

Auswirkung der Bewirtschaftung und der bodenkundlichen Verhältnisse auf die Böschungs-Grasnarbenstabilität der Rheindämme

Phase I

Einfluss der Bewirtschaftung und der Standorteigenschaften auf die Durchwurzelung des Bodens



Im Auftrag der

Internationalen Rheinregulierung
Lustenau

UMG Umweltbüro Grabher, 6971 Hard
wpa Beratende Ingenieure, 6850 Dornbirn

In Zusammenarbeit mit der Bautechnischen Versuchsanstalt der HTL, 6830 Rankweil

September, 2004

Inhaltsverzeichnis

0	Zusammenfassung.....	3
1	Ausgangssituation	3
2	Lage der Untersuchungsstandorte	4
3	Methodik.....	5
3.1	Vegetationsaufnahmen nach Braun-Blanquet	5
3.2	Ökologische Einordnung nach Zeigerwerten	5
3.3	Dichte der Grasnarbe.....	6
3.4	Bodenkundliche Standortfaktoren	6
3.4.1	Bodenkundliche Charakterisierung der Versuchsflächen.....	6
3.4.2	Eindringwiderstand.....	7
3.4.3	Bodenprobennahme	7
3.4.4	Scherfestigkeit	7
3.4.5	Chemische Bodenanalysen.....	8
3.4.6	Trennung der Wurzelmasse vom umgebenden Substrat	8
3.4.7	Bestimmung der spezifischen Wurzellänge.....	8
4	Ergebnisse.....	10
4.1	Vegetationstypen.....	10
4.2	Zeigerwertanalyse	11
4.3	Analyse der Narbendichte.....	13
4.4	Wurzelparameter.....	15
4.4.1	Wurzelmasse auf den verschiedenen Standorten	15
4.4.2	Vertikale Verteilung der Wurzelmasse	17
4.4.3	Durchwurzelung und Scherfestigkeit	19
4.5	Feldbodenkundliche Aufnahmen	24
4.6	Eindringwiderstand.....	28
4.7	Bodenchemismus	28
4.7.1	Bodenacidität (pH-Wert).....	29
4.7.2	Gesamtstickstoff (N)	29
4.7.3	Pflanzenverfügbares Phosphat und Kalium	30
4.7.4	N-Mineralisation	31
4.8	Eindringwiderstand.....	32
5	Diskussion	33
6	Literatur	35
7	Anhang	38
7.1	Vegetationstabelle.....	38
7.2	Zeigerwerte nach Landolt (1977).....	39
7.2.1	Nährstoffzahl.....	39
7.2.2	Dispersitätszahl	39
7.2.3	Lichtzahl.....	39
7.2.4	Mahdverträglichkeitszahl nach Briemle & Ellenberg (1994)	40
7.2.5	Laboranalysen.....	41

0 Zusammenfassung

An vier Standorten des rechten Hochwasserschutzdammes am Alpenrhein wurden die Zusammenhänge zwischen bodenkundlicher Situation, Durchwurzelung, Vegetation und Scherfestigkeit untersucht. Die Durchwurzelung wird durch die Vegetation bestimmt. Weiters besteht eine klare Korrelation zwischen Scherspannung und spezifischer Wurzelichte (=Gesamtwurzellänge pro Volumseinheit). Aus Gründen der Dammstabilität ist eine gute Durchwurzelung und dichte Grasnarbe zu fördern. Hierfür werden Bewirtschaftungsempfehlungen aus den vorliegenden Untersuchungsergebnissen abgeleitet.

1 Ausgangssituation

Die Hochwasserschutzdämme am Alpenrhein werden bis etwa Kilometer 90 als Wiesen gepflegt. Da die Vegetationsdecke wesentlich für die Dammstabilität ist, sollen in einem Untersuchungsprogramm folgende Fragen bearbeitet werden: Welche Auswirkungen haben Bewirtschaftungsintensität und Nährstoffhaushalt auf die Grasnarbendichte, die Durchwurzelungsintensität und damit auf die Scherfestigkeit bzw die Böschungsstabilität der wasserseitigen Hochwasserschutzdämme des Rheins?

Neben der Höhe und Breite eines Dammkörpers wird die Dammstabilität wesentlich durch die Oberflächenbeschaffenheit und deren Widerstandsfähigkeit gegenüber Erosion bestimmt (Sprangers 1999). Dabei übernimmt vor allem die Vegetation eine besondere Schutzfunktion (Büring 1999). Der ideale Pflanzenbewuchs aus ingenieurbioologischer Sicht ist eine geschlossene Grasnarbe mit guter Durchwurzelung, da der oberirdische Pflanzenbewuchs die Schleppekraft bei Hochwasserereignissen und somit die Oberflächenerosion abschwächt und ein ausgedehntes Wurzelsystem ein größeres Bodenvolumen stabilisiert. Pflanzen fördern die Entwässerung und festigen das Bodenmaterial durch ihre Wurzeln (Graf et al. 2003).

Die Rheindammflanken werden unterschiedlich bewirtschaftet, wodurch sich im Laufe der Jahre unterschiedliche Pflanzengemeinschaften entwickelten. Entsprechend vegetationsökologischer Untersuchungen (Grabher 1992) reicht das Spektrum von mehrmähdigen Fettwiesen über zweimähdige Glatthaferwiesen bis zu einmähdigen Halbtrockenrasen.

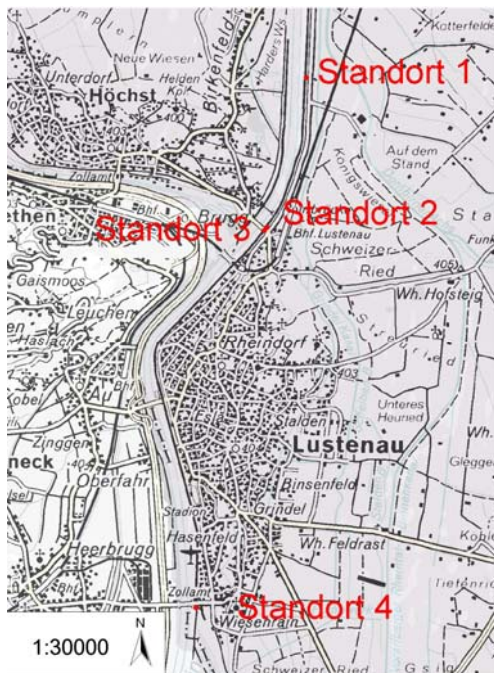
Die Bewirtschaftungsintensität, vor allem Düngung und Schnitthäufigkeit, haben entscheidenden Einfluss auf das Pflanzenspektrum (Sykora & Liebrand 1988), den Narbenschluss und die Durchwurzelungsintensität. Lutz (1993) wies auf ausgewählten Standorten entlang des rechtsufrigen Hochwasserschutzdammes des Rheins nach, dass extensiv genutzte Standorte im Vergleich zu intensiv genutzten eine tiefere Durchwurzelung bzw höhere Wurzelmassen aufweisen.

Zusammenhänge zwischen Scherfestigkeit des Bodens und dem Gehalt an unterirdischer Phytomasse sollen bei dieser Untersuchung geklärt werden.

Die Auswahl der Versuchsflächen erfolgte nach einem Screening der Vegetation und der Standortverhältnisse. Dabei wurde neben der Dammneigung auch der Eindringwiderstand im Tiefenverlauf mittels Penetrometer berücksichtigt, da dieser ein Maß für das generelle physikalische Durchwurzelungspotenzial ist und mit der Durchwurzelbarkeit korreliert.

Die Standortwahl der Versuchsfläche basierte auf den Ergebnissen des durchgeführten Screenings.

2 Lage der Untersuchungsstandorte



In der ersten Phase des Projekts beschränkt sich die Anzahl der Untersuchungsflächen auf vier Standorte an der uferseitigen Böschung des rechten Hochwasserschutzdammes in den Gemeindegebieten Fußbach und Lustenau. Die Auswahl der Probestandorte orientierte sich an den Ergebnissen des vorausgegangenen Screenings. Dabei wurde vor allem die pflanzensoziologische Zusammensetzung berücksichtigt, wobei besonderes Augenmerk auf Zeigerarten hinsichtlich Schnitthäufigkeit und Nährstoffversorgung gelegt wurde.

Abb 1: Lageplan der Untersuchungsflächen

Standort 1 liegt südwestlich der Firma Alfa und wird extensiv bewirtschaftet: keine Düngung, ein bis zwei Schnitte.

Standort 2 liegt direkt nördlich der Höchster Brücke und entspricht einer zweimähdigen Glatthaferwiese.

Standort 3 südlich der Höchster Brücke entspricht einer zwei bis dreimähdigen Glatthaferwiese mit Übergang zur Knautgraswiese.

Standort 4 südlich des Grenzüberganges Wiesenrain wird beweidet und gemäht und weist innerhalb des Untersuchungsgebietes auf die intensivste Nutzung hin.

3 Methodik

3.1 Vegetationsaufnahmen nach Braun-Blanquet

Die pflanzensoziologischen Erhebungen erfolgten nach der Methode von Braun-Blanquet (1964). Dabei werden auf einer repräsentativen Fläche mit homogener Vegetationsausprägung sämtliche Pflanzenarten aufgenommen. Zur Ansprache des Vegetationstyps wurde jeweils eine Vegetationsaufnahme (ca 3 x 5 m) pro Standort im Juni und August 2003 erhoben. Auf exakt vermessenen Flächen (1 m²), auf denen im September die Probenentnahmen und Bodenprofilbeschreibung erfolgte, wurde die Vegetation nochmals detailliert aufgenommen. Dabei wurde die Deckungsgrad-Schätzskala nach Braun-Blanquet (vgl Tab 1) verwendet.

Tab 1: Aufnahmeskala zur Schätzung der Artmächtigkeit nach Braun-Blanquet (1964)

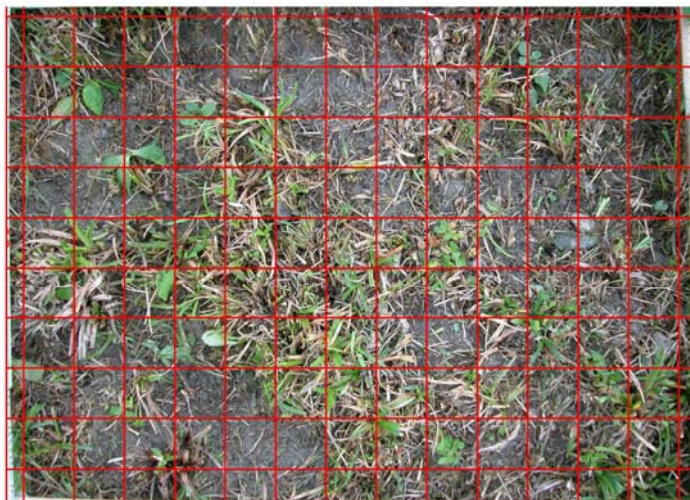
Skala	Deckung %
r	Sehr selten
+	Selten
1	Zahlreich, aber weniger 5 % der Probefläche deckend
2	5 - 25 % der Probefläche deckend
3	25 - 50 % der Probefläche deckend
4	50 - 75 % der Probefläche deckend
5	75 - 100 % der Probefläche deckend

3.2 Ökologische Einordnung nach Zeigerwerten

Düngung und Nutzungsfrequenz (Schnitthäufigkeit, Beweidung) bestimmen die Nährstoffversorgung und beeinflussen die Lichtverhältnisse am Standort. Die Zeigerwerte nach Landolt (1977) sind auf Erfahrungswerten basierende Indikatoren, mit deren Hilfe sich Pflanzenbestände und deren Standorte charakterisieren lassen. Für die Mahdverträglichkeit von Grünlandpflanzen wurden die Zeigerwerte von Briemle & Ellenberg (1994) verwendet. Mit Hilfe der Zeigerwerte werden die Ansprüche einzelner Arten an limitierende Wachstumsparameter wie Stickstoff, Wasser, Licht etc. beschrieben. Zeigerwerte sind keine exakten Messgrößen, sondern beschreiben das „Verhalten“ der einzelnen Arten im Bestand. Mit dem Durchschnitt der Zeigerwerte aller vorkommenden Arten innerhalb eines Pflanzenbestandes wird der Gesamtbestand charakterisiert (Briemle 1997).

