	h	w5	5/3	
4	130 - 200	a/w	1	i	w1	5/4	
Profil 6							
0	0 - 5	a/w					zu 3: sandig und wie 4
1	5 - 45	a/w	1	i	w3	6/1	
2	45 - 80	a/w	1	i	w3	6/2	
3	80 - 160	sa/w	1	i+h	w2	6/3	
4	160 - 185		1	i	w1	6/4	

Beschreibung der Tabelle Profilbeschreibung des Hochwasserschutzdammes an der March:
(BLUM,et al; 1996)

Grobanteil/Skelettanteil

Beurteilung	Symbol	% vom Bodenvolumen
geringer Grobanteil	1	0-10
mäßiger Grobanteil	2	10-20
hoher Grobanteil	3	20-40
sehr hoher Grobanteil	4	40-80
vorwiegender Grobanteil	5	über 80

Beurteilung der Form des Horizontüberganges

Bezeichnung	Symbol	Beschreibung
gerade	g	
wellig	w	seichte Vertiefung im Grenzverlauf, Ausbuchtungen breiter als tief
taschenförmig	t	Vertiefungen, Ausbuchtungen tiefer als breit
unterbrochen	u	abbrechen der Grenzlinie und tiefer- oder höher liegende Fortsetzung

Beurteilung der Deutlichkeit des Horizontüberganges

Bezeichnung	Symbol	Breite der Übergangszone in cm
scharf absetzend	sa	kleiner 2
absetzend	a	2-5
übergehend	ü	6-10
allmählich übergehend	aü	größer 10

Korngrößenverteilung Struktur

i=krümmelig

h=körnig

Beurteilung der Durchwurzelungsintensität:

Bezeichnung	Symbol	Feinwurzel/dm ²
nicht	W0	keine Feinwurzeln feststellbar
schwach	W1	1-5
mittel	W2	6-10
stark	W3	11-20
sehr stark durchwurzelt	W4	21-50
Wurzelfilz	W5	größer 50

7.4. Stechzylinderauswertungen der March

Tabelle zur Auswertung der Trockendichte und des Wassergehaltes der Stechzylinderproben von der March

Horizont	Stechzylinder	Frischgewicht (mit Zylinder) [g]	Gewicht Stechzylinder [g]	Frischgewicht [g]	Trockengewicht [g]	Volumen Probe [cm ³]	Trockendichte [g/cm ³]	Wassergehalt	Wassergehalt [%]
1.1	43	285,21	112,62	172,59	131,22	100	1,31	41,37	23,97
1.2	25	286,93	112,79	174,14	132,28	100	1,32	41,86	24,04
1.3	26	267,06	111,68	155,38	123,98	100	1,24	31,40	20,21
1.4	27	271,16	112,04	159,12	120,82	100	1,21	38,30	24,07
1.5	28	286,70	112,57	174,13	140,22	100	1,40	33,91	19,47
1.6	31	261,68	112,83	148,85	114,70	100	1,13	34,15	22,94
2.1	41	276,14	112,45	163,69	130,84	100	1,30	32,85	20,07
2.2	48	272,28	112,05	160,23	129,36	100	1,29	30,87	19,27
2.3	32	277,20	112,98	164,22	134,36	100	1,34	29,86	18,18
2.4	47	293,35	113,20	180,15	140,06	100	1,40	40,09	22,25
2.5	39	278,99	112,23	166,76	137,38	100	1,37	29,38	17,62
2.6	46	280,47	112,60	167,87	133,28	100	1,33	34,59	20,61
3.1	33	263,29	112,68	150,61	120,21	100	1,20	30,40	20,18
1.1	43	285,21	112,62	172,59	131,22	100	1,31	41,37	23,97
1.2	25	286,93	112,79	174,14	132,28	100	1,32	41,86	24,04
1.3	26	267,06	111,68	155,38	123,98	100	1,24	31,40	20,21
1.4	27	271,16	112,04	159,12	120,82	100	1,20	38,30	24,07
1.5	28	286,70	112,57	174,13	140,22	100	1,40	33,91	19,47
1.6	31	261,68	112,83	148,85	114,70	100	1,13	34,15	22,94
2.1	41	276,14	112,45	163,69	130,84	100	1,3084	32,85	20,07
2.2	48	272,28	112,05	160,23	129,36	100	1,29	30,87	19,27
2.3	32	277,20	112,98	164,22	134,36	100	1,34	29,86	18,183
2.4	47	293,35	113,20	180,15	140,06	100	1,40	40,09	22,25
2.5	39	278,99	112,23	166,76	137,38	100	1,37	29,38	17,62
2.6	46	280,47	112,60	167,87	133,28	100	1,33	34,59	20,61
3.1	33	263,29	112,68	150,61	120,21	100	1,20	30,40	20,15
4.1	42	309,32	113,50	195,82	153,15	100	1,53	42,67	21,79
4.2	37	288,93	112,46	176,47	148,21	100	1,48	28,26	16,01
4.3	38	291,40	113,06	178,34	148,47	100	1,48	29,87	16,75
4.4	45	274,29	112,43	161,86	131,33	100	1,31	30,53	18,86
4.5	40	269,77	111,83	157,94	127,41	100	1,27	30,53	19,33
4.6	34	279,79	112,46	167,33	138,96	100	1,39	28,37	16,95
4.6 Rost	30	294,24	111,31	182,93	152,06	100	1,52	30,87	16,88
5.1	3	254,57	113,78	140,79	114,25	100	1,14	26,54	18,85
5.2	44	272,41	113,98	158,43	128,60	100	1,29	29,83	18,83
5.3	35	282,61	111,69	170,92	141,02	100	1,41	29,90	17,49
5.3 Sand	29	287,77	112,96	174,81	140,99	100	1,41	33,82	19,35
5.4	36	284,44	113,09	171,35	137,32	100	1,37	34,03	19,86
6.1	2	243,75	111,80	131,95	90,53	100	0,91	41,42	31,39
6.2	18	258,74	112,28	146,46	117,83	100	1,18	28,63	19,55
6.3 B	8	288,33	112,33	176,00	144,59	100	1,45	31,41	17,85
6.3 Sand	1	272,26	112,88	159,38	133,91	100	1,34	25,47	15,98
6.4	10	274,68	113,72	160,96	126,12	100	1,26	34,84	21,65

