

Erfassung und Bewertung der zukünftigen Landflächen in der Bergbaufolgelandschaft hinsichtlich ihrer Standortfunktionen für natürliche Vegetation

Birgit Felinks¹, Wolfgang Besch-Frotscher², Fred Franzke³ & Galina Machulla⁴

¹UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, Department Naturschutzforschung

²CUI-Consultinggesellschaft für Umwelt- und Infrastruktur mbH Halle/Saale

³Dipl.-Geol. (FH) F. Franzke, Frauenstein, Ingenieurbüro

⁴MLU Halle-Wittenberg, Institut für Bodenkunde und Pflanzenernährung

Gekürzter und überarbeiteter Abschlussbericht zum Forschungsprojekt "Erfassung und Bewertung der zukünftigen Landflächen in der Bergbaufolgelandschaft hinsichtlich ihrer Standortfunktionen für natürliche Vegetation" (Az.: 13-8802.3524/30). Gefördert und fachlich betreut durch das Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie, Referat 63a Bergbaufolgelandschaften, Dr. M. Abo-Rady, in Vertretung des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft.



Freistaat  Sachsen
Landesamt für Umwelt und Geologie

Inhaltsverzeichnis

1	Vorwort	9
2	Einleitung	11
2.1	Substrat- und Bodenuntersuchungen auf Sukzessionsflächen.....	11
2.2	Charakterisierung der mikrobiellen Aktivität von Böden.....	12
2.3	Vegetationsverhältnisse auf Sukzessionsflächen	14
3	Methoden	15
3.1	Untersuchungsgebiete.....	15
3.2	Bodenkundliche Untersuchungen.....	19
3.2.1	Bodenphysik	21
3.2.2	Bodenchemie.....	22
3.2.3	Bodenmikrobiologie	23
3.3	Vegetationskunde	24
3.4	Bergbautechnologische und bergbauhistorische Recherchen	26
4	Ergebnisse	28
4.1	Kippsubstratverhältnisse und Bodenentwicklung	28
4.1.1	Tagebau Nochten – NSG "Innenkippe"	28
4.1.1.1	Kippsubstratverhältnisse	28
4.1.1.2	Bodentyp.....	30
4.1.2	Tagebau Spreetal-NO – Spülraum I.....	32
4.1.2.1	Kippsubstratverhältnisse	32
4.1.2.2	Bodentyp.....	33
4.1.3	Tagebau Spreetal-SO – Kippe Seidewinkel	34
4.1.3.1	Kippsubstratverhältnisse	34
4.1.3.2	Bodentyp.....	35
4.1.4	Tagebau Lohsa – Ehemaliger Truppenübungsplatz	36
4.1.4.1	Kippsubstratverhältnisse	36
4.1.4.2	Bodentyp.....	36
4.1.5	Tagebau Espenhain – Brückenkippe Störmthaler See	37
4.1.5.1	Kippsubstratverhältnisse	37
4.1.5.2	Bodentyp.....	38
4.1.6	Tagebau Delitzsch-SW – Brückenkippe Grabschützer See.....	40
4.1.6.1	Kippsubstratverhältnisse	40
4.1.6.2	Bodentyp.....	42
4.1.7	Tagebau Goitsche – Baufeld Ila	45
4.1.7.1	Kippsubstratverhältnisse	45
4.1.7.2	Bodentyp.....	46
4.2	Bodenmikrobiologie	47
4.2.1	Mikrobielle Biomasse.....	47
4.2.2	Aktivitätsparameter	50
4.3	Biotoptypen in den Untersuchungsgebieten.....	52
4.3.1	Tagebau Nochten – NSG "Innenkippe"	52
4.3.2	Tagebau Spreetal-NO – Spülraum I.....	53
4.3.3	Tagebau Spreetal-SO – Kippe Seidewinkel	53
4.3.4	Tagebau Lohsa – Ehemaliger Truppenübungsplatz	54
4.3.5	Tagebau Espenhain – Brückenkippe Störmthaler See	55
4.3.6	Tagebau Delitzsch-SW – Brückenkippe Grabschützer See.....	55
4.3.7	Tagebau Goitsche – Baufeld Ila	56
4.4	Vegetationskundliche Charakterisierung.....	57
4.4.1	Artenzusammensetzung	57

4.4.2	Clusteranalyse.....	59
4.4.3	Ordination.....	61
4.4.3.1	Indirekte Ordination (DCA).....	61
4.4.3.2	Indirekte Ordination (DCA) unter Einbeziehung von Covariablen.....	63
4.4.3.3	Direkte Ordination.....	63
4.4.3.4	Direkte Ordination (CCA) unter Einbeziehung von Covariablen.....	64
4.4.3.5	Partielle Ordination.....	66
4.4.4	Analyse einzelner Untersuchungsgebiete.....	67
4.4.4.1	Tagebau Spreetal-NO – Spülraum I.....	67
4.4.4.2	Planierte und durch sandige Substrate charakterisierte Untersuchungsgebiete.....	69
4.4.4.3	Tagebau Nochten – NSG "Innenkippe".....	71
4.4.4.4	Tagebau Espenhain – Brückenkippe Störmthaler See.....	73
4.4.4.5	Tagebau Delitzsch-SW – Brückenkippe Grabschützer See.....	75
5	Diskussion.....	78
5.1	Bodenentwicklung – Felddiagnose und Prozessdynamik.....	78
5.1.1	Bildung organischer Auflagen / Humusanreicherung.....	78
5.1.2	Stauvernässung.....	80
5.1.3	Pelosodynamik.....	81
5.1.4	Geogenetische Prozesse nach der Verkippung.....	81
5.1.5	Anthropogene Prozesse nach der Verkippung.....	82
5.1.6	Carbonatverlagerung.....	82
5.1.7	Zusammenfassung charakteristischer bodenbildender und substratverändernder Prozesse.....	82
5.1.8	Vorschläge zur nomenklatorischen Einordnung der Kippböden.....	85
5.2	Bodenmikrobiologie und Bodenentwicklung.....	86
5.3	Vegetationsentwicklung.....	88
5.3.1	Verallgemeinerbare Wechselbeziehungen zwischen Vegetation und Umweltvariablen.....	89
5.3.2	Einschränkungen der Verallgemeinerbarkeit.....	90
5.3.3	Analyse des Sukzessionsverlaufs.....	93
6	Zusammenfassung.....	94
6.1	Bodenentwicklung.....	94
6.2	Bodenmikrobiologische Parameter.....	95
6.3	Vegetation.....	96
6.4	Naturschutzrelevante Aspekte und Umsetzung in die Praxis.....	98
7	Literaturverzeichnis.....	100

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Übersicht über die Lage der ostsächsischen Untersuchungsgebiete	17
Abb. 2: Übersicht über die Lage der westsächsischen Untersuchungsgebiete.....	18
Abb. 3: Technologische Kippenentstehung in den westsächsischen Untersuchungsgebieten.....	27
Abb. 4: Bodenformengesellschaften, Tagebau Nochten – NSG "Innenkippe"	31
Abb. 5: Bodenformengesellschaften, Tagebau Spreetal-NO – Spülraum I.....	34
Abb. 6: Bodenformengesellschaften, Tagebau Spreetal-SO – Kippe Seidewinkel,	35
Abb. 7: Bodenformengesellschaften, Tagebau Lohsa – Ehemaliger Truppenübungsplatz.....	37
Abb. 8: Hauptsächlich verbreitete Kippsubstrate, Tagebau Espenhain –Brückenkippe Störmthaler See.....	40
Abb. 9: Hauptsächlich verbreitete Kippsubstrate, Tagebau Delitzsch-SW – Brückenkippe Brückenkippe Grabschützer See.....	45
Abb. 10: Bodenformengesellschaften, Tagebau Goitsche – Baufeld IIa	47
Abb. 11: Tiefenprofile der mikrobiellen Biomasse in einem Lockersyrosem, einer Pararendzina und einem Regosol.....	48
Abb. 12: Variationsbereiche und Tiefengradient der C_{mik} -Gehalte in Kipp-Sanden, Kipp-Lehmen, Kipp-Tonen und Kipp-Kohleschluffen	49
Abb. 13: Beziehungen zwischen der mikrobiellen Biomasse und Nährstoffen.....	49
Abb. 14: Variationsbereiche und Tiefengradient der Dehydrogenasenaktivität, Bodenatmung und des metabolischen Quotienten in Kipp-Sanden, Kipp-Lehmen, Kipp-Tonen und Kipp-Kohleschluffen.....	50
Abb. 15: Ausdauernde Gras-Krautfluren und Gehölzsukzession im NSG "Innenkippe Nochten"	53
Abb. 16: Lückige Vegetationsbedeckung auf aschereichem Substrat im Tagebau Spreetal-NO – Spülraum I	53
Abb. 17: Sandmagerrasen und Land-Reitgras-Fluren auf der Kippe Seidewinkel im Tagebau Spreetal-SO.....	55
Abb. 18: Kleinräumiges Mosaik aus Zwergstrauchheiden und Sandmagerrasen auf dem ehemaligen Truppenübungsplatz im Tagebau Lohsa	55
Abb. 19: Großflächige sandige Rohbodenstandorte im Tagebau Espenhain – Brückenkippe Störmthaler See.....	56
Abb. 20: Schüttrippenkomplex im Tagebau Delitzsch-SW	56
Abb. 21: Ausgedehnte Silbergrasfluren im Tagebau Goitsche – Baufeld IIa	56
Abb. 22: Ergebnis der Clusteranalyse von 407 Vegetationsaufnahmen	60
Abb. 23: Indirekte Ordination (DCA) des gesamten Datensatzes	62
Abb. 24: Partielle direkte Ordination (CCA) des gesamten Datensatzes.	65
Abb. 25: Variance Partitioning.....	67
Abb. 26: Direkte Ordination (RDA), Tagebau Spreetal-NO – Spülraum I.....	68
Abb. 27: Direkte Ordination (RDA), geplante Untersuchungsgebiete mit sandigen Substraten.	70
Abb. 28: Direkte Ordination (RDA), Tagebau Nochten – NSG "Innenkippe"	72
Abb. 29: Direkte Ordination (RDA), Tagebau Espenhain – Brückenkippe Störmthaler See.....	74
Abb. 30: Direkte Ordination (CCA), Tagebau Delitzsch-SW – Brückenkippe Grabschützer See	76
Abb. 31: Pedogene Prozessdynamik und Bodentypen in den Untersuchungsgebieten	83