3.3 Dichte der Grasnarbe

Die Bestimmung der Narbendichte erfolgte kurz vor der Bodenprobenentnahme am 9. und 10. September 2003. Auf jeweils zwei Probeflächen von 30 x 40 cm pro Standort wurde die Vegetation auf 2 cm gekürzt (vgl. Sprangers 1999, Sykora 1999). Herabgefallene Pflanzenteile, Nekromasse (abgestorbene Pflanzenteile) und Moose wurden entfernt, da diese kaum einen Beitrag zur Narbendichte leisten (Sprangers 1999). Für die Narbendichtebestimmung wurden homogene Teilflächen ohne Störstellen wie zB Maulwurfshügel, Wühlmausgänge und Trittschäden ausgewählt.



0 10 20 Zentimeter

 A horizontal scale bar with three segments. The first segment is labeled '0', the second '10', and the third '20 Zentimeter'.

Die freigelegten Teilflächen wurden digital fotografiert. Mittels ArcView 3.2 wurde ein Raster von 3 x 3 cm über die digitalen Fotos gelegt, die Anzahl der vegetationsfreien Punkte bei den Kreuzungspunkten ermittelt und mit der Gesamtzahl der Kreuzungspunkte des Zählfeldes in Relation gesetzt. Diese Methode kann als modifizierte Punkt-Frequenz-Methode bezeichnet werden.

Abb 2: Digitales Foto einer auf 2 cm gekürzten Grasnarbe mit darüber gelegtem 3 x 3 cm Raster.

3.4 Bodenkundliche Standortfaktoren

3.4.1 Bodenkundliche Charakterisierung der Versuchsflächen

Die Aufnahme der bodenkundlichen Situation an den Versuchsflächen erfolgte einerseits durch feldbodenkundliche Messungen (Eindringwiderstand) sowie durch eine feldbodenkundliche Beschreibung der wesentlichen bodenkundlichen Merkmale. Für die Feldaufnahmen wurde je Standort ein Bodenprofil im Mittelhang des Dammes geöffnet. Die Aufnahme erfolgte generell gemäß „bodenkundlicher Kartieranleitung“, AG Boden 1994. Die feldbodenkundlichen Arbeiten sowie die Bodenprobenahme konnte aufgrund der extremen Witterung im Jahr 2003 (Trockenheit) erst im Herbst durchgeführt werden.

3.4.2 Eindringwiderstand

Mit Hilfe eines Penetrometers wurde an den Versuchsflächen der Eindringwiderstand bis in eine Tiefe von ca. 70 cm dokumentiert. Es war geplant, den Eindringwiderstand je Aufnahmefläche jeweils am Oberhang, Mittelhang und Hangfuß in 3-facher Wiederholung zu ermitteln (vgl Kap. 4.8)

3.4.3 Bodenprobennahme

Probenahme Pflanzenwurzeln

Die Entnahme der Bodenproben aus der Profilwand erfolgte, sofern es die Bodentextur zuließ, durch einen Stechzylinder (10 x 5 x 50 cm). Zur Differenzierung eines vertikalen Gradienten einzelner Bodenparameter wurden die gewonnenen Bodensäule in 10 cm Tiefenstufen unterteilt ($V = 500 \text{ cm}^3$), in Gefrierbeutel abgepackt und tiefgefroren. Bei Standort 3 mussten auf Grund des hohen Grobskelettanteils (Steine) Spatenproben, ebenfalls getrennt in 10 cm Tiefenstufen, gewonnen werden.

Die Bautechnische Versuchsanstalt stellte zudem jene Bodenproben zur Verfügung, die für die Rahmenscherversuche verwendet wurden.

Probenahme für chemische Bodenanalysen

Die Probenahme für die chemische Laboruntersuchung erfolgte durch eine repräsentative Entnahme an Einzelproben und nachfolgende Bildung einer tiefenbezogenen Mischprobe aus der Profilwand. Es wurden die Tiefenstufen 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm und 30-50 cm beprobt.

3.4.4 Scherfestigkeit

Die Bestimmung der Scherfestigkeit des Bodens erfolgte mit einem aus zwei Zylinderhälften bestehendem Rahmenschergerät. Die ungestörten Bodenproben wurden in ein Rahmenschergerät mit Scherbüchsenabmessung von 10 cm / 10 cm eingesetzt und bei geringer Normalspannung (ca. 10 KN/m^2) abgeschert. Bei der Probe des Standort 1 (SS1) wurde ein Scherversuch, bei den Proben von Standort 2 – 4 (SS2 – SS4) wurden je zwei Scherversuche in unterschiedlichen Tiefenstufen durchgeführt.

Die Referenzmessungen erfolgten an Mischproben aus Material aller vier Sondierschlitze (SS1 – SS4) ohne Wurzeln: An drei Teilproben wurde mit unterschiedlicher Normalspannung die Scherfestigkeit gemessen (Bautechnische Versuchsanstalt 2004).

3.4.5 Chemische Bodenanalysen

Die Bestimmung des pH-Wert, Stickstoff, TOC, pflanzenverfügbaren Phosphor und Kalium sowie der N-Mineralisation erfolgte durch die Firma böhler-Analytik.

Die Bodenreaktion wurde als **pH-Wert** in 0,01 M CaCl₂-Lösung nach ÖNORM S 2023 gemessen. Der Gehalt an **pflanzenverfügbarem Kalium** sowie des **pflanzenverfügbaren Phosphors** wurden nach der Calcium-Acetat-Lactat (CAL)-Methode bestimmt (ÖN L 1087). Die Ergebnisse werden in mg der Oxidform (P₂O₅, K₂O) pro 100 g Reinnährstoff (P,K) angegeben. Der **Stickstoffgehalt** wurde als Gesamtstickstoff nach Kjeldahl (ÖN S 2023) bestimmt. Die Ermittlung der **N-Mineralisation** erfolgte im anaeroben Brutversuch (nach Keeney 1982, mod.: Überstauung des Bodens mit Wasser und Bebrütung über 7 Tage bei 40°C). Der aus organischen N-Verbindungen freigesetzte NH₄⁺ -N wurde kolorimetrisch bestimmt.

3.4.6 Trennung der Wurzelmasse vom umgebenden Substrat

Da auf Grund der ungünstigen Bodentextur einzelner Standorte bei der Probenwerbung keine konstanten Probenvolumina entnommen werden konnten, wurde das Volumen der tiefgefrorenen Proben durch Differenzmessung in einem mit Wasser gefüllten Messbecher bestimmt. Anschließend wurden die Proben mit lauwarmem Wasser aufgeschwemmt und über einem doppelten Siebsatz mit einer Maschenweite von 2 und 0,63 mm unter fließendem Wasser ausgewaschen.



Abb 3: Doppelter Siebsatz

Die Wurzeln wurden luftgetrocknet und in Dickenklassen kleiner 1 mm Durchmesser und größer 1 mm Durchmesser sortiert. Dabei wurden allfällig anhaftende Bodenpartikel und oberirdisches organisches Material ebenfalls entfernt. Das gewonnene Wurzelmaterial wurde in einem Trockenschrank bei 80° C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet (mindestens 24 h), im Exsikkator abgekühlt und mit einer Präzisionswaage auf 0,001 g genau gewogen.

3.4.7 Bestimmung der spezifischen Wurzellänge

Bei allen Proben wurde die Wurzelmasse ermittelt und auf 1000 cm³ Boden hochgerechnet. Bei den für die Rahmenscherversuche erworbenen Bodenproben erfolgte zusätzlich die Bestimmung der spezifischen Wurzellänge: In kochendem Wasser wurde trockenes Wurzelmaterial aus repräsentativen Stichproben in seinen ursprünglichen Quellungszustand gebracht, auf Millimeterpapier die Länge bestimmt, anschließend getrocknet und wieder gewogen. Die spezifische Wurzellänge ist der Quotient aus der gemessenen Wurzellänge

dividiert durch das Trockengewicht der Stichprobe. Die Gesamtwurzellänge der jeweiligen Probe wird über das Trockengewicht der Gesamtprobe hochgerechnet.

Anmerkung: Eine statistische Auswertung ist auf Grund der geringen Stichprobenzahl nicht zulässig. Trends können jedoch aufgezeigt werden.

4 Ergebnisse

4.1 Vegetationstypen

Die Vegetationbeschreibung erfolgte durch zwei Vegetationsaufnahmen pro Standort: Eine Aufnahme beschreibt den Vegetationstyp großflächig - eine zweite (1 x 1 m) die unmittelbare Untersuchungsfläche, der die Bodenproben für chemische Analysen und für die Bestimmung der Durchwurzelung entnommen wurden. Die Vegetationsaufnahmen sind in Tab 7.1 im Anhang zusammengefasst. Neben der Bewirtschaftungsintensität spielt vor allem die Beschaffenheit des Untergrundes eine entscheidende Rolle für die Artenzusammensetzung. Aus botanischer Sicht wiesen alle Standorte im oberen Böschungsbereich tendenziell nährstoffärmere Verhältnisse mit entsprechenden Magerkeitszeigern auf.



Abb 4: Standort 1

Standort 1: Magerwiese mit Aufrechter Trespe (*Bromus erectus*) sowie weiterer Magerkeitszeiger als konstante Begleiter: Zittergras (*Briza media*), Purgierlein (*Linum catharticum*), Wilde Möhre (*Daucus carota*), Blutwurz (*Potentilla erecta*) und Frühlingssegge (*Carex verna*). Die Fiederzwenke (*Brachypodium pinnatum*) dominiert lokal, was vor allem auf eine späte Nutzung deutet.

Artenzahl: 31 Arten / 15 m².



Abb 5: Standort 2

Standort 2: Die Vegetation entspricht weitgehend einer Glatthaferwiese, die vom namensgebenden Glatthafer (*Arrhenatherum elatius*) dominiert wird. Als typische Begleitarten treten hinsichtlich ihrer Nährstoffversorgung anspruchsvollere Arten auf wie Wolliges Honiggras (*Holcus lanatus*), Wiesenrispe (*Poa pratensis*), Knaulgras (*Dactylis glomerata*), Goldhafer (*Trisetum flavescens*) und Flaumhafer (*Helicotrichon pubescens*).

Artenzahl: 21 Arten / 15 m².



Abb 6: Standort 3

Standort 3: Glatthaferwiese mit Nährstoffeinfluss, was durch das Vorkommen von Löwenzahn (*Taraxacum officinale*), Bärenklau (*Heracleum sphondylium*), Wiesenschwingel (*Festuca pratensis*) und Labkraut (*Galium mollugo*) und vor allem durch das nährstoffliebende Englische Raygras (*Lolium perenne*) deutlich wird.

Artenzahl: 31 Arten / 15 m².



Abb 7: Standort 4

Standort 4: Entspricht einer Knautgras-Kräuterwiese. Dominante Arten sind Knautgras (*Dactylis glomerata*), Ausläufer-Straußgras (*Agrostis stolonifera*), Englisches Raygras (*Lolium perenne*) und Rohrschwingel (*Festuca arundinacea*). Bei den Kräutern sind Nährstoffzeiger wie Scharfer Hahnenfuß (*Ranunculus acris*), Löwenzahn (*Taraxacum officinale*) und Einjähriges Berufskraut (*Erigeron annuus*) vertreten.