7.5. Lage der Messsensoren

Sensor [Nr.]	Sensortyp	Kabelfarbe	Markierung [Farbband]	Profil	Abstand vom Beckenboden [m]	Entfernung von Beckenmitte [m]
F1	EC5	schwarz	1xgrün	A - A'	0,25	2,00
T1	Pt100	grau	1xgrün	A - A'	0,25	2,00
F2	EC5	schwarz	2xgrün	B - B'	0,25	2,00
T2	Pt100	grau	2xgrün	B - B'	0,25	2,00
F3	EC5	schwarz	1xgelb	A - A'	0,25	6,10
T3	Pt100	grau	1xgelb	A - A'	0,25	6,10
F4	EC5	schwarz	2xgelb	B - B'	0,25	6,10
T4	Pt100	grau	2xgelb	B - B'	0,25	6,10
F5	EC5	schwarz	1xweiß	A - A'	0,90	3,00
T5	Pt100	grau	1xweiß	A - A'	0,90	3,00
F6	EC5	schwarz	2xweiß	B - B'	0,90	3,00
T6	Pt100	grau	2xweiß	B - B'	0,90	3,00
F7	EC5	schwarz	1xblau	A - A'	0,90	6,10
T7	Pt100	grau	1xblau	A - A'	0,90	6,10
F8	EC5	schwarz	2xblau	B - B'	0,90	6,10
T8	Pt100	grau	2xblau	B - B'	0,90	6,10
F9	EC5	schwarz	1xrot	A - A'	0,90	8,20
T9	Pt100	grau	1xrot	A - A'	0,90	8,20
F10	EC5	schwarz	2xrot	B - B'	0,90	8,20
T10	Pt100	grau	2xrot	B - B'	0,90	8,20
F11	EC5	schwarz	1xorange	A - A'	1,50	3,00
T11	Pt100	grau	1xorange	A - A'	1,50	3,00
F12	EC5	schwarz	2xorange	B - B'	1,50	3,00
T12	Pt100	grau	2xorange	B - B'	1,50	3,00
F13	EC5	schwarz	1xbraun	A - A'	1,50	5,00
T13	Pt100	grau	1xbraun	A - A'	1,50	5,00
F14	EC5	schwarz	2xbraun	B - B'	1,50	5,00
T14	Pt100	grau	2xbraun	B - B'	1,50	5,00
F15	EC5	schwarz	1xviolett	A - A'	2,00	3,50
T15	Pt100	grau	1xviolett	A - A'	2,00	3,50
F16	EC5	schwarz	2xviolett	B - B'	2,00	3,50
T16	Pt100	grau	2xviolett	B - B'	2,00	3,50