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Untersuchungsgebiete	15
Tab. 2: Übersicht über die durchgeführten Feldarbeiten.....	20
Tab. 3: Übersicht über durchgeführte bodenphysikalische und –chemische Untersuchungen	23
Tab. 4: Übersicht über die Anzahl beprobter Flächen, Profile und Bodentiefen für bodenmikro- biologische Untersuchungen	24
Tab. 5: Anordnung und Anzahl der vegetationskundlichen Probeflächen	25
Tab. 6: Felddiagnostische Merkmale, Tagebau Nochten – NSG "Innenkippe".....	29
Tab. 7: Felddiagnostische Merkmale, Tagebau Spreetal-NO – Spülraum I.....	33
Tab. 8: Felddiagnostische Merkmale, Tagebau Spreetal-SO – Kippe Seidewinkel.....	35
Tab. 9: Felddiagnostische Merkmale, Tagebau Lohsa – Ehemaliger Truppenübungsplatz	36
Tab. 10: Felddiagnostische Merkmale, Tagebau Espenhain – Brückenkippe Störmthaler See	39
Tab. 11: Felddiagnostische Merkmale Tagebau Delitzsch-SW, Brückenkippe Grabschützer See	43
Tab. 12: Felddiagnostische Merkmale, Tagebau Goitsche – Baufeld IIa.....	46
Tab. 13: Mittelwerte, Minima und Maxima der C_{mik} -Menge in den oberen 10 cm und der Aktivitätsparameter in den oberen 0-2 cm	51
Tab. 14: Stetigkeitstabelle der Untersuchungsgebiete (Ausschnitt).....	57
Tab. 15: Nachweise von gefährdeten und geschützten Arten in den Untersuchungsgebieten	59
Tab. 16: Mittlere Zeigerwerte für die Untersuchungsgebiete	62
Tab. 17: Ordinationsstatistik Partielle DCA	63
Tab. 18: Ordinationsstatistik CCA	64
Tab. 19: Variance Partitioning	66
Tab. 20: Ausschnitt aus der Stetigkeitstabelle, Tagebau Spreetal-NO – Spülraum I	69
Tab. 21: Ausschnitt aus der Stetigkeitstabelle, durch sandige Substrate geprägte sowie planierte Untersuchungsgebiete	71
Tab. 22: Ausschnitt aus der Stetigkeitstabelle, Tagebau Nochten – NSG "Innenkippe "	73
Tab. 23: Ausschnitt aus der Stetigkeitstabelle, Tagebau Espenhain – Brückenkippe Störmthaler See	75
Tab. 24: Ausschnitt aus der Stetigkeitstabelle, Tagebau Delitzsch-SW – Brückenkippe Grabschützer See	77
Tab. 25: Prognostizierbare bodenbildende Prozesse und diagnostische Horizonte auf Kippen und Halden des Braunkohlenbergbaus.....	78

Anlagenverzeichnis

Anhang 1: Abkürzungen der in den Ordinationsdiagrammen genannten Pflanzenarten	109
--	-----

Abkürzungsverzeichnis

B	Bohrstockprofil
BF	Bodenfeuchte
BFL	Bergbaufolgelandschaft
BS	Basensättigung
CAL	Calcium-Acetat-Lactat-Auszug
CUI	Consultinggesellschaft für Umwelt und Infrastruktur mbH, Halle
DCA	Detrended Correspondence Analysis
df	Festschubstanzdichte (in g m^{-3})
DHA	Dehydrogenasenaktivität
DL	Doppellactat-Auszug
EO	Erdoberfläche
FBM	Forschungsverbund Braunkohletagebaulandschaften Mitteldeutschlands "Konzepte für die Erhaltung, Gestaltung und Vernetzung wertvoller Biotope und Sukzessionsflächen in ausgewählten Tagebausystemen" (Laufzeit: 1995 – 1999; BMBF-Förderkennzeichen: 0339647)
FIS	Fachinformationssystem
FK	Feldkapazität (in Vol. %)
FLB	Forschungsverbund Landschaftsentwicklung Mitteldeutsches Braunkohlenrevier "Analyse, Bewertung und Prognose der Landschaftsentwicklung in Tagebauregionen des Mitteldeutschen Braunkohlenreviers" (Laufzeit: 1999 – 2003; BMBF-Förderkennzeichen: 0339747)
FN	Forstwirtschaftliche Nutzfläche
GIS	Geographisches Informationssystem
GPS	Global Positioning System (satellitengestützte Vermessung)
i. A.	im Auftrag
KA 4	Bodenkundliche Kartieranleitung, 4. Auflage
KAK	Kationenaustauschkapazität
kf	Gesättigte hydraulische Leitfähigkeit (in cm d^{-1})
KSK 10	Kippsubstratkarte im Maßstab 1:10.000
LAUBAG	Lausitzer Braunkohlengesellschaft mbH
LENAB	Verbundvorhaben Niederlausitzer Bergbaufolgelandschaft "Erarbeitung von Leitbildern und Handlungskonzepten für die verantwortliche Gestaltung und nachhaltige Entwicklung ihrer naturnahen Bereiche" (Laufzeit: 1995 – 1998; BMBF-Förderkennzeichen: 0339648)
LfUG	Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie
Ld/dB	Lagerungsdichte / Trockensubstanz (in g m^{-3})
LK	Luftkapazität (in Vol. %)
LMBV	Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH
LN	Landwirtschaftliche Nutzfläche
MIBRAG	Mitteldeutsche Braunkohlengesellschaft mbH
MLU	Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
MW	Mittelwert
NFG	Naturförderungsgesellschaft "Ökologische Station" Borna-Birkenhain e.V.
nFK	Nutzbare Feldkapazität (in Vol. %)
NSG	Naturschutzgebiet
P	Bodenprofil (Schurf)
pF	Beziehung Wasserbindung (Saugspannung) zum Wassergehalt
PV	Gesamtporenvolumen (in Vol. %)
RL	Restloch
sd	Standardabweichung

SIR	Substrat-Induzierte Respiration
Tgb.	Tagebau
TGL	Technische Normen, Gütevorschriften und Lieferbedingungen
TPF	Triphenyltetrazoliumformazan
TTC	Triphenyltetrazoliumchlorid
TÜP	Truppenübungsplatz
UFZ	Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH
UG	Untersuchungsgebiet
V	Bodenprofil (Grabloch)
WS	Wassersäule (in cm)

Danksagung

Bei diesem UFZ-Bericht handelt es sich um wesentliche Auszüge und Ergebnisse des Forschungs- und Entwicklungsvorhabens "Erfassung und Bewertung der zukünftigen Landflächen in der Bergbaufolgelandschaft hinsichtlich ihrer Standortfunktionen für natürliche Vegetation". Veranlasst, finanziert und begleitet wurden die Arbeiten durch das Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG), Referat 63a Bergbaufolgelandschaften, Herr Dr. M. Abo-Rady, im Auftrag des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft. Das Vorhaben hatte eine Laufzeit vom 24.08.2000 bis zum 15.11.2002.

Die durchführenden Institutionen und verantwortlichen Projektbearbeiter waren:

- CUI-Consultinggesellschaft für Umwelt- und Infrastruktur mbH (Dr. Wolfgang Besch-Frotscher, Projektleitung), Halle/Saale;
- UFZ-Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, Department Naturschutzforschung (Dr. Birgit Felinks, Vegetationskunde), Leipzig;
- Dipl.-Geol. (FH) Fred Franzke, Feldbodenkunde, Frauenstein, Ingenieurbüro;
- Institut für Bodenkunde und Pflanzenernährung der MLU Halle-Wittenberg (PD Dr. Galina Machulla, Bodenmikrobiologie), Halle/Saale;
- Institut für Bohrtechnik und Fluidbergbau der TU Bergakademie Freiberg (Dr. Anne Michael), Freiberg.

Die im Projekt verwendeten Analysenverfahren (Sammelproben) wurden durch den Nachauftragnehmer Umweltanalytik Dr. Rietzler & Kunze, Freiberg, und der Umweltbetriebsgesellschaft Zentrallabor Neusörnewitz ausgeführt. Die Analysen und Untersuchungen zu den hydraulischen Eigenschaften der Kippenböden (pF, kf, Ld und dF) sind im Labor des Bereiches Boden- und Gewässerschutz der TU Bergakademie Freiberg durchgeführt worden.