Artenzahl: 31 Arten / 15 m².

4.2 Zeigerwertanalyse

Mit ökologischen Zeigerwerten nach Landolt (1977) lassen sich die unterschiedlichen Untersuchungsflächen hinsichtlich der standörtlichen Wachstumsfaktoren charakterisieren.

Nährstoffzahl

Die Nährstoffzahl (N) ist kennzeichnend für die pflanzenverfügbaren Nährstoffgehalte im Boden. Niedere Zahlen in der fünfteiligen Skala bedeuten geringe Nährstoffverfügbarkeit, hohe Werte eine gute Nährstoffversorgung. Die Nährstoffzahl weist einen kontinuierlichen,

schwach steigenden Gradienten von mäßig nährstoffarmen Bodenverhältnissen auf Standort 1 zu mäßig nährstoffreichen bis nährstoffreichen Verhältnissen auf Standort 4. Die Standorte 2 und 3 unterscheiden sich in der Nährstoffversorgung nur geringfügig.

Lichtzahl

Die Lichtzahl (L) charakterisiert die mittlere Beleuchtungsstärke, bei der Pflanzen noch gut gedeihen. Hohe Werte bedeuten ein hohes Lichtbedürfnis (Lichtpflanzen), während niedrige Werte geringe Lichtbedürfnisse signalisieren (Schattenpflanzen). Die mittlere Lichtzahl liegt bei allen Standorten zwischen 3,3 und 3,65 (vgl Abb 8). Diese Werte kennzeichnen Pflanzen mit Hauptverbreitung zwischen Halbschatten und vollem Licht (Lichtzeiger).

Dispersitätszahl

Die Dispersitätszahl (und Durchlüftungsmangelzahl) (D) kennzeichnet den Grad der Durchlüftung des Bodens am Standort. Niedere Werte zeigen eine gute Durchlüftung an, hohe Werte stehen für sehr feine Bodenpartikel und/oder schlechte Sauerstoffversorgung. Die Vegetation weist auf allen Standorten auf skelettarme (geringer Anteil an mineralischem Grobmaterial), meist feinsandig-schluffige und eher gut durchlüftete Böden. Am Standort 4 wurde der höchste Wert ermittelt.

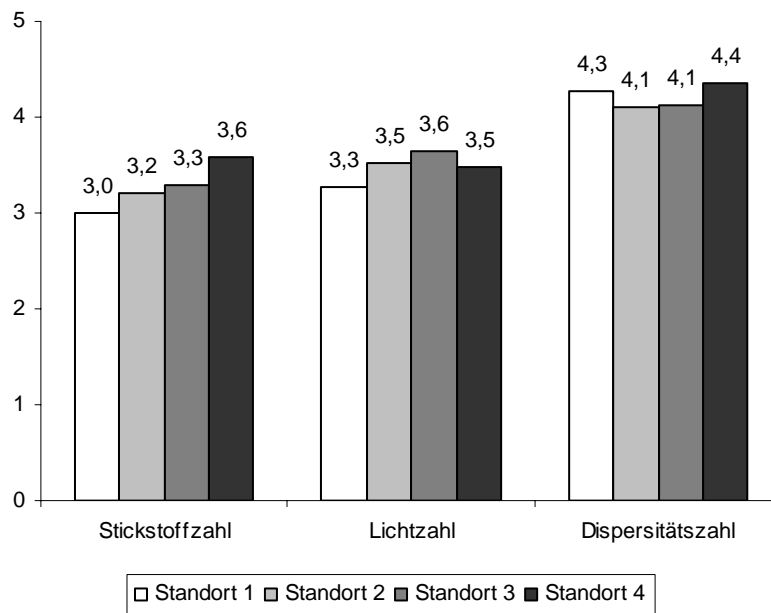


Abb 8: Zeigerwerte nach Landolt (1977)

Mahdverträglichkeitszahl

Die Mahdverträglichkeitszahl nach Briemle & Ellenberg (1994) kennzeichnet das Regenerationsvermögen (Wiederaustriebsvermögen) und die Wachstumsgeschwindigkeit einer Art. Durch die Mahd werden jene Arten gefördert, die unterirdische Speicherorgane ausbilden und/oder ein gutes Bestockungsvermögen aufweisen. In der neunstufigen Skala

bedeuten niedrige Werte eine geringe Toleranz gegenüber häufiger Mahd, während hohe Werte eine gute Schnittverträglichkeit signalisieren. Die Mahdverträglichkeit auf Standort 1 unterscheidet sich von den anderen Standorten und ist kennzeichnend für extensiv genutztes Grünland mit spätem ersten Schnitt (Mitte Juli). Die Werte der anderen Standorte zwischen 6,6 und 7 (Standort 3) sind Indiz für eine gute Schnittverträglichkeit mit 3 – 4 Schnitten pro Jahr. Möglicherweise wurden die Standorte 2 - 4 in der Vergangenheit intensiver genutzt und befinden sich jetzt in einer Umstellungsphase in Richtung extensivere Nutzung.

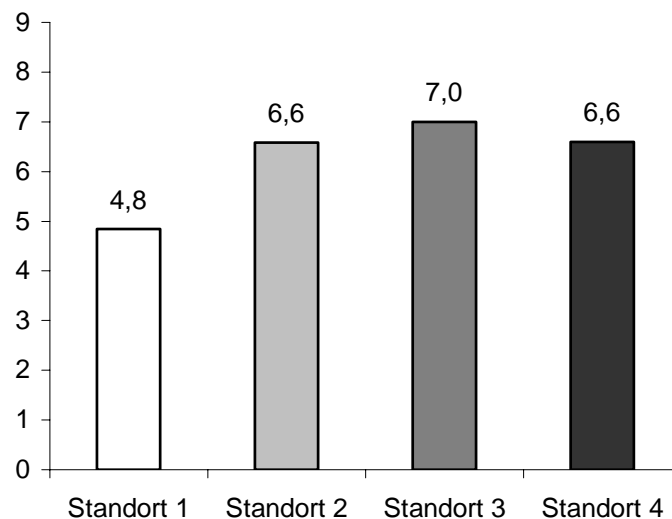


Abb 9: Mahdverträglichkeitszahl von Grünlandpflanzen nach Briemle & Ellenberg (1994)

4.3 Analyse der Narbendichte

Eine lückige Vegetationsdecke ist erosionsgefährdet, weshalb die Bewirtschaftung vor allem an der wasserseitigen Böschung der Hochwasserschutzdämme eine lückenlose Grasnarbe fördern soll.

Die Deckungsgrade der Gräser und Kräuter sind wesentliche Merkmale der Narbendichte. Speziell Süßgräser sind auf Grund ihres homorhizen Wurzelwachstums (nur gleichwertige Nebenwurzeln) eher in der Lage, eine dichte, geschlossene Narbe auszubilden als krautige Pflanzen, die meist ein allorhizes Wurzelwachstum (Hauptwurzel mit Nebenwurzeln) aufweisen (Jittler 2000).

Ausläufer treibende Gräser bilden dichte Narben und schützen damit einerseits besser vor Oberflächenerosion als Horstgräser; andererseits ist die Bodenverfestigung durch Horstgräser wiederum besser als durch Ausläufer treibende Gräser mit ihrer oberflächennahen Durchwurzelung (Lichtenegger 1985). Für einen dichten Narbenschluss sorgen vor allem Arten wie Ausläufer-Straußgras (*Agrostis stolonifera*), Wiesen-Rispengras (*Poa pratensis*) und Gemeines Rispengras (*Poa trivialis*). Zu den horstwüchsigen Arten zählen unter anderen Deutsches Weidelgras (*Lolium perenne*), Rot-Schwingel (*Festuca rubra*), Rotes Straußgras

(*Agrostis tenuis*), Glatthafer (*Arrhenatherum elatius*) sowie Knaulgras (*Dactylis glomerata*) (Liechtenegger 1985).

Die nährstoffreiche Glatthaferwiese auf Standort 3 weist den höchsten Deckungsgrad auf, gefolgt vom Magerrasen auf Standort 1. Etwas niedrigere Werte weisen die extensivere Variante der Glatthaferwiese auf Standort 2 sowie die Knaulgras-Kräuterwiese auf Standort 4 auf. Ein Zusammenhang zwischen dem Verhältnis Gräser/Kräuter und der Narbendichte konnte auf Grund der geringen Probenzahl nicht festgestellt werden. Auch Sykora (1999) und Husicka (2003) konnten keinen signifikanten Zusammenhang zwischen Anteil von Kräutern und der Dichte von Deichgrasnarben feststellen.

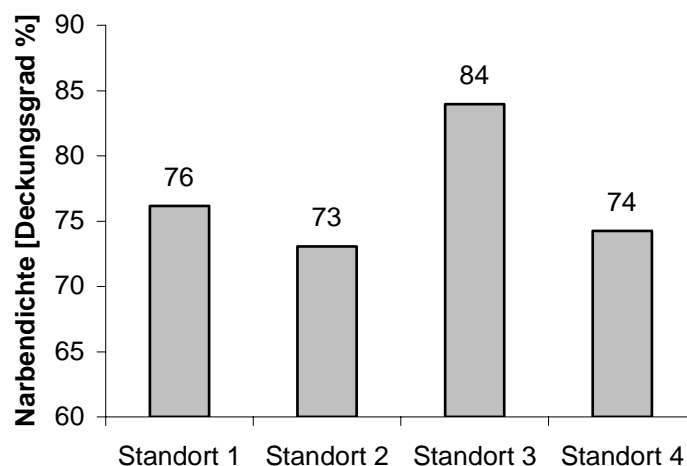


Abb 10: Mittlerer prozentueller Deckungsgrad der auf 2 cm gekürzten Grasnarben nach der modifizierten Punkt-Frequenz-Methode

Nach einer von Liebrand (1999) erstellten Bewertungsskala ist die Narbendichte hinsichtlich des Erosionsschutzes folgendermaßen zu bewerten:

Qualitätsklasse	Dichte	Bewertung
1	> 90 %	Ausgezeichnet
2	75 - 90 %	Sehr gut
3	60 - 75 %	Gut
4	45 - 60 %	Mäßig
5	30 - 45 %	Schlecht
6	< 30 %	Sehr schlecht

Tab 2: Erosionsschutz und Narbendichte nach Liebrand (1999)

Demzufolge ist die Grasnarbe auf allen Standorten zwischen gut und sehr gut einzustufen. Die Deckungsgrade der oben angeführten ausläufer- bzw. horstbildenden Gräser auf den einzelnen Untersuchungsflächen lassen keine eindeutigen Rückschlüsse auf deren jeweilige Narbendichte zu.

4.4 Wurzelparameter

Die meisten Gefäßpflanzen können in gewissem Ausmaß ihre Größe und Morphologie an die jeweiligen Umweltbedingungen anpassen. Diese Plastizität kann durch verstärkte Investition der Trockensubstanz in ober- bzw. unterirdische Organe zum Ausdruck kommen (Campbell et al. 1991, Grime 1991, Olf et al. 1990, Sprangers 1999). Nach Tilman (1985, 1988) investieren Pflanzen bei limitierenden Ressourcen bevorzugt in jene Organe, die für die Aufnahme der begrenzten Ressourcen verantwortlich sind. Demzufolge führt ein geringes Nährstoffangebot zu einem verstärkten Wurzelwachstum. Dabei beeinflusst die räumliche Verteilung der pflanzenverfügbaren Nährstoffe maßgeblich die vertikale Wurzelmassenverteilung im Bodenprofil.

