

# **Untersuchungen zur Begrünung und zur Sukzession auf einer anhydritisch geprägten Rückstandshalde der Kaliindustrie im Werragebiet**

**Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades (Dr.-Ing.)  
im Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften  
- Fachgebiet Landschaftsökologie und Naturschutz -  
der Universität Kassel – Witzenhausen**

**vorgelegt von  
Hubertus Hofmann**

***1. Gutachter: Prof. Dr. Helge Schmeisky  
2. Gutachter: Prof. Dr. Günter Spatz***

**Witzenhausen – Juli 2003**

*Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Dissertation selbständig und ohne unerlaubte Hilfe angefertigt und andere als die in der Dissertation angegeben Hilfsmittel nicht benutzt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder unveröffentlichten Schriften entnommen sind, habe ich als solche kenntlich gemacht. Kein Teil dieser Arbeit ist in einem anderen Promotions- oder Habilitationsverfahren verwendet worden.*

## Vorwort

Rekultivierungsmaßnahmen auf Sekundärstandorten bieten meistens vielfältige Herausforderungen. Zu den grundsätzlichen Fragestellungen über das „Ob“ und „Wie“ solcher Maßnahmen treten oftmals fachliche Ungewissheiten, technische Probleme aber auch finanzielle Engpässe hinzu.

Begrünungen von Althalden, insbesondere solchen, die keine Betriebsanbindung mehr besitzen, sind nicht nur vor dem wissenschaftlichen Hintergrund von außerordentlichem Interesse, sondern verlangen auch nach technischen Lösungen zur Durchführung von Ansaaten, Pflanzungen und Düngungen.

Vor der Bearbeitung eines solchen Projekts sind in der Regel viele Vorgespräche und objektbezogene Besichtigungen notwendig. Als erstes Ergebnis folgt meist eine Zusammenstellung der erforderlichen Maßnahmen zur jeweiligen Zielerreichung, um auch vor dem Hintergrund der Kostenpraktikabilität eine fachlich-wissenschaftlich fundierte Arbeit leisten zu können.

Ohne diejenigen, die mich seit Beginn der Arbeit bis zur Erstellung dieses Werks begleitet und tatkräftig unterstützt haben, wäre eine zeitlich überschaubare, durchführbare Bearbeitung der Thematik nicht möglich gewesen.

Allen voran möchte ich meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. Helge Schmeisky, nicht nur für die Themenstellung, sondern für seinen persönlichen Einsatz, auch schon vor dem eigentlichen Projektbeginn, vielmals danken. Ohne ihn wäre die Möglichkeit der Bearbeitung einer solchen Thematik gar nicht zustande gekommen. An seinen nunmehr jahrzehntelangen Erfahrungen im Bereich der Haldenbegrünung dürfte auch ich während dieser Arbeit in Form von Anregungen und fachlich orientierten Gesprächen teilhaben.

Herrn Prof. Dr. Günter Spatz danke ich für die Übernahme des Korreferates sowie Herrn Prof. Dr. Christian Richter und Herrn Prof. Dr. Ulrich Braukmann für die Begleitung der Arbeit als Kommissionsmitglieder.

Einen besonderen Dank möchte ich den Verantwortlichen der K+S Kali GmbH aussprechen, die diese Arbeit ermöglicht und mich beim Fortgang unterstützt haben, insbesondere den Werksleitern, Herrn Dr. Zentgraf, Herrn Dr. Knöpfel sowie Herrn Dr. Bähge. – Durch sein organisatorisches Talent hat Herr Dipl.-Ing. Poppe den ersten Hubschraubereinsatz im Rahmen der Haldenbegrünung ermöglicht und die Durchführung von anderen großtechnischen Arbeiten logistisch unterstützt. – Auf Veranlassung von Herrn Dipl.-Ing. Rest, vom Kaliforschungsinstitut am Standort „Wintershall“, ist die Analyse vieler Probenmaterialien ermöglicht worden. – Ihnen und den Mitarbeitern sei vielmals gedankt.

Der Fa. Johannes Fehr GmbH & Co. KG (Lohfelden) danke ich für die großzügige Belieferung mit verschiedenen Komposten von den Anlagen Homberg/Efze und Witzenhausen, durch die vielfältige Untersuchungen und der Versuch einer großtechnischen Ausbringung verwirklicht worden sind.

Tragende Säulen für die Durchführung von Maßnahmen auf der Halde, im Gewächshaus und im Labor sind alle MitarbeiterInnen des Fachgebiets „Landschaftsökologie und Naturschutz“ gewesen. – Herrn Dipl.-Ing. Manfred Kunick danke ich vielmals für seine stete Aufgeschlossenheit, Einsatzfreudigkeit, die vielen fachlichen Gespräche und nicht zuletzt für seine unermüdliche Organisation vor der Durchführung vieler Außenarbeiten. – Für viele Arbeiten unter Feldbedingungen ist technisches Know-How notwendig gewesen. Mein besonderer Dank gilt Herrn Peter Jatho, der durch Innovation praxisorientierte Technik für Außenarbeiten zum Einsatz gebracht hat. – Viele Analysen sind während dieser Arbeit im fachgebietseigenen Labor durchgeführt worden, die von Frau Elsa Zwicker betraut wurden – für ihr ausdauerndes Engagement und ihre Zuverlässigkeit möchte ich mich gebührend bedanken. – Frau Irmela Rohde danke ich für viele Koordinationen während der Arbeit. – Ein aufrichtiger kollegialer Dank geht an Frau Dipl.-Geol. Silvia Niessing sowie an alle zeitweiligen MitarbeiterInnen des Fachgebietes, die mir mit Rat und Tat zur Seite gestanden haben.

Meiner Familie danke ich für das entgegengebrachte Verständnis, die Zuarbeiten und alle sonstigen Unterstützungen, die ich während dieser Zeit erfahren habe.

# **Inhaltsverzeichnis**

<b><u>Kap. I: Einleitung und Zielsetzung</u></b>	9
<b><u>Kap. II: Rückstandshalden – Objekte der Forschung</u></b>	11
1. <i>Arten von Rückstandshalden der Kaliindustrie</i>	11
2. <i>Frühere Untersuchungen auf Rückstandshalden</i>	11
3. <i>Frühere Untersuchungen und Begrünungen auf der Halde III</i>	12
<b><u>Kap. III: Salz – von der Entstehung zum Produkt</u></b>	14
1. <b><i>Geologie und Salzentstehung</i></b>	14
1.1 Geologie des Werragebietes	14
1.2 Entstehung der Evaporite (Salzgesteine)	14
2. <b><i>Gewinnung, Förderung und Verarbeitung von Rohsalz</i></b>	15
2.1 Abbau und Förderung	15
2.2 Historie des Kalibergbaus bei Heringen im Werratal	16
2.3 Rohsalzzusammensetzung	17
2.4 Die Verfahren für die Verarbeitung des Rohsalzes	18
2.5 Rückstände	19
<b><u>Kap. IV: Lage und Charakteristik der Halde III</u></b>	20
1. <i>Das Untersuchungsgebiet – Lage, Geologie und Klima</i>	20
2. <i>Topographie der Halde III</i>	24
3. <i>Oberflächengestalt des Haldenkörpers</i>	26
4. <i>Vegetation auf der Halde III</i>	27
5. <i>Haldenumfeld</i>	28
6. <i>Wildeinfluss und Feldvorarbeiten</i>	29
<b><u>Kap. V: Methodik und Materialien</u></b>	30
1. <b><i>Bestimmung chemisch-physikalischer Parameter</i></b>	30
1.1 Probenaufbereitung, Messungen von Basisparametern	30
1.2 Bestimmung von Makronährelementen	31
1.2.1 Substratproben	31
1.2.2 Biomassenproben	31
1.3 Bestimmung von Mikronährelementen	31
1.4 Bestimmung von Stoffgehalten in flüssigen Phasen	32
2. <b><i>Versuche im Gewächshaus</i></b>	32
2.1 Gefäße für die Versuchsdurchführung	32
2.2 Saatgut	33
2.3 Haldensubstrat – verwendete Dünger und Komposte	33
3. <b><i>Versuche auf der Halde</i></b>	34
3.1 Ansaaten	34
3.2 Verwendete Dünger und Komposte	35
4. <b><i>Eigenschaften: Grüngut-, Bioabfall-Kompost</i></b>	35
5. <b><i>Statistische Absicherung</i></b>	36

<b><u>Kap. VI: Eigenschaften des Haldensubstrats</u></b>	37
<b>1. Salzzusammensetzung des Haldenkörpers</b>	37
<b>2. Chemisch-physikalische Parameter</b>	38
<b>3. Bodenkundliche Parameter</b>	40
<b><u>Kap. VII: Versuche unter Gewächshausbedingungen</u></b>	43
<b>1. Sickerwasserversuch</b>	43
1.1 Methodik und Materialien	43
1.2 Ergebnisse und Diskussion	44
<b>2. Aussaatversuch mit <i>Lolium perenne</i></b>	50
2.1 Versuch unter Einsatz von Mehrnährstoffdüngern und Grüngut-Kompost	50
2.1.1 Versuchsspezifische Methodik und Materialien	50
2.1.2 Ergebnisse und Diskussion	51
2.2 Versuch mit unterschiedlichen Gaben von Grüngut-Kompost	54
2.2.1 Versuchsspezifische Methodik und Materialien	54
2.2.2 Ergebnisse und Diskussion	55
<b>3. Aussaatversuch mit <i>Festuca rubra</i> agg.</b>	56
3.1 Versuchsspezifische Methodik und Materialien	56
3.2 Ergebnisse und Diskussion	57
<b>4. Aussaatversuch mit <i>Betula pendula</i>, <i>Pinus sylvestris</i>, <i>Picea abies</i></b>	59
4.1 Versuchsspezifische Methodik und Materialien	59
4.2 Ergebnisse und Diskussion	59
<b><u>Kap. VIII: Begrünungsversuche auf der Halde III</u></b>	64
<b>1. Begrünungsversuche mit Gräseransaat</b>	64
1.1 Gräseransaat mit verschiedenen Behandlungsvarianten	64
1.1.1 Versuchsspezifische Methodik	64
1.1.2 Ergebnisse und Diskussion	65
1.2 Kompost: Eigenschaften – großtechnische Ausbringung – Gräseransaat	71
1.2.1 Versuchsspezifische Methodik und großtechnische Durchführung	73
1.2.1.1 Methodik	73
1.2.1.2 Großtechnische Kompostausbringung mit Hubschrauber	73
1.2.2 Ergebnisse und Diskussion	76
1.3 Großflächige Begrünungs- und Düngungsmaßnahmen	80
1.3.1 Regeneration der Begrünungen früherer Ansaatversuche	80
1.3.2 Großflächige Ansaat mit Gräsern	80
1.3.3 Technische Durchführung von Düngungsmaßnahmen und Transporten	83

<b>2. Gehölzpflanzungen</b>	85
2.1 Auswahl der Gehölzarten	85
2.2 Materialien für die Pflanzung - Methodik der Pflanzung und Untersuchung	86
2.2.1 Materialien für die Pflanzung	86
2.2.2 Methodik der Pflanzung	89
2.2.3 Methodik der Untersuchung	90
2.3 Ergebnisse	90
2.3.1 Entwicklung der Anwuchsraten	90
2.3.2 Entwicklung des Höhenzuwachses	100
2.4 Diskussion	105
<b><u>Kap. IX: Untersuchungen zur natürlichen Sukzession</u></b>	110
<b>1. Frühere Untersuchungen zur Sukzession</b>	110
<b>2. Zielsetzung der Sukzessionsuntersuchungen</b>	111
<b>3. Darstellung des Untersuchungsrahmens und der Ergebnisse</b>	111
3.1. Untersuchungen zur Artenzusammensetzung auf Transekten	111
3.1.1 Untersuchungsspezifische Methodik	111
3.1.2 Untersuchungsergebnisse	112
3.2 Artenzusammensetzung an den verschiedenen Halden-Expositionen	116
3.2.1 Untersuchungsspezifische Methodik	116
3.2.2 Ergebnisse zum Arteninventar	116
3.3 Verbesserung der Keimbedingungen von Samen durch Kompost	123
3.3.1 Versuchsspezifische Methodik	123
3.3.2 Ergebnisse	124
3.4 Überprüfung des keimfähigen Diasporenvorrates im Haldenmaterial	129
3.4.1 Untersuchungsspezifische Methodik	130
3.4.2 Ergebnisse	131
3.5 Das Wachstum von Gehölzen älterer Sukzessionsstadien	135
3.5.1 Untersuchungsspezifische Methodik	135
3.5.2 Ergebnisse	136
<b>4. Diskussion</b>	140
<b><u>Kap. X: Untersuchungen zur Pflanzenernährung</u></b>	150
<b>1. Einführung</b>	150
<b>2. Untersuchungsspezifische Methoden</b>	151
<b>3. Ergebnisse und Diskussion</b>	151
3.1 Stickstoff	151
3.1.1 Gräser-Ansaaten	152
3.1.2 Aussaatversuche im Gewächshaus	153

3.1.3 Gehölze	155
3.2 Phosphor	157
3.2.1 Gräser-Ansaaten	157
3.2.2 Aussaatversuche im Gewächshaus	158
3.2.3 Gehölze	160
3.3 Kalium	160
3.3.1 Gräser-Ansaaten	161
3.3.2 Aussaatversuche im Gewächshaus	162
3.3.3 Gehölze	164
3.4 Magnesium	165
3.4.1 Gräser-Ansaaten	165
3.4.2 Aussaatversuche im Gewächshaus	167
3.4.3 Gehölze	168
3.5 Calcium	169
3.5.1 Gräser-Ansaaten	169
3.5.2 Aussaatversuche im Gewächshaus	170
3.5.3 Gehölze	172
3.6 Schwefel	173
3.6.1 Gräser-Ansaaten	173
3.6.2 Aussaatversuche im Gewächshaus	174
3.6.3 Gehölze	175
3.7 Eisen	175
3.8 Mangan	176
3.9 Zink	177
3.10 Kupfer	177
3.11 Molybdän	178
3.12 Bor	179
3.13 Chlor	180
<b><u>Kap. XI: Schlussbetrachtung</u></b>	182
<b><u>Kap. XII: Zusammenfassung</u></b>	186
<b><u>Kap. XIII: Summary</u></b>	189
<b><u>Kap. XIV: Резюме</u></b>	192
<b><u>Kap. XV: Literaturverzeichnis</u></b>	196
<b><u>Kap. XVI: Anhang</u></b>	209
1. <i>Krautige Arten der Halde III und ihre regulären Biotope</i>	209
2. <i>Bepflanzungsplan der Halde III</i>	212



## **Kap. I: Einleitung und Zielsetzung**

Die zu Beginn der 80er Jahre vom hiesigen Fachgebiet durchgeführten Begrünungen auf der Halde III am Standort „Wintershall“ bei Heringen (Werra) sind den Pionierversuchen auf diesem Gebiet zuzuordnen.

Neben Kleinversuchen auf überwiegend NaCl-haltigen Rückstandshalden der Kaliindustrie unter Verwendung von Boden, der in miteinander verbundenen Bierkästen (legendärer „Bierkastenversuch“) bzw. Autoreifen gefüllt und mit Gräsern begrünt wurde, spielen Ansaaten und Anpflanzungen auf anhydritisch geprägten Rückstandshalden eine besondere Rolle (s. a. SCHMEISKY et al., 1993, SCHMEISKY & LENZ, 1998, PODLAČHA, 1999, ZUNDEL, 1987, 2000), da die Chloride in den Auflageschichten im Laufe der vergangenen Jahrzehnte fast gänzlich ausgewaschen wurden, diese Schichten von Natur aus begrünbar sind, jedoch Dünger bzw. Hilfsstoffe zur Substratverbesserung (z. B. Grüngut-, Bioabfall-, Klärschlamm-Kompost) zur Anwendung kommen.

Auf den meist lockeren Schichten der Halde III haben sich während der letzten zwei bis drei Jahrzehnte einzelne krautige Pflanzen- und Gehölzarten im Rahmen der natürlichen Sukzession ansiedeln können; gewisse Entwicklungsstufen einer natürlichen Sukzession im Rahmen einer Primärbesiedlung sind erkennbar. LÜCKE (1997) untersuchte dort das Arteninventar der auf der Halde stockenden Gehölze.

Ein vor Jahren angestrebter Rückbau der Halde (Verwertung des Kieseritanteils) wurde aufgrund der Sukzessionsentwicklungen vor Ort nicht durchgeführt. Stattdessen ist die Halde III wegen ihrer Besonderheit als Ausgleichsobjekt für die Erweiterung der Großhalde IV anerkannt worden (s. Abb. I/1). Zusätzlich formulierte die Obere Naturschutzbehörde einen Begrünungsauftrag mit der Maßgabe, die künstliche Begrünung soweit voranzutreiben, dass bis zum Jahr 2010 mindestens 60 % der Haldenoberfläche mit Vegetation besiedelt sind. – Zum anderen sollen die aus Rückstandshalden der Kaliindustrie austretenden salzhaltigen Sickerwässer möglichst weitgehend reduziert werden, damit die Belastungen für Vorfluter minimiert werden können.

Wie die bisherigen Untersuchungen auf der Halde III gezeigt haben, ist das anhydritisch geprägte Lockersubstrat aufgrund des ausgelösten Natriumchlorids ohne Überdeckung mit anderen Substraten begrenzt begrünbar. Dies gilt allerdings nur für ein sehr eingeschränktes Artenspektrum; wegen der geringen Verfügbarkeit von Pflanzennährstoffen ist ein entsprechendes Reglement zur Unterstützung in der Ansaat- bzw. Anwuchsphase und in der Stabilisierungsphase der Vegetation unabdingbar.

Der **Schwerpunkt dieser Arbeit** liegt in der Untersuchung und Durchführung von Begrünungsmaßnahmen, damit zum einen das Begrünungsziel bis zum Jahr 2010 erreichbar, zum anderen die Vegetation entsprechend stabilisiert wird. Somit stehen Methodik und Technik der künstlichen Begrünung im Vordergrund. Begleitend dazu werden die Untersuchungen zur Verbreitung von Arten im Rahmen der natürlichen Suk-

zession auf der Grundlage von LÜCKE (1997) vorangetrieben, da auch zukünftig die natürliche Besiedlung der Haldenoberfläche mit Pflanzen eine nicht zu unterschätzende Rolle spielt. – Versuche unter Gewächshausbedingungen setzen weitere Akzente hinsichtlich besonders definierter Parameter wie Nährstoffversorgung und Substratzusammensetzung.

Die meisten Untersuchungen zur Begrünung auf den wenigen anhydritisch geprägten Rückstandshalden der Kaliindustrie sind in der Vergangenheit über ein bis drei Vegetationsperioden durchgeführt worden. Um gesicherte Erkenntnisse über das Anwuchsverhalten bei gepflanzten Gehölzen zu erlangen, werden auf forstlich genutzten Standorten in der Regel Beobachtungen über mindestens drei Jahre angestellt. Da das Lockermaterial der Halde III hinsichtlich Nährstoff- und Wasserhaushalt als gehaltsarm zu beurteilen ist (s. a. SCHMEISKY et al., 1993, LÜCKE, 1997) und daher die Wachstumsverhältnisse als sehr eingeschränkt zu beurteilen sind, haben die gesamten Untersuchungen dieser Arbeit in einem Zeitraum von fünf Jahren stattgefunden.



Abb. I/1: Blick auf die Klein-Halde III des Werksstandortes „Wintershall“ bei Heringen (Pfeil), nördlich davon die in Betrieb befindliche Großhalde IV.

## **Kap. II: Rückstandshalden – Objekte der Forschung**

### **1. Arten von Rückstandshalden der Kaliindustrie**

Die im Laufe der letzten Jahrzehnte angelegten Rückstandshalden der Kaliindustrie weisen unterschiedliche Substratzusammensetzungen auf. Dies hängt vor allem von folgenden Faktoren ab: Bestandteile des Rohsalzes, Verfahren der Rohsalzaufbereitung und Umfang der durch Niederschläge bereits ausgelösten Salze.

Grundsätzlich können Rückstandshalden der Kaliindustrie zwei Kategorien zugeordnet werden:

1. Rückstandshalden, die vorwiegend aus Natriumchlorid bestehen (meist über 90 % NaCl) und sich in absehbarer Zeit von Natur aus nicht mit Vegetation besiedeln bzw. künstlich begrünen lassen; eine Begrünung des Haldenkörpers kann nur durch die Aufbringung geeigneter Materialien erfolgen. Hierzu gehören die jüngeren Halden, auf denen noch Rückstände abgelagert werden.
2. Rückstandshalden, die eine nahezu chloridfreie Oberschicht und z. T. durch primäre Sukzessionsentwicklungen meist sehr lückige Vegetationsbestände aufweisen bzw. zumindest direkt künstlich begrünbar sind – in der Regel unter Verwendung von Hilfsstoffen (z. B. Kompost) und Düngern. Es handelt sich meist um ältere Rückstandshalden mit relativ hohen Anteilen an Calciumsulfat, bei denen NaCl in der Oberschicht bereits ausgewaschen wurde.

Rückstandshalden, die der ersten Kategorie angehören, werden in den Ausführungen nur der Vollständigkeit halber am Rande mit betrachtet. Im Vordergrund stehen jedoch die Halden, die direkt begrünbar sind bzw. auf denen sich im Rahmen der natürlichen Sukzession Pflanzen angesiedelt haben.

### **2. Frühere Untersuchungen auf Rückstandshalden**

Untersuchungen zu Begrünungsmaßnahmen und zu Sukzessionsentwicklungen auf Rückstandshalden der Kaliindustrie sind bisher in relativ begrenztem Maße durchgeführt worden. Mit Begrünungsmaßnahmen auf Rückstandshalden der Kaliindustrie befassten sich in den neuen Bundesländern HEINZE et al. (1984), HEINZE & FIEDLER (1979, 1981, 1984), HEINZE & LIEBMANN (1991, 1998), KAHL (2000).

In diesen Untersuchungen wurden im Direktbegrünungsverfahren auf ausgesüßten, nahezu chloridfreien, vorwiegend anhydritisch geprägten Haldenoberflächen verschiedene Baum- und Strauchgehölze verwendet. Mit den einheimischen Baumarten wie *Pinus sylvestris* (Wald-Kiefer), *Betula pendula* (Sand-Birke) und *Salix* spec. (Weiden) wurden nur unzureichende Erfolge erzielt. Hingegen konnten mit den nicht in Deutschland bzw. Hessen standortheimischen Arten wie *Robinia pseudoacacia* (Robinie), *Hippophae rhamnoides* (Sanddorn), *Elaeagnus angustifolia* (Schmalblättrige Ölweide) und *Elaeagnus commutata* (Amerikanische Ölweide) bessere Anwuchserfolge nachgewiesen werden. – Daneben wurden auch einige Ansaatversuche mit Gräsern durchgeführt.

In den alten Bundesländern haben sich v. a. SCHMEISKY, LÜCKE und ZUNDEL in ihren Arbeiten mit der Begrünung und dem Arteninventar von Rückstandshalden der Kaliindustrie auseinandergesetzt; vergl. hierzu SCHMEISKY et al. (1993, 1997, 1998), SCHMEISKY & HOFMANN (2000), LÜCKE (1997), ZUNDEL (1982, 1987), PODLACHA (1995) und OSAN (1995); auf Vegetationsbestände in Randbereichen von Rückstandshalden sind im besonderen v. ELSEN et al. (1990), v. ELSEN (1997) und HOFMANN & SCHEER (1996), DRESSEL et al. (2000), HOFMANN et al. (2000a), HOFMANN et al. (2000b), SCHMEISKY & OSAN (2000), ZUNDEL (2000), ZUNDEL & SIEGERT (2000) eingegangen.

Mit einigen Gräsern sind Begrünungsversuche auf verschiedenen Halden durchgeführt worden. Bei Pflanzmaßnahmen auf anhydritisch geprägten Halden wurden in der Regel Gehölze verwendet, die in Baumschulen angezogen worden waren; der Anwuchserfolg blieb hier entweder ganz aus oder die Pflanzen zeigten nur ein kümmerndes Wuchsverhalten über einen Zeitraum von wenigen Jahren.

Im Rahmen des „Pilotprojekts Bleicherode“ ging es zum einen um die Entwicklung von Verfahren zur direkten Begrünung ausgesalzter Bereiche von Rückstandshalden der Kaliindustrie, zum anderen um eine verfahrenstechnische Entwicklung zur Rekultivierung von Haldenbereichen mit schwachmächtigen Überdeckungen aus Erdbaumaterialien (PODLACHA, 1999). – Auf Haldenbereichen des Standortes Sigmundshall (Bokeloh) sind Begrünungsversuche mit Gräsern auf Aschen bzw. Tonerderückständen aus dem Aluminiumrecycling – z. T. unter Verwendung von Kompost – sowie auf Gemischen aus diesen Substraten durchgeführt worden. Dabei wurden Untersuchungen mit einer Vielzahl von Lysimetern angestellt und haldenfußparallele Anschüttungen mit den vorgenannten Substraten vorgenommen (s. SCHEER, 2001). Derzeit werden Andeckungen auf der gesamten Länge einer Haldenflanke begrünt und wissenschaftlich untersucht.

In diesen Projekten geht es neben der Begrünbarkeit der Substrate bzw. Substratgemische um das Standvermögen der aufgebrachten Stoffe auf den Haldenkörpern, nachdem in umfangreichen Lysimeterversuchen Sickerwässer quantitativ und qualitativ bewertet werden konnten.

### **3. Frühere Untersuchungen und Begrünungen auf der Halde III**

Bereits Anfang der 80er Jahre wurden erste Begrünungsmaßnahmen auf der Halde III geplant und durchgeführt. Nach einigen Gefäßversuchen mit verschiedenen Gräsern erfolgten in den Jahren 1983 bis 1985 einige Anpflanzungs- und Ansaatversuche auf dieser Halde, die bereits vom Fachgebiet Landschaftsökologie und Naturschutz der Universität Gesamthochschule Kassel ausgeführt wurden (s. SCHMEISKY et al., 1993).

Da unter den damaligen Standortbedingungen hinsichtlich Korngröße, Wasserhaushalt, Nährstoffversorgung und pH-Wert sowie Chloridbelastung klare Parallelen zu Dünenstandorten gegeben waren, lag es nahe, mit Arten der norddeutschen Küstengebiete Begrünungsversuche vorzunehmen. Aufgrund der sandartigen Korngröße der Locker-

schichtauflage auf der Halde III, verbunden mit dem schlechten Wasserhaushalt, kamen somit keine Arten des ständig hochwasserbeeinflussten Bereichs der Küste zum Einsatz, sondern einige der Dünen. Die Pflanzung von Stecklingen der Arten *Leymus arenarius* (Strand-Roggen), *Ammophila arenaria* (Strand-Hafer), *Agropyron junceum* (Binsen-Quecke) und *Carex arenaria* (Sand-Segge) wurde 1983 auf Kleinflächen der Nord- und Südflanke durchgeführt. Wegen der schlechten Nährstoffsituation wurden die bepflanzten Parzellen in den Folgejahren mit mineralischem Dünger unterschiedlich stark gedüngt – von 485 bis auf 140 kg N/ha fallend. Neben *Agropyron junceum* gediehen *Leymus arenarius* und *Ammophila arenaria* am besten. – Die zu dieser Zeit dort mit wenigen Exemplaren siedelnde Art *Calamagrostis epigeios* (Land-Reitgras) ist ebenfalls im Rahmen dieser Begrünungsversuche mit Stecklingen ausgepflanzt worden; die Eigenschaft auch dieser Art, Stolonen auszubilden, war den positiven Versuchsergebnissen sehr zuträglich.

Ansaaten mit unterschiedlichen Weidegrasmischungen, Leguminosen und Getreidearten erfolgten ebenfalls auf einigen Haldenbereichen. In den meisten Fällen wurde mit Mineraldünger das Wachstum der künstlich eingebrachten Vegetation in soweit unterstützt, dass überhaupt ein Anwachsen möglich war und der Pflanzenbestand stabilisiert werden konnte.

Auf kleinen Flächen sind auch Pflanzungen mit Gehölzen – *Populus tremula* (Zitter-Pappel), *Alnus incana* (Grau-Erle), *Pinus sylvestris* (Wald-Kiefer) – durchgeführt worden. Während die Schösslinge von *Populus tremula* zufriedenstellende Anwuchsraten zeigte, konnten die beiden anderen Arten nicht überzeugen.

In Ansaatversuchen mit Kiefern Samen auf verschiedenen Haldenmaterialien wurden Unterschiede des Auflaufferfolgs deutlich; der Einsatz von Kompost bei diesen Versuchen brachte jedoch keine positiven Ergebnisse hervor.

Sukzessionsuntersuchungen hinsichtlich der Artenausstattung auf der Halde III wurde von LÜCKE (1997) dokumentiert. In dieser Arbeit sind u. a. die einzelnen Gehölzarten aufgenommen und ihre Verbreitungsschwerpunkte auf der Halde festgestellt worden. Mit dem in der Umgebung vorhandenen Arteninventar erfolgten Rückschlüsse auf die Besiedelbarkeit der Halde III im Rahmen der natürlichen Sukzession. Von den 43 in der Umgebung nachgewiesenen Gehölzarten wurden 11 auf dem Haldenkörper wiedergefunden. Die Hauptverbreitung ist, was die Individuenanzahl angeht, am Haldenfuß lokalisiert worden und nahm aufwärts zum Haldenplateau hin abrupt ab.

Neben Untersuchungen, die die Vegetation bzw. die Begrünungsmöglichkeiten der Halde III näher betrachtet haben, hat sich VOWINKEL (1990) in seiner Arbeit u. a. mit der Besiedlung des Haldenkörpers durch epigäische Arthropoden, unter besonderer Berücksichtigung der *Carabidae*, befasst. In den vier regional unterschiedlichen Untersuchungsgebieten (Halden) wurden insgesamt 84 Carabiden-Arten nachgewiesen, davon 34 auf der Halde III, die zu diesem Zeitpunkt außer den getätigten Ansaaten weitgehend unbegrünt und vegetationsfrei war.

## **Kap. III: Salz – von der Entstehung zum Produkt**

### **1. Geologie und Salzentstehung**

#### **1.1 Geologie des Werragebietes**

Die heutigen Standorte im Werragebiet, an denen kalihaltiges Rohsalz gewonnen, gefördert und veredelt wird, gehören zur Hessischen Senke, die in Nord-Süd-Richtung positioniert ist. Begrenzt wird sie im Westen vom Rheinischen Schiefergebirge und nach Nordwesten folgend von der Münsterländer Oberkreidemulde, in Richtung Nordosten durch den Harz und nach Osten hin durch das Thüringer Becken sowie den nördlichen Ausläufern des Thüringer Waldes.

Obwohl die Hessische Senke heute als Bergland zu bezeichnen ist, lassen sich jedoch in ihrem nördlichen Gebiet Sedimentationsschichten mit einer Gesamtmächtigkeit von über 2.500 m nachweisen (WALTER, 1992), was ihren ehemaligen Senkencharakter widerspiegelt.

In der Zechstein-Zeit (vor 290-250 Mio. Jahren) drang das sogenannte Zechstein-Meer nach Mitteleuropa vor – weite Teile Deutschlands, Polens, Dänemarks, der Niederlande und Englands (s. RICHTER, 1992) waren von ihm bedeckt; von der Weser-Senke aus erfolgte eine weiträumige Transgression bis in das Oberrheingebiet. Später sind salinare Abscheidungsfolgen des Zechsteins in der Wesersenke entstanden, bei denen sich zum Teil auch geringmächtige Kalisalze gebildet haben.

Im osthessischen Gebiet der Werra/Fulda (bei Heringen/Werra und Neuhaus-Ellers bei Fulda), dem früheren Randbecken des Zechstein-Meeres, finden sich unter dem Buntsandstein aus der Werra- bzw. Staßfurt-Folge des Zechsteins bis über 200 m mächtige Steinsalzschiefer sowie 2 Kaliflöze; das sog. hessische Kalisalz-Revier setzt sich bis nach Südwest-Thüringen (Fulda-Werra-Revier) fort (s. a. WITTIG, 1968, KÄDING, 1978, HENNINGSEN & KATZUNG, 2002).

#### **1.2 Entstehung der Evaporite (Salzgesteine)**

Salzgesteine können durch Verdunstung des Wassers in abgeschnürten Meeresbecken unter trocken-heißen Klimabedingungen gebildet werden.

Das bis nach Mitteleuropa vorgedrungene Zechstein-Meer wurde im Laufe der Zeit durch eine meerische Barre (Schwelle) begrenzt, jedoch zunächst nicht unterbrochen (vergl. RICHTER, 1992). Durch eine starke Verdunstung innerhalb des Randbeckens strömte immer wieder neues salzhaltiges Meerwasser nach. Gleichzeitig stieg der Salzgehalt sehr stark an – es herrschten statt der bisher normal-marinen nunmehr hypersaline Bedingungen vor (s. a. STANLEY, 1989) – und die Salze wurden entsprechend ihres Löslichkeitsverhaltens ausgeschieden (s. WAGNER, 1960, LEEDER, 1982, STANLEY, 1994). Dabei fiel zunächst Kalk, dann Dolomit aus. Über die Barre fand in Richtung des Randbeckens ein Zustrom (Oberstrom) aus dem Meer mit einem Salzgehalt von 3,5 % statt. Mit zunehmender Verdunstung stieg auch der Salzgehalt des Unterstroms an, während sich die Barre weiter hob. Dann fielen Gips und Anhydrit aus. Bei schwächer

werdendem Unterstrom in Richtung Meer wurden Anhydrit und Steinsalz im Randbecken ausgeschieden. Erst nach weiterer Hebung der Barre erlosch der Unterstrom, und Kalisalze fielen aus. Das Becken trocknete anschließend aus, und Staubwinde legten allmählich Sedimentationsschichten über die Salzablagerungen.

Aufgrund von Hebungen und Senkungen der Barre fanden die Salzablagerungen im mitteleuropäischen Raum innerhalb von vier Zyklen statt.

Durch das während der Verdunstungs- und Hebeprozesse (Barre) zuströmende salzhaltige Meerwasser wurden in Mitteleuropa Mächtigkeiten der Salzgesteine von über 450 m erreicht, was der Eindampfung einer ca. 30 km Meerwasser-Säule entspricht (RICHTER, 1992).

## **2. Gewinnung, Förderung und Verarbeitung von Rohsalz**

### **2.1 Abbau und Förderung**

Zu den heutigen Standorten mit Rohsalzförderung gehören Neuhof-Ellers, Sigmundshall, Zielitz und das Werk Werra mit den Standorten „Hattorf“, „Unterbreizbach“ und „Wintershall“ sowie das Verarbeitungswerk „Bergmannsseggen-Hugo“; sie sind im Geschäftsbereich der Kali- und Verbundprodukte zusammengefasst. Jedes dieser Bergwerke verfügt über mindestens zwei Schächte, die für den Transport von Bergleuten und Material einerseits, die Förderung von Rohsalz andererseits und die Bewetterung des Grubengebäudes eingerichtet sind.

Von den einzelnen Schächten aus werden auf verschiedenen Sohlen Förderstrecken zu den Abbauorten vorgetrieben, wobei das Streckennetz jedes Bergwerks etwa 150 bis 180 Kilometer betragen kann. Je nach Abbautiefe und Frischluftzufuhr (Bewetterung) beträgt die Temperatur unter Tage 25 bis 40 °C. Bei der Gewinnung bzw. beim Abbau der Kalirohsalze wird das Bohr- und Sprengverfahren mit Großloch- und Sprenglochbohrwagen angewendet. Nach der zwischen den Arbeitsschichten erfolgenden Sprengung nehmen große Schaufellader das losgesprengte Haufwerk auf und transportieren es zu Brecheranlagen, wo es so weit zerkleinert wird, dass es auf Transportbändern oder in Zügen zum Schacht gebracht werden kann, wo es zu Tage gefördert wird. Die im Bergwerk eingesetzten Großgeräte werden unter Tage gewartet und repariert.

Über Tage wird das geförderte Rohsalz fein gemahlen und je nach Zusammensetzung bzw. gewünschtem Endprodukt in unterschiedlichen Verfahren aufbereitet. Rund 110 Mio. Tonnen Rohsalz wurden in den Kalibergwerken zwischen 1997 und 1999 gewonnen und verarbeitet. Im Jahr 1998 sind Spitzenwerte bei der Förderung bzw. Verarbeitung von 37,2 Mio. Tonnen Rohsalz erzielt worden. Im Gegensatz dazu beläuft sich die Summe der hergestellten Produkte – Düngemittel, Produkte für Chemie, Pharmaherstellung, Metallurgie und Baustoff-Industrie – auf rund 8,2 Mio. Tonnen. Darin sind auch die Zwischenprodukte enthalten, die an anderen Standorten der K+S Kali GmbH weiterverarbeitet werden.

## **2.2 Historie des Kalibergbaus bei Heringen im Werratal**

Der Grundstein für die Kaligewinnung im Gebiet bei Heringen wurde 1894 gelegt, als durch den Bohrunternehmer Julius Winter und Heinrich Grimberg zusammen mit anderen Unternehmern die Kalibohrgesellschaft „Wintershall“ gegründet wurde. Zunächst sollten Tiefbohrungen durchgeführt werden, um Kalilagerstätten zu erkunden und aufzuschließen. Insgesamt 16 Bohrungen fanden in dem Gebiet bei Tiefen zwischen 260 und 740 m statt (SLOTTA, 1980). Einige Carnallit- und Sylvinitlager unterschiedlicher Mächtigkeiten konnten lokalisiert werden.

Nach den Bohrtätigkeiten und damit dem Nachweis von abbauwürdigen Kalisalzlagern wandelte sich 1899 die vormalige Kalibohrgesellschaft in eine Gewerkschaft „Wintershall“ um mit dem Ziel, Kalisalze abzubauen. Mit der Gründung der Kaligewerkschaften kam eine völlig neue Entwicklung der Perspektiven im Werratal in Gang. Bisher wurde die Landwirtschaft überwiegend von Frauen auf den wenig ertragreichen Böden in der Umgebung betrieben, viele Männer arbeiteten zu dieser Zeit in westfälischen Steinkohlenteichen, um den Unterhalt der kinderreichen Familien zu gewährleisten (SLOTTA, 1980).

Bereits ab 1900 wurde der Schacht „Grimberg“ der damaligen Grube „Wintershall“ (bei Heringen) geteuft, sieben Jahre später der Schacht „Heringen“, der allerdings ab 1923 nur noch die Funktion eines reinen Wetterschachtes erfüllte. Die Teufarbeiten für die Schächte „Herfa“ und „Neurode“ begannen in 1911; 14 Jahre später wurden beide Schächte wieder stillgelegt. 1950 erfolgte erneut eine Förderung im Schacht „Neurode“, zwei Jahre später wurde auch der Schacht „Herfa“ zum Förderschacht ausgebaut. Nach dem Verbund der Gruben „Wintershall“ und der Schachtanlage Herfa-Neurode wurde Anfang der 70er Jahre der Schacht „Grimberg“ zum Zentralförderschacht ausgebaut und die heutige Turmförderanlage errichtet, die mit ihrer Achtseiltechnik (Ausrüstung der Fördermaschine mit acht Seilen bei einem Treibscheibendurchmesser von lediglich 2,8 m) die erste dieser Art auf der Welt gewesen ist; mit dieser Technik ist eine Fördergeschwindigkeit bis zu 15,5 m/s erreicht worden, was sich besonders in der Höhe der Rohsalzförderungsmengen niedergeschlagen hat (s. Tab. III/1).

Tab. III/1: Geförderte Rohsalzmengen der Schachtanlagen Wintershall (W) und Herfa-Neurode von (HN) 1903 bis Juli 1979 (SLOTTA, 1980). ( \*) = bis Jahresmitte)

<b>Zeitraum</b>	<b>geförderte Mengen (t)</b>	<b>Jahresdurchschnitt (t)</b>
1903-1945 (W, HN)	25,1 Mio.	0,58 Mio.
1946-1971* (W, HN)	89,5 Mio.	3,51 Mio.
1971*-1979 (W)	45,7 Mio.	5,71 Mio.

Aufgrund der verbesserten Förderungstechnik konnten somit im Laufe der letzten Jahrzehnte höhere Rohsalzmengen verarbeitet werden.

Nach der Aufarbeitung des Rohsalzes erfolgte zunächst eine Aufhaldung des nicht benötigten Rückstandes auf dem heutigen Werksgelände. Dadurch entstanden die bei-



den Halden Wintershall I und II, die später wieder zurückgebaut wurden. Außerhalb des Werkes entstand hangaufwärts die Halde III, auf der in dieser Arbeit Versuche und Untersuchungen durchgeführt worden sind. Auf der heutigen Großhalde – Halde IV – sind mittlerweile über 110 Mio. m<sup>3</sup> Rückstände aufgebracht worden; der überwiegende Anteil ist mit ca. 95 % Natriumchlorid (KALI UND SALZ, 1999).

### **2.3 Rohsalzzusammensetzung**

Entscheidend auf die Verarbeitungsverfahren und die herzustellenden Produkte wirkt sich die Zusammensetzung des Rohsalzes aus. Während beispielsweise die geförderten Kali-Rohsalze in Nordamerika und Russland zu 36 bzw. 28 % aus Kaliumchlorid (KCl) bestehen, liegt der Anteil im Werk Werra bei deutlich unter 20 %. Im Einzelnen sind gegenwärtig folgende Anteile an der Rohsalzzusammensetzung (KALI UND SALZ, 1999) bzw. die mineralogischen Kennwerte (s. a. RUDOLPH, 2000) sowie Eigenschaften zu nennen:

#### **Halit (Steinsalz)**



**Rohsalzanteil: 66 %**

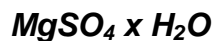
Härte: 2,5

Farbe: weiß, durchsichtig, hellblau, dunkelblau, rosa

Dichte [g/cm<sup>3</sup>]: 2,1-2,2

Sonstiges: mit anderen Mineralien (Sulfaten, Boraten) in Evaporitlagerstätten

#### **Kieserit (Bittersalz)**



**Rohsalzanteil: 14 %**

Härte: 3,5

Farbe: farblos, grauweiss, grüngelb

Dichte [g/cm<sup>3</sup>]: 3-0

Sonstiges: meist metamorph im Verband ozeaner Kalilager

#### **Sylvin (Kaliumchlorid)**



**Rohsalzanteil: 11 %**

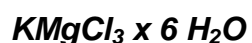
Härte: 2

Farbe: farblos, weiß, gelblich, oft rot (Hämatiteinschlüsse)

Dichte [g/cm<sup>3</sup>]: 2

Sonstiges: massiv, körnig, bitter-salzig schmeckend

#### **Carnallit**



**Rohsalzanteil: 6 %**

Härte: 1-2

Farbe: farblos, weißlich, gelblich, oft rot (Hämatiteinschlüsse)

Dichte [g/cm<sup>3</sup>]: 1,6

Sonstiges: grobkörnig, eingesprengt, mit Steinsalz und Anhydrit vorkommend

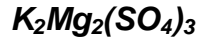
**Anhydrit*****Rohsalzanteil: < 1 %***

Härte: 3,5

Farben: farblos, grauweiss, violett

Dichte [ $\text{g/cm}^3$ ]: 2,97

Sonstiges: körnig, spätig, dicht, auch stängelig und prismatisch

**Langbeinit*****Rohsalzanteil: < 1 %***

Härte: 3,5-4,0

Farben: farblos, blassgelb, rosa, blassgrün

Dichte [ $\text{g/cm}^3$ ]: 2,83-0

Sonstiges: lokal als metamorphe Komponente in "Hartsalzen"

**Kainit*****Rohsalzanteil: < 1 %***

Härte: 3

Farbe: farblos, blau, violett, grau oder graublau

Dichte [ $\text{g/cm}^3$ ]: 2,1

Sonstiges: sedimentäres Mineral, durch Verdunstung von Salzlösungen entstanden, zusammen mit Carnallit, Kieserit, Sylvit

**2.4 Die Verfahren für die Verarbeitung des Rohsalzes**

Da das im Bergwerk abgebaute Rohsalz nur einen relativ geringen verwertbaren Anteil zwischen 15 und 35 Prozent Kaliumchlorid enthält, müssen verschiedene Trenn- oder Anreicherungsverfahren angewendet werden, um die Endprodukte herzustellen (s. KALI UND SALZ, 1999).

Dafür stehen das Heißlöseverfahren, das Flotationsverfahren und das elektrostatische Trennverfahren (ESTA<sup>®</sup>-Verfahren) zur Verfügung.

**Das Heißlöseverfahren**

Das Heißlöseverfahren nutzt die unterschiedliche, von der angewandten Temperatur abhängige Löslichkeit der Salze für die Anreicherung und Reinigung des Kaliumchlorids aus. Dabei wird das Rohsalz (überwiegend KCl und NaCl) in einer Löselauge auf über 100 °C erwärmt. Durch Abkühlung und Filterungen entsteht das Produkt KCl. Mit diesem Verfahren können Endprodukte mit sehr hohen Reinheitsgraden hergestellt werden.

**Das Flotationsverfahren**

Bei dem sogenannten Flotationsverfahren wird die Möglichkeit ausgenutzt, mineralische Stoffgemische durch Feinverteilung in Wasser zu sortieren.

Zunächst wird das Rohsalz fein gemahlen und mit einer im Kreislauf geführten Salzlösung vermengt. Mit sog. Flotationsmitteln werden die Kaliumchlorid-Kristalle an Luftblasen angelagert und an die Oberfläche gespült; es bildet sich ein mit Kaliumchlorid angereicherter Schaum, der abgeschöpft wird.

Nach Eindickung des Schaums wird das Kaliumchlorid abgefiltert und getrocknet. Der Rückstand in der Flotationslösung wird ebenfalls abgefiltert und die Lösung wieder in den Prozess zurückgeführt.

Bei diesem Verfahren ist der Energieaufwand vergleichsweise gering, da keine hohen Temperaturen für die Prozesssteuerung notwendig sind.

### ***Das ESTA®-Verfahren***

Beim elektrostatischen Trennverfahren werden die unterschiedlichen elektrischen Leitfähigkeiten der Oberflächen der einzelnen Salze ausgenutzt. Nach dem feinen Aufmahlen des Rohsalzes werden unter definierten klimatischen Bedingungen Konditionierungsmittel hinzugegeben und bei eingestellter Feuchtigkeit und Temperatur die verschiedenen Salze unterschiedlich elektrostatisch aufgeladen. Während die gemahlenen Salze durch ein starkes elektrisches Feld fallen, trennen sie sich aufgrund ihrer unterschiedlichen elektrischen Ladungen. Besteht das Rohsalz aus mehr als zwei verschiedenen Komponenten, erfolgt die Trennung stufenweise.

Mit diesem Verfahren kann das Rohsalz trocken in seine unterschiedlichen Bestandteile zerlegt werden.

## **2.5 Rückstände**

Da das Rohsalz nur 9 bis 20 %  $K_2O$  und 3 bis 12 %  $MgSO_4$  (Kieserit) enthält, sind Rückstände bei der Aufbereitung des Kalisalzes unvermeidlich. Somit kann ein großer Teil des geförderten Rohsalzes nicht verwertet werden und bleibt als sogenannter „Rückstand“ bei den Trenn- und Anreicherungsverfahren zurück. Damit können aus der geförderten Rohsalzmenge nur bis zu 22 % Produkte hergestellt werden, die restlichen 78 Prozent sind feste oder flüssige Rückstände. Die festen Rückstände bestehen überwiegend aus Steinsalz ( $NaCl$ ) mit Beimengungen an Kaliumchlorid ( $KCl$ ), Kieserit ( $MgSO_4 \times H_2O$ ) und Anhydrit ( $CaSO_4$ ). Die jeweilige Zusammensetzung dieser Rückstände variiert je nach Art des verarbeiteten Rohsalzes.

Der größte Teil fester Rückstände wird auf Halden abgelagert. Dabei erfolgt der Transport des Rückstands über Bänderanlagen, die Ablagerung über Absetzer. Auf den Halden werden Massenbewegungen des Rückstands in der Regel mit Planierdrauen durchgeführt. Nur ein kleiner Teil von etwa 7 % wird als Versatz in dafür geeignete Hohlräume unter Tage verbracht. Die in flüssiger Form anfallenden Rückstände werden als Abwasser entweder in Flüsse (Vorfluter) eingeleitet oder in geeignete geologische Formationen – wie den Plattendolomit – versenkt.

## **Kap. IV: Lage und Charakteristik der Halde III**

### **1. Das Untersuchungsgebiet – Lage, Geologie und Klima**

Der Standort „Wintershall“ des Werkes Werra der K+S Kali GmbH gehört zur Stadt Heringen (Gemarkung Heringen) und liegt im Kreis Hersfeld-Rotenburg (Regierungspräsidium Kassel) (s. Abb. IV/1).

Naturräumlich ist das Untersuchungsgebiet dem „Osthessischen Bergland“ zuzuordnen und ist am Rande des „Berkaer Beckens“ (Naturraumgröße: 8,43 km<sup>2</sup>) – Bestandteil des „Salzunger Werra-Berglandes“ (Haupteinheit) – gelegen. Im Westen schließt sich der Naturraum „Seulingswald“ als Untereinheit des „Fulda-Werra-Berglandes“ an.

Dominierend im Bereich der „Osthessischen Tafel“ ist der Buntsandstein; kleinräumig wechseln hier z. T. die Sedimente des unteren und mittleren Buntsandsteins.

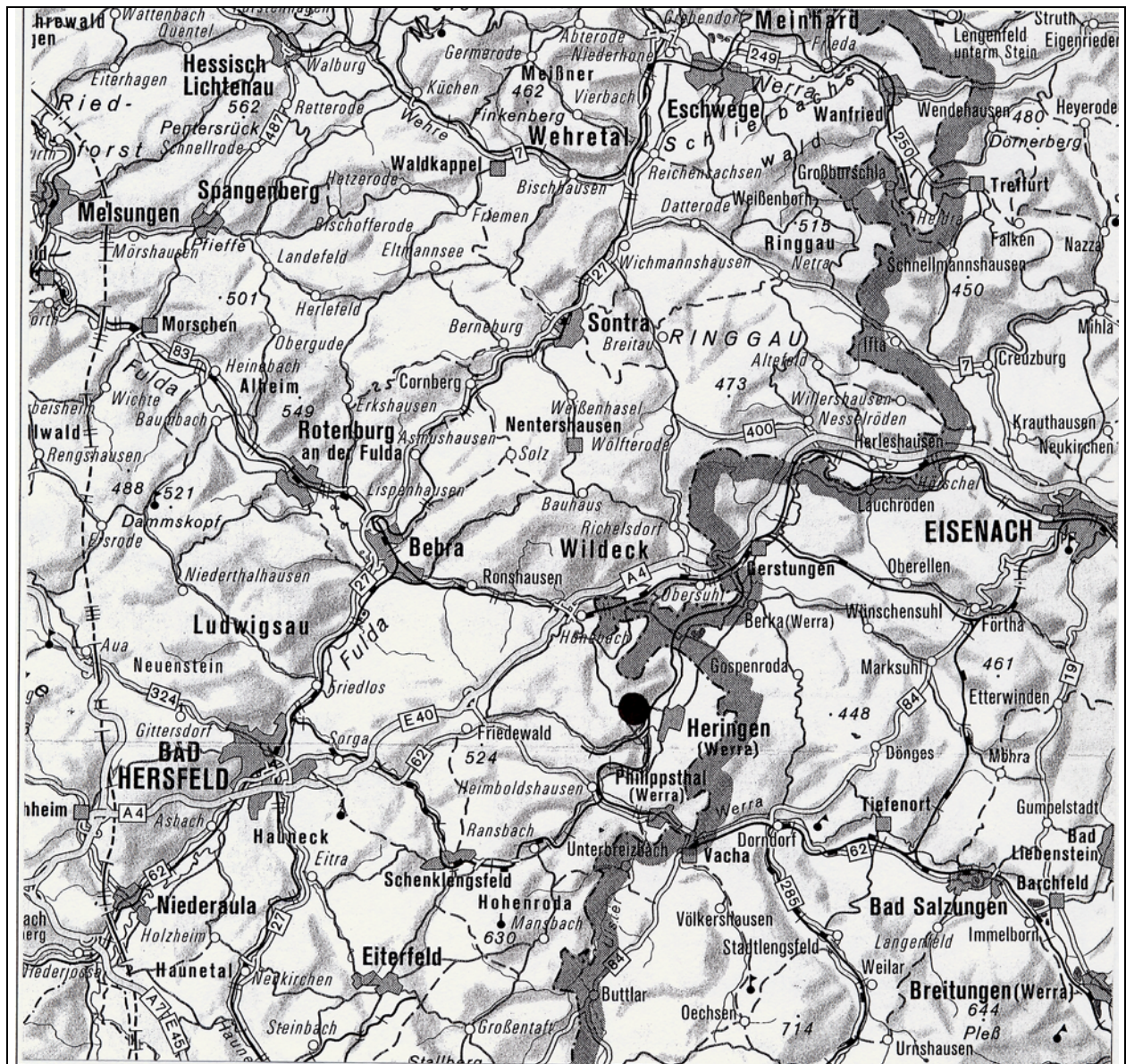


Abb. IV/1: Lage des Untersuchungsstandortes in Osthessen (Maßstab: 1 : 500.000).



Das Untersuchungsgebiet liegt am Ostabfall der Ausläufer des Seulingswaldes in einer Höhenlage zwischen 225 bis 315 m ü. NN und besitzt eine maximale Längenausdehnung von knapp 400 m in West-Ost-Richtung; Teile des Haldenplateaus erreichen Höhen von knapp über 335 m ü. NN (vergl. HESSISCHES LANDESVERMESSUNGSAMT, 1989). Die Gauss-Krüger-Koordinaten der Halde lauten R 3569/70 und H 5640/41.

Nach Osten schließt sich ein schmaler einreihiger Siedlungsgürtel an. Die darunter befindliche Kreisstraße K 3 begrenzt nach Westen hin das Werksgelände des K+S Werksstandortes „Wintershall“, an das sich wiederum nach Osten die Heringer Aue anschließt.

Die für den Naturraum charakteristischen Klimadaten lassen sich wie folgt beschreiben (s. HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, 1999): Aufgrund der auennahen Lage werden die jährlichen mittleren Tagesmitteltemperaturen mit Werten zwischen 8,1 und 9,0 °C angegeben. Im Januar liegen sie zwischen -0,9 und 0 °C, im Juli zwischen 17,1 und 18,0 °C und während der Sommermonate zwischen 16,1 und 17,0 °C.

Im langjährigen Mittel fallen im Untersuchungsraum 600-700 mm Niederschlag, die sich auf die einzelnen Monate folgendermaßen verteilen (s. Tab. IV/1).

Tab. IV/1: Mittlere Niederschlagssummen für den Untersuchungsstandort  
(Quelle: HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, 1999).

monatlich	[mm]	monatlich	[mm]	jahreszeitlich	[mm]
<b>Januar</b>	41-50	<b>Juli</b>	51-60	<b>Frühjahr</b>	151-175
<b>Februar</b>	31-40	<b>August</b>	61-70	<b>Sommer</b>	176-200
<b>März</b>	41-50	<b>September</b>	41-50	<b>Herbst</b>	126-150
<b>April</b>	51-60	<b>Oktober</b>	41-50	<b>Winter</b>	126-150
<b>Mai</b>	61-70	<b>November</b>	51-60		
<b>Juni</b>	71-80	<b>Dezember</b>	61-70	<b>Jahr</b>	600-700

Bei einer mittleren Sonnenscheindauer von 1400-1450 Std./a liegen die Werte vergleichsweise im unteren Bereich der sonst in Hessen üblichen Werte.

Die Grasreferenzverdunstung hingegen ist mit 550-575 mm/a als relativ hoch einzustufen. Daraus ergibt sich eine mittlere positive Wasserbilanz von 1-100 mm/a.

In Bezug auf die Windgeschwindigkeit sind die Mittelwerte zwischen 2,6 und 3,1 m/s eher im unteren Feld der Intensitätsskala einzuordnen.

Die klimatischen Gegebenheiten wurden im Rahmen dieser Untersuchung von Mai 1999 bis Dezember 2002 mittels Hygro-Thermograph und Hellmann-Niederschlagschreiber am Werksstandort aufgezeichnet (s. Abb. IV/2a-b und IV/3a-b).

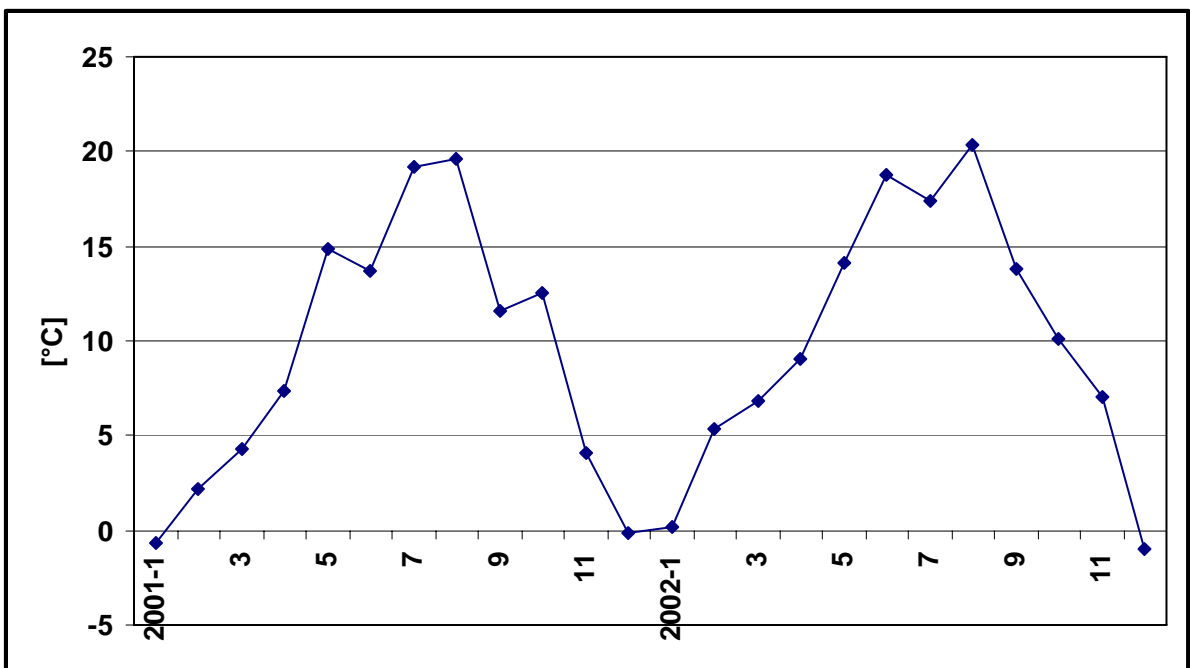
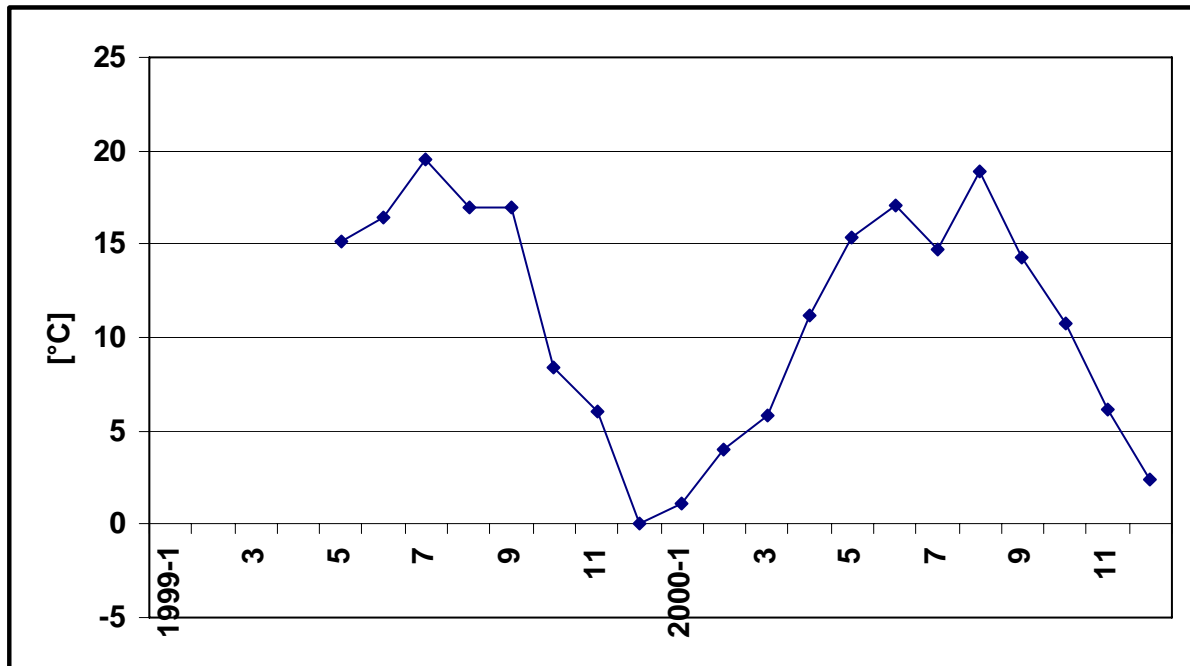


Abb. IV/2a-b: Gemessene monatliche Tagesmitteltemperaturen von Mai 1999 bis Dezember 2002.

Die durchschnittliche Tageslufttemperatur, bezogen auf einen Monat, erreichte in allen drei Vegetationsperioden einen Höchstwert nahe 20 °C. Auffällig war der Kälteeinbruch im Juli 2000 mit einem Absinken der mittleren Temperatur auf 15 °C, was sich im Wachstum der Vegetation widerspiegelt hat.

Während der Winter 1999/2000 relativ mild war, gab es in den Folgejahren zumindest in einem Wintermonat durchschnittliche Tagestemperaturen unter 0 °C. Im Winter 2001/2002 lag das Mittel der Monate Dezember und Januar um 0 °C.

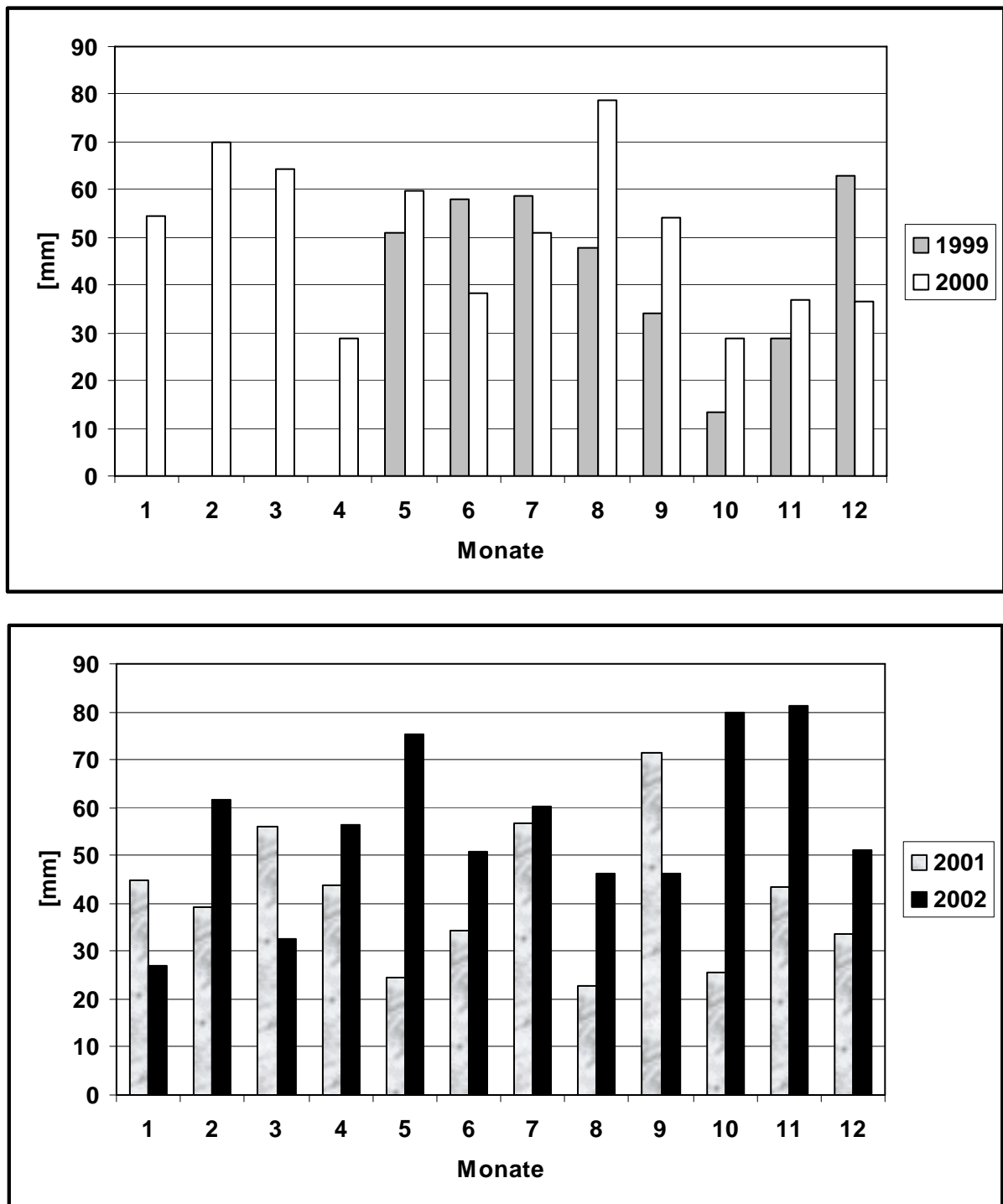


Abb. IV/3a-b: Gemessene monatliche Gesamtniederschläge von Mai 1999 bis Dezember 2002.

Wie die obenstehenden Abbildungen zeigen, gab es in den vergangenen Jahren keine ausgesprochenen Trockenphasen; deutlich sind die höheren monatlichen Niederschläge des Jahres 2002. – Die Jahresniederschlagssummen entwickelten sich wie folgt: Im Jahr 2000 fielen insgesamt 602 mm Niederschläge, das folgende war mit 496 mm relativ trocken. Dagegen konnte im Jahr 2002 eine Niederschlagsmenge von 668 mm gemessen werden.

## 2. Topographie der Halde III

Mit einer maximalen Längenausdehnung von knapp 400 m – gemessen vom oberen Haldenfuß am Waldrand bis zum unten gelegenen Absetzbecken für anfallendes Sickerwasser – und einer Breite bis zu ca. 200 m besitzt die Halde III des Werksstandortes „Wintershall“ ein Volumen von ungefähr 3 Mio. m<sup>3</sup> unterschiedlicher Salzzusammensetzungen. Die Schüttungen auf der Halde erfolgten von 1953 bis 1976. Da aufgrund von Niederschlagsereignissen einige Salze (z. B. NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, etc.) in Lösung gehen, hat das ursprüngliche Volumen der Halde im Lauf der vergangenen Jahre abgenommen. Eine genaue, aussagekräftige Massenermittlung über die noch vorhandenen Salzmenen liegt wegen Lösungserscheinungen, Bildung von Hohlräumen, erneuter Kristallisation und Verfestigungen nicht vor.

Die letzten Aufnahmen für die Erstellung eines aktuellen Tagerisses sind im Dezember 2002 abgeschlossen worden. Die Messungen haben in der Westexposition (entlang des Waldrandes) eine maximale Haldenhöhe von ca. 26 m ergeben. Der nach Norden gelagerte Haldenteil weist Aufschüttungshöhen zwischen 25 und 41 m auf; der höchste Höhenunterschied zwischen Haldenfuß und Plateaurand wird im Osten mit 67 m erreicht. An der relativ langen Südflanke liegen die Haldenhöhen zwischen 25 und 38 m.

Der Plateaubereich der Halde besteht nicht nur aus einem Plateau sondern aus vier, meist deutlich voneinander abgrenzbaren Plateauflächen, wobei die nach Westen exponierte Fläche mit einer Ausdehnung von ca. 60 x 60 m das größte als auch höchst gelegene Kleinplateau der Halde darstellt. Richtung Osten reihen sich die nächsten Kleinplateaus mit einer jeweiligen Höhenabstufung zwischen 10 und 15 m an.

Vom höchsten Punkt der Halde III (336 m ü. NN) im Westen fällt das gesamte Plateaugelände ostwärts mit einer Höhendifferenz von 42 m auf einer Länge von knapp 200 m. LÜCKE (1997) gibt in seiner Arbeit noch eine Maximalhöhe von 338 m ü. NN an.

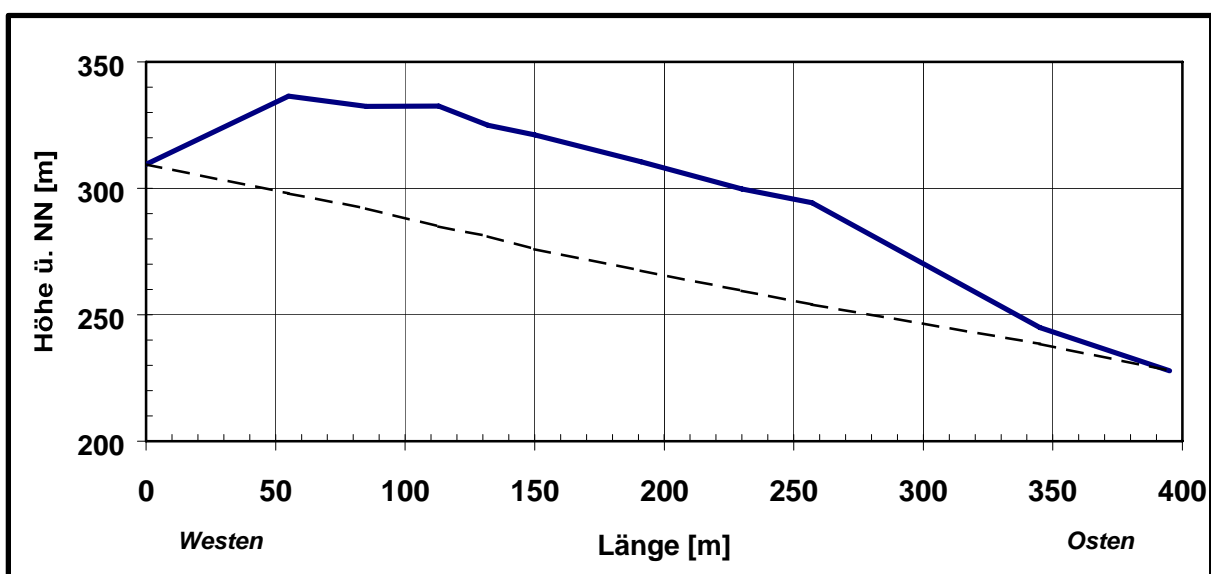


Abb. IV/4: Querschnitt des Haldenkörpers im Längsprofil.



Wie aus Abbildung IV/4 ersichtlich, ist das Geländere relief unterhalb des Haldenkörpers ebenfalls von West nach Ost fallend; der obere, waldnahe Haldenfuß liegt in einer Höhe von 309,5 m, der untere, oberhalb des Absetzbeckens für Sickerwasser, befindet sich 227,8 m ü. NN. Die Randbereiche des nach Norden gelegenen Haldenfußes sind z. T. mit Kristallisatablagerungen überdeckt.

Betrachtet man den Querschnitt der Halde im Breitenprofil (Haldenfuß Süden – Plateau 1 – Haldenfuß Norden), so wird deutlich, dass der Teil des Haldenkörpers auf der Nordseite tiefer als jener in Südexposition liegt (s. Abb. IV/5). Nach Norden schließt sich an den Haldenkörper ein Graben an. Vom Haldenfuß im Süden (307,0 m) steigt die Haldenflanke bis auf 332,6 m ü. NN am Plateaurand und fällt auf der Nordseite bis auf eine Höhe am Haldenfuß von 291,8 m ü. NN.

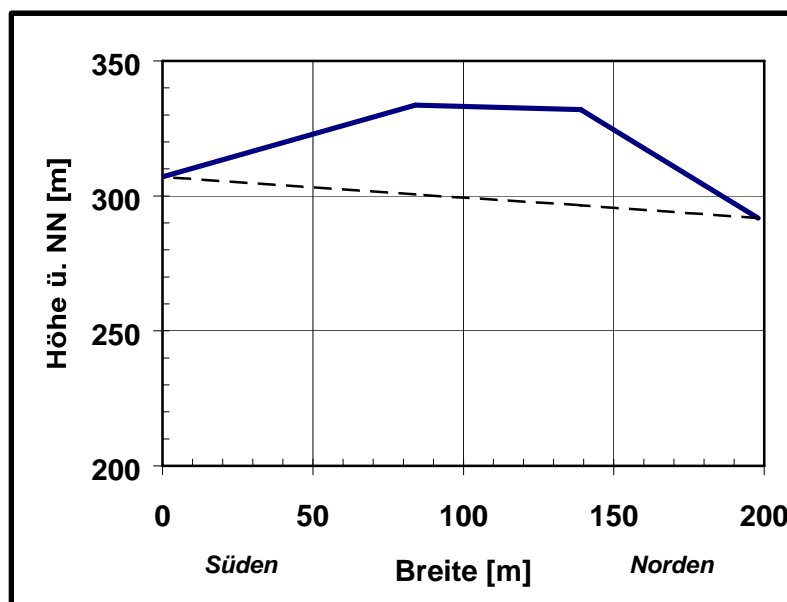


Abb. IV/5: Querschnitt des Haldenkörpers im Breitenprofil (Schnitt über Plateau 1).

Die dargestellten Querschnitte basieren auf den Angaben der im Rahmen des Tagesriss` durchgeführten Vermessungen (K+S KALI, 2002).

Die Steilheit der Haldenflanken ist recht unterschiedlich. Dabei liegen die Böschungswinkel meist zwischen 35 und 40° (vergl. SCHMEISKY et al., 1993), LÜCKE (1997) beschreibt Hangneigungen zwischen 28 und 35°, im Mittel bei annähernd 32°. Auf der Nord- und Ostseite steigen die Flanken vom Haldenfuß aus betrachtet zunächst leicht an, erreichen dann jedoch die steileren Böschungswinkel.

Da die abgebildeten Querschnitte nur schematisch anzusehen sind, wurde bewusst auf eine genauere Darstellung verzichtet, zumal die Oberflächenreliefs entlang der Flanken häufig in ihren Strukturen wechseln.

### 3. Oberflächengestalt des Haldenkörpers

Der größte Teil der Halde III besitzt eine überwiegend anhydritisch geprägte Lockerschichtauflage, die in den Übergangszonen mit anstehenden festen Salzen z. T. nur wenige Zentimeter stark ist oder gar fehlt (z. B. die Ostflanke), auf den meisten Haldenbereichen werden jedoch Mächtigkeiten zwischen 0,3 und 1,0 m, vereinzelt auch darüber, erreicht. Unter der Lockerschichtauflage steht der feste Salzkörper an.

Aufgrund der Witterungseinflüsse – vornehmlich durch Niederschläge – finden an dieser Halde verschiedenartige Materialverlagerungen statt, die wie folgt zu charakterisieren sind:

- (1) **Erosion:** Auf einigen Flankenbereichen wird in niederschlagsreichen Zeiten Lockermaterial in Richtung Haldenfuß transportiert. Dabei kann es sich um geringe Massen handeln, zum anderen aber auch um mehrere Kubikmeter. Somit verbleiben auf den meist unbewachsenen Flächen z. T. mehrere Dezimeter tiefe Erosionsrinnen. Besonders stark ausgeprägt ist die Erosionstätigkeit an der Südflanke.
- (2) **Lösungsverwitterung:** Bei dieser Art von Verwitterung wird der Übergang eines Minerals oder einer Verbindung vom festen Zustand in die wässrige Lösung verstanden, wobei keine chemische Reaktion im eigentlichen Sinne stattfindet (s. a. RICHTER, 1992). Besonders hervorzuheben neben anderen chloridischen Salzen ist das Steinsalz (NaCl), welches ausgesprochen leicht löslich ist. Bei relativ hohen Niederschlägen können entsprechend hohe Salzfrachten gelöst und aus dem Haldenkörper ausgetragen werden, die je nach Höhe der Außentemperatur mehr oder weniger stark ausfallen. – Durch in Lösung gehende Salze und den damit verbundenen Auswaschungen bilden sich trichterartige Gebilde heraus.
- (3) **Rutschung/Setzung:** Besonders auf den Plateaubereichen als auch an einigen Haldenunterflanken sind durch Auslösungen trichterartige Ausprägungen entstanden. Weitere Niederschläge vergrößern diese Trichter, locker gelagertes Anhydritmaterial rutscht in die Vertiefungen nach. Bei kleineren Auslösungstrichtern sind die Materialverlagerungen des Lockersubstrates als Rutschungen mit anschließenden Setzungen zu bezeichnen.
- (4) **Abbrüche/Einbrüche:** Verfestigtes Anhydritmaterial befindet sich auf dem nach Südosten gelegenen Bereich des 1. Plateaus und teilweise auch auf der Südflanke. Im Winterhalbjahr sind wegen der höheren Niederschläge und den Frostperioden häufig Abbrüche zu beobachten, was in erster Linie auf Frostsprengung zurückzuführen ist.

Aufgrund der starken Durchlässigkeit der Lockerschicht finden auch Lösungsvorgänge im Innern des Haldenkörpers statt, die z. T. beachtliche Hohlräume von mehreren Metern Tiefe und bis 1,5 m Durchmesser entstehen lassen. Oftmals sind diese Hohlräume noch mit schwach dimensionierten Schichten bedeckt, die vielfach von Baumwurzeln gehalten werden. Weitere intensive Niederschläge bringen die schwächer werdenden Deckschichten zum Einbruch (s. Abb. IV/6). Ein fortschreitendes Wegbrechen der Ränder bedeutet gleichzeitig eine Vergrößerung der Trichter. Dieses Phänomen kann auf den tiefer gelegenen Plateaus mehrfach beobachtet werden und ist sonst noch vereinzelt im unteren Randbereich der Haldenflanken

(Süden, Norden) anzutreffen. Somit ist auch die Begehrbarkeit der Halde in Teilbereichen nicht ganz ungefährlich.



Abb. IV/6: Durch Lösungsvorgänge entstandene Trichter auf der Haldenoberfläche.

Besonders charakteristisch für die anhydritisch geprägte und mit Gips versetzte Lockerschicht ist die Fähigkeit, bei Austrocknung der Oberfläche eine verfestigte Kruste auszubilden (s. a. SCHMEISKY, 1993), die zugleich einen Schutz vor Winderosion darstellt. Ihre Mächtigkeit umfasst in der Regel nur wenige Millimeter. Die Verfestigung bleibt bis zur nächsten Durchfeuchtung durch Niederschläge erhalten.

Ohne den Einfluss von Vegetation unterliegt der Haldenkörper einer nicht zu unterschätzenden Dynamik, die sich besonders durch Lösungsvorgänge der leichter löslichen Salze und durch niederschlagsbedingte Erosionen bzw. Rutschungen äußern; Abbrüche bzw. Einbrüche zählen ebenfalls dazu. – Diese Dynamik ist ganzjährig feststellbar, im Winterhalbjahr jedoch deutlich intensiver ausgeprägt.

#### **4. Vegetation auf der Halde III**

Nach den ersten Begrünungsversuchen des Fachgebietes Anfang der 80er Jahre hatten sich bereits bis zu den Aufnahmen von LÜCKE (1997) einige krautige Arten sowie Gehölze eingefunden. Während der krautige Pflanzenbestand hinsichtlich Arteninventar und Verbreitung in der Untersuchung von LÜCKE nicht mit betrachtet wurde, erfolg-



ten die Aufnahmen der siedelnden Gehölzarten im Umfeld der Halde und auf dem Haldenkörper, als auch die räumliche Verteilung der Individuen.

Das Arteninventar, welches sich durch natürliche Sukzession auf der Halde III etablieren konnte, umfasst in erster Linie Pionierarten bzw. Arten, die den Rohbodenkeimern zuzuordnen sind und somit ebenfalls Pioniercharakter besitzen. Besonders die reinen Pionierarten stellen in der Regel geringe Ansprüche an Nährstoff- und Wasserversorgung.

Vor Beginn dieser Arbeit hat sich die Situation wie folgt dargestellt: Die beiden Baumarten *Betula pendula* (Sand-Birke) und *Pinus sylvestris* (Wald-Kiefer) sind die am häufigsten anzutreffenden Gehölze (s. a. LÜCKE, 1997) gewesen. Als weitere Pionierbaumarten haben sich *Populus tremula* (Zitter-Pappel) und *Salix caprea* (Sal-Weide) auf dem Haldenkörper angesiedelt; während die erste Art relativ häufig vertreten ist, gedeiht die *Salix*-Art eher vereinzelt im Lockersubstrat. Die zu den Rohbodenkeimern zählenden Arten *Larix decidua* (Europäische Lärche) und *Picea abies* (Rot-Fichte) stocken dort ebenfalls in Form von Einzelexemplaren oder Trupps. Weitere auf der Halde siedelnde Gehölzarten werden im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen dargestellt.

## 5. Haldenumfeld

Die Halde III ist von verschiedenen Landnutzungsarten umgeben. Unterhalb des fallenden Reliefs der Ostflanke liegt ein schmaler Siedlungsbereich.



Abb. IV/7: Blick auf das vorgelagerte Umfeld der Südflanke.

In nördlicher Richtung ist der Haldenkörper überwiegend von einem schmalen Gehölzstreifen begrenzt, an den landwirtschaftlich genutzte Flächen (Ackerland, Weideflächen, Brache) anschließen. Die Westexposition sowie der obere Bereich der nach Süden gelegenen Flanke leiten direkt über in bewirtschafteten Wald. Der verbleibende Teil der südlichen Flanke ist von Feldgehölzen umgeben, die vorwiegend aus Pflanzungen hervorgegangen sind und weiter südwärts in natürlich angesiedelte Gehölzgruppen übergehen, die z. T. Weideflächen voneinander trennen.

## **6. Wildeinfluss und Feldvorarbeiten**

Die Lage der Halde inmitten verschiedener Landnutzungsarten in Verbindung mit den Gehalten unterschiedlicher Salze wirkt sehr anziehend für Wild, insbesondere für Rehwild.

Selbst zu Tagzeiten sind vor Beginn dieser Arbeit vier bis sechs Individuen auf bzw. in unmittelbarer Umgebung der Halde beobachtet worden. Nach der ersten Inaugenscheinnahme der örtlichen Situation war auch die Verbissproblematik an den auf dem Haldenkörper stockenden Gehölzen und krautigen Arten klar erkennbar.

Für den Erfolg von Begrünungsmaßnahmen – insbesondere was das An- und Aufwachsen gepflanzter Gehölze und die Entwicklungen im Rahmen der natürlichen Sukzession angeht – ist die Ausschaltung der Verbissbelastung durch Rehwild vorrangiges Ziel gewesen. Vor diesem Hintergrund wurde im Winterhalbjahr 1997/1998 auf einer Länge von ca. 1,1 km ein rehwildsicherer Zaun errichtet.

Im Bereich steilerer Lagen kam ein Wildzaun mit einer Höhe von 2,0 m zum Einsatz. Innerhalb der einzelnen Zaunfelder wurde jeweils ein Befestigungshering für die bodennahe Fixierung in das Erdreich getrieben. Somit konnte der Wildeinfluss bei den nachfolgenden Untersuchungen und Begrünungen erfolgreich ausgeschaltet werden.

Trotzdem erfordert eine nachhaltige Zaunwirkung laufende Kontrollen der Tore und vor allem nach stürmischer Witterung und stärkerem Schneefall. Beschädigte Zäune wirken sich in kürzester Zeit negativ aus. Nach MAYER (1992) sind drei Rehe in einer 4 ha großen Umzäunung einer Rehwilddichte von 75 Stück/100 ha (!) gleichzusetzen.

## **Kap. V: Methodik und Materialien**

Üblicherweise werden im Rahmen der Beschreibung der angewandten Methoden sowie der verwendeten Materialien sämtliche Verfahrensweisen dargestellt. Diese Vorgehensweise ist dann in ihrer Anwendung praktikabel, sofern die Übersichtlichkeit gewahrt bleibt.

Aufgrund der Vielzahl methodisch verschieden zu bewertender Untersuchungen werden in diesem Teil diejenigen Verfahrensweisen und Materialien beschrieben, die für alle nachfolgenden Untersuchungen die Grundlage bilden. Tiefergehende oder abgewandelte Verfahrensweisen werden zu Beginn einer Untersuchung als „Versuchsspezifische“ bzw. „Untersuchungsspezifische Methodik“ beschrieben.

### **1. Bestimmung chemisch-physikalischer Parameter**

Bei Regeluntersuchungsverfahren wird die Methodenbeschreibung auf das Messprinzip (ZWICKER, 2003), den Aufschluss und auf die verwendete Messeinrichtung beschränkt. Somit sind Analyseverfahren, die nach DIN durchgeführt worden sind, nur soweit als notwendig dokumentiert, da sie in der bekannten Literatur nachgeschlagen werden können.

#### **1.1 Probenaufbereitung, Messungen von Basisparametern**

Die **Bestimmung der Trockensubstanz** erfolgte für alle Substrate über die Trocknung bis zur Gewichtskonstanz bei 105 °C. – Frische Biomasse wurde bei 60 °C im Umluft-trockenschrank vorgetrocknet, die anschließende Trocknung bei 105 °C geschah an eingewogenen Teilproben vor der chemischen Endanalyse.

Im Rahmen der **Aufbereitung von Substrat- und Biomasseproben** wurden diese vor der Analyse zunächst homogenisiert, d. h. mit der Planetenmühle Pulverisette 5, Firma Fritsch, im Zirkonoxidbecher mit vier Kugeln (40 mm) aus demselben Werkstoff staubfein gemahlen.

**Wässrige Proben**, die bei der Durchführung eines Sickerwasserversuchs anfielen, wurden zuvor durch einen 595 ½ Faltenfilter, Fa. Scheicher & Schuell, filtriert.

Der **Aschegehalt** ist durch Veraschung bei 550 °C im Muffelofen thermicon T, Firma Heraeus, ermittelt worden.

Die **elektrische Leitfähigkeit** (eLF) wurde über das Konduktometer LF 196, mit der Messzelle TetraCon 96A-4, Fa. WTW, ermittelt.

Die **Bestimmung des pH-Wertes** erfolgte mit dem pH-Meter PH 196, Fa. WTW, und der Einstabelektrode 105 von Ingold. Für die Messung des pH-Wertes im Substrat wurde die lufttrockene Probe zunächst in 0,1 molarer Kaliumchloridlösung (KCl) im Verhältnis 1:2,5 über die Dauer von 30 Minuten geschüttelt, anschließend im selben Verhältnis mit deionisiertem Wasser aufbereitet (vergl. VDLUFA, 1991).

## **1.2 Bestimmung von Makronährelementen**

### **1.2.1 Substratproben**

Die Bestimmung von ***N-Gesamt ( $N_{ges}$ ) in Boden- und Pflanzenproben*** erfolgte nach einem abgewandelten Verfahren der trockenen Oxidation nach DUMAS am Stickstoffanalyser macro-N, Fa. Foss Heraeus.

***Magnesium, Calcium und Kalium*** wurden im salzsauren Aufschluss nach Zugabe der entsprechenden Ionisationspuffer am AAS Unicam 939 der Fa. ATI Unicam gemessen.

Die Messung des Gehalts von ***Orthophosphat*** erfolgte photometrisch im Fließanalyseverfahren am AutoAnalyser II der Fa. Technicon.

Die Bestimmung von ***Schwefel*** erfolgte durch Lösung des Sulfats im 1:10 Wassereextrakt, anschließend die photometrische Bestimmung mit Zweikanalverfahren mit Barium und Calciumchlorid sowie dem Komplexbildner Methylthymolblau.

Als Methode zur Bestimmung von ***Chlorid*** wurde die potentiometrische Titration nach wässriger Elution gewählt.

### **1.2.2 Biomassenproben**

Die Bestimmung von ***Stickstoff*** in der pflanzlichen Biomasse erfolgte nach derselben Methode wie in den Substrat-Proben (s. o.).

***Magnesium, Calcium, Kalium und Chlorid*** wurden wie oben beschrieben analysiert.

Die Messung des Gehalts von ***Orthophosphat*** erfolgte photometrisch im Fließanalyseverfahren nach der sog. „Gelbmethode“ – Molybdat-Vanadat.

Die Bestimmung von ***Schwefel*** wurde mittels Druckaufschlussverfahren mit  $\text{HNO}_3$  durchgeführt.

Als Methode zur Bestimmung von wurde die potentiometrische Titration nach wässriger Elution gewählt.

## **1.3 Bestimmung von Mikronährelementen**

Die Bestimmung der Spurenelemente ***Eisen, Mangan, Zink, Kupfer, Molybdän, Bor und Kobalt*** in den Substraten erfolgte im Königswasseraufschluss gemäß DIN 38414-S7 mittels der ICP-Modula (radiales Plasma) der Firma Spectro Analytics.

Die Bestimmung der Spurenelemente in Biomasseproben erfolgte nach Mikrowellenaufschluss. Hierzu wurden 0,5 g Probenmaterial mit 10 ml  $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ -Gemisch bei 200 °C im Gerät Mars 5 Firma CEM, Kamp-Lintfort, aufgeschlossen. Die Elementbestimmung wurde mittels ICP-EOP vorgenommen. Teilweise erfolgte der Einsatz des Ultraschallzerstäubers USN (Spectro Analytics).