Die Arbeiten waren nur durch die aktive Mitwirkung und Unterstützung verschiedener Einrichtungen möglich. Das betraf vor allem die Verfügbarmachung von Flächen, die Genehmigung der Untersuchungen, die Bereitstellung von Unterlagen und Daten bis hin zu fachlichen Diskussionsbeiträgen sowie technischen und fachlichen Zuarbeiten. Der entsprechende Dank gilt insbesondere nachfolgend aufgeführten Institutionen und Personen: CUI mbH (Herr Goj, Herr Trümpelmann, Herr Winkler, Frau Rösner); Dr. Vogler & Partner Ingenieurgesellschaft mbH (Dr. E. Vogler); LAUBAG (Frau Wüstenhagen); LfUG, Referat 63a Bergbaufolgelandschaften (Herr Dr. Abo-Rady); LMBV mbH (Herr Schlenstedt, Herr Smalla, Herr Brinckmann, Herr Häfker); MLU, Institut für Bodenkunde und Pflanzenernährung, Halle (Frau Steinig); Naturschutzstation "Am Braunsteich" (Frau Rumpel); TU BA Freiberg, Institut für Bohrtechnik und Fluidbergbau (Frau Hahnewald); Yvonne Franzke; Zweckverband Naturschutz Region Neiße (Herr Dr. Brozio). Dr. Bräutigam (Görlitz), Herr Gnüchtel (Tharandt) und Dr. Gutte (Leipzig) gilt der Dank für die Unterstützung bei der Bestimmung von Flechten und Blütenpflanzen.

1 Vorwort

In zahlreichen naturschutzfachlichen Forschungsvorhaben wurden sowohl der aktuelle Wert als auch die Entwicklungspotenziale der Braunkohle-Bergbaufolgelandschaften für den Arten-, Biotop- und Prozessschutz dargelegt (u.a. Durka et al. 1997, Altmooß & Durka 1998, Felinks & Wiegleb 1998, LAU 1999, Altmooß 1999a, Abresch et al. 2000, Brändle et al. 2000, Schulz & Wiegleb 2000, Wiegleb et al. 2000, Brändle et al. 2003). Dabei wurde deutlich, dass neben der Großflächigkeit, Unzerschnittenheit und weiten Verbreitung von nährstoffarmen Substraten v.a. die kleinräumige Standortheterogenität und –dynamik ausschlaggebende Voraussetzungen für das Vorkommen von zahlreichen seltenen und gefährdeten Arten sind (z.B. Altmooß 1999b, Kirmer & Mahn 2001). Von besonderer Bedeutung sind deshalb Flächen in der Bergbaufolgelandschaft, die nach Beendigung des aktiven Braunkohlentagebaus von weitreichenden Sanierungsmaßnahmen ausgespart wurden, auf denen sich weitgehend ungestört Sukzessionsabläufe vollziehen und die durch eine hohe Standortdynamik gekennzeichnet sind.

Während die biotische Ausstattung der Bergbaufolgelandschaft und die wesentlichen Sukzessionsprozesse inzwischen relativ gut untersucht sind und z.B. in Biotop(typen)kartierungen, Artenerfassungen, Sukzessionsforschungen und Schutzgebietskonzeptionen dargelegt sind (z.B. FBM 1998, 1999, Wiegleb et al. 2000, FLB 2002), liegen über den Einfluss von abiotischen Standortparametern – dazu zählen insbesondere geomorphologische, hydrologische, klimatische, geologische und pedologische Parameter – sowie hinsichtlich ihrer vielfältigen Wechselwirkungen mit Sukzessionsprozessen vergleichsweise wenige Informationen vor. Einflussfaktoren, Entwicklungsrichtungen und Entwicklungsgeschwindigkeiten sind oft noch unklar und in ihrer Komplexität nicht erfasst.

Dies liegt sicherlich einerseits darin begründet, dass zwischen den verschiedenen Umweltvariablen mannigfaltige Wechselbeziehungen bestehen und somit ihr jeweiliger Einfluss auf die Vegetationssukzession nur schwer nachweisbar ist (Wiegleb & Felinks 2001a, b). Andererseits standen sowohl in der gewachsenen Landschaft als auch in der Bergbaufolgelandschaft Produktions-, Ausgleichs- und Stoffumwandlungsfunktionen von Böden im Vordergrund, so dass bodenphysikalische und bodenchemische Analysen, aber auch Untersuchungen zur mikrobiellen und faunistischen Aktivität vor allem im Hinblick auf die Bodenfruchtbarkeit durchgeführt und Bewertungskonzepte unter diesen Gesichtspunkten entwickelt wurden.

Da insbesondere die Böden in der Bergbaufolgelandschaft auf Grund ihrer kleinräumigen Heterogenität über ein hohes Potenzial für die Entwicklung der Biodiversität in der Region verfügen, sind bessere Kenntnisse der Wechselwirkungen zwischen Bodeneigenschaften und Vegetationsentwicklung auf Sukzessionsflächen eine wesentliche Grundlage, um Bewertungsmaßstäbe für die Lebensraumfunktion von Böden zu entwickeln. Ein solcher Bewertungsmaßstab leistet einen wichtigen Beitrag für die Erarbeitung und Umsetzung von Natur- und Bodenschutzkonzepten unter Berücksichtigung sowohl von Aspekten des Arten- und Biotopschutzes aber vor allem auch des Prozessschutzes.

Des Weiteren ist davon auszugehen, dass neben den abiotischen und biotischen Standorteigenschaften auch die technisch-technologischen Rahmenbedingungen, insbesondere in den frühen Sukzessionsstadien, einen entscheidenden Einfluss auf die Einwanderungs-, Besiedlungs- und Sukzessionsprozesse in der Bergbaufolgelandschaft nehmen können. Daher sind Informationen zur bergbaulichen Entwicklung der jeweiligen Kippenfläche sowohl für ein

Verständnis des aktuellen Zustandes als auch für Aussagen zum Entwicklungspotenzial der naturschutzfachlich relevanten Gebiete erforderlich.

Ausgehend von diesen fachlichen und methodischen Rahmenbedingungen wurden die folgenden Zielstellungen für die Projektbearbeitung abgeleitet:

- Charakterisierung der bodenchemischen, bodenphysikalischen und bodenmikrobiellen Eigenschaften auf repräsentativen Sukzessionsflächen in der Bergbaufolgelandschaft;
- Erstellung von Kippsubstratkarten unter Anwendung der bodenkundlichen Kartieranleitung KA4 (AG Boden 1996) bzw. Überarbeitung und Anpassung von bereits vorliegenden Kippsubstratkarten im Maßstab 1 : 10.000 (KSK 10) entsprechend der bodenkundlichen Kartieranleitung KA4 (AG Boden 1996);
- vegetationskundliche Charakterisierung der Untersuchungsgebiete;
- Analyse der Wechselbeziehungen zwischen Umweltvariablen und aktueller Vegetation;
- Erarbeitung von verallgemeinerbaren Schlussfolgerungen zur Prognosefähigkeit der Vegetationsentwicklung auf Sukzessionsflächen in Abhängigkeit von den jeweiligen Standortbedingungen;
- Erarbeitung von Vorschlägen zur Umsetzung der Ergebnisse in die Praxis, v.a. unter Berücksichtigung des naturschutzfachlichen Zieles "Prozessschutz".

2 Einleitung

2.1 Substrat- und Bodenuntersuchungen auf Sukzessionsflächen

Seit den 60er Jahren des 20. Jahrhunderts wurden intensive standörtliche Untersuchungen auf Kippen und Halden der ostdeutschen Braunkohlereviere mit dem vorrangigen Ziel einer land- bzw. forstwirtschaftlichen Rekultivierung und Nachnutzung durchgeführt. Demzufolge standen in den vielzähligen Untersuchungen und Forschungsvorhaben neben der Begutachtung und der Erarbeitung von praxisorientierten Richtlinien vor allem Aspekte der Substrat- und Bodenansprache sowie eine Bewertung im Hinblick auf die Verbesserung und Entwicklung des Produktions- sowie Reproduktionspotenzials im Vordergrund (z.B. Thomasius et al. 1997, SLfL 1999). Humus- und Nährstoffbilanzen, Ausbildung von Auflage- und A-Horizonten sowie Sorptions- und Puffereigenschaften waren dabei von besonderem Interesse. Einen weiteren Schwerpunkt bildete die Untersuchung und Bewertung schwefelhaltiger, tertiärer Substrate.

Aus den Ergebnissen wurden u.a. bodenverbessernde Meliorations- und Bewirtschaftungsmaßnahmen abgeleitet. Verschiedene Aspekte der Boden- und Substraterfassung sowie der bodenphysikalischen, -chemischen und -biologischen Eigenschaften finden sich z.B. in Koop & Ruhnau (1980), Wünsche et al. (1981), Heilmann et al. (1995), Abo-Rady et al. (1998), Altermann et al. (1998), Haubold et al. (1998), Haubold-Rosar (1998), Laves et al. (1998), Thomasius & Häfker (1998), Thomasius et al. (1997, 1998), Vogler et al. (1998), Abo-Rady & Krüger (1999), Hüttl et al. (1999), Broll et al. (2000), Hahn & Fromm (2000) sowie Hunger et al. (2000). Aspekte der Bodenentwicklung und Bodensystematik sind in Haubold-Rosar (1994) oder Katzur & Haubold-Rosar (1996) zusammengefasst.

Ein generelles Problem bei der weitergehenden Interpretation von bodenkundlichen Untersuchungsergebnissen resultiert aus den oftmals nicht flächenscharfen Standortbeschreibungen bzw. einer nur ungenauen Dokumentation der Substrat- und Bodenverhältnisse. Nomenklaturdefizite und -unschärfen mit z.T. relativ komplizierten Begrifflichkeiten (Substrattermini) kommen erschwerend hinzu. In diesem Zusammenhang ist auch die Interpretation von nach TGL-Standard kartierten Flächen und ihre Übertragung in die aktuelle KA4-Norm zum Teil als problematisch einzuschätzen (Abo-Rady et al. 1998). Demzufolge ist auch die amtliche Kippsubstratkarte im Maßstab 1:10.000, KSK 10 (Abo-Rady et al. 1997) in dieser Hinsicht für Teilgebiete als unscharf zu bewerten. Daraus ergeben sich Probleme z.B. bezüglich der bodensystematischen Einordnung von Kippsubstraten und der Beurteilung von Bodenentwicklungen. Ebenso bestehen Kenntnislücken zu zeitlichen Abläufen bodengenetischer und geogenetischer Prozesse nach der Verkippung oder Reliefgestaltung.