4.4.1 Wurzelmasse auf den verschiedenen Standorten

Für einen Standortvergleich wurden die Wurzelmassen der unterschiedlichen Tiefenstufen bis 50 cm Tiefe aufsummiert und in Abb 11 dargestellt.

Abb 12 zeigt den Anteil der einzelnen Tiefenstufen an der Gesamtwurzelmasse.

Trotz der geringen Stichprobenzahl heben sich die Standorte 1 (Halbtrockenrasen) und 2 (Glatthaferwiese mager) mit deutlich höheren Wurzelmassen von den Standorten 3 (Glatthaferwiese fett) und 4 (Knautgras-Kräuterwiese) ab, wobei Standort 1 (Magerwiese) im Vergleich zu Standort 4 (Knautgras-Kräuterwiese) durchschnittlich doppelt so viel Wurzelmasse aufweist. Allerdings weisen die Werte sowohl bei Standort 1 als auch 4 eine hohe Varianz auf.

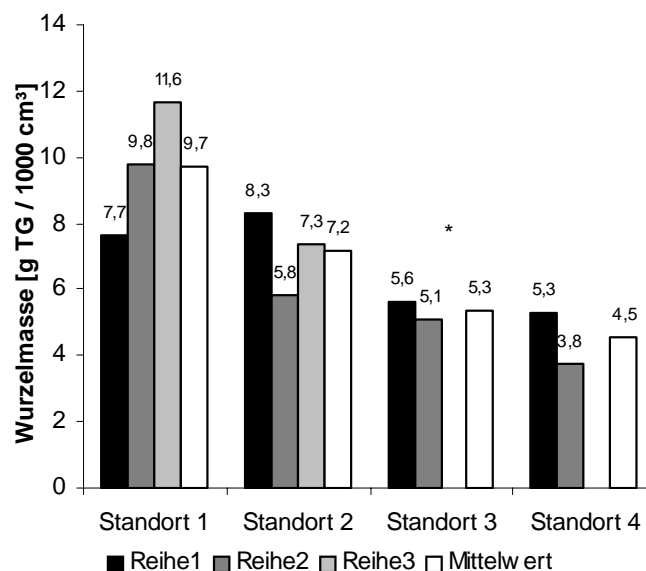


Abb 11: Kumulative Wurzelmasse [g/dm³] unterschiedlich bewirtschafteter Standorte. Angeführt werden die Einzelwerte der zwei bzw drei Proben pro Standort und der jeweilige Mittelwert.

* Tiefenstufen 30-50 cm fehlen

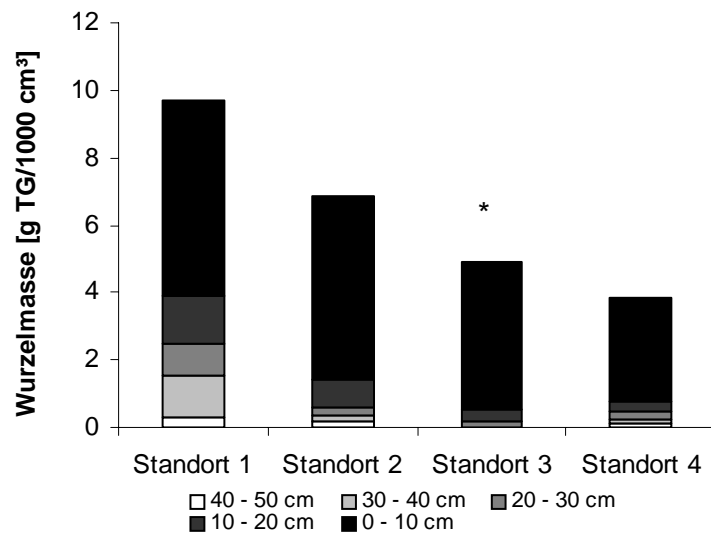


Abb 12: Vertikale Verteilung der mittleren Wurzelmasse (g/dm³) unterschiedlich bewirtschafteter Standorte

* Tiefenstufen 30-50 cm fehlen

Liebrand (1999) entwickelte eine sechsteilige Skala zur Beurteilung der Durchwurzelung.

Tab 3: Skala zur Beurteilung der Durchwurzelung nach Liebrand (1999)

Wurzelgewicht [g / 5000 cm ³]	Bewertung
> 16	Ausgezeichnet
14 – 16	Sehr gut
12 – 14	Gut
10 – 12	Mittel
8 – 10	Schlecht
< 8	Sehr schlecht

Bei allen Standorten liegt die durchschnittliche Wurzelmasse zwischen 22,5 - 48,5 g/5dm³, so dass die Durchwurzelungsverhältnisse auf allen Standorten als ausgezeichnet beurteilt werden können. Bei Standort 3 muss berücksichtigt werden, dass die Tiefenstufen 30-50 cm fehlen. In diesen Tiefenstufen liefern die Wurzelmassen jedoch nur mehr einen geringen Beitrag zur Gesamtwurzelmasse (vgl Abb 12), so dass der tatsächliche Wert nur geringfügig höher anzusetzen wäre.

4.4.2 Vertikale Verteilung der Wurzelmasse

Entscheidend für einen effektiven Schutz vor Erosion ist nicht nur eine gute Durchwurzelung des Oberbodens, sondern auch das Eindringen von dickeren Wurzeln in tiefere Schichten (Sobotik 1989). Für eine optimale Erschließung des durchwurzelbaren Bodenvolumens sind nach Schiechtel (1985) artenreiche Bestände vorteilhaft, da diese sowohl aus Extensiv- als auch aus Intensivwurzeln bestehen und daher alle erreichbaren Bodenschichten gut durchwurzeln, ohne ausgeprägte Wurzelhorizonte auszubilden.

Folgende Faktoren bestimmen die Durchwurzelungsdichte und räumliche Verteilung (Liebrand 1999): standörtlicher Wasserhaushalt, Korngrößenzusammensetzung des Bodens, Temperatur, Nährstoffverfügbarkeit, Bewirtschaftung, oberflächennahes Lichtklima, Säure-Basenhaushalt.

Trockenheit erhöht die Wurzeldichte, deren räumliche Verteilung, führt zu erhöhtem Verzweigungsgrad und die Anzahl an Seitenwurzeln steigt. Auf trockenen Standorten ist eine tiefere Durchwurzelung von Vorteil, da bei oberflächlichem Austrocknen des Bodens das Wasser aus tieferen Bodenschichten nachgeliefert wird (Larcher 2001). Verdichtete, vernässte, versauerte oder kalte Böden sind Ursache für verzögertes Wurzelwachstum (Liebrand 1999).

Untersuchungen an holländischen Deichen belegen, dass die Wurzelmasse und deren vertikale Verteilung entscheidend durch die Bewirtschaftung beeinflusst wird (Sprangers 1999, Liebrand 1999). So führen beispielsweise intensive Beweidung, häufiger Schnitt und starke Düngung zu einer Konzentration der Wurzelmassen in oberflächennahen Bodenhorizonten (Fiala & Studený 1988, Liebrand 1999, Sprangers 1999).

In der vorliegenden Untersuchung konzentriert sich die Wurzelmasse auf allen Versuchsflächen auf die obersten 10 cm und fällt im weiteren Profilverlauf stark ab. Dabei sinken die Werte auf den Standorten 3 und 4 (Vegetation weist auf intensivere Nutzung) deutlich stärker ab als auf den Standorten 1 und 2 (Vegetation weist auf extensive Nutzung). Der auffallend hohe Wert bei Standort 1 in der Tiefenstufe 30-40 cm ist auf die starke Präsenz von knollenförmigen Speicherorganen des Baldrians (*Valeriana officinalis*) zurückzuführen. Die Ergebnisse zeigen, dass die Standorte 1 und 2 deutlich besser durchwurzelt sind, wobei vor allem Standort 1 sowohl hinsichtlich der Gesamtwurzelmasse als auch im vertikalen Profilverlauf deutlich höhere Werte aufweist. Nicht nur in Bezug auf die Wurzelmasse sondern auch auf die vertikale Verteilung sind die Ergebnisse mit jenen der Untersuchung von Lutz (1993) vergleichbar. Ähnliche Werte erzielte auch Pavlovic (2002) beim Vergleich der Durchwurzelungsverhältnisse unterschiedlich intensiv bewirtschafteter Wiesen im St. Galler Rheinvorland.

Sprangers (1999) wies an unterschiedlich intensiv bewirtschafteten Deichen ebenfalls eine deutlich stärkere Abnahme der Wurzelmasse auf gedüngten bzw. nährstoffreicheren

Standorten im Vergleich zu Magerstandorten nach. Er führt die beträchtliche Differenz der Wurzelmassen in den tieferen Lagen auf die Nährstoffverfügbarkeit zurück. Nährstoffarmut fördert langsam wachsende Arten mit ausgeprägtem Wurzelsystem, Nährstoffreichtum dagegen rasch wachsende, flach wurzelnde Pflanzen.

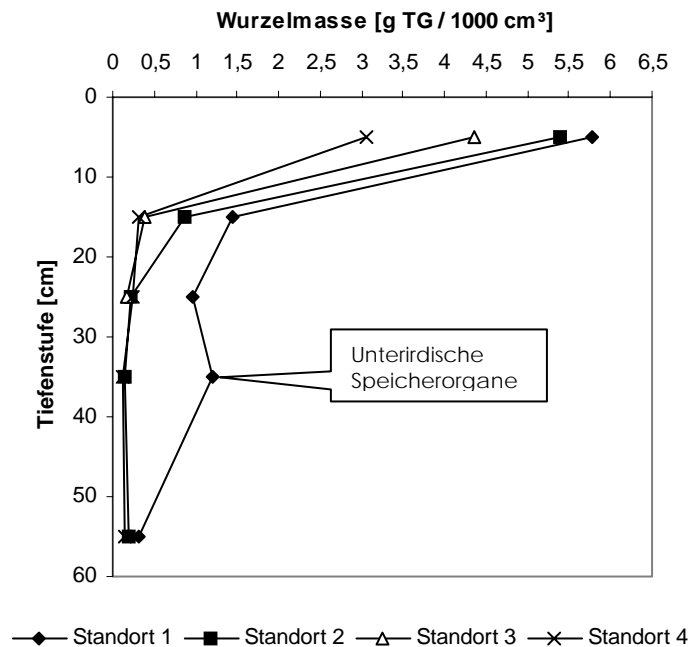


Abb 13: Vertikale Verteilung der Wurzelmasse (Mittelwerte, n = 3) unterschiedlicher Vegetationstypen.

Tab 4: Prozentueller Anteil der einzelnen Tiefenstufen an der Gesamtwurzelmasse

Tiefenstufe	Standort 1	Standort 2	Standort 3	Standort 4
0 - 10 cm	59,6 %	78,8 %	88,7 %	79,4 %
10 - 20 cm	14,8 %	12,7 %	7,8 %	8,0 %
20 - 30 cm	9,8 %	3,2 %	3,3 %	5,9 %
30 - 40 cm	12,3 %	2,2 %		3,0 %
40 - 50 cm	3,2 %	2,8 %		3,4 %

Nach einer Bewertung von Liebrand (1999) weisen tiefe Wurzelsysteme weniger als 65 % der Gesamtwurzelmasse in der Tiefenstufe 0 – 10 cm und über 14 % in den Tiefenstufen 30 – 50 cm auf. Gemäß dieser Definition ist nur auf Standort 1, dem extensivsten Standort, eine tiefe Durchwurzelung festzustellen.