Bei den untersuchten Elementen wurden folgende Bestimmungsgrenzen festgelegt:

Element	Bestimmungsgrenze HNO <sub>3</sub> -Extrakt	Bestimmungsgrenze NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> -Extrakt
<i>Eisen</i>	2,5 mg/kg	0,25 mg/kg
<i>Mangan</i>	0,5 mg/kg	0,05 mg/kg
<i>Zink</i>	1,0 mg/kg	0,10 mg/kg
<i>Kupfer</i>	0,5 mg/kg	0,05 mg/kg
<i>Bor</i>	1,5 mg/kg	0,15 mg/kg
<i>Molybdän</i>	0,5 mg/kg	0,05 mg/kg
<i>Kobalt</i>	0,5 mg/kg	0,05 mg/kg

Die beschriebene Vorbehandlung und Analytik wurde durch das akkreditierte Labor des Kaliforschungs-Instituts bzw. der Firma Bio-Data GmbH, Gießen, geleistet.

#### **1.4 Bestimmung von Stoffgehalten in flüssigen Phasen**

Die Bestimmung von Chlorid, Nitrat und Ammonium erfolgte im Fließanalyseverfahren am AutoAnalyser II der Fa. TECHNICON.

**Chlorid**-Konzentrationen wurden potentiometrisch gegen eine Silberchlorid-Referenzelektrode gemessen.

Die **Nitrat**-Bestimmung erfolgte nach DIN 38405, Teil 28 und die von **Ammonium** nach DIN 38406, Teil 5.

## **2. Versuche im Gewächshaus**

Die Gefäß- und Aussaatversuche wurden im Kalthausbereich des standorteigenen Gewächshauses am Fachbereich „Ökologische Agrarwissenschaften“ in Witzenhausen durchgeführt.

### **2.1 Gefäße für die Versuchsdurchführung**

Für Versuche, bei denen Substrate entsprechender Mächtigkeit begrünt werden sollten, wurden **Gefäße des Systems Kick-Brauckmann** verwendet, bei dem sich ein bodenloser Innentopf in einem Übertopf mit Abfluss für Sickerwasser befindet.

Das Gefäßvolumen beträgt ca. acht Liter, die für Substrate entstehende Kreisfläche im oberen Bereich des Gefäßes misst 0,0346 m<sup>2</sup>. Zur Gewährleistung des Ablaufes von



Sickerwasser wurde auf den Gefäßboden zunächst eine mehrere Zentimeter starke Kiesdrainageschicht angelegt und diese mit dem jeweiligen Substrat bis ca. zwei Zentimeter unter die Innentopf-Oberkante überfüllt. Um die besonders lockere Lagerung nach dem Einfüllen der Substrate zu verringern, erfolgte ein dreimaliges dezentes Aufstoßen auf den Boden.

Aussaatsversuche fanden in sog. **Aussaatschalen** statt. Hierbei handelt es sich um rechteckige Kunststoffschalen, die eine Substratoberfläche nach Befüllung einer Schale von 46,5 x 28,5 cm erlauben. Das Material kann 4-4,5 cm mächtig eingefüllt werden, damit eine ausreichende Bewässerungsmöglichkeit gegeben ist. Überschüssiges Gießwasser kann durch ausgestanzte Löcher im Boden einer Aussaatschale entweichen.

## **2.2 Saatgut**

Bei den Versuchen im Gewächshaus kam folgendes Saatgut zum Einsatz.:

Für die Aussaatversuche mit **Gräsern** wurde zum einen *Lolium perenne* (Deutsches Weidelgras), Sorte LISUNA, der DEUTSCHEN SAATVEREDELUNG LIPPSTADT-BREMEN GMBH verwendet, welches bereits bei zahlreichen anderen Gefäßversuchen am Fachgebiet Verwendung gefunden hat (s. a. LÜCKE, 1997, SCHLÖSSER, 1997). Zum anderen wurde *Festuca rubra* (Rot-Schwingel), Sorte LIBANO, ausgewählt.

Die Aussaatstärke betrug umgerechnet 30 g/m<sup>2</sup>, was den üblichen Empfehlungen für die Ansaaten von Gräsern entspricht.

Bei den Aussaatversuchen mit Gehölzen wurden die Arten *Pinus sylvestris* (Wald-Kiefer), *Picea abies* (Rot-Fichte) und *Betula pendula* (Sand-Birke) verwendet. Die Fa. CONRAD APPEL GMBH, Beersfelden, lieferte das Saatgut.

Von den lieferbaren Samenmaterialien ist von *Picea abies* die Herkunft 84007 und von *Pinus sylvestris* die Herkunft 85105 verwendet worden. Beim Saatgut von *Betula pendula* handelte es sich um deutsches Material.

Bewässert wurden die Gefäße und Aussaatschalen mit deionisiertem Wasser nach Bedarf.

## **2.3 Haldensubstrat – verwendete Dünger und Komposte**

Die Hauptkomponente für die Untersuchung war das von der Lockerschicht des Westhangs entnommene Substrat der Halde III. Bei allen Gewächshausversuchen wurde dieselbe Materialqualität verwendet.

Als Volldünger sind in den Gewächshaus-Versuchen die **Mehrnährstoffdünger** N-P-K (15-15-15) und N-P-K-Mg (12-12-17-2) verwendet worden. Die Gabe an Dünger orientierte sich immer an der Stickstoff-Zuführung, die umgerechnet 35 kg N/ha betrug.

Für die Phosphordüngung fand Triple-Phosphat mit einem  $P_2O_5$ -Anteil von 45 % Anwendung.

Als **Spurennährstoff-Mischdünger** kam das Produkt Flory® 10 (EWG-Düngemittel) der Fa. EUFLOR GMBH (Gartenbedarf) zum Einsatz. Verwendet wird dieser Mischdünger im Bereich des Zierpflanzenbaus. Die beteiligten Spurennährelemente lassen sich wie folgt quantifizieren:

10 % MgO	wasserlösliches Magnesiumoxid
0,5 % B	wasserlösliches Bor
0,02 % Co	wasserlösliches Kobalt
2,0 % Cu	wasserlösliches Kupfer als Chelat von EDTA
3,5 % Fe	wasserlösliches Eisen als Chelat von HEDTA
0,5 % Mn	wasserlösliches Mangan
0,8 % Mo	wasserlösliches Molybdän
0,3 % Zn	wasserlösliches Zink

Gemäß den Empfehlungen für die Anwendung wurde der obere Mengenaufwand von 100 g/m<sup>3</sup> Substrat verwendet.

Sowohl bei einem Sickerwasserversuch als auch bei Versuchen mit Ansaaten (Gräser, Gehölze kamen auch sog. Bodenhilfsstoffe zum Einsatz: Zum einen handelte es sich um **Grüngut-Kompost** aus der Kompostierungsanlage in Homberg/Efze, zum anderen um **Bioabfall-Kompost** aus der Kompostierungsanlage der Stadt Witzenhausen, jeweils abgesiebt auf max. 20 mm Korngröße, Rottegrad V.

### 3. Versuche auf der Halde

#### 3.1 Ansaaten

Ansaaten auf den Flanken und Plateaulagen des Haldenkörpers erfolgten mit Arten der bisher bewährten Gräsermischung (vergl. LÜCKE, 1997).

Anteilig setzte sich das Saatgut zusammen aus:

- 20 % *Lolium perenne* (Deutsches Weidelgras)
- 20 % *Festuca rubra* (Rot-Schwingel), Sorte Libano
- 20 % *Festuca rubra* (Rot-Schwingel), Sorte Liroso
- 20 % *Dactylis glomerata* (Knaulgras), Sorte Lidacta
- 20 % *Festuca ovina* (Schaf-Schwingel), Sorte Livina

Ausgesät wurde der Samen in einer Stärke von ca. 30 g/m<sup>2</sup> innerhalb der Versuchsflächen, auf den sonstigen Haldenbereichen wurde die Aussaatstärke reduziert und lag bei ca. 20 g/m<sup>2</sup>.

Nähere Einzelheiten können der Beschreibung der versuchsspezifischen Methodik einer jeden Untersuchung entnommen werden.

### **3.2 Verwendete Dünger und Komposte**

Ähnlich wie bei der Durchführung im Gewächshaus kam als Mehrnährstoffdünger N-P-K-Mg (12-12-17-2) zum Einsatz. Die Gabe an Dünger orientierte sich immer an der Stickstoff-Zuführung, die bei drei Düngungsterminen pro Jahr jeweils eine Gabe von umgerechnet 35 kg N/ha betrug.

Als Komposte, die ebenfalls im Gewächshaus mit verwendet wurden, sind auf ausgewiesenen Flächen Grüngut- und Bioabfall-Kompost aufgetragen worden.

Welche Varianten gewählt wurden und wie diese im Versuch behandelt worden sind, wird in der jeweils untersuchungsspezifischen Methodik beschrieben.

## **4. Eigenschaften: Grüngut-, Bioabfall-Kompost**

Bei den in den verschiedenen Versuchen und Untersuchungen verwendeten Kompostarten (Grüngut-Kompost, Bioabfall-Kompost) konnten die folgenden Gehalte an Makro- bzw. Mikronährstoffen nachgewiesen werden (s. Tab. V/1).

Tab. V/1: Makro- und Mikronährstoffe in den verwendeten Grüngut- und Bioabfallkomposten.

Kompostart	N [%]	P [%]	K [%]	Mg [%]	Ca [%]	S [%]	Cl [%]
<b>Grün- 1998</b>	1,63	0,37	1,92	0,50	1,92	2,79	0,12
<b>Bio- 1998</b>	1,82	0,51	2,51	0,85	2,96	5,19	0,46
<b>Grün- 2000</b>	2,03	0,43	1,98	0,50	2,23	3,01	0,20
Kompostart	Fe [%]	Mn [%]	Zn [%]	Cu [ppm]	Mo [ppm]	B [ppm]	Co [ppm]
<b>Grün- 1998</b>	1,38	0,05	0,01	26	3	21	7
<b>Bio- 1998</b>	1,12	0,05	0,02	34	2	23	4
<b>Grün- 2000</b>	1,19	0,04	0,01	26	2	22	6

## 5. Statistische Absicherung

Um mit statistischen Methoden Ergebnisse von Untersuchungen ordentlich abzusichern, sind bei Einzelerhebungen ausreichend hohe Grundgesamtheiten bzw. bei Beprobungen von Biomassen oder Substraten eine jeweils entsprechende Anzahl von Wiederholungen notwendig. Dies setzt nicht nur ein gewisses Maß an Homogenität, beispielsweise bei der Anlage von Versuchsflächen, voraus, sondern auch die Entwicklung eines Versuchs, was Anwuchsraten z. B. angeht, sowie dessen anzunehmenden Ausgang sind im Vorfeld abzuschätzen.

Die Pflanzung von Bäumen erfolgte mit Zahlen von mindestens 150 pro Art und Exposition. Bei Sondersortimenten wurde eine Mindestanzahl von 100 Stück gepflanzt.

Die Auswertung von Anwuchsraten und Wachstumsentwicklungen ist an den verbleibenden Exemplaren, ausgehend von der jeweiligen Mindestanzahl, durchgeführt worden. Auf einigen bepflanzten Teilflächen waren die Mortalitätsraten so hoch, dass pro Art z. T. nur wenige Exemplare überlebten. – Auch die Mittelwertberechnung von Höhen- und Durchmessern erfolgte jeweils mit der gesamten zur Verfügung stehenden Pflanzenzahl je Art und Exposition, da beispielsweise die am besten entwickelten Individuen auch am ehesten die Möglichkeit haben, sich langfristig durchzusetzen. Soweit praktikabel und sinnvoll ist eine Regressionsanalyse durchgeführt worden.

Beprobungen von Biomassen und Untersuchungen im Gewächshaus erfolgten in jeweils fünffacher Wiederholung.

In einigen Fällen mussten bei der Auswahl der Versuchsflächen erhebliche Einschränkungen hinsichtlich der Homogenität der Parzellen hingenommen werden, da die Haldenoberfläche häufig sehr verschieden beschaffen ist.

## Kap. VI: Eigenschaften des Haldensubstrats

### 1. Salzzusammensetzung des Haldenkörpers

Der Haldenkörper besteht im Innern aus einem verfestigten Salzkörper. Oben an steht in verschiedenen Mächtigkeiten eine Lockerschicht, die in Teilen der Halde auch in feste Aggregatformen übergeht. In einigen Bereichen weicht die Färbung des Substrats von der Grundfarbe „hellgrau“ ab und geht in einen Beige-Ton über. – Wie die Ergebnisse einer Phasenanalyse zeigen, besteht der überwiegende Teil der Lockerschicht aus Gips (mit Kristallwasseranteil) und Anhydrit (s. Tab. VI/1). Magnesium- und Natriumsalze finden sich nicht in der Lockerschicht.

Tab. VI/1: Phasenanalyse des Lockersubstrats mittels Röntgendiffraktometrie (K+S KALIFORSCHUNGSINSTITUT, 2002).

Lockersubstrat (Färbung)	CaSO <sub>4</sub> (x 2 H <sub>2</sub> O) <i>Gips</i>	CaSO <sub>4</sub> <i>Anhydrit</i>	MgSO <sub>4</sub> (x 6 H <sub>2</sub> O) <i>Hexahydrit</i>	MgSO <sub>4</sub> (x 7 H <sub>2</sub> O) <i>Epsomit</i>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> <i>Thenardit</i>	SiO <sub>2</sub> <i>α-Quarz</i>
Westen (grau)	++	+	-	-	-	-
Süden (beige)	++	+	-	-	-	-
Süden (grau)	++	++	-	-	-	-
Plateau 1 (grau)	++	++	-	-	-	-
Plateau 2 (beige)	++	++	-	-	-	-
Plateau 2 (grau)	++	+	-	-	-	-

Anders ist die Salzzusammensetzung des verfestigten Haldenkörpers bzw. des auskristallisierenden Austrittswassers an den Flanken (s. Tab. VI/2).

Kristallisatdecken im Nordbereich der Halde, die sich aus gelösten Salzen gebildet haben, bestehen meist aus Bittersalzen (MgSO<sub>4</sub>); vereinzelt gibt es Beimengungen von Glaubersalz (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) und etwas Siliziumoxid. Gips und Anhydrit treten im anstehenden Salzkörper der Halde mit hinzu; Glaubersalz ist hier nicht nachgewiesen worden.

Bei den anderen Expositionen ist die Salzzusammensetzung recht ähnlich. Überaus deutlich ist das Vorhandensein von Gips und Epsomit, häufig auch Anhydrit als wichtiger Bestandteil des Salzkörpers. Bei den Kristallisatdecken fehlen grundsätzlich Gips und Anhydrit, die aufgrund ihrer schwerlöslichen Beschaffenheit dorthin nicht transportiert werden, sondern als locker gelagerter Rückstand auf der Oberfläche der Halde verbleiben.

Nur in den Kristallisatdecken ist vereinzelt Glaubersalz nachgewiesen worden, Siliziumoxid hat eine untergeordnete Rolle gespielt.

Tab. VI/2: Phasenanalyse des Lockersubstrats mittels Röntgendiffraktometrie (K+S KALIFORSCHUNGSINSTITUT, 2002).

(Abkürzungen: Kr = Kristallinat, O = Oberhang, U = Unterhang, M = Mittelhang)

Verfestigtes Salz	CaSO <sub>4</sub> (x 2 H <sub>2</sub> O) <i>Gips</i>	CaSO <sub>4</sub> <i>Anhydrit</i>	MgSO <sub>4</sub> (x 6 H <sub>2</sub> O) <i>Hexahydrit</i>	MgSO <sub>4</sub> (x 7 H <sub>2</sub> O) <i>Epsomit</i>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> <i>Thenardit</i>	SiO <sub>2</sub> <i>α-Quarz</i>
Norden (Kr)	-	-	+	++	(+)	(+)
Norden (O)	++	(+)	-	++	-	-
Norden (U)	++	+	(+)	++	-	-
Osten (Kr)	-	-	-	++	-	-
Osten (O)	++	+	(+)	++	-	-
Osten (U)	++	(+)	(+)	++	-	-
Süden (Kr)	-	-	-	++	(+)	-
Süden (O)	++	++	-	++	-	-
Süden (M)	++	+	(+)	++	-	-
Süden (U)	++	++	++	++	-	(+)
Westen (O)	++	++	+	++	-	-
Westen (U)	++	(+)	+	++	-	-
Plateau 1	++	+	+	++	-	-
Plateau 2	++	-	+	++	-	-
Plateau 3	++	(+)	(+)	++	-	-
Plateau 4	++	(+)	+	++	-	-

Auch die vom standorteigenen Labor Wintershall getätigten Analysen zeigten in der Lockerschicht nur Gips und Anhydritanteile, wobei der Schwerpunkt beim Gips liegt. Mit dem Verfahren der Röntgendiffraktometrie ist dieses Ergebnis bestätigt worden.

## 2. Chemisch-physikalische Parameter

Die ermittelten elektrischen Leitfähigkeiten im Substrat der Lockerschichtauflage lagen in der Regel zwischen 2,2 und 2,3 mS/cm, was in erster Linie mit der hohen Ionenkonzentration des Calciumsulfats zusammenhängt. – Die ermittelten pH-Werte in den Proben wiesen Werte zwischen 7,0 und 7,2 auf.

Die analysierten Nährstoffgehalte in den genommenen Substratproben lassen sich wie folgt charakterisieren (s. Tab. VI/3).

Tab. VI/3: Gehalte an Nährstoffen im Haldensubstrat im Vergleich zu Böden (AMBERGER, 1996).  
(Abkürzungen: U = Unterhang, O = Oberhang)

Exposition	N [%]	P [%]	K [%]	Mg [%]	Ca [%]	S [%]	Cl [ppm]
Süden-U	0,007	0,003	0,041	0,079	15,47	11,25	20
Süden-O	0,007	0,003	0,018	0,093	14,89	11,47	18
Südwest	0,007	0,003	0,075	0,044	15,96	11,98	20
Westen-U	0,007	0,002	0,066	0,052	15,45	11,26	40
Westen-O	0,007	0,002	0,039	0,041	15,04	11,43	19
Norden-U unbegrünt	0,007	0,002	0,036	0,041	14,71	10,94	20
Norden-O unbegrünt	0,007	0,002	0,024	0,051	14,58	10,94	20
Norden-U begrünt	0,007	0,007	0,067	0,035	14,84	10,98	19
Norden-O begrünt	0,007	0,005	0,045	0,051	14,49	11,07	38
Plateau 1	0,007	0,003	0,008	0,023	14,66	10,98	38
Plateau 2	0,007	0,003	0,012	0,025	14,25	11,06	19
<i>Vergl. Boden</i>	<i>0,02-0,4</i>	<i>0,02-0,15</i>	<i>0,2-3</i>	<i>0,05-0,5</i>	<i>0,1-1,2</i>	<i>0,02-0,2</i>	<i>5- &gt;800</i>
Exposition	Fe [‰]	Mn [ppm]	Zn [ppm]	Cu [ppm]	Mo [ppm]	B [ppm]	Co [ppm]
Süden-U	1,0	5	3	7	< 0,5	2	< 0,3
Süden-O	1,5	10	6	7	< 0,5	3	< 0,3
Südwest	2,2	6	12	7	< 0,5	3	< 0,3
Westen-U	0,5	1	2	1	< 0,5	2	< 0,3
Westen-O	0,4	1	2	2	3	3	< 0,3
Norden-U unbegrünt	0,5	3	2	1	< 0,5	2	< 0,3
Norden-O unbegrünt	0,7	4	2	2	< 0,5	2	< 0,3
Norden-U begrünt	0,9	2	1	2	< 0,5	2	< 0,3
Norden-O begrünt	0,9	5	2	2	< 0,5	3	< 0,3
Plateau 1	0,6	2	2	1	< 0,5	1	< 0,3
Plateau 2	1,2	3	3	2	< 0,5	3	< 0,3
<i>Vergl. Boden</i>	<i>5-50</i>	<i>200-3000</i>	<i>10-300</i>	<i>5-50</i>	<i>0,5-5</i>	<i>5-100</i>	<i>1-20</i>

Die Gehalte der Makronährelemente, insbesondere von Stickstoff, Phosphor und Kalium, befinden sich im Haldensubstrat weit unter den niedrigsten Werten für reguläre Böden (vergl. AMBERGER, 1996). Nur Magnesium liegt an einigen Expositionen etwas über den unteren Grenzen von Böden. Dass Calcium und Schwefel so stark vertreten sind, spiegelt die Gegenwart von Gips und Anhydrit wider.

Auch die Chloridgehalte befinden sich in der Lockerschicht auf einem sehr niedrigen Niveau.

Von den Mikronährelementen erreichen nur Zink, Kupfer und Molybdän an einigen Expositionen der Halde die Gehaltshöhen, wie AMBERGER sie im untersten Bereich bei regulären Böden anführt.

Insgesamt bleibt festzuhalten, dass die Nährstoffversorgung auf den Haldenflanken und Plateaus als äußerst schwach einzustufen ist; somit sind Zudüngungen für das Wachstum von Pflanzen, sofern sie auch eine Stabilisierungsphase vollenden sollen, unerlässlich.

### 3. Bodenkundliche Parameter

Im Folgenden werden die wichtigsten, für den Untersuchungsstandort relevanten Substrat-Parameter betrachtet; die Einstufung bzw. Bewertung dieser Parameter ist nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung (AG BODEN, 1994) erfolgt, auch wenn es sich bei dem Material der Lockerschichtauflage nicht um einen Boden handelt, der entsprechende Entwicklungsprozesse durchlaufen hat.

Wie die Ermittlung der beteiligten **Korngrößen** an der Substratzusammensetzung ergeben hat, ist der Hauptbestandteil sandartig mit nur geringen Pseudo-Schluff- bzw. Tonanteilen (s. Abb. VI/1).

Auf den Haldenflanken ist in den meisten Fällen eine Pseudo-Bodenart anzutreffen, die der eines reinen Sandes entspricht (Ss). Lediglich in Teilbereichen des Südhangs, die z. T. als klüftig anzusprechen sind, wie auch auf den Plateauflächen, ist die Pseudo-Bodenart vergleichbar mit der eines schwach schluffigen Sandes (Su2).

Die Art des **Gefüges** ist auf der Halde bis auf kleinflächige Ausnahmen relativ homogen. Da die Substratteilchen i. d. R. locker nebeneinander liegen, handelt es sich hier um ein Einzelkorngefüge, welches für Sandböden typisch ist. – Auf Kleinflächen der Halde findet man verfestigte Bestandteile, die auf die Anwesenheit von Gips hinweisen. In diesen Fällen ist von einem Kittgefüge zu sprechen, welches schwach verfestigt (Vf2), z. T. aber auch stark verfestigt (Vf4) sein kann. Durch witterungsbedingte Temperaturschwankungen aber auch durch Setzungen, die von salzauslösenden Prozessen hervorgerufen werden, können in verfestigten Bereichen (Südflanke) Risse entstehen, was im weiteren Verlauf zu Abbrüchen von klumpigem (> 50 mm) bzw. bröckeligem Material (< 50 mm) führen kann.



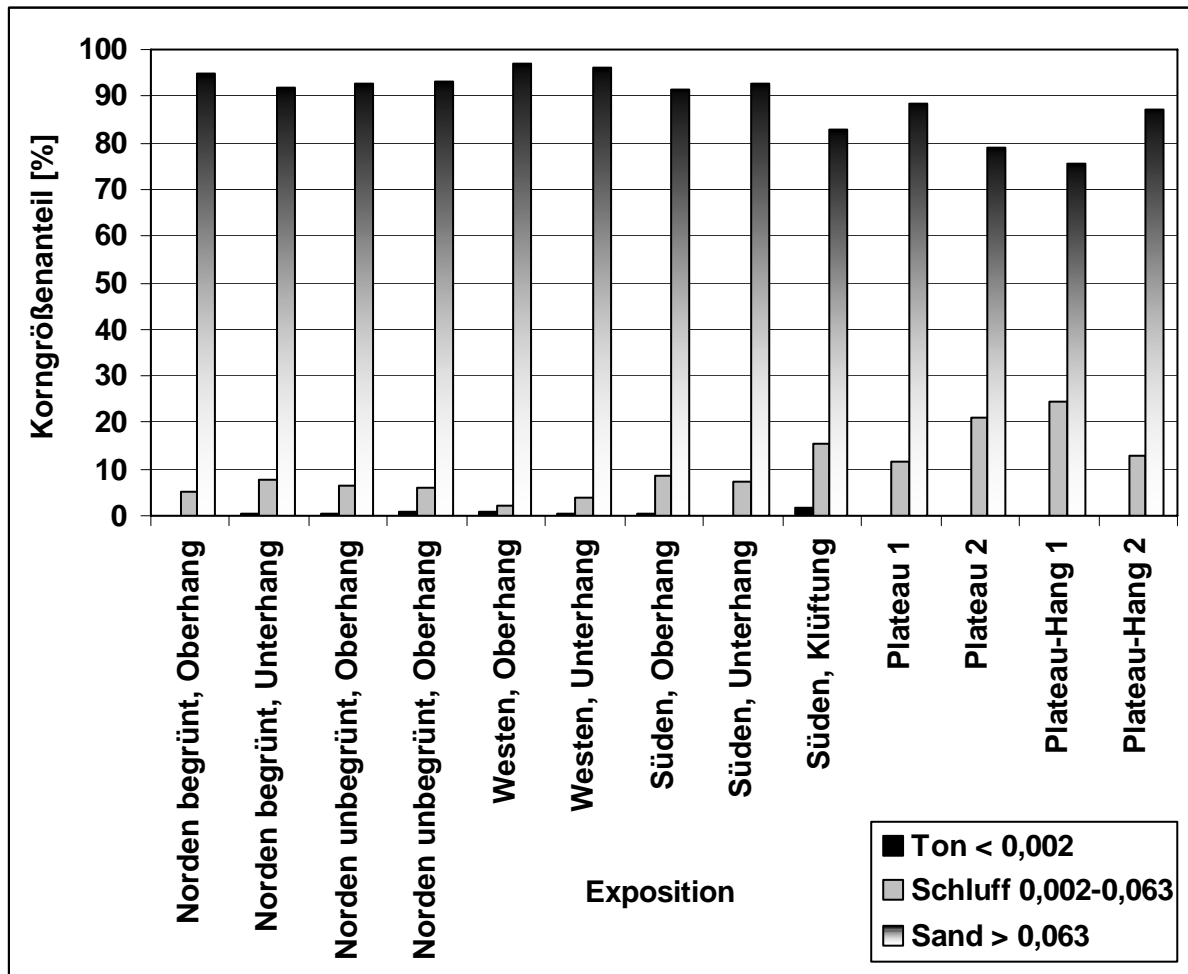


Abb.VI/1: (Pseudo-) Korngrößenzusammensetzung [in mm] der beprobten Substrate verschiedener Expositionen der Halde III, Heringen (1999).

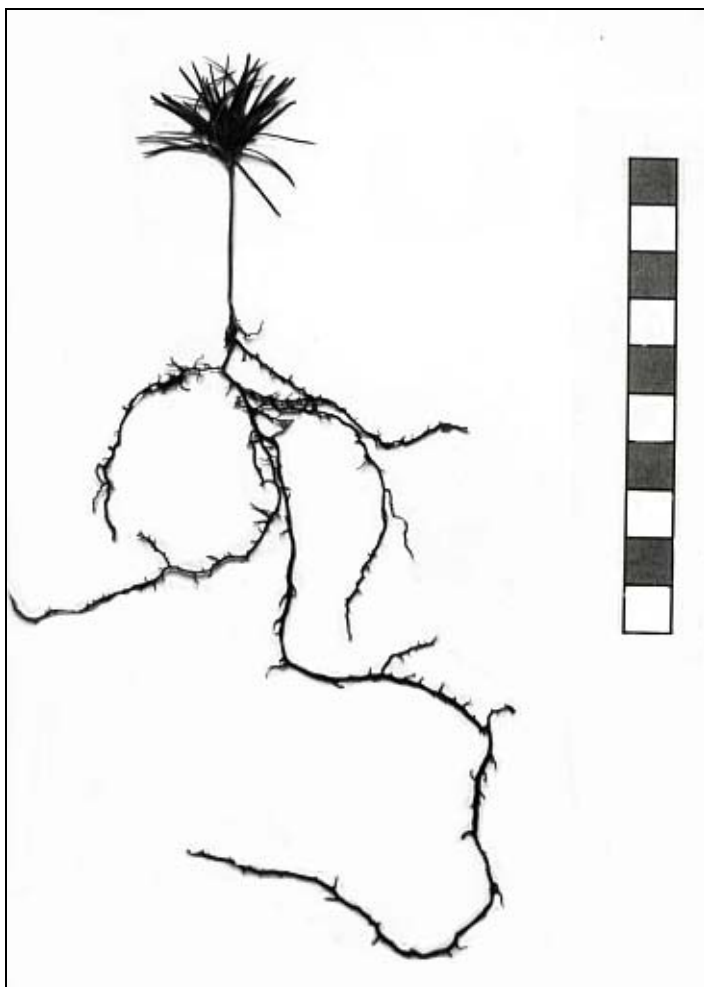
Was die **Lagerung** des Substrates betrifft, besitzt das aufliegende Lockermaterial weitestgehend eine sehr geringe Lagerungsdichte – Ld1 (s. a. LÜCKE, 1997), welches in erster Linie in dem hohen Pseudo-Sandanteil begründet liegt. Auf Haldenflächen mit verfestigtem Material ist dagegen die Lagerungsdichte als „mittel bis hoch“ einzustufen.

Aufgrund der sandartigen Struktur des Haldensubstrats lassen sich hinsichtlich des **Porenvolumens** bzw. der **Wasserhaltekapazität** folgende Feststellungen treffen: Der überwiegende Charakter eines reinen Pseudo-Sandes weist mit durchschnittlich 22,5 Vol.-% Luftkapazität die höchsten Werte auf; dagegen ist die nutzbare Feldkapazität mit 12,0 Vol.-% als sehr niedrig einzustufen. Daraus ergibt sich eine schwache Saugspannung mit pF-Werten < 1,8.

Der **Humusgehalt** ist ebenfalls ermittelt worden. Auf den noch unbegrünten und seit kurzer Zeit begrünten Flächen konnte sich bisher noch keine Biomasse ablagern, so dass hier keine Humosität nachgewiesen wurde. Ansonsten findet man vor allem unter

den Laub tragenden Bäumen (z. B. *Betula pendula*, *Populus tremula*) aber auch z. T. unter älteren Exemplaren von *Pinus sylvestris* Ansammlungen von Biomasse, die jedoch vorwiegend dem Auflagehumus (L = Litter) zugeordnet werden muss. Nur an der Grenze zwischen Auflagehumus und Haldensubstrat hat sich teilweise eine Schicht ausgebildet, die als fermentiert zu bezeichnen ist. Oberflächennahe Verfärbungen des Materials weisen auf einen geringen Humusanteil hin. – Außerhalb von Gehölzbeständen vermögen lediglich tiefere Kleinmulden, die vor stärkeren Winden geschützt sind, im Herbst über die Halde wehendes Laub zu halten, sofern es zuvor auf dem Haldenkörper liegen bleiben konnte. – Auch SÄNGER (1993) berichtet über die Problematik der Ansammlung organischer Substanz durch die Anwehung von Falllaub. RICHTER (1963) führt weiter aus, dass für die Existenz von Arten des Waldes die besonderen Bedingungen unterhalb des Bestandesschirms (Laub, Niederschläge, Schattenwirkung) verantwortlich sind.

Die **Durchwurzelbarkeit** als Maß für die physiologische Gründigkeit des Substrates korreliert eng mit der Mächtigkeit der Lockerschichtauflage. Da diese Auflage nahezu chloridfrei ist, kann sie weitgehend auch von Pflanzenwurzeln erschlossen werden (s. Abb. VI/2).



Sie liegt in einer Mächtigkeit von < 1,5 dm (Durchwurzelbarkeit sehr flach) bis 12 dm (tief) vor und wird durch den darunterliegenden, harten Haldensalzkörper begrenzt. Dies entspricht der Klasseneinteilung Wp1 bis Wp5.

Abb. VI/2:

Intensives Wurzelwachstum von *Pinus sylvestris* (Sämling) im Lockersubstrat ohne Einfluss von Dünger.

## **Kap. VII: Versuche unter Gewächshausbedingungen**

Die nachstehend beschriebenen Versuche wurden einerseits als Vorversuche, andererseits parallel zu den Feldversuchen durchgeführt.

Da die Versuchsschwerpunkte sehr verschieden gewichtet und die verwendeten Materialien z. T. recht unterschiedlich waren, wird bei jedem Versuch separat auf die versuchsspezifische Methodik bzw. Materialien eingegangen.

### **1. Sickerwasserversuch**

Im Winterhalbjahr 1998/99 wurde ein Sickerwasserversuch begonnen, um die unterschiedlichen Wirkungen verschiedener Substratzugaben zum Haldenmaterial beurteilen zu können. Da LÜCKE (1997) bei Aussaaten mit Kompostverwendung geringe Auflaufraten beobachten konnte, wurden Varianten mit verschiedenen hohen Kompostanteilen und Düngungsgaben untersucht.

#### **1.1 Methodik und Materialien**

Nach der Homogenisierung des Haldenmaterials erfolgte die spezielle Herrichtung der einzelnen Versuchsvarianten. Zum Einsatz kamen ferner Bioabfall-Kompost, Grüngut-Kompost, Torfkultursubstrate (TKS) und mineralischer Dünger.

Insgesamt wurden die folgenden Varianten innerhalb dieses Versuchs betrachtet:

- Haldensubstrat rein
- Bioabfall-Kompost rein
- Haldensubstrat mit 25 % Bioabfall-Kompost
- Haldensubstrat mit 10 % Bioabfall-Kompost
- Haldensubstrat mit 5 % Bioabfall-Kompost
- Grüngut-Kompost rein
- Haldensubstrat mit 25 % Grüngut-Kompost
- Haldensubstrat mit 10 % Grüngut-Kompost
- Haldensubstrat mit 5 % Grüngut-Kompost
- Haldensubstrat mit 2 cm Bioabfall-Kompost-Auflage
- Haldensubstrat mit 2 cm Grüngut-Kompost-Auflage
- Haldensubstrat mit TKS 1 (25 %) und TKS 2 (25 %)
- Haldensubstrat mit mineralischer N-P-K-Mg-Düngung (25 kg N/ha)
- Haldensubstrat mit mineralischer N-P-K-Mg-Düngung (50 kg N/ha)

Die Zusammensetzung der verwendeten Substrate kann dem Hauptkapitel „Methodik und Materialien entnommen werden.

Bei den Varianten, die sich aus unterschiedlichen Anteilen verschiedener Substrate zusammensetzen, wurde das Mischungsverhältnis auf entsprechende Volumina abgestimmt. So sind z. B. die sonst sehr locker gelagerten TKS- und Bio- bzw. Grüngut-Kompost-Substrate bzw. -substratmischungen zur Volumenmessung durch vorsichtiges Aufstoßen verdichtet worden.

Für die Versuchsdurchführung wurden Kick-Brauckmann-Gefäße verwendet, um durchsickerndes Wasser auffangen zu können. Nach der Befüllung mit 6 Litern Substratvolumen verblieb ein entsprechender Gießrand. Da die einzelnen Varianten unterschiedlich hohe Feuchtigkeitsgehalte aufwiesen, wurden die Gefäße mit deionisiertem Wasser aufgesättigt. Um die Zeit des Nachsickerns von Wasser mit erfassen zu können, sind nach einigen Tagen die ersten Sickerwässer, die sich aufgrund der Aufsättigungen ergeben hatten, für die Erhebung von Analysedaten verwendet worden. Es ist daraufhin zu weisen, dass aufgrund der verschiedenen Wassergehalte der Substrate keine fest definierten Mengen an Wasser während der Aufsättigungsphase verwendet worden sind.

Im weiteren Verlauf wurden die Substrate bzw. Substratgemische in den Gefäßen im Laufe des nächsten halben Jahres mit der für das Gebiet bei Heringen ermittelten durchschnittlichen Jahresniederschlagsmenge begossen, so dass innerhalb einer Woche umgerechnet eine Menge von  $25 \text{ l/m}^2$  auf jedes Gefäß aufgegeben wurde.

Im 14-tägigen Rhythmus erfolgte die Ausliterung der Auffangflaschen. Im Labor wurden pH-Werte und die elektrische Leitfähigkeit mittels WTW-Geräten gemessen. Nach Filtration sind die Proben bis zur Analyse (Chlorid-, Nitrat-, Ammonium-Gehalte) im Kühlraum aufbewahrt worden.

## **1.2 Ergebnisse und Diskussion**

Die anfallenden Sickerwässer unterschieden sich deutlich in ihrer Farbtintensität bei den einzelnen Kompostvarianten (dunkelbraun, undurchsichtig) und der TKS-Variante im Vergleich zu den Proben ohne humose Zusatzstoffe.

Im Laufe der Untersuchung entwickelten sich die **Leitfähigkeitswerte** wie folgt:

Beim Haldensubstrat ( $\text{pH} = 7,2$ ) war ein anfänglicher Wert von  $2,4 \text{ mS/cm}$  messbar, der sich aber im weiteren Verlauf auf  $2,2 \text{ mS/cm}$  einpendelte. – Die Zugabe von mineralischem Mehrnährstoffdünger in zwei Intensitätsstufen – mit  $25 \text{ kg N/ha}$  ( $\text{pH} = 6,1$ ) bzw.  $50 \text{ kg N/ha}$  ( $\text{pH} = 5,6$ ) – ließ zunächst die Leitfähigkeit nach 2 Wochen auf  $2,82 \text{ mS/cm}$  steigen, fiel dann aber deutlich ab. Nach 8 Wochen – mit einer zugeführten Gießmenge von insgesamt  $200 \text{ l/m}^2$  – wurden die Ausgangswerte von  $2,19 \text{ mS/cm}$  wieder erreicht. Es wird deutlich, dass je nach Intensität der Niederschlagsereignisse der mineralische Dünger relativ schnell zur Verfügung steht. Andererseits verdeutlicht die Abnahme der Leitfähigkeitswerte den schnellen Auswaschungsprozess von gelösten Nährstoffen.

Folglich sind Düngungen auf dem Haldenkörper erst dann sinnvoll, wenn die Vegetationsdecke im Frühjahr die gelösten Nährstoffe auch aufnehmen kann.

Tab. VII/1: Einfluss der Düngung (N-P-K-Mg) auf die elektrische Leitfähigkeit (mS/cm) beim anhydritisch geprägten Haldensubstrat (wöchentliche Gießmenge: 25 l/m<sup>2</sup>).

Düngung	Beginn	2 Wochen	4 Wochen	6 Wochen	8 Wochen
25 kg N/ha	2,19	2,82	2,48	2,21	2,19
50 kg N/ha	2,17	3,15	2,71	2,19	2,17

Deutlich höher lagen die Leitfähigkeitswerte beim Bioabfall-Kompost (pH = 8,1): In der Reinform wurden anfänglich durchschnittliche Leitfähigkeiten bis zu 33,0 mS/cm gemessen (s. Abb. VII/1); im Sickerwasser eines Versuchsgefäßes erreichte die Leitfähigkeit sogar einen Wert von 37,0 mS/cm. Die Leitfähigkeitswerte der Variante mit 25 % Bioabfall-Kompost lagen im Durchschnitt auf halbem Niveau des reinen Bioabfall-Kompostes. Die Werte des mit 2 cm Bioabfall-Kompost überdeckten Haldenabbaus befanden sich zwischen denen der 5 % - und 10 % - Kompost-Variante. – Nach 16 Wochen Versuchsdauer pendelten sich die Leitfähigkeiten auf Höhe des Haldenabbaus (2,2 mS/cm) ein und sanken später z. T. sogar darunter.

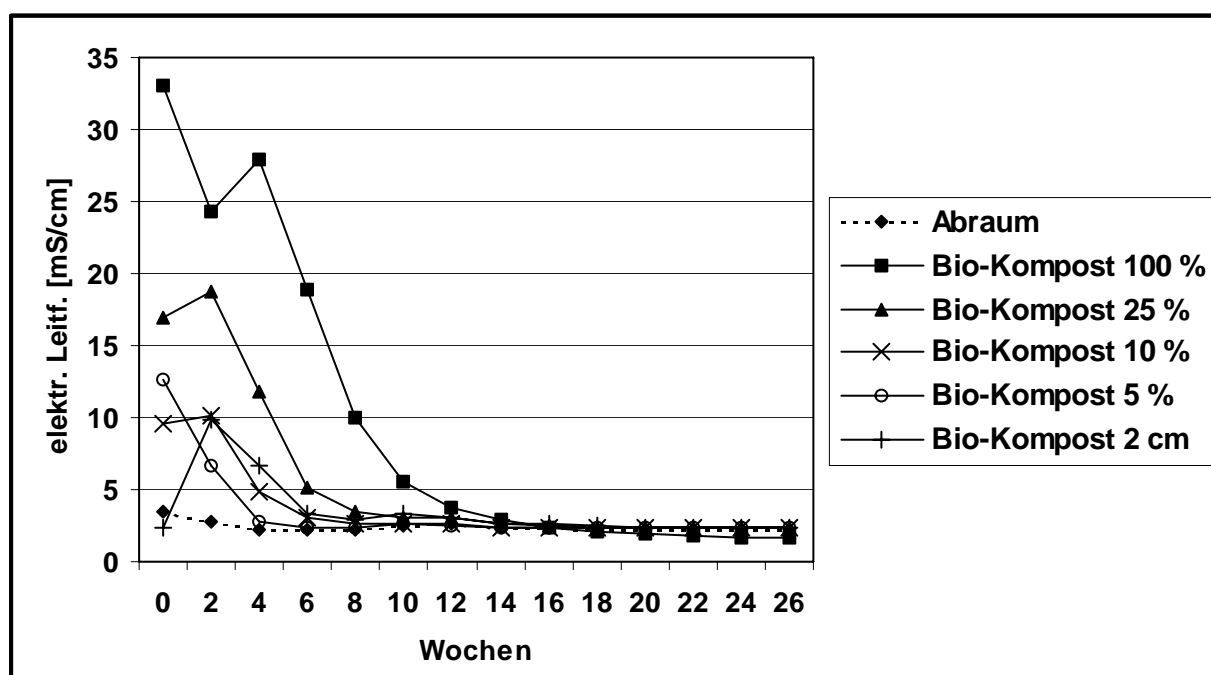


Abb. VII/1: Entwicklung der Leitfähigkeitswerte bei den Varianten mit Bioabfall-Kompost im Vergleich zum Haldenabraum.

In den Varianten mit Grüngut-Kompost (pH = 8,0) wurden deutlich geringere Leitfähigkeiten im Vergleich zu denen mit Bioabfall-Kompost festgestellt (s. Abb. VII/2). In der Anfangsphase des Versuchs wurden Leitfähigkeiten zwischen 12 und 14 mS/cm ge-

messen. Während der reine Grüngut-Kompost nach der 4. Versuchswoche langsam nachlassende Leitfähigkeitswerte zeigte, bewegten sich die anderen Varianten bereits unterhalb von 5 mS/cm. Nach 16 Wochen lagen alle Varianten auf dem Niveau des Haldenabraums. Im weiteren Verlauf sanken die Werte bei den Gefäßen mit hohen Kompostanteilen ebenfalls unter 2,0 mS/cm.

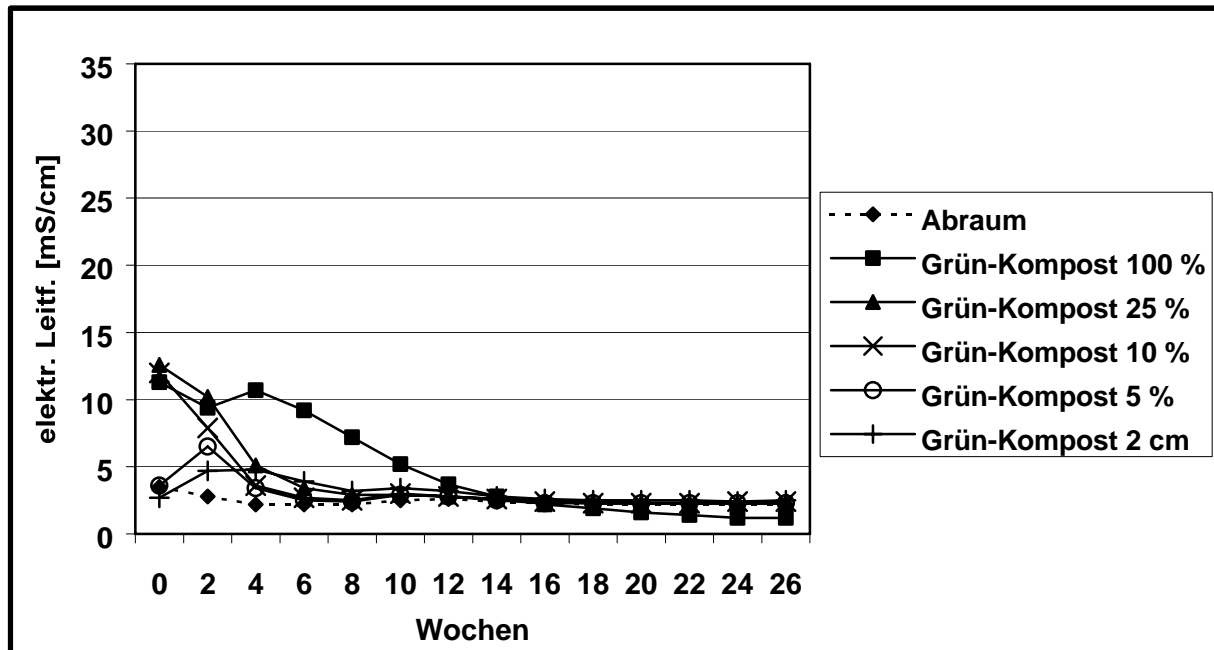


Abb. VII/2: Entwicklung der Leitfähigkeitswerte bei den Varianten mit Grüngut-Kompost im Vergleich zum Haldenabraum.

Die Variante mit einem Anteil an Torfkultursubstrat ( $\text{pH} = 5,6$ ) zeigte während der gesamten Versuchsdauer Leitfähigkeitswerte zwischen 3,7 und 4,6 mS/cm. Eine deutliche Abnahme der Leitfähigkeiten war im Gegensatz zu den Kompost-Varianten nicht zu beobachten.

Hohe Leitfähigkeiten, wie sie bei den reinen Kompost-Varianten bzw. bei den Gemischen mit höheren Kompost-Anteilen festgestellt wurden, sind ein Indiz für hohe Gehalte in Lösung befindlicher Ionen.

Als nächstes werden die Belastungen des Sickerwassers durch **Chlorid** beschrieben.

Sickerwasser, welches vom Haldensubstrat aufgefangen wurde, hatte zu Beginn des Versuchs einen Chloridgehalt von 19 mg/l, der sich im weiteren Verlauf dann auf 1,2 bis 1,8 mg/l reduzierte.

Der beim reinen Bioabfall-Kompost (s. Abb. VII/3) festgestellte anfängliche Chloridgehalt lag mit 3.630 mg/l sehr hoch; er reduzierte sich nach 6 Wochen auf 2.413 mg/l und nach weiteren 4 Wochen auf 355 mg/l. Nach insgesamt 18 Wochen wurde nur noch ein Wert von 20 mg  $\text{Cl}^-/\text{l}$  gemessen. – Im Fall des Kompostanteils von 25 % waren nach der ersten Messung 1.900 mg  $\text{Cl}^-/\text{l}$  im Sickerwasser; schon nach weiteren 4 Wochen

lagen die Gehalte bei 80 mg/l und erreichten nach insgesamt 14 Wochen einen Chloridgehalt von 35 mg/l. – In den anderen Varianten mit Zusätzen von Bioabfall-Kompost wurde nach 2 Wochen Versuchsdauer ein Maximalwert von 990 mg Cl<sup>-</sup>/l (Überdeckung mit 2 cm Kompost) gemessen; schon nach insgesamt 6 Wochen lag das Niveau durchweg unter 40 mg Cl<sup>-</sup>/l.

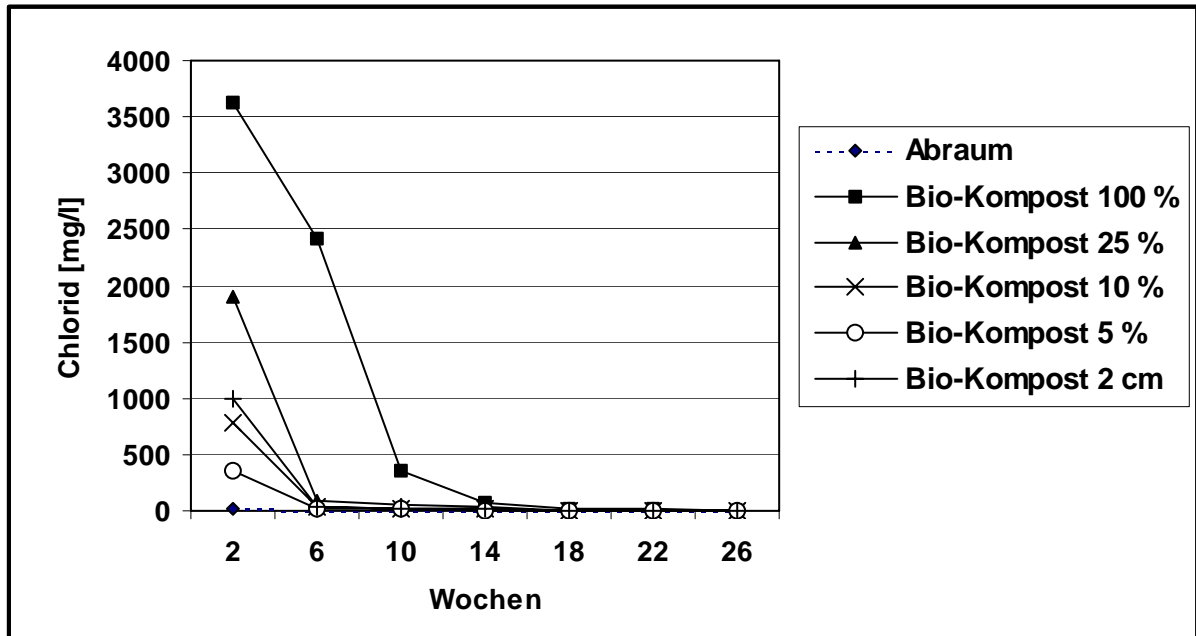


Abb. VII/3: Entwicklung der Chloridgehalte bei den Varianten mit Bioabfall-Kompost im Vergleich zum Haldenabraum.

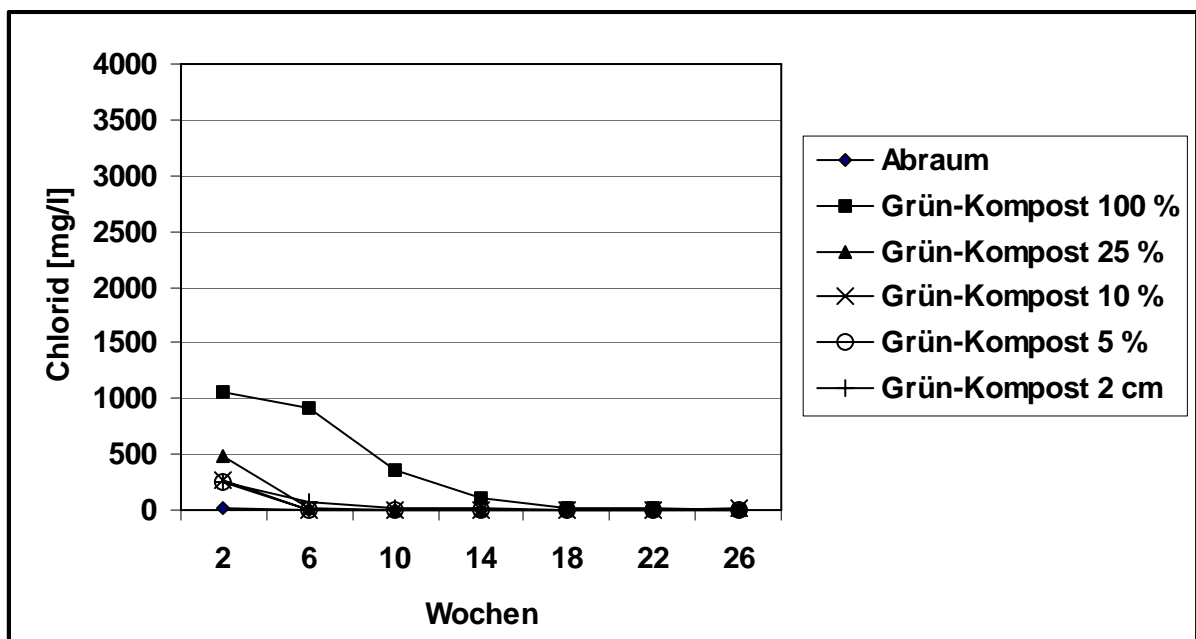


Abb. VII/4: Entwicklung der Chloridgehalte bei den Varianten mit Grüngut-Kompost im Vergleich zum Haldenabraum.

Sehr viel niedriger ist die Chloridbelastung in den Varianten mit Grüngut-Kompost gewesen (s. Abb. VII/4). Nur in den Gefäßen mit reinem Grüngut-Kompost wurden anfangs durchschnittlich 1.060 mg/l an Chloridgehalt gemessen; nach einem zunächst allmählichen Abfall reduzierte sich der Chloridgehalt relativ schnell und maß nach 18 Wochen einen Wert von nur 19 mg Cl<sup>-</sup>/l. – In den anderen Varianten mit Grüngut-Kompost wurde dieses Niveau bereits nach 10 Wochen erreicht.

Bei der Betrachtung der **NO<sub>3</sub>-Gehalte** fällt der außerordentlich hohe Wert beim reinen Bioabfall-Kompost von 1.040 mg/l auf, der sich nach insgesamt 10 Versuchswochen dann auf 206 mg/l reduzierte und anschließend allmählich weiter zurückging (s. Abb. VII/5). – Die anderen Varianten lagen anfangs bei Gehalten zwischen 116 und 206 mg/l; schon nach 6 Wochen Versuchsdauer ging der Wert auf maximal 45 mg/l zurück. – Im Vergleich dazu wurden im reinen Haldensubstrat Gehalte von knapp 16 mg/l zu Beginn des Versuchs gemessen, die im weiteren Verlauf nur noch Gehalte von maximal 4 mg/l hervorbrachten.

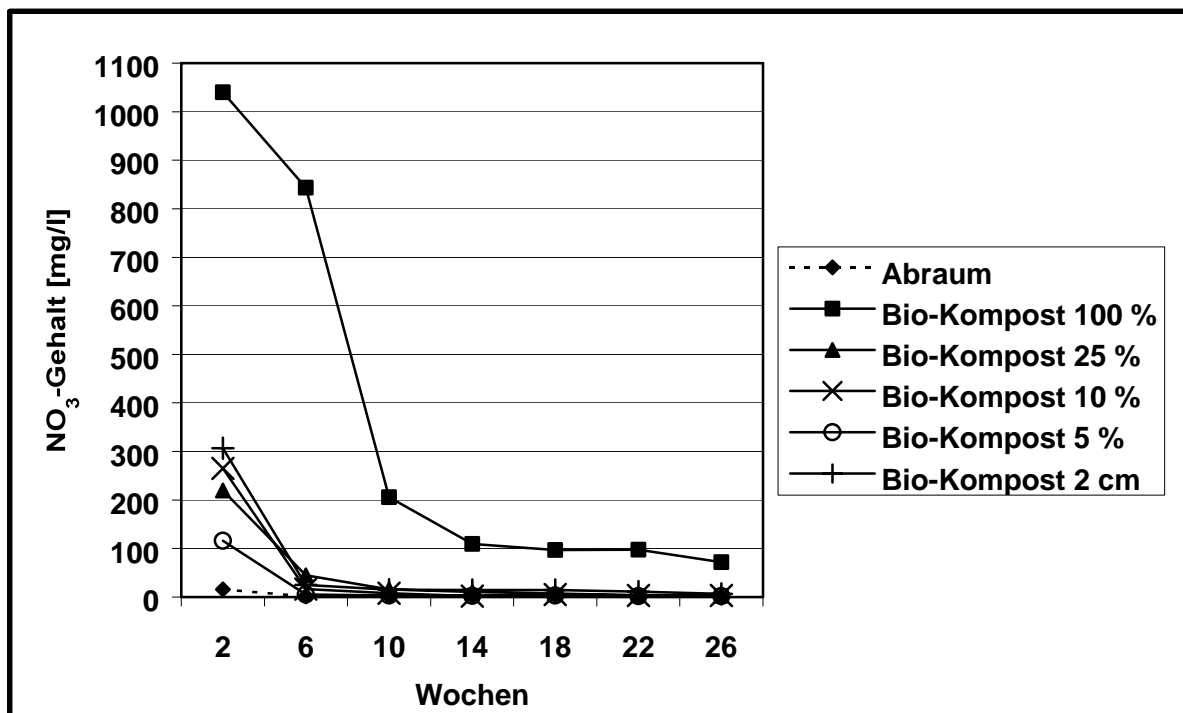


Abb. VII/5: Entwicklung der NO<sub>3</sub>-Gehalte bei den Varianten mit Bioabfall-Kompost im Vergleich zum Haldenabraum.

Wie bereits die Betrachtung der anderen chemisch-physikalischen Parameter gezeigt hat, so sind auch die NO<sub>3</sub>-Gehalte in den Varianten mit Grüngut-Kompost auf einem deutlich niedrigeren Niveau angesiedelt (s. Abb. VII/6): Anfänglich wurden in dem Sickerwasser aus den Gefäßen mit reinem Grüngut-Kompost Gehalte bis zu 485 mg/l gemessen, die danach allmählich zurückgingen. – Bei den anderen Varianten mit verschiedenen hohen Kompostanteilen konnten schon nach 10 Wochen sehr niedrige Gehalte gemessen werden.



Während die Überdeckung mit Grüngut-Kompost (2 cm) die wenigsten  $\text{NO}_3$ -Gehalte aller Kompost-Varianten zu Beginn aufwies, lagen die Werte beim Bioabfall-Kompost, bis auf die Variante „Bioabfall-Kompost-rein“, über den anderen.

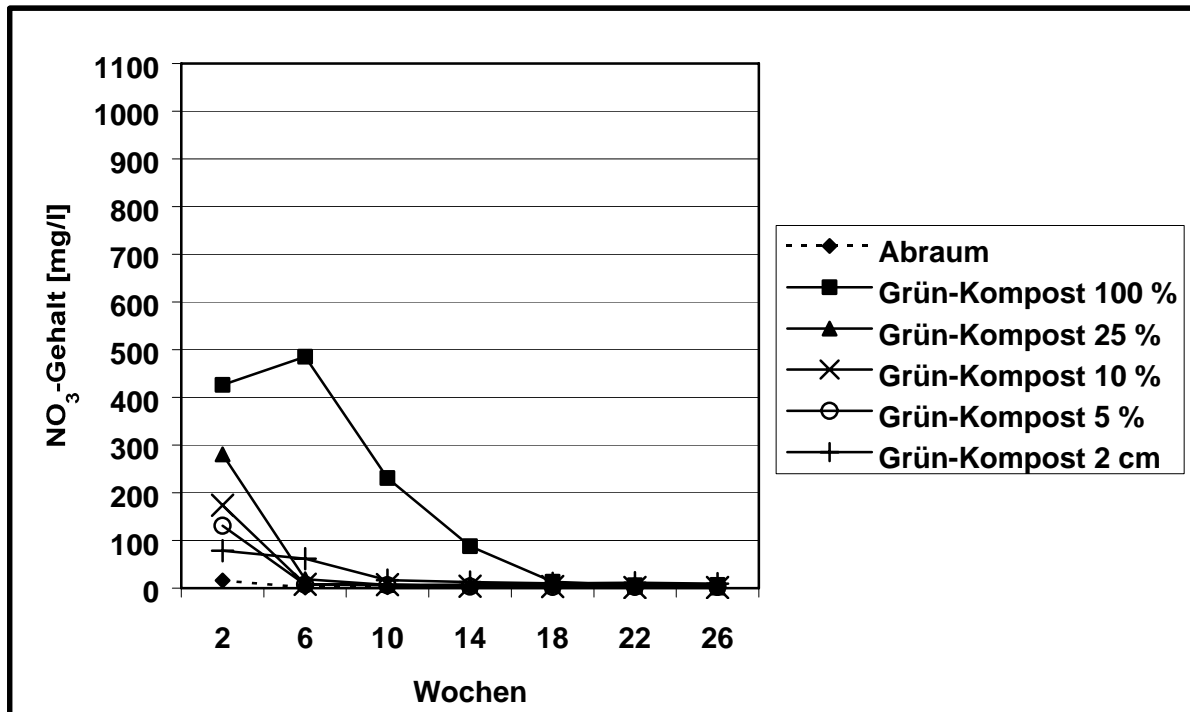


Abb. VII/6: Entwicklung der  $\text{NO}_3$ -Gehalte bei den Varianten mit Grüngut-Kompost im Vergleich zum Haldenabraum.

Die **Ammoniumgehalte** der Sickerwässer lagen in den meisten Fällen unter 1 mg/l. Die höchsten Werte wurden in der Variante mit Kultursubstrat (78 mg/l) gemessen, im reinen Grüngut-Kompost bei 58 mg/l und im reinen Bioabfall-Kompost bei nur 14 mg/l. In den mit Mineraldünger versehenen Substraten konnten Ammoniumgehalte von 19 mg/l (25 kg N/ha) und 41 mg/l (50 kg N/ha) festgestellt werden. In allen Varianten reduzierte sich der Gehalt nach 6 Wochen Versuchsdauer auf unter 0,5 mg/l.

Zusammenfassend kann festgehalten werden: Die elektrische Leitfähigkeit des anhydritisch geprägten Haldensubstrats liegt in der Regel zwischen 2,2 und 2,3 mS/cm; die Ionen des in Lösung gehenden Calciumsulfats sind verantwortlich für Leitfähigkeiten dieser Größenordnung. – Deutlich höhere Leitfähigkeiten in den Substratgemischen, vor allem mit Kompost, sind ein Garant für gelöste Mengen an Salzen bzw. Ionen, die aus den dem Haldensubstrat zugesetzten Hilfsstoffen stammen.

Hohe Gehalte an Chlorid und Nitrat, weniger an Ammonium, wie die Ergebnisse gezeigt haben, können bei Verwendung der Hilfsstoffe beeinflussend für das Pflanzenwachstum sein und Schädigungen hervorrufen. – Die Toleranzbereiche für Inhaltsstoffe in Gießwässern bei der Anzucht und Kultivierung von Gehölzen liegt, so WITT (1997),

nach der Empfehlung der Lehr- und Versuchsanstalt für Gartenbau in Bad Zwischenahn in den folgenden Toleranzbereichen :

- pH - Wert: 6,4-8,3
- Salzgehalt: 400-600 mg/l
- Chlorid: 25-50 mg/l
- Nitrat: 25-50 mg/l
- Ammonium: < 5 mg/l

Somit ist der Einsatz von Kompost mengenmäßig entsprechend anzupassen, wenn er für das Pflanzenwachstum nicht schädigend sein soll. Grüngut-Kompost kann dem Bioabfall-Kompost vorgezogen werden, da die Belastung durch Chlorid und Nitrat deutlich geringer ist.

## **2. Aussaatversuch mit *Lolium perenne***

Das bereits in vielen Versuchen des Fachgebiets bewährte Gras „*Lolium perenne*“ wurde in einem Gefäßversuch auf unterschiedlich behandelten Varianten ausgesät, um das Wachstum der Art unter verschiedenen Bedingungen zu testen und eventuelle Rückschlüsse auf die Behandlungsweise der auf der Halde getätigten Ansaaten zu ziehen.

In dieser Beschreibung wird der Versuch unter dem Gesichtspunkt der Wachstumsentwicklung betrachtet; die Untersuchung zur Pflanzenernährung finden sich im selbigen Hauptkapitel.

### **2.1 Versuch unter Einsatz von Mehrnährstoffdüngern und Grüngut-Kompost**

#### **2.1.1 Versuchsspezifische Methodik und Materialien**

Die einzelnen Komponenten für diesen Versuch wurden bereits im Hauptkapitel „Methodik und Materialien“ beschrieben.

Für die Anlage des Versuchs wurden zunächst ausreichende Mengen an Haldensubstrat homogenisiert. Unter Hinzunahme von Stoffen, die die Nährstoffversorgung im Haldensubstrat verbessern, kamen folgende Varianten bei der Untersuchung zum Einsatz:

1. Abraum
2. Abraum mit Düngung (N-P-K-Mg / 12-12-17-2), 35 kg N/ha
3. Abraum mit Grünabfall-Kompost (Anteil 10 %, Einarbeitung in 10 cm)
4. Abraum mit Düngung (N-P-K-Mg / 12-12-17-2 und Spurenelemente)
5. Abraum mit Düngung (Spurenelemente), 100 g/m<sup>3</sup>

6. Abraum mit Düngung (N-P-K / 15-15-15), 35 kg N/ha
7. Abraum mit Düngung (N-P-K / 15-15-15 und Spurenelemente)

Pro Variante wurden jeweils 10 Gefäße mit entsprechenden Materialien befüllt, davon 5 je Variante zusätzlich mit Triplephosphat (500 kg P-Dünger/ha = 1,85 g/Gefäß; Einarbeitung in 5 cm Tiefe) versehen. Es erfolgte die Aussaat von *Lolium perenne* im Mai 2000 mit einer Aufwandmenge von 1,1 g pro Gefäß, entsprechend einer Menge von 30 g pro m<sup>2</sup>.

Alle sonstigen Dünger (mineralische Mehrnährstoffdünger, Spurenelemente) sind erst 4 Wochen nach dem Aussaattermin auf der Substratoberfläche ausgebracht worden; alle weiteren nach dem vorangegangenen Biomassenschnitt.

Die Tagestemperatur betrug mindestens 20 °C, die der Nacht 15 °C und eine tägliche Beleuchtungsstärke von mindestens 35.000 Lux. – Gewässert wurde nach Bedarf. Die Biomassenschnitte wurden nach 75, 150, 300 und 450 Tagen Standzeit durchgeführt.

### 2.1.2 Ergebnisse und Diskussion

Während des Keimungsprozesses fiel auf, dass die Keimungsraten bei den mit Kompostanteilen befüllten Gefäßen deutlich unter denen der anderen Varianten gelegen haben. Eine Quantifizierung wurde nicht durchgeführt, da das Keimfähigkeitsverhalten von *Lolium perenne* auf den unterschiedlichen Varianten nicht zur Zielsetzung des Versuchs gehört hat.

Bereits 4 Wochen nach Aussaat, kurz vor der mineralischen Düngung der entsprechenden Gefäße, zeigten sich deutliche Unterschiede in der Färbung der Biomasse und ihrem Wuchsverhalten: Die Pflanzen der Null-Variante und der bisher ungedüngten Varianten nahmen eine hellgrüne Färbung an, während die Kompostvariante nicht nur eine kräftige Grünfärbung der Blattmasse zeigte, sondern auch der Wachstumsvorsprung durch längere Blätter und breitere Spreiten schon visuell wahrnehmbar war.

Im Anschluss an die Erhebung erster Wachstumsparameter erfolgten die Düngungen nach obiger Beschreibung.

Nach wenigen Tagen zeigten sich – wie erwartet – die ersten Veränderungen bei den mit Stickstoff, Phosphor und Kalium gedüngten Varianten: Eine kräftiger werdende Grünfärbung deutete auf eine bessere Nährstoffversorgung hin.

Bei den Gefäßen, die mit Spurenelementen gedüngt wurden, ließen sich visuell kaum verbesserte Nährstoffbedingungen im Vergleich zur Null-Variante wahrnehmen: Ebenfalls vertrocknete Blattspitzen, jedoch mit etwas kräftigerem Blattgrün.

Die Variante mit Triplephosphatbeigabe (bis 5 cm Tiefe) zeigte sogar eine geringfügig schlechtere Blattentwicklung als bei der Null-Variante, die sich vor allem durch absterbende Blattspitzen äußerten. Der Verdacht einer Versauerung des Mediums durch den Einfluss von Triplephosphat, wie FINCK (1992) es auch beschreibt, konnte mit Hilfe der pH-Wert-Messung im Sickerwasser nachgewiesen werden. Dabei wurden in der Null-

Variante überwiegend Werte im Bereich zwischen pH = 7 und pH = 7,8 ermittelt, während die der mit Triplephosphat behandelten Substrate ein bis zwei pH-Wert-Stufen darunterlagen und bis auf minimal pH = 5,3 abgesunken waren.

Bei der Bewässerung der Gefäße, die nach Bedarf durchgeführt worden ist, konnte festgestellt werden, dass jene mit Kompostanteil oberflächennah relativ schnell austrockneten. Die besser entwickelten Pflanzen dieser Variante besaßen aufgrund ihrer größeren Blattmasse eine höhere Transpirationsrate.

Hinsichtlich der Biomassenentwicklung, die sich in der Höhe der Trockensubstanzerträge widerspiegelt, haben sich die einzelnen Varianten wie folgt dargestellt (s. Abb. VII/7): Die beiden Varianten – zum einen mit Haldensubstrat, zum anderen mit Spurennährstoffdünger – haben die geringsten Erträge gezeigt. Von 1,1 bis maximal 2,5 g TS/Gefäß wurden geerntet; umgerechnet entspricht ein TS-Ertrag von 1 g/Gefäß einer Masse von 2,9 dt/ha. Dabei lag der durchschnittliche Ertrag bei den Untervarianten mit Triplephosphat etwas höher.

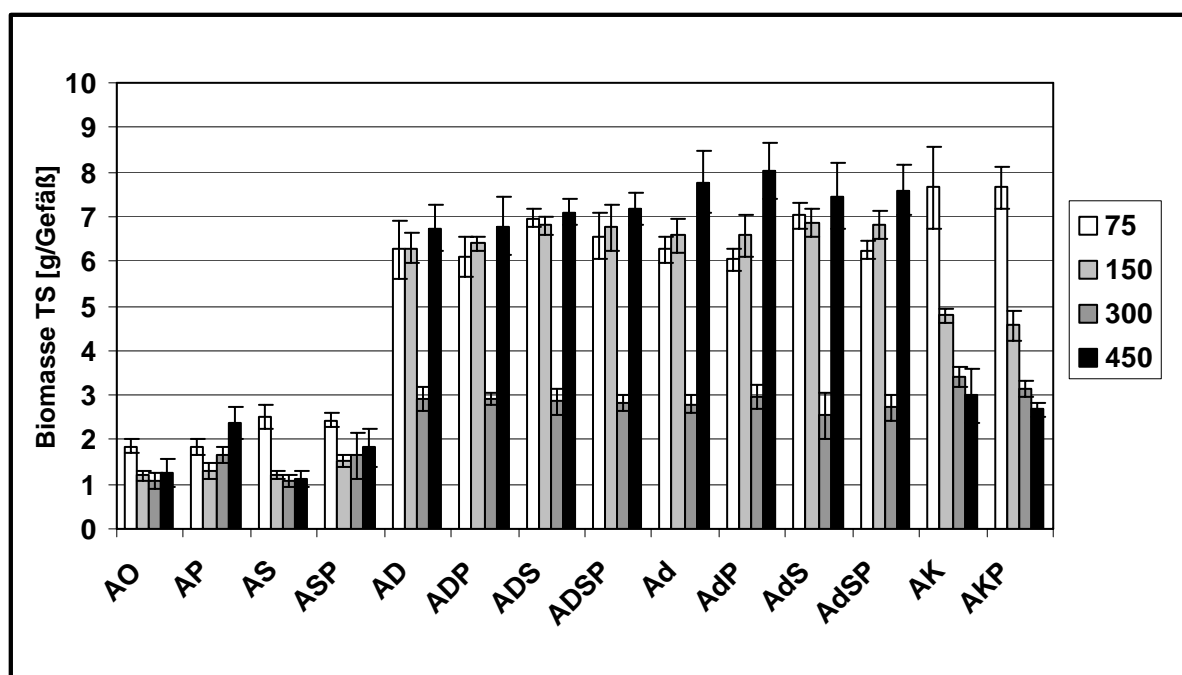


Abb. VII/7: Durchschnittliche Biomassen-Gewichte der Trockensubstanz je Gefäß von *Lolium perenne* an vier Schnittterminen (1 g TS = 2,9 dt/ha): nach 75, 150, 300 und 450 Tagen Standzeit. (Abkürzungen: TS = Trockensubstanz, A = Abraum, O = ohne Behandlung, P = Triplephosphat, S = Spurenelemente, D = Düngung mit N-P-K-Mg, d = Düngung mit N-P-K, K = Grüngut-Kompost)

Zwischen 6,1 und 7,0 g TS/Gefäß wurden bei den mit Mineraldünger versorgten Varianten erzielt, was einer TS-Masse von 17,7 bis 18,2 dt/ha entspricht. Der zweite Biomassenschnitt lag geringfügig über den Werten des ersten. Somit wurden nach den ersten 150 Tagen ca. 35 bis 40 dt TS/ha erreicht.

Die höchsten TS-Gehalte beim ersten Biomassenschnitt wurden jedoch bei der Variante mit Grüngut-Kompost geerntet, was einer Menge von 22,3 dt/ha entspricht. Bereits

der zweite Schnitt fiel jedoch deutlich niedriger aus und lag zwischen 4,5 und 4,9 g TS/Gefäß, was einem maximalen Ertrag von knapp 15 dt/ha gleich kommt.

Nach weiteren 150 Tagen, am Ende des Winterhalbjahres, erfolgte der 3. Biomassenschnitt. – Bei den Varianten ohne Zufuhr von Makronährstoffen (Mehrnährstoffdünger, Kompost) wurden nur 1,0 bis 1,7 g TS/Gefäß geerntet. Alle anderen entwickelten Biomassenerträge zwischen 2,6 und 3,5 g TS/Gefäß; die Kompost-Variante lag im oberen Ertragsbereich.

Die letzte Beprobung fand nach einer Standzeit von 450 Tagen statt. Besonders auffällig war nunmehr das nachlassende Wachstum von *Lolium perenne* auf den Grüngut-Kompost-Varianten; die Gräser nahmen mittlerweile eine hellgrüne Färbung an, die Erträge gingen auf TS-Mengen zwischen 2,7 und 3,0 g/Gefäß zurück. – Die nicht zusätzlich mit Makronährstoffen versorgten Varianten (Haldensubstrat, Haldensubstrat mit Spurenelementen) zeigten ähnliche Blattfärbungen bei sehr gedrungenem Entwicklungsstand (1,1 bis 2,3 g TS/Gefäß) – die Erträge auf den mit Triplephosphat behandelten Gefäßen lagen etwas höher; weiterhin hatte sich die Anzahl der Pflanzen auf den nur mit Spurenelementen versorgten Gefäßen verringert. – Die mit Mineraldünger geförderten Gräser gediehen zum Ende des Versuches am besten und erbrachten die höchsten TS-Erträge zwischen 7,7 und 8,1 g/Gefäß (22,3 bis 23,5 dt/ha). Jene mit der zusätzlichen Triplephosphatgabe lagen etwas höher in der Ertragsleistung als die ohne Zugabe. Das Wachstum wurde durch die vorhandenen Spurenelemente innerhalb dieser Varianten nochmals leicht gefördert.

Nach Versuchsende wurde der Inhalt einiger Gefäße aufgetrennt, um das **Wurzelwachstum** der verschiedenen Varianten zu betrachten.

Dabei fiel zunächst auf, dass der sonst übliche „Topfeffekt“, bei dem sich entlang der Gefäßwände und -böden ein intensives Wurzelgeflecht bildet, ausblieb. Besonders gleichmäßig durchwurzelt wurden die Varianten ohne Mehrnährstoffdünger und Kompost. Zwar waren hier die Hauptwurzeln im Vergleich zu den anderen Behandlungsarten viel schlanker, dafür intensiver mit feineren Wurzeln zweiter und dritter Ordnung ausgestattet. Bei den mineralisch gedüngten Varianten entwickelten die Hauptwurzeln erster und zweiter Ordnung größere Durchmesser, jedoch war das Feinwurzelsystem nicht so intensiv wie bei den ungedüngten. In den Gefäßen mit Kompostanteilen in der obersten Schicht (10 cm), wo dieser Hilfsstoff eingearbeitet wurde, bildete sich ein außerordentlich dichtes Wurzelwerk mit sehr vielen Feinwurzeln. Unter dieser Schicht reduzierte sich das Wurzelwerk auf die Hauptwurzeln mit anhängenden Seitenwurzeln; das Feinwurzelsystem war hier nur schwach ausgeprägt. – Ein Einfluss der Düngung mit Spurenelementen auf die ausgebildeten Wurzelsysteme konnte nicht nachgewiesen werden.

POLOMSKI & KUHN (1998) weisen in diesem Zusammenhang auf das Fehlen einer sog. Primärwurzel bei den Monocotyledonen hin und beschreiben ein relativ dichtes Wurzelsystem bei Gräsern unter normalen Wuchsbedingungen. Ausdrücklich erwähnen sie das Fehlen des sekundären Dickenwachstums bei Wurzeln der Monocotyledonen. Gute Standortsbedingungen, was Wasserhaushalt, Nährstoffe und lokales Klima betrifft, können jedoch eine Vergrößerung und Vermehrung der Rindenzellen und des Zentral-

zylinders bewirken. Weiterhin betonen sie, dass Gräser keine ausgesprochenen Flachwurzler sind; trotz fehlender Pfahlwurzel können sie in tiefe Schichten vordringen.

Es ist festzuhalten, dass Mehrnährstoffdünger das Wachstum und damit die Biomasserträge deutlich fördern und begleitend dazu die Pflanzen in ihrem Entwicklungsgang stabilisiert und gefördert werden. Die Zugabe von Triplephosphat hat nach den anfänglichen Verzögerungen beim Wachstum, bedingt durch Versauerung, die Erträge leicht fördern können. In der zweiten Phase der Untersuchung kam die Förderung durch Spurenelemente bei den mit mineralischem Dünger versehenen Gefäßen zum Ausdruck. – Dagegen war die Beeinflussung durch Grüngut-Kompost verschiedenartig: Zunächst wurde das Keimungsverhalten etwas gestört, weniger Sämlinge liefen auf. In der ersten Periode traf eine deutliche Förderung der Gräser ein, was sich in den relativ hohen Erträgen äußerte. In der zweiten Phase fielen jedoch die Biomassen bei dieser Variante sehr bescheiden aus, die zur Verfügung stehenden Nährelemente waren überwiegend aufgebraucht bzw. teilweise ausgewaschen worden.

Die Zugabe von Dünger fördert zwar das Wurzelsystem in seiner Stabilität und Kräftigkeit, verhindert zuweilen aber die intensive Ausprägung der Feinwurzeln. Kompost verhilft dagegen im direkten Einflussbereich zu einem sehr ausgeprägten Feinwurzelnetz.

## **2.2 Versuch mit unterschiedlichen Gaben von Grüngut-Kompost**

### **2.2.1 Versuchsspezifische Methodik und Materialien**

Vor dem Hintergrund, inwieweit unterschiedlich hohe Anteile von Grüngut-Kompost das Wachstum von *Lolium perenne* fördern können, wurden in jeweils 5-facher Wiederholung folgende Varianten ausgewählt:

- ohne Grüngut-Kompostanteil
- 3 % - Grüngut-Kompostanteil
- 5 % - Grüngut-Kompostanteil
- 10 % - Grüngut-Kompostanteil

Nach der Homogenisierung der einzelnen Varianten bildete das jeweilige Mischgut die oberste Schicht (10 cm) in den Kick-Braukmann-Gefäßen. Wie im vorangestellten Versuch wurde das locker eingefüllte Material leicht verdichtet und anschließend mit deionisiertem Wasser begossen. Danach erfolgte die Einsaat mit 30 g/m<sup>2</sup>.

Die Biomassenschnitte erfolgten in etwas kürzeren Intervallen als im vorigen Versuch, da dieser erst später im Jahr begonnen wurde und somit die Ausnutzung der Verhältnisse während der Vegetationsperiode im Vordergrund standen. – In der letzten Phase des Versuchs wurde nach dem augenscheinlich schwachen Wachstum der Varianten eine mineralische Düngung mit dem Mehrnährstoffdünger N-P-K-Mg (35 kg N/ha) vorgenommen und nach 50 Tagen beerntet.

## 2.2.2 Ergebnisse und Diskussion

Nach gutem Auflaufverhalten von *Lolium perenne* in allen Varianten entwickelten sich die entstehenden Vegetationsdecken in den Gefäßen erwartungsgemäß (s. Abb. VII/8).

Während die Gefäße ohne Behandlung durchschnittlich nur 1,8 g Biomasse (TS) produzierten, stiegen die Trockensubstanzerträge in den Varianten mit zunehmendem Kompostanteil nahezu linear an und erreichten in den Gefäßen mit 10 %-igem Grün-gut-Kompostanteil eine durchschnittliche oberirdische Biomasse von 4,9 g TS/Gefäß. Ein deutlicher Rückgang der Biomassenproduktion konnte bereits nach 100 Tagen festgestellt werden; noch gravierender waren die Einbußen nach den Beprobungen im bzw. am Ende des Winterhalbjahres.

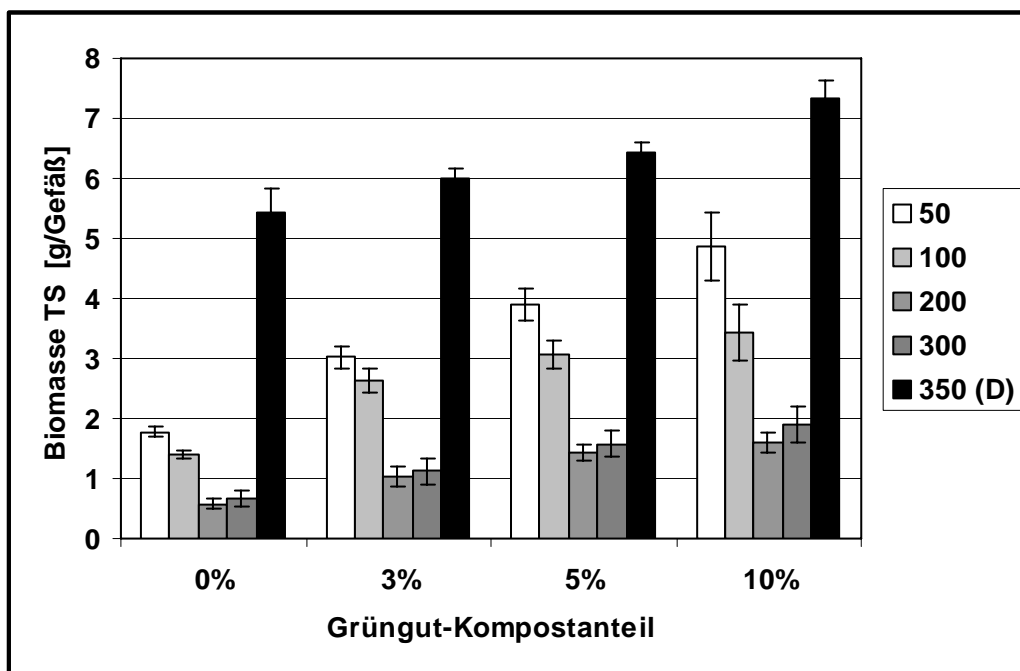


Abb. VII/8: Einfluss verschiedener Grün-gut-Kompostanteile auf das Wachstum von *Lolium perenne* (Biomassenbeprobungen nach 50, 100, 200, 300 und 350 Tagen Standzeit; D = mineralische Düngung mit N-P-K-Mg, 35 kg N/ha).

Die Gräser waren trotz künstlicher Beleuchtung in allen Varianten sehr schwachwüchsig und zeichneten sich durch eine hellgrüne Blattfärbung aus, die eindeutig einen Hinweis auf Nährstoffmangel gegeben hat.

Nach der anschließenden Düngung mit 35 kg N/ha begannen die Varianten mit sehr üppigem Wachstum, die Blattfärbung wechselte nun in einen dunkelgrünen Farbton über. Die folgende Biomassenbeprobung ergab Trockensubstanzerträge, die weitaus höher lagen, als der positive Nutzen durch Grün-gut-Kompostanteile: Bei der Variante ohne bisherige Behandlung stiegen die TS-Gehalte auf durchschnittlich 5,4 g/Gefäß, bei der mit 10 %-igem Grün-gut-Kompostanteil auf 7,3 g, was im letzten Fall umgerechnet einer TS-Masse von 21,2 dt/ha entspricht; vergleichend dazu führen BRIEMLE et al. (1991) einen Trockenmassenertrag auf ungedüngten, aber etwas besser versorgten Standorten von Borstgras-Magerrasen (*Nardetalia*) von ca. 20 dt/ha an.

Es ist festzuhalten, dass sich der Einfluss von Grüngut-Kompost auf das Wachstum von *Lolium perenne* positiv ausgewirkt hat. Dabei waren die höchsten Erträge und damit auch die bestmögliche Förderung des Wachstums bei der Variante mit 10 % Grüngut-Kompost zu verzeichnen. Allerdings muss in diesem Zusammenhang auf die relativ schnelle Abnahme der Biomassenerträge hingewiesen werden, die mit einer nachfolgenden mineralischen Düngung kompensiert werden konnte.

### 3. Aussaatversuch mit *Festuca rubra* agg.

Wie die Veränderungen der Vegetationszusammensetzung auf der Halde III im Sommer 2001 gezeigt haben, dominierte auf den Ansaatflächen nach einiger Zeit die Art *Festuca rubra* agg. Aus diesem Anlass wurde ein Versuch mit den Varianten durchgeführt, wie sie bereits bei der Untersuchung des Wachstums von *Lolium perenne* Verwendung fanden.

#### 3.1 Versuchsspezifische Methodik und Materialien

Für die Versuchsanlage wurden zunächst ausreichende Mengen an Haldensubstrat homogenisiert. Unter Hinzunahme von Stoffen, die die Nährstoffversorgung im Haldensubstrat verbessern, kamen folgende Varianten bei der Untersuchung zum Einsatz:

- Haldensubstrat
- Haldensubstrat mit Düngung (N-P-K-Mg), 35 kg N/ha
- Haldensubstrat mit Grüngut-Kompost (Anteil 10 %, Einarbeitung in 10 cm)
- Haldensubstrat mit Düngung (N-P-K-Mg und Spurenelemente)
- Haldensubstrat mit Düngung (Spurenelemente), 100 g/m<sup>3</sup>
- Haldensubstrat mit Düngung (N-P-K), 35 kg N/ha
- Haldensubstrat mit Düngung (N-P-K und Spurenelemente)

Pro Variante wurden jeweils 10 Gefäße mit den entsprechenden Materialien befüllt, davon 5 je Variante zusätzlich mit Triplephosphat (500 kg P-Dünger/ha = 1,85 g/Gefäß; Einarbeitung in 5 cm Tiefe) versehen. Es erfolgte die Aussaat von *Festuca rubra* im September 2001 mit einer Aufwandmenge von 1,1 g pro Gefäß, entsprechend einer Menge von 30 g pro m<sup>2</sup>.

Alle sonstigen Dünger (mineralische Mehrnährstoffdünger, Spurenelemente) sind erst 4 Wochen nach dem Aussaattermin auf der Substratoberfläche ausgebracht worden; alle weiteren, sich wiederholenden Düngergaben mit 35 kg N/ha nach dem jeweils vorangegangenen Biomassenschnitt.

Die Tagestemperatur betrug mindestens 20 °C, die der Nacht 15 °C. Da der Versuch erst am Ende der regulären Vegetationsperiode im September begonnen wurde, erfolgte eine sofortige Sicherstellung der täglichen Beleuchtungsstärke von 35.000 Lux.



Gewässert wurde nach Bedarf. Die Biomassenschnitte wurden nach 75, 150 und 300 Tagen Standzeit durchgeführt.

### 3.2 Ergebnisse und Diskussion

Nach Bewässerung des ausgesäten Saatguts war das Auflaufverhalten auf den einzelnen Varianten unterschiedlich. In den Gefäßen ohne jegliche Düngungen mit mineralischen Komponenten war das Auflaufen der Saat relativ einheitlich und als „gut“ zu bezeichnen, bei den Varianten mit Kompost eher als „befriedigend“ einzustufen.

Das anschließende Wachstum war im Vergleich der Varianten sehr verschieden. Sowohl die Null-Variante als auch die mit zugegebenen Spurenelementen verblieben in einem sehr niedrigen Entwicklungsstadium und erreichten nur Wuchshöhen unter 10 cm bei hellgrüner Färbung der Biomasse.

Die Entwicklung der Trockensubstanzerträge in den Varianten entwickelte sich wie folgt (s. Abb. VII/9).