Auf Sukzessionsflächen treten Tendenzen und Prozessabläufe im Vergleich zu genutzten Flächen deutlicher in ihrem pedogenetischen Zusammenhang hervor. Daher können auf diesen Flächen mittels feldbodenkundlicher Verfahren die zum Teil sehr variablen und auf Grund der Substratheterogenität oft komplizierten Verhältnisse gut dokumentiert werden. Dadurch wird eine bodensystematische bzw. bodentypologische Gliederung auf Varietäten- bis hin zu Subvarietätenniveau möglich.

2.2 Charakterisierung der mikrobiellen Aktivität von Böden

In der Vergangenheit unterlag der Begriff "mikrobielle Aktivität eines Bodens" einem inhaltlichen Wandel. Während zunächst die Isolierung, Kultivierung und Quantifizierung von Bodenmikroorganismen sowie deren systematische Zuordnung dominierten (Müller 1965), führten methodische Fortschritte bei der Erfassung mikrobiell geleiteter Prozesse zu einer zunehmenden Erweiterung des mikrobiologischen Parameterkataloges. Es wurden Bestimmungen der Bodenatmung (CO₂-Produktion) und der Bodenenzyme möglich (Sumner 1926, zitiert in Dick & Tabatabai 1993, Zvjagintsev 1980). Im letzten Drittel des 20. Jahrhunderts traten die klassischen mikrobiologischen Methoden zurück, während die biochemischen und molekularbiologischen Methoden an Bedeutung gewannen. Der Terminus "mikrobielle Aktivität eines Bodens" beinhaltet jedoch kein fest vorgeschriebenes Set an mikrobiellen Parametern, sondern variiert entsprechend der jeweiligen Fragestellung.

Einen völlig unterentwickelten Enzymkomplex besitzen die Kippsubstrate in den Rohstoffabbaugebieten. Stroo & Jencks (1982) sowie Bender & Gilewska (1984) zeigten, dass frisch aufgeschüttetes Bergematerial in den Kohleabbaugebieten keine Amylase-, Phosphatase-, Urease- und Katalaseaktivität aufweist. Mit zunehmendem Alter der mit *Robinia pseudoacacia* aufgeforsteten Flächen nimmt die Aktivität dieser Enzyme jedoch schnell zu und erreicht nach 15 – 20 Jahren in der Bodenschicht 0 – 25 cm das Niveau von gewachsenen Böden.

Die Einflüsse von anthropogenen Faktoren werden am häufigsten durch Ermittlung der Dehydrogenasenaktivität erfasst. So stellten Garcia et al. (1997) eine sehr gute Übereinstimmung zwischen der Abnahme der mikrobiellen Biomasse, der Bodenatmung und der Enzymaktivität einerseits sowie der Zunahme des erosionsbedingten Salzgehaltes andererseits fest. Wiederholt wurde die Bestimmung der Dehydrogenasenaktivität zur Indizierung der Bodenfruchtbarkeit (Beck 1984) oder der biologischen Bodenaktivität (Malkomes 1984, Beyer 1992) herangezogen. Da dieses Enzym nur in lebenden Zellen vorkommt, ist seine Bestimmung mit der Erfassung der oxidativen metabolischen Leistung der gesamten Mikrobenzönose gleichzusetzen. Die Untersuchungen an mehreren Bodentypen und -arten deuten darauf hin, dass die Enzymaktivität auf schweren, basischen und humusreichen Böden höher ist als auf leichten, sauren und humusarmen Böden (Dutzler-Franz 1977, Schröder & Urban 1985).

Die CO₂-Bildung ist ein geeignetes Maß mit globalem Charakter zur Erfassung der biologischen Prozesse im Boden. Die Untersuchungen von Müller et al. (1972) belegen statistisch gesicherte Unterschiede zwischen den Bodenarten Sand, Lehm und Ton, wobei eine Zunahme der CO₂-Exhalation in dieser Bodenartabfolge zu verzeichnen war. Die CO₂-Produktion weist außerdem eine tiefenbezogene, bodenart- und bodentypspezifische Abnahme auf (Ahrens & Thalman 1970). Die Bedeutung der organischen Bodensubstanz für die Höhe und Dynamik der CO₂-Bildung ist sehr groß. Bereits die Humusqualität spiegelt sich in einer Zunahme der Bodenatmung vom Rohhumus über Moder zum Mull wieder. Zwischen der CO₂-Produktion und der Enzymaktivität des Bodens sind mehr oder weniger enge Korrelationen ermittelt worden (Garcia 1997).

Sowohl zur Beschreibung des Reifestadiums eines Ökosystems innerhalb von Chronosequenzen, als auch zur Beschreibung des Energieflusses bei Aufbau- und Wachstumsvorgängen einer mikrobiellen Population eignet sich der Metabolische Quotient. Insam & Haselwandter (1989) konnten zeigen, dass sich im Verlauf von Primärsukzession sowohl die Bodenatmung als auch die mikrobielle Biomasse erhöht. Nehmen die Umweltfaktoren einen Stresscharakter an, z.B. Monokulturanbau, mehrjährige Schwarzbrache, stark saure pH-

Werte, intensive Bodenbearbeitung und hohe Schadstoffmengen, nimmt der metabolische Quotient in der Regel zu. Eine geringere CO₂-Bildung pro Masseinheit spricht für eine effizientere Mikroflora mit einem in die Vermehrung und Wachstum geleiteten Energiefluss (Anderson & Domsch 1989).

Da Bodenmikroorganismen bevorzugt solche Mikrohabitate besiedeln, in denen sie für ihr Wachstum und ihre Aktivität die optimalen chemischen und physikalischen Bedingungen vorfinden, ist die Besiedlungsdichte in der Rhizospäre deutlich höher als im wurzelfreien Raum. Nahezu 90 % der mikrobiellen Gesamtbiomasse befinden sich in den oberen 30 cm.

Bei der Analyse von mikrobiellen Aktivitäten in Rohböden aus unterschiedlichen Kippsubstraten stehen häufig Fragen der Flächenbehandlung und –nutzung im Vordergrund. Es wurden weltweit die Auswirkungen von Bodenabdeckung, mineralischer/organischer Düngung, Kalkung und einer initiierten Pflanzendecke auf die Entwicklung der mikrobiellen Aktivität infolge voranschreitender Bodenbildung auf Bergematerial in Kohle- und Erzabbaugebieten erfasst. Die Ergebnisse dieser Erhebungen liefern unabhängig von den klimatischen Bedingungen erstaunlich gleichsinnige Resultate (Gil-Sotres et al. 1992, Sopper et al. 1992):

Die Rekultivierungsmaßnahmen in den ehemaligen Braunkohlenrevieren des Rheinlandes und Mitteldeutschlands führten in den ersten 15 Rekultivierungsjahren zu einem jährlichen Anstieg des C_{org}-Gehaltes in den Varianten: NPK, Stallmist, Klärschlamm, Müll-Klärschlamm-Kompost, Stroh sowie Torf von 0,01 bis 0,18 % (Thum et al. 1990). Danach verlangsamt sich dieser Anstieg und ist mit einer Sättigungskurve zu beschreiben. Konform zu diesem Prozess entwickelt sich die Bodenmikroflora und ihre Aktivität. Die vorhandene schwache primäre Substratbesiedlung erreicht im Ap-Horizont nach 27 Rekultivierungsjahren das Niveau der gewachsenen Böden (Szegi 1983). Die Dehydrogenasenaktivität nimmt ebenfalls zu, erreicht jedoch im Ap-Horizont etwa 20 bis 50 % der Höhe der ungestörten Flächen (Machulla & Hickisch 1988). Auch eine Vegetationsdecke trägt entscheidend dazu bei, dass eine in ihrer Zusammensetzung ausgewogene und aktive Mikrobenzönose entsteht. Mit der Zeit führte eine 25-jährige Aufforstung des schluffreichen Löß-Neulandes bis zu einer Tiefe von 25 cm zur deutlichen Steigerung der Dehydrogenasenaktivität, Bodenatmung und Herausbildung der Aggregate, während dies in den ackerbaulich genutzten Flächen lediglich in 0 – 10 cm Tiefe und in einem wesentlich geringeren Ausmaß erkennbar war (Schneider et al. 1995).

Die enzymatische Aktivität nimmt mit voranschreitendem Alter der Flächen sehr schnell zu und spiegelt dabei sehr anschaulich den Prozess der Bodenbildung wieder. Eine signifikante Korrelation zwischen dem Alter (6 bis 25 Jahre) der rekultivierten landwirtschaftlich genutzten Böden und den mikrobiellen Parametern hat Schröder (1988) festgestellt. Die Mikrobenzönosen in Böden aus Kippsubstraten in den ehemaligen Kohleabbaugebieten weisen die folgenden charakteristischen Merkmale auf (Trofimov et al. 1986):

- starke Abhängigkeit von der Pflanzendecke;
- ausgeprägte räumliche Heterogenität, eingeleitet durch die Heterogenität der mineralischen Matrix und der sich etablierten Vegetation;
- Vorhandensein einer Vielfalt ökologischer Nischen;
- hohe mikrobielle Biomasse in den ersten Jahren der Sukzession;
- Zunahme an Artenvielfalt entsprechend des Voranschreitens des Bodenbildungsprozesses;
- ausgeprägte saisonale Aktivitätsschwankungen;
- Anbindung der mikrobiellen Biomasse und Aktivität an die obersten Zentimeter des Bodenprofils – "Hammerprofil".