4.4.3 Durchwurzelung und Scherfestigkeit

4.4.3.1 Scherfestigkeit

Sowohl die Gesamtwurzellänge als auch die Durchwurzelungsdichte verringern das Erosionsrisiko und wirken stabilisierend auf Böden (Tasser et al. 2003). Nach Schuppener (1993, zit in Kortenhaus & Oumeraci 2002) weisen gut durchwurzelte Böschungen eine erhöhte Standsicherheit auf, da die Wurzeln den Scherwiderstand erhöhen. Dabei ist die Reiß- bzw Zugfestigkeit der Wurzeln von Ausläufer treibenden Gräser geringer als jene der horstbildenden Gräser (Lichtenegger 1985). Die Zugfestigkeit der Wurzeln hängt auch vom Wassergehalt ab: Je höher der Wassergehalt der Wurzeln, desto geringer die Zugfestigkeit. Neben Länge, Verzweigung und Zugfestigkeit der Wurzeln hängt die Scherfestigkeit ua auch von der Verformbarkeit der Wurzeln, der Kornverteilung und dem Porenanteil im Boden und Bewirtschaftung ab (Pregl 1998, Hähne 1991).

Beim Rahmenscherversuch wurde der Zusammenhang zwischen Durchwurzelung in oberflächennahen Schichten und der Scherfestigkeit untersucht. Um Vergleichsergebnisse zu erhalten, wurden auch nicht durchwurzelte Bodenprofile (Referenzprobe) abgesichert. Die Versuchsergebnisse der durchwurzelten Proben und der Referenzprobe sind in Tab 5 ersichtlich (vgl dazu auch Prüfbericht Nr.: 141/03, Bautechnische Versuchsanstalt an der HTL Rankweil vom Jänner 2004).

Tab 5: Versuchsergebnisse der Scherversuche mit Proben unterschiedlicher Tiefenstufen und Standorte (S1-S4)

Schlitz	Probe	Tiefenstufe [cm]	Scherspannung [kN/m ²]
SS1	3212	12 - 14	18,9
SS2	3213	4 - 6	14,3
SS2	3214	11 -13	9,5
SS3	3215	3,5 - 5,5	14,5
SS3	3216	10,5 - 12,5	12,8
SS4	3217	4 - 6	13,7
SS4	3218	8 - 10	14,3
Referenz	3368/1	-	ca.8

Bei der Referenzprobe (ohne Einfluss der Wurzeln) wurde in 3 Scherversuchen unterschiedlicher Spannung der charakteristische Winkel der inneren Reibung von $\varphi' = 24,1^\circ$ bzw Kohäsion $c' = 4 \text{ KN/m}^2$ ermittelt. Diese Werte entsprechen den zu erwartenden Bodenkennwerten gem DIN 1055 für SU* ($\varphi' = 22,5^\circ - 27,5^\circ$ bzw. $c' = 0 - 10 \text{ KN/m}^2$).

Die ermittelten Scherspannungen liegen bei allen durchwurzelten Proben höher als bei der Referenzprobe. Dies kann auf den Einfluss der Durchwurzelung zurückgeführt werden. Die höchste ermittelte Scherspannung weist SS1 (12 – 14 cm) auf. Bei den Standorten 2, 3 und 4 wurden aus je zwei unterschiedlichen Tiefenstufen Scherversuche durchgeführt. Die ermittelten Scherspannungen liegen unter dem Wert von Standort 1 (SS1). In der Tiefenstufe

von ca 4 – 6 cm liegen die Werte zwischen 13,7 und 14,5 kN/m². Niedrigere Scherspannungen treten in größeren Tiefen auf, was auf eine abnehmende Durchwurzelung mit zunehmender Tiefe zurückzuführen ist. An Standort 4 (SS4) ist nur eine geringe Änderung bei den untersuchten Tiefenstufen erkennbar. Bei SS3 und va SS2 ist eine Abnahme der Scherspannung in der unteren Tiefenstufe zu bemerken.

Die Arbeitslinien entsprechen mit Ausnahme von SS4 dem Verlauf für locker gelagerte bzw. weiche Böden (kein Erreichen eines Spitzenwertes und Abfall auf Restfestigkeit). Die teilweise leicht gewellte Form der Arbeitslinien könnte auf die Aktivierung der Wurzelstränge zurückgeführt werden. Bei der Arbeitslinie 3217 und 3218 (beide Standort 4) ist im Gegensatz zu den anderen Versuchen ein ausgeprägtes Maximum τ_f und eine deutliche Abnahme auf eine Restscherfestigkeit τ_R zu erkennen, was auf dichte bzw. feste Böden hinweist. Eine Korrelation mit der ermittelten Trockendichte besteht jedoch nicht.

Der Verlauf der Arbeitslinien entspricht auch den ermittelten Dispersitätszahlen, die an Standort 4 geringfügig höher als an den Standorten 1 bis 3 liegen bzw der stärkeren Bodenfeuchte und Vernässung an Standort 4.

4.4.3.2 Wurzelmasse

Die Wurzelmassen der für die Rahmenscherversuche verwendeten Bodenproben zeigen einen abnehmenden Trend von der Magerwiese zur Knautgras-Kräuterwiese (vgl Abb 14). Ebenso weist die vertikale Verteilung der Wurzelmassen ein ähnliches Muster auf. Bei Standort 1 (Magerwiese) war in der Tiefenstufe 0-10 cm die Entnahme einer ungestörten Bodenprobe nicht möglich.

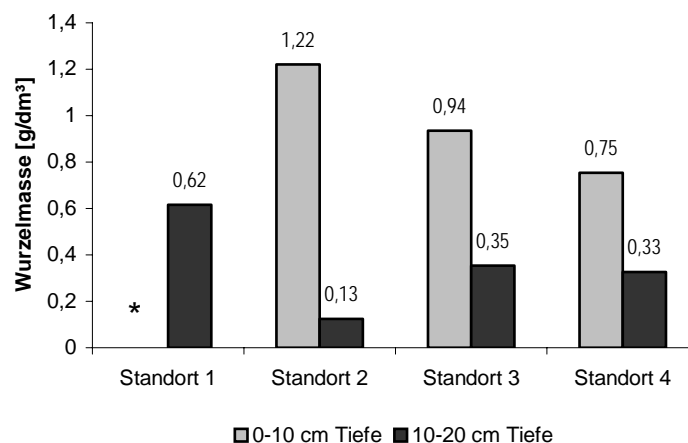


Abb 14: Wurzelmassen [g/dm³] der im Zuge des Rahmenscherversuches verwendeten Bodenproben in unterschiedlichen Tiefenstufen

* keine ungestörte Probenentnahme möglich

Die Wurzelndichte kann sowohl als Wurzelgewicht pro Volumseinheit als auch als Wurzellänge pro Volumseinheit dargestellt werden. Im Bezug auf Erosionsstabilität ist nach Liebrand (1999) die Wurzellänge pro Volumseinheit der geeignetere Parameter, die Wurzelndichte zu charakterisieren, da das Wurzelgewicht durch relativ schwere Hauptwurzeln mit geringem Beitrag zur Durchwurzelungsdichte stark beeinflusst wird.

Dazu wird das Verhältnis zwischen der Wurzellänge und dem Wurzelgewicht, die so genannte spezifische Wurzellänge, ermittelt. Hohe spezifische Wurzellängen sind typisch für Feinwurzeln, während dicke und verholzte Wurzeln im Verhältnis zu ihrem Gewicht geringe Längen und deshalb auch niedrige spezifische Wurzellängen aufweisen.

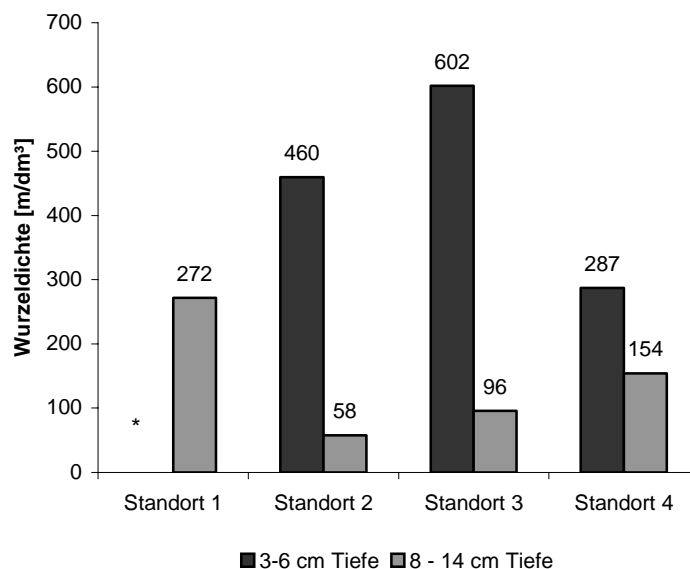


Abb 15: Wurzelndichte [m/dm³] der im Zuge des Rahmenscherversuches verwendeten Bodenproben in unterschiedlichen Tiefenstufen

*keine ungestörte Probenentnahme möglich

Die höchste Wurzelndichte in einer Tiefe von 3-6 cm wies Standort 3 auf (bei Standort 1 war keine Probenahme möglich); die höchste Wurzelndichte zwischen 8-14 cm wurde bei Standort 1 festgestellt. Da es sich hier um Einzeldaten handelt, müssen die Ergebnisse entsprechend vorsichtig interpretiert werden. Ein unmittelbarer Standortvergleich ist nicht zulässig, zumal die sehr kleinen Proben von 200 cm³ in den Tiefenstufen um einige Zentimeter variieren. Da die Wurzelmasse vertikal kontinuierlich, je nach Standort mehr oder weniger stark abnimmt, können bereits wenige cm das Ergebnis stark beeinflussen. So könnte für den Spitzenwert bei Standort 3 (Tiefenstufe 3-6 cm) die um 5 mm höhere Probeentnahme entscheidend sein, da sich sowohl die Wurzelmasse als auch die Ausbildung von Feinwurzeln im oberflächennahen Bereich konzentriert und mit zunehmender Tiefe nicht linear abnimmt.

Auf Grund der sehr geringen Probenzahl darf der in Abb 16 dargestellte positive Zusammenhang zwischen der Wurzelichte und der Scherspannung lediglich als Trend interpretiert werden. Ursache für die positive Korrelation könnte im äußerst feinen, oberflächennahen Wurzelgeflecht der Gräser liegen. Der flache Anstieg der Trendlinie weist auf einen sehr starken Einfluss der Wurzelichte auf die Scherspannung hin. Auch Liebrand (1999) stellte in einer Tiefenstufe von 0 – 3 cm eine hochsignifikante positive Korrelation zwischen der Wurzelichte und der Scherspannung fest.

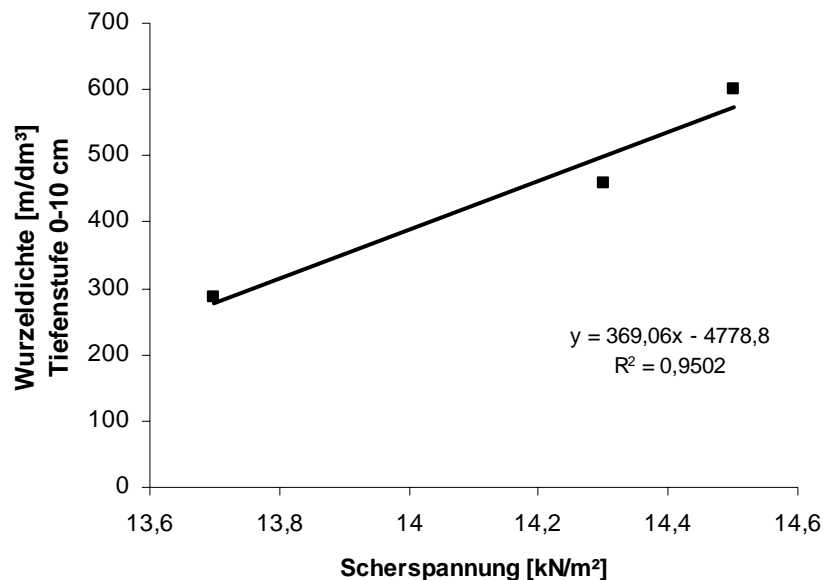


Abb 16: Korrelation zwischen Wurzelichte [m/dm³] und Scherspannung [kN/m²] in der Tiefenstufe 0-10 cm

In der darunter liegenden Tiefenstufe 10 – 20 cm kann ebenfalls eine positive Korrelation zwischen der Wurzelichte zur Scherspannung beobachtet werden (vgl Abb 16). Der deutlich höhere Anstieg der Geraden könnte ein Hinweis sein, dass in größeren Bodentiefen der positive Einfluss der Wurzelichte auf die Scherspannung abnimmt bzw andere Parameter die Scherspannung stärker beeinflussen. Eine weitere mögliche Erklärung könnte sein, dass in dieser Tiefenstufe verdickte Wurzeln von krautigen Pflanzen einen stärkeren Einfluss auf die Scherspannung haben als das Feinwurzelsystem.