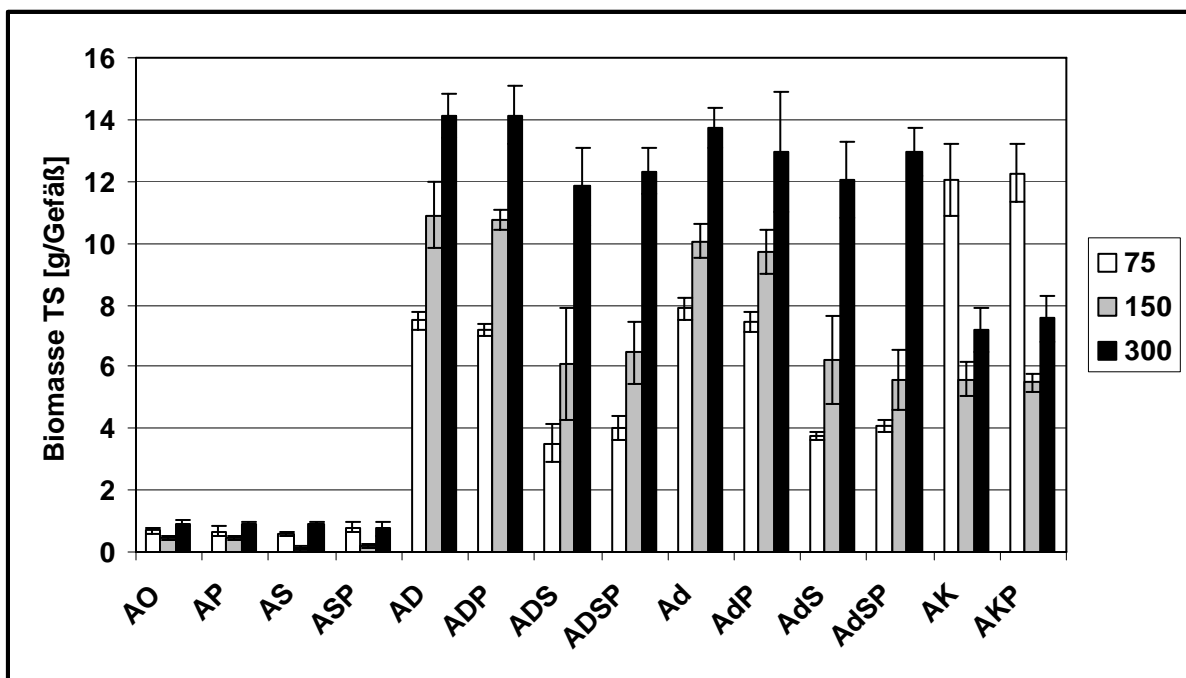


Abb. VII/9: Durchschnittliche Biomassen-Gewichte (Trockensubstanz) je Gefäß von *Festuca rubra* an vier Schnittterminen: nach 75, 150 und 300 Tagen Standzeit. (Abkürzungen: TS = Trockensubstanz, A = Abraum, O = ohne Behandlung, P = Triplephosphat, S = Spurenelemente, D = Düngung mit N-P-K-Mg, d = Düngung mit N-P-K, K = Grünabfall-Kompost)

Die aufgewachsenen Biomassen der nicht mit Mehrnährstoffdünger bzw. Grüngut-Kompost behandelten Varianten entwickelten Trockensubstanzerträge von jeweils weniger als 1 g/Gefäß über den gesamten Versuchszeitraum, was weit unterhalb der

sonstigen Werte der anderen Behandlungen lag. – Die Gefäße, die mit Makronährstoffen in Form von mineralischen Düngern versorgt wurden, erbrachten bei der ersten Beprobung TS-Erträge zwischen 3,5 und 7,9 g/Gefäß; hierbei ist besonders zu erwähnen, dass die zusätzlich mit Spurenelementen gedüngten Varianten nur rund die Hälfte der Trockenmassen produzierten im Vergleich zu jenen ohne Mikronährstoffe. – Dagegen erreichten die mit Grüngut-Kompost versehenen Gefäße sogar über 12 g nach dem ersten Biomassenschnitt.

Nach weiteren 75 Tagen Standzeit zeigte sich, abgesehen von den Varianten ohne zusätzlichen Mehrnährstoffdünger und Kompost, ein deutlicher Aufwärtstrend. Die mineralisch gedüngten Substrate stiegen auf Werte zwischen 9,8 und 11 g TS/Gefäß, während die zusätzlich mit Spurenelementen versehenen Gräser zwischen 5,6 und 6,3 g Trockensubstanz pro Gefäß produzierten. – Der zweite Schnitt der mit Kompost behandelten Varianten erreichte ungefähr das vorgenannte Niveau.

Eine weitere Steigerung bei den produzierten Biomassen fand nach 300 Tagen Standzeit des Versuches statt: Die Gräser auf den mineralisch gedüngten Substraten entwickelten Biomassen von maximal 14,1 g TS/Gefäß; der durchschnittliche Ertrag lag nur ca. 0,5 g unter dem Maximalwert. – Auf den zusätzlich mit Mikronährstoffen gedüngten Substraten wuchsen die Gräser ebenfalls wieder schwächer und produzierten eine um 1,0 bis 1,5 g/Gefäß niedrigere Trockenmasse. – Die TS-Erträge der mit Grüngut-Kompost behandelten Varianten lagen zwischen 7,2 und 7,6 g/Gefäß; somit wuchsen auf den rein mit Makro-Mehrnährstoffdüngern behandelten Substraten fast doppelt so hohe Biomassen. – Ein möglicher Einfluss von Triplephosphat war nicht erkennbar.

Die Wuchsentwicklung von *Festuca rubra* auf den verschieden behandelten Varianten hat deutlich gemacht, dass das Wachstum und damit auch die produzierte Biomasse in erster Linie von der Zugabe mineralischen Mehrnährstoffdüngers abhängig ist. Dagegen wirkt die Zuführung von Mikronährstoffen insgesamt auf das Wachstum behindernd. Ohne jeglichen Dünger fällt das Wachstum sehr bescheiden aus; für die laboranalytische Untersuchung der Nährstoffe konnte schon bei der zweiten Biomassenbeprobung nicht genügend Material geschnitten werden. – Die Behandlung mit Grüngut-Kompost wirkt sich zwar förderlich auf das Wachstum von *Festuca rubra* aus, jedoch nimmt die Biomassenproduktion ab dem zweiten Schnitt ab; begleitet wird dieses Phänomen von einer hellgrünen Blattfärbung.

Mit erreichbaren TS-Gehalten von ca. 14 g/Gefäß werden vergleichbare Werte erzielt, wie sie nach SPATZ (1994) von einer typischen Goldhaferwiese (40 dt/ha) mindestens produziert wird.

Ohne jegliche Düngungsmaßnahmen liegen die produzierten Biomassen vergleichend zu den Angaben von BRIEMLE et al. (1991) niedriger (2,5 dt/ha) als die noch jenseits der Untergrenze befindlichen Erträge eines ungedüngten, schlecht versorgten Borstgras-Magerrasens (5 dt/ha).

#### 4. Aussaatversuch mit *Betula pendula*, *Pinus sylvestris*, *Picea abies*

Neben den Pionierbaumarten haben sich im Rahmen der natürlichen Sukzession auch einige anspruchsvollere Gehölze angesiedelt. Bestandesbildend sind vor allem solche Arten, die auf Rohböden keimen und wachsen können.

Vor diesem Hintergrund wurden die Baumarten *Betula pendula*, *Pinus sylvestris* und *Picea abies* ausgewählt, da Samen dieser Arten im Gegensatz zu *Populus tremula* und *Salix caprea* ganzjährig zur Verfügung stehen.

Inwieweit mineralische Dünger und Kompoststoffe ein Aufwachsen von Sämlingen unterstützen können, war Zielsetzung dieses Versuches.

##### 4.1 Versuchsspezifische Methodik und Materialien

Um das Auflaufverhalten der o. g. Arten und ihre anschließende Wachstumsentwicklung zu untersuchen, wurden für diesen Versuch folgende Substrate bzw. Substratgemische ausgewählt:

- Haldensubstrat
- Haldensubstrat mit späterer Düngung (N-P-K-Mg – 12/12/17/2)
- Haldensubstrat (50 %) mit Torfkultursubstraten 1 (25 %) und 2 (25 %)
- Haldensubstrat (75 %) mit Bioabfall-Kompost (25 %)

Jeweils 4 Aussaatschalen wurden pro Variante mit dem entsprechenden Materialgemisch befüllt. Das Samenmaterial war bereits stratifiziert worden, so dass eine sofortige Keimung nach Ausbringung eingeleitet werden konnte. Insgesamt 200 Samen pro Baumart und Variante wurden in Rillen ausgelegt, nachdem die Substrate vorgewässert waren. Begonnen wurde mit dem Versuch Mitte Juni 1998.

Parallel dazu erfolgte die Überprüfung der Keimfähigkeiten im Klimaschrank bei 23 °C auf Filterpapier im geschlossenen Medium, damit die zum Keimen notwendige Feuchtigkeit gewährleistet war. Tägliche Lüftungen der geschlossenen Behälter verhinderten die Ausbreitung von Pilzen.

Nach Abschluss des Versuchs wurden die Wurzeln der Nadelgehölze untersucht.

##### 4.2 Ergebnisse und Diskussion

Nach dem Ausbringen der Samen auf den jeweiligen Substraten begann der Quellungsprozess bei ausreichender Bewässerung.

Später keimten die ersten Samen, das Auflaufen verzögerte sich innerhalb einer Variante bis zu 2 Wochen. Während 4 Versuchswochen keimte das ausgelegte Samenmaterial.

Im Klimaschrank wurde der Keimungsprozess durch die Temperaturführung etwas beschleunigt, so dass insgesamt bei *Betula pendula* eine Keimfähigkeit von 41 % nachgewiesen wurde; die der beiden anderen Baumarten lagen bei 90,5 % (*Pinus sylvestris*) und 83,0 % (*Picea abies*).

Wie aus Abbildung VII/10 ersichtlich, keimten die drei Baumarten bei den Aussaaten in den jeweiligen Varianten recht unterschiedlich: Während *Pinus sylvestris* und *Picea abies* ihre Keimfähigkeitsrate im reinen Haldensubstrat noch um 3 bis 5,5 % steigern konnte, zeigte *Betula pendula* eine solche von nur 15 %. Die Aussaatschalen mit Düngung und Anteilen von Torfkultursubstraten förderten die Keimung der beiden Nadelbaumarten in der bisher beschriebenen Weise. *Betula pendula* erreichte mit 18,5 % Keimfähigkeit die höchste Rate auf der gedüngten Variante, aber nur 10,5 % im mit Kultursubstrat versetzten Haldenmaterial. – Die schlechtesten Keimfähigkeitsergebnisse lieferten die Samen in den Aussaatschalen mit einer Mischung aus Haldenmaterial und Bioabfall-Kompost. Während bei *Betula pendula* kein einziger Keimling nachgewiesen werden konnte, keimten bei *Pinus sylvestris* noch 10,5 % und bei *Picea abies* gar 39,5 %.

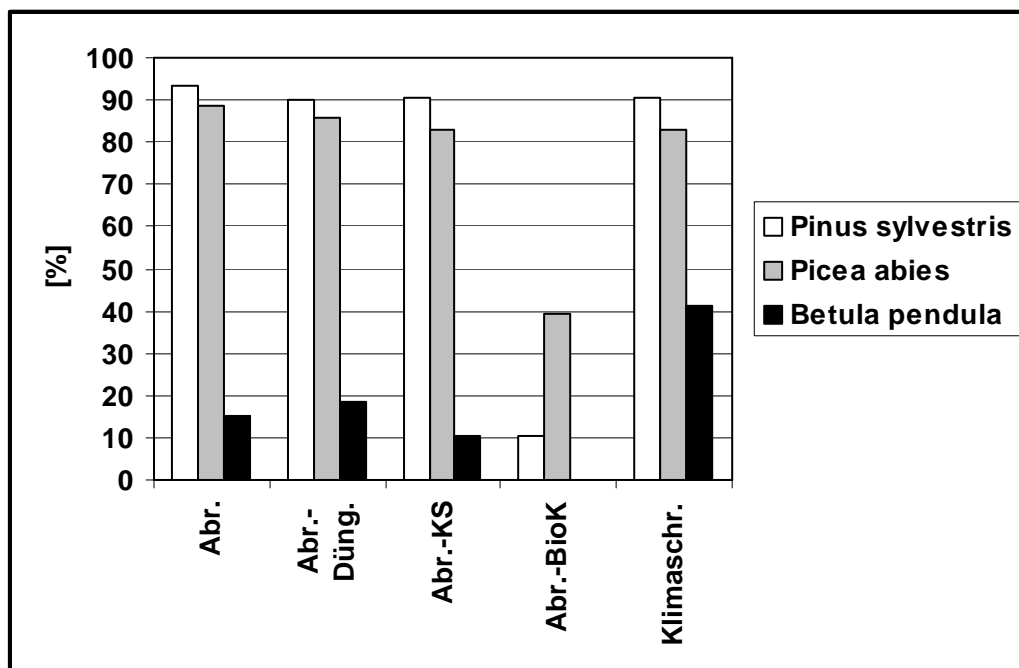


Abb. VII/10: Keimfähigkeit der verwendeten Baumarten in den verschiedenen Varianten im Vergleich zur Überprüfung im Klimaschrank (Aussaatsmenge pro Baumart: n = 200). (Abkürzungen: Abr. = Haldensubstrat, Düng. = mineralische Düngung, BioK = Bioabfall-Kompost, Klimaschr. = Klimaschrank)

Somit konnte bei den beiden Nadelgehölzarten keine negative Beeinflussung des anhydritisch geprägten Haldensubstrats auf das Keimfähigkeitsverhalten festgestellt werden. Nach dem INSTITUT FÜR WALDBAU (1987) liegen die Keimfähigkeiten im Klimaschrank innerhalb des beschriebenen Rahmens. AMANN (1993) und ROHMEDE (1972) geben für *Pinus sylvestris* und *Picea abies* eine Keimfähigkeit von 95 % an, bei *Betula*

*pendula* jedoch nur von 15-20 %. Somit können im Großen und Ganzen die Keimfähigkeitsraten zufriedenstellen.

In den folgenden Wochen konnten jedoch folgende Beobachtungen gemacht werden:

Bei *Pinus sylvestris* blieb die Anzahl vitaler Sämlinge in der Variante „Haldensubstrat mit Kultursubstrat“ nahezu gleich. Um rund 20 % verringerte sich jedoch die Zahl auf reinem Haldensubstrat sowie auf dem mit mineralischer Düngung. Die wenigen Keimlinge im mit Bioabfall-Kompost gemischten Substrat starben bereits allesamt nach 4 Wochen ab.

Nachdem *Picea abies* mit guten Keimlingszahlen aufgelaufen war, stabilisierten sich diese über den gesamten Versuchszeitraum auf Werte zwischen 81 und 88 %. Obwohl knapp 30 % der Samen auf dem mit Bioabfall-Kompost behandelten Substrat aufgelaufen waren, starben diese nach 4 bis 6 Wochen weitgehend ab, die letzten überlebten bis zur 8. Versuchswoche.

Die wenigen Exemplare von *Betula pendula* waren nur auf reinem Haldensubstrat und auf dem Substratgemisch mit TKS in ihrer Gesamtheit überlebensfähig. Von der höchsten Keimungsrate auf dem gedüngten Haldensubstrat mit 18 % verblieben bis zum Ende des Versuchszeitraums nur ein Drittel überlebensfähiger Sämlinge.

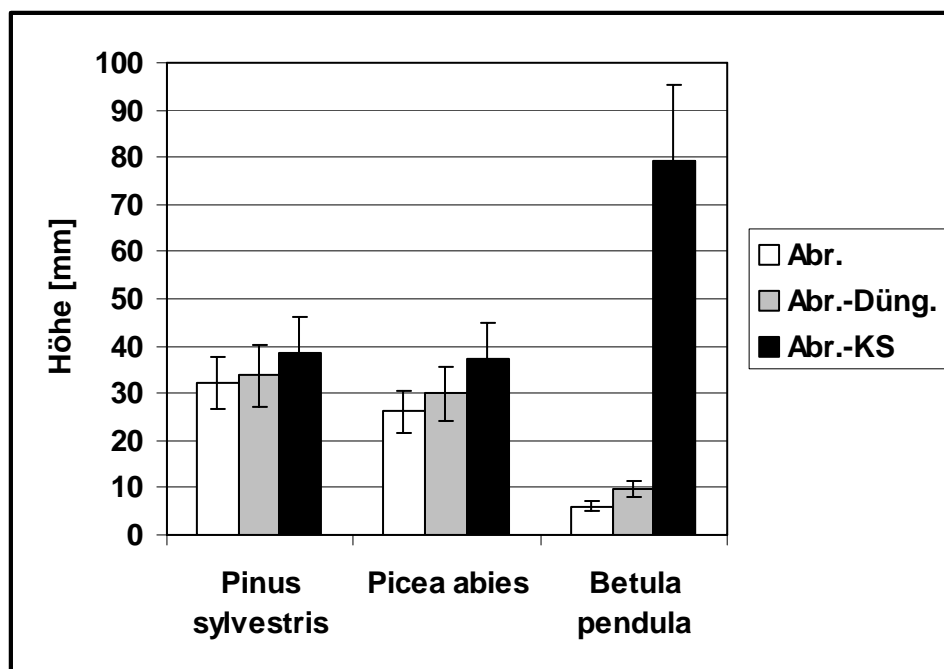


Abb. VII/11: Höhenwachstum der verwendeten Baumarten in den verschiedenen Varianten.  
(Abkürzungen: Abr. = Haldensubstrat, Düng. = mineralische Düngung, KS = Torfkultursubstrat)

Im Laufe des Versuchs entwickelte sich das Höhenwachstum wie folgt (s. Abb. VII/11). Alle drei Baumarten wuchsen erwartungsgemäß auf der Variante mit Torfkultursubstrat am besten; dabei erreichte *Pinus sylvestris* eine Höhe von 38,5 mm, *Picea abies* 37,3 mm und *Betula pendula* von durchschnittlich 79 mm, da das Längenwachstum

eines Laubgehölzes bei hohen Nährstoffgehalten deutlich über dem einer Nadelbaumart liegt. Das reine Haldensubstrat ließ bei allen Baumarten nur ein geringes Höhenwachstum zu, wobei *Betula pendula* eine Höhe von 6,1 mm erreichte. Während hier *Pinus sylvestris* gut 5 mm unter der durchschnittlichen Höhe der Haldensubstrat-TKS-Variante blieb, waren es bei *Picea abies* über 11 mm.

Das unterschiedliche Höhenwachstum liegt in den höheren Ansprüchen der Baumart *Picea abies* an die Nährstoffversorgung im Gegensatz zu *Pinus sylvestris* begründet.

Nach Beendigung des Versuches erfolgte eine **Untersuchung der Wurzeln**. Dazu wurden die Sämlinge (100 je Variante) der beiden Arten *Pinus sylvestris* und *Picea abies* langsam dem Substrat entnommen und vorsichtig gewaschen. Danach erfolgte die Messung und Zählung der Primär- und Sekundärwurzeln (ab 2 mm Länge) sowie die Bewertung vorhandener Tertiärwurzeln. – Da die Gehölzpflanzenwurzeln z. T. sehr unterschiedlich gestaltet waren, wird auf eine Abweichung vom Mittelwert verzichtet.

Die eine Pfahlwurzel bildende *Pinus sylvestris* entwickelte naturgemäß die längeren Primärwurzeln (s. Abb. VII/12). Jedoch war das Wachstum der Primärwurzeln unter mineralischem Düngereinfluss deutlich geringer (1,7 cm im Durchschnitt). Ähnlich verhielt es sich bei dieser Baumart mit den Längen der Sekundärwurzeln. Nur die Variante mit Torfkultursubstrat förderte leicht die Entwicklung der Wurzeln im Vergleich zur ungedüngten Variante.

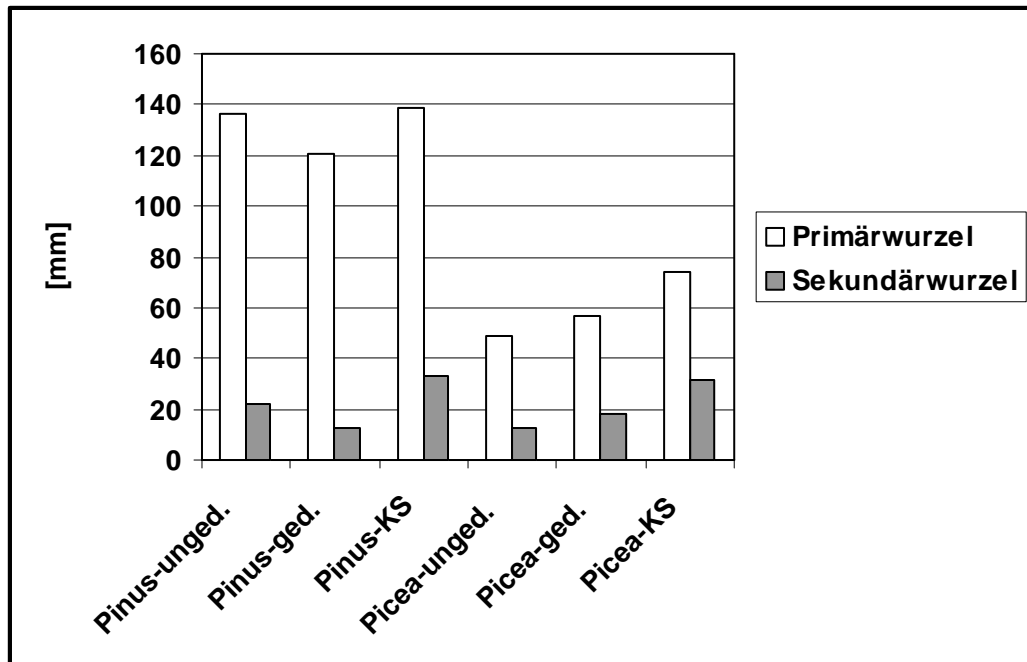


Abb. VII/12: Durchschnittliche Wurzellängen von *Pinus sylvestris* und *Picea abies*.

Die sonst auch anspruchsvollere Baumart *Picea abies* wurde durch die Zuführung von Dünger gefördert, was sich in zunehmendem Primär- und Sekundärwurzelwachstum

zeigte. Auf der Variante mit Torfkultursubstrat wurden ebenfalls die besten Ergebnisse hinsichtlich des Längenwachstums erzielt.

Im Folgenden werden die gezählten Sekundärwurzeln dargestellt (s. Abb. VII/13). Besonders deutlich wird bei beiden Baumarten der Einfluss der Düngung: Die Anzahl der Sekundärwurzeln stieg bei *Pinus sylvestris* um ca. 50 %, bei *Picea abies* allerdings nur um rd. 15 %. – Der Einfluss von Torfkultursubstrat war auf die Anzahl der Sekundärwurzelnbildung bei *Pinus* ein wenig förderlich, bei *Picea* wurde die Entwicklung relativ stark gebremst, so dass noch weniger Sekundärwurzeln als bei der unbehandelten Variante ausgebildet wurden.

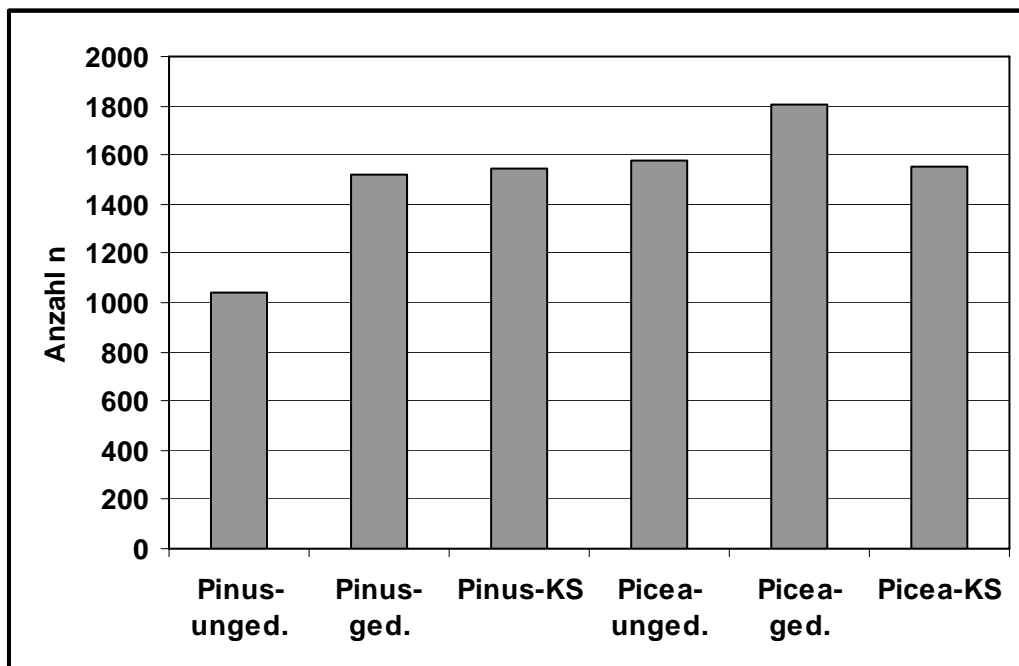


Abb.VII/13: Anzahl der Sekundärwurzeln innerhalb der einzelnen Varianten bei den Baumarten *Pinus sylvestris* und *Picea abies* (Pflanzenzahl pro Variante: n = 100).

Die beste Tertiärwurzelentwicklung konnte bei *Pinus sylvestris* auf der Variante mit Torfkultursubstrat-Beimischung erzielt werden, bei *Picea abies* hingegen auf dem reinen, unbehandelten Haldensubstrat.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass sich Düngungsmaßnahmen im Sämlingsalter bei *Pinus sylvestris* negativ auf das Wurzellängenwachstum auswirkt, dagegen bei *Picea abies* diese Entwicklung eher gefördert wird.

Dieses Ergebnis sollte Grundlage für die Behandlung auf der Halde ausgepflanzter Sortimente sein.

## **Kap. VIII: Begrünungsversuche auf der Halde III**

Im Rahmen der Begrünung der Halde III wurden auf den geeigneten Expositionen Flächen für Untersuchungszwecke ausgewählt. Zum einen erfolgten Grasansaat mit unterschiedlichen Behandlungsmethoden, zum anderen sollten Gehölzpflanzungen für die Schaffung einer späteren Baumschicht durchgeführt werden. Grundlage dafür ist die vor Untersuchungsbeginn formulierte Zielsetzung, einen Vegetationsbestand auf den überwiegenden Flächen der Halde zu etablieren, der in soweit stabilisiert werden kann, dass das geforderte Begrünungsziel bis zum Jahr 2010 erreicht werden kann.

Somit sind die Begrünungsversuche ausnahmslos anwendungsorientiert einzustufen, um die geeignetste Form der Begrünung, ihrer Durchführung sowie zukünftig eine Nachsorge mit möglichst geringem personellem und technischen Aufwand betreiben zu können.

Im ersten Teil werden die Untersuchungen zur Begrünung mit Gräseransaat dargestellt, im zweiten folgt die Beschreibung der Gehölzanpflanzungen.

### **1. Begrünungsversuche mit Gräseransaat**

Neben den großflächig durchgeführten Begrünungen wurden auf insgesamt 20 Flächen Ansaatmischungen ausgebracht und diese über 3 Vegetationsperioden untersucht. Eine Untersuchung war darauf ausgerichtet, mit verschiedenen Varianten Ansaat zu behandeln, im anderen Fall fand die Begrünung von Versuchspartzen nach einer großflächigen Ausbringung von Kompost mittels Hubschrauber statt.

#### **1.1 Gräseransaat mit verschiedenen Behandlungsvarianten**

Im nachstehend beschriebenen Versuch wurde nach der Aussaat von Gräsern mit verschiedenen Behandlungsvarianten, wie Düngung und Kompostausbringung, gearbeitet.

##### **1.1.1 Versuchsspezifische Methodik**

Zu Beginn dieses Versuchs wurden 12 Partzen für die künstliche Begrünung mittels Ansaat ausgewählt. Aufgrund der z. T. stark strukturierten Haldenoberfläche gestaltete sich diese Auswahl recht schwierig, da nicht nur bisher vegetationsfreie Flächen, sondern auch solche mit ausreichend mächtiger Lockerschichtauflage (> 30 cm) Verwendung finden sollten.

Nach Festlegung der jeweils 20 m<sup>2</sup> großen Partzen wurden diese ausgepflockt und mit der im Hauptkapitel „Material und Methoden“ beschriebenen Ansaatmischung aus *Dactylis glomerata*, *Festuca ovina*, *Festuca rubra* und *Lolium perenne* mit einer Aufwandmenge von 30 g/m<sup>2</sup> eingesät, nachdem, je nach Variante, entsprechende Vorbehandlungen vorgenommen wurden. Die Einsaat ist als einmalige Maßnahme zu verstehen, Nachsaat wurden nicht durchgeführt.



Von den 12 Parzellen sind jeweils drei den folgenden Behandlungsvarianten zugeordnet worden:

**a. Null-Variante:**

In dieser Variante erfolgte nach der Einsaat keine Behandlung dieser Flächen über den gesamten Untersuchungszeitraum.

**b. Variante mit Mineraldüngung:**

Nach Auflaufen der Ansaat wurden die Versuchsparzellen mit jeweils 35 kg N/ha gedüngt. Dabei fand der mineralische Düngertyp N-P-K-Mg (12-12-17-2) in granulierter Form Verwendung.

**c. Variante mit Kompostüberdeckung:**

Vor Einsaat der Parzellen wurde Grüngut-Kompost in einer Mächtigkeit von 3 cm aufgebracht, was einer Aufwandmenge von 300 m<sup>3</sup>/ha entspricht. FISCHER (1993) und SCHARPF (1994) geben maximale Aufwandmengen für die Förderung des Wachstums bei Rasenflächen bis 400 m<sup>3</sup>/ha an.

**d. Variante mit schwacher Kompostauflage:**

Um die Möglichkeit deutlich geringerer Aufwandmengen von Grüngut-Kompost mit zu untersuchen, erfolgte eine schwachmächtige Kompostausbringung von 50 m<sup>3</sup>/ha, was auf den Versuchsparzellen einer Mächtigkeit von 0,5 cm entspricht. FISCHER (1993) empfiehlt diese Menge an Grüngut-Kompost für die Anzuchtukulturen. – Nach der Erstellung der Kompostauflage fand die Einsaat der Flächen statt.

Während des Untersuchungszeitraumes (2000-2002) über drei Vegetationsperioden erfolgte die Kompostausbringung einmalig. Die Versuchsparzellen mit mineralischer Düngung wurden in jeder Vegetationsperiode zweimalig mit 35 kg N/ha gedüngt, was einer Gesamtmenge von 70 kg N/ha pro Jahr entspricht.

Da die Ansaat innerhalb der ersten Vegetationsperiode auf den meisten Parzellen mosaikartig aufgelaufen war und sich nur spärlich entwickelt hatte, fand eine Biomassenbeprobung in der 2. und 3. Vegetationsperiode statt. Durchgeführt wurde die Beprobung Anfang Juli auf jeweils zwei Stichproben pro Parzelle mit einer Größe von 30 x 30 cm, nachdem die Dünger-Varianten jeweils eine Gabe Anfang Mai erhalten hatten. Die weitere Probenbehandlung ist im Hauptkapitel „Material und Methoden“ beschrieben worden.

Die Artenzusammensetzung auf den Versuchsparzellen wurde ebenfalls mit erfasst.

### 1.1.2 Ergebnisse und Diskussion

Nach Ausbringung der Ansaatmischung erfolgte das Auflaufen bereits wenige Tage nach einem für die **Keimung** notwendigen Niederschlagsereignis. Sowohl die Keimungsphase als auch das spätere Wachstum zeigten sich auf den einzelnen Versuchsparzellen in mosaikhafter Verteilung. Durch die unebene Oberflächenstruktur der Halde wurde bereits durch die ersten Niederschläge nach Einsaat ein Teil der Sa-

menkörner in Kleinmulden bzw. -rinnen verbracht. Somit fand die Keimung des Saatgutes schwerpunktmäßig in diesen Vertiefungen statt. Nur relativ wenige Samenkörner keimten auf erhöhten Stellen; ein Teil jener vertrocknete im Wachstumsverlauf in Zeiten ausbleibender Niederschläge, da das Haldenmaterial, wie beschrieben, nur sehr schlechte Wasserhaltekapazitätspotenziale besitzt.

Das weitere **Wachstum** der unterschiedlichen Varianten gestaltete sich ebenfalls recht unterschiedlich:

In den unbehandelten Parzellen war die Entwicklung der Gräser sowohl nach Keimung als auch in den folgenden Vegetationsperioden sehr verhalten. Das Höhenwachstum blieb über den gesamten Zeitraum auf einem sehr niedrigen Niveau, auch das Wachstum der einzelnen Horste war sehr eingeschränkt.

Deutlich besser war das Wachstum auf den Versuchsparzellen mit Mineraldüngung und Kompostauflage. Da zwar ähnliche Oberflächenstrukturen wie bei den vorgenannten Parzellen vorherrschten, verlief die Keimung ebenfalls mosaikartig und vorwiegend in Mulden, das anschließende Höhenwachstum der Gräser war in den folgenden Wochen jedoch intensiver ausgeprägt. In den nächsten Vegetationsperioden breiteten sich die bisher begrüneten Mosaikteile weiter aus.

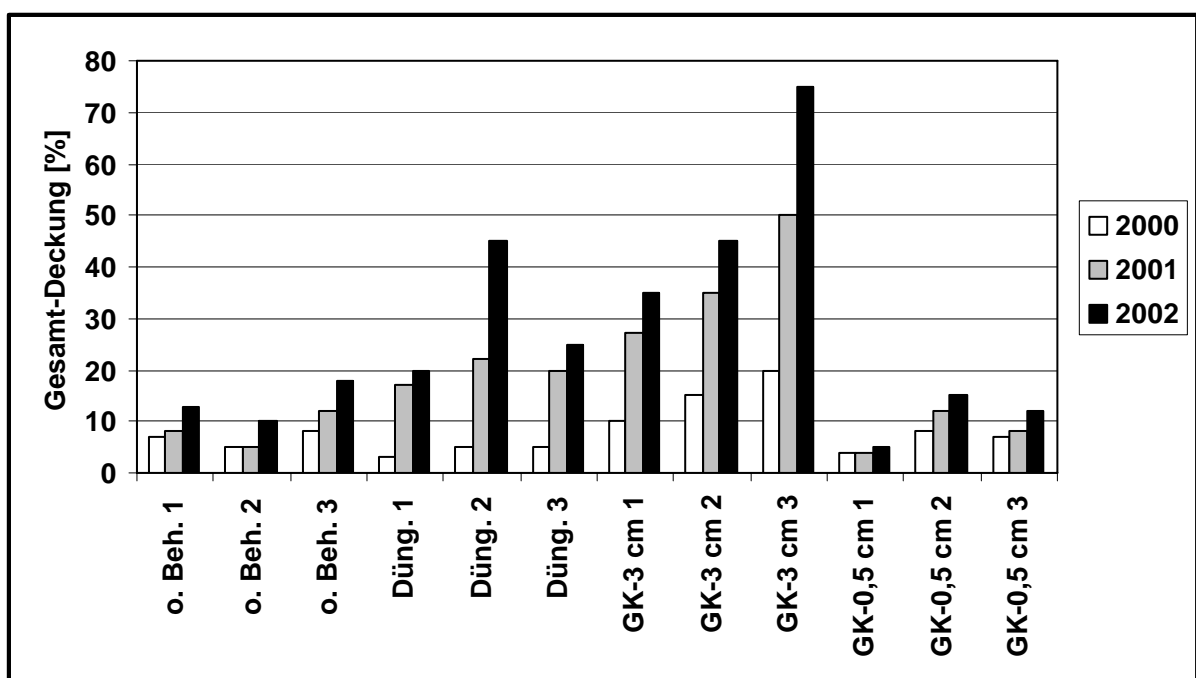


Abb. VIII/1: Entwicklung der Gesamt-Deckung auf den einzelnen Versuchsparzellen der Varianten ohne Behandlung (o. Beh.), mit mineralischer Düngung (Düng.) und Grüngut-Kompost (GK) mit 3 cm bzw. 0,5 cm Mächtigkeit.

In der ersten Vegetationsperiode gestaltete sich die **Gesamt-Deckung** bis auf die Variante mit 3 cm Kompostmächtigkeit, bei der Deckungsgrade zwischen 10 und 20 % erreicht wurden, relativ einheitlich (s. Abb. VIII/1). Auf den anderen Varianten mit insgesamt 9 Parzellen konnten im 1. Jahr Deckungen zwischen 3 und 8 % erreicht werden.

Das zweite Jahr brachte zwischen den besser mit Nährstoffen versorgten und wenig geförderten Versuchspartzellen eine deutlichere Abstufung mit sich. Während die Vegetation der Null-Variante zwischen 8 und 12 % deckte, wurden auf den gedüngten Partzellen Werte zwischen 17 und 22 % erreicht. Auf den Grüngut-Kompost-Flächen steigerte sich die Deckung auf 27 bis 50 %. Dagegen erhöhte sich die Gesamt-Deckung auf den mit Kompost schwachmächtig überdeckten Partzellen nur sehr wenig und lag noch unter dem Niveau der Null-Variante.

Im dritten Untersuchungsjahr wuchs der Deckungsvorsprung der besser versorgten Versuchspartzellen und brachte bei der Düngungsvariante Werte zwischen 20 und 45 %, auf den Flächen mit 3 cm Kompostauflage sogar zwischen 35 und 75 % hervor. Auf der Fläche der Null-Variante wuchs die Deckung auf Prozentsätze zwischen 10 und 18 an, am schlechtesten war die Gesamtdeckung der Partzellen mit der schwachmächtigen Kompostauflage (5 bis 15 %).

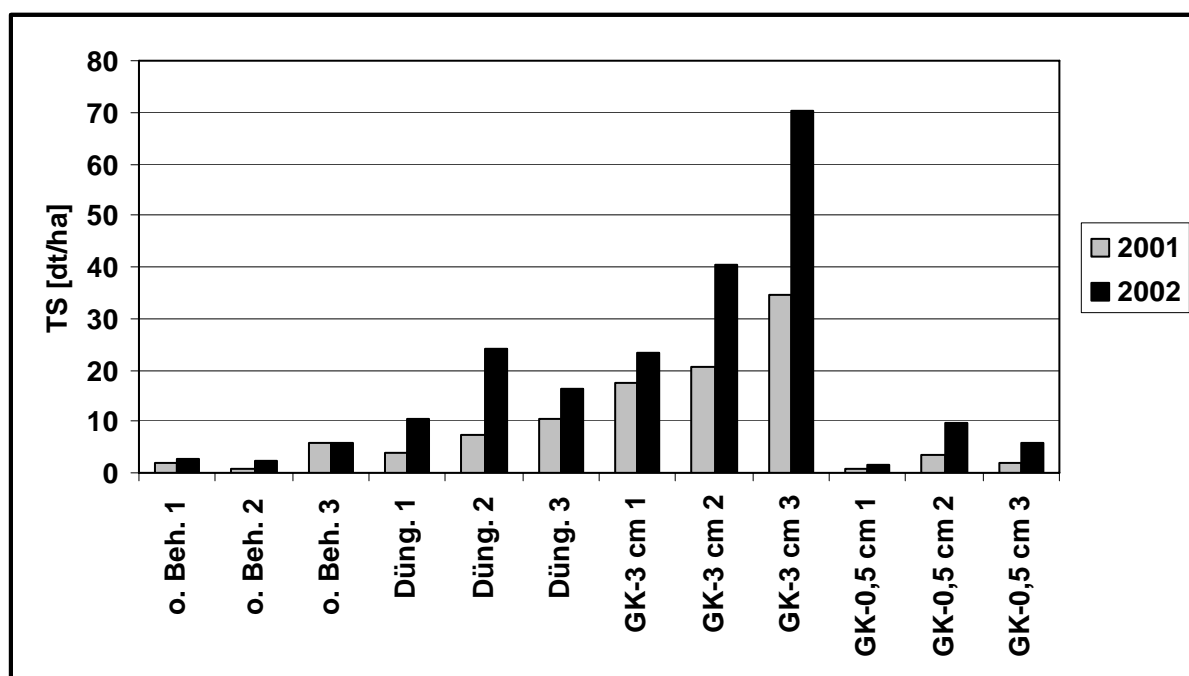


Abb. VIII/2: Entwicklung der Trockensubstanz-Erträge (TS in dt/ha) auf den einzelnen Versuchspartzellen der Varianten ohne Behandlung (o. Beh.), mit mineralischer Düngung (Düng.) und Grüngut-Kompost (GK) mit 3 cm bzw. 0,5 cm Mächtigkeit.

Bei der Entwicklung der **Trockensubstanzerträge** in den einzelnen Versuchspartzellen bot sich tendenziell ein ähnliches Bild (s. Abb. VIII/2) – die Berechnung erfolgte in Abhängigkeit der jeweiligen Deckung: Auf der Null-Variante entwickelten sich die Erträge bis auf maximal 6,0 dt/ha. Deutlich höher, mit Massen zwischen 10,5 und 24,2 dt/ha, lag die Variante mit Mineraldüngung beim zweiten Biomassenschnitt. Die mit Abstand höchsten Trockensubstanzerträge lieferte die Grüngut-Kompost-Variante (3 cm) mit Werten zwischen 23,4 und 70,4 dt/ha. Dagegen konnten bei der mit Grüngut-Kompost schwachmächtig überdeckten Partzelle (0,5 cm) TS-Erträge bis maximal 10,0 dt/ha ge-

erntet werden; auch wenn die Gesamtdeckung bei dieser Variante am geringsten war, lagen die Erträge im Durchschnitt über denen der unbehandelten Variante.

Ergänzend muss angemerkt werden, dass sowohl die Deckungen als auch die Trockensubstanzerträge innerhalb der einzelnen Varianten z. T. erheblich voneinander abweichen. Aus diesem Grunde wurde auf eine durchgehende Mittelwertberechnung, trotz dreifacher Wiederholung, verzichtet und die Ergebnisse in ihrer vollen Bandbreite dargestellt.

In erster Linie liegen die abweichenden Deckungsgrade sowie die Trockensubstanzerträge innerhalb einer Variante darin begründet, dass die Oberfläche der Halde und damit auch die der Versuchsflächen hinsichtlich des Kleinreliefs meist stark strukturiert ist und somit in der Phase des Auflaufens bereits sehr unterschiedliche Ausgangsbedingungen gegeben sind. Der weitere Wachstumsgang wird dann zusätzlich von der Dynamik der Haldenoberflächen beeinflusst. Durch Niederschläge bedingte Auslösungen in der Tiefe werden Lockermaterialien nach unten verbracht, sofern sie noch nicht ausreichend begrünt und durchwurzelt sind.

Da die mineralische Düngung bis zum 1. Biomassenschnitt in der Vegetationsperiode in Höhe der jährlich natürlich eingetragenen Stickstoffmengen lag, fielen die Erträge in Abhängigkeit der relativ schlechten Keimungsbedingungen und der Deckung nicht so hoch aus. Dennoch konnten direkt auf den Stichprobenmosaiken Trockensubstanzen zwischen 47,1 und 58,4 dt/ha geerntet werden, wenn die Deckung jeweils außen vor gelassen wird. Bei der Variante mit 3 cm Grüngut-Kompost sind vergleichend dazu auf den Stichprobenkleinflächen 60,1 und 84,5 dt/ha ermittelt worden.

Dieses entspricht nach MOTT (1988) im Fall der Düngungsvariante einem Trockensubstanzertrag einer trockenen Glatthaferwiese (40-60 dt/ha) bei einer jährlichen N-Düngung von 0 bis 60 kg/ha und zwei Schnitten, im zweiten Fall (Behandlung mit Grüngut-Kompost) einer typischen Glatthaferwiese mit 80-90 dt/ha bei einer jährlichen Düngung von 80-120 kg N/ha, wenn 2 bis 3 Schnitte pro Jahr erfolgen (vergl. a. NITSCHE & NITSCHKE, 1994). SPATZ (1994) ordnet einer trockenen Glatthaferwiese Trockensubstanzerträge zwischen 50-60 dt/ha zu, in der typischen Ausprägung stuft er die Ertragsfähigkeit von 60-80 dt/ha ein. Vergleichend dazu führt er die Goldhaferwiesen an, bei denen zwar ein ähnliches Nutzungsregime wie bei Glatthaferwiesen angewendet wird, jedoch aufgrund kürzerer Vegetationsperioden und schlechteren Bodenverhältnissen die Produktivität geringer ausfällt. Bereits 1971 nennt KLAPP für Goldhaferwiesen TS-Erträge zwischen 12 und 56 dt/ha, je nach Düngerniveau, und weist auf fallende Erträge (ca. 20 dt/ha) nach Jahren ohne Düngungsmaßnahmen hin. BRIEMLE et al. (1991) geben für ungedüngte Goldhaferwiesen einen TS-Ertrag von ca. 30 dt/ha an, auf gedüngten Wiesen einen zwischen 50 und 70 dt/ha.

Zum Vergleich können nach MOTT (1988) auf einer weidelgrasreichen Intensivwiese zwischen 120 und 140 dt TS/ha geerntet werden. Eine jährlich wiederkehrende zweimalige Mahd ohne Düngung ließ bei einer Untersuchung im norddeutschen Tiefland innerhalb eines Jahrzehnts die Erträge auf 34-43 dt TS/ha absinken (OOMES & MOOI, 1985).

In den Vegetationsperioden der Jahre 2000 bis 2002 wurden die Arten in den einzelnen Versuchspartzen aufgenommen. Wie sich die **Artenzusammensetzung** über diesen Zeitraum entwickelte, wird nachstehend beschrieben (s. Tab. VIII/1).

In allen Versuchsvarianten haben sich Gehölzsämlinge, wenn auch meist nur in Form von Einzelexemplaren, auf insgesamt 6 Partzen angesiedelt. Neben den beiden Pionierbaumarten *Betula pendula* und *Salix caprea* gedeihen noch *Prunus avium* und *Quercus robur* auf diesen Flächen. *Betula pendula* fand sich auf 4 Partzen ein und konnte sich auch während des Untersuchungszeitraumes im Sämlingsstadium stabilisieren. In der unbehandelten Versuchspartze 3 entwickelten sich allein im Jahr 2002 über 50 Birkensämlinge. – Die beiden anderen Gehölzarten stammten vermutlich aus Vogelsaat, da bisher keine fruktifizierenden Exemplare auf dem Haldenkörper stocken.

Von den angesäten Gräsern entwickelte sich *Festuca rubra* auf allen Versuchspartzen am besten. Die anfänglichen Deckungsgrade zwischen 3 und 16 % erreichten im 3. Untersuchungsjahr Werte von 5 bis 44 %: In der Variante ohne Behandlung stieg der Deckungsgrad durchschnittlich auf 12 %, die Düngung verhalf zu einer Deckung zwischen 14 und 44 %, auf der Grüngut-Kompost-Variante mit 3 cm Überdeckung lagen die Deckungsgrade zwischen 20 und 38 %. Mit Werten von 5 bis 14 % blieb die schwachmächtige Kompostüberdeckung von 0,5 cm hinter denen der Null-Variante.

Ähnlich sah die Entwicklung, wenn auch auf einem sehr viel niedrigeren Niveau, bei *Dactylis glomerata* aus. Der mit 3 cm aufgebrachte Grüngut-Kompost verhalf dieser Art zu den höchsten Deckungsgraden (bis 18 %). In länger andauernden regenarmen Phasen vertrockneten in einigen Bereichen die z. T. kräftig entwickelten Stängel, Blätter und Fruchtstände dieser Art; nach den folgenden Niederschlägen regenerierten sich die Horste jedoch relativ schnell. Am wenigsten deckte *Dactylis* auf den Flächen der Null-Variante und denen mit der 0,5 cm mächtigen Kompostaufgabe. – *Lolium perenne* lief insgesamt relativ schlecht auf; von den anfänglichen Deckungsgraden bis maximal 2 % (3 cm Grüngut-Kompost) reduzierte sich die Verbreitung dieser Art in der 3. Vegetationsperiode auf 11 Versuchspartzen gegen Null.

In 5 Flächen wanderte *Calamagrostis epigeios* ein, auf 2 Partzen siedelte sich *Coryza canadensis* an. Die salzliebende Art *Puccinellia distans* wuchs während der ersten beiden Vegetationsperioden auf einer Fläche mit Grüngut-Kompost (3 cm), konnte aber zum Abschluss der Untersuchung nicht mehr nachgewiesen werden. – Die stickstoffliebende Art *Urtica dioica* war auf einer Kompost-Partze während der zweiten Vegetationsperiode als Einzelexemplar vertreten.

Die Art, die sich innerhalb aller Varianten und auf den gesamten Versuchspartzen am besten entwickeln und behaupten konnte, ist eindeutig *Festuca rubra* agg. Trotz der „Feinwüchsigkeit“ dieser Art hat sie die höchsten Deckungsgrade auf den Versuchsflächen erzielt. *Dactylis glomerata* war auf der Grüngut-Kompost-Variante noch relativ stark vertreten. Dagegen hat *Lolium perenne* kaum nennenswerte Deckungsgrade erreichen können. Die Art *Festuca ovina* ist trotz eines Aussaatanteils von 20 % nicht nachweisbar gewesen.

Tab. VIII/1: Entwicklung der Vegetationszusammensetzung auf den Versuchspartzen der unterschiedlichen Varianten (ohne Behandlung, D = Düngung, GK = Grüngut-Kompost, (3) = 3 cm Kompost, (0,5) = 0,5 cm Kompost) nach Aussaat im Frühjahr 2000.

Art	1	2	3	4 D	5 D	6 D	7 GK (3)	8 GK (3)	9 GK (3)	10 GK (0,5)	11 GK (0,5)	12 GK (0,5)
[Gesamtdeckung]	7/8/13	5/5/10	8/12/18	3/17/20	5/22/45	5/20/25	10/27/35	15/35/45	20/50/75	4/4/5	8/12/15	7/7/12
<b>Gehölze</b>												
<i>Betula pendula</i>	r/r/+		+/+/1		r/r/+					-r/+		
<i>Prunus avium</i>								r/r/r				
<i>Quercus robur</i>								-/-r	r/-/-			
<i>Salix caprea</i>	r/-/-							-r/r				
<b>Krautige</b>												
<i>Calamagrostis epigeios</i>	r/+/+							+/+/+	+10/18		+r/r	+/+1
<i>Chenopodium album</i>									-r/-			
<i>Conyza canadensis</i>						-/-r		-r/+				
<i>Dactylis glomerata</i>	+/+1	+/+1	+1/2	+1/2	+1/1	+1/4/6	1/8/15	1/6/13	3/10/18	+1/+1	+1/+1	+1/+1
<i>Epilobium ciliatum</i>									-r/r			
<i>Festuca rubra</i> agg.	7/7/12	5/5/10	8/10/15	3/17/18	5/22/44	5/16/14	9/18/20	11/29/31	16/30/38	4/4/5	7/12/14	7/7/9
<i>Holcus lanatus</i>									-r/-			
<i>Lolium perenne</i>	+/+1	+r/-	+1/+1	r/r/-	+r/-	-1/+1	+1/+1	21/+1	11/+1	+r/-	+r/-	+r/-
<i>Poa pratensis</i>	-r/-											
<i>Polygonum aviculare</i>					-1/-r							
<i>Puccinellia distans</i>							r/r/-					
<i>Rumex acetosella</i>								-r/-				
<i>Senecio viscosus</i>		-1/-r										
<i>Taraxacum officinale</i>								r/-/-	-r/-			
<i>Urtica dioica</i>									-r/-			

LÜCKE (1997) hat in seiner Arbeit ebenfalls das schlechte Auflaufverhalten von *Festuca ovina* beschrieben; die Art erreichte allerdings in seinen Untersuchungen noch Deckungsgrade bis 5 %. Deutlich besser bewertete er das Auflauf- und Wachstumsverhalten von *Dactylis glomerata*: Auf der Variante mit Grüngut-Kompost (100 t/ha) erzielte die Grasart bis zu 50 % Deckung und war insgesamt in allen Varianten am häufigsten vertreten.

Übereinstimmend mit LÜCKE ist der Verfasser über die Entwicklungstendenz von *Lolium perenne*. Im Laufe mehrerer Vegetationsperioden nimmt der Anteil stetig ab, andere Arten breiten sich aus. Auch SCHMEISKY et al. (1993) konnten in den Aufnahmen des Jahres 1990 *Lolium perenne* auf den meisten Parzellen nicht mehr nachweisen; die Art deckte in nur einem Fall einen nennenswerten Flächenanteil von 3 %. – Auf die Funktion von *Lolium*, durch das anfängliche schnelle Wachstum andere Gräser in der Entwicklung zu fördern (Ammenfunktion), weist PODLACHA (1999) hin.

Hinsichtlich des Wachstums und der Entwicklung der Deckungsgrade der in dieser Untersuchung angesäten Gräser lassen sich deutliche Parallelen zu den Vegetationsaufnahmen von SCHMEISKY et al. (1993) herleiten: Die im Jahr 1990 auf der Halde III getätigten Vegetationsaufnahmen zeigen die überaus deutliche Dominanz von *Festuca rubra* agg. mit Deckungsgraden zwischen 18 und 80 % auf 17 Versuchsparzellen und einer Stetigkeit des Auftretens von 100 %. *Dactylis glomerata* steht ebenfalls an zweiter Stelle in Bezug auf die Höhe der Deckungsgrade. SCHMEISKY et al. stellten bei dieser Art Werte bis 35 % Deckung fest. SKIRDE (1978) weist zwar daraufhin, dass diese Art kein ausgewiesenes Gras für Begrünungen im Rahmen von Rekultivierungen ist, jedoch sind die standortvagen Ansprüche von *Dactylis* bei der Begrünung von extremen Standorten von Vorteil.

## **1.2 Kompost: Eigenschaften – großtechnische Ausbringung – Gräseransaat**

Teile der Rückstandshalde III – vor allem der in Richtung Werksgelände liegende Bereich – besitzen nur geringe Lockerschichtauflagen, stellenweise Mächtigkeiten von unter 30 cm auf dem oberflächennah anstehenden, festen Salzkörper.

Vor dem Hintergrund, dass die Beigabe von Kompost um die im Jahr 1998 gepflanzten Gehölze verbreitet zu einem üppigen Anflug krautiger Arten geführt hat und somit dem Kompostmaterial eine sukzessionsfördernde Wirkung unterstellt werden konnte, wurden auch im oberen Plateaubereich Versuchsflächen mit Bio- bzw. Grüngut-Kompost angelegt, auf denen sich in den vergangenen Jahren bereits einige Arten ansiedelten.

Auch GRÜNEKLEE et al. (1993) weisen auf die sinnvolle Verwendung von Kompost bei aufzuforstenden Flächen mit schwacher Nährstoffversorgung hin. Die Zufuhr von Humus und Nährstoffen mit Langzeitwirkung bei Erst- und Wiederaufforstungen, besonders auf sandigen Böden, wird nach HACKENBERG et al. (1996) mit einer Kompostbeigabe erzielt. In Versuchen konnte DESCHAUER (1995) zeigen, dass durch eine Kompostdüngung die Nährstoffvorräte nachhaltig angehoben wurden. In diesem Zusammenhang verdeutlicht er die Speicherung von Nährstoffen, besonders von Stickstoff, Calcium und Magnesium, in der organischen Auflage bei vernachlässigbaren Verlusten

durch Auswaschung. Nach Ausbringung von Kompost, so DESCHAUER, wurde in erster Linie der Unterwuchs (Kraut- und Strauchschicht) des Bestandes gefördert, was sich auch auf die Artenzusammensetzung und den Deckungsgrad auswirkte. – HACKENBERG et al. (1996) erwähnen die Eignung von Komposten zur Aufforstung von Windwurfflächen und Grenzertragsböden. Auch FISCHER (1993), SKIRDE (1996) und SCHILLING (1996) weisen auf die fördernden Eigenschaften von Kompost hinsichtlich der pflanzenverfügbaren Nährstoffe und der verbesserten biologischen Eigenschaften und Aktivitäten hin.

HACKENBERG et al. (1996) sprechen sich für die Verwendung von Kompost – auch größerer Mengen – zur Rekultivierung devastierter Flächen aus und merken an: *„Diesen Flächen fehlt in der Regel eine belebte, pflanzentragende Bodenschicht, wie sie auf Kippen der Braunkohlentagebaue und anderen Abgrabungen sowie auf Halden der Salz-, Erz-, und Steinkohlenbergbaue und Deponien zu finden sind. ... Die Rekultivierung hat nach den Geboten der Nachhaltigkeit und Nützlichkeit zu erfolgen. Ziel ist es daher, den Anteil der organischen Substanz im Oberboden zu erhöhen sowie pflanzenverfügbare Nährstoffe zuzuführen und den pH-Wert zu regulieren, das Bodenleben anzuregen und den Boden und seine Struktur an dem jeweiligen Standort zu verbessern.“*

Die Vermeidung nicht bedarfsgerechter Nährstoffzufuhr führen BANNIK et al. (1995) an und sprechen sich für den Einsatz von Komposten zu Rekultivierungszwecken im Falle der Einhaltung der LAGA-Grenzwerte (LAGA M 10, 1995) aus.

Komposte, vor allem die mit geringerer Qualität, eignen sich auch als Abdeckmaterial für Deponien und Halden (SCHLESWIG-HOLSTEINISCHER LANDTAG, 1994).

GRÜNEKLEE et al. (1993) empfehlen den Einsatz von 200 bis 350 t Kompost-Frischmasse/ha. SCHARPF (1994) spricht sich für eine Aufwandmenge von 300-400 m<sup>3</sup>/ha bei Gehölzanpflanzungen aus, für FISCHER (1993) sind Kompostmengen bis 500 m<sup>3</sup>/ha vertretbar, auch wenn mit Auswaschungen zu rechnen ist.

Wie in Sickerwasser- und Aussaatversuchen mit Gehölzen im Rahmen dieser Arbeit nachgewiesen wurde, eignet sich Grüngut-Kompost für Maßnahmen der Direktbegrünung besser als Bioabfall-Kompost. LÜCKE (1997) hat in seiner Arbeit bei Versuchen mit Ansaaten Kompostauflagen auf die ausgeprägten Keimhemmungen beim Bioabfall-Kompost im Vergleich zum Grüngut-Kompost hingewiesen. Laut GRÜNEKLEE et al. (1993) sind für die Aufwandmengen die Nährstoff- und nicht die Schadstoffgehalte ausschlaggebend. DESCHAUER (1995) weist explizit auf den limitierenden Faktor „Salzgehalt“ im Kompost hin.

Um die standörtlichen Bedingungen des o. g. Haldenbereichs aufzuwerten und für eine Begrünung mit einer krautigen Vegetationsdecke vorzubereiten, wurde die großtechnische Ausbringung von Kompost mit einem Hubschrauber favorisiert, da keinerlei Zuwegung für Großgeräte auf dem Haldenkörper bestanden hat.



### 1.2.1 Versuchsspezifische Methodik und großtechnische Durchführung

Aufgrund der Besonderheit, erstmals im Rahmen von Direktbegrünungsmaßnahmen auf einer anhydritisch geprägten Rückstandshalde der Kaliindustrie, substratverbessernde Bodenhilfsstoffe (Kompost) mittels Großtechnik auszubringen, wird zunächst auf die rein methodisch zuordnungsfähigen Aspekte eingegangen, anschließend auf die technische Ausführung.

#### 1.2.1.1 Methodik

Auf dem für die Überdeckung mit Kompostmaterialien vorgesehenen Ostteil der Halde III wurde zunächst eine Fläche von rd. 1,7 ha ausgepflockt.

Auf bisherigen Erfahrungen des Fachgebiets mit Kompost fußend sowie o. g. Empfehlungen folgend, wurde Grüngut-Kompost, hergestellt in der Kompostierungsanlage in Homberg/Efze, verwendet. Die chemisch-physikalischen Eigenschaften dieses Komposts sind im Hauptkapitel „Material und Methoden“ angeführt.

Als Aufwandmenge wurden 300 m<sup>3</sup>/ha veranschlagt, was einer Masse von ca. 200 t/ha entspricht. – Nach der großtechnischen Ausbringung erfolgte die Einsaat mit der standardisierten Gräsermischung (30 g/m<sup>2</sup>) – bestehend aus *Lolium perenne*, *Festuca rubra*, *Dactylis glomerata* und *Festuca ovina* mit entsprechenden Sorten.

Erst nach dem Auflaufen der Saat konnten geeignete Versuchsparzellen mit einer Größe von 20 m<sup>2</sup> für die weitere Beobachtung und Untersuchung ausgewiesen werden, da nicht nur die großtechnische Kompostausbringung, sondern auch das Auflaufen auf dem für Begrünungsmaßnahmen eigentlich eher ungeeigneten Haldenabschnitt mit Unwägbarkeiten verbunden war. – Auf den festgelegten Versuchsparzellen erfolgten während der Vegetationsperioden der Jahre 2000 bis 2002 die Ansprache der Vegetationsentwicklung sowie ab der 2. Periode eine Biomassenbeprobung, um Aussagen über Trockensubstanzerträge und Nährstoffversorgung treffen zu können.

#### 1.2.1.2 Großtechnische Kompostausbringung mit Hubschrauber

Wie kurz angeführt, fiel die Wahl der Ausbringung auf eine vom Hubschrauber gestützte Technik. Grund für diese Entscheidungsfindung ist der Gebrauch von Hubschraubern im Rahmen von Waldkalkungen gewesen. Hier werden über große Waldflächen hinweg Kalkmengen von 3-4 t/ha ausgebracht, um eine pH-Wert-Anhebung, zumindest aber eine -Stabilisierung, der Waldböden erreichen zu können.

Das von der Fa. K+S Kali GmbH beauftragte Unternehmen „KMN KOOPMANN HELICOPTER GMBH“ besitzt zwei „Ecureuil“-Hubschrauber des Typs AS 350, produziert vom größten europäischen Hubschrauberhersteller EUROCOPTER, die wegen deren Vielseitigkeit und Robustheit weltweit für die unterschiedlichsten Aufgaben herangezogen werden.

Bei dem für die Kompostausbringung verwendeten Hubschrauber handelte es sich um den „Ecureuil“-Hubschrauber, Typ AS 350 B3, dessen Turbinenleistung bei 840 PS liegt und eine Reisegeschwindigkeit von ca. 240 km/h erlaubt. Die maximale Flugdauer beträgt unter Ausnutzung von 540 l Betriebsstoff 4 Stunden bei einer Reichweite von

rd. 640 km. Durch den Ausbau von Plätzen für die Fluggastbeförderung wurde das übliche Leergewicht von 1.200 kg soweit reduziert, dass bei einem maximalen Abfluggewicht von 2.250 kg eine Außenlastkapazität von 1.400 kg gegeben ist.

Auf einem im Wald angelegten Start- und Landeplatz, westlich der Halde III, wurde Grüngut-Kompost in Sattelzügen von der Kompostierungsanlage Homberg/Efze (Fa. FEHR) angeliefert. Die anschließende Logistik lag bei der Fa. KMN KOOPMANN HELICOPTER GMBH.

Mittels Radlader wurde das Kompostmaterial in einen trichterförmigen Transportbehälter eingefüllt, wie er sonst bei der Waldkalkung Verwendung findet (s. Abb. VIII/3). Dieser Behälter, unter dem Hubschrauber hängend und mit einem Fassungsvermögen von ca. 0,9 m<sup>3</sup>, ist mit Motoren ausgestattet, die einen Wandrüttler und einen unterhalb des Behälters befindlichen Drehteller bewegen.

Während der ersten Flugeinsätze driftete beim Verteilen des Komposts zeitweise etwas Material ab; daher wurde der von einem Motor getriebene Drehteller abgebaut, welches zu einem verbesserten Ausbringungsergebnis führte. – Durch natürliche, aber auch durch künstliche Windeinwirkungen (z. B. durch Rotorbewegungen und Flug) ist eine Abwehung von Kompost unumgänglich gewesen. Da einige Kompostchargen für die Ausbringung zu trocken waren, wurden diese vor dem Verladen in den Behälter angefeuchtet. – Bei einem durchschnittlichen Flugtakt von 1,5 Minuten (Beladung, Hinflug, Verteilung, Rückflug) konnten ca. 40 Flugeinsätze pro Stunde getätigt werden. Daher ist eine Ausbringung von über 500 m<sup>3</sup> innerhalb von 2 Tagen möglich gewesen.



Abb. VIII/3:

Behälter zur Ausbringung von Kalk oder Kompostmaterialien auf dem Luftweg per Hubschrauber.

Die folgende Abbildung (Abb. VIII/4) zeigt den Hubschrauber während der Kompostausbringung über dem Ostteil der Halde III.





Abb. VIII/4: „Ecureuil“-Hubschrauber AS 350 mit Transporteinheit bei der Ausbringung von Kompost.



Abb. VIII/5: Begrünter Haldenbereich nach Kompostausbringung und Einsaat (Stand: 2002).

### 1.2.2 Ergebnisse und Diskussion

Die **Ausbringung der Kompostmaterialien per Hubschrauber** verlief nicht nur reibungslos und zeitsparend, sondern brachte, in Bezug auf die Mächtigkeit der Kompostauflage, eine nicht zu überbietende Gleichmäßigkeit hervor: In weiten Bereichen wurde die vorher anvisierte Kompostauflagestärke von 3 cm eingehalten. Es versteht sich von selbst, dass in den Randbereichen der zu befliegenden Fläche durch Abdriften des Materials etwas geringere Mächtigkeiten zu finden waren. Messungen auf dem Haldenplateau ergaben Werte zwischen 2,9 und 3,4 cm Kompoststärke.

Geklumptes Kompostmaterial konnte aufgrund der Ausbringungsmethode nicht festgestellt werden. In erster Linie ist es dem Piloten zu verdanken, der in gekonnter Weise die Kompostchargen gleichmäßig verteilt hat. Erfahrungen seinerseits bei der Durchführung von Waldkalkungen, die ebenfalls eine entsprechende Präzision und Umsichtigkeit erfordern, kamen, auch im weiteren Verlauf dieser Untersuchung, dem Begrünerfolg zu Gute.

Andere Methoden zur Kompostausbringung, wie den Lufttransport sog. Big-Packs per Hubschrauber zum Haldenplateau mit anschließender manueller Ausbringung, hätten, was die Gleichmäßigkeit der Verteilung angeht, zu keinem besseren Ergebnis geführt.

Nach den ersten Niederschlagsereignissen keimte das ausgebrachte Saatgut im Kompostmaterial. Durch die unterschiedliche Oberflächenstruktur wurde ein Teil des Kompostmaterials bereits in den ersten Wochen mit dem Herabregnen der Niederschläge in Kleinmulden und Rinnen verbracht, so dass von dort aus das **Auflaufen der Saat** beobachtet werden konnte. Diese Art des Auflaufens war besonders an den drei Expositionen der Nordost-, Ost- und Südostflanke zu beobachten. Aufgrund der Steilheit verlagerte sich der Kompost zusehendes in Vertiefungen, die wiederum wegen des besseren Wasserhaushaltes die Entwicklung der Gräser begünstigten. Dagegen waren die höher gelegenen Kleinflächen meist sehr rar mit Vegetation bewachsen oder vegetationslos, weil das Kompostmaterial durch Niederschläge wegerodiert worden war und der feste Salzkörper der Halde unmittelbar anstand.

Daraus folgernd ist festzuhalten, dass die mit Kompost behandelten Flächen nicht ganzflächig begrünbar sind, obwohl die Verteilung des Komposts in weiten Teilen der Flanken als optimal einzustufen war. Der anstehende Salzkörper mit fehlenden Lockerschichtauflagen kann auf Dauer den Kompost nicht halten; er wird mit weiteren Niederschlägen abtransportiert und gelangt in Mulden und Rinnen, die in der Regel schon begrünt sind.

In den beiden folgenden Vegetationsperioden schritt die Entwicklung der Ansaaten aus den aufgelaufenen Kleinmosaiken gut voran. Durch die Vergrößerung der Horste und der Ausbreitung durch generative Vermehrung erhöhte sich der Deckungsgrad zunehmend. Nicht nur die kräftige Grünfärbung der Gräser, auch die Längen bzw. Durchmesser der Blattspreiten belegten das üppige Wachstum.

Die Entwicklung der **Gesamt-Deckung** in den Vegetationsperioden der Jahre 2000 bis 2002 ist aus der folgenden Grafik ablesbar (Abb. VIII/6).

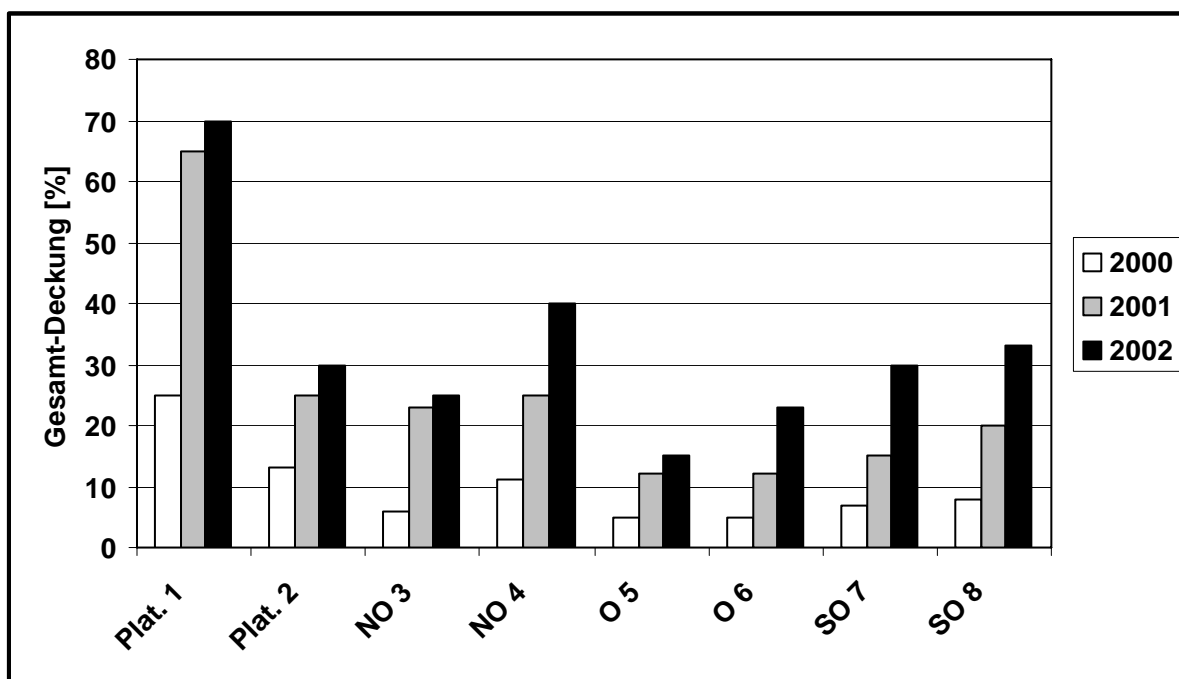


Abb. VIII/6: Entwicklung der Gesamt-Deckung auf den mit Kompost überdeckten Versuchspartzen (Plat. = Plateau, NO = Nordosten, O = Osten, SO = Südosten).

Benannt werden die Versuchspartzen der Expositionen Plateau (Plat.), Nordosten (NO), Osten (O) und Südosten (SO).

In der ersten Vegetationsperiode blieb die Gesamtdeckung auf den meisten Versuchspartzen z. T. unter 10 %; nur auf jenen des Plateaus und auf der am Unterhang der Nordostflanke gelegenen Partze lag die Deckung zwischen 11 und maximal 25 %. – Im zweiten Jahr verdoppelte sich auf allen Partzen die Deckung. Dabei wurde bereits das üppige Wachstum vorstehend erwähnt. – Bis auf die Versuchspartzen der Oberhangbereiche NO 3 und O 5, die eine geringfügige Steigerung der Deckung im dritten Untersuchungsjahr zeigten, erhöhte sich die Deckung der anderen Partzen an den Flanken um 30 % oder mehr, so dass bis 40 % Gesamtdeckung am Ende der Vegetationsperiode im Jahr 2002 erreicht wurden. Während eine Versuchspartze im Plateaubereich sogar 70 % Deckung aufwies, schloss sich die Vegetationsdecke der anderen Versuchspartze dieser Exposition auf 30 % der Fläche.

Da, wie auch beim ersten Feldversuch mit Gräseransaat, in der ersten Vegetationsperiode direkt nach Aussaat, auf den meisten Versuchspartzen nicht genügend Biomassen vorhanden waren, um Berechnungen der **Trockensubstanzerträge** durchführen zu können, erfolgte der erste flächendefinierte Schnitt im Jahr 2001.

Unter Berücksichtigung des Deckungsgrades wurden in der zweiten Vegetationsperiode, bis auf eine Plateau-Partze, Trockensubstanzerträge zwischen 7,3 und 15,7 dt/ha ermittelt (s. Abb. VIII/7), was dem Gesamtertrag eines ungedüngten Borstgras-Magerrasens entspricht (s. BRIEMLE et al., 1991). Die Plateau-Partze mit 42 dt/ha Ertragsmasse erreichte ein erhöhtes Niveau der ungedüngten Weidelgraswiese (34 bis

42 dt/ha). Während der dritten Vegetationsperiode konnten zwar insgesamt betrachtet die Erträge gesteigert, wenn auch meist nicht verdoppelt werden (8,6 bis 28,4 dt TS/ha). Die besagte Plateau-Parzelle entwickelte Biomassen, die mit einer gedüngten Goldhaferwiese (BRIEMLE et al.) vergleichbar sind.

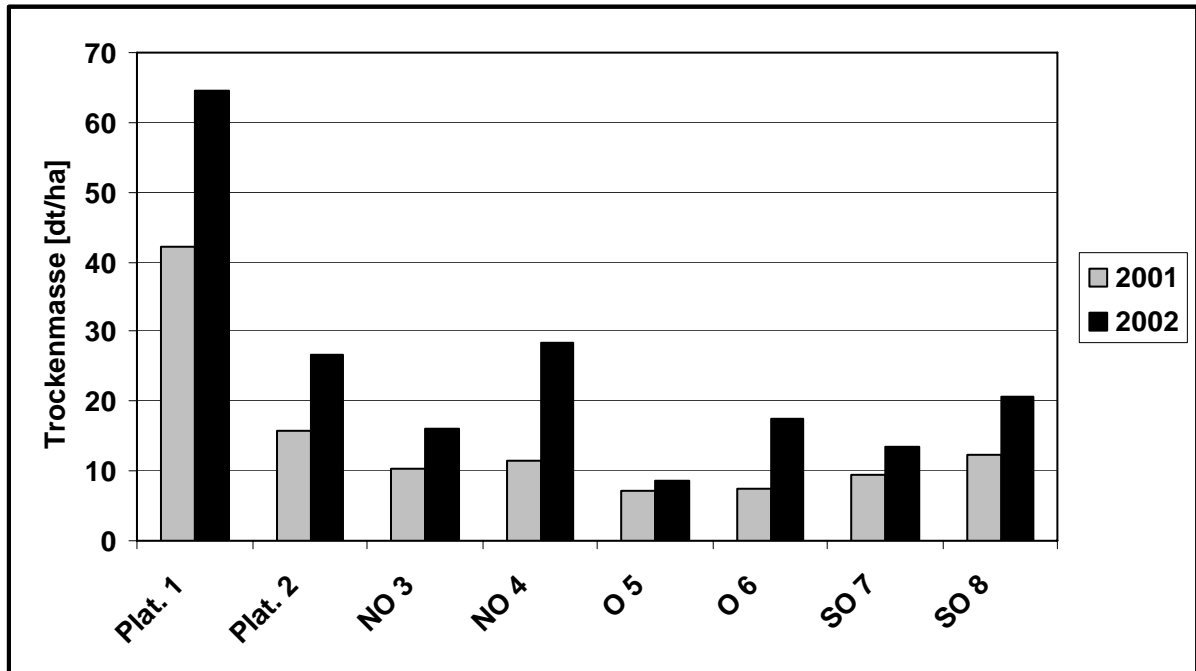


Abb. VIII/7: Biomassenentwicklung (TS/ha) auf den mit Kompost überdeckten Versuchspartzen (Plat. = Plateau, NO = Nordosten, O = Osten, SO = Südosten).

Wird nur der kleinflächige Stichprobenraum betrachtet, d. h. ohne Korrektur durch die Gesamt-Deckung, kamen TS-Erträge in der zweiten Vegetationsperiode zwischen 40 und 59 dt/ha zum Tragen, was bis auf die Nordostflanke zu vergleichbaren Werten mit einer trockenen Goldhaferwiese (50-60 dt TS/ha) führte (s. SPATZ, 1994).

In der dritten Vegetationsperiode entwickelte sich das Ertragsniveau in den Schnittprobenflächen an den Unterhängen sowie auf dem Plateau auf Trockensubstanzerträge zwischen knapp 60 bis über 80 dt/ha, was nach SPATZ (1994) den Erträgen einer typischen Glatthaferwiese entspricht.

Die während der drei Vegetationsperioden untersuchte **Artenzusammensetzung** der 8 Versuchspartzen belief sich insgesamt auf ein Spektrum von 20 Arten (s. Tab. VIII/2); davon etablierte sich als Gehölz nur *Salix caprea* auf einer Parzelle.

Den Hauptanteil an der Besiedlung nahmen *Dactylis glomerata*, *Festuca rubra agg.* und *Lolium perenne* ein, wobei die erstgenannte Art meistens mit Anteilen an der Gesamtdeckung zwischen 8 und 21 % am Ende der Untersuchung knapp über jenen von *Festuca rubra agg.* lag. Nur auf der besonders üppig entwickelten Plateaufläche deckte *Dactylis glomerata* zum Ende des Sommers 2002 mit 63 %.

Vergleichend zum ersten Feldversuch war die Entwicklung von *Lolium perenne* über den Untersuchungszeitraum: Maximal 3 % Deckung in der ersten Vegetationsperiode.

Tab. VIII/2: Entwicklung der Vegetationszusammensetzung und Deckung auf den Versuchspartzellen nach großtechnischer Grüngut-Kompost-Ausbringung mit Hubschrauber (3-3,5 cm Kompostmächtigkeit) nach Aussaat im Frühjahr 2000 (Aufnahmen: 2000/2001/2002).

(Abkürzungen: Plat. = Plateau, NO = Nordosten, O = Osten, SO = Südosten)

Art	Plat. 1	Plat. 2	NO 3	NO 4	O 5	O 6	SO 7	SO 8
[Gesamtdeckung]	25/65/70	13/25/30	6/23/25	12/25/40	5/12/15	6/12/23	8/15/30	8/20/33
<b>Gehölze</b>								
<i>Salix caprea</i>		-/r/r						
<b>Krautige</b>								
<i>Calamagrostis epigeios</i>			r/r/r	r/+/+				
<i>Capsella bur-sa-pastoris</i>			-/r/-					
<i>Chenopodium album</i>			r/r/-					
<i>Cirsium vulgare</i>			-/-/r				-/-/r	
<i>Conyza canadensis</i>	r/r/r				-/-/r	-/r/+	-/r/1	r/r/+
<i>Dactylis glomerata</i>	20/60/63	4/10/15	2/8/10	5/10/21	3/8/8	1/2/9	6/10/19	4/10/18
<i>Daucus carota</i>						-/r/-		
<i>Epilobium ciliatum</i>			-/+			r/+/+	r/r/+	
<i>Festuca rubra</i>	2/5/7	7/15/15	3/13/14	6/14/18	1/4/7	2/9/13	2/5/10	5/9/14
<i>Holcus lanatus</i>			-/r					
<i>Lolium perenne</i>	3/+/r	2/+/+	1/1/r	1/+/-	1/+/+	2/+/+	+/+/-	+/+/+
<i>Polygonum aviculare</i>			-/-/r					r/+/+
<i>Puccinellia distans</i>			-/-/+					
<i>Senecio jacobaea</i>		r/r/-						
<i>Sonchus asper</i>						+/+/r		
<i>Stellaria holostea</i>				-/+/1				
<i>Taraxacum officinale</i>			-/-/r					
<i>Trifolium repens</i>					r/r/-			
<i>Tripleurospermum perforatum</i>		-/r/r			r/r/-			

Anschließend ging der Anteil dieses Grases weiter zurück und siedelte zum Ende der Untersuchung in der Regel mit wenigen Exemplaren auf den Versuchspartzellen; in jeweils zwei Fällen nur als Einzelexemplar bzw. ohne Nachweis der Art.

Während *Dactylis glomerata* und *Festuca rubra* agg. ständig ihren Deckungsanteil erhöhten, nahm der Einfluss von *Lolium perenne* ab. Vergleichend dazu haben bereits SCHMEISKY et al. (1993) über dieses Phänomen berichtet.

*Festuca ovina* konnte, ebenfalls wie im ersten Feldversuch, nicht überzeugen. Trotz eines Samenanteils von 20 % konnte kein Exemplar dieser Art auf den Versuchspartzellen gefunden werden.

Als einzige salzliebende Art fand sich in der dritten Vegetationsperiode *Puccinellia distans* ein. – Auf die Mehrzahl der Versuchspartzen wanderte *Conyza canadensis* ein, die als therophytisch, z. T. auch hemikryptophytisch siedelnde Art eine besondere Neigung besitzt, die auf der Halde mit Kompost überdeckten Flächen – stellenweise sehr üppig – zu besiedeln.

### **1.3 Großflächige Begrünungs- und Düngungsmaßnahmen**

Die bisher beschriebenen Begrünungen auf angelegten Versuchspartzen dienten vornehmlich wissenschaftlichen Untersuchungen, um daraus weitere Begrünungs- bzw. Behandlungs- und Pflegekonzepte für die Zukunft zu entwickeln.

Parallel dazu wurden zum einen die Anfang der 80er Jahre erfolgten Ansaaten durch Düngungen reaktiviert, zum anderen großflächige Begrünungsmaßnahmen mit anschließenden Düngungen durchgeführt. – Die technische Unterstützung bei diesen Maßnahmen erfolgte durch motorgetriebene Kleingeräte.

#### **1.3.1 Regeneration der Begrünungen früherer Ansaatversuche**

Die seit der Einsaat von 1984 begrünten Versuchsfächen wurden nur bis 1988 mineralisch gedüngt. Die nach den Ausführungen von SCHMEISKY et al. (1993) gebildeten dichten Vegetationsdecken entwickelten sich in den Folgejahren bis zum Beginn dieser Arbeit (1998) in soweit, dass zwar mosaikartig einige Kleinfächen spärlich mit Vegetation bedeckt waren, insgesamt aber die gut etablierten Horste der Gräser ein stabiles Grundgerüst bildeten.

Nach den ersten, jährlich wiederkehrenden Düngungen ab 1998 mit jeweils ca. 35 kg N/ha stabilisierte sich die Vegetationsdecke zusehends: Die bisher überdauernden Gräserhorste breiteten sich horizontal aus, und durch ausfallenden Samen fruktifizierender Pflanzen entwickelten sich Keimlinge, die die dünn bestockten Kleinfächen besiedelten. Mit jeder weiteren Düngungsmaßnahme in den folgenden Jahren nahm der Deckungsgrad der Vegetation auf den Altbereichen zu.

#### **1.3.2 Großflächige Ansaaten mit Gräsern**

Bereits im ersten Jahr der Begrünungsversuche und Untersuchungen im Rahmen dieser Arbeit auf der Halde III (1998) wurden einige Flächen mit der bewährten Standard-Gräsermischung (s. Hauptkapitel „Material und Methoden“), für die Direktbegrünung von technogenen Substraten, besät. Bis zum Sommer 2000 erfolgten Ansaaten auf einer Fläche von über 4,5 ha.

Die Aussaatmenge betrug durchschnittlich 15 bis 20 g/m<sup>2</sup>. Das Samenmaterial wurde manuell mit Düngerwannen, wie sie im Bereich der Landwirtschaft Verwendung finden, ausgebracht.

Wegen ungünstigen Witterungslagen (Trockenheit) einerseits liefen die Ansaaten zeitweise nur zögerlich auf, andererseits verhinderte die z. T. verfestigte oberflächennahe



kristalline Schicht, über die SCHMEISKY et al. schon 1993 berichtet hat, eine Haftung von Samen am Haldenmaterial, um bei folgenden Niederschlägen die aufweichende Kristallschicht zu besiedeln.

Durch das Begehen der Haldenoberfläche konnte somit in Bereichen mit kristallinen Verfestigungen ein Auflaufen der Saat zumindest in den Trittspuren nahezu garantiert werden, aus denen sich die Gräser weiter verbreiteten.

Nach nunmehr fünf Vegetationsperioden hat sich auf Flankenabschnitten (ca. 4,5 ha) flächig bis mosaikartig eine mehr oder weniger dichte Vegetationsdecke aus Gräsern etablieren und entwickeln können (s. Abb. VIII/8). Andere krautige Arten sind in die relativ dicht bestockten Grasbestände verhältnismäßig selten eingewandert.



Abb. VIII/8: Üppig entwickelte Vegetationsdecke (2002) auf der Nordflanke nach Ansaat 1998.

Alljährlich werden Düngungen mit dem mineralischen Mehrnährstoffdünger N-P-K-Mg (12-12-17-2) durchgeführt, um das Wachstum der Gräser zu unterstützen und die Deckung zu fördern.

Begonnen wird im Frühjahr (Anfang April) mit einer ersten Düngung; ihr folgt im Sommer (Juni) eine zweite und Ende September, spätestens Anfang Oktober, findet die dritte Düngungsmaßnahme statt. Für die Ausbringung werden die Zeitpunkte gewählt, an die sich in jeweils naher Zukunft zu erwartende Niederschläge anschließen, um die in granulierter Form vorliegenden Nährstoffe zu lösen. – Zeitweise konnte beobachtet werden, dass ausgebrachtes Düngermaterial aufgrund zu geringer oder gar fehlender Niederschläge nur unzureichend gelöst wurde. In Ausnahmefällen verblieb das Dün-

gergranulat, ohne in Lösung gehen zu können, mehrere Wochen nach Ausbringung an der Substratoberfläche.

Andererseits dürfte eine Düngungsmaßnahme nicht zu zeitig im Frühjahr (Anfang bis Mitte März) erfolgen, da sonst der Mineraldünger bei entsprechend ausgiebigen Niederschlagsereignissen zwar gelöst, er aber, bedingt durch die Materialeigenschaften des Haldensubstrats, ohne Aufnahmemöglichkeit durch die Pflanzendecke ausgewaschen worden wäre.

Die vorangestellten Untersuchungen haben hinsichtlich ihres Ertragspotenzials an produzierter Biomasse – je nach Variante – recht unterschiedliche Werte von Trockenmassen aufgezeigt. Dabei handelte es sich um Proben mit gemischten Artenzusammensetzungen.

Welche Erträge jedoch die beiden wichtigsten Arten der durchgeführten Untersuchungen und Begrünungsmaßnahmen – *Festuca rubra* agg. und *Dactylis glomerata* – auf dem Haldenstandort liefern können, soll im Folgenden kurz betrachtet werden.

Aus den Ansaaten des Jahres 1998 haben sich in einigen Bereichen flächig dicht mit Gräsern bestockte Vegetationsbestände entwickelt. Auf einer von Bäumen unbeeinflussten Fläche an der Nordflanke wurden in der 5. Vegetationsperiode aus Reinbeständen von *Festuca rubra* agg. und *Dactylis glomerata* ein Stichprobenraum von jeweils 30 x 60 cm in 5-facher Wiederholung beerntet. Die anschließende Begutachtung der Trockenmassen führte zu folgenden Ergebnissen (s. Abb. VIII/9).

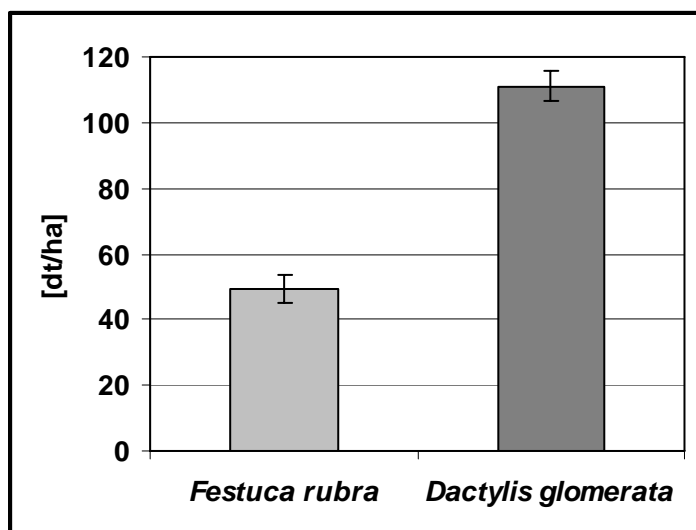


Abb. VIII/9: Trockensubstanzerträge von *Festuca rubra* und *Dactylis glomerata* an der Nordflanke nach 5-jähriger Standzeit und regelmäßigen mineralischen Düngungen.

Die feinvüchsigste Art *Festuca rubra* erreichte auf den Probennahmeflächen mittlere Trockensubstanzerträge von 49,6 dt/ha; bei *Dactylis glomerata* lag der Mittelwert gar bei 111,2 dt TS/ha. – Die errechneten Ertragswerte wurden von in 1998 eingesäten Flächen ermittelt, die die höchsten Deckungsgrade über einen Untersuchungszeitraum von fünf Jahren aufwiesen.

Die Erträge der Proben von *Festuca rubra* können mit denen einer trockenen Goldhaferwiese gleichgesetzt werden (vergl. SPATZ, 1994).

Dagegen ist der beprobte Reinbestand von *Dactylis glomerata* nach Aussagen von BRIEMLE et al. (1991) mit dem Ertrag einer gut gedüngten Weidelgraswiese zu vergleichen.

Besonders betont werden muss nochmals die Form eines Reinbestandes, bei der keine intraspezifische Konkurrenz gegeben war, sondern nur Düngungen in Verbindung mit hohen Niederschlägen des Sommers 2002, bei gleichzeitig guter Durchlüftung der durchwurzelten Substratschicht, das Wachstum von *Dactylis* gefördert haben.

In gut entwickelten Vegetationsbeständen der Parzellen, die Anfang der 80er Jahre begrünt worden waren und in den vergangenen Jahren durch Düngungen regeneriert werden konnten, lagen die durchschnittlichen Trockensubstanzerträge bei 85,2 dt/ha, die den mittleren Biomassen von Mähweiden (BRIEMLE et al., 1991) zuzuordnen sind.

### 1.3.3 Technische Durchführung von Düngungsmaßnahmen und Transporten

Die dreimaligen Düngungen pro Jahr haben je nach Begrünungszustand der eingesäten Haldenbereiche – ausschließlich der angelegten Versuchspartzen – einen jährlichen Mineraldüngerbedarf zwischen 2,0 und 2,5 t erfordert.