7.6. Auswertung der Lastplattenversuche

Sensor [Nr.]	Markierung [Farbband]	Profil	Höhe vom Beckenboden [m]	Entfernung von Beckenmitte [m]	Lastplatte Evd	Stechzylinder [Nr.]	Trockendichte [g/cm ³]	Trockendichte [g/cm ³]
F1	1xgrün	A - A'	0,25	2,00	50,1	30/33	1,997	1,992
T1	1xgrün	A - A'	0,25	2,00	50,1	30/33	1,997	1,992
F2	2xgrün	B - B'	0,25	2,00	41,5	31/32	2,041	1,986
T2	2xgrün	B - B'	0,25	2,00	41,5	31/32	2,041	1,986
F3	1xgelb	A - A'	0,25	6,10	31,9	34/35	1,865	1,904
T3	1xgelb	A - A'	0,25	6,10	31,9	34/35	1,865	1,904
F4	2xgelb	B - B'	0,25	6,10	31,8	36/37	1,986	2,013
T4	2xgelb	B - B'	0,25	6,10	31,8	36/37	1,986	2,013
F5	1xweiß	A - A'	0,90	3,00	44,8	23	1,932	
T5	1xweiß	A - A'	0,90	3,00	44,8	23	1,932	
F6	2xweiß	B - B'	0,90	3,00	47,8	25	1,947	
T6	2xweiß	B - B'	0,90	3,00	47,8	25	1,947	
F7	1xblau	A - A'	0,90	6,10	55,8	27	1,928	
T7	1xblau	A - A'	0,90	6,10	55,8	27	1,928	
F8	2xblau	B - B'	0,90	6,10	56,8	40/26	1,963	1,998
T8	2xblau	B - B'	0,90	6,10	56,8	40/26	1,963	1,998
F9	1xrot	A - A'	0,90	8,20	44,6	28	1,911	
T9	1xrot	A - A'	0,90	8,20	44,6	28	1,911	
F10	2xrot	B - B'	0,90	8,20	43,7	29	1,936	
T10	2xrot	B - B'	0,90	8,20	43,7	29	1,936	
F11	1xorange	A - A'	1,50	3,00	56,3	12	1,898	
T11	1xorange	A - A'	1,50	3,00	56,3	12	1,898	
F12	2xorange	B - B'	1,50	3,00	42,9	10	1,931	
T12	2xorange	B - B'	1,50	3,00	42,9	10	1,931	
F13	1xbraun	A - A'	1,50	5,00	58,6	14	1,919	
T13	1xbraun	A - A'	1,50	5,00	58,6	14	1,919	
F14	2xbraun	B - B'	1,50	5,00	49,2	8	1,980	
T14	2xbraun	B - B'	1,50	5,00	49,2	8	1,980	
F15	1xviolett	A - A'	2,00	3,50	38,3	22	1,867	
T15	1xviolett	A - A'	2,00	3,50	38,3	22	1,867	
F16	2xviolett	B - B'	2,00	3,50	35,2	18	1,870	
T16	2xviolett	B - B'	2,00	3,50	35,2	18	1,870	

7.7. Stechzylinderauswertungen

Zylinder	Gewicht brutto [g]	Gewicht Zylinder [g]	Gewicht netto [g]	Trockendichte [g/cm ³]	Proctordichte [g/cm ³]	Relative Dichte (Verdichtungsgrad) [%]
1	314,13	112,73	201,40	2,014	2,028	99,31
2	305,43	111,64	193,79	1,938	2,028	95,56
3	315,94	113,62	202,32	2,023	2,028	99,76
5	313,02	112,86	200,16	2,002	2,028	98,70
6	306,08	112,29	193,79	1,938	2,028	95,56
7	308,07	111,71	196,36	1,964	2,028	96,82
8	310,16	112,16	198,00	1,980	2,028	97,63
10	306,65	113,56	193,09	1,931	2,028	95,21
12	302,12	112,33	189,79	1,898	2,028	93,58
14	303,91	112,02	191,89	1,919	2,028	94,62
18	299,05	112,10	186,95	1,870	2,028	92,18
22	298,51	111,80	186,71	1,867	2,028	92,07
23	304,12	110,93	193,19	1,932	2,028	95,26
25	307,28	112,60	194,68	1,947	2,028	96,00
26	311,35	111,53	199,82	1,998	2,028	98,53
27	304,73	111,90	192,83	1,928	2,028	95,08
28	303,51	112,42	191,09	1,911	2,028	94,23
29	306,39	112,78	193,61	1,936	2,028	95,47
30	310,89	111,18	199,71	1,997	2,028	98,48
31	316,77	112,67	204,10	2,041	2,028	100,64
32	311,32	112,71	198,61	1,986	2,028	97,93
33	311,77	112,55	199,22	1,992	2,028	98,23
34	298,75	112,21	186,54	1,865	2,028	91,98
35	301,96	111,55	190,41	1,904	2,028	93,89
36	311,48	112,93	198,55	1,986	2,028	97,90
37	313,62	112,31	201,31	2,013	2,028	99,27
38	296,36	112,90	183,46	1,835	2,028	90,46
39	306,39	112,08	194,31	1,943	2,028	95,81
40	308,00	111,68	196,32	1,963	2,028	96,80
41	306,17	112,30	193,87	1,939	2,028	95,60
42	316,08	113,37	202,71	2,027	2,028	99,96
43	318,58	112,39	206,19	2,062	2,028	101,67
44	308,66	113,83	194,83	1,948	2,028	96,07
45	303,17	112,29	190,88	1,909	2,028	94,12
46	305,65	112,41	193,24	1,932	2,028	95,29
47	305,93	113,04	192,89	1,929	2,028	95,11
48	305,14	111,90	193,24	1,932	2,028	95,29