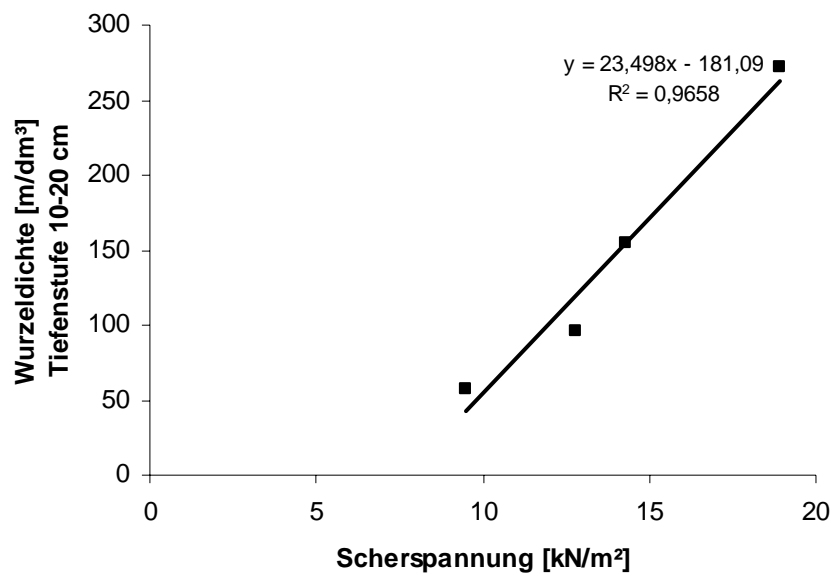


Abb 17: Korrelation zwischen spezifischer Wurzellänge [m/mg] und Scherspannung [kN/m²] in der Tiefenstufe 10-20 cm

4.5 Feldebodenkundliche Aufnahmen

Standort 1:



Geländeform: Mittelhang
Exposition: West
Neigung: stark geneigt –
 sehr stark geneigt
Bodentyp: Planieboden
Ausgangsmaterial: Schüttung
Nutzung: Grünland – extensiv

Symbol	Tiefe [cm]	Bodenfeuchte	Humusgehalt	Bodenart	Grobanteil	Karbonat	Vernässung	Durchwurzelung
A	0-20/25	trocken / schwach feucht	sehr schwach humos/ schwach humos	sandiger Schluff - schwach schluffiger Sand*	schwach kiesig (Grobkies); mittel kiesig (Fein-, Mittelkies)*	karbonathaltig/ karbonatreich	nicht vernässt	Wurzelfilz bis 10 cm; stark bis 25 cm
C	>20/25	trocken / schwach feucht	humusfrei	Feinsand - schwach schluffiger Sand*	sehr schwach kiesig (Feinkies)	karbonatreich	sehr schwach vernässt	abnehmend

* sehr heterogen; wechselt kleinräumig

Standort 2:



Geländeform: Mittelhang
Exposition: West
Neigung: stark geneigt –
 sehr stark geneigt
Bodentyp: Planieboden
Ausgangsmaterial: Schüttung
Nutzung: Grünland – extensiv

Symbol	Tiefe [cm]	Bodenfeuchte	Humusgehalt	Bodenart	Grobanteil	Karbonat	Vernässung	Durchwurzelung
A	0 - 10	trocken / schwach feucht	sehr schwach humos	Feinsand - sandiger Schluff	-	karbonathaltig	nicht vernässt	Wurzelfilz 0-5 cm; 10 cm sehr stark;
C	> 10	trocken / schwach feucht	humusfrei	Feinsand - stark schluffiger Sand	-	karbonatreich	schwach bis mittel vernässt*	auslaufend bis 40 cm

* heterogen

Standort 3:



Geländeform: Unterhang
Exposition: West
Neigung: mittel geneigt
Bodentyp: Planieboden
Ausgangsmaterial: Schüttung
Nutzung: Grünland – extensiv

Symbol	Tiefe [cm]	Bodenfeuchte	Humusgehalt	Bodenart	Grobanteil	Karbonat	Vernässung	Durchwurzelung
A	0 - 5	trocken / schwach feucht	sehr schwach humos	sandiger Schluff - stark schluffiger Sand	schwach kiesig (Fein-, Mittel-, Grobkies)	karbonatreich	nicht vernässt	Wurzelfilz
C1	5 - 20	trocken / schwach feucht	humusfrei	sandiger Schluff - Feinsand	mittel kiesig (Mittel-, Grobkies); sehr schwach kiesig (Feinkies)	karbonatreich	sehr schwach vernässt	auslaufend
C2	> 20	trocken / schwach feucht	humusfrei	stark schluffiger Sand - Feinsand	stark kiesig (Fein-, Mittel-, Grobkies)	karbonatreich	nicht vernässt	sehr schwach

Standort 4:



Geländeform: Mittelhang
Exposition: West
Neigung: mittel geneigt
Bodentyp: Planieboden
Ausgangsmaterial: Schüttung
Nutzung: Grünland – intensiv

Symbol	Tiefe [cm]	Bodenfeuchte	Humusgehalt	Bodenart	Grobanteil	Karbonat	Vernässung	Durchwurzelung
A	0 - 5	schwach feucht	sehr schwach humos	sandiger Schluff - stark schluffiger Sand	-	karbonathaltig	mittel vernässt	Wurzelfilz
C1	5 - 30	schwach feucht	humusfrei	sandiger Schluff - stark schluffiger Sand	-	karbonathaltig	mittel vernässt	stark
C2	30 - 35	schwach feucht	humusfrei	Feinsand	-	karbonathaltig	mittel vernässt	auslaufend
C3	> 30	schwach feucht	humusfrei	Feinsand - stark schluffiger Sand	sehr schwach kiesig (Fein-, Mittel-, Grobkies)	karbonathaltig	mittel vernässt	-

Generell handelt es sich bei den angetroffenen Böden um Planieböden mit einer geringen Mächtigkeit an humosem Oberboden (bis max 20/25 cm Tiefe an Profil 1). Auch die Oberböden sind durchwegs schwach bis sehr schwach humos. Die Bodentextur wechselt zwischen Schluff und Sand, wobei mit zunehmender Tiefe die Sandfraktion zunimmt. Der Skelettanteil wechselt zwischen den Standorten als auch innerhalb der Profilgruben kleinräumig sehr stark (kein Skelettgehalt bis stark kiesig). Der Boden ist durchwegs karbonathältig und unterschiedlich vernässt, wobei Profil 4 eine im Gesamtprofil deutlich höhere Vernässung im Vergleich zu den weiteren Standorten aufweist.

4.6 Eindringwiderstand

Mittels eines Penetrologgers (Fabrikat Eijkelkamp) wurde versucht, den Einfluss des Eindringwiderstandes auf die Durchwurzelung zu erfassen. Eine repräsentative Messung war an keinem der Standorte möglich. Dies ist auf die kleinräumig unterschiedlichen Gehalte an Grobanteil zurückzuführen, sodass eine Messung und somit auch eine vergleichende Betrachtung der Standorte nicht möglich war.

4.7 Bodenchemismus

In Tab 6 sind die wesentlichen Untersuchungsergebnisse zusammenfassend ersichtlich.

Standort	Tiefe [m]	Trocken-rückstand [%]	pH-Wert	P ₂ O ₅ [mg/100g]	K ₂ O [mg/100g]	N [%]	N-Mineralisation [mg/kg d]	TOC [%]
S1	0,0 - 0,1	87%	7,41	< 1,0	7,7	0,24	2,3	1,9
	0,1 - 0,2		7,96	< 1,0	5,7	0,07		<0,10
	0,2 - 0,3		8,10	< 1,0	5,4	0,07		<0,10
	0,3 - 0,5		8,25	< 1,0	5,4	0,05		<0,10
S2	0,0 - 0,1	82,7	7,66	< 1,0	8,0	0,18	2,3	0,6
	0,1 - 0,2		7,97	< 1,0	7,0	0,06		<0,10
	0,2 - 0,3		8,15	< 1,0	5,9	0,04		<0,10
	0,3 - 0,5		8,18	< 1,0	5,1	0,03		<0,10
S3	0,0 - 0,1	85,8	7,75	< 1,0	7,5	0,11	2,1	0,2
	0,1 - 0,2		8,01	< 1,0	5,8	0,05		<0,10
	0,2 - 0,3		8,15	< 1,0	6,1	0,06		<0,10
	0,3 - 0,5		8,16	< 1,0	5,7	0,05		<0,10
S4	0,0 - 0,1	86,9	7,86	< 1,0	11,0	0,13	2,6	1,7
	0,1 - 0,2		8,17	< 1,0	5,8	0,06		<0,10
	0,2 - 0,3		8,10	< 1,0	6,8	0,08		<0,10
	0,3 - 0,5		7,98	< 1,0	6,0	0,07		<0,10

4.7.1 Bodenacidität (pH-Wert)

Die Bodenacidität nimmt sehr starken Einfluss auf wichtige Bodenprozesse und wirkt indirekt auch auf die Löslichkeit von Phosphat und N-Mineralisation. Die pH-Werte liegen im Bereich von 7,4 – 8,3, dh in allen Tiefenstufen im alkalischen bis stark alkalischen Bereich. Die festgestellten pH-Werte sind auf karbonathaltiges Ausgangsmaterial zurückzuführen.

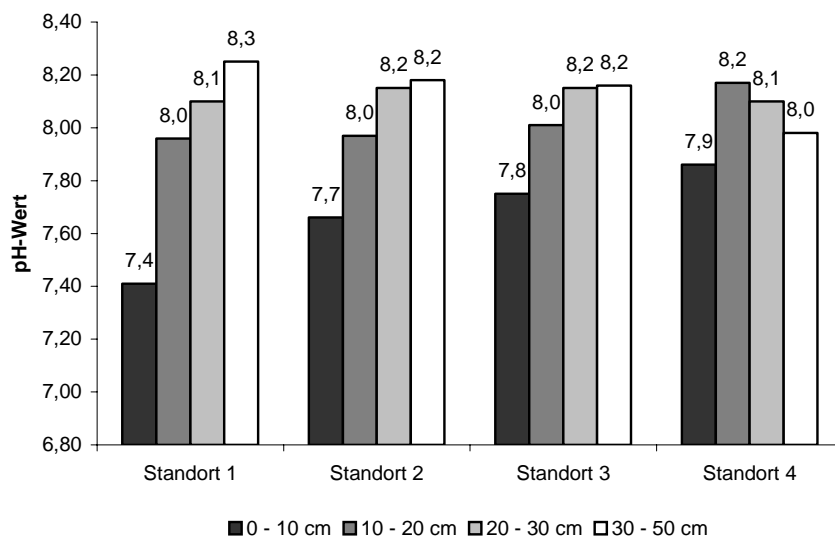


Abb 18: pH-Werte der einzelnen Standorte in den Tiefenstufen 0-10, 10-20, 20-30 und 30-50 cm

4.7.2 Gesamtstickstoff (N)

Stickstoffgehalte in mineralischen humosen Oberboden sind üblicherweise in einem Bereich von 0,02 bis 0,4% und korrelieren mit dem TOC-Gehalt. Demgemäß wurden in den untersuchten Proben die höchsten Gehalte an Gesamtstickstoff in der obersten Tiefenstufe vorgefunden. Die in den Tiefenstufen ab 10 cm vorgefundenen Unterschiede liegen im analytischen Schwankungsbereich und liegen für einen humusfreien mineralischen Unterboden in einem typischen Bereich.