Der **Transport** zum Haldenkörper und auf die Plateaulagen, von denen der Dünger weiter verteilt wurde, konnte – wie bereits geschildert – nicht mit normaldimensionierten Fahrzeugen erfolgen, da weder eine Zuwegung noch eine Förderbandeinheit auf die Halde führte. Da der Transport der Düngermaterialien auf den Haldenkörper rein manuell nicht durchführbar war, fand die Manipulation der gesackten Ware und anderer Arbeitsmittel sowie Handgeräte mittels **Raupenfahrzeugen** über die eigens dafür angelegten Transportpfade statt.

Das sehr wendige handgeführte, motorgetriebene Fahrzeug der Marke „HONDA“ besticht durch seine kurze und schmale Bauart (Abb. VIII/10). Trotz Beladung mit 250 kg Materialien und mehr werden Steigungen von über 35 ° bewältigt. Unebenheiten und nicht zu breite Vertiefungen auf den Pfaden durch Salzauslösungen sind selbst unter Last relativ einfach passierbar. Wegen der schmalen Spurbreite muss allerdings auf hangparallele Fahrten bei entsprechenden Neigungswinkeln verzichtet werden, da Kippgefahr besteht. Die Lenkung erfolgt über die einseitig wirkende Kettenbremsung.



Abb. VIII/10: Handgeführte Transportraupe der Marke „HONDA“ mit abklappbarer Ladefläche. Der Antrieb erfolgt über einen Zahnkranz.

Für größere Transporte eignet sich das von der Fa. „JONSERED“ vertriebene sog. „Eiserne Pferd“ – ein motorgetriebenes Raupenchassis mit verschiedenen Aufbauten – welches vorwiegend zu Forstarbeiten verwendet wird: Zum Vorliefern von Schwachholz im Bereich der Holzernte verfügt das Gerät nicht nur über entsprechende Ausstattungsmerkmale, sondern auch über nötige Kraftreserven. – Gelenkt wird dieses Fabrikat über eine Art Handdeichsel, die ebenfalls die jeweilige Kette einseitig abbremst.



Das **Ausbringen des Mineraldüngers** erfolgte zuerst manuell. Da sich die Begehung der Lockerschicht bzw. der stark strukturierten, z. T. verfestigten Haldenoberfläche, besonders schwierig gestaltete und mit Gefahren verbunden war, wurden die weiteren Düngungen mit einer technischen Einheit (s. Abb. VIII/11), bestehend aus Raupenfahrzeug, Kompressor sowie einem funktionsähnlichen Sandstrahlgerät ausgeführt. Dabei fand mittels Unterdruck das Ansaugen des Düngermaterials statt, welches dann durch ein Schlauchsystem zur Sandstrahlpistole transportiert und anschließend mittels Hochdruck auf dem Haldenkörper verteilt wurde. Streuweiten von gut 35 m und mehr wurden problemlos erreicht. – Nur Teilbereiche, die mit dieser Ausbringungstechnik nicht abgedeckt werden konnten, sind manuell bestreut worden.



Abb. VIII/11: Technische Einheit zur Ausbringung von mineralischem Dünger per Druckluft.

Die Haldenoberfläche ist aufgrund der Materialbeschaffenheit und den Auslösungsvorgängen einer ständigen Dynamik ausgesetzt. Dies findet auch auf den manuell angelegten Transportpfaden statt; nach häufigen Niederschlagsereignissen sind manuelle Instandsetzungsarbeiten unabdingbar, um die Logistik vor Ort aufrecht zu erhalten. Besonders intensiv ist der Arbeitsaufwand nach niederschlagsreichen Wintermonaten. Neben Verlagerungen des Lockermaterials entstehen durch Salzauslösungen trichterartige Vertiefungen, die im Rahmen der Instandsetzungsarbeiten mit Lockermaterialien gefüllt werden.

Ähnliche Veränderungen von Zuwegungen durch Salzauslösungen wurden u. a. auf der Halde Riedel bei Wathlingen (Niedersachsen) beobachtet.

## 2. Gehölzpflanzungen

Neben den künstlichen Begrünungsmöglichkeiten durch Gräseransaat dient die Pflanzung von Gehölzen zum Aufbau einer mindestens zweischichtigen, unter Verwendung von Strauchartigen auch einer dreischichtigen Vegetationsdecke.

**Ziel** ist es, mit möglichst standortgerechten Arten, die bereits in der Umgebung der Halde gedeihen und zum heimischen Artenspektrum gehören, lockere Gehölzformationen auf dem Haldenkörper zu schaffen, die den Erhalt einer krautigen Vegetationsdecke langfristig tolerieren. In erster Linie soll mit verschiedenen tief wurzelnden Vegetationsschichten das anfallende Sickerwasser der Halde III reduziert werden, um Folgebelastungen für Vorfluter etc. zu minimieren. Ein mehrschichtiger Vegetationsaufbau besitzt höhere Evapotranspirationspotenziale als einschichtige Bestände.

Für die Auswahl der in Frage kommenden Gehölze wurde sich weitgehend an dem Artenspektrum orientiert, welches bereits auf dem Haldenkörper aufgrund natürlicher Sukzession siedelt. Die Artenzusammensetzung der potenziell natürlich vorkommenden Vegetation – in Bezug auf Gehölze – der Umgebung ist auf diesem ausgesprochenen Sonderstandort aus Produktionsrückständen nicht die Grundlage der Artenwahl gewesen, sondern sie wurde ergänzend mit berücksichtigt.

### 2.1 Auswahl der Gehölzarten

Der als Sonderstandort einzuordnende Haldenkörper ist im Laufe der vergangenen drei Jahrzehnte von einigen Gehölzarten besiedelt worden (SCHMEISKY et al., 1993, LÜCKE, 1997).

Angeführt wird die Verbreitung von vier reinen Pionierbaumarten: *Betula pendula*, *Pinus sylvestris*, *Populus tremula* und *Salix caprea*. – Die als Rohbodenkeimer bekannte anspruchsvollere Baumart der besser wasserversorgten Standorte, *Picea abies*, hat sich im Laufe der Zeit ebenfalls vereinzelt auf dem Lockermaterial angesiedelt. RÖHRIG & BARTSCH (1992) weisen im Zusammenhang mit dem Anbau von *Picea* auf die Problematik schlecht wasserversorgter Standorte hin; dagegen ist der Grundbedarf der Art an Nährstoffen nicht hoch.

Andere Arten der Umgebung, die dort zur potenziell natürlichen Klimaxgesellschaft gehören, wie *Fagus sylvatica* oder *Quercus robur*, sind in der Regel durch die Avifauna in Form von wenigen Einzelexemplaren verbreitet worden, wobei die letztgenannte Art am ehesten mit den extremen Standortbedingungen vorlieb nehmen kann. Auf relativ nährstoffarmen Standorten werden dieser Art selbst gute Wachstumsleistungen bescheinigt. Zwischen *Quercus robur* und *Quercus petraea* gibt es nach BONNEAU & DELMAS (1985) keinen eindeutigen Unterschied hinsichtlich des Nährstoffbedarfs.

Auch ROTHSTEIN (1995) führt den geringen Nährstoffbedarf an und weist auf die Eichen-Birken-Wälder auf trockenen, nährstoffarmen Sanden Nordwestdeutschlands hin. JAHN (1987) ordnet eine Waldgesellschaft mit diesen beiden Baumarten auf den ge-

nannten Standorten dem *Betulum quercetum* zu. RÖHRIG & BARTSCH (1992) stellen den verstärkten Einfluss von *Pinus sylvestris* und *Populus tremula* bei zunehmendem kontinentalen Klima in Waldgesellschaften mit *Quercus robur* und *Betula pendula* dar.

Vor dem Hintergrund der vorangestellten Ausführungen wurden für die Anpflanzungen die vier bereits vorkommenden Pionierbaumarten *Betula pendula*, *Pinus sylvestris*, *Populus tremula* und *Salix caprea* sowie die etwas anspruchsvolleren, ebenfalls dort siedelnden Arten *Quercus robur* und *Picea abies* ausgewählt. – Im kleinen Umfang wurde die anspruchslose Baumart *Alnus incana*, die wegen ihres intensiven, wenn auch nicht so tief gehenden Wurzelwerks (s. RÖHRIG & BARTSCH, 1992), oftmals im Rahmen von Rekultivierungen angepflanzt wird, mit berücksichtigt (s. a. INSTITUT FÜR WALDBAU, 1987).

## **2.2 Materialien für die Pflanzung – Methodik der Pflanzung und Untersuchung**

Bei den Begrünungen mit Gräseransaat wurde bereits darauf hingewiesen, dass die Durchführung solcher Maßnahmen nicht nur vor dem Hintergrund wissenschaftlicher Versuche und Forschungen zu betrachten ist, sondern ebenfalls dem Ziel einer flächenhaften Begrünung Folge geleistet werden muss. Die Anpflanzungen mit verschiedenen Gehölzarten sind ebenso einzustufen.

### **2.2.1 Materialien für die Pflanzung**

Für die Pflanzung der Gehölzarten wurde zum einen handelsübliche Baumschulware verwendet, zum anderen vegetativ vermehrtes Pflanzgut von „Mutterbäumen“ des Haldenstandortes sowie generativ vermehrte Pflanzen aus Eigenanzucht (s. Tab. VIII/3).

Die Diskussion über das Für und Wieder der Verwendung kleinerer und damit jüngerer **Baumschulware** im Vergleich zu größeren Sortimenten, bis hin zu Heisterpflanzen, muss in erster Linie auf der Grundlage der standörtlichen Gegebenheiten geführt werden. In Anbetracht der sandartigen Korngrößenzusammensetzung der Lockerschichtauflage ist der Wasserhaushalt bekanntlich auf einem sehr niedrigen Niveau einzustufen. Außerdem sind die im Haldensubstrat zur Verfügung stehenden Nährstoffpotenziale für die in der Baumschule, unter gut nährstoffversorgten Bedingungen angezogenen Pflanzen sehr begrenzt.

Da außerdem die Gefahr der intraspezifischen Konkurrenz durch andere Arten nicht unmittelbar gegeben war, wurden kleinere Sortimente, meist einjährige, nur von *Pinus sylvestris* 2-jährige Ware zwischen 15 und 50 cm Höhe, für die Pflanzung favorisiert – auch vor dem Hintergrund des besseren Anwuchses bei Pflanzen mit vergleichsweise geringer oberirdischer Biomasse und wurzelnackter Qualität (ohne Ballen).

Aufgrund anderer, von Baumschulen extra angezogenen Sondersortimenten, auf die nachstehend eingegangen wird, sind zu Vergleichszwecken Kleinmengen größerer Pflanzen geordert worden.

Tab. VIII/3: Übersicht über die gepflanzten Gehölzarten und -sortimente auf der Halde III.

(Abkürzungen: 1+0 = einjähriger Sämling; 1+1 = zweijährig, verschult; P+2 = zweijährige Pluggenpflanze, S= Sondersortiment, V= Vergleichssortiment Baumschulware)

### **Pflanzung April 1998**

- Baumschulware

- <i>Betula pendula</i> (Sand-Birke)	1+0 j.	20-40 cm	(1.000 Stck.)
- <i>Pinus sylvestris</i> (Wald-Kiefer)	1+1 j.	15-25 cm	(1.000 Stck.)
- <i>Populus tremula</i> (Aspe)	1+0 j.	30-50 cm	(1.000 Stck.)
- <i>Salix caprea</i> (Sal-Weide)	1+0 j.	30-50 cm	(1.000 Stck.)
- <i>Alnus incana</i> (Grau-Erle)	1+0 j.	20-40 cm	(200 Stck.)
- <i>Betula pendula</i> (Sand-Birke) (V)	1+1 j.	60-100 cm	(200 Stck.)
- <i>Betula pendula</i> (Sand-Birke) (S)	P+2 j.	80-120 cm	(180 Stck.)

⇒ Pluggenpflanzen

- Eigenanzucht

- <i>Pinus sylvestris</i> (Wald-Kiefer)	1+1 j.	5-10 cm	(800 Stck.)
---	--------	---------	-------------

### **Pflanzung April 1999**

- Eigenanzucht

- <i>Pinus sylvestris</i> (Wald-Kiefer)	1+1 j.	10-20 cm	(420 Stck.)
- <i>Betula pendula</i> (Sand-Birke)	1+1 j.	15-30 cm	(420 Stck.)

- Baumschulware

- <i>Populus tremula</i> (Aspe) (V)	1+1 j.	80-100 cm	(200 Stck.)
- <i>Populus tremula</i> (Aspe) (S)	1+1 j.	80-100 cm	(200 Stck.)

⇒ Geklontes Material

### **Pflanzung April 2000**

- Eigenanzucht

- <i>Quercus robur</i> (Stiel-Eiche)	1 j.	15-20 cm	(720 Stck.)
- <i>Picea abies</i> (Fichte)	1+1 j.	10-20 cm	(440 Stck.)
- <i>Pinus sylvestris</i> (Wald-Kiefer)	1+1 j.	10-20 cm	(180 Stck.)
- <i>Salix caprea</i> (Sal-Weide)	1 j.	15-20 cm	(110 Stck.)

Auf die Qualitätssicherung der angeforderten Baumschulware wurde besonderer Wert gelegt. Kriterien für die Beurteilung waren der Frischegrad der Wurzeln, die Beschaffenheit des Terminaltriebes einschließlich der Besetzung mit Knospen, der Wurzelhalsdurchmesser sowie etwaige Beschädigungen am oberirdischen Vegetationsteil einer Pflanze.

Die von Fa. „R. SCHRADER BAUMSCHULEN“ (Niederlassung Rotenburg/F.) bereitgestellten Pflanzensortimente wurden durch das Fachgebiet selbst abgeholt, so dass der Frischegrad der Pflanzen „hoch“ eingestuft werden konnte. Bei der Inaugenscheinnahme der gebündelten Sortimente waren nur vereinzelt leichte Beschädigungen (z. B. angeknickte Seitentriebe, Fehlen von Knospen) auszumachen. Die Wurzelhalsdurchmesser entsprachen den Qualitätskriterien der Anforderungen an forstliches Vermehrungsgut.

Die Anforderungen basieren auf den rechtlichen Vorgaben durch das inzwischen novellierte FORSTVERMEHRUNGSGESETZ (FoVG) vom 22.05.2002 aufgrund der Umsetzung der RICHTLINIE 1999/105/EG DES RATES vom 22. Dezember 1999 über den Verkehr mit forstlichem Vermehrungsgut. Zusätzlich wird die Qualität des forstlichen Vermehrungsguts über die „Deutsche Kontrollvereinigung für forstliches Saat- und Pflanzgut e.V.“ gefördert sowie Herkunftskontrollen bei den angeschlossenen Betrieben durchgeführt.

Da es sich bei den Gehölzen (Pionierbaumarten), die auf der Halde bereits seit vielen Jahren stocken, zwar noch nicht um durch Differenzierung entstandene Lokalrassen handeln kann, die aber möglicherweise die extremen standörtlichen Gegebenheiten besser als andere tolerieren, wurden einerseits Samen von gut entwickelten Exemplaren der Art *Betula pendula* zur Samenreife im September 1995 geerntet und anschließend durch die Fa. „TINPLANT – BIOTECHNIK UND PFLANZENVERMEHRUNG GMBH“, ansässig in Klein Wanzleben (Sachsen-Anhalt), angezogen. Im Frühjahr standen die nunmehr 2-jährigen Ballenpflanzen (80-120 cm), die als **Pluggenpflanzen** bezeichnet werden, zur Pflanzung bereit. Vergleichend dazu wurde wurzelnackte Baumschulware mit ähnlichem Entwicklungsstadium verwendet.

Ein weiteres Sondersortiment wurden **Klone** von der Baumart *Populus tremula* herangezogen. Dazu erfolgte ebenfalls auf dem Plateau der Halde die Auswahl geeigneter Mutterbäume. Reiser mit gut ausgebildeten Knospen wurden im Dezember 1995 geschnitten. Anschließend fand nach Etablierung meristematischen Zellengewebes die Bewurzelung auf Agar statt, was ebenso von der Fa. Tinplant ausgeführt wurde. Durch Weiterkultivierung und einmaliger Verschulung standen im Frühjahr 1999 Pflanzen von 80 bis 100 cm Größe zur Ausbringung auf der Halde bereit. – Als adäquate Baumschulware konnten Pflanzen gleicher Größe und morphologischer Ausstattung hinsichtlich gebildeter Terminal- und Seitentriebe Verwendung finden.

Aus **Eigenanzucht** stammten Pflanzen von *Pinus sylvestris*, die zum ersten Pflanztermin (Frühjahr 1998) mit eingesetzt wurden. Saatgut mit entsprechendem Herkunftsnachweis war bereits 1997 unter Gewächshausbedingungen angezogen worden.

Die anschließende Weiterkultivierung erfolgte mit den nachstehend aufgeführten Substratmaterialien:



- Haldensubstrat 50 % - Anteil
- Torfkultursubstrat (TKS) I 25 % - Anteil (handelsüblich)
- Torfkultursubstrat (TKS) II 25 % - Anteil (handelsüblich)

Für alle folgenden Weiterkultivierungen wurden die sog. Quick-Pot-Baumschulplatten mit 35 extra tiefen Töpfen verwendet, die sich speziell für die Anzucht von Gehölzen eignen. Die viereckigen Töpfe haben Ausmaße von 50 (L) x 50 (B) x 115 mm (H) und besitzen einen Inhalt von jeweils 200 cm<sup>3</sup>. Wurzeleitrippen verhindern den Wurzel-drehwuchs; ein offener Kreuzboden sorgt für eine ausreichende Belüftung der Wurzel und ein Wegsickern überschüssigen Gießwassers. Aufgrund der stabilen Ausführung ist ein mehrjähriger Gebrauch der Platten möglich.

Die Zielsetzung, die mit dem Pikieren der Sämlinge in ein Gemisch aus Haldensubstrat und Torfkultursubstrat I u. II verfolgt werden sollte, war, die aufwachsenden Pflanzen zum einen an nährstoffärmere Bedingungen, im Vergleich zur Anzucht in der Baumschule, zu gewöhnen, ihnen trotzdem ein Mindestmaß an Nährstoffen für das weitere Wachstum, bei gleichzeitig verbesserten Wasserhaltekapazitäten des Substratgemisches, zu bieten. Zum Ende der Kultivierungsphase erreichten die Exemplare von *Pinus sylvestris* aus erster Anzucht lediglich Höhen zwischen 5 und 10 cm.

Im weiteren Verlauf der Begrünungsmaßnahmen durch Pflanzung wurden dann Sortimente von *Betula pendula* und *Pinus sylvestris* aus Eigenanzucht verwendet, die durch ein weiteres Jahr der Kultivierung doppelte Wuchshöhen erreicht hatten.

### 2.2.2 Methodik der Pflanzung

Im Vergleich zu Aufforstungen im Wald ist die Zielsetzung, wie zu Beginn des Teilkapitels beschrieben, nicht ein relativ dichter Bestand mit meist einschichtigem oder maximal zweischichtigem Vertikalaufbau, sondern eher ein aufgelockerter Bestand, mit Einzelbäumen oder trupp- bis gruppenweiser Stellung, begleitet von krautiger Vegetation.

In fast allen Fällen wird die Aufforstung im Wald vor dem Hintergrund der standörtlichen Leistungsfähigkeit und der zukünftigen Erträge, mit dem Ziel das produzierte Holz zu vermarkten, durchgeführt. Orientiert an der Wuchsdynamik jeder Baumart sind im Laufe der Zeit Pflanzverbände favorisiert worden, die das Wachstumspotenzial eines Bestandes, auch im Hinblick auf Stabilität und die späteren Pflege- und Durchforstungseingriffe, möglichst optimal ausnutzen. – Bei den getätigten Anpflanzungen auf der Halde III hat die eigentliche Begrünung im Vordergrund gestanden, eine zukünftig zu erwartende Vermarktung von anfallenden verwertbaren Holzmengen scheidet schon aus Gründen des geringen Holzzuwachses (Längen-, Durchmesserzuwachs) aus.

Für die Pflanzung konnten ausreichend dimensionierte Flächen am Nord-, West- und Südhang ausgewiesen werden, dazu fünf Bereiche auf den Plateaus A und B. Die Sortimente mit jeweiligen Stückzahlen zwischen 800 bzw. 1.000 Pflanzen wurden auf die einzelnen Expositionen, im Norden auch auf Vorbegrünung, gleichmäßig verteilt.

Obwohl bei Pflanzungen im Wald auf Standorten mit geringerem Leistungspotenzial die Pflanzenzahl pro Hektar z. T. deutlich gesenkt wird, ist bei sämtlichen Pflanzungen auf der Halde III der Pflanzverband 1,5 x 1,0 m – 1,5 m Reihenabstand, 1,0 m Abstand von

Pflanze zu Pflanze – gewählt worden, um bei möglichen Einzelausfällen nicht erneut die sehr sensiblen Lockersubstrate der Flanken begehen zu müssen und angewachsene Pflanzen wiederum zu beeinträchtigen. Bei dem praktizierten Pflanzverband würden somit umgerechnet 6.666 Pflanzen/ha benötigt, was den Empfehlungen von BURSCHEL & HUSS (1987) für Pflanzungen von *Pinus sylvestris* entspricht. – Insgesamt sind im Rahmen dieser Arbeit 8.070 Gehölze gepflanzt worden.

Aufgrund der lockeren Materialbeschaffenheit des Substrates konnte die Pflanzung mit dem „Pflanzhäckchen nach DR. REISSINGER“ erfolgen bzw. mit Geräten aus dem handelsüblichen Gartenbedarf. Haldenbereiche mit sehr geringen Lockerschichtmächtigkeiten oder partiell anstehendem Hartsalz sind von der Pflanzung ausgespart worden, da sonst die Pflanzen wegen des zu geringen Wurzelraumes keine reale Chance des Anwachsens gehabt hätten. – Gewässert wurde das dem Einschlag entnommene Pflanzmaterial bis zur Pflanzung.

Um die Nährstoffsituation nach der Pflanzung zu verbessern, wurde unmittelbar anschließend ein Gabe „Bioabfall-Kompost“ (1,5 l Vol.) um jede Pflanze kleinräumig verteilt. Zum zweiten sollte der Kompost die Verdunstung von Wasser aus dem Lockersubstrat am Pflanzenstandort reduzieren. Bis auf die Kompostbeigaben erfolgte keine gezielte Düngung der Gehölze, um die Bildung des Wurzelwachstums zu fördern. – Im Hauptteil „Materialien und Methoden“ werden die Eigenschaften des Komposts dargestellt.

### **2.2.3 Methodik der Untersuchung**

Nach Pflanzung von 5.380 Gehölzen im Frühjahr 1998 wurden diese im Laufe der Vegetationsperiode mittels Vollaufnahme bewertet. Im ersten Jahr fand eine Untersuchung über das Austriebsvermögen der gepflanzten Bäume statt. Die in den Folgejahren gepflanzten Bäume sind ebenfalls bis zum Jahr 2002 mit aufgenommen worden, was die Ausfallraten betraf.

Messungen zur Höhenentwicklung fanden im Jahr 2000 an den Gehölzen der ersten Pflanzung (1998) statt; dabei wurden bei der Baumart *Pinus sylvestris* neben der Gesamthöhe auch die jährlichen Zuwachseleistungen gemessen. Bei den Laubgehölzen konnte aufgrund artbedingter, undeutlich lokalisierbarer Triebbasisnarben nur die bisher entwickelte Gesamtwuchshöhe ermittelt werden. Durch angelagertes Lockermaterial im Flankenbereich war vereinzelt das Oberflächenniveau nach Pflanzung deutlich angehoben worden, so dass vor Messungsbeginn der Spross einer Pflanze bis zum ursprünglichen Niveau freigelegt wurde.

## **2.3 Ergebnisse**

### **2.3.1 Entwicklung der Anwuchsraten**

Der Erfolg einer Pflanzungsmaßnahme bzw. Aufforstung wird in erster Linie durch die Anwuchsraten transparent. – In der nachstehend aufgeführten Tabelle VIII/4 werden die jährlichen Anwuchsraten der Pflanzen expositionsweise zusammengefasst dargestellt, um anschließend eine nach Baumarten getrennte Betrachtung vorzunehmen.

Tab. VIII/4: Anwuchsraten der gepflanzten Gehölze in den Jahren 1998 bis 2002.

(Abkürzungen: N = Norden, W = Westen, S= Süden, Pl = Plateau, b = begrünt (Gräseransaat), u = unbegrünt, B = Baumschulware, E = Eigenanzucht)

Lage/ Baumart	Anwuchs 1998 (%)	Anwuchs 1999 (%)	Anwuchs 2000 (%)	Anwuchs 2001 (%)	Anwuchs 2002 (%)
N-b-Betula-B	78,0	70,5	69,0	68,0	68,0
N-b-Pinus-B	82,5	68,0	68,0	68,0	67,5
N-b-Populus-B	62,5	50,5	50,5	48,0	43,0
N-b-Salix-B	65,0	48,0	46,5	38,5	35,0
N-u-Betula-B	71,5	68,5	67,5	66,0	65,0
N-u-Pinus-B	56,5	52,0	52,0	50,0	49,5
N-u-Pinus-E	82,0	72,0	70,0	67,0	66,0
N-u-Populus-B	41,0	41,0	40,5	40,5	40,0
N-u-Salix-B	37,0	33,0	33,0	32,0	31,0
N-u-Picea-E	-	-	54,0	33,0	33,0
N-u-Quercus-E	-	-	23,0	14,0	8,0
NW-Betula-P	84,0	82,0	82,0	81,0	79,5
NW-Betula-B	62,5	61,5	60,0	60,0	60,0
W-Betula-B	82,0	82,0	82,0	82,0	82,0
W-Pinus-B	66,5	65,0	65,0	65,0	65,0
W-Pinus-E	86,0	84,5	83,0	83,0	83,0
W-Populus-B	66,0	65,5	65,5	63,0	63,0
W-Salix-B	48,0	41,0	41,0	40,5	40,0
SW-Populus-K	-	88,0	86,5	81,0	81,0
SW-Populus-B	-	86,0	85,5	81,5	80,5
SW-Picea-E	-	-	81,0	80,0	76,0
SW-Quercus-E	-	-	83,0	71,0	62,0
SW-Alnus-B	9,0	8,5	8,5	8,5	8,5
S-Betula-E	-	87,0	69,5	66,0	65,0
S-Pinus-E	-	93,5	91,5	90,4	89,0
S-Betula-B	9,0	8,0	8,0	8,0	8,0
S-Pinus-B	13,5	13,5	13,0	13,0	13,0
S-Pinus-E	44,5	44,5	43,0	43,0	40,5
S-Populus-B	21,5	21,5	21,5	19,0	18,0
S-Salix-B	17,5	14,5	14,5	13,0	13,0
S-Picea-E	-	-	63,0	60,0	43,0
S-Quercus-E	-	-	41,0	32,0	28,0
Pl-Betula-B	59,5	39,0	39,0	39,0	39,0
Pl-Pinus-B	56,0	51,0	48,0	48,0	48,0
Pl-Pinus-E	71,5	57,5	57,5	57,5	57,5
Pl-Populus-B	41,5	38,5	36,0	33,5	33,5
Pl-Salix-B	31,0	5,5	4,0	4,0	3,5
Pl-Picea-E	-	-	47,0	33,0	31,0
Pl-Quercus-E	-	-	57,0	37,0	37,0

Aufgrund der relativ ausgewogenen Witterungslage war das Jahr 1998, vor allem während der Vegetationsperiode, gut für Pflanzung und Anwuchs der Gehölze geeignet. Nach kürzeren Perioden mit sehr wenigen oder ausbleibenden Niederschlägen gingen zumindest einige Regenschauer nieder, die das Substrat ziemlich schnell durchfeuchteten und Wasser nachlieferten. – Durch z. T. kräftige Niederschlagsereignisse fanden Materialverlagerungen statt, die in wenigen Fällen gepflanzte Gehölze, insbesondere die mit geringer Größe aus erster Eigenanzucht, fast verschütteten. Trotzdem wurde ein zufriedenstellendes Anwachsen der meisten Sortimente beobachtet.

Im ersten Jahr (1998) waren die **Ausfallraten der gepflanzten Gehölze** am größten (s. Abb. VIII/12): Dabei waren die geringsten Ausfälle auf der vorbegrünten Nordflanke festzustellen. *Pinus*-Baumschulware wuchs an dieser Exposition am besten an, bei *Populus* und *Salix* lagen die Ausfälle zwischen 35 und 40 %, bei *Betula* etwas über 20 %. – Die West-Exposition ließ bei *Salix* die Ausfallrate auf über 50 % steigen, auf der unbegrünten Nordflanke sogar auf über 60 %. Auf einem deutlich niedrigeren Niveau befanden sich *Betula* und *Pinus*, wobei das aus Eigenanzucht stammende *Pinus*-Sortiment die besten Anwuchsergebnisse auf allen Expositionen erbrachte; der begrünte Norden wurde mangels ausreichender Individuenzahl nicht mit diesem Sortiment bepflanzt. – Erwartungsgemäß lagen die Ausfallraten aller Sortimente auf der Südseite der Halde III am höchsten und erreichten bei *Populus*, *Salix*, *Pinus*-Baumschulware und *Betula* Ausfälle zwischen 88,5 und 91 %. Nur die Pflanzen der *Pinus*-Eigenanzucht zeigte auch hier mit 45 % die geringsten Ausfälle.

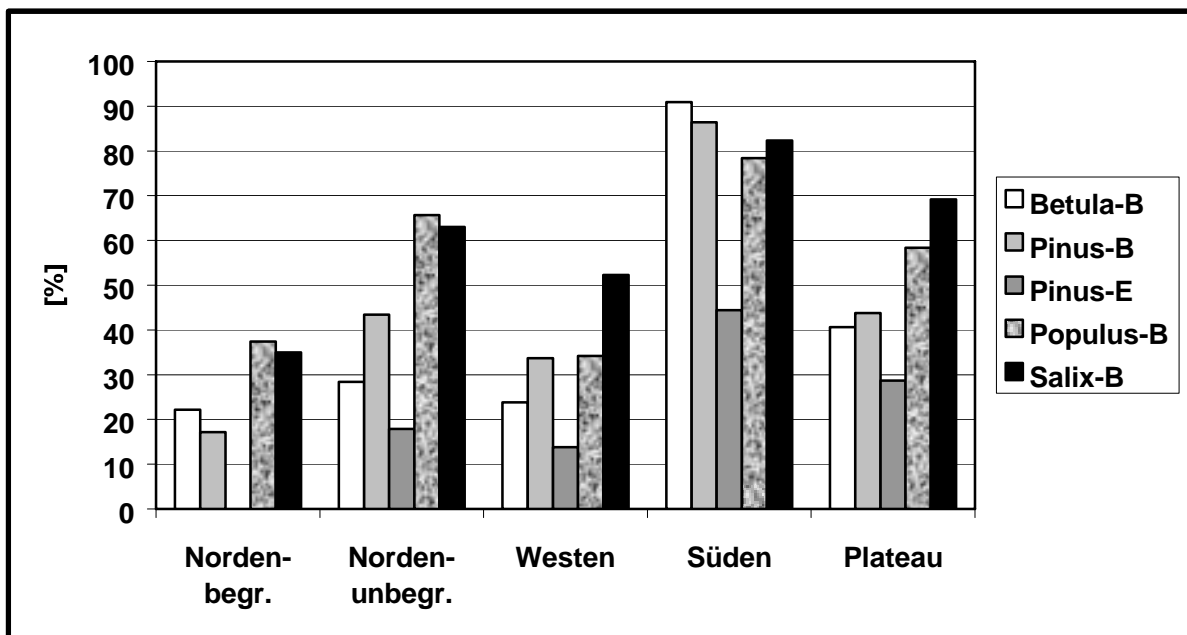


Abb. VIII/12: Ausfallraten der im Jahr 1998 gepflanzten Sortimente am Ende der Vegetationsperiode. (B = Baumschulware, E = Eigenanzucht)

Nachstehend zeigt die Abbildung VIII/13 das unterschiedliche **Austriebvermögen** der einzelnen Sortimente.

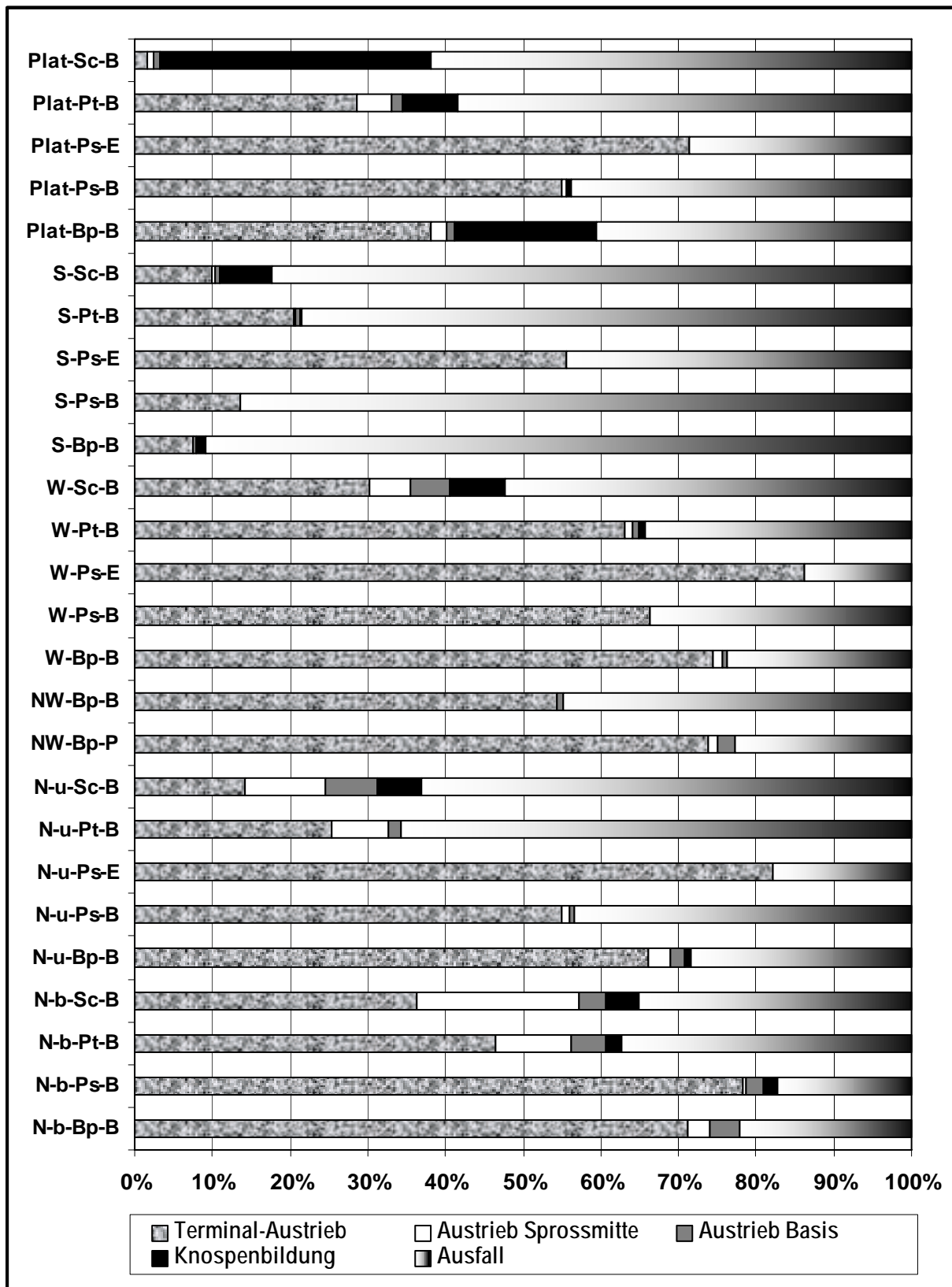


Abb. VIII/13: Austriebsarten der Gehölze in der ersten Vegetationsperiode (1998) und Ausfälle. (Abkürzungen: N = Norden, W = Westen, S = Süden, Plat. = Plateau, b = begrünt, u = unbegrünt, Bp = *Betula pendula*, Ps = *Pinus sylvestris*, Pt = *Populus tremula*, Sc = *Salix caprea*, B = Baumschulware, E = Eigenanzucht, P = Pluggenpflanze)

Da die verwendeten Gehölzsortimente ein- bis höchstens zweijährig waren und außerdem nur geringe Höhen entwickelt hatten, war folglich das Spross-Wurzel-Verhältnis in Bezug auf den Anwuchs ausgewogen, so dass aufgrund der Pflanzenbeschaffenheit ein normales Austreiben des Sprosses zu erwarten gewesen wäre.

Wie die vorstehende Abbildung verdeutlicht, wurden neben dem regulären Terminalaustrieb, wie er sich bei den meisten Gehölzen zeigte, auch andere Entwicklungen beobachtet: In einigen Fällen vertrocknete der obere Sprossteil und die Pflanze trieb in Sprossmitte aus. Dieses Phänomen war besonders bei *Populus tremula* und *Salix caprea* festzustellen, wobei in Ausnahmefällen 10 bis 20 % der Exemplare diesen Blattaustrieb aufwiesen. Bei *Betula pendula* war diese Art des Austriebs vereinzelt gesehen worden. Das streng monopodiale Wachstum von *Pinus sylvestris* (BARTELS, 1993) zeigte bei beiden Sortimenten (Baumschulware, Eigenanzucht) kaum anderweitige Austriebe als die der Gipfelknospen.

Austriebe aus der Basis konnten am häufigsten bei den Baumarten *Salix caprea* und *Populus tremula* beobachtet werden und zwar vornehmlich an der Nord- und Westflanke. Ca. 2 bis 3 % der *Betula pendula* – Pflanzen trieben ebenfalls an der Basis aus, nachdem der Spross langsam eingetrocknet war.

Eine andere Reaktion zeigten häufiger die Vertreter von *Salix caprea*, bei denen sich überhaupt kein Blattaustrieb (> 35 % der Plateau-Pflanzen) einstellte, sondern die Pflanzen neue Knospen bildeten. Bei halb so viel Pflanzen von *Betula pendula* wurde ähnliches beobachtet, an einigen Expositionen auch bei *Populus tremula*. Sehr wenige Exemplare von *Pinus sylvestris* bildeten ebenso neue Knospen.

Das einjährige Baumschulsortiment von ***Betula pendula*** entwickelte sich an den einzelnen Expositionen im Laufe der 5 Vegetationsperioden wie folgt (Abb. VIII/14):

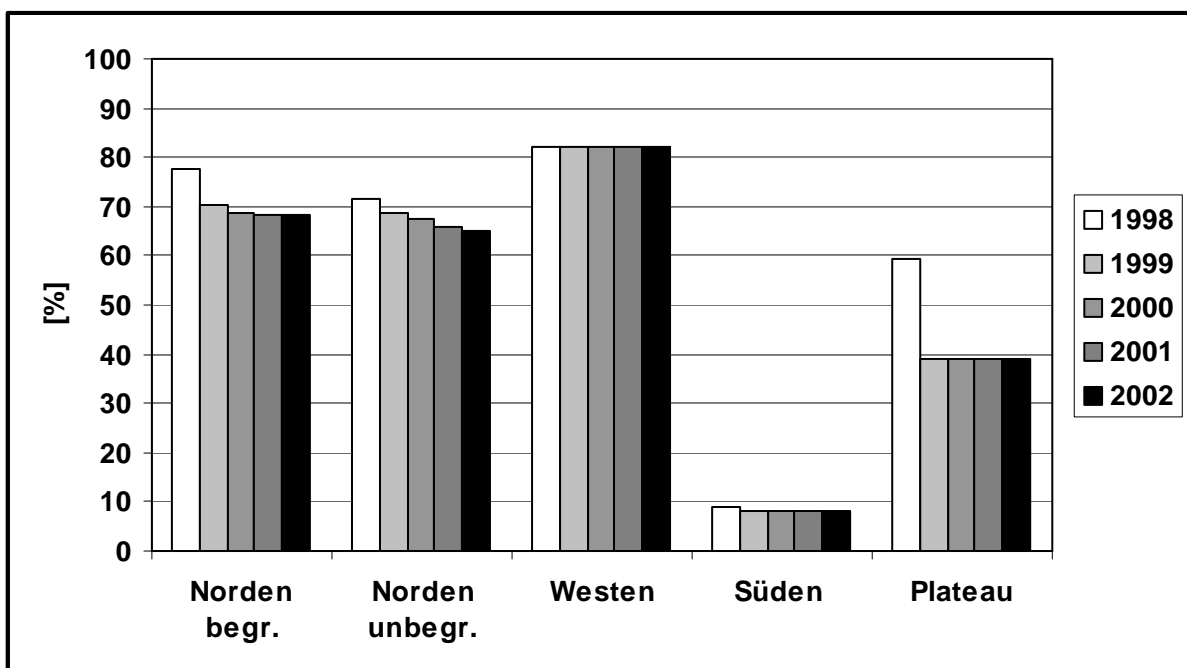


Abb. VIII/14: Entwicklung der Anwuchsraten bei *Betula pendula* (Baumschulware), 1998 bis 2002.

Während der ersten Vegetationsperiode sind die höchsten Ausfälle bei *Betula pendula* festgestellt worden. Gleichzeitig waren die Anwuchsraten der Nord- und Westexposition mit über 70 bzw. 80 % voll befriedigend. In den Folgejahren gab es auf der Nordflanke weniger als 10 % Ausfälle; am Westhang stabilisierte sich die Anwuchsrate bereits ab der ersten Vegetationsperiode auf 82 %. – Auch auf der Südflanke blieb das Niveau bereits im zweiten Jahr nach der Anpflanzung auf 8 %. - Hervorzuheben ist die Entwicklung auf der Plateaulage: Nach gut 40 % Letalität in der ersten Vegetationsperiode nahm die Anwuchsrate im Folgejahr nochmals um 20 % ab und stabilisierte sich auf diesem Niveau weiter bis zum Ende der Untersuchung.

Die Verzweigung von *Betula pendula* konnte auf allen Standorten der Halde als „normal“ eingestuft werden. Aufgrund der langsamen Höhenentwicklung (s. u.) und der damit verbundenen soziologisch einstuftbaren Einzelbaumstellung – d. h. ohne nennenswerte intraspezifische Konkurrenz – fruktifizierten einige Exemplare von *Betula pendula* bereits im vierten Standjahr.

Das Sondersortiment „*Betula pendula* – **Pluggenpflanze**“ stabilisierte sich nach einer Ausfallrate von 16 % im ersten Jahr auf eine Anwuchsrate von 79 % bis zum Jahr 2002. Damit schnitt dieses Sortiment deutlich besser ab als die vergleichbare Baumschulware, die in der 5. Vegetationsperiode noch 60 % vitale Exemplare aufwies.

Insgesamt zufriedenstellend war auch die Entwicklung der Anwuchsraten bei *Pinus sylvestris* (Baumschulware): Bereits nach den anfänglichen Ausfällen im Jahr 1998 stabilisierten sich die Anpflanzungen auf der Westflanke auf knapp über 50 %, im Süden auf 23 % (s. Abb. VIII/15). Die Pflanzungen an der Nordflanke hatten noch im zweiten Jahr Einbußen zwischen 4 und 15 %. Erst danach konnte von einem gesicherten Bestand die Rede sein. Eine ähnliche Entwicklung vollzog sich auf dem Haldenplateau.

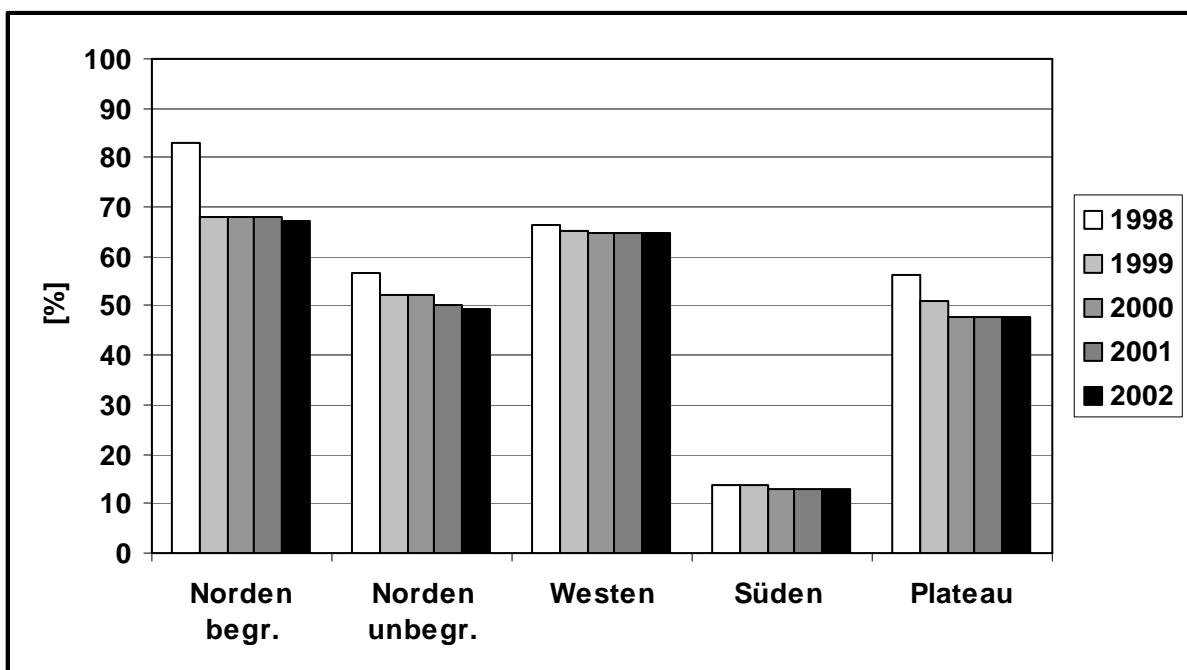


Abb. VIII/15: Entwicklung der Anwuchsraten bei *Pinus sylvestris* (Baumschulware), 1998 bis 2002.

Die aus Eigenanzucht stammenden kleinwüchsigen Exemplare von *Pinus sylvestris*, waren dem Baumschulsortiment auf allen Expositionen überlegen (s. Abb. VIII/16). Trotz der bescheidenen Ausgangsgröße von 5 bis 10 cm und gelegentlichen Ablagerungen von erodiertem Material fast bis zum Stadium der Verschüttung erwiesen sich die mit einem Kleinballen ausgebildeten Sämlinge als relativ anspruchslos, zumal sie durch die Form der Anzucht im nährstoffärmeren Milieu keine Ernährung auf höherem Niveau erfahren haben. – Die höchste Anwuchsrate konnte am Westhang erreicht werden, die sich von 86 % im ersten Jahr auf 82 % stabilisierte. Im Norden folgte einer anfänglichen Ausfallrate von 18 % eine zweite Mortalitätsrate von 10 % in der zweiten Vegetationsperiode, erst danach fand eine Stabilisierung bis auf 66 % vitaler Exemplare statt. Auf der Südseite waren zwar die Ausfälle im ersten Jahr ebenfalls immens (55 %), doch nur wenige Exemplare fielen in den folgenden Vegetationsperioden aus. Mit 40,5 % besitzt dieses Sortiment die höchste Anwuchsrate auf der Südseite. – Die Anpflanzung auf dem Plateau hatte im ersten Jahr Einbußen von knapp 29 %, im Folgejahr nochmals 13 %, blieb aber dann auf einem Niveau von 58 % vitaler Exemplare bis zum Untersuchungsende.

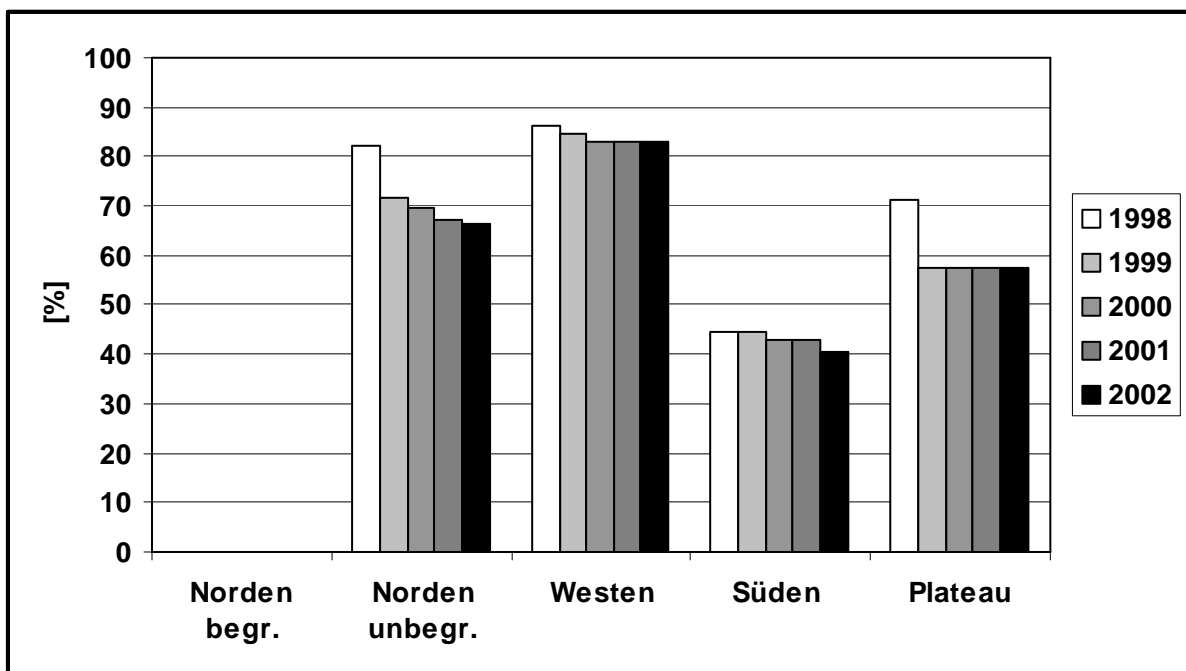


Abb. VIII/16: Entwicklung der Anwuchsraten bei *Pinus sylvestris* (Eigenanzucht), 1998 bis 2002. Die Exposition „Norden, begrünt“ wurde mit diesem Sortiment nicht bepflanzt.

Die ebenfalls aufgrund von Sukzession natürlich auf der Halde vorkommende Baumart ***Populus tremula*** hatte insgesamt höhere Ausfallraten auf den verschiedenen Expositionen als die vorher beschriebenen (s. Abb. VIII/17). Relativ schnell stabilisierten sich nach den anfänglich hohen Ausfällen die Bestände auf der unbegrünten Nordseite auf 40 % bzw. an der Südflanke auf zuletzt 28 %; auch die Anpflanzung in Westexposition hatte in den letzten Vegetationsperioden Verluste von insgesamt unter 5 % und wies zuletzt 63 % vitale Exemplare auf – die höchste Anwuchsrate dieses Sortiments. – Im begrüntem Nordbereich ging die Anwuchsrate des ersten Jahres von 62,5 % auf 50 %



im Folgejahr zurück und verblieb zuletzt durch weitere Mortalität auf einem Niveau von 43 %. – In Plateaulage reduzierte sich das anfängliche Anwuchsprozent von 42 auf 33,5 % in den Folgevegetationsperioden. Insgesamt betrachtet haben sich die Anwuchsraten an den verschiedenen Expositionen weitgehend stabilisieren können.

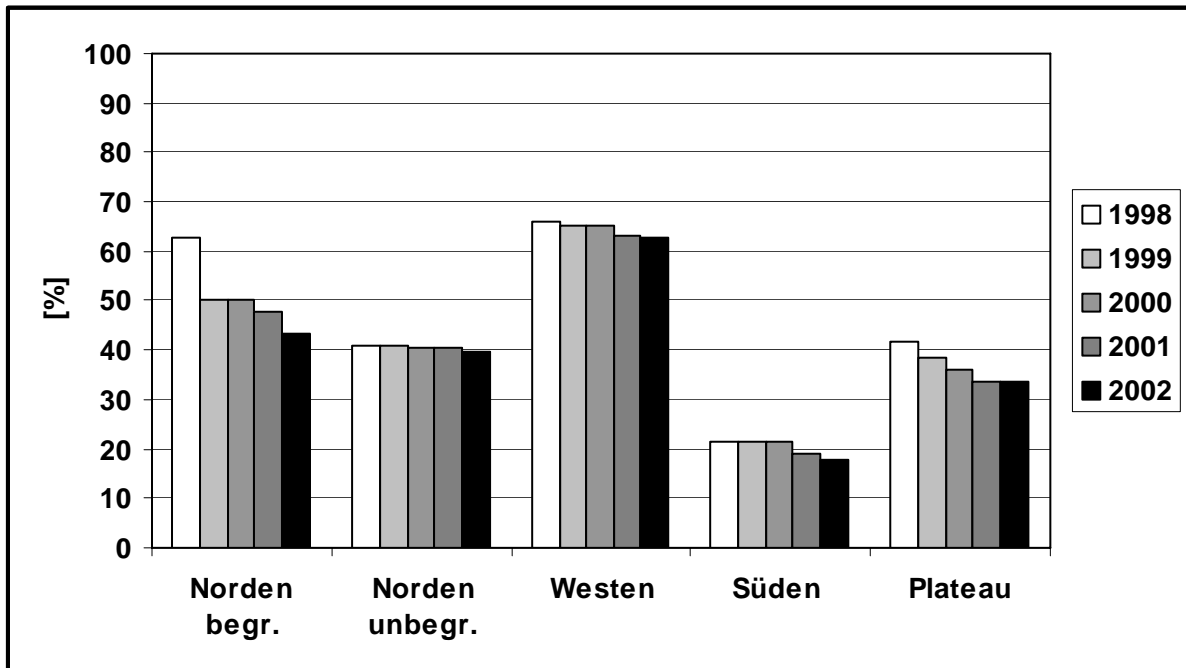


Abb. VIII/17: Entwicklung der Anwuchsraten bei *Populus tremula* (Baumschulware), 1998 bis 2002.

Die beiden Sortimente „**Populus tremula - geklont**“ (mit Ballen) im Vergleich zur üblichen, wurzelnackten Baumschulware zeigten nach ihrer Pflanzung im Jahr 1999 gute Anwuchsraten. Mit sehr niedrigen Ausfallraten von 12 bzw. 14 % in der ersten Vegetationsperiode lag der Anwuchserfolg deutlich über dem des zuvor beschriebenen Sortiments. Im zweiten Standjahr gab es kaum weitere Ausfälle, nur in der dritten Vegetationsperiode reduzierten sich die Anwuchsraten auf 81 bzw. 81,5 %. Somit sind signifikante Unterschiede, hinsichtlich des Anwuchsverhaltens des geklonten Pflanzmaterials im Vergleich zur Baumschulware, nicht erkennbar.

Die vierte Pionierbaumart – **Salix caprea** – hat sich nach den Pflanzungen folgendermaßen entwickelt (s. Abb. VIII/18): Die Ausfälle in der ersten Vegetationsperiode waren, wie oben angeführt, besonders hoch. Zwischen 35 % (Norden, begrünt) und 82 % (Südflanke) wuchsen nicht an. Anders als bei den bisher betrachteten Baumarten reduzierte sich die Anwuchsrate im 2. Standjahr nochmals um 7 bis 26 % an mehreren Standorten; dabei lagen die höchsten Ausfälle auf der vorbegrünten Nordseite sowie dem Plateau. Erst ab der dritten Vegetationsperiode schloss sich die Stabilisierungsphase an, jedoch muss mit weiteren Ausfällen auf dem vorbegrünten Nordbereich – ähnlich wie bei *Populus tremula* – gerechnet werden.

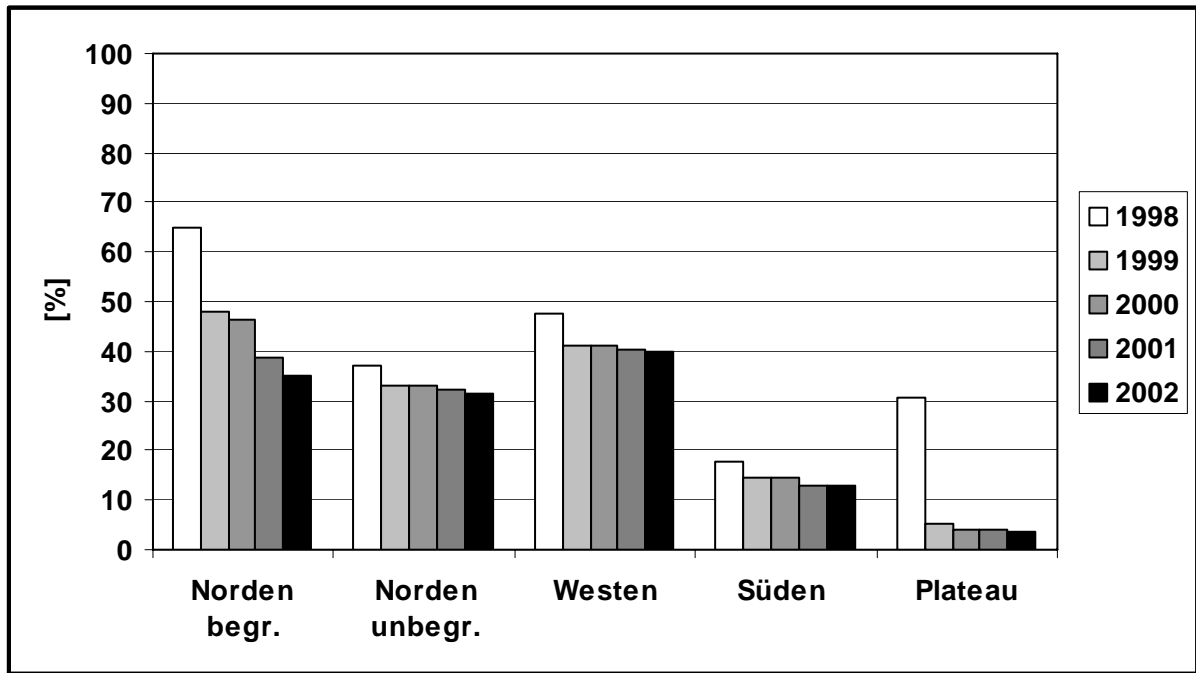


Abb. VIII/18: Entwicklung der Anwuchsraten bei *Salix caprea* (Baumschulware), 1998 bis 2002.

An der Südwest-Exposition wurde ***Alnus incana*** 1998 mit angepflanzt. Von den 200 gepflanzten Exemplaren wuchsen in der ersten Vegetationsperiode nur 9 % an; damit hat diese Baumart die schlechtesten Anwuchsraten im Vergleich zu den anderen Sortimenten hervorgebracht. Nachdem im Folgejahr noch ein Individuum abgängig war, entwickelten sich die verbleibenden Pflanzen bis zum Untersuchungsende recht üppig.

Da die Anwuchsraten von *Pinus sylvestris* (Eigenanzucht) nach der Pflanzung im Frühjahr 1998 auf einem wirklich akzeptablen Niveau lagen, wurden die beiden auf der Halde natürlich vorkommenden Baumarten *Picea abies* und *Quercus robur* ebenfalls in Eigenanzucht kultiviert.

Jeweils 100 Exemplare wurden an vier verschiedenen, bisher unbegrünten Expositionen gepflanzt: Norden, Südwesten, Süden und Plateau. Die mit Ballen ausgestatteten Pflanzen entwickelten sich wie folgt.

Die Baumart ***Picea abies*** wuchs trotz der extremen Standortverhältnisse befriedigend an (Abb. VIII/19). Zwar waren die Ausfälle von 53 und 46 % auf dem Plateau bzw. dem unbegrünten Oberhang der Nordflanke relativ hoch, dagegen konnten Anwuchsraten von 63 % auf der Südseite und 81 % an der Südwestflanke nachgewiesen werden, was für diese Baumart ein beachtenswertes Ergebnis ist. Im Jahr 2001 reduzierte sich die Anzahl vitaler Pflanzen um bis zu 20 % auf der Nordseite, etwas darunter liegend die Abgänge in Plateaulage. Im dritten Standjahr (2002) konnte an drei Expositionen eine Stabilisierung festgestellt werden. Nur auf der Südseite sind 17 % weniger vitale Exemplare festgestellt worden, als ein Jahr zuvor. Diese Abgängigkeit der Gehölze hing in erster Linie mit starken Erosionen aufgrund hoher Niederschläge zusammen, wodurch entweder die Pflanzen mit Lockermaterial überdeckt, in den meisten Fällen je-

doch gänzlich weggeschwemmt wurden. – Wie bereits bei den aus natürlicher Sukzession stammenden Individuen ist das Wachstum der gepflanzten Exemplare als sehr verhalten zu bezeichnen und nicht mit regulären Aufforstungen im Wald vergleichbar.

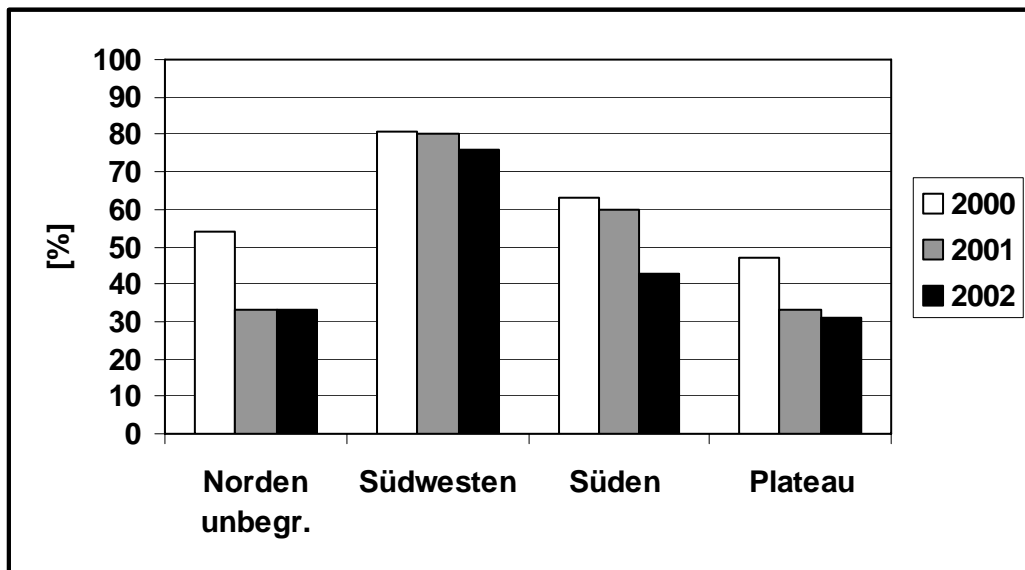


Abb. VIII/19: Anwuchsraten von *Picea abies* (Eigenanzucht) an den verschiedenen Expositionen.

Das Anwuchsverhalten von *Quercus robur* zeigte eine ähnliche Entwicklungstendenz wie *Picea abies*, wich jedoch z. T. von jenen Ergebnissen der Erstaufnahme in der Vegetationsperiode des Jahres 2000 erheblich ab (s. Abb. VIII/20). Besonders bedeutsam waren die hohen Ausfälle am unbegrünten Nordhang; nach über 75 % Letalität in 2002 reduzierte sich der Anteil vitaler Exemplare auf 8 %.

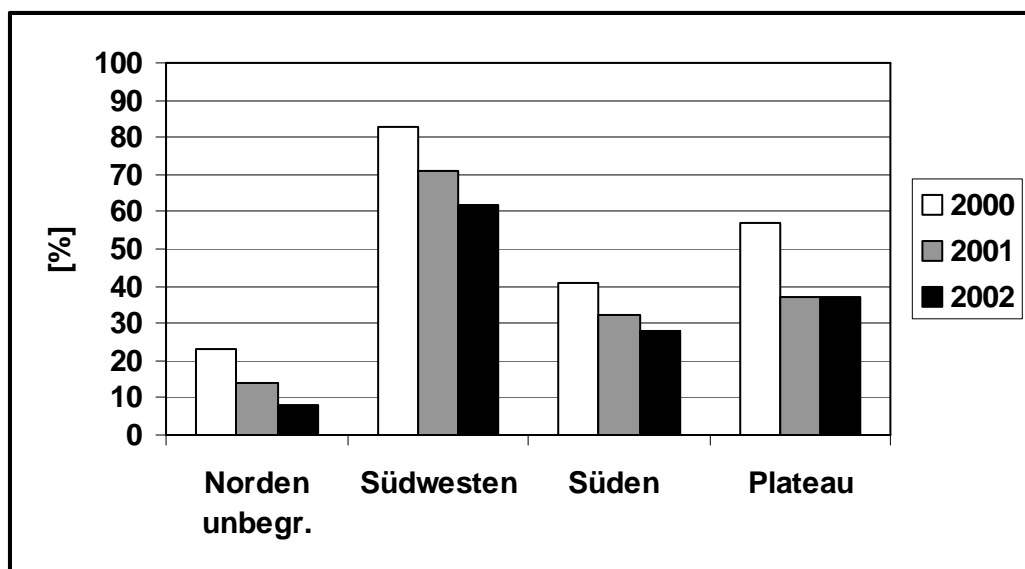


Abb. VIII/20: Jährliche Anwuchsraten von *Quercus robur* an unterschiedlichen Expositionen.

Dagegen wuchs die Baumart auf der Südwestflanke zunächst gut an (83 %), verlor aber auch hier bis zum Jahr 2002 ca. 20 % der zunächst angewachsenen Pflanzen. Nach gut 60 % Ausfällen auf der Südseite reduzierte sich die Anwuchsrate in den Folgejahren bis auf 28 %. Die Anpflanzung auf dem Plateau scheint sich nach einer anfänglichen Anwuchsrate von 57 % und einem Anwuchsverlust von 20 % in der nächsten Vegetationsperiode auf einem Niveau von 37 % zu stabilisieren.

Sonstige Anpflanzungen von *Betula pendula* und *Pinus sylvestris* aus Eigenanzucht dienten vornehmlich der Erreichung des Begrünungsziels. Die auf der Südseite im Jahr 1999 angepflanzten Gehölze haben sich nach anfänglichen Ausfällen in den letzten Jahren auf einem Niveau von 65 % Anwuchs bei *Betula pendula* und 89 % bei *Pinus sylvestris* stabilisieren können.

### **2.3.2 Entwicklung des Höhenzuwachses**

Von den im Jahr 1998 gepflanzten Arten und Sortimenten wurden die erreichten Höhen bzw. die Höhenzuwachs-Entwicklungen untersucht, die nachstehend beschrieben werden.

Zunächst ist festzuhalten, dass innerhalb der einzelnen Sortimente und Expositionen z. T. erhebliche Abweichungen von den jeweiligen Mittelwerten festgestellt werden konnten. Zum einen ist das Wachstum von Gehölzen nicht mit den nahezu homogen wachsenden landwirtschaftlichen Kulturpflanzen vergleichbar, zum anderen lassen unterschiedliche Standortverhältnisse entsprechende Wachstumsentwicklungen zu.

Als besonders heterogen sind die Standortverhältnisse auf der Halde III einzustufen, sowohl was die Mächtigkeit der Lockerschichtauflage und deren Materialbeschaffenheit betrifft, als auch die expositionsbedingten klimatischen Unterschiede. Verstärkt wird diese Heterogenität durch die bereits beschriebene Dynamik der Haldenoberfläche.

Da beispielsweise die am besten entwickelten Gehölze bei einer Berechnung des Medians nicht berücksichtigt, diese Bäume jedoch in der Zukunft eine herausragende Rolle bei der zu bewertenden Begrünung spielen würden, ist es unabdingbar, die gesamte Variation einer Stichprobe mit zu bewerten.

Um das Wachstum vor dem Hintergrund der standörtlichen Bandbreite zu erfassen und zu bewerten, wurden von einem repräsentativen Stichprobenumfang, bestehend aus 100 Pflanzen je Exposition, die Wachstumsentwicklungen festgehalten. Wie berichtet, gab es an manchen Expositionen enorme Ausfälle, so dass die Grundgesamtheit der zur Verfügung stehenden Gehölze je Art z. T. deutlich weniger als 50 Exemplare umfasste, vereinzelt auch weniger als 20 Exemplare.

Daraus folgernd sind nicht alle Erhebungen bzw. errechneten Werte statistisch absicherbar.

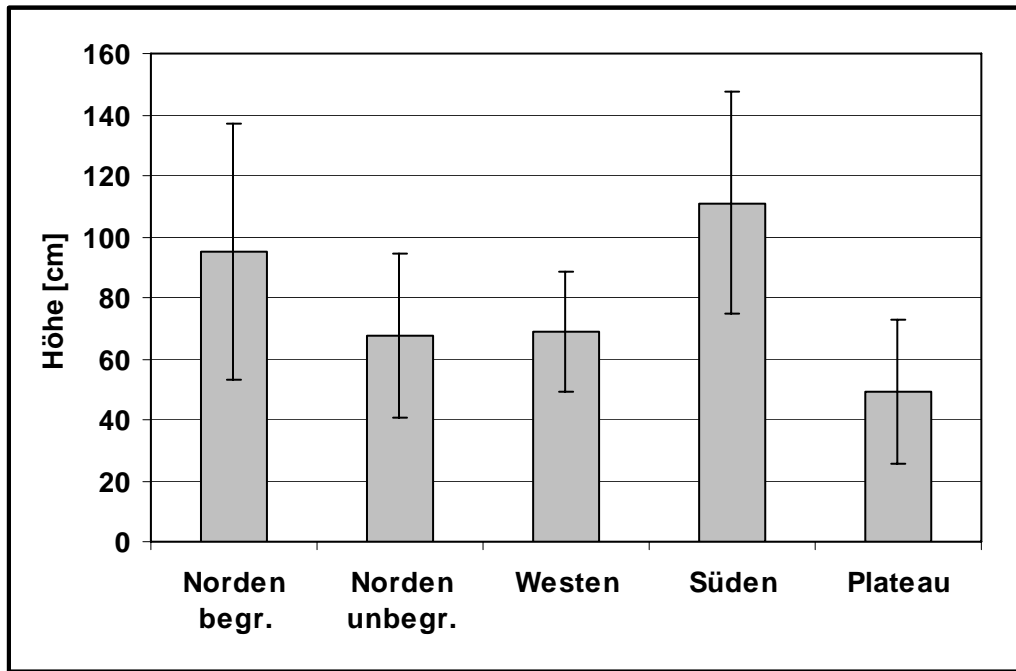


Abb. VIII/21: Erreichte durchschnittliche Gesamthöhen [cm] bei *Betula pendula*.

Die als einjährige Sämlinge, mit einer Ausgangsgröße von 20 bis 40 cm, gepflanzten Exemplare der Art ***Betula pendula*** hatten im Aufnahmejahr 2000 auf der Nordseite Gesamthöhen von durchschnittlich 95 (begrünt) bzw. 67 cm (unbegrünt) erreicht (s. Abb. VIII/21).

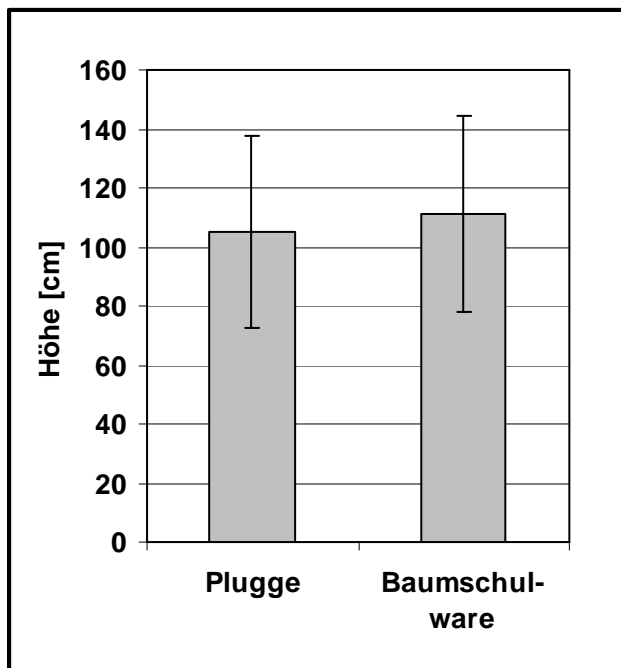


Abb. VIII/22: Mittlere Gesamthöhen des Sortiments „Pluggenpflanzen“ vergleichend zur Baumschulware von *Betula pendula*.

Dabei lag die Standardabweichung 21 cm ober- bzw. unterhalb des Mittelwerts auf dem begrüntem Flankenteil, jeweils 13 cm auf dem unbegrüntem. Die Vorbegrünte scheint auf das Wachstum einen entscheidenden positiven Einfluss zu haben, zumal beide Flächen nicht gedüngt wurden. Fast auf ähnlichem Niveau lagen die Mittelwerte am Westhang, jedoch deutlich niedriger im Plateaubereich, wo Austriebe an der Basis oder in der Mitte des Sprosses die Gesamthöhe nach unten beeinflussten. Die Exemplare auf der Südseite entwickelten letztendlich zwar Höhen von über 130 cm, jedoch ist der Mittelwert aufgrund der wenigen vitalen Exemplare nicht statistisch abzuschätzen.

Die als Sondersortiment gepflanzten Pluggenpflanzen besaßen eine Ausgangshöhe bei Pflanzung zwischen 80 und 100 cm. Nach drei Vegetationsperioden lag im Jahr 2000 die durchschnittlich erreichte Höhe bei 105 cm und damit nur unwesentlich höher als zur Pflanzzeit (s. Abb. VIII/22). Tatsächliche Maximalwerte zwischen 150 und 175 cm Höhe entwickelten die wüchsigsten Exemplare. – Die wurzelnackte Baumschulware lag mit durchschnittlich 111 cm Höhe noch geringfügig über den Pluggenpflanzen. Die am besten entwickelten Vertreter dieses Sortiments lagen im selben Wertebereich wie die Pluggenpflanzen.

Bei der Baumart *Pinus sylvestris* konnten neben den Gesamthöhen auch die jährlichen Zuwächse nach Pflanzung mit aufgenommen werden.

Die Exemplare der Baumschulware wuchsen auf dem begrünten Nordhang in den drei untersuchten Vegetationsperioden am besten und entwickelten aus der anfänglichen Größenklasse, 15 bis 25 cm, durchschnittliche Höhen von 47 cm (s. Abb. VIII/23). Wie bei *Betula pendula* war das Höhenwachstum auf dem Plateaubereich am schlechtesten – durchschnittliche Gesamthöhe 31 cm.

Die jährlichen Zuwächse, die durchschnittlich zwischen 5 (Minimum im Jahr 1999, Plateau) und 17 cm (Maximum im Jahr 2000, Norden begrünt) erreichten, lagen in der ersten Vegetationsperiode in der Regel durchschnittlich unter 10 cm. Im Jahr 1999 zeigte sich in der Höhenzuwachsleistung eine fallende Tendenz, was durch den Verpflanzungsschock ausgelöst wurde. Bereits ein Jahr später war ein Aufwärtstrend festzustellen: Das Höhenwachstum 2000 war deutlich stärker als im Vorjahr, z. T. über 100 %, ausgeprägt.

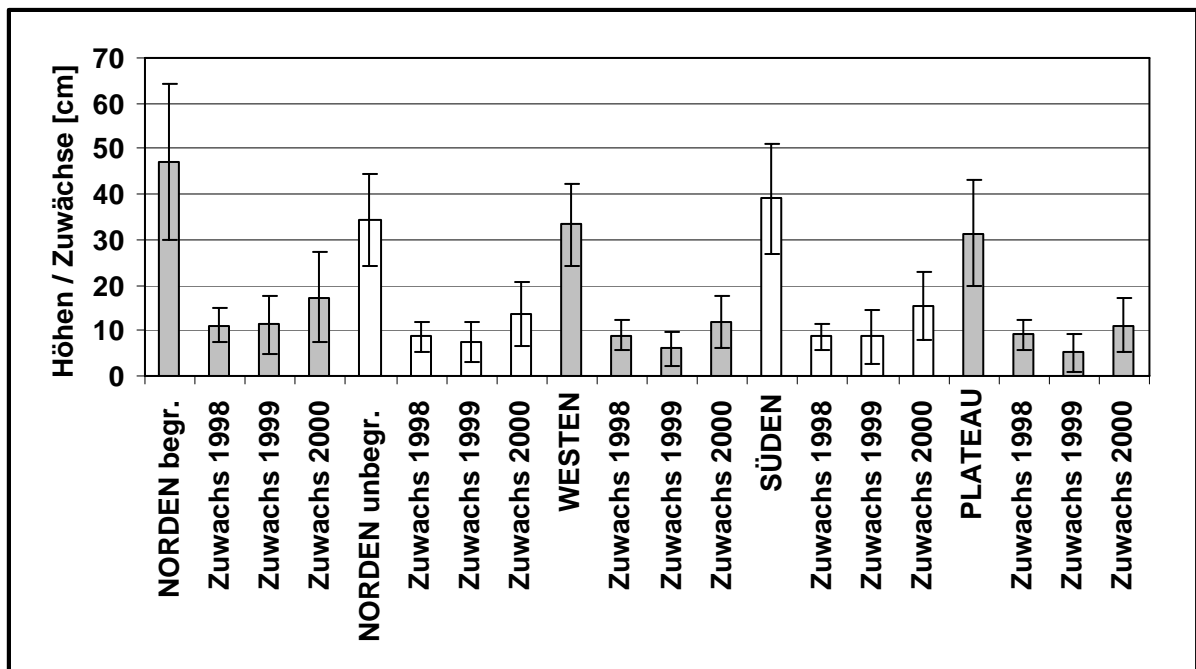


Abb. VIII/23: Durchschnittliche Gesamthöhen sowie jährliche Zuwächse bei *Pinus sylvestris* (Baumschulware).

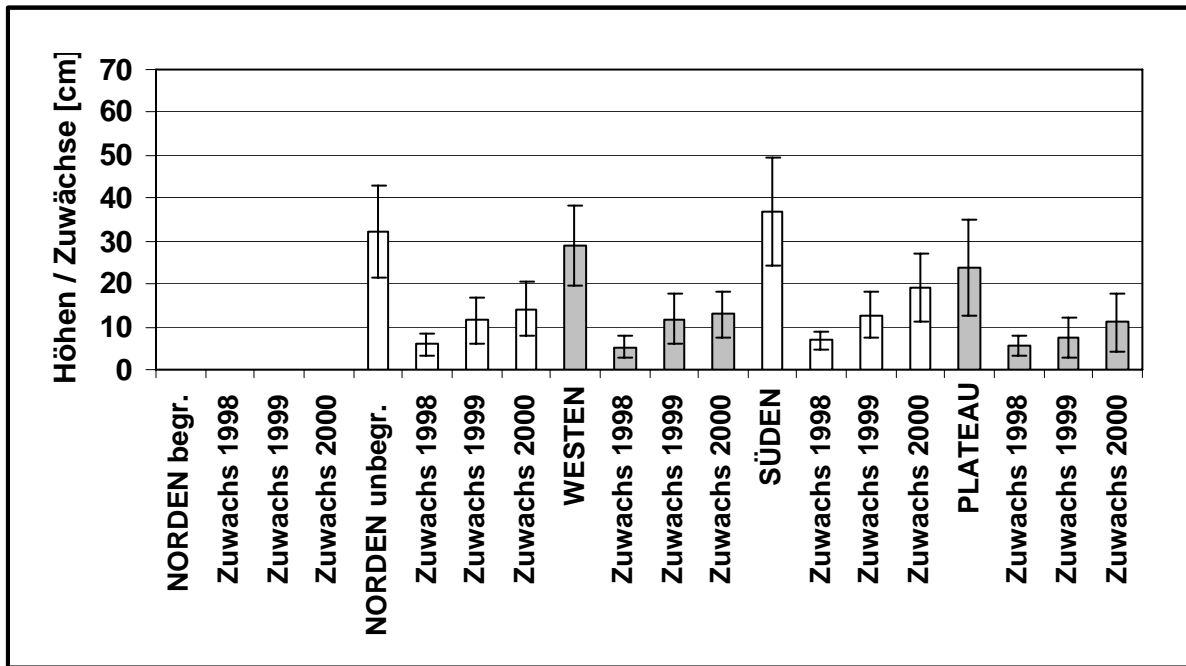


Abb. VIII/24: Durchschnittliche Gesamthöhen sowie jährliche Zuwächse bei *Pinus sylvestris* (Eigenanzucht).

Die aus Eigenanzucht stammenden Pflanzen von *Pinus sylvestris* hatten bis zur Pflanzung auf der Halde erst Höhen von 5-10 cm entwickelt; nicht bepflanzt wurde der vorbegrünte Bereich auf der Nordflanke.

Nach der dritten Vegetationsperiode haben die Messungen der Gesamthöhen gezeigt (s. Abb. VIII/24), dass auf der Südexposition die Gehölze durchschnittlich 37 cm hoch waren und damit auch die höchsten Jahreszuwächse dieses Sortiments erreicht wurden. Auf ein durchschnittliches Niveau zwischen 29 und 32 cm wuchsen die Individuen auf der Nord- bzw. Westflanke; folgerichtig waren die durchschnittlichen Jahreszuwächse geringer als am Südhang. Die Exemplare des Plateaubereichs hatten insgesamt die niedrigsten Zuwächse; die durchschnittlichen Gesamthöhen lagen bei 24 cm.

Auffälligerweise wurde bei diesem aus Eigenanzucht stammenden Pflanzmaterial kein Verpflanzungsschock, der sich beim Baumschulsortiment in der zweiten Vegetationsperiode durch einen geringeren Jahreszuwachs im Vergleich zum Jahr der Pflanzung äußerte, festgestellt. Kontinuierlich steigerte sich der durchschnittliche Jahreszuwachs an allen bepflanzten Expositionen.

Bei der ausläuferbildenden Baumart *Populus tremula* wurden die höchsten durchschnittlichen Gesamthöhen mit knapp 82 cm auf dem vorbegrünten Nordhang gemessen (s. Abb. VIII/25). Allein 20 Exemplare entwickelten Höhen von über 100 cm, das größte Exemplar maß 154 cm. – Deutlich schlechter und im niedrigsten Wertebereich lagen die durchschnittlichen Gesamthöhen am unbegrünten Nordhang (57 cm). Auf den anderen Expositionen wuchsen die Individuen bis zu einer durchschnittlichen Höhe zwischen 72 und 78 cm; die Plateaulage hatte im Gegensatz zu den anderen Baumarten

ten keinen negativen Einfluss auf das Höhenwachstum, wo 17 Exemplare Höhen von mehr als 100 cm erreichten.

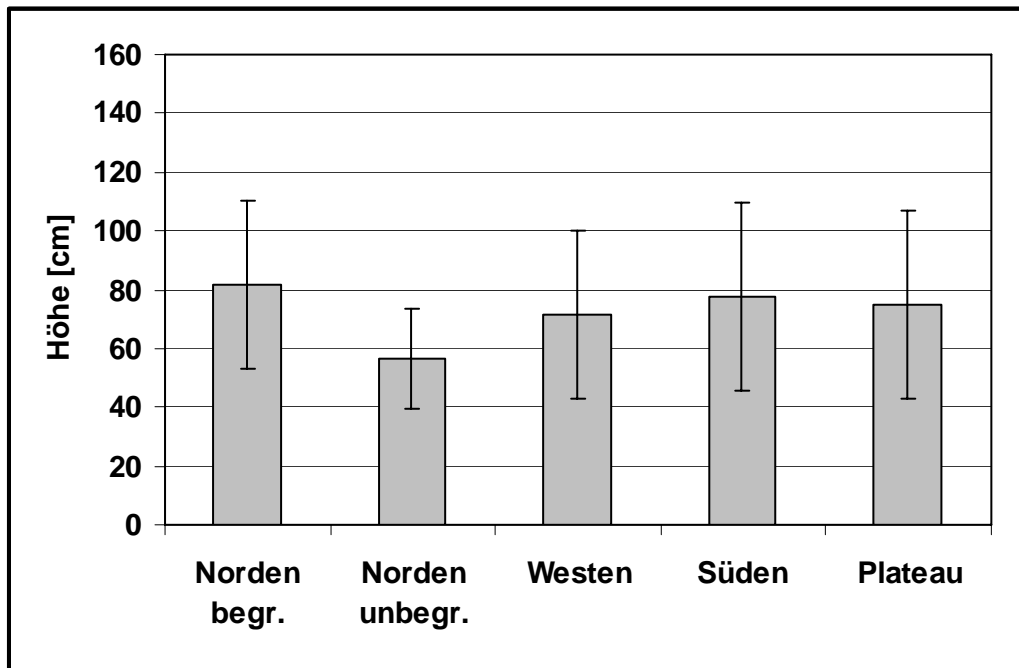


Abb. VIII/25: Durchschnittliche Gesamthöhen von *Populus tremula* nach drei Vegetationsperioden.

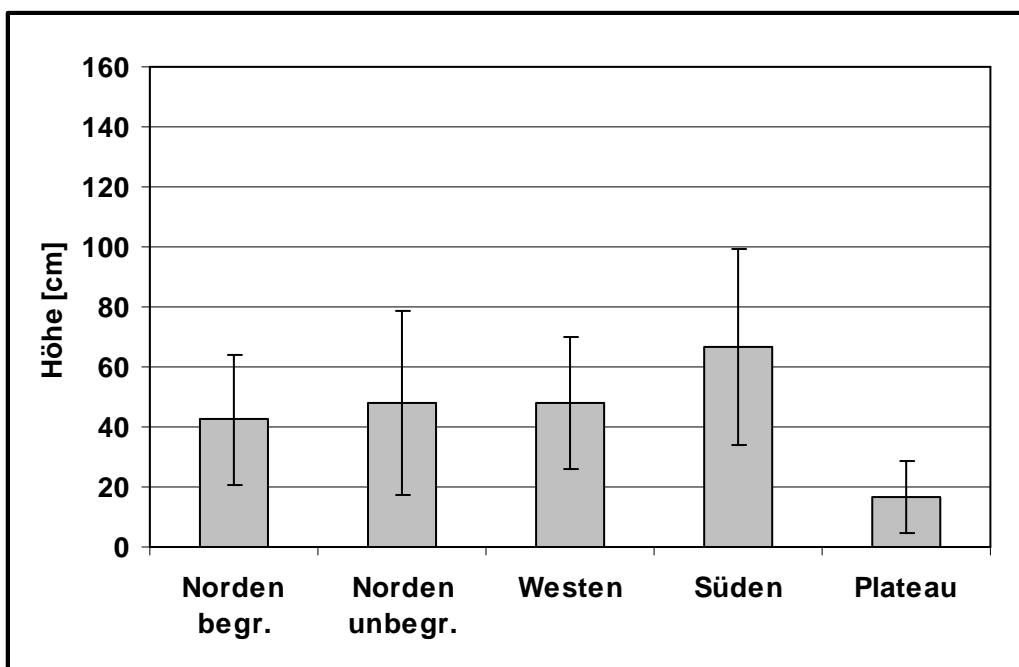


Abb. VIII/26: Durchschnittliche Gesamthöhen von *Salix caprea* nach drei Vegetationsperioden.

Bei der Baumart *Salix caprea* entwickelten sich die Individuen (s. Abb. VIII/26) von einer Ausgangshöhe bei Pflanzung zwischen 30 und 50 cm auf ein Niveau durchschnitt-



licher Gesamthöhen im Jahr 2000 zwischen 16 und 66 cm. Mit Ausnahme von *Populus tremula*, die in Plateaulage hinsichtlich ihres Wachstums im Mittelfeld ihres Sortimentes lag, zeigte *Salix caprea* ein außerordentliches „Negativwachstum“. Zurücktrocknen des Sprosses bei gleichzeitigem Austrieb in Sprossmitte oder gar im Basisbereich prägten bei vielen Individuen die Wachstumsentwicklung dieser Art. – Die auf der Nordflanke gepflanzten Bäume waren auf dem unbegrünten Bereich den auf der begrünten Fläche hinsichtlich des Höhenwachstums leicht überlegen; dort erreichten sie durchschnittliche Höhen von 48 cm (unbegrünt) bzw. 43 cm (begrünt). Die auf der Westseite angepflanzten Exemplare entsprachen dem durchschnittlichen Wert der unbegrünten Nordflanke.

## **2.4 Diskussion**

In der Fragestellung um die **Baumartenwahl** bei der Rekultivierung bzw. Begrünung von Rückstandshalden der Kaliindustrie gibt es unterschiedliche argumentative Ansatzpunkte, die zunächst eine potenzielle Begrünbarkeit des Substrats voraussetzt, d. h. Formen der An- oder Überdeckung einer Halde mit anderen Materialien, wie PODLAČHA (1999) sie beispielsweise beschrieben hat, werden dabei außen vor gelassen.

- *Welche Gehölzarten können auf dem Substrat anwachsen und langfristig mit krautigen Arten eine stabile Vegetationsdecke sichern?*

Hier sind es in erster Linie die geologischen sowie substratphysikalischen und -chemischen Parameter, die ein gewisses Artenspektrum zulassen. Die regional klimatische Situation setzt Grenzen durch äußere Faktoren fest. – Auf das in Frage kommende Artenspektrum bezogen, bedeutet dies zumindest eine Toleranz der Standortfaktoren einer Spezies, bei einem Wachstum ohne explizite Mangelercheinungen, die ein Überleben von Individuen gewährleisten. Im Optimalbereich der Standortamplitude einer Art ist diese meist auch konkurrenzfähig (s. a. ELLENBERG, 1996).

- *Welche der Gehölzarten der potenziell natürlichen Vegetation mit regionalem bzw. lokalem Bezug gedeihen im Substrat?*

Das natürliche Artenspektrum einer Region wird in erster Linie von den geologischen und klimatischen Verhältnissen geprägt. Bedingt durch eingeschränkte Einwanderungsmöglichkeiten einer Art nach der letzten Eiszeit (BONN & POSCHLOD, 1998) oder Formen von intraspezifischer Konkurrenz können sich entsprechende Pflanzengesellschaften ausbilden.