2.3 Vegetationsverhältnisse auf Sukzessionsflächen

Untersuchungen zu Vegetationsverhältnissen, z.T. auch unter Berücksichtigung von standörtlichen Eigenschaften, in ehemaligen Braunkohletagebaugesellschaften liegen für das mitteldeutsche Revier u.a. von Hanf (1937, 1939), Beer (1955), Klemm (1966), Westhus (1981), Durka et al. (1995), Gutte (1995), Mahn & Tischew (1995), Pietzarka & Roloff (1995), Jakob et al. (1996), Schmiedeknecht (1996), Tilsch & Roloff (1996), Tischew (1996, 1998), Durka et al. (1997), Tischew & Mahn (1998), Kirmer & Mahn (2001), Kleinknecht (2001), FLB (2002) und Fromm et al. (2002) sowie für das Lausitzer Gebiet u.a. von Jentsch (1975, 1994), FIB (1994), Pietsch (1998), Felinks et al. (1999), Felinks (2000), Wiegleb & Felinks (2001) vor. Als Beispiele für vegetationskundliche Arbeiten aus dem rheinischen Braunkohlenrevier sind Bauer (1970), Wolf (1985, 1998) sowie aus dem tschechischen Revier von Prach (1987), Pysek & Pysek (1988, 1989), Prach & Pysek (1999, 2001) oder Prach et al. (2001) zu nennen.

Dabei wird in vielen Arbeiten betont, dass die ehemaligen Braunkohletagebauflächen oftmals durch ein kleinräumiges Nebeneinander verschiedener Vegetationseinheiten gekennzeichnet sind. Als ausschlaggebend für diese Beobachtung werden sowohl kleinräumige Substratheterogenität, z.T. bereits in einer Größenordnung von nur wenigen Quadratmetern (Katzur 1997), das Vorhandensein eines ausgeprägten Mikroreliefs oder auch Zufallsereignisse bei der Wiederbesiedlung der Flächen genannt. In ihrer Gesamtheit führen diese Rahmenbedingungen dazu, dass ein linearer Sukzessionsverlauf in der Bergbaufolgelandschaft in der Regel nicht zu beobachten ist. Vielmehr müssen verschiedene Wege der Vegetationsentwicklung in Betracht gezogen werden. Dies trägt in der Konsequenz dazu bei, dass sich Kausalbeziehungen zwischen aktueller Vegetation und erfassten Standorteigenschaften nur mit Einschränkungen herstellen lassen. Eine Vorhersage der natürlichen Vegetationsentwicklung auf den ehemaligen Tagebauflächen ist demzufolge gegenwärtig noch mit einer hohen Unsicherheit behaftet.

3 Methoden

3.1 Untersuchungsgebiete

Die Identifizierung und Auswahl repräsentativer Sukzessionsflächen der sächsischen Bergbaufolgelandschaft basierte auf folgenden Kriterien:

- Es sollte sich um terrestrische Flächen handeln, die auch bei zukünftigen Flutungsmaßnahmen bzw. Grundwasserwiederanstieg nicht vollständig unter Wasser geraten.
- Die Flächen sollten sich in raumplanerisch festgelegten Vorranggebieten für Natur und Landschaft befinden.
- Naturschutzfachlich-konzeptionelle Vorstellungen des LfUG und vorgeschlagene Kerngebiete für Naturschutz seitens der LMBV sollten berücksichtigt werden.
- Eine Sanierung sollte möglichst nicht vorgenommen worden bzw. abgeschlossen sein.
- Es sollten möglichst Vorkenntnisse zur Biotoptypenausstattung vorhanden sein.
- Nach Möglichkeit sollten die Flächen ein unterschiedliches Alter aufweisen.
- Die bergbauliche Entstehung der Flächen sollte die typischen Kippensituationen im west- und ostsächsischen Revier widerspiegeln.

Auf der Basis von umfangreichen Recherchen und Befahrungen wurden sieben Untersuchungsgebiete – davon drei im westsächsischen Revier und vier im ostsächsischen Revier – festgelegt (s. Tab. 1, Abb. 1, Abb. 2).

Tab. 1: Untersuchungsgebiete

Untersuchungsgebiete	Fläche (ha)	Verfügbare Unterlagen
Ostsachsen		
Tagebau Nochten, NSG "Innenkippe"	ca. 62	Regionaler Planungsverband Oberlausitz Niederschlesien (1994), Landratsamt des Niederschlesischen Oberlausitzkreises (1996), LMBV (2000b)
Tagebau Lohsa, Ehemaliger Truppenübungsplatz	ca. 64	Landratsamt des Niederschlesischen Oberlausitzkreises (1996), Regionaler Planungsverband Oberlausitz Niederschlesien (1997), LMBV (2000b)
Tagebau Spreetal NO, Spülraum I	ca. 52	G.E.O.S. (1991), LMBV (2000b)
Tagebau Spreetal SO, Kippe Seidewinkel	ca. 26	CUI (1998), LMBV (2000b)
Westsachsen		
Tagebau Delitzsch-SW, Brückenkippe Grabschützer See	ca. 460	Regionaler Planungsverband Westsachsen (1998a), LfUG (2000), LMBV (2000a), NFG (2000)
Tagebau Espenhain, Brückenkippe Störmthaler See	ca. 195	NFG (1996), Durka et al. (1997), Regionaler Planungsverband Westsachsen (1997, 1998), LfUG (2000), UFZ (2001)
Tagebau Goitsche, Baufeld IIa	ca. 130	FBM (1999), Regionaler Planungsverband Westsachsen (1998, 1999), LfUG (2000), LMBV (2000a)

Tagebau Nochten – NSG "Innenkippe"

Die flachwellige bis ebene Kippe wurde in den Jahren 1981 bis 1986 geschüttet. Die Höhenlagen schwanken zwischen 120 mNN im Südwesten und 141 mNN im Nordosten. Auf Grund der kleinflächig differenzierten Substratgemengesituation hat sich ein sehr heterogenes Standort- und Biotopmosaik ausgebildet. Etwa 62,5 ha der Fläche sind als Naturschutzgebiet ausgewiesen. Auf Teilflächen fanden Rekultivierungsmaßnahmen wie Kalk-Grundmелиoration bis in etwa 25 cm Tiefe (max. 40 cm) und Bepflanzungen statt. Der Betrieb des an-

grenzenden aktiven Tagebaus Nochten ist bis ca. 2030 vorgesehen. Nach der Flutung, die im Jahre 2050 abgeschlossen sein wird, wird der Tagebau eine maximale Seetiefe von 80 m aufweisen. Das Untersuchungsgebiet bleibt nach der Flutung grundwasserfern (VEB GFE Freiberg 1985, LANDSCHAFTS-PLANUNG 1996, StUFA 1999).

Tagebau Lohsa – Ehemaliger Truppenübungsplatz

In den 80er Jahren des 20. Jahrhunderts erfolgte die Verkippung und Planierung des Gebietes. Das nahezu ebene Kippengelände weist Höhenlagen von 121 mNN bis 126 mNN auf und steigt ganz leicht in nördliche Richtung an. Auf der Fläche, die als militärischer Truppenübungsplatz vorgesehen war, fanden keine weiteren Sanierungs- und Rekultivierungsmaßnahmen statt. Auch nach der Flutung des benachbarten Wasserspeichers Lohsa II bis ca. 2005 mit einer geplanten Speicherlamelle zwischen 109,5 mNN und 116,4 mNN bleibt das Untersuchungsgebiet ein grundwasserferner Standort (> 5 m unter Flur, VEB GFE Freiberg 1988).

Tagebau Spreetal-NO – Spülraum I

Bei diesem Untersuchungsgebiet handelt es sich um eine ebene Spülkippe, die beginnend in den 1950er Jahren bis etwa 1977 entstanden ist. Die eingespülten Massen setzen sich überwiegend aus einem Gemisch aus Spülkohle, Aschen, Schlacken und Sand aus der Brikkettierungsanlage des damaligen VEB Gaskombinat Schwarze Pumpe zusammen. Das Geländeniveau der ca. 52,5 ha großen Fläche liegt im Bereich von 113 mNN bis 115 mNN. Der Grundwasserspiegel liegt bei 94,5 mNN im Südosten und 98,9 mNN im Nordwesten (VEB GFE Halle 1977, VEB GFE Freiberg 1979, G.E.O.S. Freiberg 1991).

Tagebau Spreetal-SO – Kippe Seidewinkel

Die Verkippung des bis 1954 in Gewinnung befindlichen Tagebaus Spreetal SO begann Anfang der 1960er Jahre. Bei der Untersuchungsfläche handelt es sich um eine nahezu ebene Pflugkippe. Die Geländehöhen liegen zwischen 118 mNN und 120 mNN. Stellenweise fand bis ca. 40 cm Tiefe eine Grundmelioration statt (VEB GFE Freiberg 1969). Die Flutung des nördlich gelegenen Restloches Scheibe ist auf einen Wasserstand von 122 mNN vorgesehen. Das Kippengelände bleibt grundwasserfern.