Hähne (1991) fand einen hochsignifikanten Zusammenhang zwischen Durchwurzelungsintensität und dem Gesamtstickstoff. Dies ist damit zu begründen, dass der Stickstoff im Boden vorwiegend organisch gebunden in Form von Huminstoffen vorliegt (meist >95%) und dadurch für die Pflanzen nicht verfügbar ist. Dies wird durch die vorliegende Untersuchung bestätigt (vgl auch 4.4.1 und 4.4.2).

Die Nährstoffzahl (N) nach Landolt (1977) ist ein Maß für die Nährstoffversorgung der Pflanzen. Standort 1 weist trotz hoher Werte für Gesamtstickstoff einen niedrigen N-Zeigerwert, dh eine geringe Nährstoffverfügbarkeit auf. Zum selben Ergebnis kam auch Lutz (1993) beim Vergleich einer Fiederzwenken-dominierten Magerwiese mit einer gedüngten Fläche.

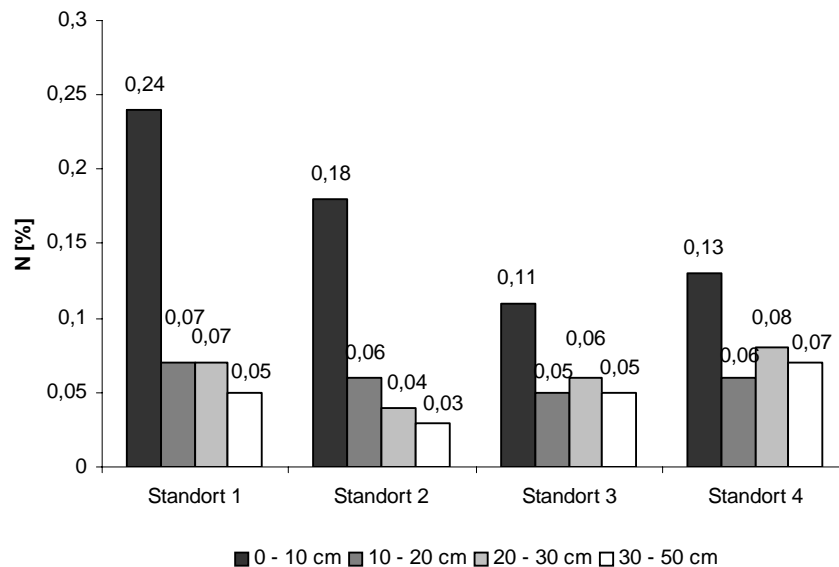


Abb 19: Gesamtstickstoff-Gehalte der einzelnen Standorte in den Tiefenstufen 0-10, 10-20, 20-30 und 30-50 cm

4.7.3 Pflanzenverfügbares Phosphat und Kalium

Phosphor und Kalium stellen Makroelemente für die Pflanzenernährung dar. Während der Gehalt an pflanzenverfügbarem Phosphat in mineralischen Böden fast ausschließlich auf die Düngeintensität zurückzuführen ist, wird der Gehalt an pflanzenverfügbarem Kalium auch durch das Ausgangsmaterial beeinflusst.

Die untersuchten Bodenproben weisen bei allen Standorten einen pflanzenverfügbaren Phosphatgehalt unter 1 mg P_2O_5 je 100 g Feinboden auf. Gemäß Richtlinien für sachgerechte Düngung, 5. Auflage 1999 entspricht dies der Gehaltsklasse „sehr niedrig“.

Die Gehalte an pflanzenverfügbarem Kalium entsprechen bei den Standorten 1 bis 3 der Gehaltsklasse sehr niedrig bis niedrig. Der Tiefenverlauf der Kaliumgehalte zeigt, dass die nachgewiesenen Gehalte generell auf das Ausgangsgestein zurückzuführen sind. Die Tiefenstufe 0-10cm bei Standort 4 ergibt eine Einstufung von „ausreichend“ gemäß Richtlinien für sachgerechte Düngung, 5. Auflage 1999, und weist im Vergleich zu den restlichen Tiefenstufen eine deutliche Erhöhung auf (Zitat). Dies dürfte grundsätzlich auf Düngungsmaßnahmen und / oder auf Beweidung (hoher Gehalt an Kalium im Vergleich zu Phosphor) zurückzuführen sein.

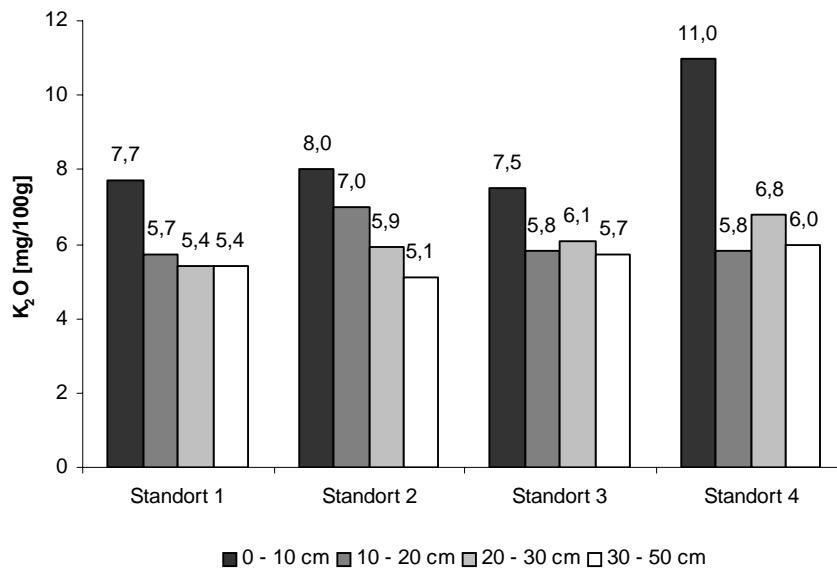


Abb 20: Pflanzenverfügbares Kalium der einzelnen Standorte in den Tiefenstufen 0-10, 10-20, 20-30 und 30-50 cm

4.7.4 N-Mineralisation

Die Stickstoffmineralisation ist ein Kennwert für die Stickstoffnachlieferung aus dem Abbau an organischer Substanz. Die gemessenen Werte zwischen 2,1 und 2,6 mg/kg *d liegen in einem vergleichbaren Bereich und sind gem. Richtlinien für sachgerechte Düngung, 5. Auflage 1999 als „niedrig“ einzustufen.

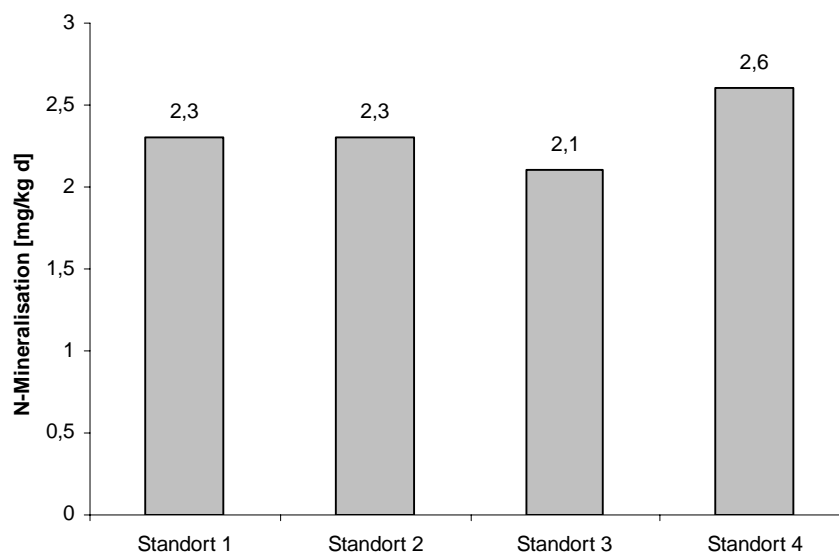


Abb 21: Stickstoffmineralisation (mg/kg d) auf den unterschiedlich bewirtschafteten Standorten

4.8 Eindringwiderstand

Die Festigkeit einer Deichgrasnarbe wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Ein wichtiger Faktor ist der Wassergehalt des Bodens: je höher der Wassergehalt, desto weicher der Boden. Weitere Einflussgrößen sind: der Tritt der Tiere, die Bodenbelastung durch Maschinen bei der Mahd, Düngung; nicht zuletzt kann sich das Alter der Grasnarbe durch die zunehmende Bestockung und Wurzelverflechtung auf die Festigkeit der obersten Bodenschicht auswirken. Eine weitere Größe ist die Bodenart, die über ihre Korngrößenzusammensetzung das Porenvolumen des Bodens mitbestimmt.

Bei den Messungen variierte der Eindringwiderstand innerhalb weniger Zentimeter aufgrund der inhomogenen Abdeckung der Deiche sehr stark, so dass keine Aussagen über das generelle physikalische Durchwurzelungspotenzial an einem Standort gemacht werden konnten.

5 Diskussion

Bei der Interpretation der Ergebnisse sind die geringe Stichprobenanzahl und die geringen Standortsunterschiede zu berücksichtigen.

Da die Rheindämme in erster Linie Hochwasserschutzfunktion haben, muss der Pflanzenbewuchs größtmöglichen Schutz vor Erosion bieten. Die Erosionsschutzwirkung bezieht sich sowohl auf die Narbendichte als auch auf den durchwurzelbaren Bodenraum. Eine gute Durchlüftung ist ausschlaggebend für die Wurzelbildung. In verdichteten Bodenschichten kommt es zu O₂-Mangel und CO₂-Überschuss, was sich negativ auf die Wurzelbildung auswirkt. Viehtritt und häufigeres Befahren tragen zur stärkeren Verdichtung des Oberbodens bei.

Die Nährstoffversorgung hat erheblichen Einfluss auf die Durchwurzelungsintensität: Geringe Nährstoffverfügbarkeit bedeutet hohe Durchwurzelungsintensität (Husicka 2003). Dabei spielen auch Artzusammensetzung, Artenzahl, unterirdischer Wettbewerb um limitierende Ressourcen eine Rolle. Die Vegetation auf Standort 1 weist die höchste Dichte an Magerkeitszeigern und zugleich die höchste kumulative Wurzelmasse der untersuchten Standorte auf. Dem gegenüber weist Standort 4 zahlreiche Nährstoffzeiger und die geringste kumulative Wurzelmasse auf. Generell gilt, dass bei Intensivierung von Grünland die oberirdische Biomasse auf Kosten der unterirdischen Biomasse zunimmt. Die Untersuchung auf Makronährstoffe (Phosphor, Kalium) zeigt bei allen Standorten eine sehr geringe bis geringe (Standort 4) Versorgung.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass extensiv bewirtschaftete Wiesen besser durchwurzelt sind, da die Wurzel- und Rhizommasse durch häufigen Schnitt stärker geschädigt wird als die oberirdische Biomasse. Auf stark genutzten Weiden ist die Wurzelmasse kleiner als auf Mähwiesen und konzentriert sich stärker auf die obersten 10 cm (Kmoich 1952). Bei Düngung nimmt die oberirdische Biomasse auf Kosten der Wurzel-Biomasse zu. Damit entsprechen die an den Rheindämmen gewonnenen Untersuchungsergebnisse den Angaben in der Literatur.