- *Welche Gehölzarten siedeln bereits im zu begrünenden Substrat?*

Dieser Aspekt beleuchtet das vorhandene Artenspektrum auf einer Rekultivierungsfläche, sofern durch natürliche Sukzession Entwicklungen stattgefunden haben. Die eingewanderten Arten sind, je nach Ausbreitungsvermögen einer Spezies, in der näheren bzw. weiteren Umgebung nachweisbar. Sie spiegeln nicht unbedingt das Artenspektrum oder ein Teilspektrum der potenziell natürlichen Vegetation wider.

Bei den durch natürliche Sukzession auf der Halde III eingewanderten Arten handelt es sich in der Hauptsache um die Pionierbaumarten *Betula pendula*, *Pinus sylvestris*, *Populus tremula* und *Salix caprea*.

Der Verbreitungsschwerpunkt liegt eindeutig bei der Baumart *Betula pendula*. Die ebenfalls häufig vertretene Art *Pinus sylvestris* hat sich in Teilbereichen der Halde schon zu kräftigeren Exemplaren entwickeln können. Die erreichte Entwicklungsstufe der beiden zuletzt genannten Baumarten (angemessenes Höhen- und Durchmesserwachstum) zeugen von einer langfristigen Stabilität der Arten, die schon seit über 20 Jahren gegeben ist.

Die Pionierbaumart *Populus tremula*, die ebenfalls schon während der ersten Untersuchungen auf der Halde Anfang der 80er Jahre gesichtet wurde, hat sich, auch durch die sukzessionsunterstützende Anpflanzung zu dieser Zeit (s. SCHMEISKY et al., 1993), ziemlich stark verbreitet und besiedelt nunmehr große Teile des Nordhangs und der Plateaulagen. Auf den anderen Expositionen ist sie noch nicht so zahlreich anzutreffen, wenngleich sie sich in Ausbreitung – meistens durch Wurzelbrut – befindet. Somit kann auch dieser Spezies ein gewisses Maß an Stabilität zu geschrieben werden, obwohl nur wenige stärker dimensionierte Bäume (Stangenholz-Dimension) direkt auf dem Haldenkörper siedeln.

Als vierte Pionierbaumart ist *Salix caprea* eher vereinzelt auf der Halde anzutreffen; die stärkeren Exemplare weisen auf eine längere Besiedlung der Art auf der Halde hin. Eher wenige Jungpflanzen konnten im Rahmen der Untersuchung zur natürlichen Sukzession nachgewiesen werden. Die Fähigkeit der Art, sandartige Substrate zu besiedeln und sich dort zu etablieren, wurde u. a. auch von SCHMEISKY & HOFMANN (1997) beschrieben. HECKER (1985b) erwähnt ein gewisses Maß an Dauerfeuchtigkeit, welches der Standort von *Salix caprea* aufweisen sollte.

Diese vier Pionierbaumarten haben sich nicht nur über einen längeren Zeitraum, von 2 bis 3 Jahrzehnten, auf der Halde etablieren können, sondern sind auch ein Indiz für die Parameter „Kontinuität“ und „Stabilität“. Insofern liegt die Spezieswahl in erster Linie in der bereits stattgefundenen Besiedlung der Halde durch die vorgenannten Arten begründet. Zugleich zählen diese Pionierbaumarten zu den potenziell in der Region vorkommenden Baumarten, die zwar meistens nicht im Klimaxstadium einer Vegetationsentwicklung vorhanden sind, sich aber auf Waldflächen, auf denen die Klimaxwaldgesellschaft (meist aus *Fagus sylvatica* und *Quercus robur*) nach der Alterungsphase langsam zerfällt, in Form eines Pionierwaldes ansiedeln würden.

Die Verwendung der Baumarten *Picea abies* und *Quercus robur* ist anders zu bewerten: Die erste Spezies kann letztendlich als „nicht standortgerecht“ bezeichnet werden, da sie in der Regel frische Substrate bevorzugt. Trotzdem weist HECKER (1985a) auch auf die Ansiedlung dieser Art auf lockeren, steinig-sandigen und basenreichen Böden hin, womit Parallelen zur Substratart und dem Chemismus des Haldenmaterials hergeleitet werden können, nicht aber die Frage des Wasserhaushalts positiv zu beantworten ist. Den Ausschlag, sich für diese Art zu entscheiden, gab die bereits vorhandene Standortrepräsentanz von *Picea abies* sowie die Leistungsfähigkeit, durch die immergrüne Benadelung Niederschläge zurückhalten zu können und diese anschließend zu verdunsten (Interzeption), um hiermit eine Reduzierung des anfallenden Sickerwassers zu unterstützen. Über die Leistungsfähigkeit von immergrünen Nadelgehölzen, insbe-

sondere von *Picea abies*, im Bereich der Interzeption und Transpiration haben BAUMGARTNER (1965), BRECHTEL (1990) und MITSCHERLICH (1981) berichtet und sie als Art mit einer ausgesprochen hohen Evapotranspirationsleistung bewertet. Auch die Datensammlung vom DEUTSCHEN WETTERDIENST (1992) belegen diese Leistungsfähigkeit in Abhängigkeit der regionalen standörtlichen klimatischen Gegebenheiten.

*Quercus robur* ist eine Art, die in der unmittelbaren Umgebung im Waldbestand siedelt und sich von dort aus per Einbringung durch die Avi-Fauna auf der Halde eingefunden hat. RÖHRIG & BARTSCH (1992) haben die Toleranz der Baumart gegenüber Nährstoffarmut und trockenen Bedingungen von Böden beschrieben. Weiterhin könnte sie im Rahmen einer möglichen Klimaxwaldgesellschaft auf diesem Standort eine Rolle spielen

Nachfolgend wird auf die **Anwuchsraten** und **Wuchsleistungen** der verwendeten Baumarten eingegangen.

Auf den Vorteil, kleine Sortimenten für Pflanzungen zu verwenden, weisen SCHMIDT-VOGT (1965, 1966), GÜRTH (1970) als auch ABETZ (1969) und ABETZ & PRANGE (1975) hin; dagegen stellen LÜPKE & RÖHRIG (1970) in einem Versuch mit Großpflanzen die Nachteile solcher Sortimenten fest.

Wie die Anwuchsraten von ***Betula pendula*** gezeigt haben, hat sich diese Art auf den Nord- und Westflanken der Halde seit Pflanzung gut etablieren können (s. Abb. VIII/27).



Abb. VIII/27: *Betula pendula* – Bestand aus Pflanzung an der Westflanke der Halde.

Dabei gab es keine nennenswerten Unterschiede zwischen den Anpflanzungen vorbe-grünter (durch Gräseransaat) oder unbegrünter Flächen. Mit Anwuchsraten zwischen 65 und 82 % hat die Baumart auf diesen Flanken das Begrünungsziel erreicht. Selbst auf dem Plateau sind mit knapp 40 % angegangenen Bäumen noch genügend Exemplare vorhanden. Die hohen Ausfälle auf der Südseite konnten keinesfalls befriedigen. Die standörtlichen Gegebenheiten sind sehr extrem, was für den ohnehin nicht leichten Anwuchs dieser Art zusätzlich problematisch ist.

In nahezu allen Fällen haben sich die Bestände stabilisiert. Dass die Standortverhältnisse auch für diese Art zeitweise extrem sind, zeigte sich in der frühen Fruktifikation, die sich im vierten Standjahr einstellte – üblicherweise tritt die Mannbarkeit von *Betula* im Bestand erst ab Alter 20 ein, im Freiland zwischen von 10 bis 12 Jahren (INSTITUT FÜR WALDBAU, 1987). – Die Vorbegrünung war für das Höhenwachstum von *Betula pendula* förderlich.

Im Vergleich zwischen dem aus generativer Verjüngung von lokal gewonnenem Vermehrungsgut hervorgegangenen Pflanzmaterial und handelsüblicher Baumschulware lag das Sortiment der Pluggenpflanzen hinsichtlich Anwuchsraten vor dem der Baumschulware. Ballierte Pflanzen dieser Größe sind den wurzelnackten, die keinerlei Reserven besitzen, überlegen. Dafür haben mittlerweile die Pflanzen der gewöhnlichen Baumschulware das Sondersortiment überwachsen.

Auch für die Baumart ***Pinus sylvestris*** ist die Vorbegrünung der Nordflanke von Vorteil gewesen, sowohl was den Anwuchs als auch das Höhenwachstum angeht. Bis auf die wenigen vitalen Exemplare am Südhang sind die anderen Flächen ausreichend mit Bäumen bestockt, womit auch die künstliche Einbringung von Pflanzen dieser Art auf die Halde als erfolgreich zu bezeichnen ist. Auf die enorme Standortamplitude von *Pinus sylvestris* gehen das INSTITUT FÜR WALDBAU (1987) und ELLENBERG (1996) besonders ein. – Der Verpflanzungsschock bei der Baumschulware hat sich in der zweiten Vegetationsperiode durch abnehmenden jährlichen Zuwachs geäußert, das Höhenwachstum konnte sich aber im Folgejahr wieder erholen.

Im Vergleich dazu war dieses Phänomen bei den Pflanzen aus Eigenanzucht nicht zu erkennen. Allgemein waren bei diesem Sortiment die Ausfälle am geringsten, auch in Bezug auf die anderen Pflanzungen im Jahr 1998. Die Anzucht im Haldensubstrat mit einer Beimischung von Torfkultursubstrat hat sich bewährt; gegenwärtig haben einige Individuen aus Eigenanzucht bereits einen Vorsprung im Höhenwachstum.

Bei ***Populus tremula*** waren besonders die Anwuchsergebnisse am Westhang mit über 60 % überzeugend, an der Nordflanke sowie auf dem Plateau mit 20 bis fast 30 % weniger Anwuchserfolg noch zufriedenstellend. Noch akzeptabel waren die Anwuchsraten auf der Südseite. Sie stabilisierten sich in den fünf Untersuchungsjahren bis auf 18 %, was im Vergleich zu den meisten anderen Sortimenten auf einem höheren Niveau liegt. Auch für die Höhenentwicklung dieser Baumart war die Vorbegrünung von Vorteil. – SCHMEISKY et al. (1993) berichten über das gute Anwachsen von Wurzelschösslingen dieser Baumart im Haldensubstrat. – Die Fähigkeit, Wurzelbrut zu bilden, konnte bereits bei einigen im Jahr 1998 gepflanzten Individuen beobachtet werden, was auch

SCHMEISKY bereits innerhalb von 5 Untersuchungsjahren belegt hatte. – Das INSTITUT FÜR WALDBAU (1987) weist besonders auf das flache Wurzelwerk hin, welches bis 20 m lange Wurzeln bildet; durch Wurzelbrut kann von einem Mutterbaum eine Fläche von ca. 1.000 m<sup>2</sup> besiedelt werden. – BØRSET (1962) weist in seinen Ausführungen über *Populus tremula* auf die Bedeutung dieser Baumart im Vorwaldstadium hin.

Ziemlich problematisch war das Anwuchsverhalten von ***Salix caprea***: Auch wenn auf drei von fünf Expositionen Anwuchsraten zwischen 30 und 40 % noch für eine lockere Form der Begrünung ausreichen dürften, waren doch die Ausfälle an der Südflanke sehr hoch. Die verbliebene Anwuchsrate von unter 5 % auf dem Plateau enttäuschte besonders. – Ähnlich verhält es sich mit dem Höhenwachstum, bei dem bis auf die Südexposition kaum nennenswerte Zuwächse zu verzeichnen waren. Austriebe an der Basis oder im mittleren Sprossbereich zeugen von einer baumartbedingten Anwuchsproblematik, was durch den schlechten Wasserhaushalt bzw. der Wasserversorgung begründbar ist, da beispielsweise auch HECKER (1985b) auf den Wasserbedarf von *Salix caprea* eingeht.

Die als ausgesprochene Rohbodenbesiedlerin bekannte *Alnus incana* ist zwar eine Art, die auch auf lockeren, sandigen und trockenen Böden gedeiht und basische Substrate bevorzugt (INSTITUT FÜR WALDBAU, 1987), sie hatte jedoch mit den standörtlichen Gegebenheiten der Halde relativ große Probleme.

Die beiden Baumarten *Picea abies* und *Quercus robur*, die in Form von Pflanzen aus Eigenanzucht mit eingebracht wurden, haben trotz der extremen Standortverhältnisse auf der Halde an einigen Expositionen gute Anwuchsraten von über 75 bzw. 60 % erreicht. Auch wenn die Höhenwuchsleistung dieser Arten zunächst nur gering war, so scheint doch zumindest eine Standorttoleranz auf niedrigem Niveau gegeben zu sein. Inwieweit sich die Pflanzen auf Dauer auf dem Standort stabilisieren können, wird in Zukunft zu untersuchen sein. Eine steigende Humusanreicherung, verbunden mit Umsetzungs- und Mineralisierungsprozessen, wird sicherlich das Gedeihen der beiden Arten in einigen Bereichen der Halde unterstützen.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass sich die Baumarten *Betula pendula* und *Pinus sylvestris* besonders für die Begrünung des Haldenkörpers durch Pflanzung eignen. *Populus tremula* wirkt durch die Ausläufer- und intensive Wurzelbildung auf die Haldenoberfläche stabilisierend, wie die jungen Bäume bereits gezeigt haben. Dagegen sind die Pflanzungen von *Salix caprea* als „nicht überzeugend“ einzustufen; sie wird auch bei der zukünftigen Begrünung der Halde nur eine untergeordnete Rolle spielen. Für *Picea abies* und *Quercus robur* scheint eine Ansiedlung trotz z. T. guter Anwuchsraten, noch etwas verfrüht; bessere Nährstoffverhältnisse (Mineralisierung, Düngung) würden das Wachstum dieser Arten, zumindest auf Teilflächen, unterstützen.

Die Vorteile der Eigenanzucht von Pflanzgut im Haldensubstrat unter Zugabe von Bodenhilfsstoffen haben sich in den Anwuchsraten gezeigt, die deutlich über den anderen lagen.

## **Kap. IX: Untersuchungen zur natürlichen Sukzession**

### **1. Frühere Untersuchungen zur Sukzession**

Als vor genau 20 Jahren die ersten Begrünungsversuche des Fachgebietes auf der Halde III am Standort Wintershall erfolgten, wuchsen bereits einige wenige Individuen der vier Pionierbaumarten *Betula pendula*, *Pinus sylvestris*, *Populus tremula* und *Salix caprea* sowie ein Individuum von *Picea abies* auf der nach Westen gelegenen Plateaulage bzw. im Bereich der Nord- und ganz vereinzelt der Südflanke. Da diese Einzelexemplare bereits seit mehreren Jahren dort wuchsen und *Betula pendula* beispielsweise Höhen von 2-3 m erreicht hatte (s. SCHMEISKY et al., 1993), kann letztendlich von einem Alter der dort am längsten stehenden Gehölze von ca. 25 Jahren ausgegangen werden. – Auf den damals 17 angelegten Versuchsparzellen konnten im Rahmen von Erhebungen zur Vegetation 7 Gehölz- und 45 krautige Arten verzeichnet werden.

LÜCKE (1997) verweist in seiner Arbeit bereits auf 11 verschiedene Gehölzarten. Seine Aufnahmen belegen eine Gesamtzahl an Gehölzen von 2282 Individuen, die sich auf die einzelnen Gattungen wie folgt verteilen (s. Abb. IX/1):

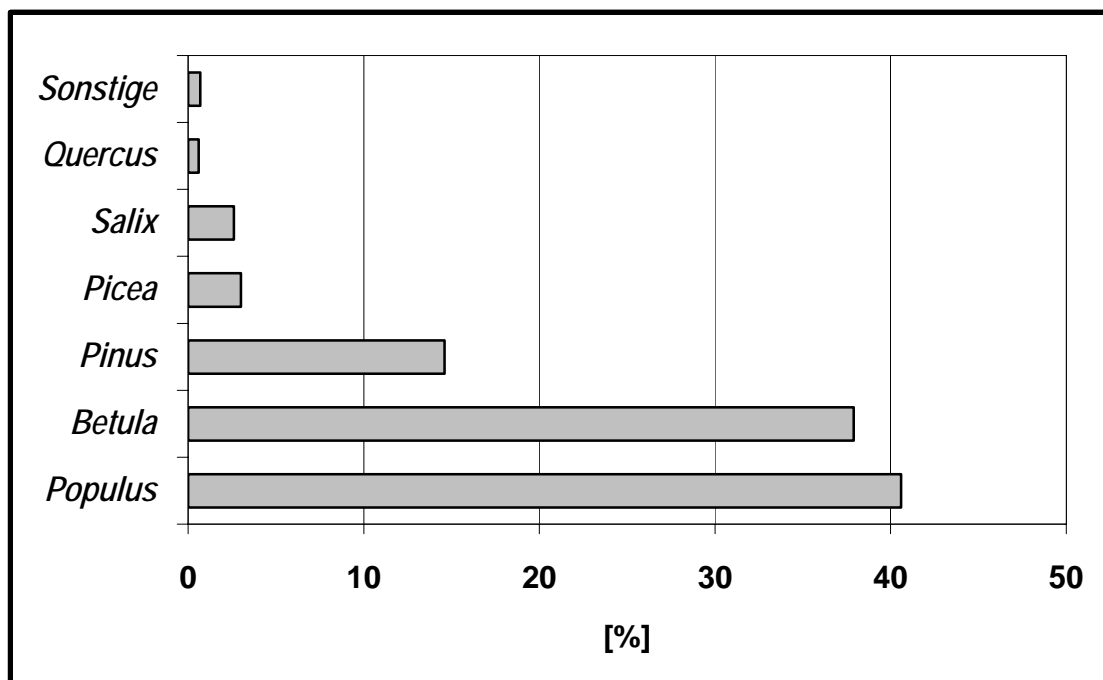


Abb. IX/1: Prozentuale Anteile der vertretenen Gattungen bezogen auf die Gesamtzahl der auf der Halde III siedelnden Gehölze (LÜCKE, 1997).

Neben *Populus tremula* (> 40 %), die durch ihr Verbreitungsvermögen mittels Wurzelbrut die meisten Exemplare auf sich vereinen konnte, war bereits *Betula pendula* eine sehr häufig vertretene Art (ca. 38 %), dessen Exemplare aus generativer Vermehrung hervorgegangen sind. Die Gattung *Pinus* erreichte bei dieser Untersuchung einen An-

teil von knapp 15 %, während *Picea abies* zu dieser Zeit mit 3 bis 4 % häufiger als *Salix* vertreten war.

## **2. Zielsetzung der Sukzessionsuntersuchungen in dieser Arbeit**

Da die eigentlichen Begrünungsmaßnahmen der Halde III und ihre Untersuchungen im Vordergrund dieser Arbeit stehen, nehmen die Untersuchungen zur Sukzession einen nachgeordneten Stellenwert ein.

Die Schwerpunkte dieser Untersuchungen lassen sich wie folgt charakterisieren:

- *Erfassung junger Gehölzsämlinge auf festgelegten Transekten*
- *Erfassung der sich wandelnden Artenzusammensetzung während des Untersuchungszeitraums ohne Einsatz von düngenden Substraten auf dem gesamten Haldenkörper*
- *Anlage von Versuchsflächen mit Kompostüberdeckung zur möglichen Verbesserung der Keimbedingungen von Samen*
- *Überprüfung des keimfähigen Diasporenvorrates im Haldenmaterial*
- *Wachstumskundliche Parameter der Gehölze älterer Sukzessionsphasen*

Nach Darstellung der einzelnen Untersuchungsteile, sowohl hinsichtlich der Durchführung als auch der Ergebnisse, erfolgt eine abschließende Diskussion mit dem Vergleich früherer Erhebungen.

## **3. Darstellung des Untersuchungsrahmens und der Ergebnisse**

Um die inhaltlich, z. T. sehr verschiedenen Untersuchungsansätze über sich entwickelnde Sukzession bzw. die bereits bisher etablierte, ältere Gehölzvegetation näher zu betrachten, werden im Folgenden die vorgenannten Untersuchungsbereiche voneinander getrennt dargestellt.

### **3.1. Untersuchungen zur Artenzusammensetzung auf Transekten**

Nachstehend wird über die Untersuchungen berichtet, die den Entwicklungsgang der natürlichen Sukzession, auch unter Einsatz düngender Hilfsstoffe, dokumentieren soll.

#### **3.1.1 Untersuchungsspezifische Methodik**

Für die Erfassung des Arteninventars auf festgelegten Teilflächen wurden zunächst sechs Transekte mit einer Breite von jeweils 4 m in geeigneten Expositionen ausgewiesen. Die Transektflächen waren uneinheitlich groß bemessen, da die Flanken der

berücksichtigten Expositionen unterschiedliche Längen besaßen, eine Unterscheidung zwischen Unter-, Mittel- und Oberhangbereich sinnvoll erschien oder nur die zur Verfügung stehende Fläche relativ homogen, was die bisherige Besiedlung als auch die Substratbeschaffenheit hinsichtlich Lockerschichtauflage angeht, gestaltet war.

Im Einzelnen sind die bearbeiteten Transekte wie folgt kurz charakterisierbar:

- Transekt 1: Westflanke, 33 m Länge, unbeschirmt
- Transekt 2: Plateaulage, 33 m Länge, unbeschirmt
- Transekt 3: Plateaulage, 22 m Länge, beschirmt (hauptsächl. *Betula pendula*)
- Transekt 4: Nordflanke, 27 m Länge, unbeschirmt
- Transekt 5: Süd-Westflanke, 32 m Länge, unbeschirmt, stellenweise mit *Calamagrostis epigejos*
- Transekt 6: Südflanke, 43 m Länge, nahezu unbeschirmt

Die erste Erfassung der jungen Sämlinge erfolgte nach dreieinhalb Jahren (4 Vegetationsperioden), die zweite nach fünf Jahren (2 Vegetationsperioden). Mit aufgenommen wurden nur die seit Untersuchungsbeginn bzw. die seit der vorhergehenden Aufnahme aufgelaufenen Sämlinge, so dass die Sukzessionsentwicklung während der letzten fünf Jahre (6 Vegetationsperioden) transparent wird.

### 3.1.2 Untersuchungsergebnisse

Auf den ausgewiesenen Transekten haben sich im Laufe der vergangenen 6 Vegetationsperioden insgesamt 9 Baumarten in Form von Sämlingen im Rahmen der natürlichen Sukzession angesiedelt (s. Tab. IX/1).

Von den 4 Pionierbaumarten besitzt *Betula pendula* mit 59,7 % den Hauptanteil an der Gesamtzahl der nachgewiesenen Sämlinge. Besonders häufig hat sie sich an den Unterhängen der West- (35), Südwest- (34) und Südexposition (39) generativ vermehren können, die meisten Sämlinge (42) sind jedoch auf dem Plateau unter Beschirmung (durch ältere Bäume dieser Art) gezählt worden. Mit einem **Sämlingsindex** von 0,477 ( $0,5 \text{ Sämlinge/m}^2$ ) ist hier durchschnittlich ein Sämling auf  $2 \text{ m}^2$  anzutreffen; auf dem unbeschirmten Transekt (2) des Plateaus wird ein Index von nur 0,083 erreicht. – Im Bereich der Mittel- und Unterhänge der genannten Expositionen nimmt die Anzahl der sich dort eingefundenen Sämlinge (0-8 Individuen) rapide ab. – Relativ wenige *Betula*-Sämlinge (13) ließen sich auch auf dem Transekt der Nordseite nachweisen.

Die Art *Pinus sylvestris* hat sich auf den ausgewiesenen Transekten am zweithäufigsten (22,2 %) in Form von Sämlingen etablieren können. Am häufigsten ist Sämlingsanflug auf der Südwest-Flanke (26) festgestellt worden: Der Sämlingsindex erreicht mit 0,422 den höchsten Wert am Unterhang, durchschnittlich liegt er in diesem Transekt bei 0,203. – Auf dem Plateau im beschirmten Transekt ist diese Art ebenfalls noch relativ häufig in Form von Sämlingen angetroffen worden: Mit 16 Individuen und einem Sämlingsindex von 0,182 liegt dieser Standort an zweiter Stelle der generativen Ausbreitung. – Die Transekte der West- und Südexposition liegen mit einer Sämlingszahl



von je 11 eher im Mittelfeld, dagegen haben sich auf dem im Norden befindlichen Transekt sowie auf dem unbeschränkten Plateau-Transekt nur sehr wenige Individuen ansiedeln können.

Tab. IX/1: Jungpflanzen der in den Transekten siedelnden Baumarten (u. = unbeschränkt, b = beschränkt; *Bet. pend.* = *Betula pendula*, *Pin. syl.* = *Pinus sylvestris*, *Pop. trem.* = *Populus tremula*, *Sal. cap.* = *Salix caprea*, *Acer pseud.* = *Acer pseudoplatanus*, *Quer.* = *Quercus*, *Fag. syl.* = *Fagus sylvatica*)

Tran-sekt	Exposition	Hang-bereich	<i>Bet. pend.</i>	<i>Pin. syl.</i>	<i>Pop. trem.</i>	<i>Sal. cap.</i>	<i>Picea abies</i>	<i>Acer pseu.</i>	<i>Quer. robur</i>	<i>Quer. rubra</i>	<i>Fag. syl.</i>
1	West u.	Unter-	35	7	-	1	1	-	-	1	-
		Mittel-	1	2	-	-	-	-	-	-	-
		Ober-	3	2	-	-	2	-	-	-	-
		<b>Sa.</b>	<b>39</b>	<b>11</b>	-	<b>1</b>	<b>3</b>	-	-	<b>1</b>	-
2	Plateau u.		<b>11</b>	<b>2</b>	<b>19</b>	-	-	-	<b>2</b>	-	-
3	Plateau b.		<b>42</b>	<b>16</b>	-	<b>1</b>	<b>1</b>	-	-	-	-
4	Nord u.	Unter-	7	-	-	-	-	-	-	-	-
		Mittel-	4	-	4	-	-	-	-	-	-
		Ober-	2	4	1	-	-	-	-	-	-
		<b>Sa.</b>	<b>13</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	-	-	-	-	-	-
5	Südwest u.	Unter-	34	18	1	8	3	-	1	-	-
		Mittel-	8	6	-	-	3	2	-	-	-
		Ober-	-	2	-	-	-	-	-	-	-
		<b>Sa.</b>	<b>42</b>	<b>26</b>	<b>1</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	-	-
6	Süd u.	Unter-	39	4	-	2	-	-	-	-	1
		Mittel-	2	5	-	-	1	-	-	-	-
		Ober-	-	2	-	-	1	1	-	-	-
		<b>Sa.</b>	<b>41</b>	<b>11</b>	-	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	-	-	<b>1</b>
Ges.-Sa. (n=315)			188	70	25	12	12	3	3	1	1
in Prozent [%]			59,7	22,2	7,9	3,8	3,8	1,0	1,0	0,3	0,3

Sämlinge von *Populus tremula* sind verhältnismäßig selten nachgewiesen worden, da sich diese Art überwiegend durch Ausläufer (vegetativ) vermehrt. Insgesamt 25 Jungpflanzen (7,9 %) haben sich während der vergangenen Vegetationsperioden innerhalb der Transekte einfinden können. Sehr häufig ist die Fähigkeit der Ausläuferbildung auf

dem unbeschränkten Transekt des Plateaus festgestellt worden: Mit insgesamt 19 Individuen wird hier der höchste Index (0,144) dieser Art erreicht. – Von den wenigen Exemplaren auf der Nord- bzw. Südwest-Exposition zählen nur Einzelne zu der Kategorie der Sämlinge, da entsprechende „Mutterpflanzen“ nicht vorhanden gewesen sind. – Auf den anderen Expositionen hat sich im Untersuchungszeitraum keine Verbreitung dieser Art eingestellt.

Als vierte Pionierbaumart ist *Salix caprea* als Jungpflanze auf den Transekten deutlich geringer verbreitet (3,8 %) als die zuvor beschriebenen Arten. Mit 8 Individuen ist sie an der Südwest-, mit 2 bzw. 1 Exemplar an der Süd- bzw. West-Flanke vertreten; in allen Fällen liegt der Verbreitungsschwerpunkt am Unterhang. Den höchsten Sämlingsindex erreicht *Salix* am Unterhang der Südwest-Exposition mit 0,188, bezogen auf das gesamte Transekt reduziert sich der Index auf 0,063. – Lediglich ein Sämling ist im beschränkten Plateaubereich nachgewiesen worden. Dagegen siedeln im Nord- und auf dem unbeschränkten Plateau-Transekt keine Vertreter dieser Art.

Mit ebenfalls 12 Sämlingen (3,8 %) ist die eher feuchtere Standorte liebende *Picea abies* in den Transekten gefunden worden. Auch bei dieser Art liegt der Verbreitungsschwerpunkt (6 Sämlinge) im Transekt der Südwest-Flanke. Vereinzelt ist Anflug in der West- bzw. Süd-Exposition sowie im Bereich des beschränkten Plateau-Transekts festgestellt worden. Auffälligerweise siedeln die Sämlinge dieser Art nicht schwerpunktmäßig nur am Unterhang, sondern sind z. T. auch in den Mittel- bzw. Oberhangbereichen zu finden. – Auf der Nord-Exposition sind im Transekt keine Jungfichten nachgewiesen worden.

Die anspruchsvolleren Laubbaumarten wie *Acer pseudoplatanus*, *Quercus robur* bzw. *rubra* sowie *Fagus sylvatica* nehmen mit jeweils maximal 1 % - Anteil nur eine untergeordnete Stellung ein. Dabei wurde *Acer pseudoplatanus* in der Südwest- bzw. Süd-Exposition im Mittel- und Oberhangbereich gefunden, *Quercus robur* neben der Südwest-Exposition auch im Transekt des unbeschränkten Plateaubereichs sowie *Q. rubra* am Unterhang der Westexposition. – Ein Sämling der Baumart *Fagus sylvatica* ist im Unterhangbereich des Süd-Transekts nachgewiesen worden.

Werden die Jungpflanzenzahlen innerhalb der einzelnen Transekte nach Unter-, Mittel- und Oberhang getrennt betrachtet, so liegen die Werte der Unterhangbereiche in der Regel deutlich höher als am Mittel- und Oberhang (s. Abb. IX/2). Nur im Nord-Transekt ist die Anzahl der Sämlinge in den einzelnen Hangbereichen ziemlich einheitlich.

Den höchsten Sämlingsindex weisen die Unterhänge der West- und Südwest-Exposition auf: Hier haben sich durchschnittlich eine bzw. 1,5 Pflanzen pro Quadratmeter im Laufe des Untersuchungszeitraumes angesiedelt. Etwas darunter liegt der Index des Süd-Unterhangbereiches (0,802). – Die darüber befindlichen Mittel- und Oberhänge sind dagegen recht mager mit Jungpflanzen ausgestattet. Ihre Indexzahlen bewegen sich zwischen 0,068 und 0,222; Ausnahme bildet nur der Mittelhangbereich der Südwest-Exposition mit einem Wert von 0,445.

Bei der Betrachtung der Plateautransekte fällt vor allem die deutliche Überlegenheit des beschränkten Bereichs gegenüber dem unbeschränkten auf. Mehr als die 2,5-fache Sämlingsanzahl im Gegensatz zur Freifläche (0,258) stehen unter Beschirmung

(0,682). Dieser Transekt-Gesamtsämlingsindex ist der höchste von allen untersuchten Expositionen; der Wert des Transekts der Südwest-Exposition liegt mit 0,672 knapp darunter.

Ergänzend ist zu bemerken, dass die Jungpflanzen der angetroffenen Baumarten auch bei einem höheren Indexwert eher ungleichmäßig eine bestimmte Fläche besiedeln. Z. T. kommen diese in Kleingruppen vor oder stocken dort einzeln. In ausgebildeten Mulden mit stellenweise abgelagertem Streumaterial sind in der Regel höhere Individuenzahlen angetroffen worden als auf überhöhten, nicht mit Biomasse bedeckten oder davon unbeeinflussten Haldenoberflächen.

Tab. IX/2: Anzahl der in den Transekten (u. = unbeschirmt, b = beschirmt) siedelnden Jungpflanzen sowie der errechnete Sämlingsindex (Sämlinge/m<sup>2</sup>).

Transekt	Exposition	Hangbereich	Aufnahme 1 (2000)	Aufnahme 2 (2002)	Gesamtzahl	Sämlingsindex (n/m <sup>2</sup> )
1	West u.	Unter-	30	15	45	1,022
		Mittel-	2	1	3	0,068
		Ober-	4	3	7	0,159
			<b>36</b>	<b>19</b>	<b>55</b>	<b>0,417</b>
2	Plateau u.		<b>24</b>	<b>10</b>	<b>34</b>	<b>0,258</b>
3	Plateau b.		<b>36</b>	<b>24</b>	<b>60</b>	<b>0,682</b>
4	Nord u.	Unter-	6	1	7	0,194
		Mittel-	7	1	8	0,222
		Ober-	3	4	7	0,194
			<b>16</b>	<b>6</b>	<b>22</b>	<b>0,204</b>
5	Südwest u.	Unter-	44	21	65	1,523
		Mittel-	5	14	19	0,445
		Ober-	-	2	2	0,094
			<b>49</b>	<b>37</b>	<b>86</b>	<b>0,672</b>
6	Süd u.	Unter-	37	9	46	0,802
		Mittel-	7	1	8	0,140
		Ober-	1	3	4	0,070
			<b>45</b>	<b>13</b>	<b>58</b>	<b>0,337</b>

Die erreichten Wuchshöhen der Sämlinge waren zwar recht unterschiedlich, insgesamt betrachtet, jedoch auf einem sehr niedrigen Niveau: Einjährige Sämlinge entwickelten

ein Höhenwachstum von z. T. nur wenigen Millimetern, selbst mehrjährige von nur einigen Zentimetern.

### **3.2 Artenzusammensetzung an den verschiedenen Halden-Expositionen**

Seit Beginn der Begrünungsmaßnahmen im Frühjahr 1998 auf Teilflächen der Halde III konnte sich auch der Entwicklungsgang der natürlichen Sukzession auf dem Haldenkörper ungestört fortsetzen, da eine Verbissbelastung durch Rehwild nicht mehr gegeben war.

#### **3.2.1 Untersuchungsspezifische Methodik**

Bis zum Ende der Vegetationsperiode 2001 – nach der großflächigen Ausbringung von Kompost im Frühjahr – wurden die Arten der krautigen Vegetation expositionsweise erfasst, da später Arten, die als Samenmaterial im Kompost vorlagen, augenscheinlich den Gesamtentwicklungsgang der Sukzession stark verfälscht hätten.

Die vollflächige Aufnahme der verschiedenen Expositionen spiegelt das Arteninventar wider. Da die Flächen unterschiedlich groß dimensioniert waren, wurde von einer Angabe zur jeweiligen Deckung einer Art abgesehen, sondern später ein Artenindex mit Bezug zur Flächengröße (1 ha) ermittelt. – Bei den Gehölzarten wurde in analoger Form verfahren.

Einzelne Arten, die sich im Rahmen natürlicher Sukzession erst später angesiedelt haben und deren Verbreitung nicht im Zusammenhang mit der Kompostausbringung stehen, werden gesondert angeführt.

#### **3.2.2 Ergebnisse zum Arteninventar**

In den Vegetationsaufnahmen bis 2001 wurden insgesamt 72 krautige Arten (s. Tab. IX/3a-b) sowie 21 Gehölzarten auf der Halde III nachgewiesen.

Nach der Art der Lebensform aufgeschlüsselt entfallen 24,7 % der Arten auf Therophyten, 5,4 % Geophyten, die Mehrzahl (44,1 %) siedelt als Hemikryptophyt und nur 3,2 % gehören zu den Chamaephyten. Über 1/5 aller Arten (22,6 %) gehören zu den gehölzartig wachsenden Phanerophyten.

Die wenigsten ***krautigen Arten*** (9) siedelten bis 2000 auf dem nur teilweise mit Lockersubstrat überdecktem Ostteil; in der folgenden Vegetationsperiode (2001) erhöhte sich die Artenzahl aufgrund der Kompostausbringung auf 17. Auf den drei Plateaubereichen B, C, D konnten insgesamt mit 14 bzw. 16 die niedrigsten Summen krautiger Arten gezählt werden. Die Süd-Flanke beherbergte bis zum Untersuchungsende 21 Arten; an der Nordexposition stieg die Artenzahl auf 26. Auf der West-Flanke sowie im Bereich des Plateaus A wurden mit jeweils 28 verschiedenen krautigen Arten die höchsten Summen auf den verschiedenen Halden-Expositionen erreicht.

Tab. IX/3a: Expositionsbedingtes Arteninventar krautiger Pflanzen auf der Halde III bis zum Jahr 2001 (T = Therophyt, G = Geophyt, H = Hemikryptophyt, C = Chamaephyt).

Art	Lebens- form	Norden	Osten	Graben (Osten)	Süden	Westen	Plateau A	Plateau B	Plateau C	Plateau D
<i>Achillea millefolium</i>	H	x		x	x		x			
<i>Agrostis capillaris</i>	H			x		x	x	x		x
<i>Apera spica-venti</i>	T		x	x		x	x		x	
<i>Arrhenatherum elatius</i>	H	x			x					x
<i>Artemisia vulgaris</i>	C			x		x				
<i>Atriplex sagittata</i>	T			x						
<i>Bromus hordeaceus</i>	T				x	x	x	x		
<i>Bromus tectorum</i>	T					x	x			
<i>Bromus sterilis</i>	T				x	x				
<i>Calamagrostis epigejos</i>	G	x	x		x	x	x	x		x
<i>Campanula rapunculus</i>	H	x								
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	T, H									
<i>Cerastium holosteoides</i>	C	x	x	x		x	x		x	
<i>Chenopodium album</i>	T			x		x				
<i>Cirsium arvense</i>	G			x	x					
<i>Cirsium vulgare</i>	H					x				
<i>Conyza canadensis</i>	T, H	x		x	x	x	x	x	x	x
<i>Dactylis glomerata</i>	H	x						x	x	
<i>Daucus carota</i>	H			x						
<i>Deschampsia flexuosa</i>	H					x				
<i>Elymus repens</i>	G			x						
<i>Epilobium angustifolium</i>	H		x		x	x	x	x		x
<i>Epilobium ciliatum</i>	H	x								
<i>Erigeron acris</i>	H						x			
<i>Fallopia baldschuanica</i>	H			x						

Art (IX/3b-Fortsetzung I)	Lebens- form	Norden	Osten	Graben (Osten)	Süden	Westen	Plateau A	Plateau B	Plateau C	Plateau D
<i>Festuca ovina</i>	H	x			x		x	x		x
<i>Festuca rubra</i> agg.	H	x	x		x	x	x	x	x	x
<i>Galeopsis tetrahit</i>	T		x							
<i>Galium mollugo</i>	H	x								
<i>Hieracium lachenalii</i>	H	x								
<i>Hieracium pilosella</i>	H	x								
<i>Hieracium sabaudum</i>	H	x								
<i>Holcus lanatus</i>	H, C		x			x	x			
<i>Hordeum jubatum</i>	T			x						
<i>Hypericum perforatum</i>	H			x						
<i>Hypochoeris radicata</i>	T		x							
<i>Lactuca serriola</i>	T, H	x		x	x		x	x	x	x
<i>Leontodon autumnalis</i>	H			x	x	x	x			
<i>Leontodon hispidus</i>	H	x								
<i>Leucanthemum vulgare</i>	H		x							
<i>Leymus arenarius</i>	G	x			x		x			
<i>Linaria vulgaris</i>	G	x								
<i>Lolium perenne</i>	H	x			x	x	x	x	x	x
<i>Medicago lupulina</i>	T, H			x						
<i>Melilotus altissima</i>	H			x						
<i>Mycelis muralis</i>	H	x				x				
<i>Phleum pratense</i>	H	x								
<i>Plantago major</i>	H	x	x							
<i>Poa annua</i>	T, H					x				
<i>Poa compressa</i>	H					x	x			
<i>Poa pratensis</i>	H, G				x		x	x	x	x
<i>Polygonum aviculare</i>	T		x	x	x			x		



Art (IX/3c-Fortsetzung II)	Lebens- form	Norden	Osten	Graben (Osten)	Süden	Westen	Plateau A	Plateau B	Plateau C	Plateau D
<i>Puccinellia distans</i>	H		x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Rumex acetosella</i>	H, G	x								
<i>Rumex crispus</i>	H		x							
<i>Senecio jacobaea</i>	H						x			
<i>Senecio viscosus</i>	T	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Solidago canadensis</i>	H			x						
<i>Sonchus arvensis</i>	T			x	x					
<i>Sonchus asper</i>	T			x			x			
<i>Spergularia media</i>	H			x						
<i>Stellaria holostea</i>	C	x	x		x	x	x			x
<i>Tanacetum vulgare</i>	H			x		x				
<i>Taraxacum</i> sect. <i>Ruderalia</i> (officinale)	H	x		x	x	x	x		x	
<i>Trifolium arvense</i>	T			x						
<i>Trifolium repens</i>	H		x	x						
<i>Tripleurospermum</i> <i>perforatum</i>	T, H			x						
<i>Triticum aestivum</i>	T, H						x			
<i>Tussilago farfara</i>	H					x	x			
<i>Urtica dioica</i>	H		x			x				x
<i>Viola arvensis</i>	T					x				
<i>Vulpia myuros</i>	T, H						x			
<b>Summierte Artenzahl</b>		<b>26</b>	<b>17</b>	<b>30</b>	<b>21</b>	<b>28</b>	<b>28</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>16</b>

Im mit untersuchten Grabenbereich im Osten der Halde sind 30 Arten krautiger Vegetation nachgewiesen worden.

Werden die Artenindices mit einem Flächenbezug von einem Hektar berechnet, erreichen die vier Plateaubereiche und die West-Exposition die höchsten Werte (Tab. IX/4): Durchschnittlich ist hier die Artenausstattung mit einem Inventar von 45 bis über 60 Arten pro ha vergleichbar. – Die flächenmäßig ausgedehnten Expositionen (Süden, Norden, Osten) weisen hingegen einen deutlich niedrigeren Artenindex, umgerechnet 12 bis 17 Arten/ha, auf. Somit werden auch Unterschiede hinsichtlich der Verbreitungsmöglichkeiten von Arten deutlich.

Zu den Arten, die natürlicherweise an salzbeeinflussten Standorten siedeln, gehören *Hordeum jubatum* (Binnensalzstellen), *Leymus arenarius* (Meeresküste), *Puccinellia distans* (Binnensalzstellen, Meeresküste), *Spergularia media* (Binnensalzstellen, Meeresküste) und auf Salzwiesen der Meeresküste *Taraxacum* sect. *Ruderalia* (*officinalis*). Bis auf *Spergularia media*, die auf die feuchteren bzw. nassen Standorteigenschaften (Grabenbereich) angewiesen ist, gedeihen die vorgenannten Arten in dem zeitweise trockenen Lockersubstrat der Halde.

*Leymus arenarius* wurde im Rahmen der ersten Begrünungsmaßnahmen auf der Halde III in Form von Stecklingen mit angepflanzt, die anderen Arten sind im Laufe der sich entwickelnden natürlichen Sukzession eingewandert. – Bei den Grasansaat im Laufe dieser Arbeit sind *Dactylis glomerata*, *Festuca ovina*, *Festuca rubra* (2 Sorten) und *Lolium perenne* verwendet worden, so dass die Ausbreitung dieser Arten in gewisser Weise mit unterstützt worden ist.

Einzelne krautige Arten gehören zu der Gruppe der reinen Pioniere: *Bromus tectorum*, *Elymus repens*, *Hieracium pilosella* und *Poa compressa* (s. a. HAEUPLER & MUER, 2000).

Tab. IX/4 Absolute Artenzahlen und Artenindices (Artenanzahl bezogen auf 1 ha) der einzelnen Expositionen der Halde (Stand: 2001).

Art	Norden	Osten	Graben (Osten)	Süden	Westen	Plateau A	Plateau B	Plateau C	Plateau D
Flächengröße (ha)	1,54	1,35	-	1,66	0,62	0,48	0,31	0,22	0,32
Artenanzahl Gehölze	9	5	1	11	16	8	7	5	5
Arten pro ha	5,8	3,7	-	6,6	25,8	16,7	22,6	22,7	15,6
Artenanzahl Krautige	26	17	30	21	28	28	14	14	16
Arten pro ha	16,9	12,6	-	12,7	45,2	58,3	45,2	63,6	50,0
Gesamtanzahl	35	22	31	32	44	36	21	19	21



Als besonders hervorzuhebende Art, die erst im Jahr 2002 erstmals im oberen Grabenrandbereich der Südseite gesichtet worden ist, gilt *Gypsophila scorzonifolia* (Schwarzwurzel-Gipskraut). Sie siedelt dort mit mehreren Exemplaren auf einer kleinen Fläche.

Das Spektrum der **Gehölze** ist bis zum Jahre 2002 auf 23 Arten angestiegen; nur *Alnus incana* wurde mit wenigen Exemplaren durch Pflanzung künstlich eingebracht.

Die reinen Pionierbaumarten wie *Betula pendula*, *Pinus sylvestris*, *Populus tremula*, *Salix caprea* stocken an fast allen Expositionen der Halde. Die ältesten und damit höchsten bzw. stärksten Exemplare siedeln in den untersten Randbereichen der Halde entlang des vorhandenen Waldrandes bzw. der Feldgehölzinseln. Weiterhin befindet sich auf der Südflanke ein in Richtung Plateau ausgerichteter, gut abgrenzbarer Gehölzstreifen mit älteren Individuen von *Betula pendula*; in Richtung Westen schließen sich in lockerer Form einige Exemplare von *Pinus sylvestris* an. Dichter stehende und lockere Gehölzformationen mit diesen Arten lassen sich auch auf der Nordflanke bzw. auf den Plateaubereichen A bis C, stellenweise D finden.

Eine detailliertere Beschreibung der Gehölze hinsichtlich der expositionsbedingten unterschiedlichen Entwicklungsstadien erfolgt im letzten Untersuchungsteil dieses Hauptkapitels.

Neben den reinen Pionierbaumarten, die prädestiniert auf ärmeren, trockeneren Standorten siedeln, haben sich auch anspruchsvollere Gehölzarten eingefunden (s. Tab. IX/5).

Die beiden Nadelbaumarten *Picea abies* und *Larix decidua* sind auf dem nach Westen gelagerten Haldenteil nachweisbar, jedoch hat eine Besiedlung der östlichen Exposition sowie der darüber befindlichen Plateauflächen C und D bisher nicht stattgefunden. – Bei den anderen vorkommenden Baumarten handelt es sich um Laubgehölze, die entweder auch Pioniercharakter besitzen (*Populus alba*, *Robinia pseudoacacia*, *Salix purpurea*, *Sarothamnus scoparius*) oder die sonst eher auf frischeren bzw. nährstoffreicheren Standorten (*Acer platanoides*, *A. pseudoplatanus*, *Carpinus betulus*, *Fagus sylvatica*, *Prunus avium*, *Quercus robur*, *Q. rubra*) gedeihen. In vielen Fällen handelt es sich um Einzelvorkommen an den Expositionen, Kleingruppen sind eher die Ausnahme. Auch hier wird der nach Westen gelagerte Haldenteil bevorzugt besiedelt, während der ostwärts gelegene Bereich höchstens von *Quercus robur* etwas häufiger bewachsen wird.

Besonders auffällig ist das stete Auflaufen von Sämlingen während der letzten Vegetationsperioden, nachdem der Faktor „Verbissbelastung durch Rehwild“ aufgrund des errichteten Wildzauns ausgeschaltet werden konnte. Viele Sämlinge wachsen in der Regel einzeln stehend auf. Als Beispiel ist hier an erster Stelle *Pinus sylvestris* zu nennen. Bei den vertretenen Arten der Gattung *Quercus* und *Acer* kann ein ähnliches Phänomen beobachtet werden, ebenso bei *Picea abies*, *Carpinus betulus* und *Prunus avium*. Arten, die in der Regel auf nährstoffreicheren, feuchteren Standorten zu finden

sind und dort bereits in den ersten Jahren enorme Höhenzuwächse entwickeln, sind auf dem gering nährstoffversorgten Haldensubstrat nur sehr schwachwüchsig und benötigen viele Jahre um einen Meter Höhe zu erreichen. Z. T. wird dieses schwache Wachstum von Kleinblättrigkeit und hellgrüner bis gelber Blattfärbung begleitet. Das verhaltene Wachstum äußert sich auch in der intensiveren Verzweigung der Jungpflanzen.

Sämlinge anderer Arten wachsen eher gehäuft in Kleingruppen – oftmals auf engstem Raum: Beispielsweise entwickelt sich *Betula pendula* bevorzugt in Mulden, in denen sich Biomasse angesammelt hat und eine langsame Umsetzung beginnt bzw. bereits im Gange ist. *Fagus sylvatica* etabliert sich sowohl einzeln als auch eng gruppiert, was mit der Art der Diasporenverbreitung zusammenhängt. Ihre gruppenartige Verbreitung ist nicht auf Kleinmulden beschränkt.

Tab. IX/5: Vorkommen von Gehölzarten an den einzelnen Halden-Expositionen (Stand: 2002).

Art	Norden	Osten	Süden	Westen	Plateau A	Plateau B	Plateau C	Plateau D
<i>Acer platanoides</i>	x			x				
<i>Acer pseudoplatanus</i>			x	x				
<i>Alnus incana</i>			x					
<i>Betula pendula</i>	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Carpinus betulus</i>				x				
<i>Fagus sylvatica</i>				x				
<i>Fragula alnus</i>			x					
<i>Fraxinus excelsior</i>					x			
<i>Larix decidua</i>	x			x	x			
<i>Picea abies</i>	x		x	x	x	x		
<i>Pinus sylvestris</i>	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Populus alba</i>		x	x					
<i>Populus tremula</i>	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Prunus avium</i>	x			x				
<i>Quercus robur</i>	x		x	x	x	x	x	x
<i>Quercus rubra</i>				x				
<i>Robinia pseudoacacia</i>			x					
<i>Rubus fruticosus</i>								x
<i>Salix caprea</i>	x	x	x	x	x	x	x	
<i>Salix cinerea</i>			x			x		
<i>Salix purpurea</i>			x	x		x		
<i>Salix viminalis</i>				x				
<i>Sarothamnus scoparius</i>				x				
<b>Sa.</b>	<b>9</b>	<b>5</b>	<b>13</b>	<b>16</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>5</b>

Wie bereits vorstehend erwähnt, verbreitet sich *Populus tremula* in erster Linie durch Wurzelbrut. Die generative Verjüngungsform – ähnlich wie bei *Salix* – ist bei der Untersuchung nur sehr selten angetroffen worden.

Obwohl die Gattung *Salix* bereits mit 4 Arten vertreten ist, siedeln die meist einzeln vorkommenden Exemplare eher als unauffällige strauchartige Gehölze. Von den *Salicaceen* ist *Salix caprea* die am häufigsten anzutreffende Art; die anderen Weidenarten stocken mit jeweils weniger als fünf Exemplaren auf dem Haldenkörper.

Kein Exemplar von *Alnus glutinosa*, die LÜCKE in seiner Arbeit ebenfalls durch Pflanzung einbrachte, wurde im Rahmen dieser Untersuchung auf der Halde gefunden.

Von den durch natürliche Sukzession verbreiteten Arten lassen sich in der näheren Umgebung der Halde die meisten wiederfinden.

### **3.3 Verbesserung der Keimbedingungen von Samen durch Kompost**

Da nicht nur die Korngrößenzusammensetzung des Halden-Lockermaterials mit seiner Fähigkeit zur Ausbildung einer oberflächennah verhärteten, kristallinen Schicht (Kruste) und der oftmals angespannte Wasserhaushalt, sondern auch die überaus niedrigen Nährstoffgehalte eine Barriere für eine Pflanzenansiedlung durch natürliche Sukzession darstellen, ist der Einsatz von Kompost in Betracht gezogen worden, um die vorgenannten Problemfelder für die Ausbreitung von Arten zu entschärfen.

#### **3.3.1 Versuchsspezifische Methodik**

Für die Anlage von kleineren Versuchsflächen wurden zunächst relativ ebene, homogene Haldenbereiche favorisiert. Da sich die Flanken der Halde für eine versuchsorientierte Kompostüberdeckung wegen des möglichen Abtransports durch Niederschläge in keinem Fall eigneten und die meisten Plateauteile entweder begrünt oder von Vegetation aus natürlicher Sukzession beeinflusst waren, kamen nur zwei Flächen auf dem Plateau A in Frage. Die wenigen niedrig wüchsigen Gehölze, die sich vereinzelt angesiedelt hatten, wurden nicht entfernt, da sie aus natürlicher Sukzession stammten und andererseits im Haldensubstrat vorhandenes Samenpotenzial nicht durch Ausgrabungen beeinträchtigt werden sollte.

Um den Einsatz von Bioabfall- und Grüngut-Kompost zu testen, wurden pro Variante jeweils zwei Felder von 20 m<sup>2</sup> Größe ausgewählt und abgepflockt. Anschließend erfolgte die Ausbringung von Kompost in einer Mächtigkeit von 3 cm – aufgrund der Empfehlungen von FISCHER (1993) und den bisherigen Arbeiten des Fachgebiets, was einer Aufwandmenge von 300 m<sup>3</sup>/ha entspricht. In einer zweiten Variante wurde die Aufwandmenge deutlich reduziert und mit 50 m<sup>3</sup>/ha bzw. 0,5 cm Kompostmächtigkeit, wie FISCHER es für Baumschulen empfiehlt, gearbeitet. Eine Mineraldüngung wurde nicht durchgeführt. – Nach der Kompostüberdeckung, es erfolgte keine Einarbeitung des Komposts, fanden alljährlich Vegetationsaufnahmen statt, um mögliche Wechsel der Artenzusammensetzung und ihrer Deckungsgrade dokumentieren zu können.

### 3.3.2 Ergebnisse

Nach Überdeckung der Versuchsfelder mit Bio- bzw. Grünabfallkompost war das Auf-  
laufen von Samen in der 1. Vegetationsperiode sehr verhalten (s. Tab. IX/6). Bis auf  
ein Feld mit Grünabfall-Kompost, bei dem sich zu dieser Zeit eine Gesamt-Deckung  
von 4 % einstellte, erreichten die anderen Quadrate maximal 1 % Deckung. Im Laufe  
der zweiten Vegetationsperiode entwickelte die vorhandene Vegetation Deckungsgra-  
de zwischen 2 und 6 %, was maximal einer Versechsfachung des Wertes entsprach.  
Außer bei einem Versuchsfeld mit Grüngut-Kompost und einem mit geringmächtiger  
Bioabfall-Kompost-Überdeckung, bei denen sich kein höherer Deckungsgrad einstellte,  
zeigten die anderen Versuchsquadrate in der 3. Vegetationsperiode zum Teil doppelt  
so hohe Werte wie ein Jahr zuvor.

Kleinwüchsige **Gehölze**, die bereits vor Kompostausbringung die Versuchsfelder be-  
siedelten und nur geringe Höhen (< 25 cm) aufwiesen, haben während des Versuchs-  
zeitraums einen gewissen Anteil an der Gesamtdeckung gehabt bzw. haben zu einer  
Erhöhung beigetragen. In erster Linie handelt es sich hier um Exemplare von *Pinus*  
*sylvestris*. In einer Bioabfall-Variante fiel der bereits in der 1. Vegetationsperiode vor-  
handene Sämling von *Betula pendula* aus; dagegen entwickelten sich mehrere Sämlin-  
ge dieser Art auf einem Versuchsfeld mit geringmächtiger Grüngut-Kompost-  
Überdeckung. Erstaunlicherweise wurde sonst kein Anflug dieser Art auf den Parzellen  
festgestellt.

*Pinus sylvestris* war während des Untersuchungszeitraumes auf den meisten Ver-  
suchsparzellen präsent und breitete sich auf vier Versuchsflächen über Sämlinge aus,  
von denen auf zwei Parzellen einzelne wieder abstarben. Dieses Phänomen wurde  
nach ausgesprochenen Trockenperioden beobachtet. Die bereits zu Beginn des Ver-  
suchs auf den Flächen siedelnden Exemplare entwickelten sich durch die Aufgabe von  
Kompost besonders kräftig; ein Absterben eines dieser älteren Individuen konnte nicht  
beobachtet werden.

Die Baumart *Populus tremula* breitete sich in nur einer Versuchsparzelle (Grüngut-  
Kompost – 3 cm) durch Ausläuferbildung der im Umfeld befindlichen „Mutterpflanze“  
aus; auf der anderen Fläche mit dieser Behandlungsart konnte sich eine bereits zu An-  
fang dort wachsende Pflanze bis zum Untersuchungsende weiter entwickeln.

Bedingt durch Vogelsaat entwickelten sich auf drei Versuchsparzellen – davon zwei mit  
Grüngut-Kompost (3 cm / 0,5 cm) und eine mit Bioabfall-Kompost – einzelne Sämlinge  
von *Quercus robur*, die zum Teil im Folgejahr abgängig waren. Auch bei dieser Art war  
eine gewisse Anfälligkeit der jungen Sämlinge zu beobachten.

Die vierte reine Pionierbaumart *Salix caprea* war nur in einer Parzelle bereits zu Ver-  
suchsbeginn als Sämling vertreten; dieses Exemplar überdauerte den Untersuchungs-  
zeitraum.

Aufgrund der geringen Sämlingszahlen, die sich auf einigen wenigen Versuchsflächen  
etablieren konnten, dann jedoch teilweise wieder abstarben, ist eine deutliche  
Verbesserung der Keimlingsraten bei den Gehölzarten nicht wahrnehmbar gewesen.

Tab. IX/6: Arten auf den mit Kompost überdeckten Versuchsflächen (Jahre: 1999-2001) und ihre Deckungsgrade.

Art	Lebensform	Bioabfall (1)	Bioabfall (2)	Grünabfall (1)	Grünabfall (2)	Bioabfall geringm.	Grünabfall geringm. (1)	Grünabfall geringm. (2)
<b>Gesamt-Deckung [%]</b>		<1/3/4	<1/6/12	<1/3/3	4/6/7	<1/2/2	1/5/10	1/4/7
<b>Gehölze</b>								
<i>Betula pendula</i>	P	r/-/-					-/+ / +	
<i>Pinus sylvestris</i>	P	+ / + / +		+ / r / r	1 / 1 / 1	r / r / r	1 / 1 / 2	1 / 1 / 1
<i>Populus tremula</i>	P			- / - / r	r / r / r			
<i>Quercus robur</i>	P			- / - / r		r / - / -		- / - / 1
<i>Salix caprea</i>	P					r / r / r		
<b>Krautige</b>								
<i>Achillea millefolium</i>	H		- / - / +		- / - / +			- / r / +
<i>Agrostis capillaris</i>	H					- / - / +		
<i>Apera spica-venti</i>	T		- / r / +	- / + / r		- / r / -	- / r / -	
<i>Arenaria serpyllifolia</i>	T			- / r / +				
<i>Bromus hordeaceus</i>	T		- / - / +			r / r / -		
<i>Calamagrostis epigejos</i>	G		- / + / +					
<i>Cerastium holosteoides</i>	C			- / r / +				
<i>Chenopodium album</i>	T	+ / - / -	- / + / +	+ / + / +	1 / 2 / +		r / + / +	- / + / +
<i>Conyza canadensis</i>	T, H	- / 2 / 1	- / 2 / 3	- / 3 / 1	- / 1 / 3	- / + / +	- / 3 / 4	- / + / 1
<i>Dactylis glomerata</i>	H	- / + / +	- / 2 / 5	- / r / -	- / + / +		- / r / +	- / + / +
<i>Daucus carota</i>	H				- / - / r			
<i>Epilobium angustifolium</i>	H		- / + / 1	- / - / +	- / + / r			
<i>Epilobium ciliatum</i>	H	- / + / +	- / + / r	- / + / r	- / + / r	- / + / -	- / + / +	- / + / r

Art (Tab. IX/6 Fortsetzung I)	Lebensform	Bioabfall (1)	Bioabfall (2)	Grünabfall (1)	Grünabfall (2)	Bioabfall geringm. (1)	Grünabfall geringm. (1)	Grünabfall geringm. (2)
<i>Festuca ovina</i>	H		r/r/r					
<i>Festuca rubra</i>	H	-/+2	-1/3	-/++	1/2/2	-/+2	-/+3	-3/4
<i>Lactuca serriola</i>	T, H	-/++	-/++	-/-	-/++	-/-	-/++	
<i>Leontodon autumnalis</i>	H	-/++		-/++	-/++			-/-+
<i>Lepidium rudemale</i>	T, H			-/-				
<i>Leymus arenarius</i>	H, G			-/++				-/-
<i>Lolium perenne</i>	H	-/-+	-/-		-/-		-/-+	-/-+
<i>Myosotis arvense</i>	T, H	-/-						
<i>Poa annua</i>	T, H	-/++	-/++		-/++	+1/-		-/-+
<i>Poa compressa</i>	H					+/-		
<i>Poa trivialis</i>	H		-/-					
<i>Polygonum aviculare</i>	T				-/-			
<i>Senecio jacobaea</i>	H	-/+	-/-	-/-	1/r/r	+r/+	+/+r	r/++
<i>Senecio viscosus</i>	T			-/-			-/-	
<i>Sonchus asper</i>	T	-/-	-1/+	-/-	-/++	-/-		-/-
<i>Sonchus oleraceus</i>	T							r/-
<i>Stellaria holostea</i>	C			-1/1				
<i>Taraxacum officinale</i>	H	-/++	+/-+	-/++	-/-	-/+r	-/++	r/-+
<i>Tripleurospermum maritimum</i>	T, H			-/-+	-/-			
<i>Tussilago farfara</i>	H							-/-+
<i>Veronica spec.</i>	H			-/-				
<i>Vulpia myuros</i>	T, H				-1/1			

Nur wenige Sämlinge aus generativer bzw. vegetativer Vermehrung (*Populus tremula*) der vier Hauptpionierbaumarten und von *Quercus robur* lassen eine Aussage über die potenzielle Begrünbarkeit durch die natürliche Sukzession zu.

Über den Zeitraum dieser Untersuchung sind insgesamt 35 verschiedene **krautige Arten** auf den angelegten Probeflächen nachgewiesen worden. Von dieser Gesamtartenanzahl entfielen auf die verschiedenen Behandlungsvarianten die nachstehend aufgezählten Artenanteile (s. Abb. IX/2):

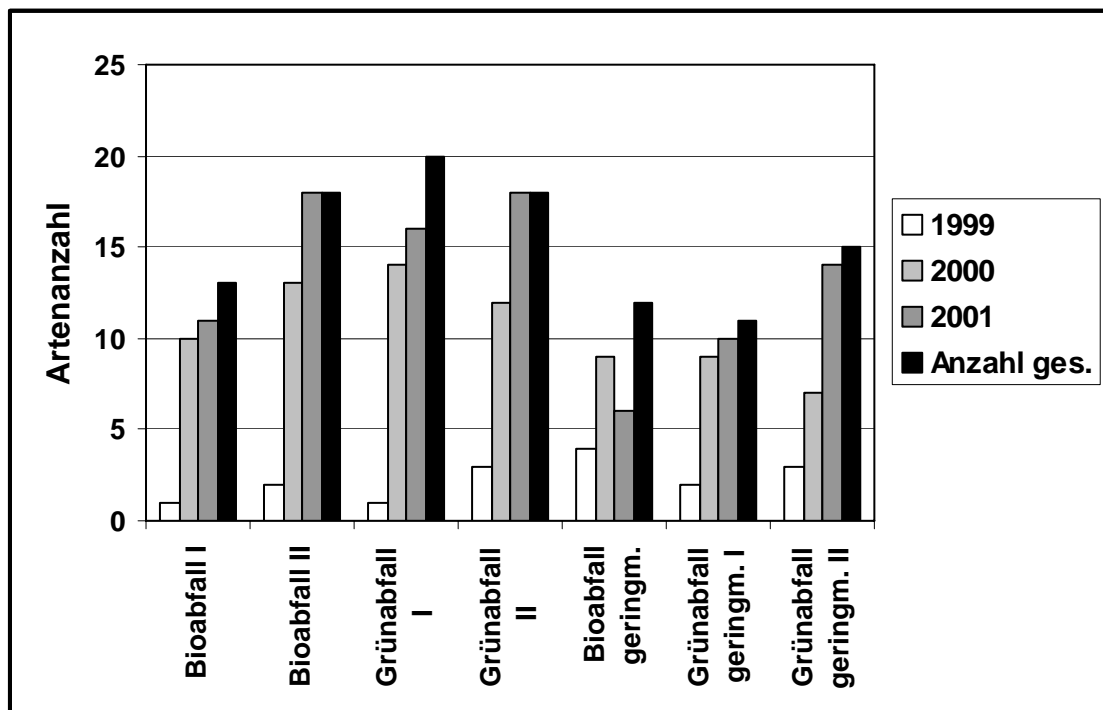


Abb. IX/2: Nachgewiesene krautige Arten auf den mit Bioabfall- und Grünabfall-Kompost behandelten Versuchspartellen (reguläre Aufbringung = 300 m<sup>3</sup>/ha, geringmächtige Aufbringung = 50 m<sup>3</sup>/ha).

Die beiden Versuchspartellen der Bioabfall-Kompost-Variante mit einer Überdeckung von 3 cm war im 1. Jahr nahezu vegetationsfrei; lediglich 3 Arten hatten sich dort bis zum Ende der Vegetationsperiode etablieren können.

Im Folgejahr kamen 12 neue Arten hinzu, von denen *Conyza canadensis*, *Dactylis glomerata*, *Festuca rubra* und *Sonchus asper* relativ stark vertreten waren. Die aufwachsenden Pflanzen der Arten *Dactylis* und *Festuca* stammten höchst wahrscheinlich von der Aussamung früherer Ansaaten auf der Halde. Die zur Schlagflora gehörende Art *Epilobium angustifolium* siedelte sich ebenfalls an.

In der 3. Vegetationsperiode siedelten sich 3 weitere neue Arten an, zu denen *Achillea millefolium*, *Bromus hordeaceus* und *Myosotis arvense* gehörten. Gleichzeitig verschwanden auf einer Versuchspartelle dieser Variante *Chenopodium album* und *Sonchus asper*.



Auf der Variante mit Grüngut-Kompost (Mächtigkeit 3 cm) wuchsen während der 1. Vegetationsperiode im Jahr 1999 ebenfalls 3 Arten auf. Neben *Chenopodium album* waren auch *Festuca rubra* und *Senecio jacobaea* vertreten.

Im nächsten Jahr erhöhte sich die Zahl der Species um 15 Arten. Dominierend wuchs *Conyza canadensis* auf, gefolgt von *Chenopodium album* und *Festuca rubra*. Neben *Epilobium*-, *Senecio*-Arten und *Sonchus asper* wurde auch *Tripleurospermum maritimum* – und zwar auf beiden Versuchsparzellen – nachgewiesen.

Während im Sommer 2001 auf einer Versuchsparzelle 4 Arten des Vorjahres nicht mehr dort siedelten, kamen innerhalb dieser Variante insgesamt 6 neue Arten hinzu. *Achillea millefolium* wanderte somit zum selben Zeitpunkt wie bei der Bioabfall-Kompost-Variante ein. *Conyza canadensis* war auch in dieser Vegetationsperiode die am häufigsten vertretene Art. Mit mehreren Exemplaren fand sich die Art *Stellaria holostea* auf einer Versuchsparzelle ein und erreichte 1 % Deckung. *Leymus arenarius*, die im Rahmen der ersten Begrünungsmaßnahmen auf der Halde III mit angepflanzt worden war, bildete einen Ausläufer in dieser Versuchsparzelle aus. – Auf der anderen Parzelle war *Vulpia myuros* ähnlich häufig vertreten. *Polygonum aviculare*, diese Art war bereits ein Jahr zuvor eingewandert, konnte sich auch in diesem Jahr behaupten.

Von den 35 nachgewiesenen krautigen Arten ist für die meisten (16) die rein hemikryptophytische Lebensform kennzeichnend; insgesamt 7 Arten leben sowohl hemikryptophytisch als auch therophytisch. Mit einer Artenzahl von 8 sind die reinen Therophyten ähnlich stark vertreten gewesen. Als Chamaephyten siedelten auf den Versuchsparzellen nur *Cerastium holosteoides* und *Stellaria holostea*.

Nachdem sich im Jahr 2000 in einigen Kleinbereichen auf den mit Kompost überdeckten Versuchsparzellen – Bioabfall-Kompost I und II, Grüngut-Kompost I und II – **Moose** angesiedelt hatten, wurden diese im Jahr 2001 mit aufgenommen sowie deren Gesamtdeckung auch in 2002 ermittelt (s. Abb. IX/3).

Dabei wurde folgender Entwicklungsgang festgestellt. Die mit Moos bewachsenen Kleinstrukturen waren im Jahr 2000 noch so gering deckend und die Versuchsparzellen somit für den Samenanflug von außerhalb ausreichend aufnahmefähig, so dass dieser Entwicklung noch keine besondere Bedeutung beigemessen wurde. Innerhalb eines Jahres entwickelten sich jedoch die auf den Parzellen befindlichen Moose so stark, dass auf allen Versuchsparzellen Moose deutlich mehr als die Hälfte der Flächen besiedelte.

Auf den nebeneinander liegenden Versuchsflächen Bioabfall-Kompost I und Grüngut-Kompost I wurden die höchsten Deckungsgrade (85 bzw. 75 %) ermittelt. Im vergangenen Jahr (2002) steigerte sich die Deckung nochmals um 5 bzw. 10 %. Damit stand für die Ansiedlung krautiger Arten nur noch eine äußerst geringe Fläche zur Verfügung. – Auf der jeweiligen „Varianten-Wiederholung“ veränderte sich die Intensität ins Gegenteil: Auf 30 bis 35 % der Versuchsparzellengröße ging die Besiedlung der Mooschicht zurück. Dieser gegenläufige Trend hing augenscheinlich mit der enormen Veränderung der Haldenoberfläche zusammen; kräftige Niederschlagsereignisse des Jahres 2002



führten zu Auslösungen im Bereich des festen Salzkörpers unterhalb der anhydritisch geprägten Lockerschicht. Dadurch verlagerte sich kleinflächig Lockermaterial in die Tiefe und auf Kompost gebildete Moosschichten zerbrachen und wurden bruchstückhaft mit in die trichterartigen Vertiefungen verlagert.

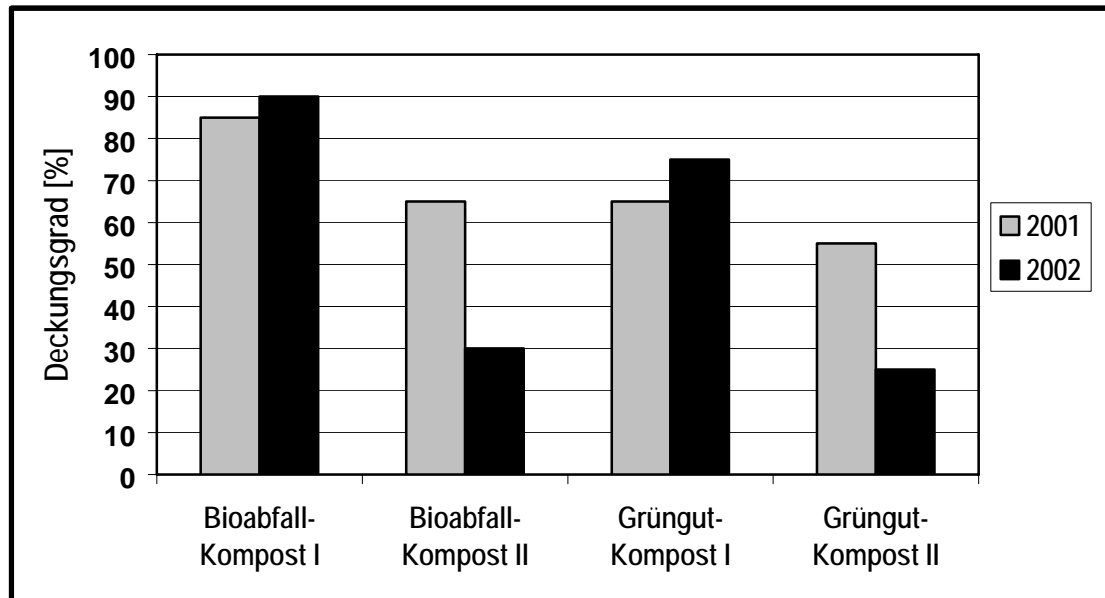


Abb. IX/3: Deckungsgrade der auf den Versuchspartzeilen siedelnden Moose.

Zu den am häufigsten vorkommenden Arten gehörten *Bryum argenteum* (Silber-Birnenmoos), *Ceratodon purpureus* (Hornzahnmoos), *Funaria hygrometrica* (Brandstellen-Drehmoos) und *Pohlia nutans* (Nickendes Pohlmoos).

Die Versuchsflächen mit geringmächtiger Kompostüberdeckung (0,5 cm) zeigten keine deutlichen Vermoosungserscheinungen; daher wurden sie in dieser Betrachtung nicht mit berücksichtigt. Aufgrund von Lockermaterialverlagerungen war auch hier die Haldenoberfläche von gewichtigen Reliefveränderungen geprägt, die den Sukzessionsverlauf relativ stark beeinflussten.

### **3.4 Überprüfung des keimfähigen Diasporenvorrates im Haldenmaterial**

Die Korngrößenzusammensetzung, der Wasserhaushalt sowie die schwache Nährstoffversorgung der anhydritisch geprägten Lockerschicht waren Anlass genug, Untersuchungen zum Diasporenbesatz im Haldensubstrat durchzuführen. Auch der augenscheinliche Fortgang der Sukzession mit unterschiedlichen Arten der krautigen und Gehölzvegetation fordert nach einer Überprüfung der Keimpotenziale.

Ziel dieser Untersuchungen ist es gewesen, inwieweit sich Diasporen in den Haldensubstratproben befinden, mit welchen Arten tendenziell zu rechnen ist und ob die nur langsam fortschreitende Sukzession am ungenügenden Diasporenbesatz liegt oder in den mangelnden Keimungsmöglichkeiten der Diasporen begründet ist.

### 3.4.1 Untersuchungsspezifische Methodik

Im Rahmen dieser Bearbeitungsthematik wurden mit **zwei Probenserien** Keimversuche durchgeführt. Den naturnahen Bedingungen folgend fanden die Probennahmen jeweils im zeitigen Frühjahr statt, also zu einem Zeitpunkt, wenn Diasporen den Überwinterungsprozess abgeschlossen, die artbedingte Dormancy überwunden haben und kurz vor einer Keimung stehen.

Für die **erste Untersuchung** wurden an den verschiedenen Expositionen der Halde – jeweils getrennt nach Unter- und Oberhang – Proben genommen. Dazu erfolgte die stichprobenartige Auswahl einer Expositionsteilsfläche, auf der an jeweils fünf Kleinstandorten (1 m<sup>2</sup> Gesamtfläche) Probenmaterial in einer Tiefe bis zu 3 cm entnommen wurde, da kleine Samen auf Muldenrändern durch die Winterniederschläge u. U. in die Oberflächenschicht des sandartigen Haldenmaterials verbracht worden sind.

In der Ergebnisdarstellung sind die jeweils nahe beieinander liegenden Kleinstandorte zusammengefasst worden, da sie räumlich als Einheit einzustufen sind.

Die **zweite Untersuchung** beschränkte sich auf den Plateaubereich A, auf die mit *Betula pendula* beschirmten Teilflächen, unbeschirmte Mulden als auch Erhöhungen, die in jeweils 10-facher Wiederholung beprobt wurden. Der Schwerpunkt lag auf dem zu untersuchenden Gehalt an Gehölzdiaporen. Etwaige Biomasse und die obersten 3 cm des Haldensubstrats sind mit den Proben verbracht worden. Bei der nachfolgenden Aufbereitung wurde nichtzersetzte Biomasse (Streu, Kleinäste) sorgfältig abgesiebt, da Blätter z. B. Keimungen von Samen nicht zugelassen hätten und somit eine schwer definierbare Störung des Versuchs die Folge gewesen wäre.

Die anschließende Ausbringung des Probenmaterials erfolgte bei beiden Probenserien in Aussaatschalen mit einer zu nutzenden Innenfläche von 46 cm (L) x 28 cm (B) unter Gewächshausbedingungen; die Temperaturen für Keimung und Wachstum lagen zwischen 15 °C (nachts) und maximal 23 °C (tagsüber). Je nach Bedarf wurden die Substratproben mit den sich entwickelnden Keimlingen gewässert.

Sehr kleinwüchsige Keimlinge, die aufgrund ihrer Größe zunächst nicht bestimmbar waren, sind entweder in ein Halden-/Kultursubstrat-Gemisch pikiert oder mit Flüssigdünger leicht benetzt worden, damit die zur Bestimmung erforderlichen vegetativen Merkmale sichtbar werden konnten. – Die Keimlingsbestimmung der krautigen Arten erfolgte mit den Werken von HANF (1999), NEURURER et al. (1988), die der Gehölzartigen nach AMANN (1993), bei weiterkultivierten Sämlingen nach ROTHMALER (1994, 1995).

Insgesamt wurden vier Zählungen bzw. Bestimmungen der Individuen durchgeführt; nach jedem monatlichen Untersuchungsdurchgang fand eine Durchmischung des Probenmaterials statt, so dass tiefer liegende Samen ebenfalls die Möglichkeit zur Keimung hatten.

### 3.4.2 Ergebnisse

Generell ist anzumerken, dass die meisten vorgefundenen Arten die höchsten Keimlingszahlen während der ersten beiden Untersuchungsdurchgänge einer jeden Probenreihe entwickeln konnten.

Nur wenige Arten, die ohnehin mit einem sehr geringen Diasporenbesatz im Haldensubstrat vertreten waren, haben während der zweiten Phase einer Probenreihe ihre Keimlingszahl erhöhen können.

Bei der **ersten Untersuchung** entwickelten sich allein 113 gehölzartige Keimlinge, von denen bis auf einen *Pinus*-Sämling alle anderen Exemplare der Art *Betula pendula* angehörten (s. Tab. IX/7). Der als besonders schwierig zu besiedelnde Osthang brachte in den Proben des Oberhanges keine *Betula*-Keimlinge hervor; in den Proben vom Unterhang entwickelten sich lediglich 2 Individuen. Ähnliche niedrige Summen zeigten die Proben der Süd-, und Westhangbereiche sowie jene vom Plateau außerhalb einer Beschirmung durch ältere Gehölze. Dagegen lag die Keimlingszahl von *Betula pendula* in den Proben aus den überschirmten Plateaubereichen mit 22 deutlich darüber. In den Proben der Nordexposition fielen die Keimlingsergebnisse recht unterschiedlich aus. Während sich in den Substratproben vom Oberhang nur 8 *Betula*-Individuen etablieren konnten, entwickelte sich in jenen des Unterhangs die mit Abstand höchste Zahl (65).

Auch wenn diese Proben nur einen sehr kleinen Stichprobenraum abdecken, so wird doch die allgemeine Tendenz deutlich: Das Lockersubstrat von einigen Teilbereichen der Halde besitzt einen sehr viel höheren Diasporenbesatz an keimfähigen Gehölzsamen, als andere, von fruktifizierenden Bäumen weiter entfernt befindlichen Haldenabschnitte.

An krautigen Arten entwickelten sich im Laufe dieser Untersuchung 17 verschiedene, von denen allein 12 Arten mit insgesamt 78 Individuen im Probenmaterial des Unterhangs der Nordexpositionen zu finden waren. Neben 3 *Epilobium*-Arten fiel vor allem *Conyza canadensis* mit der höchsten Keimlingszahl (24) auf, *Festuca rubra* und *Mycelis muralis* entwickelten jeweils noch 15 Exemplare. Die anderen Arten waren mit jeweils maximal 6 Individuen vertreten. – Rund die Hälfte der vorgenannten Artenzahl an krautigen Pflanzen wurde in den Proben des Oberhangs der Nord-Exposition (7), der Hangbereiche der West-Flanke (6 bzw. 7) als auch in jenen des unbeschirmten Plateaubereichs (6) gefunden. Dabei schwankten die Keimlingszahlen in den Proben je Exposition zwischen 11 und 72. – Die Proben der anderen Standorte brachten – bis auf den Unterhang der Ost-Exposition mit nur einem Exemplar von *Festuca rubra* – jeweils 3 bis 4 Arten hervor.

Besonders erwähnungsbedürftig ist der hohe Diasporenbesatz von *Sonchus asper* (171) im Material des Unterhangs im Ostteil der Halde gewesen: Diese Art schien sich hier im Vorjahr besonders intensiv verbreitet zu haben, weshalb eine hohe Keimlingsentwicklung möglich war.

Die beiden therophytisch siedelnden Arten *Conyza canadensis* und *Sonchus asper* konnten aufsummiert in den gesamten Proben die meisten Keimlinge (116 bzw. 178) entwickeln.

Tab. IX/7: Erste Probenserie zur Überprüfung des Diasporenvorrats im Haldensubstrat – Individuenanzahl / Art (Halde III); addierte Flächengröße der Probenstandorte je Exposition: 1 m<sup>2</sup>. (LF = Lebensform, T = Therophyt, G = Geophyt, H = Hemikryptophyt, C = Chamaephyt).

Art	LF	Norden Unterhang	Norden Oberhang	Osten Unterhang	Osten Oberhang	Süden Unterhang	Süden Oberhang	Westen Unterhang	Westen Oberhang	Plateau beschrift.	Plateau unbeschrift.	Sa.
<b>Gehölze</b>												
<i>Betula pendula</i>	P	65	8	2		2	2	4	3	22	4	112
<i>Pinus sylvestris</i>	P		1									1
		65	9	2	-	2	2	4	3	22	4	113
<b>Krautige</b>												
<i>Cerastium holosteooides</i>	C									1		1
<i>Cirsium arvense</i>	G			7					1			8
<i>Conyza canadensis</i>	T, H	24	15			3	3	4	67			116
<i>Daucus carota</i>	H	1									1	2
<i>Epilobium angustifolium</i>	H	3	31					8	4			46
<i>Epilobium spec.</i>	H	5	15									20
<i>Epilobium ciliatum</i>	H	5	1	1			2	2	2	1	1	15
<i>Festuca rubra</i>	H	15	3		1	2	2		5	2	2	32
<i>Holcus lanatus</i>	H, C	1										1
<i>Lactuca serriola</i>	T, H	1										1
<i>Mycelis muralis</i>	H	15						2				17
<i>Poa compressa</i>	H							4				4
<i>Senecio jacobaea</i>	H	1	3						5		1	10
<i>Senecio viscosus</i>	T	1	4					2	3		1	11
<i>Sonchus asper</i>	T			171		2					5	178
<i>Spergularia salina</i>	H									5		5
<i>Taraxacum officinale</i>	H	6										6
		78	72	179	1	7	7	22	87	9	11	473
<b>Ges.-Sa. / Exposition</b>		143	81	171	1	9	9	26	90	31	15	586

Von den Hemikryptophyten waren die *Epilobium*-Arten, *Festuca rubra* und *Mycelis muralis* noch relativ häufig (17-32 Individuen / Art) in Form von Diasporen im Haldensubstrat vertreten, ebenso die beiden *Senecio*-Arten (10 bzw. 11 Exemplare).

Als einzige salzliebende Art war *Spergularia salina* zu finden, die aufgrund entsprechend langer Weiterkultivierung eindeutig zu bestimmen war. Obwohl *Puccinellia distans* relativ häufig auf den Expositionen Süden und Osten vertreten ist, konnte bei dieser Untersuchung kein keimfähiger Diasporenbesatz in den Proben festgestellt werden.

In der **zweiten Untersuchung** stand die Gegenüberstellung von Probenmaterialien aus beschirmten und unbeschirmten Plateaubereichen im Vordergrund. Hauptaugenmerk galt den verholzenden Keimlingen, die krautigen Arten wurden jedoch ebenfalls mit erfasst (s. Tab. IX/8).

Erwartungsgemäß entwickelten sich in den Aussaatschalen mit den Proben aus beschirmten Bereichen die meisten *Betula*-Sämlinge: Zwischen 33 und 564 (!) Exemplare konnten auf einem 1/10 m<sup>2</sup> nachgewiesen werden. Die Gesamtzahl aller 10 Probenstandorte addierte sich auf 1.494, wobei der Mittelwert bei 150 Individuen liegt. Da im beprobten Haldenbereich *Pinus sylvestris* sehr wenig vertreten gewesen ist, entwickelten sich nur in zwei Proben insgesamt 3 Sämlinge.

Die Proben aus der unbeschirmten Teilfläche ließen insgesamt ein Aufwachsen von 737 *Betula*-Keimlingen zu; die Spanne lag hier zwischen 12 und 175 Exemplaren innerhalb der Aussaatschalen. Im Mittel etablierten sich 74 Individuen in dieser Variante. Wie bereits in der vorhergehenden Variante wuchsen auch unter unbeschirmten Verhältnissen nur wenige generative Nachkommen von *Pinus sylvestris*: Insgesamt 4 Sämlinge verteilt auf 3 Aussaatschalen.

Äußerst gering war dagegen das Auflaufen von *Betula*-Keimlingen in den Proben der erhöhten Kleinstandorte im unbeschirmten Bereich. Maximal 4 Individuen dieser Art wurden pro Probe gezählt, das Substrat eines Standortes ließ gar keinen Keimling gedeihen. Ebenso wurde kein generativ vermehrter Nachkomme von *Pinus sylvestris* innerhalb dieser Probenvariante gesichtet.

Neben zwei Gehölzarten wurden im Rahmen dieser Probenserie 19 krautige Arten nachgewiesen. Am häufigsten sind Individuen von *Conyza canadensis* gezählt worden: Im Haldenmaterial der 20 Kleinstandorte mit „Muldencharakter“ entwickelten sich über 2.500 Exemplare. Davon wuchsen 31,2 % in den Aussaatschalen mit Probenmaterialien aus dem beschirmten Plateaubereich, der weitaus größere Anteil stammte aus den Kleinmulden des unbeschirmten Bereichs. Noch verhältnismäßig häufig sind die Arten der Gattung *Senecio* vertreten gewesen, *Sonchus asper* mit noch weniger Exemplaren.

Ähnlich verhält es sich mit der angetroffenen Artenanzahl: Während sich 11 Arten aus den Proben des beschirmten Haldenbereichs etablieren konnten, wurden bis auf *Stellaria holostea* alle anderen krautigen Arten im Haldenmaterial der unbeschirmten Mulden gefunden.



Tab. IX/8: Zweite Probenreihe zur Überprüfung des Diasporenvorrats im Haldensubstrat – Individuenanzahl / Art; addierte Flächengröße der Probenstandorte je Variante: 1 m<sup>2</sup>. (LF = Lebensform, T = Therophyt, G = Geophyt, H = Hemikryptophyt, C = Chamaephyt).

Art	LF	beschriftet, Mulde										unbeschriftet, Mulde										unbeschriftet, Erhöhung									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Gehölze</b>																															
<i>Betula pendula</i>	P	101	33	196	83	50	210	564	42	108	107																				
<i>Pinus sylvestris</i>	P	1		2								59	62	70	85	45	175	112	93	12	24	-	3	4	3	1	1	2	3	2	4
<b>Krautige</b>																															
<i>Chenopodium album</i>	T																														
<i>Conyza canadensis</i>	T, H	58	43	99	13	62	96	68	154	152	46	23	140	69	88	241	751	136	109	26	162				1						
<i>Dactylis glomerata</i>	H	1						2	1									1													
<i>Daucus carota</i>	H													1	3																
<i>Epilobium angustifolium</i>	H															1															
<i>Epilobium ciliatum</i>	H		1	3		1	1	7		1		2		2	3	1	2		1	2										1	
<i>Epilobium montanum</i>	H								1	2																					
<i>Festuca rubra</i>	H		1	2	1	3	1	1	1	2		1	1	1																	
<i>Leontodon autumnalis</i>	H															1														4	2
<i>Lolium perenne</i>	H			2	1	2			1							1															
<i>Plantago media</i>	H															1															
<i>Poa annua</i>	T, H											3																			
<i>Poa compressa</i>	H					1		1		1				7	34																
<i>Poa pratensis</i>	H, G															1															
<i>Senecio jacobaea</i>	H		1		1			4		18	1	9	6			21	6	1		2											
<i>Senecio viscosus</i>	T			1				1				15			22	7				2										1	
<i>Sonchus asper</i>	T		3			10	4	2	2	3	1	2		1	1	1	1														
<i>Stellaria holostea</i>	C			2																											
<i>Viola arvensis</i>	T														1	2															
<b>Ges.-Sa.</b>		161	82	307	99	129	312	650	200	189	155	100	231	181	229	303	931	150	208	41	186	-	4	8	7	1	1	2	3	3	4

Mit gerade 4 krautigen Arten stellte sich das Arteninventar der unbeschränkten, erhöhten Kleinstandorte recht mager dar. Die Anzahl pro Kleinstandort betrug bei *Festuca rubra* maximal 4 Individuen.

### **3.5 Das Wachstum von Gehölzen älterer Sukzessionsstadien**

Die Anfang der achtziger Jahre getätigten Vegetationsaufnahmen auf der Halde III dokumentieren bereits 7 Gehölzarten, von denen *Betula pendula* die am meisten vertretene Spezies war. Höhenmessungen an einzelnen Individuen dieser Baumart auf dem Plateaubereich über einen Zeitraum von 10 Jahren führten zu folgendem Ergebnis: Die 1984 gemessenen Ausgangshöhen zwischen 1,7 und 2,9 m entwickelten sich innerhalb von 10 Jahren zu einem Größenrahmen zwischen 4,0 und 7,0 m. In den meisten Fällen wuchsen die Exemplare um mehr als das Doppelte der Ausgangshöhe. – Bei der Baumart *Pinus sylvestris* war diese Steigerung noch deutlicher wahrnehmbar: Bis über das Zehnfache der Ausgangshöhe wurden an Höhen gemessen, allerdings auf einem viel niedrigeren Niveau als *Betula*.