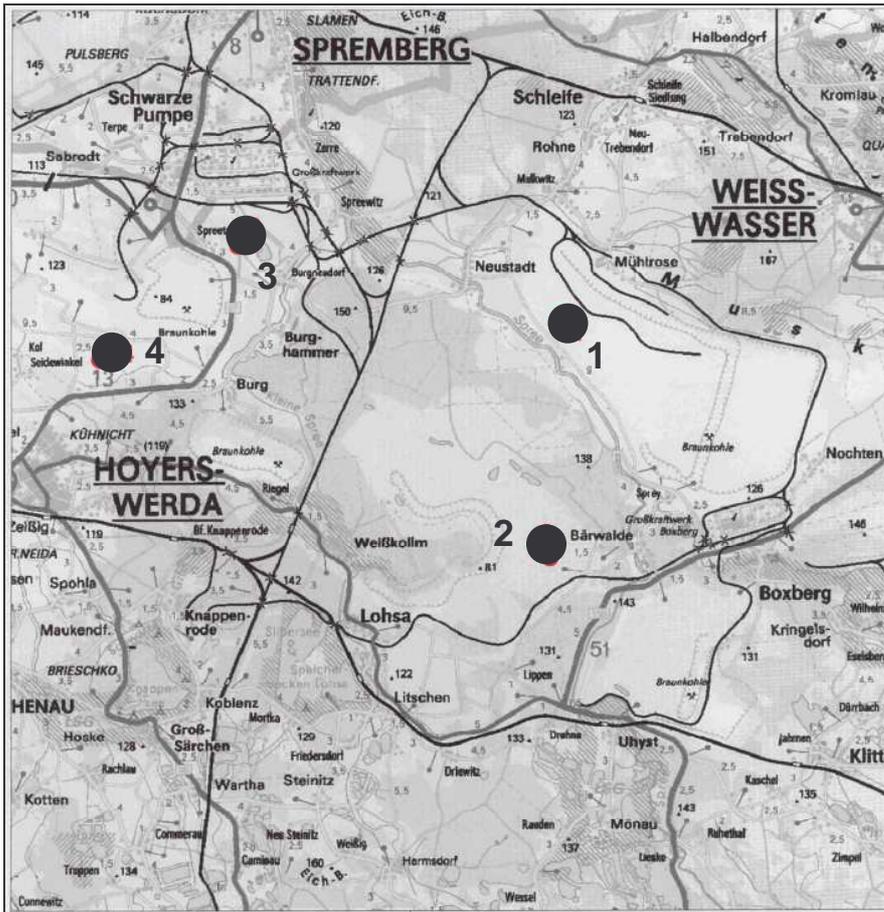


Abb. 1: Übersicht über die Lage der ostsächsischen Untersuchungsgebiete. 1: Tagebau Nochten, NSG "Innenkippe"; 2: Tagebau Lohsa, ehemaliger Truppenübungsplatz; 3: Tagebau Spreetal-NO, Spülraum I; 4: Tagebau Spreetal-SO, Kippe Seidewinkel

Tagebau Delitzsch-SW – Brückenkippe Grabschützer See

Die Brückenkippe wurde im Zeitraum von 1984 (nördlicher Teil) bis 1986 (südlicher Teil) gekippt. Die Mächtigkeit des Kippenkörpers beträgt max. 35 m (von ca. 70 mNN Sohlenhöhe bis max. 105 mNN Kipprippenhöhe). Die Schüttung erfolgte in drei Schichten. Verkippt wurden zwei Brückentiefschnitte aus quartären und tertiären Substraten bei starker Vermischung des Abraums. Vorschnittmaterial (u.a. kulturfreundlicher quartärer Geschiebemergel) wurde phasenweise insbesondere im südlichen Teil verkippt. Es fanden keine Sanierungs- und Rekultivierungsmaßnahmen statt. Der Ist-Wasserstand lag in 12/2000 bei ca. 88 mNN. Der prognostizierte End-Wasserstand, der sich bis etwa 2005 durch Grundwasserwiederanstieg einstellt, wird bei ca. 99 mNN erwartet. Dadurch geraten etwa ein Drittel der Kippe unter Wasser (LMBV 1999).

Tagebau Espenhain – Brückenkippe Störmthaler See

Die Brückenkippe ist in den Jahren 1986 bis 1988 entstanden und besteht vorwiegend aus tertiärem Abraum. Die Versturzhöhen betragen max. 65 m. Der Kippenkörper liegt damit in einer Höhe zwischen ca. 55 mNN und max. 120 mNN. Es fanden keine Sanierungs- und Rekultivierungsarbeiten statt. Durch die Restlochflutung im Zeitraum 2004 bis etwa 2013 wird sich der Endwasserstand bei prognostizierten 117 mNN einstellen (LMBV 1999) und

damit zu einer teilweisen Überflutung der Kippe führen. Aktuell treten Setzungs- und Sackungserscheinungen sowie Erosion auf.

Tagebau Goitsche – Baufeld IIa

Die Absetzerkippe wurde in der zweiten Hälfte der 1980er Jahre in Tiefschüttung geschaffen. Durch Rückgewinnung einer ca. 10 m mächtigen Scheibe für Sanierungsarbeiten wurde Anfang der 1990er Jahre die Kippe nochmals überformt. Das Gelände ist nahezu eben bei Höhenlagen zwischen 79 mNN und 81 mNN. Der in Flutung befindliche Tagebau wird in diesem Bereich einen Wasserspiegel von etwa 75 mNN aufweisen. Stabile Grundwasserverhältnisse mit einem Flurabstand von ca. 3 m werden sich ca. 2018/2020 einstellen (Regionaler Planungsverband Westsachsen 1999, LMBV 1999). Auf Grund der Hochwasserereignisse im Tagebau Goitsche im August 2002 sind die hydrologischen Verhältnisse in dieser Bergbauregion völlig verändert worden. Die Flutungskonzeptionen mussten durch die LMBV neu erarbeitet werden.



Abb. 2: Übersicht über die Lage der westsächsischen Untersuchungsgebiete
 1: Tagebau Goitsche, Baufeld IIa
 2: Tagebau Delitzsch-SW, Brückenkippe Grabschützer See
 3: Tagebau Espenhain, Brückenkippe Störmthaler See

3.2 Bodenkundliche Untersuchungen

Mittels bodenkundlicher Untersuchungen sollen Aussagen zu folgenden abiotischen Rahmenbedingungen gewonnen werden:

- Geologisches Ausgangsmaterial;
- Bodenart (Bodenartenuntergruppe, Substrat);
- Bodenartenschichtung (Substrattyp);
- Bodenphysikalische, -chemische und -biologische Kennwerte;
- Genese (Technogenese bzw. Geogenese, z.B. Erosion);
- Pedogenese (Bodentyp).

Um eine Erfassung, Dokumentation und Analyse der entsprechenden Variablen an repräsentativen Punkten in den Untersuchungsgebieten zu gewährleisten, erfolgten zunächst flächenbezogene Recherchen zu bereits vorliegenden Informationen bezüglich Boden- und Substratverhältnisse sowie zur allgemeinen Flächensituation (KSK 10, Gutachten, Berichte, Luftbilddauswertung). Spezielle Sachkenntnisse zu Arbeitsmethoden und Nomenklaturen waren besonders bei älteren Kippenabschnitten wichtige Hilfsmittel für eine Interpretation. In Abhängigkeit vom aktuellen Kenntnisstand und der jeweiligen Geländesituation wurden drei verschiedene Kategorien gebildet, die mit einer angepassten Vorgehensweise kartiert und beprobt wurden. Als digitale Kartengrundlage diente jeweils das bergmännische Risswerk der LMBV:

- a) Unplanierte Brückenkippen mit extremen Reliefunterschieden, von denen bislang keine bodenkundlichen Kartierungen vorlagen (Brückenkippen Delitzsch-SW und Espenhain): Da in diesen unerschlossenen Gebieten eine terrestrische Orientierung nur eingeschränkt möglich ist, ist die klassische Rasterkartierung nur mit sehr hohem Aufwand durchführbar. Es wurden deshalb unter Verwendung von geeigneten Luftbilddaufnahmen Eichprofiltrassen in repräsentativen Flächenbereichen angelegt. Zur besseren Zuordnung zu substrat- und bodensystematischen Einheiten wurden Grablochdokumentationen und begleitende Peilstangenbohrungen durchgeführt. Die Aufschlussanzahl variiert in Abhängigkeit von der Standortheterogenität.
- b) Planierte Kippenflächen mit ebenem bis flachwelligem Relief, von denen bislang keine bodenkundlichen Kartierungen vorlagen (Tgb. Goitsche, Baufeld IIa): In den gut zugänglichen Gebieten war eine Orientierung leicht möglich, so dass hier Peilstangenbohrungen bis 1 m Tiefe in klassischer Rastermethode im Abstand von 200 x 100 m bzw. 100 x 100 m erfolgten.
- c) Planierte und gut zugängliche Kippenflächen mit ebenem bis flachwelligem Relief und bereits vorhandenen bodenkundlichen Kartierungen (Tgb. Spreetal-NO, Spülraum I; Tgb. Spreetal-SO, Kippe Seidewinkel; Tgb. Lohsa, ehemaliger Truppenübungsplatz; Tgb. Nochten, NSG "Innenkippe"): Hier erfolgten Peilstangenbohrungen bis 1 m Tiefe, überwiegend entlang von Profilvereihen zur Überprüfung der Substratverhältnisse mit variierender Aufschlussdichte in Abhängigkeit von der Substratheterogenität.

In allen Untersuchungsgebieten erfolgte eine feldbodenkundliche Dokumentation der Kippsubstrate und des Bodenentwicklungszustandes nach KA4-Norm und Erfassungsvorschrift LfUG (Abo-Rady et al. 1998, LfUG 1999) mittels Peilstangenbohrungen und Grablöchern. Des Weiteren wurden Feldkarten erstellt und vorläufige Kartiereinheiten gebildet. Einheiten der KSK 10 konnten zum Teil nicht übernommen werden und mussten entweder inhaltlich neu charakterisiert oder auch im Hinblick auf ihre räumliche Ausdehnung modifiziert werden.