7.8. Isotopensondenversuche

Isotopensondenversuche – Trockendichte und Relative Dichte

Nr.	Trocken- dichte g/cm ³	Relative Dichte %	pd g/cm ³ - 10cm	Relative Dichte %-10cm	pd g/cm ³ - 20cm	Relative Dichte %-20cm	pd g/cm ³ -30cm	Relative Dichte %-30cm	pd mean g/cm ³	Relative Dichte % mean
1	1,964	96,8	2,013	99,3	1,991	98,2	2,005	98,9	2,003	98,8
2	1,938	95,6	1,924	94,9	1,937	95,5	1,978	97,5	1,946	96,8
3	1,835	90,5	1,948	96,1	1,884	92,9	1,901	93,7	1,911	94,2
4	1,943	95,8	1,973	97,3	1,989	98,1	2,031	100,1	1,998	98,5
5	1,932	95,3	1,948	96,1	1,950	96,2	1,966	96,9	1,955	96,4
6	1,929	95,1	1,925	94,9	1,917	94,5	1,945	95,9	1,929	95,1
7	1,932	95,3	1,989	98,1	2,013	99,3	2,005	98,9	2,002	98,7
8	1,909	94,1	1,953	96,3	1,943	95,8	1,977	97,5	1,958	96,5
9	1,948	96,1	1,994	98,3	2,005	98,9	2,022	99,7	2,007	99,0
10	2,062	101,7	1,938	95,6	1,986	97,9	2,013	99,3	1,979	97,6
11	2,027	100,0	2,002	98,7	2,033	100,2	2,024	99,8	2,020	99,6
12	1,939	95,6	1,887	93,0	1,891	93,2	1,937	95,5	1,905	93,9
Mean	1,95	95,98	1,96	96,54	1,96	96,73	1,98	97,81	1,97	97,10

7.9. Felddurchlässigkeit nach Horn

Felddurchlässigkeitsversuche nach Horn durchgeführt an der Lehmschicht

Feld-Durchlässigkeitsversuch nach Horn

H = 1852 mm

Messung Nr.	Uhrzeit	T	h'	Δh_v	Δh_T	h	Δt	T_m	α	k_{10}
1	12:55	17,0	28	0	0	1824	0	17,0	0,83	
2	13:15	16,6	46	0	0	1806	20	16,8	0,83	6,22465E-09
3	13:35	16,6	61	0	0	1791	20	16,6	0,84	5,26131E-09
4	13:55	18,0	67	0	0	1785	20	17,3	0,82	2,07988E-09
5	14:21	18,6	76	0	0	1776	26	18,3	0,80	2,35077E-09
6	14:39	19,1	82	0	0	1770	18	18,6	0,79	2,24272E-09
7	15:10	19,6	92	0	0	1760	31	19,4	0,78	2,15375E-09
8	15:35	20,0	100	0	0	1752	25	19,8	0,78	2,12415E-09
9	15:50	20,4	108	0	0	1744	15	20,2	0,77	3,52231E-09

3,24494E-09

H = 1834 mm

Messung Nr.	Uhrzeit	T	h'	Δh_v	Δh_T	h	Δt	T_m	α	k_{10}
1	10:08	14,2	84	0	0	1768	0	14,2	0,89	
2	10:25	13,0	86	0	0	1766	17	13,6	0,91	9,07835E-10
3	10:45	13,5	86	0	0	1766	20	13,3	0,92	0
4	11:01	14,3	87	0	0	1765	16	13,9	0,90	4,78887E-10
5	11:15	14,0	87	0	0	1765	14	14,2	0,89	0
6	11:35	14,3	88	0	0	1764	20	14,2	0,89	3,80815E-10
7	11:58	15,3	88	0	0	1764	23	14,8	0,88	0
8	12:15	15,8	88	0	0	1764	17	15,6	0,86	0
9	12:37	15,9	88	0	0	1764	22	15,9	0,86	0

5,89179E-10

Wobei:

T Temperatur in °C

h' Abstand des Wasserspiegels von der Rohroberkante

Δh_v Verdunstungskorrektur

Δh_T Temperaturkorrektur für h

h Korrigierte hydraulische Höhe $h = H - h' + \Delta h_v + \Delta h_T$

Δt Zeitdifferenz

T_m $T_m = (T_{i-1} + T_i) / 2$

α Temperaturkorrektur für η

k_{10} Durchlässigkeitbeiwert