Das Wachstum der Gehölze äußert sich oberirdisch hauptsächlich durch die zunehmende Höhe und das sekundäre Dickenwachstum. Diese relativ einfach zu erhebenden Parameter geben im Vergleich mit anderen erhobenen Datensätzen Auskunft über das Wuchspotenzial des Standorts bzw. in Verbindung mit den Durchmesserwerten über die Stabilität des Einzelbaumes. Zusätzliche Messungen oder Ansprachen des Wachstums der ober- und unterirdischen Biomasse lassen tiefgreifendere Rückschlüsse zu.

#### **3.5.1 Untersuchungsspezifische Methodik**

Um das durch standörtliche Gegebenheiten im Rahmen der natürlichen Sukzession gesteuerte Wachstumspotenzial dokumentieren zu können, wurden Messungen an den ältesten, auf dem Haldenkörper gedeihenden Gehölzen vorgenommen. Die Auswahl erfolgte nach visuellen Kriterien: Die am weitesten entwickelten Gehölze, hinsichtlich Höhen- und Durchmesserwachstum – sollten für die Aufnahme eine Mindesthöhe von 3,0 m besitzen, um noch einen repräsentativen BHD (Brusthöhendurchmesser, Durchmesser in 1,3 m Höhe) unterhalb der Stammmitte zu ermitteln. Weiterhin wurden entweder einzelne oder in Kleingruppen zusammenstehende Gehölze unterschiedlicher Expositionen berücksichtigt und, soweit möglich, Differenzierungen nach verschiedenen Flankenhöhenlagen (z. B. Unter-, Oberhang) berücksichtigt. In der Hauptsache wurden die auf den Flanken stehenden Einzelexemplare sowie eine am Südhang stehende, klar vom Umfeld abgrenzbare Gruppe gemessen.

Wegen standörtlich verschieden hoher Anzahlen der Aufnahmebäume, in einigen Fällen waren entsprechende Individuen kaum oder gar nicht vorhanden, ist eine statistische Auswertung von Teilstandorten nicht sinnvoll. – Die Messungen erfolgten mit einer forstüblichen Messkluppe (Modell „Forstmeister“) sowie dem Baumhöhenmesser von SUUNTO (Modell „PM-5/1520 PCP“) an Bäumen mit durchgehendem Stamm.

### 3.5.2 Ergebnisse

Die bisher erreichten Wuchshöhen der durch Sukzession angesiedelten Gehölze hat, auch aufgrund unterschiedlichen Alters, deutliche Abweichungen gezeigt. Der Fortgang der Sukzession, so wie sie bereits LÜCKE (1997) in seiner Arbeit beschrieben hat, findet in erster Linie vom Haldenfuß in Richtung Flankenoberhang statt. Dies bedeutet, dass am Haldenfuß die höchsten Baumindividuen zu finden sind.

Auf Teilflächen der Haldenflanken wachsen im Mittel-, vereinzelt auch im Oberhangbereich, ebenfalls höhere Gehölze. Dieses Phänomen ist sowohl auf der zum Wald hin gelagerten Südflanke als auch am Nordhang ersichtlich: In einer langgezogenen Mulde je Exposition gedeihen schon seit gut 20 Jahren einzelne Bäume; weiterhin haben sich auf den Mittelhängen der genannten Flanken einzeln bis truppweise vorkommende, höhere Gehölze entwickeln können. – Auf den Plateauflächen A, B und C setzen sich diese Entwicklungsstadien fort.

Die Baumart ***Betula pendula*** ist nach wie vor die Hauptbaumart der natürlichen Sukzession. Innerhalb der letzten 20 Jahre sind viele Individuen dieser Art hinzugekommen. Hinsichtlich ihres Höhen- und Dickenwachstums haben ebenso entsprechende Entwicklungen stattgefunden (s. Abb. IX/4). An den vorgenannten Expositionen ist sie in der Regel führend vertreten, an der Westflanke wächst die Kiefer häufiger.

Mit bis zu 14 m Höhe und Durchmessern bis maximal 24 cm, diese meistens jedoch in den Grenzen zwischen 14 und 18 cm, stehen die am stärksten dimensionierten Bäume am Haldenfuß der zum Wald hin liegenden Süd- und Nordflanke. Sie zählen wohl zu den ältesten der auf der Halde stockenden Gehölze. Zu bemerken ist jedoch die Konkurrenzsituation, die dort zu dem angrenzenden Waldbestand gegeben ist: Das Wachstum der Waldrandbäume wird durch den Standort (vermehrte Bodenfeuchte, höherer Lichtgenuss) in soweit gefördert, dass sie z. T. beschattend auf die am Haldenfuß stehenden Pioniere wirken. Andererseits ist der Haldenfuß in Waldrandlage sehr dicht mit Pioniergehölzen bestockt; durch unmittelbare inter- und intraspezifische Konkurrenz wird das Höhenwachstum der bereits Vorwüchsigen gefördert.

In der sich auf der Südflanke schlauchförmig etablierten Baumgruppe, die ausschließlich aus *Betula*-Individuen besteht, wurden Höhen zwischen 6,5 und 9,0 m, im Mittel bei 7,5 m, ermittelt. Die Durchmesser schwankten innerhalb der Grenzen von 6,5 und 18,0 cm und lagen durchschnittlich bei 10,3 cm. – Die h/d-Verhältnisse lagen zwischen 42 und 108, wobei die meisten Individuen als „stabil“ einzustufen sind.

Vereinzelt ist an der Südflanke deutlicher Säbelwuchs sichtbar. Aus den früheren Seitenzweigen haben sich mittlerweile, dem Hauptbaum architektonisch ähnlich, Strukturen gebildet, die ebenso als monopodial, orthotrop und rhythmisch wachsend zu beschreiben sind und dem Modell RAUH entsprechen (s. RAUH, 1939, HALLÉ et al., 1970, BARTELS, 1993).

In Richtung Westflanke bzw. an der Westexposition verliert sie zugunsten von *Pinus sylvestris* an Einfluss. *Betula* hat an dieser Exposition deutlich geringere Höhen und Durchmesser entwickelt: Die Höhenwerte der vorwüchsigen Exemplare lagen in der



Regel zwischen 5,5 und 6,5 m, erreichten vereinzelt bis zu 9,5 m; an Durchmessern wurden Stärken zwischen 7,0 und 10,5 cm gemessen.

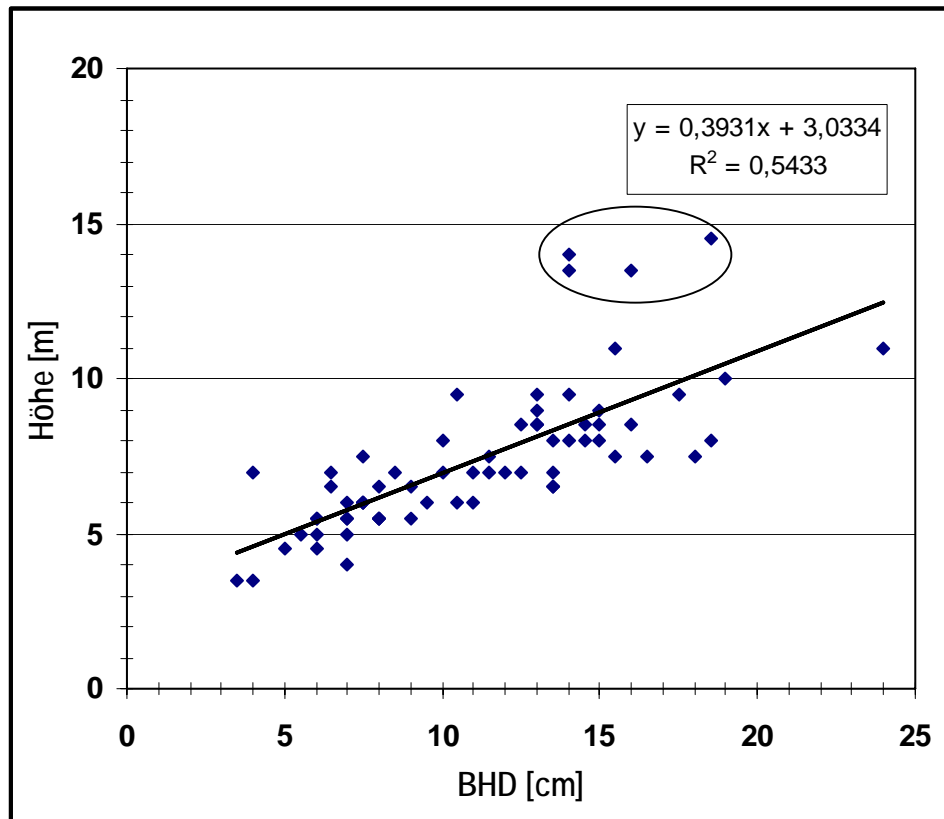


Abb. IX/4: Ermittelte Brusthöhendurchmesser (in 1,3 m Höhe) und Baumhöhen von *Betula pendula* (n = 68) auf der Halde III mit dargestellter Korrelationsgerade (vergl. ZÖFEL, 1992). Die markierten Messpunkte gehören zu den am Haldenfuß in intraspezifischer Konkurrenz aufwachsenden Individuen.

An der Nordflanke wachsen die älteren Exemplare von *Betula pendula* vom Haldenfuß – dort schon relativ dichtstehend wie an der Südflanke – in Richtung der Plateaus A, B, C in meist lockerer Form, einzeln oder in Trupps. Durchsetzt sind sie mit Einzelindividuen oder Kleintrupps von *Pinus sylvestris*, weiter in Richtung Ostflanke nimmt der Anteil von *Betula* zugunsten von *Populus tremula* ab. In einer langgezogenen, zum Haldenplateau A hinführenden Mulde gedeihen *Betula*-Individuen, vergesellschaftet mit *Pinus sylvestris*, schon seit ungefähr zwei Jahrzehnten. Sie haben Höhen bis zu 9,5 m entwickelt, ihre Durchmesser erreichen selbst am Oberhang Maximalwerte bis zu 17,5 cm. Diese Bäume zählen zu den ältesten, abseits vom Randbereich des Haldenfußes vorkommenden Exemplaren. – Neben diesem Gehölzstreifen haben sich am Oberhang einige Vertreter von *Betula pendula* im Laufe der vergangenen Jahre angesiedelt, die mittlerweile Höhen zwischen 3,0 und 4,5 m entwickelt haben. – Im Mittelhambereich steigen die Höhenwerte von 3,5 m aufwärts bis zu 11,0 m bei den ältesten Individuen; gleichzeitig ist eine BHD-Spannbreite von 7,0 bis 15,5 cm ermittelt worden. – Zum Unterhang hin nimmt der Bestockungsgrad zu, *Betula pendula* dominiert hier überdeutlich. Direkt am Haldenfuß steigt, bedingt durch dichte Bestockung, der Einfluss

der intraspezifischen Konkurrenz und lässt Höhen zwischen 8,0 und 14,5 m zu, der BHD der kräftig entwickelten Bäume schwankt zwischen 12,5 und 18,5 cm.

Die Ostflanke ist insgesamt mit nur wenigen *Betula*-Exemplaren – vorwiegend am Unterhang – bestockt, die z. T. strauchförmig wachsen. Höhen von 2 bis 3,5 m Metern bei Durchmessern bis zu 6,0 cm sind hier festgestellt worden.

Auf allen 4 Plateaubereichen sind ältere Bäume von *Betula pendula* zu finden, die bereits bei den ersten Begrünungsversuchen Anfang der 80er Jahre dort schon wuchsen und somit ein Mindestalter von 20 bis 25 Jahren besitzen. Die Maximalhöhen dieser Individuen umfassen, unter Berücksichtigung aller Plateaubereiche, einen relativ engen Rahmen von 8,0 bis 9,5 m bei BHDs zwischen 14,0 und 16,5 cm.

Aufgrund der ermittelten h/d-Verhältnisse sind die meisten Bäume von *Betula pendula* als stabil anzusehen, da sie zum einen häufig niedrige Werte besitzen, zum anderen meist in Form von Einzelexemplaren stocken.

Der Baumart *Pinus sylvestris* kommt auf dem zum Werksstandort gerichteten Südflankenbereich eine untergeordnete Bedeutung im Vergleich zu *Betula* zu. Vereinzelt Individuen stocken hier vornehmlich am Unterhang zum Haldenfuß hin. Mit Höhen zwischen 3,0 und 4,0 m bei Brusthöhendurchmessern von 5,0 bis 7,5 cm ist die bisherige Wachstumsleistung der ca. 15-jährigen Bäume nicht als hoch einzustufen (Abb. IX/5).

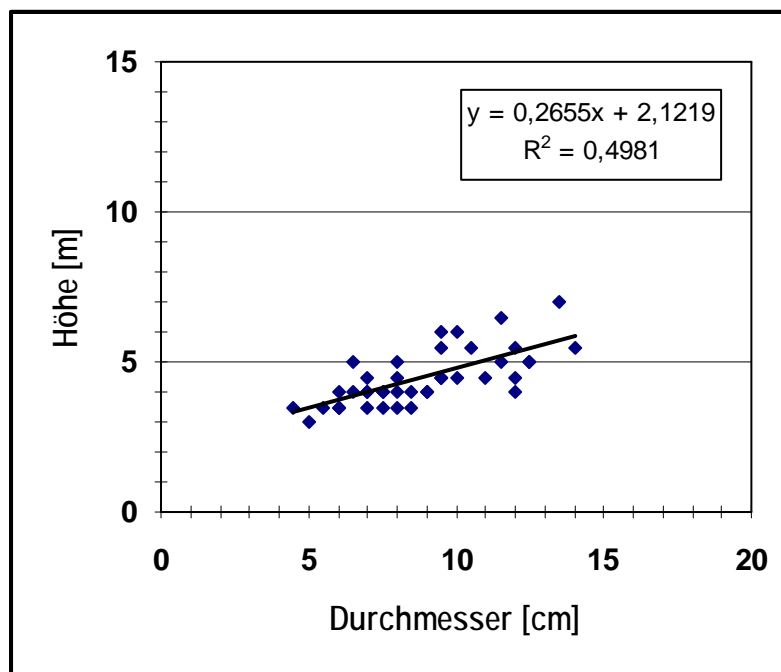


Abb. IX/5: Ermittelte Brusthöhendurchmesser (in 1,3 m Höhe) und Baumhöhen von *Pinus sylvestris* (n = 40) auf der Halde III mit dargestellter Korrelationsgerade.

Z. T. ist die Kulmination des jährlichen Höhenzuwachses bei einigen Individuen überschritten, was sich in den abnehmenden Jahrestrieblängen widerspiegelt (Abb. IX/6).

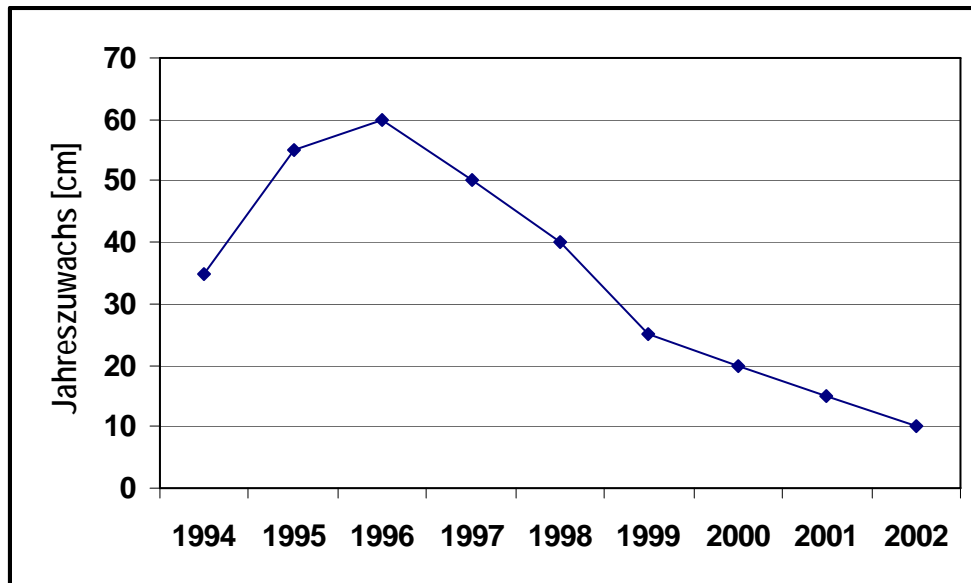


Abb. IX/6: Entwicklung der Jahrestrieblängen an einer am Mittelhang der südexponierten Flanke stehenden *Pinus sylvestris* (15-jährig) während der letzten 9 Vegetationsperioden.

Seit 1994 stieg der jährliche Jahrestriebzuwachs an und erreichte 1996 mit 60 cm seinen höchsten Wert; von diesem Zeitpunkt nahm er wieder kontinuierlich ab und fiel in der letzten Vegetationsperiode auf 10 cm Jahrestrieblänge ab.

Mit zunehmender Annäherung an den Waldbestand steigt auch langsam die Besiedlungsdichte von *Pinus sylvestris* an der in Hauptrichtung Süden exponiert liegenden Flanke. Das Höhen- und Dickenwachstum erreicht hier Maximalwerte von 6,0 m bzw. 9,5 cm BHD.

Wie schon angedeutet, nimmt *Pinus* an der Westflanke die führende Stellung ein. Mit Höhen zwischen 4,0 und 6,5 m liegt sie jedoch nicht auf dem höheren Niveau von *Betula pendula*, ihre Durchmesser (bis 11,5 cm) fallen aber stärker aus.

Während am Oberhang der Nordflanke neben einem *Pinus*-Exemplar von 5,0 m Höhe und 11,5 cm BHD sich noch keine weiteren stärkeren Exemplare etabliert haben, konnten am Mittelhang Individuen zwischen 3,5 und 5,5 m Höhe gemessen werden; ihre BHDs lagen innerhalb eines Rahmens von 7,0 bis 12,0 cm. Am Unterhang ist *Pinus* relativ wenig vertreten. Die ermittelten Werte liegen auf ähnlichem Niveau wie die des Mittelhanges.

Auf der Ostflanke sind am Unterhang nur 3 Vertreter dieser Art nachgewiesen worden, deren Höhen zwischen 2,5 und 3,5 m gemessen wurden.

Bei den am besten entwickelten Individuen auf den 4 Plateaubereichen bewegten sich die Höhen zwischen 4,5 und 7,0 m; ihre BHDs lagen in Grenzen von 9,5 und 14,0 cm. Somit ergaben sich für alle gemessenen Bäume geringe h/d-Verhältnisse, die einen Garant für Stabilität bedeuten.

Ältere, hochgewachsene Bäume von *Populus tremula* sind nur vereinzelt auf dem Haldenkörper auszumachen. Bei den wenigen, die verfügbar und zugleich repräsentativ sind, wurden relativ einheitliche Höhen zwischen 4,5 und 5,5 m gemessen; ihr BHD schwankte indessen von 3,0 bis 9,0 cm. Somit liegt bei einigen der h/d Wert deutlich über 100, aufgrund des ausgeprägten Wurzelsystems dieser Baumart ist jedoch keine Stabilitätsgefahr hinsichtlich Sturmwurf gegeben. – Die im Randbereich des Haldenfußes zum Waldbestand stockenden Bäume wurden nicht in die Aufnahme mit einbezogen, da sie zwar schon älter sind und eine stärkere Dimension besitzen, unter dem Druck höher gewachsener Exemplare von *Fagus sylvatica* jedoch abgeknickt worden sind oder stark beschattet werden.

Die Pionierbaumart *Salix caprea* gedeiht auf dem Haldenkörper in der Regel strauch- oder baumförmig, dann aber meist tiefer verzweigend. Zu den kräftigsten und ältesten Exemplaren dieser Art zählt jenes mit einer Höhe von 4,0 m und einem BHD von 5,5 cm.

Das einzige, in den Messbereich fallende Individuum von *Picea abies* siedelt auf dem Mittelhangbereich der Südflanke und hat bei einer Höhe von 3,0 m einen BHD von 6,0 cm entwickelt. Andere Exemplare dieser Art haben auf der Westseite am Oberhang bzw. auf Plateau A bei einer Gesamthöhe von unter einem Meter bereits ein Alter von über 10 Jahren. Das Höhenwachstum dieser Art beläuft sich auf wenige Zentimeter pro Jahr, so dass die Astquir labstände äußerst gering sind.

Ein Exemplar von *Larix decidua* stockt auf dem Plateau A mit einer Höhe von 4,5 m und einem Brusthöhendurchmesser von 7,5 cm.

Als letzte Baumart soll noch *Robinia pseudoacacia* erwähnt werden, die seit ca. 7 Jahren an der Südflanke wächst und bisher eine Höhe von 5,0 m bei einem BHD von 6,5 cm erreicht hat.

## 4. Diskussion

Nachfolgend wird auf die krautigen Arten sowie die häufigsten Pionierbaumarten der natürlich bedingten Haldenvegetation eingegangen.

Bei der Besiedlung der Halde III durch Pflanzen im Rahmen der natürlichen Sukzession wurde bis Ende 1997 das Wachstum als auch die Artenzusammensetzung im Wesentlichen durch den Einfluss des Wildes (Rehwild) relativ stark beeinflusst.

SCHMEISKY et al. (1993) konnten während der in 1990 auf der Halde III durchgeführten Vegetationsaufnahmen in 17 Versuchsparzellen insgesamt 45 **krautige Arten** nachweisen. – Bis zum Ende der Untersuchungen in dieser Arbeit hatten sich insgesamt 72 krautige Arten eingefunden, so dass sich das Arteninventar seit 1990 um 60 % vergrößert hat.

Bis zur Errichtung des Wildzauns sind somit die meisten krautigen Arten bereits schon beim Aufwachsen so stark verbissen worden, wie auch SCHMEISKY et al. berichten, dass der verbleibende Rest einer Pflanze abstarb oder zumindest die Ausbreitung der

Exemplare durch ein fehlendes Fruktifikationsstadium stark eingeschränkt war. Mit Sicherheit wurde nicht nur die weitere Ausbreitung auf der Halde eingeschränkt, sondern in einigen Fällen blieb gar eine Ansiedlung bestimmter Arten aus. – Nach der Errichtung des Wildzauns im Winter 1997/1998 konnte bereits in der folgenden Vegetationsperiode ein stellenweise üppiges Wachstum von Arten der Kahlschlagsflora (z. B. *Epilobium*-Arten) beobachtet werden. In den Folgejahren nahm die Verbreitung besonders auf der West- und Nordflanke inmitten der getätigten Gehölzpflanzungen zu. – MÜLLER-SCHNEIDER (1986) weist auf die vorwiegend anemochore Verbreitung von *Epilobium* hin. – Aufgrund ihrer Untersuchungen zur Ausbreitung von *Epilobium angustifolium* folgern SOLBRECK & ANDERSSON (1987) aus der ermittelten Vertikalverteilung von Diasporen bis in 94 m Höhe, dass die Fernausbreitung bei dieser Art eher die Regel ist und ein Großteil der Diasporen in höheren Luftschichten über mehrere Kilometer verweht werden kann. – Bei der Besiedlung einer großflächigen Schuttlawine waren die Diasporen von *Epilobium angustifolium* nach Beobachtungen von DALE (1989) die am häufigsten eingetragenen. Auf die besondere Verbreitung durch an Schuhen befindlichen Substratmaterialien mit Diasporenbesatz verweist CLIFFORD (1956), der neben der vorgenannten Art auch Vertreter der Gattungen *Cerastium*, *Sagina*, *Spergula*, *Stellaria* sowie *Senecio* und *Cirsium* nachweisen konnte. – Somit hat sicherlich auch eine weitere Verbreitung von Arten auf der Halde, die bei den Diasporenuntersuchungen im Rahmen dieser Arbeit nachgewiesen wurden, durch die Begehungen auf der Halde stattgefunden. – Bei *Cirsium vulgare* liegt die natürliche Ausbreitungsentfernung jedoch erheblich unter der von *Epilobium*. Nach KLINKHAMER et al. (1988) breiteten sich gut 2/3 der Diasporen in einem Umkreis der samentragenden Mutterpflanzen von ca. 2 m aus, nur 10 % weiter als 32 m. – BONN & POSCHLOD (1998) weisen auf die Besiedlung von Schutt- und Erdablagerungen in siedlungsnahen Bereichen durch *Chenopodium album*, *Lactuca serriola*, *Sonchus asper* und *Taraxacum officinale* hin; diese Arten wurden im Rahmen der Diasporenuntersuchung des Haldensubstrats ebenfalls festgestellt.

Die stolonenbildende Art *Calamagrostis epigeios* dehnt sich in den letzten Jahren immer weiter von ihren ursprünglichen Horsten aus. Sie besitzt zum einen eine erosionsmindernde Wirkung, zum anderen erlaubt sie im nicht zu dichten Stadium eine Ansiedlung von Gehölzen. REBELE (1996a, 1996b) hat sich mit Ausbreitung und Vegetationsentwicklung dieser Art auf natürlichen, anthropogenen und technogenen Böden bzw. Substraten beschäftigt.

Krautige Arten, die ein hohes Samenpotenzial besitzen, wie *Sonchus asper* oder *Coryza canadensis*, verbreiten sich ziemlich rasch, insbesondere wenn Nährstoffe in Form von mineralischem Dünger oder Kompost zugegen sind. Die Ansiedlung von annuellen Pflanzen wird dadurch besonders begünstigt. In den Versuchen zur Überprüfung des Diasporenvorrates im Haldensubstrat wurden diese Arten sehr häufig angetroffen.

Die entlang von Straßenrändern durch Salzbeeinflussung vorkommende Art *Puccinellia distans* wird nachweislich von KRACH & KOEPFF (1979) durch Fahrzeugreifen verbreitet, womit eine Haldenerstbesiedlung durch diese Art zu erklären wäre. SCHMEISKY et al. (1993) haben in Vegetationsaufnahmen auf der Halde im Jahr 1990 *Puccinellia distans* mit einer Stetigkeit von 12 % in den Versuchspartzellen, jeweils nur in Form von Einzel-exemplaren vorkommend, gefunden. In den vergangenen Jahren hat sich die Art au-

genscheinlich weiter ausgebreitet. Zu Beginn der Untersuchungen war sie relativ häufig an den unteren Flankenbereichen des Südhangs zu beobachten, wanderte dann allmählich hangaufwärts und siedelt heute auf einigen Plateauflächen sowie an anderen Flanken, insbesondere im Osten, ziemlich regelmäßig. Die Art ist auch im Rahmen von Kartierungen in der Heringer Aue nachgewiesen worden.

Nach RUNGE (1994) ist *Puccinellia distans* die Assoziationscharakterart des *Puccinellietum distantis* (Salzmieren-Rasen); diese Pflanzengesellschaft ist an küstennahen Gebieten unter dem Einfluss von Meerwasser, begleitet von gelegentlichen Überflutungen, zu finden. RUNGE weist auf die Besiedlung von Binnensalzstellen, wie Salinen und Salzquellen, durch diese Art hin; allerdings fehlen im Binnenland die meisten Arten dieser Pflanzengesellschaft, da die Gegebenheiten auf einem Haldenkörper eher einem trockenen Milieu entsprechen. Auch GUDER et al. (1998) belegen das Artvorkommen im Einflussbereich von Rückstandshalden der Kaliindustrie im nördlichen Harzvorland. Dort wurde sie ebenfalls in Gräben, am Haldenfuß und auf dem Haldenkörper, z. T. häufig vorkommend, nachgewiesen.

Das plötzliche Auftreten von *Gypsophila scorzonrifolia* in der vergangenen Vegetationsperiode (2002) im Grabenbereich der Südflanke ist eher durch Ornithochorie begründbar. Im Umfeld der Halde Hera, nahe dem Werksstandort Philippsthal der K+S Kali GmbH, wurde diese Art bereits seit längerem beobachtet (s. HOFMANN et al., 2000). GUDER et al. (1998) verweisen auf das Vorkommen der Art an Haldenfüßen und auf Haldenoberflächen der Rückstandshalden im nördlichen Harzvorland.

Von den 72 nachgewiesenen krautigen Arten auf der Halde ist keine auf Bundesebene (Rote Liste) gefährdet; einige von ihnen wurden allerdings in die Listen der Bundesländer mit aufgenommen (s. Tab. IX/9).

Ähnlich war zunächst die Ausgangssituation junger **Gehölze** vor Untersuchungsbeginn:

Durch Verbiss der Terminaltriebe blieben die jungen Gehölze über viele Jahre hinweg im Sämlingsstadium, daraus entwickelten sich vereinzelt bonsaiartig anmutende Wuchsformen. SCHMEISKY et al. (1993) berichten von nicht durchführbaren Messreihen an *Populus tremula* aufgrund starken Wildverbisses. STAGL (2000) weist in diesem Zusammenhang auf die außerordentliche Verbissbelastung an jungen, künstlich angesiedelten Pflanzen hin, die durch gute Nährstoffversorgung in der Baumschule, im Forstpflanzgarten oder durch Düngung besonders schmackhaft sind.

Erst nach dem Bau eines rehwildsicheren Wildzaunes normalisierte sich langsam das Höhenwachstum zurückgebliebener Gehölze, allerdings oftmals mit mehrstämmigen Aufbau oberhalb der früheren Verbissstelle.

Während SCHMEISKY et al. (1993) in den Vegetationsaufnahmen von 1990 schon 7 Gehölzarten auf der Halde III nachweisen konnten, fand LÜCKE (1997) im Rahmen seiner Untersuchungen bereits 11 Gehölzarten.

Tab. IX/9: Arten der Roten Listen – Deutschland und die Bundesländer (Quelle: Bundesamt für Naturschutz, 2003).

*Abkürzungen:* 0 = ausgestorben / verschollen, 1 = vom Aussterben bedroht, 2 = stark gefährdet, 3 = gefährdet, 4 = potenziell gefährdet, R = extrem selten (entspricht 4 bei den Roten Listen der Länder), G = Gefährdung anzunehmen, D = Daten mangelhaft, \* = vorkommend / ungefährdet, n = Neophyt, u = unbeständige Art, – = im jeweiligen Gebiet nicht vorkommend

Rote Liste	Bromus tectorum	Campanula rapunculus	Leontodon hispidus	Leucanthemum vulgare	Mellilotus altissimus	Puccinellia distans	Spergularia media	Spergularia salina	Tripleurospermum maritimum
Deutschland	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Schleswig-Holstein (1990)	3	1n	3	*	*	*	*	*	4
Niedersachsen u. Bremen (1993)	*	*	*	*	*	*	*	*	4
Mecklenburg- Vorpommern (1992)	*	*	3	2	2	*	*	*	2
Brandenburg u. Berlin (1993)	*	*	3	3	*	*	-	1	-
Sachsen-Anhalt (1992)	*	4	*	*	3	*	2	*	-
Sachsen (1999)	*	1	*	*	1	*	-	-	-
Thüringen (1993)	*	*	*	*	*	*	1	*	-
Hessen (1996/1999)	*	*	*	*	*	3	-	3	-
Nordrhein-Westfalen (1999)	*	*	*	*	*	*	0	2	-
Rheinland-Pfalz (1986)	*	*	*	*	*	2	-	1	-
Saarland (1988/1993)	*	*	*	*	*	*	0	-	-
Baden-Württemberg (1999)	*	*	*	D	*	*	Rn	0	-
Bayern (1987)	*	*	*	*	*	*	-	0	-
Hamburg (1998)	*	1	1	3	0	n	-	u	-
Berlin (2001)	*	u	3	n	0	*	-	-	-

Die in dieser Arbeit getätigten Untersuchungen an Gehölzen verdeutlichen den Schwerpunkt der Baumart *Betula pendula* auf der Halde III: Sie hat zu Beginn der natürlichen Sukzession die Halde als am häufigsten anzutreffender Pionier besiedelt, so dass mittlerweile die größten Exemplare über 10 m Höhe messen. Von den fruktifizierenden Individuen aus verbreiten sich gegenwärtig in Mulden und Vertiefungen, die mit Streu belegt sind, kleine Sämlinge. Bei fehlenden Streuauflagen geht die Besiedlungsdichte stark zurück, da der Haldenkörper kräftig umwindet wird und herabfallende Samen keinen Halt haben, um im Frühjahr zu keimen. Ohne Streuauflage bildet sich bei relativ schneller Austrocknung der Oberfläche eine kristalline Schicht, die ein Auflaufen von Vegetation vielfach verhindert. – Dass vor allem in von fruktifizierenden Exemplaren beeinflussten Haldenbereichen das Auflaufverhalten von *Betula pendula* sehr hoch ist, haben die Untersuchungen zu keimfähigen Diasporen im Haldenmaterial gezeigt: Bis zu einige Hundert von Sämlingen entwickelten sich in Substratproben von jeweils 30 x 30 x 3 cm (BxTxH), entsprechend einer Menge von 2.700 cm<sup>3</sup>. Da die Samen von *Betula* klein bemessen sind, können sie bereits von geringen Widerständen, die die Haldenoberfläche strukturieren (Streu, Kleinäste, Holz etc.), gehalten werden. – Diese zu den protokratischen Gehölzen gehörende Art *Betula pendula* werden nach LANG (1994) Wanderungsgeschwindigkeiten zwischen 250 m und 2.000 m unterstellt, so dass sich Ausbreitungssprünge von 2,5 bis 20 km ergeben können, wenn die Wanderungsgeschwindigkeit mit dem Blühreifealter (10 Jahre) multipliziert wird. – Da der Waldbestand in unmittelbarer Umgebung der Halde ebenfalls einige Birken beherbergt, ist das frühere Ankommen der Art auf der Halde leicht erklärbar.

Nach SCHÜTT et al. (2002) ist *Betula pendula* eine Baumart, die maximale Höhen bis zu 30 m entwickeln und ein Alter von bis zu 120 Jahre erreichen kann. Hauptsächlich gedeiht sie in lichten Laub- und Nadelwäldern, hier vor allem an Waldrändern, auf Brachflächen sowie nährstoffarmen Heiden. WALENTOWSKI (2000) beschreibt *Betula pendula* als Rohbodenpionier – z. B. an Böschungen, auf Abraumhalden – als Kahlschlagszeiger oder als Zeiger für Waldübernutzung, beispielsweise in streugenutzten *Pinus*-Krüppelwäldern. – POTT (1995) und KÜSTER (1995, 1998) weisen auf die Bedeutung von *Betula* als Pionier im Rahmen sekundärer Sukzessionen hin.

*Betula pendula* gilt als anspruchsloser, standorttoleranter Ubiquist. Bedingt durch Konkurrenzdruck anderer Baumarten wird sie meist auf feuchte oder trockene, saure Böden abgedrängt. Sie gilt als frostharte Licht- und Pionierbaumart, die vorwaldähnliche Strukturen bildet; über diese Vorzüge berichtet NÜSSLEIN (2000). – Einige fortgeschrittene Bestandsstrukturen mit älteren Exemplaren auf der Halde III spiegeln eine ähnliche Vorwaldsituation wider.

In weiterentwickelten Waldgesellschaften stockt sie neben *Quercus* und ist ebenso vergesellschaftet mit Gebüsch aus *Cytisus scoparius* und *Frangula alnus*, wie es WALENTOWSKI (2000) und OBERDORFER (1978, 1992) darstellen.

MÖSSNANG (2000) bezeichnet *Betula pendula* als eine Baumart des nördlichen Europas mit Anteilen am Waldaufbau bis zu 30 %. Anders als in Mitteleuropa, wo sie als reine Pionierbaumart einzustufen ist, gilt sie im Norden als bestandesbildende Schlusswaldbaumart, die mit *Picea abies*, *Pinus sylvestris* und *Populus tremula* vergesellschaftet ist.



Die Eigenschaften, die *Betula pendula* als raschwüchsige und konkurrenzstarke Pionierbaumart in Mitteleuropa auszeichnen sind:

- rasches Jugendwachstum der Wurzeln in die Tiefe und Breite,
- hohe Reaktionsfähigkeit auf Wasser- und Nährstoffangebot
- sowie einen geringen Nährstoffbedarf

MRAZEK (1998) erwähnt in seinen Ausführungen nicht nur die Eigenschaften von *Betula pendula* als Pionierbaumart, sondern auch die erstaunliche Verträglichkeit dieser Art mit *Pinus sylvestris*. Selbst bei nicht zu dichten Vegetationsdecken mit *Calamagrostis epigeios* vermag sie sich zu behaupten, weswegen der Status von *Betula* auch im Wirtschaftswald aufwertungswürdig ist.

In Bezug auf die gemessenen Höhen und Durchmesser der vorwüchsigsten Individuen von *Betula pendula* lassen sich Vergleiche zu üblichen Waldstandorten herleiten. Doch bedarf es der ausdrücklichen Anmerkung, dass Waldbestände in der Regel dichter bestockt sind als die mit älteren Birken besiedelten Kleinflächen der Halde (s. Abb. IX/7), so dass ein Vergleich mit Ertragstafelwerten nur bedingt zulässig ist.



Abb. IX/7: Älteres Sukzessionsstadium von *Betula pendula*.

Die kräftigsten Birken, deren Alter aufgrund ihrer Dimension und Standortes (Haldenfuß) Höhen bis fast 15 m entwickelt haben und in einem quasi-geschlossenen Bestandesteil stehen, erreichen nach Lockow (1996), der für die Bundesländer Mecklenburg-Vorpommern und Brandenburg eine überarbeitete Ertragstafel für *Betula pendula* aufstellte, eine relative Höhenbonität der Stufe III, was einer mittleren Wuchsleistung ent-

spricht; direkt auf dem Haldenkörper befindliche Exemplare dieses Alters – mit deutlich geringerem Wuchsniveau – sind der Stufe V zuzuordnen, was die sehr schlechten Wuchsbedingungen verdeutlicht. Allerdings ergibt sich bei der Betrachtung des Durchmessers (BHD) in Abhängigkeit des Alters nach LOCKOW bzw. der älteren Ertragstafel von SCHWAPPACH (1903) ein besserer Bonitätsgrad der Stufe II (vergl. SCHÖBER, 1987). Aufgrund des lockeren Verbandes ist die Abholzigkeit der gemessenen Exemplare relativ hoch, das Höhenwachstum eher als „verhalten“ zu bezeichnen. Damit liegen die errechneten h/d-Werte in einem Bereich, der die im geschlossenen Bestand stehenden Bäume als „stabil“ einstuft.

GULDER (2000) geht auf das Wurzelwerk von *Betula pendula* ein und bewertet zunächst den Kenntnisstand darüber als dürftig. – Bei ungestörter Entwicklung bildet sie zunächst ein Herzwurzelsystem (KÖSTLER et al., 1968), welches sich bei Basenarmut oder Bodenverdichtung zu einem senkerwurzelartigen Typ entwickeln kann. Über das Wachstum von Birkenwurzeln auf armen Sandböden berichtet ERTELT bereits 1942. So liegt in lockeren Böden der Hauptwurzelhorizont (= Tiefenstufe im Mineralboden, in der ungefähr 70 % des gesamten Wurzelwerks angelegt sind) bei 50 bis 60 cm, in dichten Böden bei nur 35 bis 40 cm, während wechselfeuchte und feuchte Standorte nur oberflächennah erschlossen werden.

SÄNGER (2003) hat in seinen Untersuchungen beobachten können, dass *Betula pendula* schon im frühesten Jugendstadium mit der Ausbildung eines sich stark verzweigenden Wurzelsystems beginnt. Dabei werden sowohl Horizontal- als auch Vertikalwurzeln deutlich ausgebildet. Er beschreibt die typische Ausbildung eines oberflächennahen Wurzelsystems, bei dem sich der Hauptwurzelhorizont in Tiefen zwischen 10 und 20 cm befindet. SÄNGER (1993) geht auf die büschelartige Aufzweigung der Feinstwurzeln bei jungen Exemplaren ein, die sich erst in einem Alter von ca. 12 Jahren verliert. Dabei weist er insbesondere auf die Tellerwirkung dieser Art hin, indem *Betula* eine weitreichende Konkurrenz um Wasser und Nährstoffe gegenüber anderen Pflanzenarten erreicht. – Zu diesem Ergebnis haben auch die Untersuchungen auf der Halde III geführt, die ein ausgesprochen weitausgebildetes Wurzelwerk dieser Art im Lockersubstrat erkennen ließen. Die Jungpflanzen zeigten ebenfalls ein intensiv verzweigtes Wurzelsystem. – WOLF (1985) führt die beachtenswerte Wurzelfläche von 200 m<sup>2</sup> in Bezug zu einer Kronenfläche von 7 m<sup>2</sup> an.

Die tiefsten Wurzeln erreichen nach GULDER (2000) in lockeren Böden durchschnittlich 70 bis 120 cm; wenn keine Stauhorizonte und Grundwassereinflüsse gegeben sind, entwickeln sie sich jedoch bis in Maximaltiefen von 350 bis 400 cm. Bereits im Alter 10 bis 12 werden Tiefen von 100 cm und mehr durchwurzelt.

Obwohl die Substratverhältnisse der Lockerschicht auf der Halde III aufgrund ihrer geringen Lagerungsdichte und neutralem pH-Wert entsprechend tiefe Durchwurzungen zulassen könnten, ist jedoch die Mächtigkeit dieser Schicht (60-100 cm, stellenweise auch weniger) als zu gering zu bezeichnen, weswegen eine Durchwurzlung in weiteren Tiefen nicht möglich ist. – Auch SÄNGER (2003) weist auf die Anpassungsfähigkeit von *Betula pendula* an unterschiedliche Standortfaktoren einer Halde hin. – In anderen Untersuchungen an 10- bis 20-jährigen *Betula*-Individuen auf Halden des Uranbergbaus kommen HEINZE & SÄNGER (1996, 1999) zu dem Ergebnis, dass sehr lockeres Bergematerial (Schiefer) von dieser Art tief und intensiv durchwurzelt werden kann.

Dabei sind Tiefen des Gesamtwurzelsraumes von 110 cm bei einer Feinwurzeldichte von 16 /dm<sup>2</sup> ermittelt worden.

Die Ausbreitung der Horizontalwurzeln erfolgt nach GULDER (1999, 2000) sehr weit; sie erreichen durchschnittliche Längen von 350 cm, z. T. auch bis über 700 cm. – Im Rahmen dieser Arbeit wurden an Rändern der ältesten Birkengruppen Seitenwurzellängen von über 10 m nachgewiesen. – Auf norddeutschen Sandböden wurde im Zuge von Wurzeluntersuchungen folgendes Phänomen beobachtet: Hauptseitenwurzeln, die mehrere Meter oberflächennah streichen, dann plötzlich senkrecht nach unten abknicken und Tiefen von bis zu 300 cm erreichen. Weiterhin wurde eine gleichmäßige, z. T. auch eine sehr unregelmäßige Seitenanordnung festgestellt.

Die Baumart ***Pinus sylvestris***, die ebenfalls recht häufig auf dem Haldenkörper siedelt, vermehrt sich auf dem Lockersubstrat der Halde generativ. Wenn auch nur vereinzelt stehend, findet man jedoch kleine Sämlinge auch an den Stellen, die keine Streuauflage haben und wo sich bei Austrocknung eine oberflächennahe kristalline Schicht ausbildet. Von Natur aus bildet *Pinus* ein Pfahlwurzelsystem aus (KÖSTLER et al., 1968); ältere Kiefern können nach RÖHRIG & BARTSCH (1992) Wurzeltiefen von 3 bis 6 m erreichen. Sie beschreiben weiterhin, dass die Art auf sehr trockenen, humusarmen Böden oft flach wurzelt; dagegen können die horizontal verlaufenden Wurzeln bereits im Alter von 10 Jahren Längen von mehr als 3 m ausgebildet haben. KALININ (1983) und POLOMSKI & KUHN (1998) verweisen auch auf die Ausbildung flachen Wurzelwerks in Böden mit sehr tiefem Grundwasserspiegel. – Die im Rahmen dieser Arbeit festgestellten Ausmaße der Wurzeltracht bei *Pinus* deckt sich mit den zuvor beschriebenen Sachverhalten. Allerdings begünstigt nicht nur das nährstoffarme Haldenlockersubstrat die Ausbildung eines flachen Wurzelsystems bei dieser Art, sondern vielmehr der unterhalb der Lockerschicht befindliche harte Salzkörper lässt aufgrund seiner physikalischen und chemischen Beschaffenheit kein tieferes Wurzelwachstum zu.

Die oberirdischen Wuchsleistungen von *Pinus sylvestris* befinden sich ebenso im Bereich der schlechteren Bonitätsgrade, die bisher entwickelten Durchmesser der ältesten Exemplare sind dagegen besser zu bewerten. Daraus errechnet sich in der Regel ein günstiger h/d-Wert, der bei vielen Exemplaren z. T. deutlich unter 60 liegt. Auch bei *Pinus* ist die starke Abholzigkeit der Exemplare deutlich sichtbar. – Bei einigen Individuen ist der Punkt der Kulmination, also der Zeitpunkt, nach dem das intensivste Höhenwachstum wieder langsam abnimmt, überschritten; deutlich niedrigere Höhenzuwächse sind erkennbar (vergl. SCHÖBER, 1987). – Daraus ist zu folgern, dass die Besiedlung der Halde III durch die Baumart *Pinus sylvestris* langfristig stabile Individuen entstehen lässt.

Die zweite wichtigste Laubbaumart auf der Halde III ist ***Populus tremula***. Sie stammt vermutlich aus generativer Vermehrung, bedingt durch die in direkter Umgebung siedelnden Exemplare. Durch Begrünungsmaßnahmen und Pflanzungen, über die SCHMEISKY et al. (1993) berichtet haben, konnten sich die gepflanzten Exemplare durch Wurzelbrut weiter vermehren. Auf Flächen des Nordhangs sowie im Plateaubereich ist die Art bereits üppig verbreitet. – KÖSTLER et al. (1968) verweisen auf die starke Vertikaltendenz des Wurzelwerks dieser Art hin, bei dem mindestens 40 bis 50 % der Wur-

zelmasse auf Vertikalwurzeln entfallen und berichtet weiter: „Im ersten Lebensjahr wird ... eine kräftige Pfahlwurzel ausgebildet, die ... bereits nach einigen Jahren ... im Wurzelbild zurücktritt. Schon im Jungwuchsalter ... besteht eine klare Trennung zwischen horizontalen und vertikalen Wurzeln; ... Vom 10. bis 15. Lebensjahr an finden sich an den Hauptseitenwurzeln die ersten schwachen Senker, die später den Wurzeltyp bestimmen. ... Bei der Aspe sind die Senker hauptsächlich im engeren Stockbereich konzentriert, wo auch die größeren Wurzeltiefen erreicht werden.“ – Auffällig bei den auf der Halde siedelnden Exemplaren ist vor allem die Ausprägung eines intensiven, horizontal verlaufenden Wurzelsystems mit Wurzelausläufern. Ein ausgeprägtes Feinwurzelwerk an älteren Individuen ist, wie auch KÖSTLER et al. in ihren Ausführungen beschreiben, bei den freigelegten Wurzeln nicht beobachtet worden. Für die Stabilisierung der Haldenoberfläche durch diese Gehölzart ist die Ausbildung von Wurzelbrut entscheidend. In Bereichen mit Rutschungen durch Erosion oder Verlagerung des Lockermaterials in ausgelöste Trichter zeigen die z. T. kräftigen Horizontalwurzeln mit „anhängender“ Wurzelbrut ihre stabilisierende Wirkung.

Die eher vereinzelt auftretende Baumart ***Salix caprea*** zählt ebenfalls zu den reinen Pionierbaumarten. Nach SCHÜTT (2002) gedeiht sie in Waldlichtungsfluren und Gebüsch, an Wald- und Wegrändern, in Feldgehölzen, Kiesgruben und Steinbrüchen, entlang von Gewässern und im Auwald. Sie bevorzugt frische bis feuchte, nährstoffreiche Lehmböden, kann aber auch auf ärmeren Standorten siedeln. Weiterhin gilt sie als raschwüchsiger Pionier auf Rohböden sowie Kahl- und Brachflächen. KREMER (1994) schlägt vor, diese Art auf feuchte, lehmige, nährstoffreiche Standorte zu pflanzen. Auch die FÖRDERGESELLSCHAFT „GRÜN IST LEBEN“ BAUMSCHULEN (1993) gibt keine Empfehlung für die Eignung von *Salix caprea* auf extrem trockenen Standorten.

Da die Verbreitung dieser Art auf der Halde III zwar ziemlich gleichmäßig, jedoch meist in Form von Einzelexemplaren zu finden ist, muss davon ausgegangen werden, dass die Summe der negativen Standortaspekte, hinsichtlich Wasserhaushalt, Nährstoffangebot und Klima eine Ansiedlung zwar nicht unterbinden, jedoch eine Ausbreitung auf dem Haldenkörper bremsen. – Erschwerend hinzukommen dürfte noch der Zeitpunkt einer möglichen Ansiedlung in Form von Samen: Da diese Gehölzart bereits ab Mai keimfähige Samen entwickelt und freigibt, können sie zum einen schnell durch die auf der Halde stattfindenden, z. T. starken Windereignisse fortgetragen werden, zum anderen ist aufgrund der geringen Keimfähigkeitsdauer der Samen von nur wenigen Wochen bei trockenen Witterungsphasen ein Auflaufen, zumal die Substratoberfläche meistens auskristallisiert, nicht möglich. – Bereits bei *Populus tremula*, die eine ähnliche Vermehrungsstrategie während des Sommers besitzt, ist die eher seltene generative Form der Vermehrung auf der Halde erwähnt worden. Der Vorteil von *Populus*, sich trotzdem zu verbreiten, liegt in der Fähigkeit, Wurzelbrut zu bilden.

Die Besiedlung dieser Halde durch Gehölze im Rahmen der natürlichen Sukzession gleicht einer primären Sukzession, wie sie von SCHUBERT (1991) beschrieben wird. Nach der Besiedlung durch Pioniere (Abb. IX/8) wandern nach und nach anspruchsvollere Arten ein.





Abb. IX/8: Durch natürliche Sukzession angesiedelter *Betula*-Sämling.

Wie die Entwicklungsstadien von anspruchsvolleren Baumarten auf der Halde gezeigt haben, ist das vorhandene Nährstoffangebot nicht ausreichend, so dass noch einige Jahre vergehen werden, bis diese Baumarten Nährstoffe aus einem funktionierendem Kreislauf mit entsprechenden Umsetzungsprozessen in genügender Form aufnehmen können.

Durch die vorangetriebenen Begrünungsmaßnahmen (s. a. Abb. IX/9) ist ein schnelleres Erreichen dieses Stadiums, allerdings unter veränderten Bedingungen hinsichtlich der Sukzessionsentwicklung, zu vermuten.



Abb. IX/9: Durch natürliche Sukzession (Hintergrund) und künstliche Begrünungsmaßnahmen (Pflanzung von *Betula pendula* - 1998, Stecklingspflanzung von *Leymus arenarius* - 1983, im Vordergrund) entwickelte Vegetationsbestände auf dem Plateaubereich der Halde III im Jahr 2002.

## **Kap. X: Untersuchungen zur Pflanzenernährung**

### **1. Einführung**

Damit Pflanzen an einem Standort gedeihen können, müssen die Boden- bzw. Substrateigenschaften und die klimatischen Parameter den arteigenen Ansprüchen, zumindest im überwiegenden Maße, gerecht werden.

Der Boden dient zum einen der Verankerung von Pflanzen mittels Wurzeln, zum anderen besitzt er die Funktion als Wasser- und Nährstoffspeicher. Je nach Ausgangssubstrat für die Bodenbildung, die maßgeblich von den Verwitterungseigenschaften der anstehenden geologischen Formation geprägt wird, und deren Nährstoffgehalte sind auch die Potenziale der Nährstoffverfügbarkeit für Pflanzen recht unterschiedlich.

Die jeweiligen klimatischen Gegebenheiten eines Standortes sind in der Hauptsache verantwortlich für die Schnelligkeit und Intensität der Verwitterung der Ausgangssubstrate. – Biomasse, die von Pflanzen produziert wird und durch Vertrocknung, Überalterung oder durch den alljährlichen Samen- und Laubfall abstirbt, wird durch Humifizierung und Mineralisierung der vorher eingebauten Nährelemente meist wieder pflanzenverfügbar, sofern chemisch-physikalische Parameter und die Bodenfauna unterstützend wirken.

*„Wachstum der Pflanzen ist auffällige Naturerscheinung, deren Ursachen und Bedingungen denkende Menschen seit jeher beschäftigt haben.“* (FINCK, 1991). Bereits ARISTOTELES (um 350 v. Z.) als Begründer der Humustheorie bemerkte, dass sich die Pflanze von Humusstoffen, die sie mit den Wurzeln aus dem Boden aufnimmt, ernährt; nach dem Absterben wird die Pflanze wieder zu Humus – ein ewiger Kreislauf. Später entwickelte THAER diese Theorie weiter.

Nach den eher spekulativen Aussagen über das Wachstum von Pflanzen, schloss sich eine Periode mit der Suche nach dem Wachstumsprinzip an, die bis Mitte des 18. Jahrhunderts andauerte. Danach begann die Aufklärung der chemischen und physiologischen Grundlagen für die Pflanzenernährung. Erst im 19. Jahrhundert wurde die sog. „Humustheorie“ widerlegt, als drei bedeutende Forscher die „Mineralstofftheorie“ entwickelten: JEAN BAPTISTE BOUSSINGAULT (1802-1887), CARL SPRENGEL (1787-1859) und JUSTUS VON LIEBIG (1803-1873). Mit seinem Buch „Die Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie“ verhalf VON LIEBIG (1840) der Mineralstofftheorie zum Durchbruch. Besonders prägend formulierte VON LIEBIG 1855 das bekannte Gesetz des Minimums: Der Ertrag wird vom Minimumfaktor begrenzt, d. h. von dem in ungenügender Menge vorhanden Faktor.

Auch wenn in dieser Arbeit nicht mit Boden oder Bodenmaterialien gearbeitet wurde, so ist doch die Frage der Pflanzenernährung, gerade im Hinblick auf das Erreichen eines langfristig gesicherten Vegetationsbestandes, auf der bearbeiteten anhydritisch geprägten Rückstandshalde entscheidend. Zum einen, was die Etablierung einer Pflanzendecke angeht, zum anderen, was das Wachstum und die Stabilisierung der Pflanzen betrifft. Außerdem soll das Haldensubstrat als Medium der Nährstoffbevorratung mit betrachtet werden.

## 2. Untersuchungsspezifische Methoden

Das Haldensubstrat ist Medium für den Standort von Pflanzen als auch für die Nährstoffbevorratung. Die Ernährungssituation der Pflanzen verbessernde Hilfsstoffe, wie Komposte, sowie die verwendeten Substrate wurden bereits vorgestellt. – Die Art der Analysen für die Bestimmung der Nährstoffgehalte von Boden und in Pflanzen ist im Hauptkapitel „Methoden und Materialien“ beschrieben worden.

Die Methodik der Biomassenschnitte sowie deren anschließende Bearbeitung wurde in Kapitel VIII, Abschnitt 1, beschrieben.

Zur Ansprache der vorhandenen Nährstoffsituation dieser Gehölze wurden Beprobungen an der Blattmasse durchgeführt. Dazu fand die Beprobung der Gehölze nach dem völligen Abschluss des Blattentwicklungsstadiums am Ende Juli / Anfang August statt. Bei den Nadelgehölzen erfolgte die Beprobung an einjährigen und zweijährigen Nadeln (*Pinus sylvestris*) und bei *Picea abies* an einjährigen Nadeln.

## 3. Ergebnisse und Diskussion

Um dennoch Übersichtlichkeit trotz vieler Versuchsansaat- und -pflanzungen zu wahren, erfolgt die Darstellung elementbezogen, d. h. nach kurzer Vorstellung eines Nährlements werden die Ergebnisse aufgezeigt und unmittelbar mit anderen Untersuchungen bzw. Literaturwerten verglichen.

Nach der Betrachtung der Makro-Nährelemente (N, P, K, Mg, Ca, S) werden die Analysewerte der Mikro-Nährelemente (Cu, Fe, Mn, Zn, B, Mo, Cl) behandelt.

Im Folgenden werden zunächst die **Untersuchungen zur Begrünung mit Gräsern** vorgestellt. Als erstes wird die Ernährungssituation der durch Begrünungsmaßnahmen Anfang der 80er Jahre etablierten Vegetationsdecken zu Beginn dieser Arbeit (1998) vorgestellt. Es schließt sich die Betrachtung der Nährstoffgehalte der Gräser auf den eingesäten Versuchsflächen an. Danach folgt die Ernährungssituation der unter Gevächsbedingungen getätigten Ansaatversuche.

Im nächsten Teil wird sich der **Ernährungssituation der Gehölze** angenommen. Dabei werden eventuelle Unterschiede zwischen den Nährstoffgehalten der durch natürliche Sukzession eingefundenen Pioniergehölze oder der aus Anpflanzung hervorgegangenen Gehölzbestände behandelt.

### 3.1 Stickstoff

Mit 78,09 Vol.-% zählt Stickstoff zu den wesentlichen Bestandteilen der Luft; sie wiederum enthält mehr als 99 % des insgesamt auf der Erde vorkommenden Stickstoffs (HOLLEMAN & WIBERG, 1995).

Im Boden liegt er organisch gebunden (etwa 90 %) oder in Form von Salpetersalzen vor. Häufige Gehalte im Boden liegen bei 1,5-5 mg/cm<sup>3</sup> (s. FREY & LÖSCH, 1998). AM-

BERGER (1996) gibt Werte zwischen 0,02 und 0,4 % an. In Abhängigkeit von Standort, Vegetation und Nutzung liegen, bei Betrachtung der obersten Bodenschicht von 20 cm und unter Zugrundelegung eines Krumengewichts von 3.000 t/ha, die durchschnittlichen Stickstoffvorräte zwischen 900 und 9.000 kg/ha. Leichte Sandböden sind stickstoffarm, da Tonminerale fehlen, die Ton-Humus-Komplexe bilden und den Humus vor vorzeitigem Abbau schützen könnten; Niedermoorböden hingegen sind besonders stickstoffreich. Humus, als organische Substanz pflanzlicher, mikrobieller oder tierischer Herkunft, besteht zu ca. 50 % aus Kohlenstoff und zu 1 bis 6 % aus Stickstoff. AMBERGER führt weiter aus, dass die jährliche N-Mineralisationsrate in hohem Maße vom Standort (Klima und Boden) und der Nutzung abhängig ist und etwa 1 bis 5 % des organisch gebundenen Stickstoffs beträgt. Diese Rate entspricht auf Mineralböden und unter mitteleuropäischen Verhältnissen etwa 40 bis 120 kg N/ha.

Aufgenommen wird Stickstoff in Form von  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  oder in organischer Form als Aminosäure oder Amid wie  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ . In Pflanzen besitzt Stickstoff unterschiedliche Funktionen: In der Wurzel erfolgt die Nitratreduktion, sowie die Aminosäure- und Proteinsynthese. Transport und Speicherung von Nitrat sowie der Einbau in Aminosäuren und Amiden findet vor allem im Stängel bzw. Halm einer Pflanze statt. In den Blättern erfolgt die Nitratreduktion; Stickstoff ist hier wichtig für die Aminosäure-, Protein-, Protein- und Chlorophyllsynthese (s. AMBERGER, 1996). Nach SITTE et al. (1998) ist die Hälfte des Pflanzenstickstoffs in den Chloroplasten gebunden.

BERGMANN (1993) gibt Stickstoffgehalte in Pflanzen von 1 bis 5 % an. LYR et al. (1992) setzen den unteren Wert für Gehölze bei 0,5 % an.

### 3.1.1 Gräser-Ansaaten

Die innerhalb der **früheren Versuchspartzen** (1983) mit Gräseransaat genommenen Biomassenproben – es handelt sich hierbei um die Ausgangsbeprobung – hatten hinsichtlich der Stickstoffversorgung Gehalte zwischen 0,8 und 1,3 %, so dass hier von einer schwachen N-Versorgung zu sprechen ist.

Bei der Betrachtung der Stickstoffgehalte in der Biomasse der im Jahr 2000 angesäten **Versuchsfelder (1-12)** fallen besonders die äußerst geringen Werte bei den unbehandelten und schwach mit Kompost überdeckten Partzen auf (s. Abb. X/1). Dagegen erreichen die gedüngten Varianten und die mit 3 cm mächtiger Kompostüberdeckung Werte zwischen 2,2 und 3,3 %, was nach BERGMANN (1993) eher an der Untergrenze einer guten, aber hier noch ausreichenden Stickstoffversorgung liegt. Die z. T. niedrigen Werte der gedüngten Partzen nach dem ersten und dritten Biomassenschnitt sind mit der schnellen Verlagerung und Auswaschung der gelösten Nährstoffe unmittelbar nach der Düngerausbringung zu begründen. Die fallende Tendenz der Stickstoffgehalte beim Grüngut-Kompost (in der 3. Vegetationsperiode) wurde in Versuchen im Gewächshaus bestätigt.

Auf den **Versuchspartzen (1-8)** mit Grüngut-Kompost nach großtechnischer Ausbringung lagen die Stickstoffgehalte insgesamt innerhalb eines Rahmens von 3,5 bis



4,6 %, was nach BERGMANN (1993) einen gut versorgten Zustand widerspiegelt. Im zweiten Beprobungsjahr fielen die Stickstoffgehalte jedoch auf ein niedriges Niveau von 1,2 bis 1,8 %, auf einer Parzelle wurde ein Gehalt von 2,5 % gemessen.

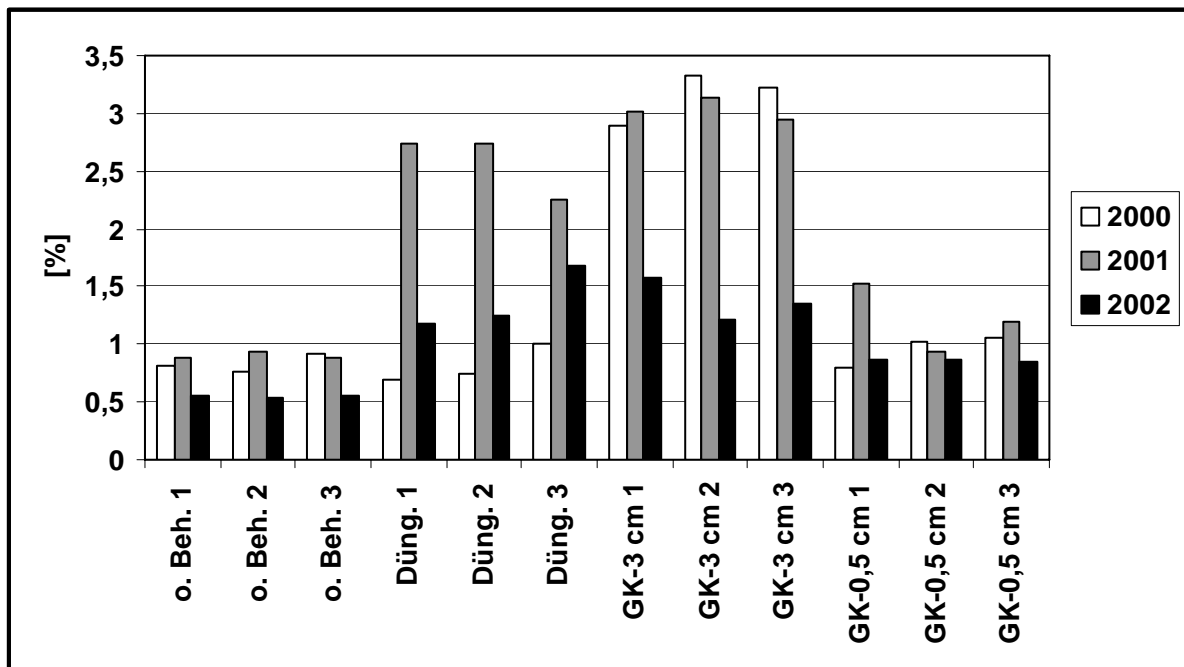


Abb. X/1: Entwicklung der Stickstoffgehalte in den Biomassen der Ansaaten bei verschiedenen Behandlungsvarianten.

(Abkürzungen: o. Beh. = ohne Behandlung, Düng. = mineralische Düngung 35 kg N/ha, GK = Grüngut-Kompost-Mächtigkeiten 3 cm u. 0,5 cm).

### 3.1.2 Aussaatversuche im Gewächshaus

Nach der ersten Biomassenbeprobung der Varianten von *Lolium perenne* wurden Stickstoffgehalte zwischen 1,0 und 1,4 % gemessen (s. Abb. X/2), nach weiteren 75 Tagen zwischen 1,3 und knapp über 1,6 %. Die Proben nach 300 Tagen Standdauer (am Ende des Winterhalbjahres) bewegten sich in einem engen Rahmen zwischen 1,0 und 1,2 %. Erst am Ende des Untersuchungszeitraums wurden die Unterschiede der Stickstoffgehalte in den einzelnen Varianten deutlich: Die Gefäße ohne jegliche Zufuhr von Makronährstoffen fielen auf Werte zwischen 0,8 und 1,0 % ab, die mit Makronährstoffdüngung stiegen hingegen auf Stickstoffgehalte von 1,5 bis knapp 1,7 %. Am niedrigsten lagen zuletzt die N-Gehalte in der Variante mit Grüngut-Kompost-Anteil (0,7 bis 0,9 %).

Insgesamt wird deutlich, dass die Varianten ohne bzw. nur mit einmaliger Zufuhr von Nährstoffen (ohne Behandlung bzw. mit Grüngut-Kompost-Anteil) einer Entwicklung unterliegen, bei der die Stickstoffgehalte mit weiteren Biomassenschnitten abnehmen, d. h. den vorhandenen Vorrat im Substrat aufbrauchen. Begleitet wird dies von einer Aufhellung der Blätter.

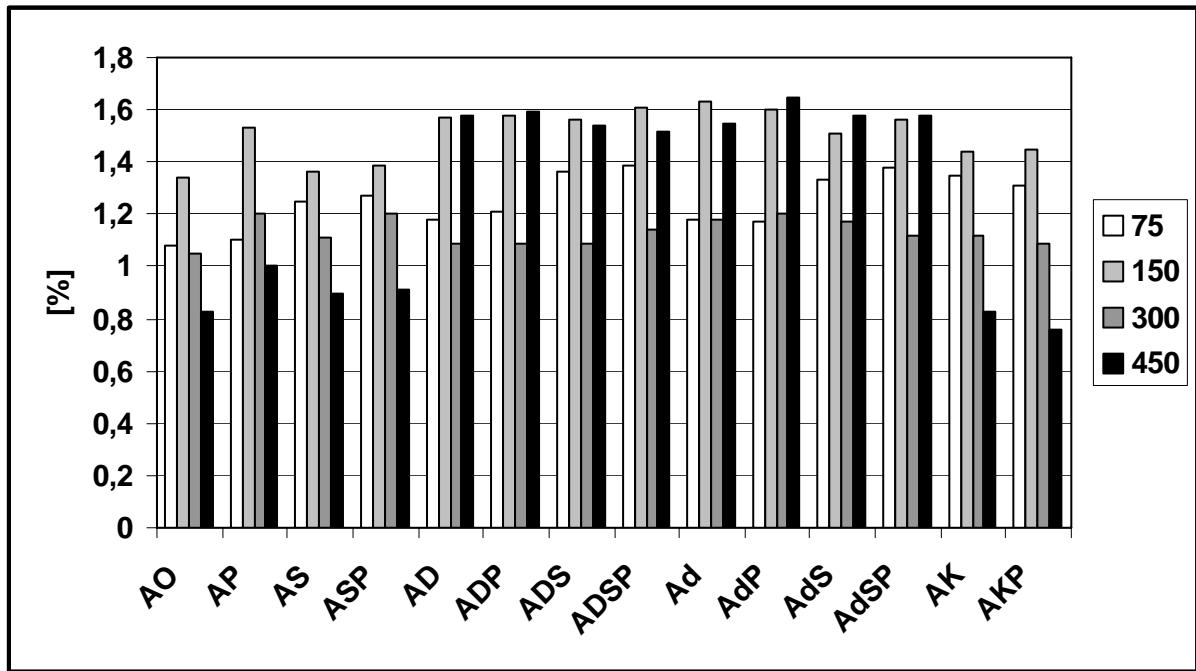


Abb. X/2: Stickstoffgehalte von *Lolium perenne* in unterschiedlichen Varianten nach Biomassenschnitten nach 75, 150, 300 und 450 Tagen Standzeit.

(Abkürzungen: A = Abraum Halde, O = ohne Behandlung, P = Triplephosphat, S = Spurenelemente, D = mineralischer Dünger N-P-K-Mg, d = mineralischer Dünger N-P-K, K = Grüngut-Kompost)

In einem zweiten Gefäßversuch mit *Lolium perenne* bei unterschiedlichen Grüngut-Kompost-Anteilen konnten ähnliche Tendenzen beobachtet werden (s. Abb. X/3):

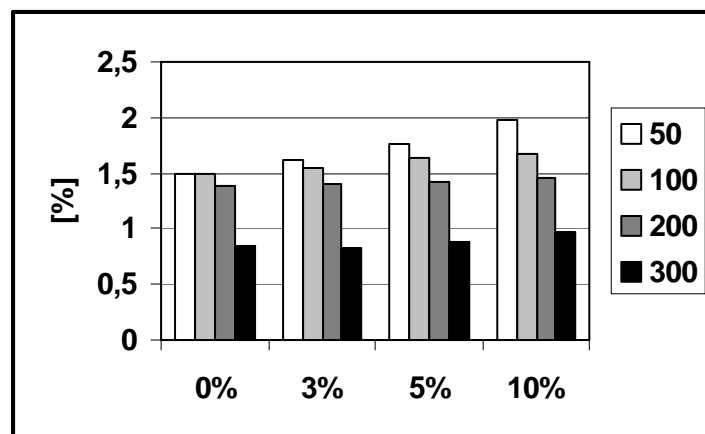


Abb. X/3: Stickstoffgehalte von *Lolium perenne* bei unterschiedlichen Grüngut-Kompost-Anteilen von 0 bis 10 % (Beprobung nach 50, 100, 200 und 300 Tagen).

Bei der unbehandelten Variante nahm ebenfalls der N-Gehalt langsam ab und erreichte zum Versuchsende einen Gehalt von 0,8 %. Die Stickstoffgehalte der 10 %-igen Kompostbeigabe verringerten sich von dem Ausgangswert (2 %) bis auf knapp ein Prozent.

Die anderen Varianten befanden sich im Mittelfeld. – BERGMANN (1993) nennt einen Rahmen ausreichender Stickstoffgehalte bei *Lolium perenne* von 3,0 bis 4,2 %, so dass trotz Düngungen und Kompostbeigaben noch eine deutliche Unterversorgung gegeben war.

Im Gewächshausversuch mit *Festuca rubra* wurde folgende Entwicklung nach zwei Biomassenschnitten deutlich (s. Abb. X/4):

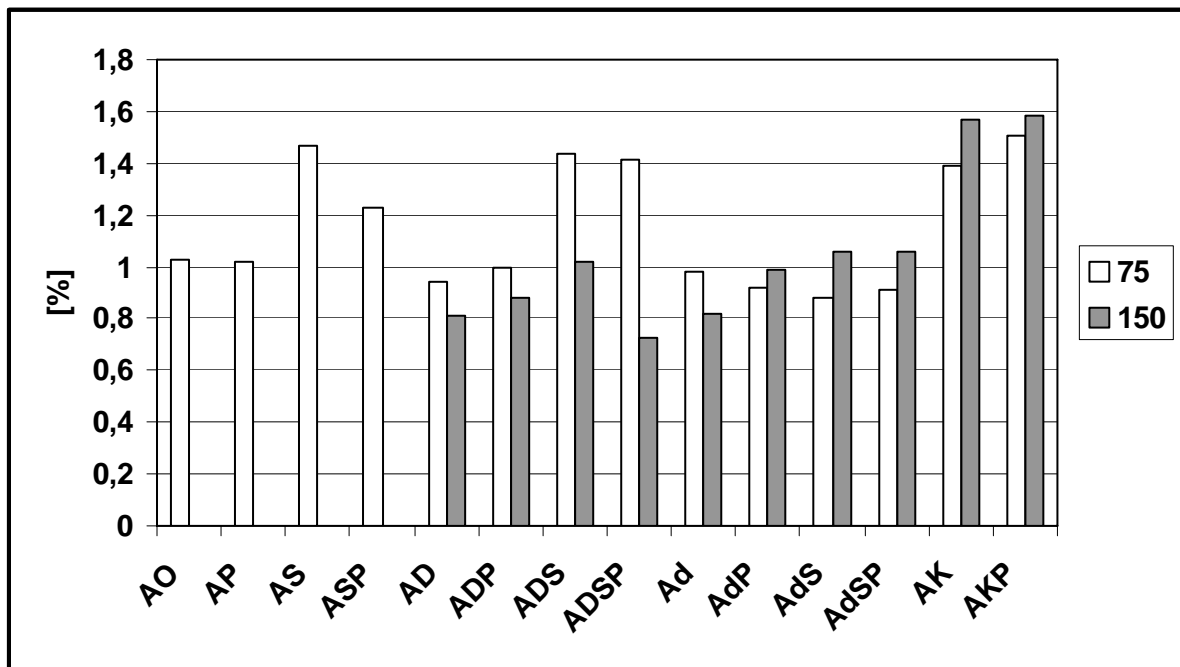


Abb. X/4: Stickstoffgehalte von *Festuca rubra* in unterschiedlichen Varianten nach Biomassenschnitten nach 75 und 150 Tagen Standzeit.

(Abkürzungen: A = Abraum Halde, O = ohne Behandlung, P = Triplephosphat, S = Spurenelemente, D = mineralischer Dünger N-P-K-Mg, d = mineralischer Dünger N-P-K, K = Grünut-Kompost)

Auch die Stickstoffgehalte von *Festuca rubra* liegen auf einem sehr niedrigen Niveau und erreichen ebenfalls nicht die von BERGMANN (1993) angegebenen Werte einer ausreichenden Nährstoffversorgung. Die Gehalte nach Düngung mit Kompost erzielten das höchste Niveau.

### 3.1.3 Gehölze

Die Stickstoffgehalte in der Blattmasse von *Betula pendula* lagen bei den beprobten Exemplaren in der Regel zwischen 1,3 und 1,5 %, nur ausnahmsweise über 2,0 %. Dagegen konnten in den Blattproben der aus Sukzession entstandenen Gehölze auf der begrünten Nordflanke etwas höhere N-Gehalte, zwischen 2,0 und 2,3 %, nachgewiesen werden. Die höchsten Werte (2,9 bis 3,2 %) erreichten die Exemplare, die eine mineralische Düngung bekamen. – BERGMANN (1993) gibt für *Betula pendula* ausrei-

chende N-Gehalte zwischen 2,5 und 4,0 % an, so dass schwache Düngungsmaßnahmen zu einer ausreichenden Versorgung verhelfen. OVERTON & MADGWICK (1959) wiesen einen mittleren N-Gehalt von 2,85 % in der Blattmasse bei *Betula pendula* nach.

Bei der Baumart *Populus tremula* lagen die N-Gehalte der aus Sukzession entstandenen Bestände auf nicht vom mineralischen Dünger beeinflussten Haldenbereichen zwischen 1,6 und 1,9 %, in der Regel jedoch um 1,8 %. Exemplare, die gelösten Dünger mit aufnehmen konnten, wiesen Werte zwischen 2,1 und 2,8 % auf. Dagegen besaß die angepflanzte Baumschulware ähnliche Gehalte wie die nicht gedüngten Pflanzen aus natürlicher Sukzession. – BERGMANN (1993) führt für die Gattung *Populus* ausreichende Stickstoffgehalte von 1,8 bis 2,5 % an; damit sind nur einige Exemplare aus natürlicher Sukzession etwas unterversorgt.

In den Proben von *Salix caprea* ohne Düngereinfluss konnten ähnlich hohe Stickstoffgehalte wie bei *Populus* festgestellt werden. Die gedüngten Gehölze hatten hingegen N-Gehalte von bis zu 3,3 %, was einer guten Versorgung entspricht.

Bei den Nadelproben von *Pinus sylvestris* müssen diesjährige und letztjährige unterschieden werden. Die im laufenden Jahr entwickelten Nadeln enthielten Stickstoffgehalte zwischen 1,3 und 1,5 %, die letztjährigen hingegen zwischen 1,2 und 1,3 %. Durch die Aufnahme von gelöstem Dünger stiegen die Gehalte in den neugebildeten Nadeln auf 1,9 bis 2,0 %, die in den letztjährigen auf 1,6 bis 1,7 %. BERGMANN (1993) gibt für beide Nadeljahrgänge Gehaltsspannen zwischen 1,4 und 1,7 % an. Damit sind Düngungsmaßnahmen zumindest für die letztjährig gebildeten Nadeln hilfreich. Nach WEHRMANN (1959, 1963) liegt ein extremer N-Mangel bei < 1,3 % i. d. TS vor, im Minimumbereich schwanken die Gehalte zwischen 1,4 und 1,7 %, über 1,8 % stuft er die N-Versorgung optimal ein.

Die in den Nadeln der Baumart *Picea abies* ermittelten Stickstoffgehalte lagen zwischen 1,13 bis 1,16 % und damit deutlich niedriger als die von NEBE (1968) und HOFMANN & MÜLLER (1971) gemessenen Blattspiegelwerte bei dieser Art, die Gehalte zwischen 1,3 und 1,7 % angeben.

WALTER (1998) hat in seinen Untersuchungen über die Stickstoffgehalte von Koniferen auf Baumschulflächen jahreszeitliche Unterschiede herausgearbeitet. Im Frühjahr des ersten Untersuchungsjahres war der N-Gehalt mit 1,74 % am höchsten, fand dann im Juli seinen Tiefpunkt (1,52 %) und stieg bis zum Oktober auf 1,68 % an. Ein Jahr später fielen die Werte von anfangs 1,54 % (April) bis auf 1,10 % im Mai, erreichten im Juli 1,25 % und lagen zuletzt bei 1,43 % im Oktober. WALTER errechnete N-Aufnahmen bei Koniferen von 76 kg bzw. 87 kg N/ha im Laufe einer Vegetationsperiode. Ähnliche Werte der N-Aufnahme – 50-75 kg N/ha pro Jahr – beschreiben BEESE (1986) und MATZNER (1988) bei Waldbäumen.

FENN et al. (1998) führen aus, dass die N-Aufnahme- bzw. -Speicherkapazität der Vegetation abhängig ist von der Baumart, dem Unterwuchs sowie vom Alter und der Vitalität der Bestände. – Nach STUHRMANN (2000) wird ein Teil des von den Bäumen frisch immobilisierten Stickstoffs über den Streufall in laubabwerfenden Wäldern nach einer Vegetationsperiode bzw. in Nadelwäldern nach drei bis vier Jahren dem Boden zugeführt.

### 3.2 Phosphor

Phosphor kommt in der Natur nicht im elementaren Zustand vor, sondern in Derivaten der Phosphorsäure, vornehmlich als  $\text{PO}_4^{3-}$  und  $\text{HPO}_4^{2-}$ .

Im Boden liegt Phosphor in organischer Form oder in Form von Ca-, Fe- oder Al-Phosphaten; die Gehalte liegen meist um  $0,002 \text{ mg/cm}^3$  Boden (FREY & LÖSCH, 1998), FINK (1991) gibt Werte zwischen 0,1 und 1 ‰ an. Die obersten 20 cm einer Bodenschicht beinhalten einen durchschnittlichen Gesamt-P-Gehalt von ca.  $1.500 \text{ kg P/ha}$ .

AMBERGER (1996) formuliert: „... Entscheidend für die Pflanzenverfügbarkeit dieser organischen P-Verbindungen und damit für die Düngerbedarfsermittlung ist deren Löslichkeit (...) unter den jeweiligen Reaktionsbedingungen des Bodens. Der pH-Wert ist somit ein guter Indikator für die Mobilität der Boden- und Düngerphosphate.“

Nach der Aufnahme von  $\text{HPO}_4^{2-}$  und  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  erfolgt der Einbau in die Pflanze in Form von Nukleotiden, Phosphatiden, in Esther-Verbindungen oder als freies Ion. – Nach FINCK (1991) liegen die Gehalte in der Pflanze zwischen 0,1 und 0,5 ‰.

#### 3.2.1 Gräser-Ansaaten

In den vor ca. 20 Jahren angelegten Versuchspartzellen mit Ansaat konnten die Ausgangsbeprobungen dieser Arbeit P-Gehalte zwischen 1,6 und 4,5 ‰ festgestellt werden; meist lagen sie um 2,5 ‰. AMBERGER (1996) gibt als kritischen Grenzwert in der Pflanze 2,0 ‰ an.

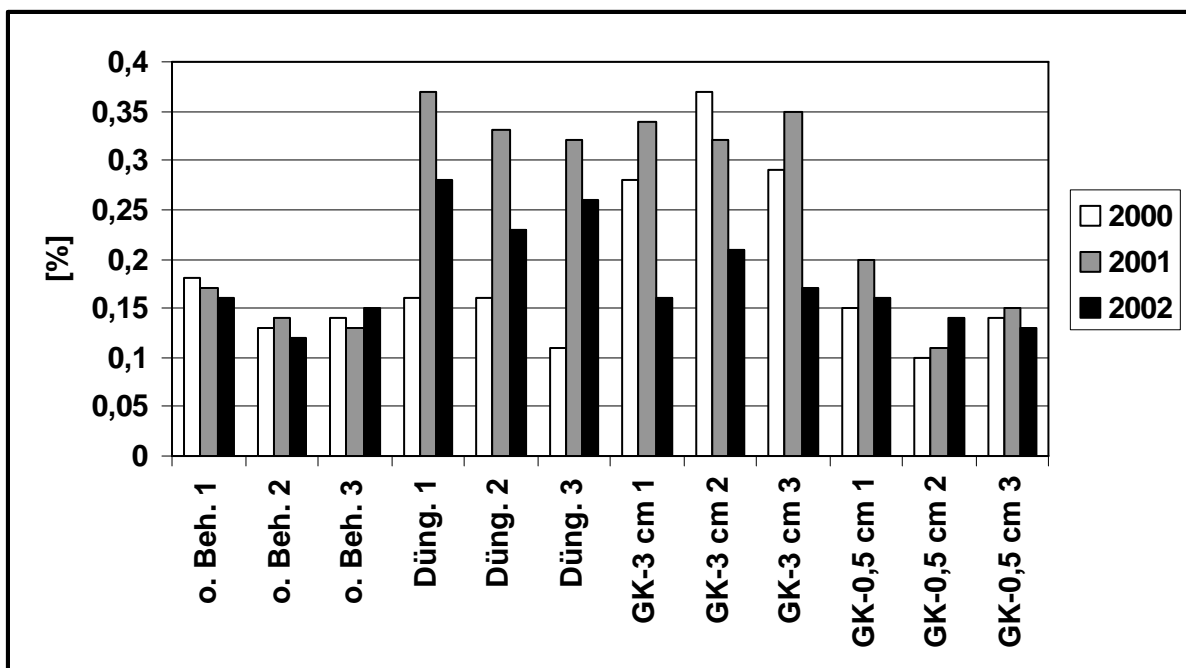


Abb. X/5: Entwicklung der Phosphorgehalte in den Biomassen der Ansaaten bei verschiedenen Behandlungsvarianten.

(Abkürzungen: o. Beh. = ohne Behandlung, Düng. = mineralische Düngung (N-P-K-Mg), GK = Grüngut-Kompost-Mächtigkeiten 3 cm u. 0,5 cm).

Auf den **12 angelegten Versuchspartzen** auf der Halde wiesen die Biomassen ohne Dünger- bzw. Nährstoffzufuhr sehr niedrige P-Gehalte, meist unter 1,5 ‰, auf (s. Abb. X/5). Mineralische Düngungen können die Phosphorgehalte jenseits der kritischen Grenze bis auf über 3,5 ‰ ansteigen lassen. Ebenso förderlich erwies sich die Zufuhr von Phosphor durch Kompost; hier fielen allerdings im dritten Jahr die Werte auf ein niedriges Niveau zurück. Die schwachmächtigen Kompostüberdeckungen waren hinsichtlich der P-Versorgung nicht überzeugend. Im Großen und Ganzen wurden nur die Werte der unbehandelten Versuchspartzen erreicht.

Auf den **8 Partzen**, die großtechnisch mit Kompost überdeckt wurden, enthielten die genommenen Biomassenproben P-Gehalte zwischen 2,6 und 3,7 ‰, so dass hier zunächst eine ausreichende Versorgung gegeben war. Im zweiten Beprobungsjahr fielen die Werte und erreichten maximale Gehalte von 2,7 ‰, minimale von 1,9 ‰, so dass im Folgejahr mit ersten Unterversorgungen zu rechnen war.

### 3.2.2 Aussaatversuche im Gewächshaus

In dem Gefäßversuch mit der verwendeten Art *Lolium perenne* fallen hinsichtlich der P-Gehalte in den Biomassenproben zunächst die überhöhten Werte durch den Einfluss von Triplephosphat auf (s. Abb. X/6), die alle über 0,9 % liegen und somit fast doppelt so hoch wie die üblichen Gehalte im oberen Wertebereich.

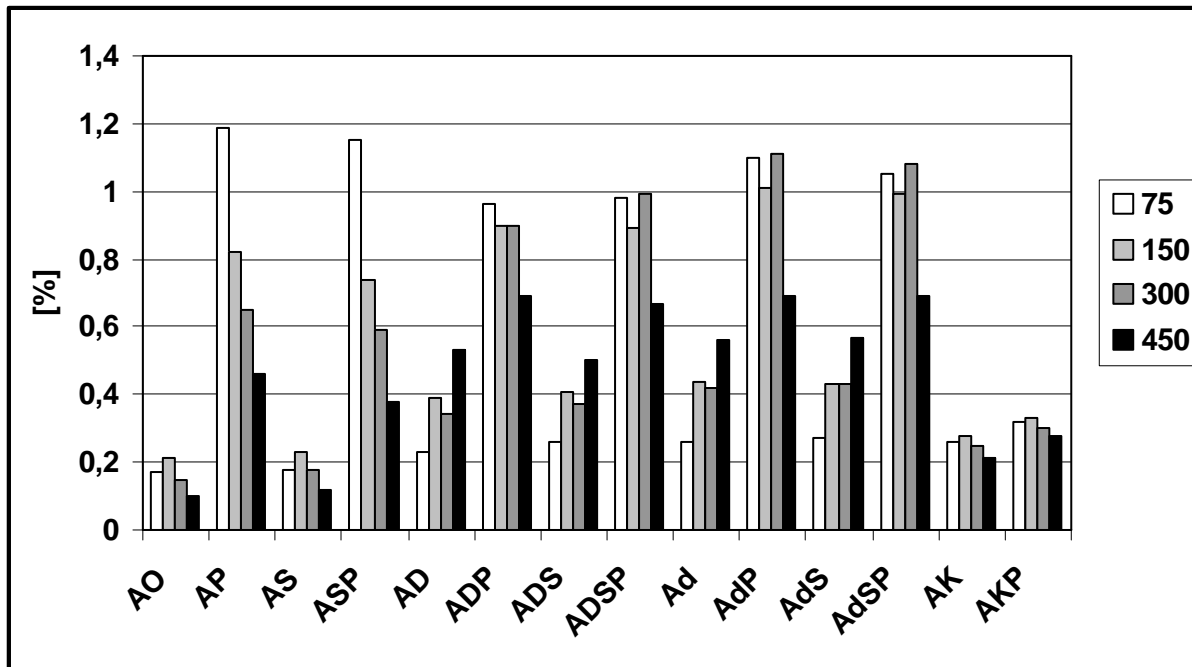


Abb. X/6: Phosphorgehalte von *Lolium perenne* in unterschiedlichen Varianten nach Biomassenschnitten nach 75, 150, 300 und 450 Tagen Standzeit.

(Abkürzungen: A = Abraum Halde, O = ohne Behandlung, P = Triplephosphat, S = Spurenelemente, D = mineralischer Dünger N-P-K-Mg, d = mineralischer Dünger N-P-K, K = Grüngut-Kompost)

Es wird weiterhin deutlich, dass die geringwüchsigen Varianten ohne Zufuhr von mineralischem Mehrnährstoffdünger die höchsten P-Gehalte überhaupt aufwiesen – bis fast 1,2 %; die anschließenden Biomassenbeprobungen fallen dagegen deutlich niedriger bei dieser Variante aus. – In den mineralisch gedüngten Gefäßen mit Triplephosphat blieben die Werte auf einem hohen Niveau und fielen erst beim 4. Schnitt nach 450 Tagen auf Gehalte bis zu 0,7 % zurück. – Die mit Grüngut-Kompost versehenen Gefäße zeigten ausreichende P-Versorgung – ein leicht fallender Trend ist auch hier feststellbar. Alle mineralisch gedüngten Gräser ohne Triplephosphatzugabe waren ebenfalls ausreichend hoch versorgt.

Im zweiten Versuch mit *Lolium perenne*, bei dem unterschiedlich hohe Kompostgaben (0 bis 10 %) die Nährstoffversorgung der Biomasse beeinflussten, waren alle Varianten ausreichend hoch mit Phosphorgehalten ausgestattet. Wie auch die Proben auf der Halde zeigten, fielen die Werte bei den mit Kompost angereichertem Haldensubstrat.

BERGMANN (1993) gibt bei dieser Art ausreichende P-Gehalte von 0,35 bis 0,5 % an. CLAASEN (1994) weist in seinen Untersuchungsergebnissen auf Phosphorgehalte bei dieser Art von durchschnittlich 0,33 % hin.

Ein ähnliches Bild ergab sich auch bei der Betrachtung der P-Versorgung (s. Abb. X/7) von *Festuca rubra*: Die mit Triplephosphat angereicherte Variante führte zu hohen P-Gehalten in der Biomasse (bis zu 0,45 %), jedoch deutlich niedriger als bei dem ersten Gefäßversuch mit *Lolium perenne*.