Durch die sieben ausgewählten Untersuchungsgebiete wurde insgesamt eine Fläche von etwa 433 ha erfasst. Diese verteilt sich wie folgt:

Tagebau Nochten – NSG "Innenkippe":	48,0 ha
Tagebau Lohsa – Ehemaliger Truppenübungsplatz:	48,3 ha
Tagebau Spreetal-NO – Spülraum I:	28,2 ha
Tagebau Spreetal-SO – Kippe Seidewinkel:	26,1 ha
Tagebau Delitzsch-SW – Brückenkippe Grabschützer See:	172,4 ha
Tagebau Espenhain – Brückenkippe Störmthaler See:	70,9 ha
Tagebau Goitsche – Kippe Baufeld IIa:	38,9 ha

Ausgehend von den Ergebnissen der Peilstangenbohrungen wurden an repräsentativen Standorten insgesamt 30 Profilgruben angelegt, in denen für die Ermittlung bodenphysikalischer und -chemischer Parameter Bodenproben in jeweils drei Tiefenstufen entnommen wurden. Da sowohl die Pedogenese als auch die aktuelle Genese eine hohe Variabilität aufweisen kann, ist eine starre Beprobung in festgelegten Tiefenstufen ungeeignet. Es wurde deshalb folgende Vorgehensweise gewählt:

Die erste Tiefenstufe lag immer zwischen 0,00 – 0,05 m, die zweite und dritte Tiefenstufe wurde in Abhängigkeit von der jeweiligen Horizontausbildung bzw. Schichtung vor Ort festgelegt. Eine optionale vierte Tiefenstufe wurde beprobt, wenn die spezifische bodenkundliche Dokumentation mehr als drei relevante Horizonte oder Schichten ergab. Die horizont- bzw. schichtbezogene Entnahme von Sammel- und Stechzylinderproben erfolgte in sechsfacher Wiederholung. Eine Übersicht über die in den verschiedenen Untersuchungsgebieten durchgeführten Feldkartierungen und -erhebungen ist in Tabelle 2 zusammengestellt. In allen Untersuchungsgebieten wurden die Lage der Profilgruben, der Grablöcher und ausgewählter Bohrstockprofile mittels GPS und einer Genauigkeit von ca. 2 cm eingemessen. In Tabelle 3 sind die jeweils nach allgemeingültigem Standard (DIN) durchgeführten bodenphysikalischen und -chemischen Analysemethoden aufgelistet.

Tab. 2: Übersicht über den Umfang der durchgeführten Feldarbeiten und entnommenen Proben

Methode	Goitsche Baufeld IIa	Delitzsch- SW Brücken- kippe	Espenhain Brücken- kippe	Lohsa ehem. TUP	Spreetal- SO Seide- winkel	Spreetal- NO Spülraum I	Nochten Innen kippe	Anzahl
- Auf- schlüsse	46	76	30	24	15	5	44	240
- Bohrun- gen	42	begleitend	begleitend	20	13	-	36	111
- Grab- löcher	2	67	25	1	-	1	3	99
- Profil- gruben	2	9	5	3	2	4	5	30
- Sammel- proben	11	28	18	11	8	14	17	107
- Stech- zylinder	60	168	102	66	48	84	96	624

3.2.1 Bodenphysik

Sammelproben

Sieb-/ Sedimentations-Analyse: Für die Korngrößenbestimmung wurden je nach Grobkornanteil 100 - 1000 g Boden eingesetzt. Bei Vorliegen von hohen organischen Anteilen (Kohle) wurden diese vor der Siebanalyse mit Wasserstoffperoxid zerstört. Die Sedimentationsanalyse wurde vom Material < 2 mm durchgeführt, wobei jeweils 20 g Boden eingesetzt wurden. Gearbeitet wurde nach der Pipettmethode nach Köhn.

Stechzylinderproben

Anhand der Stechzylinderproben wurden folgende Kennwerte ermittelt:

- Lagerungsdichte / Trockenrohddichte (Ld/dB): 105° C Trockensubstanz bezogen auf 100 cm³ Stechzylinder;
- Festsubstanzdichte (df): Pyknomatic 200 der Protec GmbH (auf Heliumbasis);
- Das Gesamtporenvolumen (PV) wurde aus der Trockenrohddichte (dB) und der Dichte der Festsubstanz (df) berechnet: $1 - dB \times 100 \text{ dF}$.

Die Beziehung Wasserbindung (Saugspannung) zum Wassergehalt (pF-Werte) wurde an Stechzylinderproben mit einem Volumen von 100 cm³ (bis pF 2,5), bzw. an gestörten Feinbodenproben (pF 4,7) bestimmt. Die Wassergehalte (in Vol.-%) wurden bei Sättigung ermittelt.

- pF 1,8: nach Entwässerung über 63 cm hängende Wassersäule, 0,062 bar, bis zum Äquivalentporendurchmesser 50 µm im Sandboxverfahren (Feldkapazität, FK);
- pF 2,5: nach Entwässerung über 316 cm Wassersäule, 0,31 bar, bis zum Äquivalentporendurchmesser 10 µm im Desorptionsverfahren;
- pF 4,7: nach Entwässerung über 50119 cm Wassersäule bis zum Äquivalentporendurchmesser < 0,1 µm im Exsikkator-Verfahren (Hygroskopizität nach Mitscherlich);
- pF 4,2: nach Entwässerung über 15849 cm Wassersäule bis zum Äquivalentporendurchmesser 0,2 µm (Permanenter Welkepunkt, PWP) wurde anhand der pF-Kurven grafisch bzw. rechnerisch nach Schlichting et al. (1995) ermittelt;
- Nutzbare Feldkapazität (nFK): wurde aus FK – PWP berechnet. Einstellung des Gleichgewichtswassergehalts der Bodenprobe im Exsikkator mittels übersättigter Natriumsulfatlösung;
- Luftkapazität (LK) wurde aus Gesamtporenvolumen – Feldkapazität berechnet;
- Gesättigte hydraulische Leitfähigkeit (kf): Haubenpermeameter nach Hartge (kf-Apparatur der Firma UGT).

Die Hygroskopizität nach Mitscherlich wurde an je zwei gestörten Feinbodenproben je Probenserie bestimmt. Aus dem daraus resultierenden Mittelwert und der Lagerungsdichte der jeweiligen ungestörten Probe ergibt sich der Wassergehalt (Vol.-%) bei pF 4,7. Zum Teil war das Probenmaterial jedoch innerhalb einer Serie sehr inhomogen. Insbesondere in Delitzsch-Südwest wies das Feinbodenmaterial z.T. einen höheren Tongehalt auf als der Boden in den Stechzylindern. Da der Wassergehalt bei pF 4,2 auf der Grundlage der Ergebnisse der Hygroskopizitätsbestimmung berechnet wurde, ergaben sich jeweils zu hohe Werte. Das bodenchemische Analysenspektrum der im UBG Zentrallabor Neusörnewitz untersuchten zusätzlichen Proben weicht, bedingt durch die Vorgaben des LfUG, vom oben beschriebenen Modus ab. Für die Ergebnisse der Stechzylinderproben waren nachträglich Mittelwertsberechnungen erforderlich, um die Ergebnisse der zwei Labore miteinander vergleichen zu können.

Nach Bestimmung der Korngrößenzusammensetzung wurden die Korngrößenanteile des Gesamtbodens in Grob- und Feinbodenanteile umgerechnet. Mittels Bodenartendiagramm erfolgte die Einordnung in Bodenartenuntergruppen, welche die prozentuale Verteilung von Ton, Schluff und Sand widerspiegeln. Die Zusammenfassung auf dem Niveau von Bodenartengruppen ist die Basis für die Bildung von substratsystematischen Einheiten. Substrattypen werden in Verbindung mit dem Grobbodenanteil und der geogenetischen Zuordnung gebildet. Desweiteren wird die Tiefenlage von Schichtwechselln und die stratigrafische Zuordnung der substratbildenden Ausgangsmaterialien im Substrattyp ausgedrückt. Zur genetischen Zuordnung von Schwemm- und Rutschsubstraten im Bereich der Brückenkippen ist die Auswertung der Trockenrohdichten (dB) geeignet, die in der Regel die Abtrennung vom dichter gelagerten Rippenkern belegt.

3.2.2 Bodenchemie

Zur Bestimmung der bodenchemischen Kennwerte wurden die Sammelproben homogenisiert und luftgetrocknet. Anschließend wurde der Feinanteil < 2 mm abgeseibt und für die nachfolgenden Analysen eingesetzt.

- pH-Wert nach DIN ISO 10390 (1997): 10 ml Boden werden mit dem fünffachen Volumen Calciumchloridlösung kräftig geschüttelt und 12 Stunden stehen gelassen. Danach wird der pH-Wert gemessen.
- Organische Substanz (C_t) nach DIN ISO 10694 (1996): 0,5 - 1 g getrockneter Feinboden werden auf einem Pyrolanschiffchen bei 900 °C trocken verbrannt und das entstehende Kohlendioxid nach Trocknung an Natriumhydroxid auf Träger absorbiert und der Kohlenstoffgehalt gravimetrisch bestimmt. Falls Carbonate enthalten sind, müssen diese vorher mit Salzsäure ausgetrieben werden.
- Carbonatbestimmung nach DIN 19684 Teil 5 (1977): Einer repräsentativen Probenmenge wird Salzsäure zur Carbonatzerstörung zugesetzt. Das freigesetzte Kohlendioxid wird maßanalytisch bestimmt und rechnerisch als Calciumcarbonat angegeben.
- Gesamt-Stickstoff nach DIN ISO 11261 (1997): Durch Schwefelsäure wird aus Nitraten Salpetersäure freigelegt. Diese wird an Salicylsäure bzw. Phenol gebunden und mittels Natriumthiosulfat reduziert. Nitrat-Stickstoff, Ammonium-Stickstoff und organischer Stickstoff werden durch Kochen mit konzentrierter Schwefelsäure unter Zusatz eines Katalysators hydrolysiert und quantitativ in NH_3 umgewandelt. NH_3 wandelt sich bei Schwefelsäureüberschuss sofort in Ammoniumsulfat um. Durch Zusatz einer starken Lauge und Kochen wird der Ammoniak wieder ausgetrieben und abdestilliert. Der Ammoniak wird in einer Vorlage von Schwefelsäure aufgefangen und der Ammoniakgehalt wird maßanalytisch oder photometrisch bestimmt.
- Gesamt-Schwefel nach DIN 51724 Teil 1 (1999): Die Probe wird mit einer Eschka-Mischung aufgeschlossen und die Sulfat-Ionen werden gravimetrisch als Bariumsulfat bestimmt.
- Bestimmung des pflanzenverfügbaren Magnesiums im Calciumchlorid-Extrakt: 5 g Feinboden werden mit einer Calciumchloridlösung über Kopf geschüttelt und anschließend filtriert. Der Magnesiumgehalt wird mittels Flammen-Atom-Absorptions-Spektroskopie (FAAS) ermittelt.
- Bestimmung des pflanzenverfügbaren Kaliums und Phosphors im Calciumacetatlaktatauszug: 10 g Boden werden mit Calciumacetatlaktat über Kopf geschüttelt und anschließend filtriert. Kalium wird mittels FAAS bestimmt und Phosphor photometrisch analysiert.