Hinsichtlich der Narbendichte erzielte die grasreiche Variante der Glatthaferwiese (Standort 3) die besten Ergebnisse. Nach Husicka (2003) besteht bei Dämmen mit artenreichen Extensivwiesen trotz etwas geringerer Narbendichte auf Grund der hohen Durchwurzelungsintensität eine sehr hohe Erosionsfestigkeit. Dh auch wenn im Extremfall oberflächennahe Erosion stattfindet, sorgt eine gute Durchwurzelung für eine hohe Dammstabilität.

Empfehlungen

Die biotechnische Qualität der Grasnarbe ist in den artenreichsten Pflanzengesellschaften am höchsten, in den schlecht entwickelten artenarmen Gesellschaften am geringsten.

Generell wirken sich folgende Faktoren nachteilig auf die Stabilität der Grasnarbe und den Wurzelraum aus (vgl auch Sykora 1999):

- Ganzjährige Beweidung mit schweren Weidetieren
- späte Mahd (erst im September)
- Mahd nur alle zwei Jahre
- Mulchen
- Brennen oder keine Pflege.

Unter Berücksichtigung des bestmöglichen Erosionsschutzes bedeutet dies für die Rheindämme: Eine möglichst artenreiche extensive Pflanzendecke ist anzustreben. Aus vegetationskundlicher Sicht ist eine Beschränkung auf einen Schnitt pro Jahr nur auf ausgesprochen nährstoffarmen und wenig produktiven Standorten sinnvoll, da andernfalls ein dichter Vegetationsfilz zu einem Rückgang der Artenzahlen führen würde. Einschnittige Nutzung ist derzeit insbesondere auf einigen Abschnitten der landseitigen Böschung sinnvoll, wie dies derzeit zB in Koblach praktiziert wird.

Dass sich trotz einer Zweischnittnutzung sehr artenreiche Pflanzenbestände – auch mit gefährdeten Pflanzen – entwickeln können, zeigt beispielsweise der rechte Hochwasserschutzdamm zwischen Lustenau und Hard mit einem Massenvorkommen von *Orchis militaris*. Aus tierökologischer Sicht besonders vorteilhaft wäre ein Mosaik aus ein- und zweischnittigen Dammschnitten, um beispielsweise blütenbesuchenden Insekten nicht schlagartig die Nahrungsgrundlage zu entziehen (vgl Kopf & Schiestl 2000).

Sinnvollerweise orientiert sich das Pflegeregime daher an den lokalen Standort- und Vegetationsverhältnissen: Wenig produktive Standorte werden als Einschnittwiesen und produktivere Flächen als Zweischnittwiesen bewirtschaftet. Hierfür wäre eine aktualisierte Standortbewertung an Hand der Vegetations- und Nährstoff-Bodenverhältnisse notwendig.

6 Literatur

AG Boden (1994) Bodenkundliche Kartieranleitung, 4. Auflage.

Bautechnische Versuchsanstalt der HTL Rankweil (2004): Prüfbericht über bodenphysikalische Laboratoriumsuntersuchungen. Rechter HW-Damm des Rheins, Bereich Lustenau, wasserseitige Dammböschung; Rahmenscherversuche; Tiefenbereich durchwurzelte Deckschichte. Ergebnisse vom 13. Jän. 2004. Im Auftrag der Internationalen Rheinregulierung, Bauleitung Lustenau.

Braun-Blanquet J. (1964) Pflanzensoziologie. 3. Auflage, Springer Verlag. Wien/New York. 865 S.

Briemle, G. & Ellenberg, H. (1994) Zur Mahdverträglichkeit von Grünlandpflanzen. Möglichkeiten der praktischen Anwendung von Zeigerwerten. Natur und Landschaft. 6. Jg. Heft 4. S 139 – 147.

Briemle, G. (1997) Zur Anwendbarkeit ökologischer Wertzahlen im Grünland. Bericht über die 2. Pflanzensoziologische Tagung „Pflanzengesellschaften im Alpenraum und ihre Bedeutung für die Bewirtschaftung“, Bundesanstalt für Alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, Irdning. S 73-78.

Bundesministerium f. Land- und Forstwirtschaft (1999) Richtlinien für sachgerechte Düngung 5. Auflage.

Büring, W. (1999) Zum Problem Boden und Pflanzen auf Flussdeichen und -dämmen. S 103 – 118. In: Ingenieurbiologie – Flussdeiche und Flussdämme – Bewuchs und Standsicherheit. Jahrbuch 4 der Gesellschaft für Ingenieurbiologie e.V. Aachen.

Campbell, B. D., Grime, J. P. & Mackey, J. M. L. (1991) A trade-off between scale and precision in resource foraging. *Oecologia* 87, S 532 - 538.

Ellenberg H., Weber H.E., Düll R., Wirth V., Werner W. & Paulißen, D. (1991) Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. *Scripta Geobotanica* 18, Verlag Erich Goltze KG, Göttingen. 248 S.

Fiala, K. & Studený, V. (1988) Cutting and fertilization effect on the root system in several grassland stands. II. Vertical distribution of root biomass and changes in the carbohydrate content. *Ekológia (CSSR)* 7, S 27 – 42.

Grabher, M. (1992): Flora und Vegetation der Rheindämme als Grundlage für einen Pflegeplan. Vorarlberger Landschaftspflegefonds, 1992.

Graf C., Böll A. & F. Graf (2003) Pflanzen im Einsatz gegen Erosion und oberflächennahe Rutschungen. Merkblatt für die Praxis 37/2003, Eidg. Forschungsanstalt WSL Birmensdorf. 8 S.

Grime, J. P., Cambell, B. D., MacKey, J. M. L. & Crick, J. C. (1991) Root plasticity, nitrogen capture and competitive ability. In: Plant Root Growth – An Ecological Perspective. (ed. D. Atkinson). S. 381 – 397. Blackwell Scientific Publications.

Husicka, A. (2003) Vegetation, Ökologie und Erosionsfestigkeit von Grasnarben auf Flussdeichen am Beispiel der Rheindeiche in Nordrhein-Westfalen. Dissertationes Botanicae. Band 379. Stuttgart 2003. S. 194.

Jittler, M. (2001): Struktur- und Standortanalysen der Vegetation von Landesschutzdeichen im Elbeästuar. Eine Analyse vor dem Hintergrund der Deichsicherheit. Dissertation Universität Hamburg. Schriftenreihe naturwissenschaftliche Forschungsergebnisse. Bd. 65. Verlag Dr. Kovac, Hamburg. 283 S.

Kopf, T. & Schiestl, F. (2000): Wildbienen (Hymenopteren, Apoidea) an Hochwasserdämmen des Vorarlberger Rheintals (Austria). Vorarlberger Naturschau 8:63-96.

Kortenhaus, A. & Oumeraci, H. (2002) Probabilistische Bemessungsmethoden für Seedeiche (ProDeich). Technische Universität Braunschweig. Leichtweiss-Institut für Wasserbau, Hydromechanik und Küsteningenieurwesen. Bericht Nr. 877. S. 221.

Landold, E. (1977): Ökologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora. Veröffentlichungen des geobotanischen Institutes der Eidg. Techn. Hochschule, Stiftung Rübel, in Zürich, 64. Heft.

Larcher, W. (2001) Ökophysiologie der Pflanzen: Leben, Leistung und Stressbewältigung der Pflanzen in ihrer Umwelt. Stuttgart. Ulmer. S. 408.

Liebrand, C.I.J.M. (1999) Restoration of species-rich grasslands on reconstructed river dikes. Dissertation. Wageningen, Agricultural University. S 217.

Liechtenegger, E. (1985) Die Ausbildung der Wurzelsysteme krautiger Pflanzen und deren Eignung für die Böschungssicherung auf verschiedenen Standorten. S. 63 – 92. In: Ingenieurbiologie – Wurzelwerk und Standsicherheit von Böschungen und Hängen. Jahrbuch 2 der Gesellschaft für Ingenieurbiologie e.V. Aachen.

Lutz, Sylvia (1993) Durchwurzelungsverhältnisse verschieden bewirtschafteter Flächen an den Rheindämmen, Umweltinstitut 1993. 31 S.

Mazure, P. C. (1999) Erfahrungen mit der Vegetation auf Flussdeichen und –dämmen in den Niederlanden. S 153 – 164. In: Ingenieurbiologie – Flussdeiche und Flussdämme – Bewuchs und Standsicherheit. Jahrbuch 4 der Gesellschaft für Ingenieurbiologie e.V. Aachen.

Olf, H., Van Andel J. & Bakker, J. P. (1990) Biomass and shoot/root allocation of five species from a grassland succession series at different combinations of light and nutrient supply. *Functional Ecology* 4, S. 193 – 200.

ÖN L 1087: Bestimmung von pflanzenverfügbarem Phosphor und Kalium im CAL- und DL-Extrakt

ÖN S 2023: Bestimmung der Acidität im CaCl₂ Auszug

Pavlovic V. (2002) Durchwurzelungsverhältnisse unterschiedlich intensiver Wiesen im Rheinvorland. *Landwirtschaftliche Beratung Fachstelle Pflanzenbau / Umwelt*. Salez. 19 S.

Schiechtel, H. M. (1985) Pflanzen als Mittel zur Bodenstabilisierung. S. 50 – 62. In: *Ingenieurbiologie – Wurzelwerk und Standsicherheit von Böschungen und Hängen*. Jahrbuch 2 der Gesellschaft für Ingenieurbiologie e.V. Aachen.

Schinner, F. et al. (1993) Bestimmung der N-Mineralisation im anaeroben Brutversuch nach Keeney 1982 mod. Aus: Schinner, F., Öhlinger, R., Kandeler, E. & Margesin, R. (1993) *Bodenbiologische Arbeitsmethoden*. Springer Verlag Berlin. 389 S.

Sobotik, M. (1989) Auf die Wurzel kommt es an! Bedeutung der Wurzelökologie für die praktische Landwirtschaft. *Der Förderungsdienst*. Jahrgang 37. Heft 6/1989. S. 174 - 177.

Speidel B. & Weiß A. (1974) Untersuchungen zur Wurzelaktivität unter einer Goldhaferwiese. *Angewandte Botanik* 48, 137-154.

Sprangers J.T.C.M. (1999) *Vegetation dynamics and erosion resistance of sea dyke grassland*. Dissertation. Wageningen Agricultural University, Wageningen. Niederlande. 167 S.

Sykora, K. V. (1999) Die Beziehung zwischen Bewirtschaftung, Vegetationstyp und Vegetationsdecke an Flußdeichen in den Niederlanden. S 165 – 182. In: *Ingenieurbiologie – Flusssdeiche und Flussdämme – Bewuchs und Standsicherheit*. Jahrbuch 4 der Gesellschaft für Ingenieurbiologie e.V. Aachen.

Sykora, K.V. & Liebrand, C. (1988) Revegetation of river dikes and techniques for encouragement of species-rich grassland. *Aspects of Applied Biology* 16, S. 9-18.

Tasser, E., Mader, M. & Tappeiner, U. (2003) Effects of land use in alpine grasslands on the probability of landslides. *Basic Applied Ecology*, 4, S 271 – 280.

Tilman, D. (1985) The resource-ratio hypothesis of plant succession. *Am. Nat.* 125, S. 827 – 852.

Tilman, D. (1988) *Plant strategies and dynamics and structure of plant communities*. Princeton University Press. Princeton