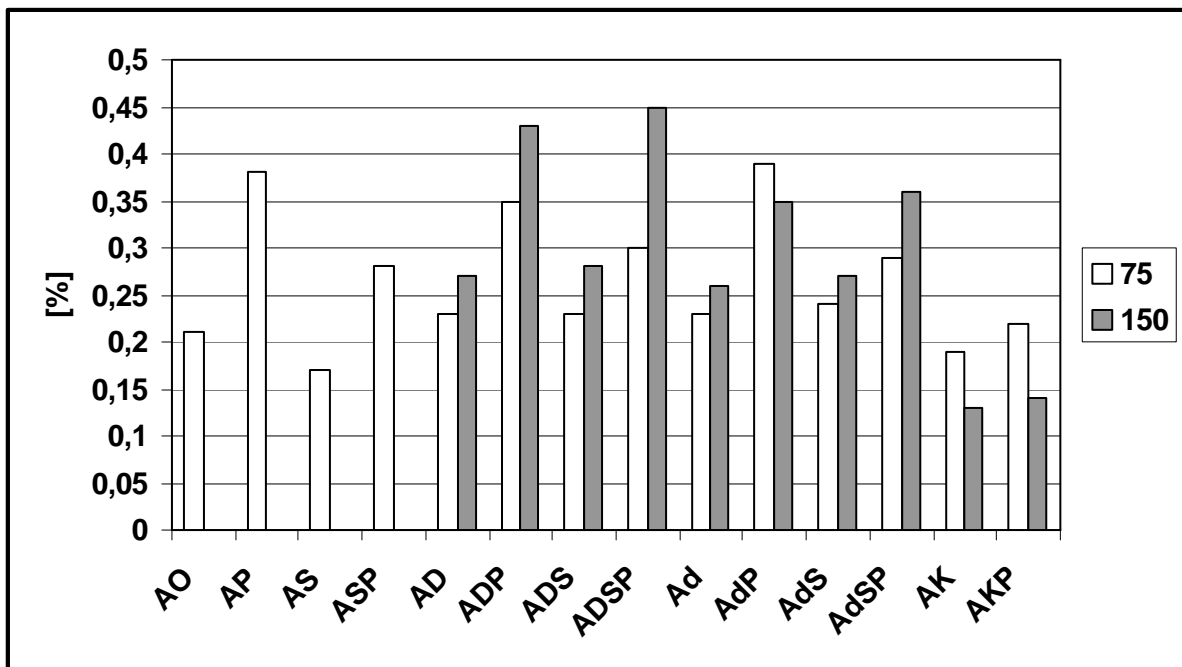


Abb. X/7: Phosphorgehalte von *Festuca rubra* in unterschiedlichen Varianten nach Biomassenschnitten nach 75 und 150 Tagen Standzeit.

(Abkürzungen: A = Abraum Halde, O = ohne Behandlung, P = Triplephosphat, S = Spurenelemente, D = mineralischer Dünger N-P-K-Mg, d = mineralischer Dünger, N-P-K, K = Grüngut-Kompost)

Neben den Varianten ohne mineralischen Dünger lagen die P-Gehalte bei den Gefäßen mit Grüngut-Kompost relativ niedrig. Der zweite Biomassenschnitt brachte auch hier sehr niedrige Werte ( $< 0,15\%$ ) hervor.

### 3.2.3 Gehölze

Bei der Baumart *Betula pendula* lagen die P-Gehalte in den Blattproben der durch natürliche Sukzession entstandenen Bäume bei 0,21 bis 0,24 %. In der Blattmasse der gepflanzten Baumschulware wurden niedrigere Werte (um 0,15 %) nachgewiesen. Düngungen ließen die P-Gehalte deutlich über 0,25 % ansteigen. – Die mit Abstand beste P-Versorgung bestand auf der bereits begrünzten Nordflanke: Werte zwischen 0,46 und 0,56 % wurden hier gemessen. – BERGMANN (1993) weist auf ausreichende Werte bei *Betula pendula* hin, sofern sie sich in einem Rahmen zwischen 0,15 und 0,30 % bewegen. In den meisten Fällen zählen diese Bäume noch zu den ausreichend mit Phosphor versorgten Exemplaren. OVINGTON & MADGWICK (1959) zeigen mittlere Gehalte von 0,17 % in der Blattmasse auf.

Die Biomassen von *Populus tremula* zeigten bei ungedüngten Bäume P-Gehalte von 0,15 bis 0,18 %, nach Düngung konnten Werte um 0,23 % gemessen werden. Die Baumschulware wies ebenfalls Werte von zwischen 0,17 und 0,23 % auf. BERGMANN (1993) stuft den üblichen Versorgungsrahmen zwischen 0,18 und 0,3 % ein, so dass folglich einige Exemplare einen P-Mangel besitzen.

Bei *Salix caprea* wurden auch im Bereich der Phosphorversorgung ganz ähnliche Werte wie bei *Populus* nachgewiesen.

Die frisch entwickelten Nadeln von ungedüngten Exemplaren der Art *Pinus sylvestris* wiesen durchschnittliche Phosphorgehalte von 0,14 % auf, die letztjährigen Nadeln solche von 0,12 %. Gedüngte Individuen entwickelten in ihrer Blattmasse Gehalte von 0,22 % (diesjährig) und 0,17 % (letztjährige Nadeln). Den Rahmen ausreichender P-Gehalte bei dieser Art gibt BERGMANN (1993) mit 0,14 bis 0,3 % an. Auch nach KRAUSS (1964), der Optimalwerte zwischen 0,11 und 0,26 % angibt, liegen die Analysenergebnisse im normalversorgten Bereich.

Nadeln ungedüngter Exemplare von *Picea abies* zeigten Phosphorgehalte von einheitlich 0,17 %, was nach BERGMANN (1993) einer ausreichenden P-Versorgung entspricht. NEBE (1968) berichtet von ähnlichen Gehalten bei älteren Fichten auf mittleren Standorten und führt Nährelementkonzentrationen von Phosphor bei optimalwüchsigen Fichtendickungen zwischen 0,19 und 0,22 % an.

## 3.3 Kalium

Das einwertige Element Kalium findet sich in gebundener Form in Tonmineralien wieder; es ist dort sorbiert oder liegt in gelöster Form vor. – Dabei sind Kalium-Werte zwischen 70-120 ppm häufig (s. FREY & LÖSCH, 1998); AMBERGER (1996) fasst den Bereich mit Gehalten von 0,2 bis 3 %, unter alkalischen Bedingungen sogar bis 7 %, deutlich weiter, so dass mit einem Kaliumvorrat im Oberboden (20 cm) von ca. 6.000 bis 90.000 kg/ha gerechnet werden kann. Je nach Bodenart werden pro Jahr unterschied-



lich hohe Raten an Kalium ausgewaschen: Dies können Mengen zwischen 10 und 30 kg K/ha sein.

Die rasche Aufnahme von Kalium – bedingt durch die kleine Hydrathülle – erfolgt in der Pflanze als Ion. In Gegenwart von einem hohen  $\text{Ca}^{2+}$ -Angebot wird die K-Aufnahme behindert.  $\text{Ca}^{2+}$ -Ionen in geringer Konzentration stabilisieren die Zellwände (AMBERGER, 1996), stimulieren die  $\text{K}^+$ -Aufnahme und vermindern den  $\text{K}^+$ -Efflux (Ionenabgabe).

Dieses Mineral wird nicht in die organische Substanz eingebaut, sondern an Orten starker Stoffwechselaktivität – beispielsweise bei der Eiweißsynthese oder dem Kohlenhydratstoffwechsel – zur Aktivierung verschiedener Enzyme oder zur Osmosefunktion benötigt.

### 3.3.1 Gräser-Ansaaten

Die vor Beginn dieser Arbeit genommenen Biomassenproben auf den früheren Versuchspartzen besaßen Kaliumgehalte von durchschnittlich 1,6 % – die Spannweite der Werte reichte von 0,7 bis 2,7 %, so dass zumindest auf einigen Standorten eine ausreichende Versorgung gegeben war. AMBERGER (1996) nennt als kritischen Grenzwert einen K-Gehalt von 1,5 %.

Die Felduntersuchung mit **12 Versuchspartzen** unterschiedlicher Behandlung zeigten bei den nicht mit Mehrstoffdünger mineralisch versorgten Varianten Kaliumgehalte von maximal rd. 1,0 %, minimal 0,7 % (s. Abb. X/8).

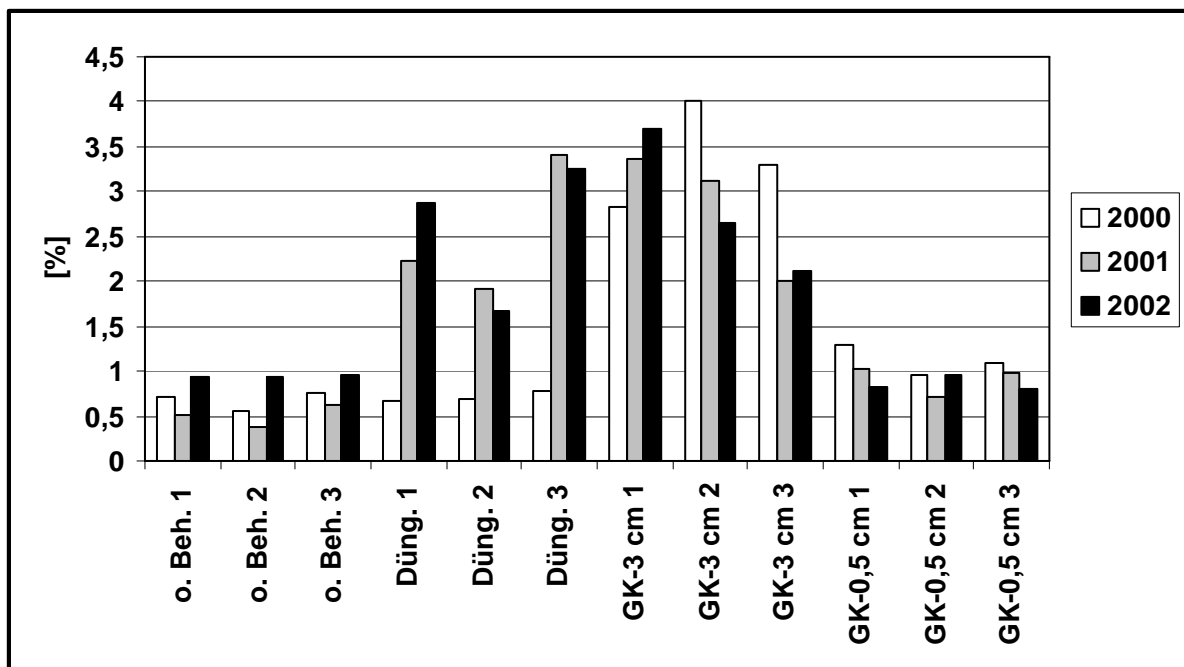


Abb. X/8: Entwicklung der Kaliumgehalte in den Biomassen der Ansaaten bei verschiedenen Behandlungsvarianten.

(Abkürzungen: o. Beh. = ohne Behandlung, Düng. = mineralische Düngung (N-P-K-Mg), GK = Grünut-Kompost-Mächtigkeiten 3 cm u. 0,5 cm).

Besser versorgt waren die Parzellen mit Düngergaben mit bis zu 3,4 %, im Mittel bei 2,6 %. – Die höchsten K-Gehalte konnten in den mit Kompost überdeckten Versuchspartzen nachgewiesen werden (bis zu 4,0 %). Auch hier war die nachlassende Nährstoffversorgung im Laufe der Folgejahre Grund für die abnehmenden K-Gehalte.

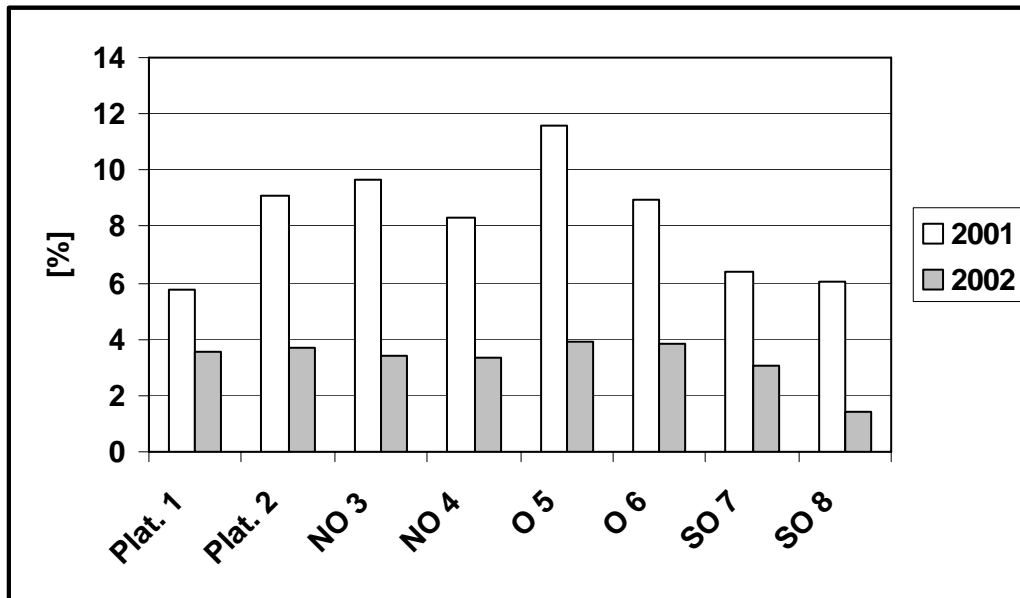


Abb. X/9: Kaliumgehalte der Biomassen nach großtechnischer Kompostausbringung.

(Abkürzungen: Plat. = Plateau, NO = Nordosten, O = Osten, SO = Südosten)

Die **8 Versuchspartzen** inmitten des mit Kompost überdeckten Ostteils der Halde waren im zweiten Standjahr nicht nur ausreichend, sondern stark überhöht mit Kalium versorgt (s. Abb. X/9), wobei teils der doppelte Wert der sonst üblichen Kaliumgehalte erreicht wurde.

Neben frühzeitiger Blatttrocknis bzw. Blattfall werden indirekte Überschussschäden in soweit wirksam, dass die Aufnahmefähigkeit, wie es CHAPMAN (1966) beschreibt, von Eisen zurückgeht, was bereits bei K-Gehalten von 4,0 % im Feldversuch festzustellen war.

### 3.3.2 Aussaatversuche im Gewächshaus

Die Biomassenproben beim Gefäßversuch mit *Lolium perenne* wiesen Kaliumgehalte bei den nicht mit Makronährstoffdünger und Kompost versorgten Varianten zwischen 2,1 und 2,7 % auf (Abb. X/10). Die gedüngten Gefäße ließen in der Biomasse Gehalte im Allgemeinen bis knapp 3 % zu; beim letzten Schnitt lagen die Werte ca. 1,5 % höher.

HADENFELDT (1988) hat für Weidegras Werte zwischen 3,4 und 3,8 % i. d. TS ermittelt. Fast vergleichbar waren jene mit Grüngut-Kompostbehandlung. Hier lagen die Kaliumgehalte zu Beginn im gut versorgten Bereich, fielen aber dann später wieder ab.

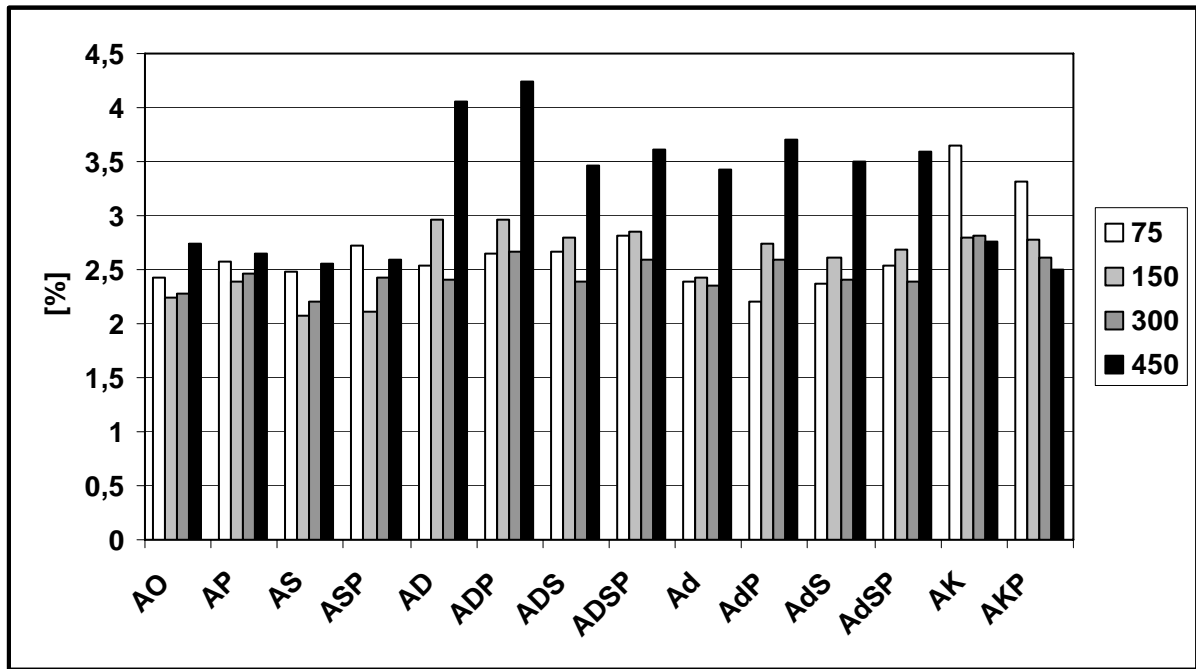


Abb. X/10: Kaliumgehalte von *Lolium perenne* in unterschiedlichen Varianten nach Biomassenschnitten nach 75, 150, 300 und 450 Tagen Standzeit (Abkürzungen s. u.)

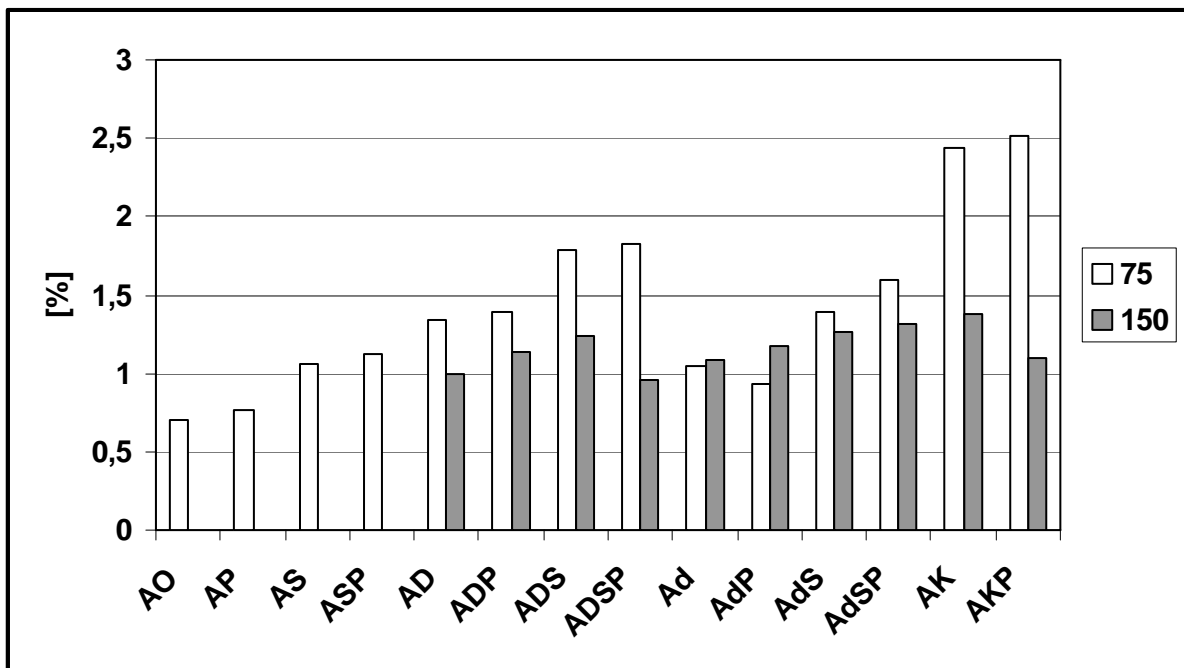


Abb. X/11: Kaliumgehalte von *Festuca rubra* in unterschiedlichen Varianten nach Biomassenschnitten nach 75 und 150 Tagen Standzeit. (Abkürzungen s. u.)

(Abkürzungen: A = Abraum Halde, O = ohne Behandlung, P = Triplephosphat, S = Spurenelemente, D = mineralischer Dünger N-P-K-Mg, d = mineralischer Dünger N-P-K, K = Grüngut-Kompost)

Die Kaliumversorgung bei ***Festuca rubra*** lag auf einem deutlich niedrigeren Niveau (Abb. X/11). Die Varianten ohne Zufuhr von Makronährstoffen erreichten Gehalte zwischen 0,7 und 1,1 %. Die gedüngten lagen bis zu 1,0 % höher, was als sehr niedrig einzustufen ist. Die beste Versorgung, allerdings nur die kritische Normalgrenze für K-Gehalte, erfuhren die Gräser in den mit Kompost überdeckten Gefäßen. Ein Trend konnte allerdings in Bezug auf die Düngung mit Spurenelementen festgestellt werden. In Gegenwart von Spurenelementen steigt leicht der Kaliumgehalt in der Biomasse an.

### 3.3.3 Gehölze

Die Blattmassen der Baumschulware von ***Betula pendula*** lagen mit 0,8 % Kaliumgehalt auf der untersten Stufe. Dagegen wies die Naturverjüngung Werte zwischen 1,0 und 1,1 % auf. Durch Düngungsmaßnahmen stiegen die Gehalte auf 1,8 % an. Nach BERGMANN (1993) liegen die Kaliumwerte für diese Baumart in der Regel bei 1,0 bis 1,5 %, so dass, bis auf die Baumschulware, eine ausreichende Grundversorgung gegeben ist. Die von OVINGTON & MADGWICK (1959) nachgewiesenen Gehalte von 1,56 % sind in den oberen Bereich anzusiedeln.

Bei ***Populus tremula*** liegen Kaliumgehalte auf ähnlichem Niveau wie bei *Betula pendula*; lediglich durch Düngungsmaßnahmen bedingt, wurden hier Konzentrationen zwischen 1,8 und 2,3 % gemessen. BERGMANN (1993) gibt für *Populus* Normalwerte zwischen 1,2 und 1,8 an. Damit ist die ungedüngte Baumschulware aufgrund ihres bisher wenig ausgeprägten Wurzelwerks mit K-Gehalten unter 1,0 % unterversorgt.

Die Blattmasse von ***Salix caprea*** beinhaltete minimale Kaliumwerte von 0,7 % auf dem Plateau. Ansonsten lagen die Gehalte der Blattmassen von ungedüngten Individuen in einer Größenordnung zwischen 1,0 und 1,5 %. Erst durch Düngungseinfluss stiegen die Werte z. T. auf über 2,3 %.

Die Baumart ***Pinus sylvestris*** lag mit ihren Kaliumgehalten oberhalb der kritischen Grenze von 0,4 %: Sie erreichte durchschnittliche Werte zwischen 0,6 und 1,1 %, was eine ausreichende Versorgung dokumentiert. MATERNA (1967) gibt den Optimalbereich bei dieser Art mit Gehalten zwischen 0,47 und 0,66 % an. BUSCH & FÜHRER (1997) haben in ihren Untersuchungen Schwankungen der Kaliumwerte bei dieser Art zwischen 0,24 und 0,63 %, im Mittel 0,42 %, feststellen können, die zum Herbst auf einen Mittelwert von 0,50 % angestiegen sind.

Bei ***Picea abies*** war in den Nadeln eine Kaliumversorgung von 1,9 % in der Trockensubstanz messbar; es ist zu vermuten, dass Düngereinfluss diese hohen Gehalte verursacht hat, da sie in der Regel zwischen 0,5 und 1,2 % liegen (BERGMANN, 1993). Auch NEBE (1968) setzt den Schwankungsbereich optimalwüchsiger Fichtenjungbestände von 0,64 bis 1,05 % an.

BUSCH & FÜHRER (1997) haben die Kaliumgehalte von *Picea abies* mit niedrigen Mangankonzentrationen im Vergleich von fünf Nadeljahrgängen aufgezeigt: Während der mittlere Gehalt des 1. und 2. Nadeljahrganges dieser Art bei 0,58 % gelegen hat, ist ein höherer Wert im 3. Jahrgang (0,61 %) festgestellt worden; der 4. und 5. Nadeljahrgang haben mit Mittelwerten von 0,54 bzw. 0,52 unter dem vorgenannten Niveau gelegen. – Bei den untersuchten Nadeljahrgängen mit hohen Mangangehalten sind insgesamt

niedrigere Kaliumwerte von ihnen nachgewiesen worden. Dabei hat der 2. Nadeljahrgang mit durchschnittlich 0,42 % den höchsten Gehalt hervorgebracht. Mit zunehmendem Alter (bis zum 5. Nadeljahrgang) reduzierte sich der Kaliumgehalt auf einen mittleren Wert von 0,28 %. BUSCH & FÜHRER ordnen die untersuchten Biomassen von *Picea abies* zwei Gruppen zu, „... die sich nicht nur in den mittleren Elementgehalten, sondern auch im Ausmaß der Akkumulation von Nährelementen unterscheiden.“ Über jahresweise Schwankungen der Nährstoffgehalte berichten auch EVERS et al. (1972).

### **3.4 Magnesium**

Nach HOLLEMAN & WIBERG (1995) ist das zweiwertige Element Magnesium am Aufbau der Erdrinde mit 2,0 % beteiligt und kommt wegen seiner großen chemischen Reaktionsfähigkeit nicht in freiem, sondern nur in kationisch gebundenem Zustand vor. In der Hauptsache sind dies Carbonate, Silikate, Chloride und Sulfate, seltener Oxide.

Die Verfügbarkeit im Boden ist eher in gelöster als in sorbierter Form; die häufigen Gesamtgehalte liegen hier zwischen 0,003 und 0,015 % (s. FREY & LÖSCH, 1998), davon sind häufig 1 bis 10 ‰ austauschbar. AMBERGER (1996) gibt Bodengehalte zwischen 0,05 und 0,5 % an.

Aufgenommen wird Magnesium als  $Mg^{2+}$ ; der Einbau in der Pflanze erfolgt u. a. in Ribosomen, als Enzymbestandteil oder wird als Ion benötigt. Eine ganz wichtige Rolle spielt Magnesium beim Aufbau des Chlorophylls: Durch die Funktion als Zentralion im Porphyrinsystem –  $Mg^{2+}$  ist mit den Stickstoffatomen der 4 Pyrrolring über zwei Haupt- und zwei Nebervalenzen verbunden – ermöglicht es die Oxidation des Chlorophylls unter Lichteinwirkung, so dass die Umwandlung von Lichtenergie in chemische Energie erfolgen kann (HEß, 1999).

BERGMANN (1993) nennt durchschnittliche Magnesiumgehalte für Pflanzen zwischen 0,1 und 0,5 %. Als kritischen Schwellenwert für Mg-Gehalte gibt AMBERGER (1996) 0,2 % an.

#### **3.4.1 Gräser-Ansaaten**

Die beprobten Biomassen auf den alten Versuchspartzen beinhalten Magnesiumgehalte zwischen 0,04 und 0,1 %, im Mittel zwischen 0,07 und 0,08 %. HADENFELDT (1988) gibt Mg-Werte für Weidegras in einer Größenordnung von 0,2 % an, was nach FINCK (1991) als kritischer Grenzwert für die Magnesiumversorgung anzusehen ist.

Bei den **12 Versuchspartzen** auf der Halde III, die unterschiedlich behandelt wurden, lagen die Magnesiumgehalte bei den nicht mit Makronährstoffen zugefügten Varianten, meist unter dem kritischen Wert von 0,2 % (s. Abb. X/12). Bei mineralischer Düngung mit Magnesium wiesen die Pflanzen zwar etwas höhere Gehalte auf, kamen jedoch nicht über eine Grenze von 0,28 % hinaus. Nur die Biomasse von einer Versuchspartze überschritt den Magnesiumgehalt von 0,4 bzw. 0,5 %. Somit kann unter Zuführung von Dünger bzw. Kompost der Gehalt in der Biomasse über den kritischen Wert der Biomasse angehoben werden.

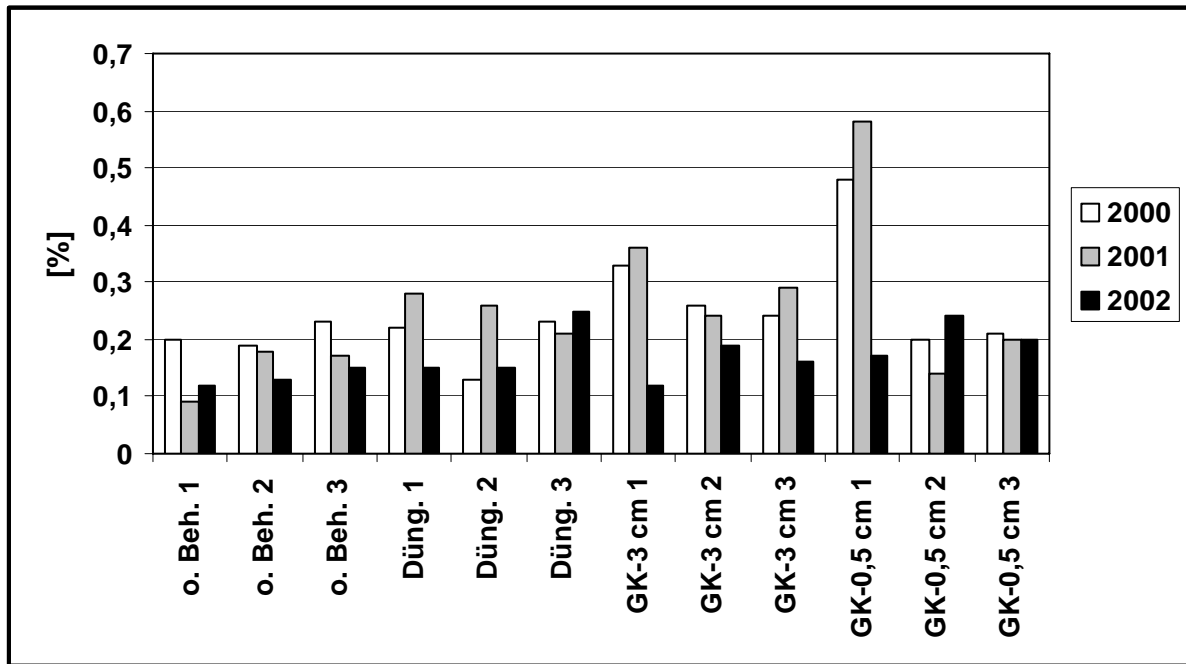


Abb. X/12: Entwicklung der Magnesiumgehalte in den Biomassen der Ansaaten bei verschiedenen Behandlungsvarianten.

(Abkürzungen: o. Beh. = ohne Behandlung, Düng. = mineralische Düngung (N-P-K-Mg), GK = Grüngut-Kompost-Mächtigkeiten 3 cm u. 0,5 cm).

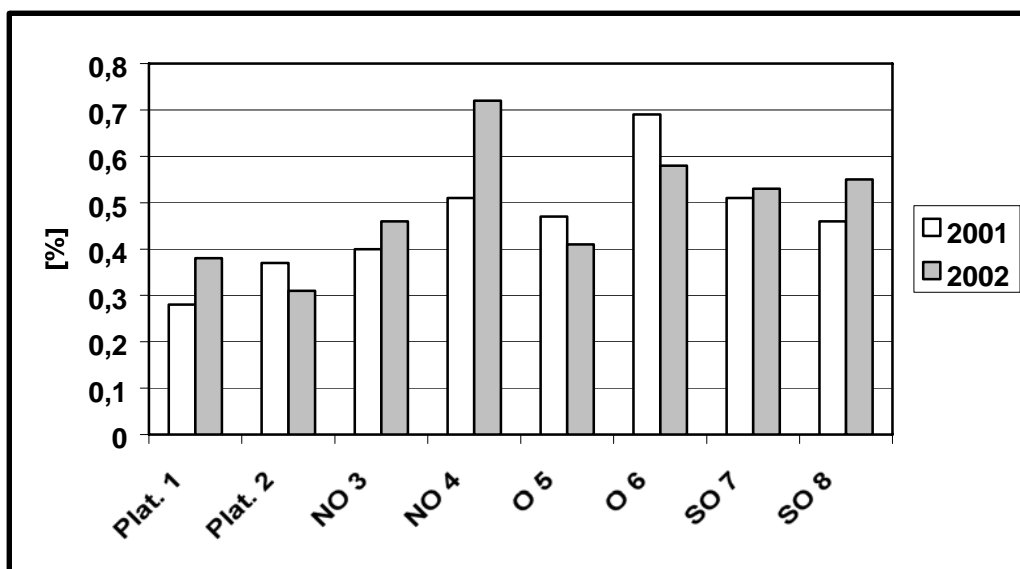


Abb. X/13: Magnesiumgehalte der Biomassen nach großtechnischer Kompostausbringung. (Abkürzungen: Plat. = Plateau, NO = Nordosten, O = Osten, SO = Südosten)

Auf den **8 Versuchspartzen**, bei denen die Ansaat nach großtechnischer Kompostausbringung erfolgte, entwickelten sich die Magnesiumgehalte in den Biomassen in den Grenzen einer ausreichenden bzw. besseren Versorgung (s. Abb. X/13). Im Pla-

teaubereich lagen die Werte etwas niedriger, was in erster Linie mit dem Auswaschungseffekt in tiefere Schichten zusammenhängt.

### 3.4.2 Aussaatversuche im Gewächshaus

Die Magnesiumversorgung von *Lolium perenne* liegt bei diesem durchgeführten Gewächshausversuch bei allen Biomassenschnitten oberhalb des für den Ertrag kritischen Wertes von 0,2 %. Auffällig sind die höheren Gehalte in den Varianten ohne zusätzliche Makronährstoff-Zuführung im Vergleich zu etwas niedrigeren bei Düngung oder unter Einfluss von Kompost. BERGMANN (1993) weist in diesem Zusammenhang darauf hin, dass bei nur mäßigen Gehalten in der Bodenlösung durch steigende K-Düngergaben die Mg-Aufnahme stark reduziert und dadurch das Auftreten von Magnesiummangel verstärkt wird. Daher messen BAUMEISTER & ERNST (1978) dem  $K^+/Mg^{2+}$ -Verhältnis eine besondere Bedeutung hinsichtlich der Magnesiumaufnahme zu.

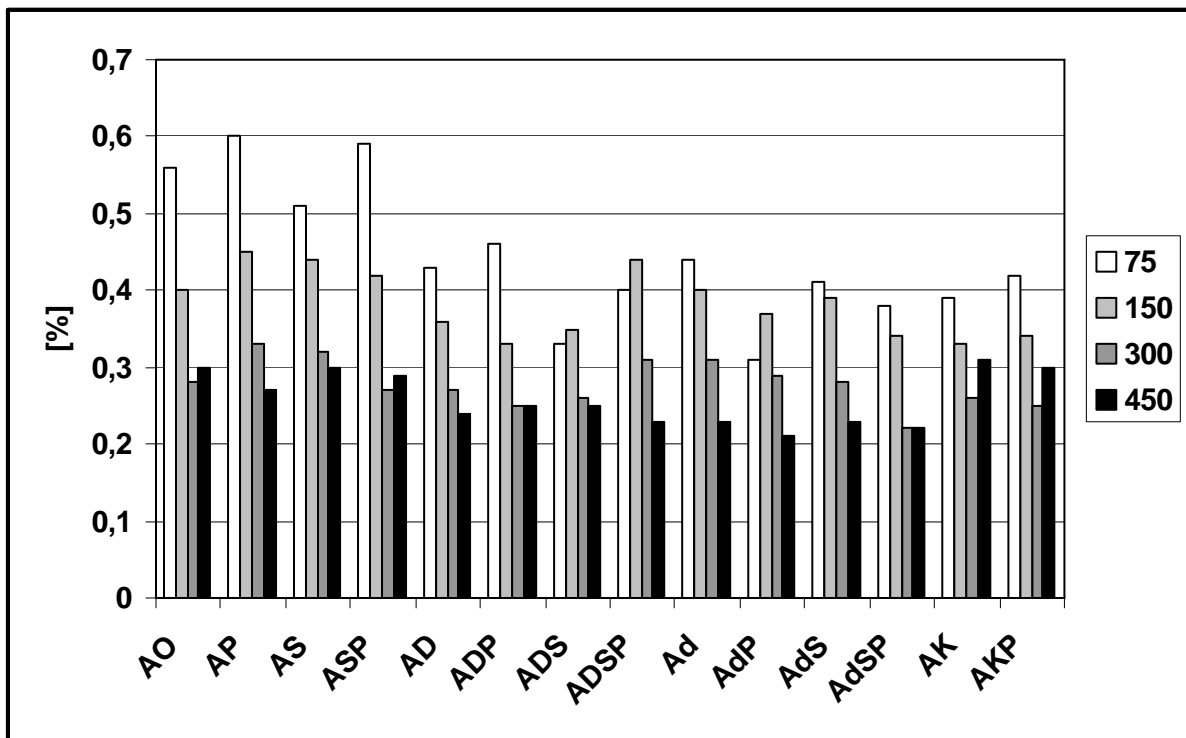


Abb. X/14: Magnesiumgehalte von *Lolium perenne* in unterschiedlichen Varianten nach Biomassenschnitten nach 75, 150, 300 und 450 Tagen Standzeit.

(Abkürzungen: A = Abraum Halde, O = ohne Behandlung, P = Triplephosphat, S = Spurenelemente, D = mineralischer Dünger N-P-K-Mg, d = mineralischer Dünger N-P-K, K = Grüngut-Kompost)

Bei *Festuca rubra* wird der höhere Gehalt der nicht mit Makronährstoffen zusätzlich versorgten Pflanzen deutlicher (s. Abb. X/15): Die Mg-Versorgungen liegen zwischen 0,15 und 0,38 %, hingegen bei den Varianten mit mineralischem Dünger und Kompost kaum über 0,15 %. Nach FINCK (1991) liegt dann Magnesiummangel vor, wenn in der Trockensubstanz weniger als 0,2 % dieses Elements vorhanden ist.

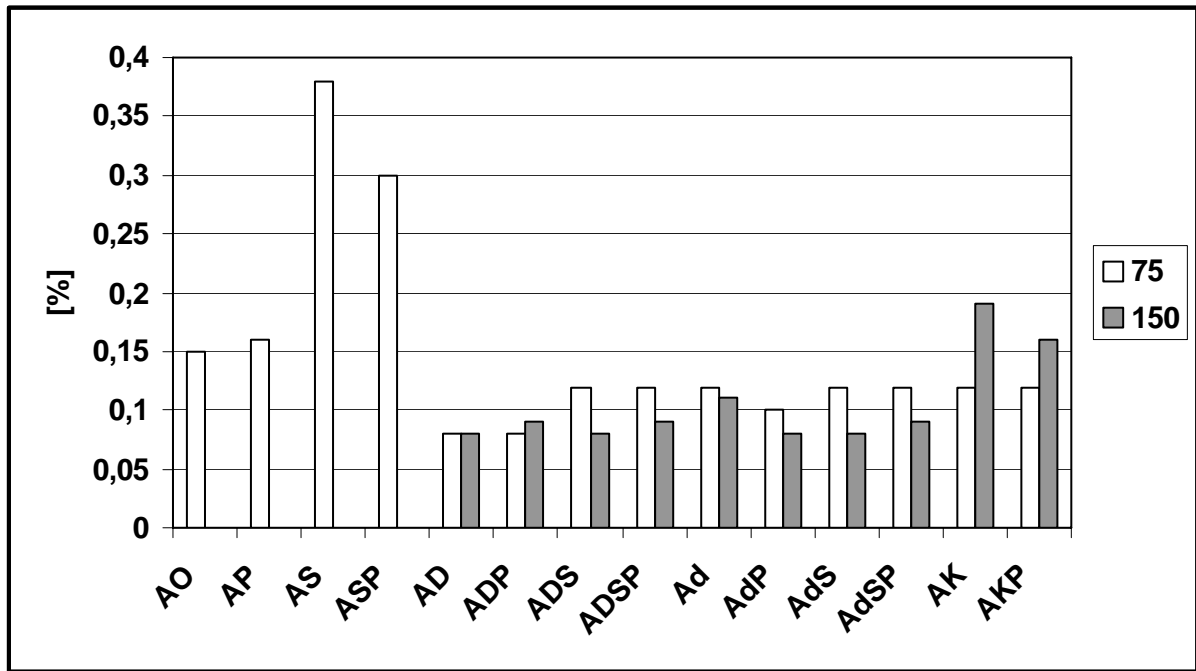


Abb. X/15: Magnesiumgehalte von *Festuca rubra* in unterschiedlichen Varianten nach Biomassenschnitten nach 75 und 150 Tagen Standzeit.

(Abkürzungen: A = Abraum Halde, O = ohne Behandlung, P = Triplephosphat, S = Spurenelemente, D = mineralischer Dünger N-P-K-Mg, d = mineralischer Dünger N-P-K, K = Grüngut-Kompost)

### 3.4.3 Gehölze

Die Blattspiegelwerte von *Betula pendula* ergaben Mg-Gehalte in der Regel zwischen 0,4 und 0,5 %. Die niedrigsten Gehalte lagen bei 0,3 %, die höchsten bei 0,9 %. BERGMANN (1993) weist auf Werte zwischen 0,15 und 0,3 % hin, so dass insgesamt die Magnesiumversorgung als „gut“ zu bezeichnen ist. Anstehendes Kieserit im verfestigten Haldenkörper unterhalb der Lockerschicht dürfte hauptsächlich dafür verantwortlich sein. Unterschiede zwischen gedüngten und nicht mit Nährstoffen zusätzlich versorgten Individuen waren nicht eindeutig nachzuweisen. Auch die Gehölze auf dem begrün-ten Nordhang sind nicht besser mit Magnesium versorgt gewesen. – Die von OVERTON & MADGWICK (1959) analysierten Werte bewegen sich um einen mittleren Gehalt von 0,27 %, der zum oberen Rahmen von BERGMANN (1993) tendiert.

Bei der Art *Populus tremula* wurden von den Biomassenproben des Plateaus und vom Südhang die höchsten Gehalte (0,8 bis 1,5 %) gemessen. Dagegen haben die Blattmassen des Nord- und Westhangs nur Werte von 0,3 bzw. 0,4 % hervorgebracht. Gedüngte Exemplare besaßen meist Gehalte zwischen 1,1 und 1,5 % Magnesium.

In den Trockensubstanzen der Blätter von *Salix caprea* sind ganz ähnliche Magnesiumgehalte wie bei *Populus tremula* nachgewiesen worden.

Die Nadeljahrgänge von *Pinus sylvestris* sind ebenfalls unterschiedlich mit Magnesiumgehalten ausgestattet: Ungedüngte Exemplare maßen beim diesjährigen Trieb



0,13 % bzw. unter Düngungseinfluss 0,1 %. Die letztjährigen Nadeln hatten Mg-Gehalte von 0,29 % (ungedüngt) und 0,15 % (gedüngt). BERGMANN (1993) setzt den Gehaltsrahmen zwischen 0,1 und 0,2 % fest, MATERNA (1967) gibt den Optimalbereich von 0,07 bis 0,14 % an. Die von BUSCH & FÜHRER (1997) untersuchten Nadeln von *Pinus sylvestris* haben eine mittlere Magnesiumkonzentration von 0,07 % hervorgebracht. Erst bei einem Mg-Gehalt von < 0,03 % ist nach ZECH (1967) eine extreme Mangelsituation gegeben.

Nadel-Biomassen von ***Picea abies*** zeigten Magnesiumgehalte von 0,19 %, was in dem von BERGMANN (1993) angeführten Rahmen liegt. Für ALTHERR & EVERS (1975) befinden sich die Optimalwerte zwischen 0,14 und 0,21 % Magnesium i. d. Trockensubstanz, dagegen setzt NEBE (1968) die Schwankungsbreite mit 0,13 bis 0,15 % deutlich niedriger an.

### **3.5 Calcium**

Das zweiwertige Calcium gehört zu den 5 häufigsten Elementen und ist am Aufbau der Erdrinde sogar mit 3,4 % beteiligt.

Im Boden liegt es meist in gebundener Form als Carbonat, Gips, Phosphat oder in Feldspäten vor und außerdem in sorbierter als in gelöster Form. Dabei können die Ca-Gehalte zwischen 0 und 30 % liegen (s. FREY & LÖSCH, 1998). FINCK (1991) gibt eine deutlich geringere Spanne mit Werten zwischen 2 und 15 ‰ an.

Aufgenommen wird es als Ion und in die Pflanze eingebaut in Pektaten oder als Ion verwendet. Da  $\text{Ca}^{2+}$  eine weniger ausgeprägte Hydrathülle als Magnesium besitzt, kann die Aufnahme dieses Ions über Plasmalemma und Tonoplast (Lipoproteid-Struktur) leichter erfolgen. – Im Gegensatz zu Kalium wird dieses Nährelement fest in die Pflanze eingebaut, wie z. B. in Calciumhumate oder Calcium-Chelat-Komplexe (AMBERGER, 1996).

#### **3.5.1 Gräser-Ansaaten**

In den ehemaligen Versuchspartzellen wurde in der beprobten Biomasse ein Calciumgehalt von 0,4 bis maximal 1,0 % nachgewiesen. In der Regel lagen die Werte um 0,5 % und damit schon im Bereich kritischer Gehaltsmengen.

Die Biomassen aus den **12 Versuchspartzellen** mit unterschiedlicher Behandlung bewegten sich allesamt in dem von BERGMANN (1993) gesetzten Gehaltsrahmen für Pflanzen von 0,3 bis 3 % (s. Abb. X/16). Nach AMBERGER (1996) sind die meisten Werte als kritisch einzustufen; er setzt die kritische Grenze bei Ca-Gehalten bei < 0,8 %; FINCK (1991) setzt die Schwelle mit 1,0 % noch etwas höher an.

Bei den Biomassen der **8 Versuchspartzellen**, die mit Kompost großtechnisch überdeckt wurden, ergaben die ersten Analysen relativ niedrige Werte von 0,32 bis 0,74 % (Abb. X/17). Erst in der nächsten Vegetationsperiode erreichten die Trockensubstanzen der meisten Standorte einen Ca-Gehalt von über 1 % und damit jenseits des kritischen Wertes.

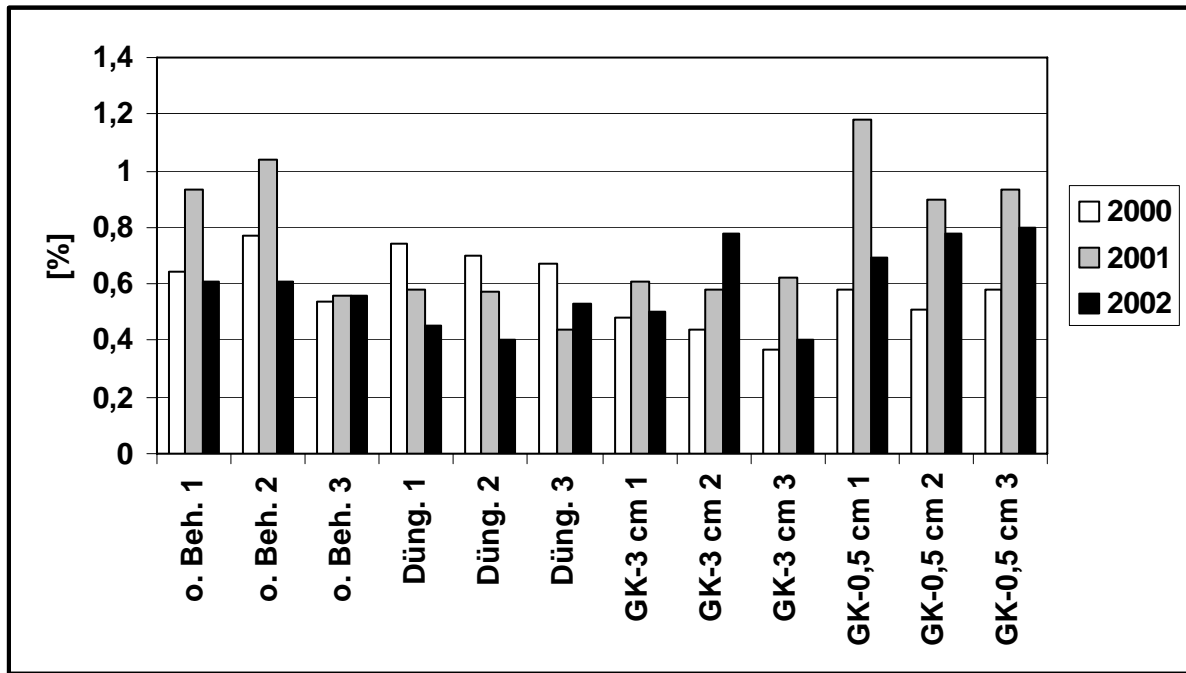


Abb. X/16: Entwicklung der Calciumgehalte in den Biomassen der Ansaaten bei verschiedenen Behandlungsvarianten.

(Abkürzungen: o. Beh. = ohne Behandlung, Düng. = mineralische Düngung (N-P-K-Mg), GK = Grüngut-Kompost-Mächtigkeiten 3 cm u. 0,5 cm).

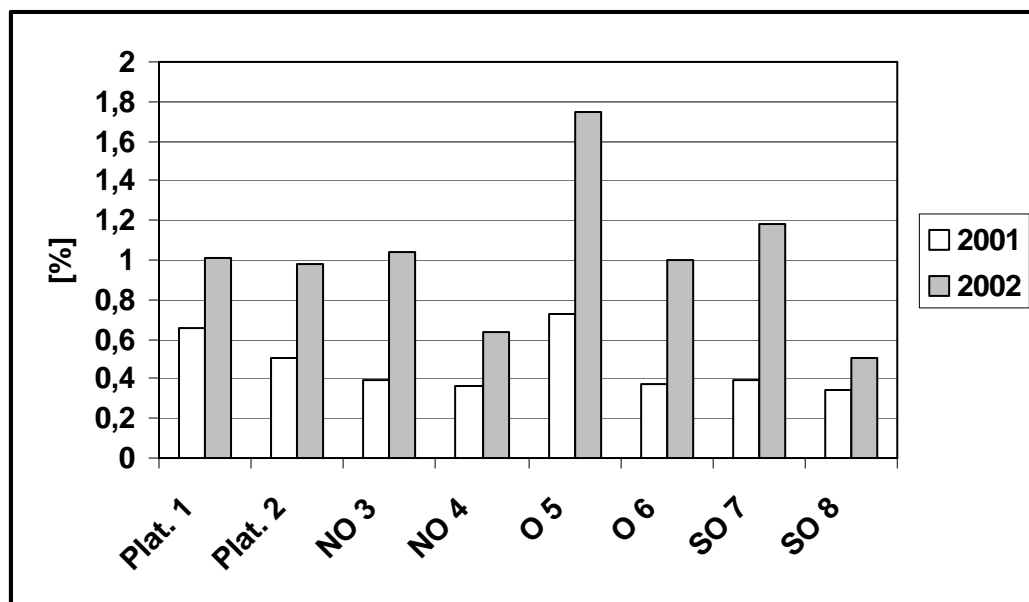


Abb. X/17: Calciumgehalte der Biomassen nach großtechnischer Kompostausbringung.

(Abkürzungen: Plat. = Plateau, NO = Nordosten, O = Osten, SO = Südosten)

### 3.5.2 Aussaatversuche im Gewächshaus

Bei der Betrachtung der Calciumgehalte in den Biomassen von *Lolium perenne* wird deutlich, dass der erste Biomassenschnitt geringere Ca-Gehalte (0,6 bis 1,2 %) gehabt

hat als der folgende. Nach 300 bzw. 400 Tagen steigerten sich nochmals die Werte (Abb. X/18), so dass sie außerhalb der kritischen Gehaltsgrenze von 0,8 % lagen.

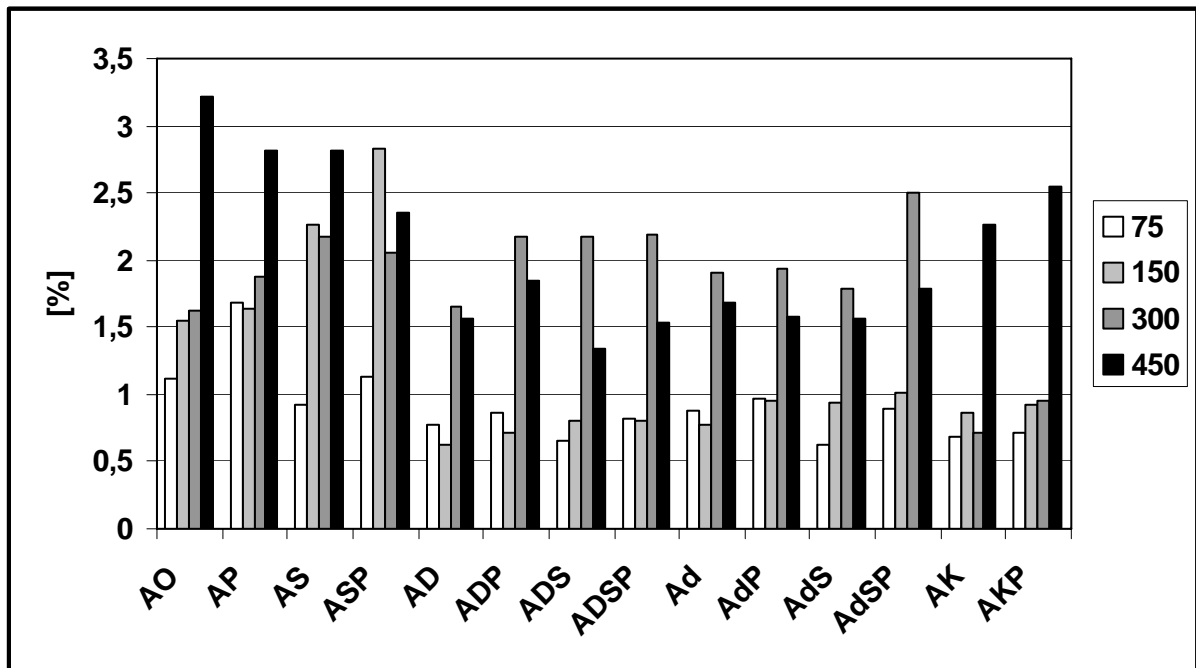


Abb. X/18: Calciumgehalte von *Lolium perenne* in unterschiedlichen Varianten nach Biomassenschnitten nach 75, 150, 300 und 450 Tagen Standzeit. (Abkürzungen s. u.)

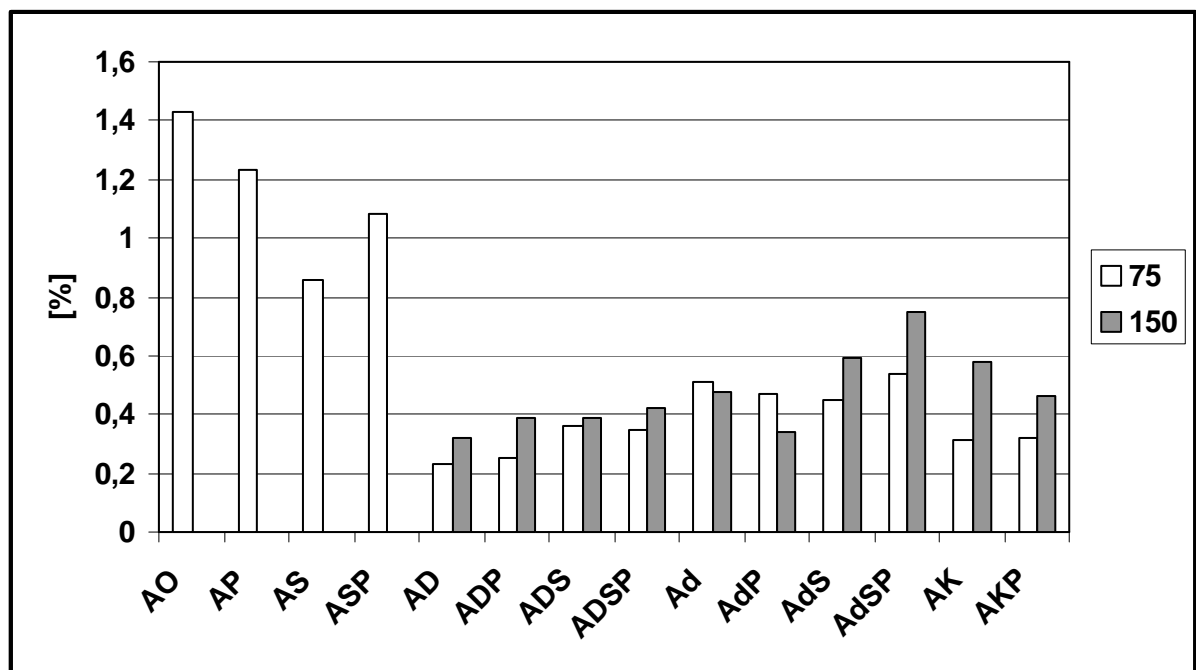


Abb. X/19: Calciumgehalte von *Festuca rubra* bei unterschiedlichen Behandlungen. (Abkürzungen: A = Abraum Halde, O = ohne Behandlung, P = Triplephosphat, S = Spurenelemente, D = mineralischer Dünger N-P-K-Mg, d = mineralischer Dünger N-P-K, K = Grüngut-Kompost)

Nach RICHTER (2003) nimmt bei älteren pflanzlichen Geweben der Anteil an Calcium zu, während der Gehalt an Kalium zurückgeht.

Im Aussaatversuch mit ***Festuca rubra*** stellten sich die Calciumgehalte sehr verschieden dar (Abb. X/19): Zum einen waren die Varianten ohne Zufuhr von Mehrstoffdünger auf höchstem Niveau und erreichten Werte zwischen 0,85 und 1,42 % Calcium, zum anderen lagen die der anderen Behandlungsarten zwischen 0,22 und 0,75 % und somit unter dem kritischen Ertragswert von 0,8 %, den AMBERGER (1996) angibt. – Höhere Gaben von N-P-K steigern die Mengen an Biomassen, jedoch wird auch mehr Calcium benötigt, wie MARSCHNER (1974) feststellt.

### 3.5.3 Gehölze

Die von der Baumart ***Betula pendula*** beprobten Exemplare besaßen folgende Calciumgehalte: Zwischen 1,3 und 1,4 % lagen die meisten Werte, maximal bis 2,1 % und die geringsten Gehalte bei 0,7 %, bei Individuen, die gedüngt worden waren. BERGMANN (1993) gibt für diese Art einen Rahmen von 0,3 bis 1,5 % an, so dass insgesamt die meisten nachgewiesenen Calciumgehalte in den Normalbereich eingestuft werden können. OVINGTON & MADGWICK (1959) weisen auf Ca-Gehalte von 1,57 % i. d. TS hin.

Bei ***Populus tremula*** waren die Gehaltshöhen an Calcium relativ verschieden: geringste Gehalte von 0,9 % bis zu 1,5 % wurden auf den Plateau- und Südhangbereichen nachgewiesen; auf den Flanken des Nord- und Westhangs lagen sie überwiegend um 2,2 %. Auch für *Populus* gibt BERGMANN einen Bereich von 0,3 bis 1,5 % an.

Die Ca-Gehalte von ***Salix caprea*** lagen allgemein auf einem relativ hohen Niveau. Nur am Südhang und auf dem Plateau waren Werte zwischen 1,1 und 1,5 %, im Mittel bei 1,3 %, zu messen. Anders sah die Situation auf dem Nord- und Westhangbereich aus: Mit Gehalten zwischen 2,2 bis 2,8 %, meist jedoch um 2,6 % liegend, war die Anreicherung von Calcium in den Pflanzen als hoch einzustufen.

Bei ***Pinus sylvestris*** konnten im ungedüngten Zustand an den frischen Trieben Ca-Gehalte von 0,5 bis 0,7 % gemessen werden, durch Zugabe von Dünger veränderte sich dies nicht gravierend. Nur bei den letztjährigen Nadeln nahm der Gehalt an Calcium von 1,1 bis 1,3 % durch Düngung auf 1,0 bis 1,1 % ab, was, wie obenstehend beschrieben, als Indiz für den erhöhten Ca-Bedarf bei Zuführung von N-P-K zu deuten wäre. – KRAUSS (1965) gibt einen Optimalbereich für Ca-Gehalte zwischen 0,15 und 0,5 % an, so dass die in den Proben ermittelten Werte keinen Mangel an Calcium aufweisen.

***Picea abies*** wies allgemein höhere Ca-Gehalte (1,3 bis 1,9 %) als *Pinus* auf. BERGMANN (1993) weist hingegen auf Werte zwischen 0,35 und 0,8 % hin. HUNGER (1970) ermittelte in seinen Untersuchungen bei einem 18-jährigen Fichtenreinbestand durchschnittliche Calciumkonzentrationen von 0,69 %, HOFMANN & MÜLLER (1971) zeigen Schwankungen zwischen 0,53 und 0,80 % auf, ihr bestätigter Mittelwert liegt bei 0,66 %.

Im Gegensatz zu Monocotylen besitzen die Dicotylen eine höhere Kationenaustauschkapazität, welches genetisch bedingt ist. Dies führt zu höheren Gehalten mehrwertiger Kationen (RICHTER, 2003).

### 3.6 Schwefel

In Form von Sulfiden bzw. Sulfaten liegt der Schwefel im Boden vor, seine Verfügbarkeit ist als Sulfat-Ion gegeben.

Gehalte im Boden von 0,1 bis 1 ‰ sind als häufig zu bezeichnen (FREY & LÖSCH, 1998). AMBERGER (1996) geht bei der Angabe seines Maximalwertes sogar bis auf 0,2 ‰ S-Gehalt.

Die Aufnahme in der Pflanze erfolgt ebenfalls in Form des Sulfat-Ions, also in der höchstoxidierten Form des Schwefels. Organische Schwefelverbindungen müssen zunächst erst oxidiert werden, wie AMBERGER (1996) beschreibt. Der Einfluss des pH-Wertes bei der S-Aufnahme ist allgemein gering. – In der Pflanze erfolgt der Transport in akropetaler Richtung (Xylem) hauptsächlich als Sulfation. Daran schließt sich in den Chloroplasten die mehreren Schritten stattfindende Reduktion des +6-wertigen Sulfat-schwefels bis zum –2-wertigen SH-Schwefel der Aminosäuren an. Verwendung findet der Schwefel in Eiweißen, Coenzymen sowie sekundären Pflanzenstoffen.

#### 3.6.1 Gräser-Ansaaten

Auf den Versuchsflächen der früheren Begrünungen in den 80er Jahren wurden im Mittel 0,23 ‰ Schwefelgehalt bestimmt, die Werte schwankten meist zwischen 0,15 und 0,25 ‰, was in dem Bereich von den Angaben AMBERGERS (1996) liegt (0,1 bis 0,6 ‰).

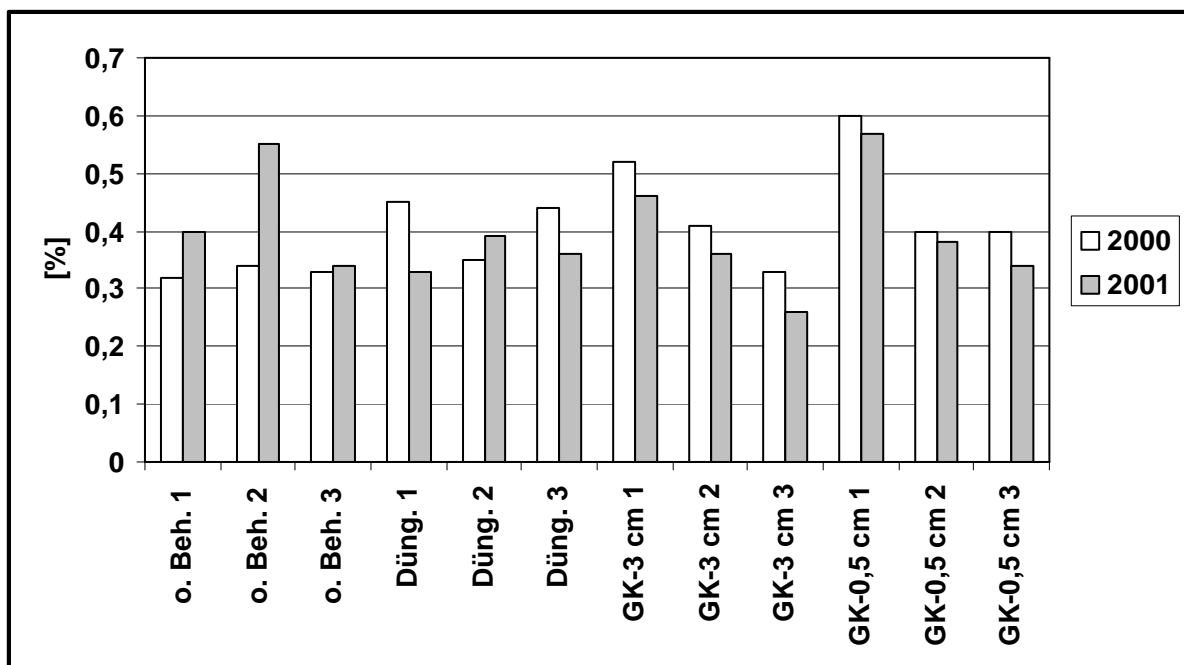


Abb. X/20: Entwicklung der Schwefelgehalte in den Biomassen der Ansaaten bei verschiedenen Behandlungsvarianten.

(Abkürzungen: o. Beh. = ohne Behandlung, Düng. = mineralische Düngung (N-P-K-Mg), GK = Grünut-Kompost-Mächtigkeiten 3 cm u. 0,5 cm).

Die Biomassen aus den **12 Versuchspartzen** brachten Schwefelgehalte zwischen 0,25 und maximal 0,6 % hervor (s. Abb. X/20), was dem vorgenannten Wertebereich von AMBERGER entspricht.

Die Biomassen, die aus den **8 Versuchspartzen** mit großtechnischer Grüngut-Kompostüberdeckung stammten, lagen auf gleicher Höhe wie die vorstehenden Gehalte.

### 3.6.2 Aussaatversuche im Gewächshaus

In dem Gefäßversuch mit **Lolium perenne** wurde der erste Biomassenschnitt hinsichtlich des Schwefelgehalts untersucht. Die Werte schwankten zwischen 0,41 und 1,04 %, wobei die höchsten Gehalte auf den schwach mit Makronährstoffen versorgten Varianten zu finden waren, die geringsten auf den Gefäßen mit Kompost.

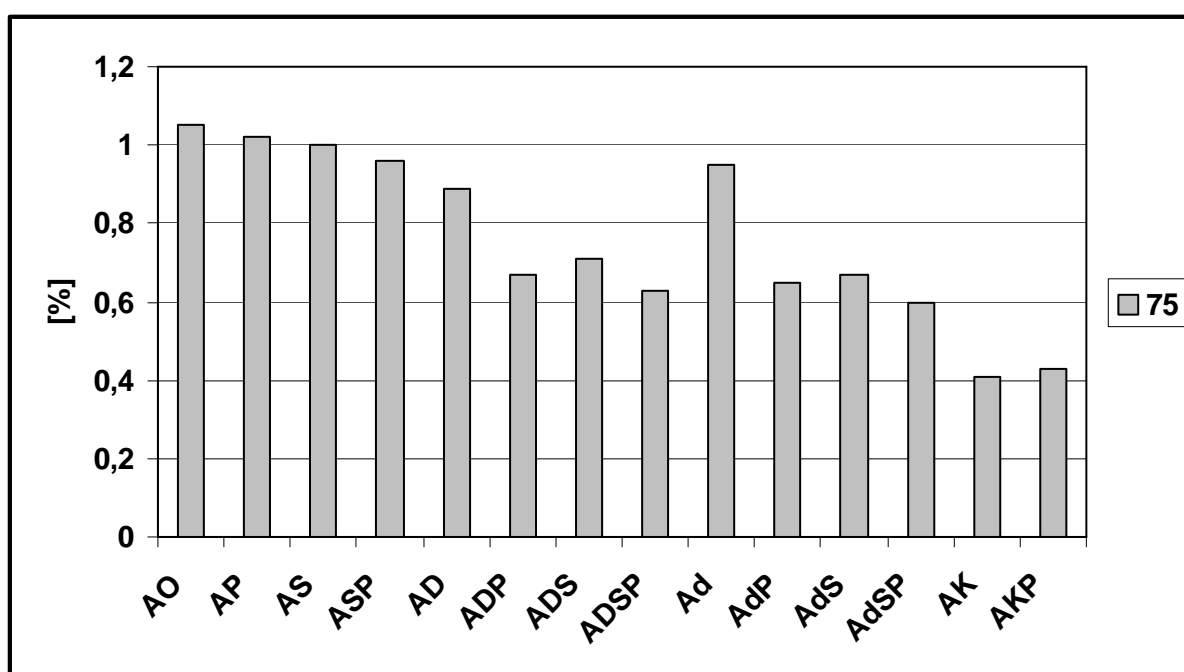


Abb. X/21: Schwefelgehalte von *Lolium perenne* in unterschiedlichen Varianten nach Biomassenschnitten nach 75 Tagen Standzeit.

(Abkürzungen: A = Abraum Halde, O = ohne Behandlung, P = Triplephosphat, S = Spurenelemente, D = mineralischer Dünger N-P-K-Mg, d = mineralischer Dünger N-P-K, K = Grüngut-Kompost)

Bei dem Gefäßversuch mit **Festuca rubra** wurden Schwefelgehalte zwischen 0,1 und 0,81 % gemessen, wobei die höchsten Gehalte wiederum in den nicht mit Makronährstoffen versorgten Biomassen zu finden waren.

### 3.6.3 Gehölze

Bei den Blattproben von *Betula pendula* schwankten die Schwefelgehalte zwischen 0,4 und 1,1 %; auf der Nordflanke, mit und ohne Vorbegrünung, lagen die S-Gehalte etwas niedriger, zwischen 0,4 und 0,5 %. – HEINZE (1998) hat in Untersuchungen von Waldbäumen auf Gipsstandorten bei Laubgehölzen ebenfalls hohe Werte (0,43 %) nachweisen können, die doppelt so hoch wie auf SO<sub>2</sub>-geschädigten Standorten gelegen haben.

*Populus tremula* enthielt in den Biomassenproben S-Gehalte zwischen 0,6 und 1,1 %, wobei die häufigsten Proben Werte zwischen 0,8 und 0,9 umfassten.

Bei *Salix caprea* befanden sich die Schwefelgehalte in einem Spektrum zwischen 1,0 und 1,7 %, die deutlich über den Rahmen von AMBERGER (1996) hinausgingen.

Bei der Baumart *Pinus sylvestris* konnten in den Nadelproben Schwefelwerte von 0,2 bis 0,4 % nachgewiesen werden, wobei die höheren Werte in den letztjährigen Nadeln zu finden waren.

*Picea abies* wies Schwefelgehalte zwischen 0,4 und 0,7 % auf. FIEDLER & THAKUR (1984) geben für diese Baumart „Normalwerte“ zwischen 0,10 und 0,13 % an, für SO<sub>2</sub>-beeinflusste Bäume Gehalte von 0,13 bis > 0,30 % an. Auch die von RIEK & WOLFF (1998) im Rahmen der bundesweiten Waldbodenzustandserhebung (BZE) durchgeführten Nährstoffanalysen bei *Picea abies* zeigten S-Gehalte zwischen 0,09 und 0,17 %, im Mittel bei 0,12 % (vergl. auch WOLFF & RIEK (1997a, 1997b) – Diese Überversorgung der auf der Halde wachsenden Individuen liegt in erster Linie in dem hohen Sulfatgehalt des Haldensubstrats (Gips, Anhydrit) begründet.

### 3.7 Eisen

Das Element Eisen liegt im Boden gebunden als Oxid, Hydroxid oder an Silikaten vor. Nach FREY & LÖSCH (1998) liegen die Gehalte im Boden zwischen 0,5 und 4 %. Aufgenommen wird Eisen in der zweiwertigen Form (Fe<sup>2+</sup>) oder als Fe-Chelat. AMBERGER (1996) beschreibt, dass pH-Wert, Redoxpotenzial sowie Konzentration und Stärke der Chelatoren entscheidend für die Verfügbarkeit des Eisens sind. Er weist darauf hin, dass die Gefahr des Eisenmangels vor allem in stark durchlüfteten (hohes Redoxpotenzial), aufgekalkten (pH-Wert) Sanden während der Hauptwachstumsphase – hoher Bedarf an Eisen – am größten ist und das Angebot an zweiwertigem Eisen gering ausfällt. Die bedeutsamste Funktionalität des Eisens im pflanzlichen Stoffwechsel beruht auf der Bildung von Komplexen über koordinative Bindungen und der Mitwirkung in Oxidations-Reduktions-Reaktionen. Eisen ist ein wichtiger Enzymbestandteil und spielt in der Chlorophyllbildung und Photosynthese eine ganz wesentliche Rolle.

Bei den *Gräseransaat*en auf der Halde wurden Eisengehalte zwischen 105 und 250 ppm gemessen, auf den Varianten ohne Behandlung gar bis 400 ppm. LIEBE (1999) hat in seinen Untersuchungen bei Gräsern Schwankungsbreiten zwischen 20 und 344 ppm Fe ermitteln können, im Mittel jedoch nur 43 ppm.

Der Gefäßversuch mit ***Lolium perenne*** brachte Fe-Gehalte von 45-75 ppm, maximal bis 100 ppm, hervor.

Bei den Proben von ***Festuca rubra*** sind Fe-Werte zwischen 35 und 170 ppm, bei der Behandlung mit Spurenelementen bis 350 ppm nachgewiesen worden.

Bei den **Gehölzarten** *Betula pendula*, *Populus tremula*, *Salix caprea*, *Pinus sylvestris* und *Picea abies* wurden Eisengehalte in der Blattmasse in der Regel zwischen 85 und 180 ppm, vereinzelt auch bis 310 ppm, ermittelt. HUNGER (1970) nennt Fe-Gehalte bei *Pinus sylvestris* zwischen 233 und 324 ppm, die von *Picea abies* erreichen nur Werte zwischen 114 und 161 ppm.

Alle Gehalte liegen im aufgezeigten Rahmen von AMBERGER (1996), der einen Bereich von 50-2.000 ppm angibt; BERGMANN (1993) hält Gehalte bei Pflanzen zwischen 50-800 ppm für realistisch.

### **3.8 Mangan**

Der gebundene Vorrat an Mangan im Boden findet sich anorganisch in Form von amorphen Oxiden, Carbonaten, Phosphaten und Silikaten. Es liegt überwiegend sorbiert an Tonmineralien vor; besser verfügbar ist Mangan in sauren Böden (FREY & LÖSCH, 1998) sowie unter Bedingungen mit niedrigem Redoxpotenzial.

Der Gesamt-Mn-Gehalt von Böden beträgt nach AMBERGER (1996) 0,02 bis 0,3 %, wobei Sandböden besonders arm an Mangan sind (30 ppm); je größer der Feinbodenanteil ist, desto höher ist auch der Mn-Gehalt. Mit zunehmendem pH-Wert nimmt die Löslichkeit von Mangan ab. BERGMANN (1993) weist in seinen Darstellungen auf Mn-Gehalte im Boden von 50-500 ppm hin. Die Gesamtspanne an Mn-Gehalten im Boden geben FIEDLER & RÖSLER (1993) mit <1-10.000 ppm an, wobei normale bzw. leicht versorgte Böden im Bereich zwischen 15 und 850 (500) liegen.

Von der Pflanze aufgenommen wird Mangan als  $Mn^{2+}$  oder in Form von Mn-Chelaten. Da Mangan einen ähnlichen Ionenradius wie Calcium besitzt (0,80 Å), ist ein gewisser Antagonismus zwischen den beiden Metallen gegeben. Mangan ist ein essentielles Element und ist an verschiedenen enzymatischen Reaktionen im Stoffwechsel als Aktivator (z. B. bei Phosphorylierungsreaktionen, Aktivierung von Enzymen des Citratzyklus) und Cofaktor beteiligt.

Bei den **Gräseransaat**en auf der Halde wurden Mangangehalte zwischen 50 und 210 ppm nachgewiesen.

Der Gefäßversuch mit ***Lolium perenne*** war mit 80 bis 400 ppm, z. T. noch höher liegend bis 1000 ppm, aufgrund der Zugabe von Spurenelementen, etwas höher im Mangangehalt. Das Maß der Zudüngung mit Spurenelementen wurde laut Herstellerempfehlung durchgeführt, ist jedoch aufgrund der nach oben abweichenden Gehaltswerte viel zu hoch gewesen. Laut BERGMANN (1993) sind bei dieser Art Gehalte zwischen 40 und 100 ppm nachzuweisen sein.



Bei dem Gefäßversuch mit ***Festuca rubra*** konnten ähnlich hohe Gehalte ermittelt werden.

Die Mn-Gehalte lagen in den Biomassen der **Gehölze** zwischen 15 und 180 ppm, vereinzelt auch über 300 ppm. HUNGER (1970) nennt durchschnittliche Mn-Gehalte bei *Picea abies* von 0,1 %. BERGMANN gibt für Laubgehölze einen Rahmen von 35 bis 100 ppm an, für die beiden Nadelgehölze gar von 50 bis 500 ppm, so dass nur einige Laubgehölze über den Werten lagen.

### **3.9 Zink**

Zink liegt gebunden im Boden als Phosphat, Carbonat, Sulfid, Hydroxid oder in Silikaten vor, und zwar überwiegend in sorbierter Form, weniger gelöst. Mobilisiert werden kann es eher im sauren als im alkalischen Medium.

Nach FINCK (1991) und BERGMANN (1993) liegen die Zinkgehalte im Boden bei 10-300 ppm. Die Gesamtspanne umfasst nach FIEDLER & RÖSLER (1993) einen Wertebereich zwischen 1-50.000 ppm; bei normalen Böden ist mit Zn-Gehalten zwischen 10 und 100 ppm zu rechnen. Davon sind laut FREY & LÖSCH (1998) 3 bis 25 ppm Zn austauschbar.

Ähnlich wie Mangan wird Zink auch in seiner zweiwertigen Form ( $\text{Zn}^{2+}$ ) und als Zn-Chelat von der Pflanze aufgenommen. Bei hohen pH-Werten ist auch eine Aufnahme als  $\text{ZnOH}^+$  möglich. Behindert wird die Aufnahme von Zink in Gegenwart von Calcium. Weiterhin besteht zwischen  $\text{Zn}^{2+}$  und  $\text{Cu}^{2+}$  eine Ionenkonkurrenz, so dass mit steigendem Zn-Angebot der Cu-Gehalt in der Pflanze zurückgeht.

Zink ist im Stoffwechsel entweder als Bestandteil mehrerer Enzyme oder als Cofaktor ( $\text{Zn}^{2+}$ -Ionen) regulatorischer Prozesse wirksam.

Bei den **Gräseransaat**en auf der Halde konnten aus den beprobten Biomassen Zinkgehalte von 10 bis 32 ppm analysiert werden.

Die Proben des Gefäßversuches mit ***Lolium perenne*** wiesen Zn-Werte zwischen 45-70 ppm auf, die von ***Festuca rubra*** lagen mit 15- 30 ppm noch darunter. Die mit Spurenelementen behandelten Gefäße hatten deutlich höhere Gehalte. Für Wiesengräser hat BERGMANN (1993) einen Gehaltsbereich zwischen 20 und 70 ppm beschrieben.

Während bei den **Laubgehölzen** Zn-Werte zwischen 160 und 210 ppm ermittelt wurden, lagen diese bei den beiden **Nadelbaumarten** zwischen 35 und 70 ppm. Nach BERGMANN liegen die Gehalte der Nadelbaumarten genau im definierten Spektrum, die Laubgehölze besitzen fast einen 3-fach höheren Wert. Auch HUNGER (1970) beschreibt Zn-Gehalte bei *Picea abies* und *Pinus sylvestris* zwischen 41 und 58 ppm.

### **3.10 Kupfer**

Meist ist Kupfer im Boden in Form von Sulfiden, Sulfaten oder Carbonaten gebunden und somit überwiegend sorbiert. Die Mobilisierung ist im sauren Milieu höher als im

basischen. Während AMBERGER (1996) von Kupfergehalten im Boden in einer Größenordnung von 5 bis 50 ppm ausgeht, setzen FREY & LÖSCH (1998) die Obergrenze bei 100 ppm. Die Gesamtspanne an Cu-Gehalten geben FIEDLER & RÖSLER (1993) zwischen 0,1 und 10.000 ppm an.

Wie bei den letzten Mikronährstoffen beschrieben, wird auch Kupfer entweder als zweiwertiges Ion ( $\text{Cu}^{2+}$ ) oder als Cu-Chelat aufgenommen. AMBERGER (1996) weist besonders auf den ausgeprägten Ionenantagonismus zwischen Kupfer und anderen Schwermetallen, vor allem Mangan und Eisen, hin, wobei Kupfer gegenüber den anderen beiden Elementen stark verdrängend wirkt.

Zu den wichtigsten Funktionen des Kupfers in der Pflanze gehören die Einflüsse auf die Wirkung Cu-haltiger Enzyme in Redoxsystemen. So spielt Cu eine Rolle bei der Photosynthese und bei verschiedenen Enzymreaktionen. Eine besondere Bedeutung kommt Cu beim Aufbau von Lignin zu.

FINCK (1991) gibt Cu-Gehalte in Pflanzen an, die zwischen 2 und 20 ppm liegen, wobei Werte unter 7 ppm als problematisch zu betrachten sind. Für AMBERGER (1996) ist erst ein Kupfergehalt von unter 4 ppm als kritisch einzustufen.

Die Kupfergehalte in allen Biomassen der **Gräser bzw. Ansaaten** lagen zwischen 5 und 20 ppm; nur unter Zuhilfenahme von Spurenelementen für die Düngung schossen die Gehaltswerte in die Höhe. BERGMANN (1993) gibt den oberen Rahmenwert mit 12 ppm an. LIEBE (1999) berichtet im Rahmen seiner Untersuchungen an Gräsern von Cu-Werten zwischen 2, 0 und 6,5 ppm, im Mittel bei 3,4 ppm.

Bei allen **Gehölzarten** lagen die Kupfer-Werte fast ausschließlich unter 10 ppm. *Picea abies* wies nur einen Gehaltswert von rd. 2 ppm auf, so dass hier der kritische Wert unterschritten wurde; BERGMANN (1993) nennt eine Spanne von 4 bis 10 ppm. Dieser Bereich wurde von *Pinus sylvestris* z. T. ebenfalls unterschritten.

### **3.11 Molybdän**

In Böden ist das Element Molybdän meist in Form von Molybdaten oder an Silikaten gebunden und liegt in der Regel sorbiert vor. Mobilisiert werden kann es besser im basischen als im sauren Medium (FREY & LÖSCH, 1998).

Die Molybdän-Bodengehalte liegen laut AMBERGER (1996) und FINCK (1991) zwischen 0,5 und 5 ppm, von denen nach FREY & LÖSCH (1998) 0,01 bis 4 ppm wasserlöslich sein können. LYR et al. (1992) stufen die Gehaltsspanne in Böden weiter ein: 0,01 bis 12 ppm. Sie weisen darauf hin, dass in einigen Böden z. T. Gehalte bis 670 ppm auftreten können.

Aufgenommen werden kann dieses Element in Form des oxalatlöslichen  $\text{MoO}_4^{2-}$  oder  $\text{HMoO}_4^-$ , was 1 bis 10 % vom Gesamt-Molybdän ausmacht. Die pflanzenverfügbaren Mo-Verbindungen konkurrieren mit  $\text{SO}_4^{2-}$ -Ionen. Sowohl Xylem- als auch Phloembeweglichkeit bescheinigt SCHILLING (1990) dem Molybdat.

In Pflanzen wird Molybdän zum wichtigen Enzymbestandteil (z. B. Nitratreduktase, Hydrogenase) und ist somit organometallisch gebunden.

Nach AMBERGER (1996) liegt der mittlere Mo-Gehalt in Pflanzen bei 1 mg/kg Trockensubstanz, er kann allerdings bei Leguminosen z. B. bis zum 20-fachen Wert höher sein, da er Bestandteil der Nitrogenase in den Knöllchen ist. BERGMANN (1993) stuft den Bereich der Mo-Pflanzengehalte zwischen 0,5 und 5 ppm ein.

Bei allen **Ansaat-Versuchen** auf der Halde bzw. Gefäßversuchen konnten niedrige Molybdänwerte von unter 5 ppm ermittelt werden. Nur die Zugabe von Spurenelementen war zu hoch dosiert, weswegen einzelne Gehalte über dem vorgenannten Bereich lagen.

Die Beprobungen der **Gehölzarten** lagen allesamt unter der Grenze von 0,1 ppm. Für Baumarten sollten lt. BERGMANN (1993) die Gehalte dieses Elementes zwischen 0,05 und 0,2 ppm anzusiedeln sein. HOFMANN & MÜLLER (1971) verweisen in ihren Untersuchungen auf Rahmenwerte bei *Pinus sylvestris* zwischen 0,09 und 0,16 ppm, bei *Picea abies* zwischen 0,03 und 0,12 ppm. LANG (2000) weist in ihrer Arbeit auf relativ niedrige Gehalte von 10-45 ng·g<sup>-1</sup> hin.

### **3.12 Bor**

Bor – das Mikronährelement mit dem kleinsten Ionendurchmesser – ist im Boden als Borat oder an Glimmern, Silikaten gebunden. Dabei liegt es häufiger in sorbierter Form als löslich vor. FINCK (1991) gibt bei einer Spanne von 5-100 ppm im Boden einen mittleren Gehalt von 15 ppm an. FIEDLER & RÖSLER (1993) nennen für Böden ein größeres Gehaltsspektrum von 0,1 bis 400 ppm. Davon sind nach FREY & LÖSCH (1998) nur 1 bis 3 ppm wasserlöslich. Ein geringer Anteil ist in organischer Form gebunden. Mit steigendem pH-Wert geht die Löslichkeit zurück.

Pflanzenverfügbar ist Bor in Form der Ionen  $\text{HBO}_3^{2-}$  und  $\text{H}_2\text{BO}_3^-$  sowie im hydratisierten Zustand als  $\text{B(OH)}_4^-$ .

Primär wird Bor in Blättern akkumuliert, weniger in Stängeln oder Wurzeln. Das leicht aufnehmbare Element ist ein wichtiges Bauelement der Zellwände; von dort aus ist es kaum noch mobilisierbar. Bor ist im Vergleich mit anderen Mikronährelementen nicht Bestandteil oder Cofaktor von Enzymen, sondern verantwortlich für die Stabilität von Zellwänden und Streckungswachstum (s. AMBERGER, 1996). Nach FIEDLER et al. (1973) beschleunigt Bor das Wurzelwachstum und ist für die Adventivwurzelbildung erforderlich. – BERGMANN (1993) gibt, wie die vorgenannten Autoren, Bor-Pflanzengehalte mit Werten zwischen 2 und 100 ppm an.

Alle Bor-Gehalte der untersuchten **Blatt- bzw. Nadelproben** lagen in einem Rahmen von 15 bis 35 ppm. Bei *Pinus sylvestris* wurden Werte zwischen 12 und 16 ppm nachgewiesen, bei *Picea abies* im Durchschnitt 18 ppm. FIEDLER & RÖSLER (1993) geben für *Picea abies* Bor-Gehalte zwischen 13 und 50 ppm an, bei einjährigen Nadeln von *Pi-*

*nus sylvestris* zwischen 6 und 35 ppm, so dass die beprobten Bäume als ausreichend versorgt einzustufen sind. Die gemessenen Nadelspiegelwerte von FIEDLER et al. (1969) entsprechen bei *Pinus sylvestris* bei einem mittleren B-Gehalt von 23,3 ppm etwa den in dieser Arbeit nachgewiesenen, ebenso die Gehalte von *Picea abies*, wie sie HOFMANN & MÜLLER (1970) mit durchschnittlich 31,1 ppm angeben. – Lediglich die Werte von ***Festuca rubra*** befanden sich in einem Bereich von 2-10 ppm, wobei die niedrigsten bereits als kritisch einzustufen sind.

Bei *Betula pendula* ist von INGESTAD & JACOBSEN (1963) durch Bor-Mangel (< 80 ppm) stark gehemmtes Wurzelwachstum festgestellt worden, wobei sich die Seitenwurzeln kurz und gedrunken entwickelt haben.

Wirklich überhöhte Gehalte waren nur bei Varianten mit Kompostüberdeckung bzw. unter Zugabe von Spurenelementen festzustellen; damit lag die vom Produkthersteller empfohlene Düngungsmenge an Spurenelementen eindeutig zu hoch.

### **3.13 Chlor**

Chlor spielt in der Pflanzenernährung ausschließlich in Form von Chlorid ( $\text{Cl}^-$ ) eine Rolle, wobei das im Boden befindliche Chlorid zu einem nur sehr geringen Anteil aus Mineralien oder bodenbürtigen Salzen stammt, häufiger durch Mineraldünger (z. B. KCl) eingetragen wird (s. AMBERGER, 1996). Es ist sehr leicht wasserlöslich und wird im Boden kaum sorbiert. In der Nähe natürlicher Salzstellen sowie von Rückstandshalden der Kaliindustrie kann der Chlorideinfluss bedeutsam sein. – LYR et al. (1992) geben Chloridgehalte im Boden von 5 bis 800 ppm an. Durch Einfluss vorgenannter regionaler Chloridquellen können die Gehalte ohne weiteres über 1.000 ppm liegen.

Bei hohem NaCl-Gehalt im Boden ist die Aufnahme mineralischer Nährstoffe, insbesondere von Kalium und Calcium, herabgesetzt. Insgesamt wird die Stoffproduktion und die Wuchsleistung stark vermindert (s. LARCHER, 1994).

Chlorid gilt als essentielles Nährelement und ist aufgrund seines physiologischen Bedarfes der Gruppe der Mikronährelemente zuzuordnen. Seine Funktion als osmotisches Regulans bestimmt maßgeblich den Turgordruck und den Stomatamechanismus; bei unzureichender Chloridversorgung sind Welke, Reduzierung der Zellteilung und Degradation des Eiweißes die Folgen. Außerdem ist es an der  $\text{O}_2$ -Freisetzung bei der Lichtreaktion der Photosynthese beteiligt (vergl. MENGEL, 1991).

Von AMBERGER werden Chloridgehalte in Pflanzen zwischen 0,1 und 2 % angegeben, Halophyten liegen mit Werten bis zu 12 % deutlich über diesem Niveau.

In den geschnittenen ***Biomassenproben auf der Halde und im Gewächshaus*** waren die Chloridgehalte auf den ungedüngten Varianten am niedrigsten (0,25 bis 0,1 %), etwas höher nach Düngungen (1,5 %) und unter Einsatz von Kompost sogar zwischen 3,5 und 4 %.

Die **Laubgehölze** wiesen auch relativ unterschiedliche Chloridgehalte auf: Bei *Betula pendula* wurden 450 ppm gemessen, *Populus tremula* – Proben kamen sogar auf 1.600 ppm, *Salix caprea* erreichte Rahmenwerte zwischen 780 und 1.830 ppm.

Dagegen lagen die **Nadelbaumarten** mit Gehalten von 230 ppm (*Picea abies*) bzw. zwischen 200 und 550 ppm (*Pinus sylvestris*) um einiges niedriger. – Nach PELIŠEK (1974), RUGE (1974) und EVERS (1976) liegen die Cl-Spiegelwerte von Fichtennadeln aus unbelasteten Gebieten unter 0,1 %, können aber bei starker Salzbelastung einen 3- bis 12-fach höheren Wert annehmen. Der toxische Schwellenwert wird mit 0,3 bis 0,5 % Cl bei Nadelbäumen angegeben, bei Laubgehölzen liegt er mit etwa 1,0 % Cl in der Trockensubstanz merklich höher. DÄSSLER & LIESSNER (1975) stufen *Picea abies* und *Pinus sylvestris* als stark anfällig gegen Salzs Schäden ein (vergl. auch DÄSSLER, 1991). LEH (1977) hat verschiedene Baum- und Straucharten hinsichtlich ihrer Anfälligkeit gegen NaCl-Auftausalzen zusammengestellt und ordnet *Betula pendula* in die Kategorie „nicht bzw. wenig anfällig“ ein.

## **Kap. XI: Schlussbetrachtung**

Aufgrund der auf der Halde III durch natürliche Sukzession entstandenen Vegetation – Arten der Kraut- und Strauch- bzw. Baumschicht – ist zunächst die Grundanforderung für eine Begrünung gegeben: Der Haldenabraum ist soweit frei von Natriumchlorid, seine Hauptzusammensetzung aus Gips und Anhydrit lassen eine **Direktbegrünung** zu, so dass keine zusätzlichen Materialien, wie Böden etc., auf den Haldenkörper aufgetragen werden müssen.

Der schlechte Wasserhaushalt und die sehr geringen Nährstoffgehalte in der eher als schwachmächtig zu bezeichnenden Lockerschichtauflage lassen ein nur sehr **begrenztes Wachstum der Vegetation** zu. Baumartig wachsende Gehölze, die vereinzelt seit mehr als 25 Jahren auf der Halde siedeln, sind ein Garant für die Überlebensmöglichkeit von Pflanzen. Da Gehölze, insbesondere bodenvage Arten mit ausgesprochenen Pioniereigenschaften, wie *Betula pendula*, *Pinus sylvestris*, *Populus tremula* und *Salix caprea*, sehr geringe Ansprüche hinsichtlich der Wasser- und Nährstoffversorgung besitzen, ist ein locker aufgebauter **Pionierwald** die wahrscheinlichste Vegetationsform, die sich in den nächsten Jahren herausbilden könnte, sofern der natürlichen Sukzession freier Lauf gelassen würde. **Krautige Arten**, wie die Besiedlungsdichte und das Arteninventar zu Anfang der Untersuchungen gezeigt haben, würden sich in nur sehr begrenztem Umfang auf der nährstoffarmen Lockerschicht ausbreiten können. Spezialisten, wie Stolonenbildner (z. B. *Calamagrostis epigeios*), haben nach einer ersten Ansiedlung die beste Möglichkeit, auf diesem Extremstandort zu gedeihen.

Vor dem rechtlichen Hintergrund, den Haldenkörper bis zum Jahre 2010 zu mindestens 60 % zu begrünen, sind **künstliche Begrünungsmaßnahmen** unerlässlich. Wie die **Ansaaten** von Gräsern gezeigt haben, findet nach Ausbringung des Saatgutes ein Keimprozess auch ohne den Einfluss von nährstoffzuführenden Substraten oder Düngern statt. Das anschließende Wachstum der geeigneten ausgesäten Arten (hauptsächlich *Festuca rubra*, *Dactylis glomerata*, *Lolium perenne*) ist ohne Zufuhr von Nährstoffen sehr spärlich und kann auf Dauer nicht stabilisiert werden, so dass ein langsamer Rückgang der jungen Gräser die Folge wäre. Mit mehrmaligen **Düngungsmaßnahmen** konnte in dieser Arbeit nicht nur der Vegetationsbestand stabilisiert, sondern auch das Wachstum in soweit gefördert werden, dass die Entwicklung der Pflanzen gekräftigt wurde und somit eine Fruktifikation für eine weitere Ausbreitung gegeben war. – Da das lockere Haldensubstrat für Niederschläge und gelöste Nährstoffe sehr durchlässig ist, sollten die Düngungsmaßnahmen dreimal innerhalb einer Vegetationsperiode erfolgen; dabei sind Gaben von Mehrnährstoffdüngern (N-P-K-Mg, N-P-K) zwischen 30 und 40 kg N/ha, wie die Untersuchungen gezeigt haben, völlig ausreichend. Höhere Gaben von Düngern würden zwar das Wachstum noch um einiges beschleunigen und den Ernährungszustand verbessern, könnten aber in Zeiten ausgesprochener Sommertrockenheit die krautige Vegetationsdecke zum Absterben zwingen. – Auch wenn bei einigen Mikronährstoffen die Pflanzengehalte unter denen der in der Literatur erwähnten kritischen Ertragswerte liegen, ist eine regelmäßige Zudüngung nicht erforderlich.

Neben Ansaaten, die zweifelsohne den Vorteil einer sofort greifenden Erosionsverminderung haben, ist die **Pflanzung von Gehölzen** ein wichtiger Bestandteil der künstlichen Begrünung. Da die Entwicklungsprozesse, wie sie bei natürlich gebildeten, aus Verwitterung hervorgegangenen Böden ablaufen, im gegenwärtigen Zustand der Haldenoberfläche nur auf kleineren Flächen ansatzweise (langsamer Abbau der Streu, Mineralisierung, Umlagerung) stattfinden, sind für Pflanzungen Gehölze mit ausgesprochenem Pioniercharakter auszuwählen. In den bepflanzten Haldenbereichen erwiesen sich die Arten *Betula pendula*, *Pinus sylvestris* und *Populus tremula*, diese wegen ihrer Fähigkeit Wurzelbrut zu bilden, als die geeignetsten. Die Art *Salix caprea* zeigte sich ziemlich anfällig in Zeiten mit geringen Niederschlägen und reagierte mit Laubwelke.

Zwar wurde an einigen untersuchten Pflanzen eine Mykorrhizierung festgestellt, wie intensiv diese bisher auf der Halde verbreitet ist, muss noch untersucht werden.

Obwohl reguläre **Baumschulware** auf einigen Expositionen der Halde gute Anwuchsraten gezeigt hat, ist jedoch auf die nach der Pflanzung folgende z. T. mangelhafte Pflanzenernährungssituation hinzuweisen, da diese Sortimente im Anzuchtbetrieb einer Baumschule außerordentlich gut mit Nährstoffen versorgt, sie allerdings als wurzelackte Pflanzen in das sehr nährstoffarme Haldensubstrat eingebracht worden sind. Daher lagen die Nährstoffgehalte der Baumschulware unter denen der aus Eigenanzucht bzw. der aus Fremdanzucht stammenden, mit Topfballen ausgestatteten Gehölze. Aus **Eigenanzucht** stammende Sortimente, die bereits im nährstoffarmen Medium kultiviert worden sind, lagen mit ihren Anwuchsraten, trotz gedrungenerer Wachstumsentwicklung, weit vorn.

Bei Pflanzungen von Gehölzen empfehlen sich lockere und weitständigere Verbände, als sie aus Gründen möglichst homogener Standortqualitäten im Rahmen dieser Arbeit angewendet wurden.

Wie Wurzeluntersuchungen an Sämlingen gezeigt haben, wirken sich **Düngungen** in der Jugendphase von Gehölzen nicht besonders positiv aus: Auch wenn die Nährstoffgehalte in der Biomasse höher lagen und das Wurzelwerk hinsichtlich des Dickenwachstums kräftiger ausgebildet war, konnten nur geringere Wurzellängen, insbesondere die der Wurzeln zweiter und dritter Ordnung, gemessen werden. Um die Ausbildung eines intensiv verzweigten Wurzelwerks zu fördern, sind mineralische Düngungen höchstens einmal jährlich empfehlenswert. Eventuelle Zugaben von Mikronährstoffen, wie Kupfer und Molybdän, wären aufgrund der sehr niedrigen Gehalte in der Biomasse überdenkenswert.

Besonders die älteren Bäume auf dem Haldenkörper – vornehmlich *Betula pendula* – zeichnen sich durch ihr intensives und sehr weitreichendes **Wurzelwachstum** aus, welches sich ohne Einfluss von Dünger hat über viele Jahre hinweg entwickeln können. Die Baumart *Populus tremula* vermag durch ihre Fähigkeit zur Wurzelbrutausbildung die Haldenoberfläche mit ihren Dynamik aus Auslösungen, Setzungen, Abbrüchen etc. besonders zu stabilisieren. In Verbindung mit Gräseransaaten kann die Lockerschichtauflage relativ schnell gefestigt werden.

Als Düngerarten haben sich der granulierten mineralische Mehrnährstoffdünger N-P-K-Mg (12-12-17-2) und N-P-K (15-15-15) bewährt.

Die Art der Düngerausbringung mittels geräteunterstützter „Sandstrahl“-Kompressor-technik ist für die Einsätze auf nicht mit üblichen Fahrzeugen befahrbaren Halden ausgereift und vor dem personell-sicherheitstechnischen Hintergrund, in Bezug auf die Begehbarkeit der Halde, unverzichtbar.

Die großtechnische Ausbringung von Kompost per Hubschrauber hat sich auf dem nur mit geringer Lockerschicht überdeckten Ostteil der Halde ebenfalls bewährt, so dass eine Begrünung durch Gräseransaat zumindest kleinflächig oder in Mosaiken möglich ist. Nicht nur die Art, sondern auch die erreichte Gleichmäßigkeit der Ausbringung von Kompost, ist gegenüber manueller Ausbringung vorzuziehen. – Wie die Feldaufnahmen gezeigt haben, ist nach einer Standzeit von zwei Vegetationsperioden eine mineralische Zudüngung notwendig, um die vorhandenen Gräserbestände zu stabilisieren und zu fördern.

Wie die Maßnahmen auf der Halde III gezeigt haben (s. Abb. XI/1-3) und vor dem Hintergrund standörtlicher Voraussetzungen mit Beachtung der klimatischen Gegebenheiten ist eine Begrünung ähnlich beschaffener anhydritisch geprägter Rückstandshalden der Kaliindustrie durch Gräseransaat und Pflanzungen von Pioniergehölzen unter Ausschluss von Wildverbiss durchführbar.



Abb. XI/1: Begrünter Haldenbereich durch Sukzession, Pflanzung und Ansaat (Stand: 2002).





Abb. XI/2: Erste Begrünungsversuche auf der Halde III (Stand: 1984) ...



Abb. XI/3: ... und im Jahr 2002 nach Durchführung verschiedener Maßnahmen.

## **Kap. XII: Zusammenfassung**

In Betrieb befindliche Rückstandshalden der Kaliindustrie bestehen aus über 90 % Steinsalz (NaCl) und sind somit nicht direkt begrünbar. Auf einigen Halden, die schon seit mehreren Jahrzehnten nicht mehr beschüttet werden, hat sich im Laufe der Zeit durch Auswaschung leicht löslicher Salze, insbesondere Natriumchlorid, eine sog. ausgesüßte Lockerschicht gebildet, die meist aus Gips bzw. Anhydrit besteht.

Eine Rückstandshalde (6,5 ha) mit einer anhydritisch geprägten Lockerschicht befindet sich in Osthessen nahe der Stadt Heringen am Standort „Wintershall“ des Werkes Werra der K+S Kali GmbH. Bedingt durch Auslösungsvorgänge unterliegt die Oberfläche einer gewissen Dynamik mit Erosionserscheinungen sowie Verlagerungen, Setzungen und Abbrüchen. Sehr geringe Nährstoffgehalte bei schlechtem Wasserhaushalt durch die überwiegende Korngröße „Pseudo-Sand“ kennzeichnen das Lockersubstrat.

Im Laufe der vergangenen drei Jahrzehnte haben sich im Rahmen der natürlichen Sukzession einige Pionierbaumarten wie *Betula pendula* (Sand-Birke), *Pinus sylvestris* (Wald-Kiefer), *Populus tremula* (Zitter-Pappel) und *Salix caprea* (Sal-Weide) eingefunden, die mittlerweile vereinzelt von anspruchsvolleren Arten begleitet werden. Auch einige krautige Pflanzen wie *Calamagrostis epigeios* (Land-Reitgras), *Festuca rubra* (Rot-Schwingel), *Epilobium angustifolium* (Schmalblättriges Weidenröschen) und *Puccinellia distans* (Gemeiner Salzschwaden) gehören zu den Arten mit Pioniercharakter.

Mit dem **Ziel**, die Halde bis zum Jahr 2010 zu mindestens 60 % mit Vegetation zu begrünen, lag der Schwerpunkt dieser Arbeit eindeutig in der Durchführung von Begrünungsmaßnahmen mit begleitenden Untersuchungen im Feld und im Gewächshaus. Weitergehend fanden auch Untersuchungen zur Sukzession statt.

Für die Begrünung der Haldenflächen wurde nur diejenigen Baumarten ausgewählt, die bereits durch natürliche Sukzession auf der Halde siedeln. Primär erfolgten Pflanzungen mit den o.g. vier Pionierbaumarten an unterschiedlichen Haldenexpositionen im Verband 1,5 x 1,0 m. Neben regulärer wurzelnackter Baumschulware wurden auch pikierte Jungbäume aus Eigenanzucht verwendet. Außer einer Anfangszugabe von Kompost um jeden gepflanzten Baum fanden keine Düngungen statt, um ein sich weitreichend entwickeltes Wurzelwachstum zu ermöglichen.

Die über fünf Vegetationsperioden dauernden Untersuchungen zeigten besonders gute Anwuchsraten von *Betula pendula* und *Pinus sylvestris* mit z. T. über 80 %. Bis auf die Südflanke, an der die meisten Ausfälle (bis über 95 %) zu verzeichnen waren, lagen das Potenzial angewachsener Pflanzen an den anderen Expositionen bei 65 bzw. 50 %. Aufgrund des gewählten Pflanzverbandes ist die noch vorhandene Zahl vitaler Bäume für das Begrünungsziel als völlig ausreichend einzustufen. Die besten Anwuchsraten wurden mit der Ware aus Eigenanzucht erzielt: Auf allen Expositionen wuchs die selbst kultivierte *Pinus sylvestris* am besten an. – Auch bei der Baumart *Populus tremula* konnten noch Anwuchsraten bis auf die erwähnte Südflankenlage zwischen 35 und 65 % nachgewiesen werden. Ihre Fähigkeit, Ausläufer zu bilden, verhilft der in Dynamik befindlichen Oberfläche zu mehr Stabilität. – Dagegen enttäuschte *Salix caprea* auf fast allen Expositionen. Mit Ausfällen zwischen 65 und 95 % zählt sie zu

den Arten, die auch in Zukunft nur eine untergeordnete Rolle bei der Begrünung solcher Haldentypen spielen dürfte.

Bei den meisten Sortimenten hat sich eine Vorbegrünung durch Gräseransaat positiv durch höhere Anwuchsraten und bessere Höhenentwicklungen ausgewirkt.

Deutliche Unterschiede zwischen Pluggenware (aus standorteigenem Samenpotenzial angezogenes Pflanzgut) mit *Betula pendula* und geklonter Ware (meristematische Vermehrung von Mutterbäumen auf der Halde) mit *Populus tremula* im Vergleich zu regulärer Baumschulware konnte nicht beobachtet werden.

Aussaatsversuche im Gewächshaus mit den Baumarten *Betula pendula*, *Pinus sylvestris* und *Picea abies* auf unbehandeltem Haldensubstrat, mit Düngung bzw. unter Zugabe von Kompost und Torfkultursubstrat führten zu folgendem Ergebnis. Auf reinem Haldensubstrat liefen in den meisten Fällen die höchsten Sämlingsraten (bis über 85 %) auf. Nicht überzeugen konnte das ausgesprochen schlechte Ergebnis unter Beteiligung von Kompost, bei dem wenige aufgelaufene Sämlinge bereits nach einigen Tagen abstarben, was an hohen Salzgehalten, wie ein Sickerwasserversuch zeigte, lag. Grüngut-Kompost ist aufgrund der Untersuchungsergebnisse beim Einsatz im Gewächshaus bzw. unter Feldbedingungen dem Bioabfall-Kompost vorzuziehen. – In Wurzeluntersuchungen konnte nachgewiesen werden, dass Düngungen das Wurzelwachstum relativ stark einschränken; die Pflanzungen mit Gehölzen auf der Halde wurden aus diesem Grund in den ersten fünf Jahren nicht mineralisch gedüngt.

Gräseransaat von *Lolium perenne* und *Festuca rubra* in Gefäßversuchen mit unterschiedlich gedüngten Varianten, z. T. mit Zugabe von Spurenelementen und Grüngut-Kompost, zeigten deutliche Unterschiede sowohl bei der Biomassenentwicklung als auch bei der Nährstoffversorgung. Ohne Zufuhr von Makronährelementen (Stickstoff, Phosphor, Kalium) war das Wachstum nur sehr verhalten und nahm während der Untersuchungsdauer deutlich ab. Der Einfluss von Grüngut-Kompost verhalf den Ansäaten zunächst zu den höchsten Biomassen; im Laufe der Untersuchung ging mit abnehmender Nährstoffverfügbarkeit auch die Höhe der Biomassen zurück. In einigen Varianten ohne zusätzliche Versorgung mit Spurenelementen lag das Niveau der Nährstoffgehalte bei wenigen Mikronährstoffen unter den in der Literatur angeführten Grenzwerten.

Ähnliche Ergebnisse brachten auch die Gräseransaat auf den Haldenbereichen, bei denen eine mineralische Düngung mit einer jährlichen Gabe von 3 mal 35 kg N/ha sowie Grüngut-Kompost im Vergleich zu ungedüngten Varianten betrachtet wurde. Auf den ungedüngten Parzellen breiteten sich die begrünten mosaikartigen Kleinstrukturen nur unwesentlich weiter aus. Deutliche Gelbfärbungen der Biomasse wiesen auf Nährstoffmängel hin, wie Laboranalysen beweisen konnten.

Von den ausgesäten Arten – *Festuca rubra*, *Lolium perenne*, *Dactylis glomerata* und *Festuca ovina* – nahm relativ schnell der Anteil von *Lolium perenne* an der Vegetationsdecke ab; das Auflaufvermögen von *Festuca ovina* war sehr verhalten, so dass zukünftig diese Art bei Haldenbegrünungen anhydritisch geprägter Substrate kaum eine

Rolle spielen dürfte. Auf besser wasserversorgten Bereichen wuchs *Dactylis glomerata* z. T. sehr üppig, am geeignetsten erwies sich jedoch die künstliche Begrünung mit *Festuca rubra*.

Die erstmals stattgefundenen großflächige Ausbringung von Grüngut-Kompost (300m<sup>3</sup>/ha) mittels Hubschrauber hat mit der anschließenden Gräseransaat im Ostteil der Halde III, der nur partiell mit geringmächtigen Lockerschichtauflagen ausgestattet ist, zu mosaikartigen Begrünungen geführt. Nach zwei Vegetationsperioden nahm der positive Einfluss des Komposts langsam ab, so dass im Folgejahr mineralische Düngungen mit durchgeführt wurden.

Untersuchungen zur Sukzession erfolgten anhand großflächiger Aufnahmen hinsichtlich der vorkommenden Arten auf den einzelnen Expositionen. Insgesamt konnten auf den Haldenflanken und -plateaus 72 krautige und 21 Gehölzarten nachgewiesen werden. Besonders beeinflussend für die Verbreitung verschiedener Arten auf dem Haldenkörper war die nahe Waldrandlage der Halde sowie die Verbreitungsmöglichkeiten der einzelnen Arten durch Wind und die Avi-Fauna. Untersuchungen mit Kompostüberdeckungen ohne Einsaat zeigten zunächst ein relativ hohes Aufkommen annueller Arten, im weiteren Verlauf nahm jedoch die Gesamtdeckung krautiger Arten ab und Moose, wie *Ceratodon purpureus*, breiteten sich fast über die gesamten Parzellen aus.

Weiterhin wurde festgestellt, dass das Auflaufen angeflogener Gehölzsamen durch die auf dem Substrat befindliche Streuauflage verbessert und somit die natürliche Sukzession gefördert wird. Umsetzungsprozesse bis hin zur Mineralisierung abgestorbener Biomassen finden auf dem Haldenkörper nur in Teilbereichen ansatzweise statt.

In Gewächshausuntersuchungen wurde der keimfähige Diasporenbesatz auf bzw. im Haldensubstrat nachgewiesen. Besonders viele Sämlinge entwickelten sich im Probenmaterial, welches unter der Beschirmung durch ältere Bäume genommen wurde.

Das gut durchwurzelbare Haldensubstrat erlaubt vor allem bei den Baumarten *Betula pendula* und *Populus tremula* weitreichende Wurzelentwicklungen, so dass die Standfestigkeit der Individuen langfristig gesichert ist. – Die pfahlwurzelbildende Baumart *Pinus sylvestris* wird trotz der z. T. schwachmächtigen Lockerschichtauflage nur unwesentlich in ihrem Wachstum beeinflusst; die Wurzelentwicklung erfolgt vertikal bis zum verfestigten Salzkörper und intensiver in horizontaler Ebene.

Mit den durchgeführten Maßnahmen und Untersuchungen zur Begrünung der anhydritisch geprägten Rückstandshalde der Halde III ist gezeigt worden, dass das Begrünungsziel bis zum Jahr 2010 ohne Einfluss von Wild erreichbar ist, wenn Begrünungen durch mineralische Düngungen oder Kompostzugaben begleitet werden.

Neben Ansaaten mit den bewährten Gräserarten können Pflanzungen von Gehölzen in freien oder kaum bestockten Teilbereichen der Halde ergänzend erfolgen.

## **Kap. XIII: Summary**

Dumps of potassium industry mostly consist of sodium chloride (> 90 %). After rainfalls seepwaters, concentrated with chloride, pollute parts of the environment like soils, rivers. On this saline dumps land planting is not possible without covering by soils or other substrates.

The dynamic surface of one type of saline dumps (0,3 – 1,2 m thickness) consists of anhydrite and gypsum – grain size like sand, low availability of nutrients. Sodium chloride was eroded in the last three decades.

Since 25 years a few species of plants grow up by succession in parts of a dump nearby Heringen (potassium industry “K+S Kali GmbH” in the east of Hessa, Germany). Four species of trees with pioneer character – birch (*Betula pendula*), Scots pine (*Pinus sylvestris*), aspen (*Populus tremula*), goat willow (*Salix caprea*) – mostly take part in natural succession besides spruce (*Picea abies*), European larch (*Larix decidua*), common oak (*Quercus robur*). Herbaceous plants like chee reedgrass (*Calamagrostis epigeios*), meadow festuce (*Festuca rubra*) and *Puccinellia distans* (halophytic vegetation).

The aim of recultivation this saline dump is the requisition to get a plant cover of 60 % until 2010. So land planting with trees and herbaceous species besides researches about natural succession and experiments in glasshouse set up the priorities of this study.

On different expositions of the saline dump the four pioneer species of trees, delivered by tree nursery (**Baumschule**) and trees of self-cultivation, were planted with spacing of 1,5 x 1,0 m in 1998. A dose (**Gabe**) of 1,5 l compost, given to every planted tree, was the additional supply of nutrients, without using fertilizer in the following growing seasons (**Vegetationsperioden**).

Birches and Scots pines obtained (**erreichen**) the highest rates of taking roots. On all expositions pines of self-cultivation had least loss rates. The species “aspen” stabilizes the surface of the saline dump by stolons, but goat willow trees have had a lot of problems to grow up with inadequated (**unzureichenden**) water balance of the dump substrate.

Most of the tree-assortements (**Sortimente**) developed on grass vegetation better than on parts without any vegetation structures.

Seed-testing in the glasshouse with birch, Scots pine, and spruce on substrates which were concentrated by compost, fertilizer and cultivation-substrate, led to following results: The highest rates of seedlings (> 85 %) grew up in the dump substrate without any treatment, but bio-compost damaged all seedlings because of high saline concentrations. Compost, consisting only of biomass of gardens, parks, and fields, has better properties for plant growth than bio-compost which includes bio-waste of households. Fertilization of seedlings reduced the growth of roots.

Disseminations (**Aussaaten**) with grass species on substrate of the saline dump – reygrass (*Lolium perenne*), meadow festuce (*Festuca rubra*) – in glasshouse experiments were treated with fertilizer, compost and trace elements (**Spurenelemente**). The development of biomass was very differently: Without macro-nutrients (nitrogen, phosphorus, potassium) the growth of grasses has had a low level and was reduced through the time of research. The best results developed on the versions with fertilizer, compost and trace elements. On the substrate without any additional nutrients the species of grass were not able to survive for a long time. In this cases the color of biomass was light green up to yellow. The contents of macro-nutrients and some trace elements were low in the biomass proofs.

Similar results of researches were given on trial fields of the saline dump.

After seeding four species of grass on the dump, *Festuca ovina* didn't grow up satisfactory. Reygrass (*Lolium perenne*) took part of vegetation the first time, but after three growing seasons this species was not often found. Only *Dactylis glomerata* and *Festuca rubra* were spread out, the second species has been dominating nearly in all parts of the saline dump.

During this land planting a mass of compost (550 m<sup>3</sup>) was taken by helicopter to the dump first time, cause the east exposition of the dump only possesses a low thickness of gypsum and anhydrite substrate. After seeding grass some parts and mosaics were covered by vegetation. Two years ago the positive influence of compost on vegetation took off and fertilizing by macro-nutrients became necessary.

Researches of succession took place on different expositions of the saline dump. An inventory of species of plants which are growing up there since many years and settled on parts in last time was conducted. Altogether, 72 herbaceous plants and 21 species of trees and shrubs could be established. Especially the nearness of forest edge (**Waldrand**) encouraged the growth of seedlings. Some species of trees (oak, beech) were spread by jays and squirrels.

After taking compost on parts of the surface of the dump without seeding, annual plants grew up and moss cover followed them.

The rate of emergence (**Auflaufrate**) of trees and succession were encouraged by litter which didn't mineralize in nutrient cycle not as yet.

In glasshouse experiments samples of substrates were investigated for diaspores of herbaceous plants and species of trees. Most of seedlings grew up on samples which were taken below older trees, especially birches.

The substrate of anhydrite and gypsum is streaked (**durchziehen**) with intensive root-systems of birches and aspen. Scots pines normally form (**bilden**) a tap-root-system (**Pfahlwurzelsystem**) with a deep between 4 and 6 meters; on the dump they only have maximum root-systems up to 1,2 m. Most of the roots grow in vertical directions.

The results of all researches showed the possibility to get a land planting of 60 % by planting pioneer species of trees (**Pionierbaumarten**), seeding grass (*Dactylis glomerata*, *Lolium perenne*, *Festuca rubra*) and using auxiliary materials (**Hilfsstoffe**) like fertilizer and compost.

Preconduction of land planting activities an saline dumps with anhydrite and gypsum substrate is to suspend the influence of roe deer.

## **Кар. XIV: Резюме**

Находящиеся на предприятии калийной промышленности отвалы, состоят из более чем 90 % натрий хлорида, и поэтому они не озеленяются. На некоторых отвалах, которые уже несколько десятков лет больше не насыпаются; из-за вымывания легко растворяющихся солей, особенно натрий хлорида, на протяжении времени образовался рыхлый слой, который в основном состоит из гипса и ангидрида, однако свободный от хлорида.

На востоке Хесена вблизи города Херинген на месте «Винтерсхаль» предприятия Вера фирмы K+C Калий, находится отвал (6,5 га) с ангидридным рыхлым слоем. На основании растворяющих процессов подлечит поверхность некоторой динамике с явлениями эрозии, также перемещениями, сгущениями и сломом. Похожий на песок рыхлый слой, характеризует очень низкое содержание питательных веществ при плохом водном балансе.

На протяжении прошлых трёх десятилетий на основании натурального озеленения растут некоторые неприязательные виды деревьев, такие как песочная берёза (*Betula pendula*), лесная сосна (*Pinus sylvestris*), осина (*Populus tremula*) и козья ива (*Salix caprea*), которые тем временем единично сопровождаются с требовательными видами. Также некоторые травяные растения, как наземный вейник (*Calamagrostis epigeios*), красная овсяница (*Festuca rubra*), иван-чай (*Epilobium angustifolium*) и виды трав переносящие соль (*Ruscic-nellia distans*) относятся к родам с неприязательным характером.

С целью озеленить отвал минимум до 60 % к 2010 году; главной задачей этой работы было, проведение озеленительных работ с сопровождающими опытами на поле и в теплице. Также продолжались исследования к натуральному поселению растений. Для озеленения остаточных отвалов были выбраны только те сорта деревьев, которые уже через натуральные поселения растут на отвале. В основном посадка происходила на различных экспозициях отвала, с описанными выше четырьмя неприязательными сортами деревьев, с расстоянием между ними 1,5\*1,0 м. Кроме корнеголых деревьев из рассадника, также пользовались молодыми деревьями из частного рассадника. Кроме начальной придачи компоста вокруг каждого посаженного дерева, больше удобрения не употреблялось, чтобы сделать возможным хорошее горизонтальное развитие корней.

Постоянные исследования в течении пяти вегетационных периодов показали, особенно хорошие укоренения частично выше 80 % у берёзы (*Betula pendula*) и обыкновенной сосны (*Pinus sylvestris*). Большинство засохших растений (больше чем 95 %) определили на южном склоне, на других экспозициях лежал потенциал приросших растений около 65 вернее 50 %. На основании выбранного расстояния между растениями, присутствует достаточное количество полных жизни деревьев для озеленительной цели. Лучшие укоренения достигнули с растительностью из частного рассадника, даже культурная обыкновенная сосна (*Pinus sylvestris*)



росла на всех экспозициях лучше всего. У вида дерева осины (*Populus tremula*) лежало укоренение между 35-65 % на всех склонах, кроме южного склона. Её способность создавать корневые побеги, способствует стабильности поверхности находящейся в динамике. Сравнительно от сосны, разочаровала козья ива (*Salix caprea*) почти на всех экспозициях. Из посаженных деревьев этого вида засохло между 65 и 95 % и поэтому в будущем при озеленении отвалов, она не будет играть какую либо роль.

На поверхностях, которые уже были раньше озеленены с помощью посева семян, деревья укоренялись лучше и имели лучший высокий рост.

Посевные опыты в теплице с сортами деревьев берёзы (*Betula pendula*), обыкновенной сосны (*Pinus sylvestris*) и елью (*Picea abies*) на необработанном материале отвала с удобрением, вернее с подачей компоста и торфокультурного субстрата ведут к следующим результатам. В наибольших случаях на чистом субстрате отвала росло больше семян (до и выше 85 %). Неубедительным был, плохой результат с участием компоста, при котором мало проросших семян уже через несколько дней засохли. Как показал опыт просачивающей воды, причиной этого было высокое содержание соли. На основании результатов опыта, при применении в теплице вернее в полевых условиях, зелёный компост предпочитать биоотбросы-компосту. В исследованиях корней доказалось, что удобрения сильно ограничивают рост корней. По этой причине в первые пять лет, на отвале растения и посаженные деревья не удобрялись минералами.

В теплице посеянные саженцы *Lolium perenne* и красной овсяницы (*Festuca rubra*) с различными вариантами удобрения, частично с добавкой микроэлементов и биоотбросы-компоста, показали значительные различия, как при развитии биомассы так и при обеспечении питательными веществами. Рост был очень сдержанный без снабжения главными питательными веществами (азот, фосфор, калий) и отчётливо уменьшился на протяжении опыта. Влияние зелёного компоста помогло саженцам, прежде всего к высшим биомассам; во время проведения опыта понижались имеющиеся в распоряжении питательные вещества, а также с ними уменьшалась биомасса. В нескольких вариантах без дополнительного снабжения микроэлементами, лежал уровень состава питательных веществ около нескольких микропитательных веществ, ниже чем записанных в литературе граничных норм.

Посеянные на отвалах травы принесли похожие анализы, у которых годовая порция от 3 раз 35 кг азота на га минеральных удобрений, а также рассматривался зелёный компост в сравнении к неудобрённым вариантам. Озеленённые мозаичноподобные структуры распространялись только незначительно на неудобрённых мелких участках земли. Отчётливая жёлтая

окраска биомассы указала на недостаток питательных веществ, как доказали анализы лаборатории.

Из рассаженных видов красной овсяницы (*Festuca rubra*), *Lolium perenne*, *Dactylis glomerata* и *Festuca ovina* уменьшалось сравнительно быстро, количество *Lolium perenne* на поверхности вегетационного слоя; способность зарождения *Festuca ovina* была очень плохая, так что в будущем этот вид при озеленении отвалов не будет играть какую-либо роль, с высокой долей сульфата кальция. На лучше водоснабжённых участках росла *Dactylis glomerata* частично очень пышно, но искусственное озеленение с красной овсяницей (*Festuca rubra*) оказалось более подходящим.

Самые первые распространения с помощью вертолёта, зелёного компоста (300 м<sup>3</sup> на га) на поверхности, с заключительным посевом семян на восточной части III отвала, который только частично снабжён тонким рыхлым слоем, вело к мозаичноподобному озеленению. После двух вегетационных периодов медленно уменьшалось положительное влияние компоста, так что в последующем году были проведены минеральные удобрительные работы.

В исследованиях к натуральному поселению растений, были описаны встречающиеся виды на единичных экспозициях отвала. В общем могли определить 72 травяных и 21 сортов деревьев на боках отвала и плато. Особенное влияние для распространения разных сортов на отвале оказывало, близость лесного края, а также возможность распространения единичных сортов с помощью ветра и птиц. Исследования с компостпокрытиями без посева растений в начале показали, относительно высокое наличие однолетних видов, но в другом вегетационном периоде уменьшилось всеобщее покрытие травяными сортами, и мох, как *Ceratodon purpureus* распространился почти по всем участкам земли.

В последующем установили, что из-за листвы находящейся на субстрате улучшилось скопление прилетающих семян деревьев, и таким образом способствует натуральному посеву растений. Разложение отмирающей биомассы, происходит только на некоторых участках отвала.

В субстрате отвала в тепличных исследованиях было найдено содержание всхожих семян. Особенно много семян развивалось в материале опыта, который брался под покрытием крон старых деревьев.

Песочнообразный субстрат отвала представляет прежде всего, возможность сортам деревьев берёзе (*Betula pendula*) и *Populus tremula* широкое развитие корней, так что долгосрочно гарантируется устойчивость деревьев. Вид дерева

обыкновенная сосна (*Pinus sylvestris*) образует в основном стержневой корень, который проходит вертикально до крепкого солевого тела и развивается интенсивнее в горизонтальной плоскости.

С проведёнными посевами, рассадками и исследованиями на ангидрическом остаточном 3 отвале показало, что цель озеленения до 2010 года, без влияния ветра достижима, когда озеленение сопровождается с помощью минеральных удобрений или подачей компоста.

Кроме посева с испытанными видами трав, может в будущем дополнительно происходить посадка деревьев, на неозеленённых или едва зарождённых вегетацией, частичных районах отвала.

.

## **Kap. XII: Literaturverzeichnis**

- ABETZ, P. (1969): Waldbauliche Versuche mit verschiedenen Pflanzensortimenten bei der Fichtenbestandsbegründung in Oberschwaben. Allg. Forst- u. Jagd-Ztg. 140: S. 65-75.
- ABETZ, P., PRANGE, H. (1975): Waldbauliche Versuche mit verschiedenen Pflanzensortimenten bei der Fichtenbestandsbegründung in Oberschwaben. Allg. Forst- u. Jagd-Ztg. 146: S. 197-205.
- AG BODEN (1996): Bodenkundliche Kartieranleitung. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. Stuttgart.
- ALTHERR, E., EVERS, F. H. (1975): Magnesium-Düngungseffekt in einem Fichtenbestand des Buntsandstein-Odenwaldes. Allg. Forst- u. Jagd-Ztg. 12: S. 217-225.
- AMANN, G. (1993): Bäume und Sträucher des Waldes. Verlag Neumann-Neudamm. Melsungen.
- AMBERGER, A. (1996): Pflanzenernährung – ökologische und physiologische Grundlagen; Dynamik und Stoffwechsel der Nährelemente. Verlag Eugen Ulmer. Stuttgart.
- BANNIK, G. C. M., SCHMIDT, M. (1995): Verwertungsmöglichkeiten von Komposten außerhalb der Landwirtschaft – Rekultivierung devastierter Flächen. In: Komposte der Landwirtschaft. KTBL-Arbeitspapier 223. KTBL-Schriftenvertrieb im Landwirtschaftsverlag GmbH. Münster-Hiltrup.
- BARTELS, H. (1993): Gehölzkunde – Einführung in die Dendrologie. Verlag Eugen Ulmer. Stuttgart.
- BAUMEISTER, W., ERNST, W. (1978): Mineralstoffe und Pflanzenwachstum. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart.
- BAUMGARTNER, A. (1965): The heat, water and carbon dioxide budget of plant cover: methods and measurements. Proc. Montpellier Sympos.: 495-572, UNESCO, Paris.
- BEESE, F. (1986): Nitrogen cycling in temperate forest ecosystems. Gött. Bodenk. Berichte 85: S. 194-211.
- BERGMANN, W. (1993): Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen – Entstehung, visuelle und analytische Diagnose. Gustav Fischer Verlag. Jena.
- BONN, S., POSCHLOD, P. (1998): Ausbreitungsbiologie der Pflanzen Mitteleuropas. Verlag Quelle & Meyer. Wiesbaden.
- BONNEAU, M., DELMAS, I. (1985): Nutrition minerale comparée du Chêne sessile et du chêne pedunculé. Ann. Sci. For. 42: S. 471-474.
- BØRSET, O. (1962): Die Bedeutung der Aspe (*Populus tremula*) als Vorwald- und Mischholzart für die Fichtenkultur in Norwegen. Tagungsbericht Dt. Akad. Landw. Wiss. 53. Berlin.
- BRECHTEL, H. M. (1990): Interzeption. In: BAUMGARTNER, A., LIEBSCHER, H. J. (1990): Allgemeine Hydrologie. Verlag Gebrüder Borntraeger. Berlin.

- BRIEMLE, G., EICKHOFF, D., WOLF, R. (1991): Mindestpflege und Mindestnutzung unterschiedlicher Grünlandtypen aus landschaftsökologischer und landeskultureller Sicht – Praktische Anleitung zur Erkennung, Nutzung und Pflege von Grünlandgesellschaften. Beih. Veröff. Naturschutz Landschaftspflege Bad.-Württ., 60: S. 1-160.
- BURSCHEL, P., HUSS, J. (1987): Grundriß des Waldbaus – Ein Leitfaden für Studium und Praxis. Verlag Paul Parey. Hamburg.
- BUSCH, U., FÜHRER, H.-W. (1997): Elementgehalte von Kiefern- und Fichtennadeln südlich von Frankfurt/Main. Allg. Forst- u. Jagd-Ztg. 186. Jg.: S. 1-6.
- CHAPMAN, H. D. et al. (1966): Diagnostic criteria for plants and soils. Univ. of California, Div. of Agric. Sci., Riverside. U.S.A.
- CLAASEN, N. (1994): Nährstoffaufnahme höherer Pflanzen aus dem Boden – Ergebnis von Verfügbarkeit und Aneignungsvermögen. Severin Verlag. Göttingen.
- CLIFFORD, H. T. (1956): Seed dispersal on footwear. Proc. of the Botan. Soc. of the British Isles 2: S. 129-131.
- DALE, V. H. (1989): Wind dispersed seeds and plant recovery on Mount St. Helens debris avalanche. Can. J. Bot. 67: S. 1434-1441.
- DÄSSLER, H. G., LIESSNER, A. (1975): Zur Phytotoxizität von Auftausalzen. Arch. Natursch. u. Landschaftsf. 15: S. 69-76.
- DÄSSLER, H. G. [HRSG.] (1991): Einfluß von Luftverunreinigungen auf die Vegetation – Ursachen – Wirkungen – Gegenmaßnahmen. Gustav Fischer Verlag. Jena.
- DESCHAUER, H. (1995): Eignung von Bioabfallkompost als Dünger im Wald. Bayreuther Bodenkundliche Berichte. Bd. 43.
- DEUTSCHER WETTERDIENST [Hrsg.] (1992): Die Verdunstung in der Bundesrepublik Deutschland – Zeitraum 1951-1980. Teil III. Selbstverlag. Offenbach.
- DRESSEL, S., HOFMANN, H., SCHEER T. (2000): Sukzessionsuntersuchungen auf anhydritisch geprägten Haldenbereichen am Standort Hattorf des Werkes Werra der Kali und Salz GmbH. Ökologie und Umweltsicherung, Bd. 19: 53-71. Universität Gesamthochschule Kassel, FG Landschaftsökologie und Naturschutz.
- ELLENBERG, H. (1996): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. Verlag Eugen Ulmer. Stuttgart.
- ELSEN, T. v. (1997): Binnensalzstellen an Rückstandshalden der Kali-Industrie. In: Naturschutzreport 12: S. 63-117.
- ELSEN, T. v., SCHMEISKY, H. (1990): Halophyten-Bestände im Einflußbereich von Rückstandshalden der Kali-Industrie. In: Mittlg. Erg. Stud. Ökol. Umwelts. 9: S. 167-180.
- ERTELT, W. (1942): Die Birkenwurzel auf armen Sandböden. Zeitschrift für Forst- und Jagdwesen. Heft 6.

- EVERS, F. H. (1972): Die jahresweisen Fluktuationen der Nährelementkonzentrationen in Fichtennadeln und ihre Bedeutung für die Interpretation nadelanalytischer Befunde. Allg. Forst- u. Jagd-Ztg. 143. Jg.: S. 68-74.
- EVERS, F. H. (1976): Ausbreitung von Streusalzschäden im Innern von Waldbeständen. Forstwiss. Centralbl. 95: S. 251-264.
- FENN, M. E., POTH, M. A., ABER, J. D., BARON, J. S., BORMANN, B. T., JOHNSON, D. W., LEMLY, A. D., McNULTY, S. G., RYAN, D. F., STOTTLEMYER, R. (1998): Nitrogen excess in North American ecosystems: predisposing factors, ecosystem responses, and management strategies. Ecological Applications 8: S. 706-733.
- FIEDLER, H. J., HÖHNE, H., HOFMANN, W., MÜLLER, W. (1969): Der Ernährungszustand der Kiefer in Abhängigkeit von den Standortverhältnissen. 3. Int. Conf. For. Yield, For. Fertiliz. S. 97-117. Prag.
- FIEDLER, H. J., NEBE, W., HOFFMANN, F. (1973): Forstliche Düngung und Pflanzenernährung. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart.
- FIEDLER, H. J., THAKUR, S. D. (1984): Zur Schwefelernährung der Waldbäume und blattanalytischen Bewertung ihres Ernährungszustandes. Beiträge f. d. Forstwirtsch. 18: S. 81-86.
- FIEDLER, H. J., RÖSLER, H. J. (1993): Spurenelemente in der Umwelt. Gustav Fischer Verlag. Jena.
- FINCK, A. (1991): Pflanzenernährung in Stichworten. Hirt in der Gebrüder Borntraeger Verlagsbuchhandlung. Berlin.
- FINCK, A. (1992): Dünger und Düngung. VCH Verlagsgesellschaft. Weinheim.
- FISCHER, P. (1993): Kompostverwertung im Produktionsgartenbau und Garten- und Landschaftsbau. In: Wiemer und Kern [Hrsg.]: Biologische Abfallbehandlung. Kompostierung – Anaerobtechnik – Kalte Vorbehandlung. S. 263-276. M.I.C. Baeza Verlag. Witzenhausen.
- FÖRDERGESELLSCHAFT „GRÜN IST LEBEN“ BAUMSCHULEN (1993): Handbuch Teil V – Gehölzsortimente und ihre Verwendung. Klett Flora-Druck. Filderstadt.
- FORSTVERMEHRUNGSGESETZ (FOVG) vom 22.05.2002. Bundesgesetzblatt Jahrgang 2002 Teil I Nr. 32, ausgegeben zu Bonn am 29.05.2002: S. 1658-1666.
- FREY, W., LÖSCH, R. (1998): Lehrbuch der Geobotanik – Pflanze und Vegetation in Raum und Zeit. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart.
- GRÜNEKLEE, C. E., KLEIN, T., MOLL, W. (1993): Anwendung von Komposten in der Forstwirtschaft. Müll- und Abfallbeseitigung. Lfg. 5/93: 6531.
- GUDER, C., EVERS, C., BRANDES, D. (1998): Kalihalden als Modellobjekte der kleinräumigen Florendynamik dargestellt an Untersuchungen im nördlichen Harzvorland. In: Braunschw. naturkundl. Schr. 5, Heft 3: S. 641-665.
- GULDER, H.-J. (1999): Wurzeluntersuchungen auf Sturmwurfflächen. Unveröffentl. Ber.

- GULDER, H.-J. (2000): Das Wurzelwerk der Sandbirke. In: Beiträge zur Sandbirke. Berichte aus der bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft 28: S. 16-18. Freising.
- GÜRTH, P. (1970): Wachstum und Wasserhaushalt von Fichtenverschulpflanzen unterschiedlicher Qualität nach Verpflanzung in das Freiland. Allg. Forst- u. Jagdztg. 141: S. 160-172.
- HACKENBERG, S., WEGENER, H.-R., EURICH-MENDEN, B. (1996): Herkunft der Schadstoffe in Komposten – Schadstoffgehalte in Komposten und anderen Dünge- und Bodenverbesserungsmitteln – Vor- und Nachteile beim Einsatz von Komposten in der Land- und Forstwirtschaft sowie im Landschafts- und Weinbau. Abschlußbericht zur Literaturlauswertung. Justus-Liebig-Universität Gießen. Institut für Bodenkunde und Bodenerhaltung.
- HADENFELDT, H. P. (1988): Mineralstoffgehalte im Weidegras. Arbeitsgemeinschaft Grünland und Futterbau in der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften. Vorträge zur Jahrestagung 1988 in Kiel/Eckernförde.
- HAEUPLER, H., MUER, T. (2000): Bildatlas der Farn- und Blütenpflanzen Deutschlands. Verlag Eugen Ulmer. Stuttgart.
- HALLÉ, F., OLDEMAN, R. A. A. (1970): Essai sur l'architecture et la dynamique de croissance des arbres tropicaux. Monographie 6. Paris.
- HANF, M. (1999): Ackerunkräuter Europas mit ihren Keimlingen und Samen. BLV Verlagsgesellschaft. München.
- HECKER, U. (1985a): Nadelgehölze – Wildwachsende und häufig angepflanzte Arten. BLV Verlagsgesellschaft. München.
- HECKER, U. (1985b): Laubgehölze – Wildwachsende Bäume, Sträucher und Zwerggehölze. BLV Verlagsgesellschaft. München.
- HEINZE, M. (1998): Die Ernährung von Waldbäumen auf Gipsstandorten. Vortrag auf dem Ehrenkolloquium für Herrn Prof. Dr. habil. Dr. h. c. mult. Hans Joachim Fiedler am 30. Januar 1998 in Tharandt anlässlich der 70. Wiederkehr seines Geburtstages. Forstwiss. Centralbl. 117: S. 267-276.
- HEINZE, M., FIEDLER, H. J. (1979): Versuche zur Begrünung von Kalirückstandshalden. 1. Mitteilung: Gefäßversuche mit Bäumen und Sträuchern bei unterschiedlichem Wasser- und Nährstoffangebot. Archiv Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde 23 (5): S. 315-322.
- HEINZE, M., FIEDLER, H. J. (1981): Versuche zur Begrünung von Kalirückstandshalden. 2. Mitteilung: Gefäßversuche mit Gehölzen auf verschiedenen Rückstandssubstraten. Archiv Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde 25 (11): S. 717-724.
- HEINZE, M., FIEDLER, H. J. (1984): Versuche zur Begrünung von Kalirückstandshalden. 3. Mitteilung: Gefäßversuche mit Kräutern natürlicher Gipsstandorte. Archiv Acker- und Pflanzenbau und Bodenkunde 28 (4): S. 263-266.
- HEINZE, M., FIEDLER, H. J., LIEBMANN, H. (1984): Freilandversuche zur Begrünung von Kalirückstandshalden im Südhartzrevier. Hercynica 21: S. 179-189.

- HEINZE, M., LIEBMANN, H. (1991): Freilandversuche zur Begrünung von Kalirückstandshalden im Südharzgebiet. *Hercynica* 28 (1): S. 62-71.
- HEINZE, M., SÄNGER, H. (1996): Untersuchungen zur Langzeitwirkung von Abdeckschichten unter dem Einfluss einer möglichen Durchwurzelung. Unveröffentl. Wismut GmbH. Chemnitz.
- HEINZE, M., LIEBMANN, H. (1998): Begrünung der Rückstandshalden im Südharzgebiet. *AFZ - Der Wald* 21: S. 1287-1289.
- HEINZE, M., SÄNGER, H. (1999): Untersuchungen zur Langzeitstabilität von Abdecksystemen unter dem Einfluss einer möglichen Bioturbation. Unveröffentl. Wismut GmbH. Chemnitz.
- HENNINGSSEN, D., KATZUNG, G. (2002): Einführung in die Geologie Deutschlands. Spektrum Akademischer Verlag. Heidelberg.
- HEß, D. (1999): Pflanzenphysiologie – molekulare und biochemische Grundlagen von Stoffwechsel und Entwicklung der Pflanzen. Verlag Eugen Ulmer. Stuttgart.
- HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT [HRSG.] (1999): Umweltatlas Hessen. Druck & Verlagshaus Chmielorz. Wiesbaden.
- HESSISCHES LANDESVERMESSUNGSAMT (1989): Topographische Karte 1:25.000, Blatt 5125 „Friedewald“. Wiesbaden.
- HOFMANN, W., MÜLLER, W. (1970): Zur Ernährung älterer Koniferenbestände auf Buntsandstein in Thüringen. *Dt. Akad. Landwirtsch.-Wiss. Tag.-Ber.* 112: S. 75-92. Berlin.
- HOFMANN, W., MÜLLER, W. (1971): Beitrag zur Erforschung der Koniferen-Standorte im Thüringer Buntsandsteingebiet. Diss. TU Dresden (Tharandt).
- HOFMANN, H., SCHEER, T. (1996): Waldbauliche, botanische und bodenkundliche Untersuchungen im Umfeld der Halde Hera – Zustandserfassung 1996. Unveröffentl. Bericht. Universität Gesamthochschule Kassel, FG Landschaftsökologie und Naturschutz. Witzenhausen.
- HOFMANN, H., SCHEER, T., SCHMEISKY, H. (2000): Pflanzen salzbeeinflusster Standorte der Halden Hera und Hattorf. *Ökologie und Umweltsicherung*, Bd. 19: S. 119-140. Universität Gesamthochschule Kassel, FG Landschaftsökologie und Naturschutz. Witzenhausen.
- HOFMANN, H., SCHEER, T., SCHMEISKY, H., DRESSEL, S. (2000): Botanische, bodenkundliche und waldbauliche Untersuchungen im Umfeld der Halde Hera. *Ökologie und Umweltsicherung*, Bd. 19: S. 73-99. Universität Gesamthochschule Kassel, FG Landschaftsökologie und Naturschutz. Witzenhausen.
- HOLLEMAN, A. F. [begr.], WIBERG, E. (1995): Lehrbuch der anorganischen Chemie. Verlag Walter de Gruyter. Berlin.
- HUNGER, W. (1970): Ernährung und Düngung der Fichte auf Pseudogleystandorten des Hügellandes. *Forsch.-Ber. TU Dresden, Sect. Forstwirtsch.* Unveröffentl.
- INGESTAD, T., JACOBSEN, A. (1963): Boron and manganese nutrition of birch seedlings in nutrient solutions. *Medd. Stat. Skogsforskn. Inst. Stockholm* 51, Nr. 8.



- 
- INSTITUT FÜR WALDBAU (1987): Die einheimischen und die wichtigsten fremdländischen Baumarten. Universität Göttingen, Institut für Waldbau, Abteilung für Waldbau der Tropen und Naturwaldforschung. Göttingen.
- JAHN, G. (1987): Zur Frage der Eichenmischwaldgesellschaften im nordwestdeutschen Flachland. Forstarchiv 58: S. 154-163 u. 194-200.
- K+S KALI GMBH (2002): Ausschnitt aus dem Tageriss Halde III. Werk Werra. Standort Wintershall.
- K+S-KALIFORSCHUNGSINSTITUT (2002): Prüfbericht – Haldenproben. Werk Werra. Standort Wintershall.
- KÄDING, K. - CH. (1978): Stratigraphische Gliederung des Zechsteins im Werra-Fulda-Becken. Geol. Jb. Hessen, 106: S. 123-130.
- KAHL, L. (2000): Kultivierung von Bäumen und Sträuchern auf einer Rückstandshalde der Kaliindustrie bei Sondershausen nach einer wassersparenden Pflanzmethode. In: Ökologie und Umweltsicherung, Bd. 19: S. 161-178. Universität Gesamthochschule Kassel, FG Landschaftsökologie und Naturschutz.
- KALI UND SALZ GMBH (1999): Vortrag – Standort Wintershall. Werk Werra, Philippsthal.
- KALININ, M. I. (1983). Ausbildung der Wurzelsysteme von Bäumen (russ.). Wistscha Schkola-Verlag. Lwow.
- KLAPP, E. (1956): Wiesen und Weiden. Verlag Paul Parey. Berlin.
- KLINKHAMER, P. G. L., DE TONG, T. J., MEIJDEN, E. VAN DER (1988): Production, dispersal and predation of seeds in the biennial *Cirsium vulgare*. J. Ecol. 76: S. 403- 414.
- KÖSTLER, J. N., BRÜCKNER, E., BIBELRIETHEER, H. (1968): Die Wurzeln der Waldbäume – Untersuchungen zur Morphologie der Waldbäume in Mitteleuropa. Verlag Paul Parey. Hamburg.
- KRACH, E., KOEPFF, B. (1979): Beobachtungen an Salzschwaden in Südfranken und Nordschwaben. Gött. Florist. Rundbr. 13: S. 61-75.
- KRAUSS, H. H. (1965): Untersuchungen über die Melioration degradierter Sandböden im norddeutschen Tiefland. IV. Kalkungs- und Hilfspflanzenanbauversuche – Ernährung und Wachstum meliorierter Kiefernkulturen. Arch. Forstwes. 14: S. 499-532.
- KREMER, B. P. (1994): Sträucher in Natur und Garten – Bestimmen, Kennenlernen, Pflanzen. Verlag Gräfe und Unzer. München.
- KÜSTER, H. (1995): Geschichte der Landschaft in Mitteleuropa. Von der Eiszeit bis zur Gegenwart. Verlag C. H. Beck. München.
- KÜSTER, H. (1998): Geschichte des Waldes. Verlag C. H. Beck. München.
- LANG, F. S. (2000): Molybdän-Mobilität und -Mobilisierbarkeit auf sauren Waldstandorten: Prozesse und Einflußfaktoren. Dissertation. Hohenheimer Bodenkundliche Hefte, Nr. 57. Universität Hohenheim.
- LARCHER, W. (1994): Ökophysiologie der Pflanzen – Leben, Leistung und Streßbewältigung der Pflanzen in ihrer Umwelt. Verlag Eugen Ulmer. Stuttgart.

- LEEDER, M. R. (1982): Sedimentology – Process and Product. Chapman & Hall. London.
- LEH, H. O. (1977): Die Gefährdung des Straßenbaumbestandes in Berlin durch Einwirkung von Auftausalz. Berliner Natursch. Bl. 21: S. 256-264.
- LIEBE, F. (1999): Spurenelemente in Böden und Pflanzen Nordrhein-Westfalens – Gehalte verschiedener chemischer Fraktionen in Böden und deren Beziehung zur Bodenreaktion und den Gehalten in Pflanzen. Dissertation. Bonner Bodenkundl. Abh., Bd. 28. Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität. Bonn.
- LIEBIG, J. (1840): Die Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie. Verlag Vieweg. Braunschweig.
- LOCKOW, K. - W. (1998): Die neue Sandbirken-Ertragstafel – Aufbau, Anwendung und waldbauliche Behandlung. AFZ – Der Wald 5: S. 258-261.
- LÜCKE, M. (1997): Rekultivierung von Rückstandshalden der Kaliindustrie; Untersuchungen zum Standort, zur Begrünung mit Komposten und zur Gehölzsukzession von Rückstandshalden mit anhydritischen Auflageschichten. Dissertation. Ökologie und Umweltsicherung Bd. 12. Universität Gesamthochschule Kassel, FG Landschaftsökologie und Naturschutz. Witzenhausen.
- LÜPKE, B. v., RÖHRIG, E. (1970): Versuche mit Fichten-Großpflanzen. Forst- u. Holzw. 33: S. 165-172.
- LYR, H., FIEDLER, H. - J., TRANQUILLINI, W. (1992): Physiologie und Ökologie der Gehölze. Gustav Fischer Verlag. Jena.
- MARSCHNER, H. (1974): Calcium nutrition of higher plants. Netherl. J. agric. Sci, 22: S. 275-284.
- MATERNA, J. (1967): Ernährungsuntersuchungen an tschechischen Kiefernstandorten (tschech.). Práce vùlhm 34: S. 83-106.
- MATZNER, E. (1988): Der Stoffumsatz zweier Waldökosysteme im Solling. In: Ber. d. Forschungszentrums Waldökosysteme / Waldsterben d. Univ. Göttingen, Reihe A, Bd. 40: S. 1-217.
- MAYER, H. (1992): Waldbau auf soziologisch-ökologischer Grundlage. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart.
- MENGEL, K. (1991): Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. Gustav Fischer Verlag. Jena.
- MITSCHERLICH, G. (1981): Wald, Wachstum und Umwelt – Eine Einführung in die ökologischen Grundlagen des Waldwachstums. Band 2 – Waldklima und Wasserhaushalt. J. D. Sauerländer's Verlag. Frankfurt.
- MÖSSNANG, M. (2000): Die Rolle der Birke im Waldbau – Die Sandbirke in Bayern. In: Beiträge zur Sandbirke. Berichte aus der bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft 28: S. 59-65. Freising.
- MOTT, N. (1988): Grünlandwirtschaft. In: Ruhr-Stickstoff Aktiengesellschaft [Hrsg.]: Faustzahlen für die Landwirtschaft und Gartenbau. S. 404-423. Landwirtschaftsverlag. Münster.

- MRAZEK, F. (1998): Ein Plädoyer für die Birke – Naturgemäße Waldwirtschaft. AFZ – Der Wald 5: S. 262-263.
- MÜLLER-SCHNEIDER, P. (1986): Verbreitungsbiologie der Blütenpflanzen Graubündens. Veröff. Geobot. Inst. ETH, Stiftung Rübel 85. Zürich.
- NEBE, W. (1968): Untersuchungen zur Ernährung und Düngung von Fichtenbeständen auf terrestrischen Standorten. Habil.-Schr. TU Dresden (Tharandt).
- NEURURER, H., HAIN, E., HERWIRSCH, W. (1988): Keimpflanzen wichtiger Ackerunkräuter und Schadgräser. Österreichischer Agrarverlag. Wien.
- NITSCHKE, S., NITSCHKE, L. (1994): Extensive Grünlandnutzung. Neumann Verlag. Radebeul.
- NÜSSLEIN, S. (2000): Vom Pionier zum Furnier – Waldbauliche Behandlung der Sandbirke. In: Beiträge zur Sandbirke. Berichte aus der bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft 28: S. 66-70. Freising.
- OBERDORFER, E. (1978): Süddeutsche Pflanzengesellschaften II: Sand- und Trockenrasen, Heide- und Borstgras-Gesellschaften, alpine Magerrasen, Saum-Gesellschaften, Schlag- und Hochstauden-Fluren. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart.
- OBERDORFER, E. (1992): Süddeutsche Pflanzengesellschaften, Teil IV: Wälder und Gebüsche. Teil A: Textband; Teil B: Tabellenband. Gustav Fischer Verlag. Jena.
- OOMES, M. J. M., MOOI, H. (1985): The effect of management of succession and production of formerly agricultural grassland after stopping fertilization. In: Schreiber, K. - F. [Hrsg.]: Sukzession auf Grünlandbrachen. Münstersche geogr. Arb. 20: S. 233-239.
- OSAN, C. (1995): Flora und Vegetation auf einer älteren Kalirückstandshalde (Kraja in Thüringen) unter besonderer Berücksichtigung der Strauchschicht. Unveröffentl. Projektarbeit. Universität Gesamthochschule Kassel, Fachgebiet Landschaftsökologie und Naturschutz.
- OVINGTON, J. D., MADGWICK, H. A. I. (1959): The growth and composition of natural stands of birch. 2. The uptake of mineral nutrients. Plant a. Soil 10: S. 389-400.
- PELIŠEK, J. (1974): Einwirkung der zur Bestreuung von Straßen benutzten Salze auf die Waldböden und Waldbestände im Gebiet des Böhmisches-Mährischen Hügellandes. Lesnictvi Praha 20: S. 417-438. (tschech.)
- PODLACHA, G. (1995): Standortkundliche Untersuchungen zur kleinräumlichen Gliederung von Spontanvegetation auf Rückstandshalden der Kaliindustrie. Unveröffentl. Diplomarbeit. Universität Gesamthochschule Kassel, FG Landschaftsökologie und Naturschutz. Witzenhausen.
- PODLACHA, G. (1999): Rekultivierung von Rückstandshalden der Kaliindustrie -2-; Untersuchungen zur Substratandeckung mit geringen Schichtstärken aus Bodenaushub-Wirbelschichtasche-Gemischen und ihrer Begrünung. Dissertation. Ökologie und Umweltsicherung Bd. 16. Universität Gesamthochschule Kassel, FG Landschaftsökologie und Naturschutz. Witzenhausen.
- POLOMSKI, J., KUHN, N. (1998): Wurzelsysteme. Verlag Paul Haupt. Bern.

- POTT, R. (1995): Die Pflanzengesellschaften Deutschlands. Verlag Eugen Ulmer. Stuttgart.
- RAUH, W. (1939): Über die Gesetzmäßigkeit der Verzweigung und deren Bedeutung für die Wuchsformen der Pflanzen. Mitt. Dt. Dendrol. Ges. 52: S. 86-111.
- REBELE, F. (1996a): *Calamagrostis epigejos* (L.) Roth auf anthropogenen Standorten - ein Überblick. Verh. Ges. f. Ökologie, Bd. 26: S. 753-763.
- REBELE, F. (1996b): Vegetationsentwicklung auf technogenen und natürlichen Substraten mit extremen Standorteigenschaften - Ergebnisse von Untersuchungen auf Dauerquadraten. Verh. Ges. f. Ökologie, Bd. 25 (Festschrift Bornkamm): S. 241-251.
- RICHTER, C. (2003): Mündliche Mitteilung. Witzenhausen.
- RICHTER, D. (1992): Allgemeine Geologie. Verlag Walter de Gruyter. Berlin.
- RICHTER, W. (1963): Die natürliche Begrünung der Erzbergwerkshalden im Erzgebirge. Dipl.-Arb. Martin-Luther-Universität. Halle-Wittenberg.
- RIEK, W., WOLFF, B. (1998): Verbreitung von Nährstoffmangel bei Waldbäumen in Deutschland – Ergebnisse der Nadel-/Blattanalysen im Rahmen der BZE. Allgem. Forstztg. / Der Wald 53 (10): S. 507-510.
- ROHMEDER, E. (1972): Das Saatgut in der Forstwirtschaft. Verlag Paul Parey. Hamburg.
- RÖHRIG, E., BARTSCH, N., [DENGLER, A., begr.] (1992): Waldbau auf ökologischer Grundlage – Bd. 1: Der Wald als Vegetationsform und seine Bedeutung für den Menschen. Verlag Paul Parey. Hamburg.
- ROTHMALER, W. (1994): Exkursionsflora von Deutschland. Gefäßpflanzen: Kritischer Band (4). Gustav Fischer Verlag. Jena.
- ROTHMALER, W. (1995): Exkursionsflora von Deutschland. Gefäßpflanzen: Atlasband (3). Gustav Fischer Verlag. Jena.
- ROTHSTEIN, H. [Hrsg.] (1995): Ökologischer Landschaftsbau – Grundlagen und Maßnahmen. Verlag Eugen Ulmer. Stuttgart.
- RUDOLPH, S. (2000): Schr. Mitteilung. Büro für angewandte Mineralogie. Tönisvorst.
- RUGE, U. (1974): Ursachen der Schädigung von Straßenbäumen durch Auftausalze. Europ. J. Forest Pathol. 4: S. 41-44.
- RUNGE, F. (1994): Die Pflanzengesellschaften Mitteleuropas. Aschendorffsche Verlagsbuchhandlung. Münster.
- SÄNGER, H. (1993): Die Flora und Vegetation im Uranbergbaurevier Ronneburg – Pflanzensoziologische Untersuchungen an Extremstandorten. Dissertation. Ökologie und Umweltsicherung Bd. 5. Gesamthochschule Kassel, FG Landschaftsökologie und Naturschutz. Witzenhausen.
- SÄNGER, H. (2003): Raum – Zeit – Dynamik von Flora und Vegetation auf Halden des Uranbergbaus. Habilitationsschrift. Universität Kassel, Fachgebiet Landschaftsökologie und Naturschutz. Witzenhausen.

- SCHARPF, H. - CH. (1994): Möglichkeiten des Einsatzes organischer Abfallstoffe im Gartenbau und spezielle Anforderungen an Komposte. In: Berichte über die Landwirtschaft 208. Sonderheft. Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit. Band 6. Recycling kommunaler und industrieller Abfälle in der Landwirtschaft. Landwirtschaftsverlag. Münster-Hiltrup.
- SCHEER, T. (2001): Rekultivierung von Rückstandshalden der Kaliindustrie -4-; Untersuchungen zur Nutzbarkeit aufbereiteter Salzschlacke der Sekundäraluminium-Industrie als Rekultivierungsmaterial einer Kali-Rückstandshalde. Diss. Ökologie und Umweltsicherung Bd. 20. Universität Gesamthochschule Kassel, FG Landschaftsökologie und Naturschutz. Witzenhausen.
- SCHILLING, B. (1996): Erfahrungen und Möglichkeiten zum Einsatz von hochwertigen Kompostprodukten im kommunalen Bereich. In: Komposteinsatz im Garten- und Landschaftsbau – Möglichkeiten und Anforderungen – [Hrsg.]: Verband der nordrhein-westfälischen Humus- und Erdenwirtschaft e. V. (VHE) und Gesellschaft zur Weiterverarbeitung unbehandelter Rückstands-Materialien mbH (W.U.R.M.) GmbH.
- SCHILLING, G. (1990): Pflanzenernährung und Düngung – Teil I (Pflanzenernährung). Deutscher Landwirtschaftsverlag. Berlin.
- SCHLESWIG HOLSTEINSCHER LANDTAG (1994): Kompostierung in Schleswig-Holstein. Drucksache 13/1997. Schmidt & Klaurig Verlag, Kiel.
- SCHLÖSSER, W. (1997): Prüfung eines Aschegemisches als begrünbares Substrat zur Abdeckung von Rückstandshalden der Kaliindustrie (Gefäßversuche). Unveröffentl. Diplomarbeit am Fachgebiet Landschaftsökologie und Naturschutz. Universität Kassel. Witzenhausen.
- SCHMEISKY, H. (1997): Möglichkeiten zur Rekultivierung von Rückstandshalden der Kali-Industrie. In: Abbau von Bodenschätzen und Wiederherstellung der Landschaft. Hohenheimer Umwelttagung 29: S. 119-131.
- SCHMEISKY, H., KUNICK, M., LENZ, O. (1993): Zur Begrünung von Rückstandshalden der Kaliindustrie. In: Kali und Steinsalz 5/6: S. 132-152.
- SCHMEISKY, H., HOFMANN, H. (1997): Auswirkungen von Abbaumaßnahmen der Kiesindustrie auf den Naturhaushalt und Bodenabbau bei unterschiedlichen Wassertiefen. Unveröffentl. Bericht am Fachgebiet Landschaftsökologie und Naturschutz. Universität Gesamthochschule Kassel. Witzenhausen.
- SCHMEISKY, H., LENZ, O. (1998): Zur Begrünung von Rückstandshalden der Kaliindustrie – Ergebnisse einer 25jährigen Forschungsarbeit. In: Kali und Steinsalz 9: S. 501-515.
- SCHMEISKY, H., HOFMANN, H. [HRSG.] (2000): Rekultivierung von Rückstandshalden der Kali-Industrie -3-; Untersuchungen zum Salzaustrag, zur Sukzession sowie Maßnahmen und Erkenntnisse zur Begrünung. Ökologie und Umweltsicherung Bd. 19. Universität Gesamthochschule Kassel, FG Landschaftsökologie und Naturschutz. Witzenhausen.

- SCHMIDT-VOGT, H. (1965): Forstsamengewinnung und Pflanzenanzucht für das Hochgebirge. München.
- SCHMIDT-VOGT, H. (1966): Wachstum und Qualität von Forstpflanzen. München.
- SCHOBER, R. (1987): Ertragstabeln wichtiger Baumarten. J. D. Sauerländer's Verlag. Frankfurt.
- SCHUBERT, R. [HRSG.] (1991): Lehrbuch der Ökologie. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart.
- SCHÜTT, P., SCHUCK, H. J., STIMM, B. [HRSG.] (2001): Lexikon der Baum- und Straucharten. Das Standardwerk der Forstbotanik – Morphologie, Pathologie, Ökologie und Systematik wichtiger Baum- und Straucharten. Nikol Verlagsgesellschaft. Hamburg.
- SCHWAPPACH, A. (1903): Beiträge zur Kenntnis der Wuchsleistung von Birkenbeständen. Zeitschr. f. Forst- u. Jagdwesen: S. 479-484. Berlin.
- SITTE, P., ZIEGLER, H., EHRENDORFER, F., BRESINSKY, A. (1998): Lehrbuch der Botanik. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart.
- SKIRDE, W. (1978): Vegetationstechnik – Rasen und Begrünung. Patzer Verlag. Berlin.
- SKIRDE, W. (1996): Komposteinsatz im Garten- und Landschaftsbau, insbesondere für Golfanlagen und Rasensportflächen. In: Komposteinsatz im Garten- und Landschaftsbau – Möglichkeiten und Anforderungen. Hrsg.: Verband der nordrhein-westfälischen Humus- und Erdenwirtschaft e. V. (VHE) und Gesellschaft zur Weiterverarbeitung unbehandelter Rückstands-Materialien (W.U.R.M.) GmbH.
- SLOTTA, R. (1980): Technische Denkmäler in der Bundesrepublik Deutschland – Bd. 3 – Die Kali- und Steinsalzindustrie. Deutsches Bergbau-Museum. Bochum.
- SOLBRECK, C., ANDERSSON, D. (1987): Vertical distribution of fireweed, *Epilobium angustifolium*. Can. J. Bot. 65: S. 2177-2178.
- SPATZ, G. (1994): Freiflächenpflege. Verlag Eugen Ulmer. Stuttgart.
- STAGL, W. G. (2000): Standortsfaktor Wirbeltiere. Forstschutz-Aktuell (25): S. 19-21. Wien.
- STANLEY, S. M. (1989): Earth and Life Through Time. W. H. Freeman and Company. New York.
- STANLEY, S. M. (1994): Historische Geologie – Eine Einführung in die Geschichte der Erde und des Lebens. Übersetzt aus dem Amerikanischen von Kraatz, E. & R., Schweizer, V. Spektrum Akademischer Verlag GmbH. Heidelberg.
- STUHRMANN, M. (2000): Verbleib eingetragenen Stickstoffs in Waldböden entlang eines klimatischen Transektes durch Europa. Diss. Bayreuther Forum für Ökologie, Bd. 79. Bayreuther Institut für Terrestrische Ökosystemforschung (BITÖK). Universität Bayreuth.
- VDLUFA (1991): Methodenbuch, Band 1, Die Untersuchung von Böden. VDLUFA-Verlag. Darmstadt.

- VOWINKEL, K. (1990): Besiedlung unterschiedlich rekultivierter Salz-, Asche-, und Braunkohlehalden durch epigäische Arthropoden, unter besonderer Berücksichtigung der *Carabidae*. Mittlg. Erg. Stud. Ökol. Umwelts. Bd. 15. Gesamthochschule Kassel. FG Landschaftsökologie und Naturschutz. Witzenhausen.
- WAGNER, G. (1960): Einführung in die Erd- und Landschaftsgeschichte. Verlag Hohensches Buchhandlung. Öhringen.
- WALENTOWSKI, H. (2000): Die Rolle der Birken in einheimischen Pflanzengesellschaften. In: Beiträge zur Sandbirke. Berichte aus der bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft 28: S. 6-15. Freising.
- WALTER, R. (1992): Geologie von Mitteleuropa. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. Stuttgart.
- WALTER, N. (1998): Untersuchungen zur Stickstoffversorgung von Baumschulgehölzen. Diss. Universität Hannover, Fachbereich Gartenbau.
- WEHRMANN, J. (1959): Die Mineralstoffernährung von Kiefernbeständen (*Pinus silvestris*) in Bayern. Forstwiss. Centralbl. 78: S. 120-149.
- WEHRMANN, J. (1963): Möglichkeiten und Grenzen der Blattanalyse in der Forstwirtschaft. Landwirtsch. Forsch. 16: S. 130-145.
- WITT, H. - H. (1997): Hinweise zur Wasserqualität. In: Die Baumschule – ein praktisches Handbuch für Anzucht, Vermehrung, Kultur und Absatz der Baumschulpflanzen; von Gerd Krüssmann. S. 645-662. Parey Buchverlag im Blackwell Wissenschafts-Verlag. Berlin.
- WITTIG, R. (1968): Stratigraphie und Tektonik des gefalteten Paläozoikums am Unterwerra-Sattel. Notizbl. hess. L.-Amt Bodenforschung, 96: S. 31-67.
- WOLF, G. [HRSG.] (1985): Primäre Sukzession auf kiesig-sandigen Rohböden im Rheinischen Braunkohlenrevier. Schriftenr. f. Vegetationsk. 16: S. 111-151. Hilstrup.
- WOLFF, B., RIEK, W. (1997a): Deutscher Waldbodenbericht 1996 – Ergebnisse der bundesweiten Bodenzustandserhebung in Wald (BZE) 1987-1993. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (BELF), Bd. 1. Bonn.
- WOLFF, B., RIEK, W. (1997b): Deutscher Waldbodenbericht 1996 – Ergebnisse der bundesweiten Bodenzustandserhebung im Wald (BZE) 1987-1993. Bundesministerium für Ernährung Landwirtschaft und Forsten, Bd. 2. Bonn.
- ZECH, W. (1967): Über die Wirkung einer Kalium- und Stickstoffdüngung auf Wachstum und Ernährungszustandgelbspitziger Kiefernkulturen in Süddeutschland. Coll. For. Fertiliz. Jyväskylä, Int. Potash-Inst. S. 250-269.
- ZÖFEL, P. (1992): Statistik in der Praxis. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart.
- ZUNDEL, R. (1982): Die Begrünung der Kalihalde in Reyershausen. In: Plessearchiv 18: S. 189-204 (Hrsg.: Flecken Bovenden).
- ZUNDEL, R. (1987): Zur Rekultivierung der Rückstandshalden der Kaliindustrie und anderen schwierigen Standorten. Information der Universität Göttingen. S. 27-28.

- ZUNDEL, R. (2000): Praktische Erfahrungen mit der Rekultivierung von Rückstandshalden der Kaliindustrie in Niedersachsen und Thüringen. Ökologie und Umweltsicherung Bd. 19: S. 141-159. Universität Gesamthochschule Kassel. FG Landschaftsökologie und Naturschutz. Witzenhausen.
- ZUNDEL, R., SIEGERT, R. (2000): Untersuchungen zur Gehölzentwicklung auf verschiedenen Substraten von Rückstandshalden der Kaliindustrie bei Bleicherode in Thüringen. Ökologie und Umweltsicherung Bd. 19: S. 29-52. Universität Gesamthochschule Kassel. FG Landschaftsökologie und Naturschutz. Witzenhausen.
- ZWICKER, E. (2003): Mündliche Mitteilung. Witzenhausen.



## Kap. XVI: Anhang

### 1. Krautige Arten der Halde III und ihre regulären Biotope

Wissenschaftlicher Name	Deutscher Name	Biototypen
<i>Achillea millefolium</i>	Wiesen-Schaf-Garbe	Krautfluren, Wiesen, Ödland
<i>Agrostis capillaris</i>	Rotes Straußgras	Heide, Gebüsche, Magerrasen, Wiesen
<i>Apera spica-venti</i>	Acker-Windhalm	Ruderalfluren, Acker
<i>Arenaria serpyllifolia</i>	Thymianblättriges Sandkraut	(Halb-) Trockenrasen, Acker
<i>Arrhenatherum elatius</i>	Gewöhnlicher Glatthafer	Geröllfluren, Wiesen, Verkehrswege
<i>Artemisia vulgaris</i>	Gewöhnlicher Beifuß	Magerrasen, Krautfluren, Verkehrswege, Brandflächen
<i>Atriplex sagittata</i>	Glanz-Melde	Auen, Ruderalfluren, Verkehrswege, Brandflächen
<i>Bromus hordeaceus</i>	Weiche Tresse	Wiesen, Ruderalfluren, Verkehrswege
<i>Bromus sterilis</i>	Taube Tresse	Ruderalfluren, Acker, Bauwerke, Verkehrswege, Brandflächen
<i>Bromus tectorum</i>	Dach-Tresse	(Halb-) Trockenrasen, Ruderalfluren, Bauwerke, Verkehrswege, Bodenabbau
<i>Calamagrostis epigejos</i>	Land-Reitgras	Auen, Waldlichtung, Weiden, Krautfluren, Bodenabbau
<i>Campanula rapunculus</i>	Rapunzel-Glockenblume	Halbtrockenrasen, Wiesen, Staudenfluren
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	Gewöhnliches Hirtentäschel	Hochstaudenfluren, Trittfluren, Ruderalfluren, Acker, Verkehrswege, Brandflächen
<i>Cerastium holosteoides</i>	Gewöhnliches Hornkraut	Wiesen, Weiden, Acker, urban-industrielle Flächen
<i>Chenopodium album</i>	Gewöhnlicher Weißer Gänsefuß	Ruderalfluren, Acker, Garten, Brandflächen
<i>Cirsium arvense</i>	Acker-Kratzdistel	Gebüsche, Ufer, Brandflächen, Acker
<i>Cirsium vulgare</i>	Gewöhnliche Kratzdistel	Krautfluren, Waldlichtung, Bäche
<i>Conyza canadensis</i>	Kanadisches Berufkraut	Krautfluren, Verkehrswege, Acker, Brandflächen
<i>Dactylis glomerata</i>	Wiesen-Knäuelgras	Auen, Waldlichtung, (Halb-) Trockenrasen, Wiese, Krautfluren
<i>Daucus carota</i>	Wilde Möhre	Geröllfluren, Halbtrockenrasen, Weiden, Stauden-, Krautfluren, Verkehrswege, Bodenabbau
<i>Deschampsia flexuosa</i>	Draht-Schmiele	Wälder, Gebüsche, Zwergstrauchheiden
<i>Elymus repens</i>	Kriech-Quecke	Trittrassen, Kraut-, Ruderalfluren, Verkehrswege, Brandflächen
<i>Epilobium angustifolium</i>	Schmalblättriges Weidenröschen	Ufer, Waldlichtung, Waldwege, Ödland, Brandflächen
<i>Epilobium ciliatum</i>	Drüsiges Weidenröschen	Ufer, Auen, Waldwege, Brandflächen
<i>Erigeron acris</i>	Gewöhnliches Scharfes Berufkraut	Fluss-, Bachauen, Magerrasen
<i>Fallopia baldschuanica</i>	Schling-Flügelknöterich	Bauwerke, Bahndämme
<i>Festuca ovina</i>	Eigentlicher Schafschwingel	abgetorfte Flächen, Wälder, Zwergstrauchheiden, Magerrasen, Ruderalfluren, Verkehrswege, Ödland
<i>Festuca rubra</i>	Gewöhnlicher Rot-Schwingel	Magerrasen, Wiesen, Weiden, öffentliche Grünflächen, Verkehrswege, Ödland
<i>Galeopsis tetrahit</i>	Gewöhnlicher Hohlzahn	Ruderalfluren, Acker, Krautfluren, Ruderalfluren, Bauwerke, Brandflächen

## (Fortsetzung I)

Wissenschaftlicher Name	Deutscher Name	Biotoptypen
<i>Galium mollugo</i>	Kleinblütiges Wiesenlabkraut	Auen, Wälder
<i>Gypsophila scorzonifolia</i>	Schwarzwurzel-Gipskraut	Verkehrswege, Brandflächen
<i>Hieracium lachenalii</i>	Gewöhnliches Habichtskraut	Wald, Zwergstrauchheiden, (Halb-) Trockenrasen, Staudenfluren, Verkehrswege, Bodenabbau
<i>Hieracium pilosella</i>	Kleines Habichtskraut	Magerrasen, Verkehrswege, Bodenabbau
<i>Hieracium sabaudum</i>	Savoyer Habichtskraut	Wälder, Krautfluren, Verkehrswege, Bodenabbau
<i>Holcus lanatus</i>	Wolliges Honiggras	Wiesen
<i>Hordeum jubatum</i>	Mähnen-Gerste	Binnensalzstellen, Trittfuren, Ruderalfluren, Verkehrswege, Ödland
<i>Hypericum perforatum</i>	Gewöhnliches Tüpfel-Johanniskraut	Waldlichtung, Zwergstrauchheiden, Halbtrockenrasen, Stauden-, Krautfluren
<i>Hypochaeris radicata</i>	Gewöhnliches Ferkelkraut	Wiesen, Weiden, (Halb-) Trockenrasen
<i>Lactuca serriola</i>	Kompass-Lattich	Grünland, Kraut-, Ruderalfluren, Verkehrswege, Brandflächen
<i>Leontodon autumnalis</i>	Gewöhnlicher Herbst-Löwenzahn	Wiesen, Weiden
<i>Leontodon hispidus</i>	Gewöhnlicher Rauer Löwenzahn	Gebüsche, Wiesen
<i>Lepidium rudemale</i>	Schutt-Kresse	Trittrasen, Ruderalfluren, Verkehrswege
<i>Leucanthemum vulgare</i>	Magerwiesen-Margerite	Halbtrockenrasen
<i>Leymus arenarius</i>	Gewöhnlicher Strandroggen	Meeresküste
<i>Linaria vulgaris</i>	Gewöhnliches Leinkraut	Waldlichtung, Steinschuttfluren, (Halb-) Trockenrasen, Grünland, Acker, Verkehrswege, Bodenabbau, Brandflächen
<i>Lolium perenne</i>	Ausdauerndes Weidelgras	Wiesen, Trittrasen, öffentliche Grünanlagen, Verkehrswege
<i>Medicago lupulina</i>	Hopfen-Klee	Halbtrockenrasen, Wiesen, Ruderalfluren, Acker, Verkehrswege, Offenböden
<i>Melilotus altissimus</i>	Hoher Steinklee	Auen, Ufer, Krautfluren, Verkehrswege
<i>Mycelis muralis</i>	Mauerlattich	Wälder, Gebüsche, Krautfluren
<i>Myosotis arvensis</i>	Gewöhnliches Acker-Vergissmeinnicht	Waldlichtung, Acker, Gärten, Brandflächen
<i>Phleum pratense</i>	Wiesen-Lieschgras	Weiden, Acker
<i>Plantago major</i>	Gewöhnlicher Breit-Wegerich	Ufer, Weiden, Trittrasen, Ruderalfluren, Verkehrswege
<i>Plantago media</i>	Mittlerer Wegerich	(Halb-) Trockenrasen, Wiesen, Weiden
<i>Poa annua</i>	Einjähriges Rispengras	Weiden, Trittrasen, Ruderalfluren, Acker, Verkehrswege
<i>Poa compressa</i>	Zusammengedrücktes Rispengras	(Halb-) Trockenrasen, Grünland, Bauwerke, Verkehrswege, Brandstellen
<i>Poa pratensis</i>	Gewöhnliches Wiesen-Rispengras	Halbtrockenrasen, Wiesen, Weiden
<i>Poa trivialis</i>	Gewöhnliches Rispengras	Ufer, Auen, Wiesen, Bauwerke
<i>Polygonum aviculare</i>	Breitblättriger Acker-Vogelknöterich	Auen, Acker
<i>Puccinellia distans</i>	Gewöhnlicher Salzschwaden	Meeresküsten, Binnensalzstellen, Flutrasen, Verkehrswege
<i>Rumex acetosella</i>	Gewöhnlicher Kleiner Sauerampfer	Waldlichtung, Steinschutt, (Halb-) Trockenrasen, Trittfuren, Acker

## (Fortsetzung II)

Wissenschaftlicher Name	Deutscher Name	Biotoptypen
<i>Rumex crispus</i>	Krauser Ampfer	Trittrasen, Acker
<i>Senecio jacobaea</i>	Gewöhnliches Jakobs-Greiskraut	Magerrasen, Wiesen, Krautfluren
<i>Senecio viscosus</i>	Klebriges Greiskraut	Krautfluren, Verkehrswege, Ödland
<i>Solidago canadensis</i>	Kanadische Goldrute	Ufer, Auen, Krautfluren, Brandstellen
<i>Sonchus arvensis</i>	Gewöhnliche Acker-Gänsedistel	Acker
<i>Sonchus asper</i>	Raue Gänsedistel	Flussbegleiter, Gärten, Brandflächen
<i>Sonchus oleraceus</i>	Kohl-Gänsedistel	Ruderalfluren, Acker, Plantagen, Verkehrswege, Brandflächen
<i>Spergularia media</i>	Flügelsamige Schuppenmiere	Meeresküste (schlickige Flachküste)
<i>Stellaria salina</i>	Salz-Schuppenmiere	Meeresküste, Binnensalzstellen, Auen
<i>Stellaria holostea</i>	Große Sternmiere	Wald, Waldlichtung, Feldgehölz, Staudenfluren
<i>Stellaria media</i>	Gewöhnliche Vogelmiere	Auen, Acker, Gärten, Fruchtplantagen, urban-industrielle Flächen
<i>Tanacetum vulgare</i>	Rainfarn	Ufer, Krautfluren, Verkehrswege
<i>Taraxacum</i> sect. <i>Ruderalia</i> ( <i>officinale</i> )	Wiesen-Löwenzahn	(Salz-) Wiesen, (Halb-) Trockenrasen, Acker, Grünland, Verkehrswege
<i>Trifolium arvense</i>	Hasen-Klee	Felsfluren, (Halb-) Trockenrasen, Acker, Verkehrswege
<i>Trifolium repens</i>	Weiß-Klee	Wiesen, Weiden, Trittrasen, Acker, Gärten, öffentliche Grünflächen, Verkehrswege
<i>Tripleurospermum perforatum</i>	Geruchlose Kamille	Ruderalfluren, Acker
<i>Tripleurospermum maritimum</i>	Küsten-Kamille	Meeresküsten, Binnensalzstellen
<i>Triticum aestivum</i>	Saat-Weizen	Acker
<i>Tussilago farfara</i>	Huflattich	Auen, Wiesen, Krautfluren, Bodenabbau, Offenböden
<i>Urtica dioica</i>	Gewöhnliche Brennnessel	Auen, Wälder, Gebüsche, Krautfluren, Gärten
<i>Veronica</i> spec.	Ehrenpreis	spec.
<i>Viola arvensis</i>	Gewöhnliches Ackerstiefmütterchen	Acker, Verkehrswege, Brandstellen
<i>Vulpia myuros</i>	Mäuseschwanz-Federschwingel	(Halb-) Trockenrasen, Trittrasen, Kraut-, Ruderalfluren, Verkehrswege

## 2. Bepflanzungsplan der Halde III