- Kationenaustauschkapazität (T-Wert, KAKpot) nach DIN 19684 Teil 8 (1977): Das Verfahren beruht darauf, dass dem Boden angelagerte Kationen durch Bariumionen ersetzt werden. Die Mengen ausgetauschter Kationen werden mittels FAAS bestimmt (S-Wert). Bariumionen, welche sich durch Ionenaustausch anlagerten, werden durch Magnesiumionen ersetzt und die Menge an Bariumionen wird gravimetrisch bestimmt (T-Wert). Der H-Wert wird aus dem gleichen Perkolat wie der S-Wert durch Titration mit Salzsäure bestimmt. Der V-Wert ist eine Rechengröße. Die Analysen aus dem UBG Zentrallabor Neusörnewitz weichen von diesem Modus ab. Die Basensättigung bezieht sich auf den errechneten Wert ($KAKpot = H\text{-Wert} + S\text{-Wert}$). Diese Werte wurden umgerechnet und ebenfalls auf die ermittelten Werte bezogen.

Die organische Substanz (C_{org}) ist bis auf die Zusatzproben, die im Labor Neusörnewitz untersucht worden sind, auf Basis des Gesamtkohlenstoffgehaltes (C_t) ermittelt worden. Bei der Umrechnung in prozentualen Humusanteil ($\times 1,724$) für A-Horizonte tritt das bekannte Problem der Trennung des pedogenen vom geogenen Kohlenstoff auf. Daraus leiten sich für kohlehaltige tertiäre und quartär / tertiäre Substratgemenge Unschärfen ab. Ausgehend von den feldbodenkundlichen Befunden und den Analyseergebnissen sowie unter Einbeziehung vorhandener Kenntnisse zu Humusgehalten in ähnlichen Substraten erfolgten deshalb z.T. Abschätzungen des Humusgehaltes, da eine weitere Untersetzung im Rahmen dieses Projektes nicht möglich war. Die errechneten C/N- Verhältnisse unterliegen damit der gleichen Problematik und geben substratabhängig nur bedingt Aufschluss über die Humusqualität des Mineralbodens. Zusätzlich muss der Einfluss von Emissionsstaubauflagen berücksichtigt werden.

Ausgehend von den Ergebnissen der feldbodenkundlichen Kartierung, den auf bodenphysikalischen Kennwerten basierenden substratsystematischen Einheiten und unter Einbeziehung von Kohle- und Carbonatgehalten sowie bei rein tertiären Substraten der Gesamtschwefelgehalte erfolgte anschließend die Definition der jeweiligen Kartierungseinheiten.

Tab. 3: Übersicht über die durchgeführten bodenphysikalischen und -chemischen Untersuchungen

	Bodenphysik	Bodenchemie
Sammelproben	- Sieb- und Sedimentationsanalyse	- pH-Wert - Organische Substanz (C_t) - Carbonatbestimmung - Gesamtstickstoff - Gesamtschwefel - Pflanzenverfügbares Mg, K und P - Kationenaustauschkapazität
Stechzylinderproben	- db (Trockenrohddichte) - df (Festsubstanzdichte) - pF-Werte (Saugspannung bei pF = 1,8 / 2,5 / 4,2) - kf-Wert (Wasserdurchlässigkeit)	

3.2.3 Bodenmikrobiologie

Im Zeitraum vom 15.10.2001 bis 23.10.2001 fand die Entnahme von Bodenproben zur Erhebung der mikrobiellen Bodenparameter statt. Die Auswahl der Probeflächen erfolgte in Anlehnung an die ausgewiesenen Leitprofile (vgl. Kap. 3.2). Auf jeder Probefläche wurde eine möglichst homogene Teilfläche von 20 m² (max. 50 m²) ausgewählt. Je Teilfläche wurde für jede der ausgewiesenen sechs Tiefenstufen eine Mischprobe aus zehn Bohrstockentnahmen

hergestellt (vgl. Tab. 4). Zur Indikation der mikrobiellen Aktivitäten wurden folgende integrale Parameter bestimmt:

Entsprechend des Vorschlages von Jenkinson (1966), die mikrobielle Population eines Bodens als eine Gesamtheit zu betrachten, wurden verschiedene Methoden zur Messung der mikrobiellen Biomasse entwickelt. Der Hypothese, dass die sich im Ruhezustand befindenden Bodenmikroorganismen nach Zugabe von leicht verfügbarem Substrat eine typische "Mehr-Atmung" zeigen, liegt die physiologische Substrat-Induzierte-Respirations-Methode (SIR) zur Schätzung der mikrobiellen Biomasse bzw. des mikrobiellen Kohlenstoffs [$\mu\text{g C}_{\text{mik}} \text{g}^{-1}$] zu Grunde (Schinner et al. 1993). Dabei wird für ihre Kalkulation die niedrigste Respirationsrate (gemessen während einer Inkubation bei 22 °C) verwendet, da der darauffolgende Anstieg der CO_2 -Bildung von einer Umstrukturierung der Mikrobenzönose zeugt. Ein Vorteil dieser Methode liegt in der Möglichkeit einer getrennten Bestimmung der pilzlichen und bakteriellen Biomasse nach einer selektiven Inhibierung dieser Organismengruppen mit Streptomycin oder Actidion. Schwierigkeiten bei der Anwendung der SIR-Methode ergeben sich, wenn sehr trockener Boden vorliegt, in welchem sich die Glucose nicht auflöst und demzufolge nicht assimiliert werden kann.

Gegenwärtig ist die Bestimmung von etwa 40 Enzymen der Klassen Oxidoreduktasen, Transferasen, Hydrolasen und Lyasen auf Grund detaillierter Methodenbeschreibungen möglich (Tabatabai 1994). Während die Katalase und Dehydrogenasen zur Charakterisierung der biochemischen Gesamtleistung eines Bodens herangezogen werden, sind die übrigen Enzyme für die Durchführung spezieller Abbauprozesse verantwortlich. Der enzymatische Status von Böden eignet sich besonders gut zur Quantifizierung von Auswirkungen, sowohl anthropogener Tätigkeiten als auch der wasser- und windbedingten Bodenerosion. Die Bestimmung der Dehydrogenasenaktivität (DHA) [$\mu\text{g TPF (Triphenylformazan) g}^{-1}$] erfolgte mittels TTC (Triphenyltetrazoliumchlorid) – Reduktion nach Casida (1977).

Die Ermittlung der Bodenatmung (CO_2 -Bildung) [$\mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1} \text{h}^{-1}$] erfolgte im SAPROMAT nach Jäggi (1976). Aus der Bodenatmung und der mikrobiellen Biomasse wurde der metabolische Quotient ($q\text{CO}_2$) [$\text{mg CO}_2\text{-C g}^{-1} \text{C}_{\text{mik}} \text{h}^{-1}$] entsprechend Anderson & Domsch (1989) berechnet. Alle Angaben sind für absolut trockenen Boden kalkuliert.

Tab. 4: Übersicht über die Anzahl der Probeflächen für die bodenmikrobiologischen Untersuchungen. Die Anzahl der Bodenproben ergibt sich aus der Beprobung von sechs Tiefenstufen (0 - 2 cm, 2 - 5 cm, 5 - 10 cm, 10 - 20 cm, 20 - 30 cm, 50 - 60 cm).

Untersuchungsgebiet	Anzahl der Probeflächen	Anzahl der Bodenproben
Delitzsch-SW, Brückenkippe	9	54
Goitsche, Baufeld IIa	2	12
Espenhain, Brückenkippe	5	30
Nochten, NSG "Innenkippe"	5	30
Lohsa, ehem. Truppenübungsplatz	3	18
Spreetal-NO, Spülraum I	4	24
Spreetal-SO, Seidewinkel	2	12
Summe	30	180

3.3 Vegetationskunde

Die Durchführung von Vegetationsaufnahmen erfolgte ebenfalls in enger Anlehnung an das durch die bodenkundlichen Arbeitsmethoden vorgegebene Probenahmedesign (vgl. Kap.

3.2). Tabelle 5 gibt eine Übersicht über die Anordnung und Anzahl der vegetationskundlichen Probeflächen in den verschiedenen Untersuchungsgebieten. Die Schätzung der Vegetationsbedeckung erfolgte jeweils auf 2 m x 2 m großen Flächen mittels der Londo-Skala (Londo 1976). Des Weiteren erfolgte in jedem Gebiet eine Biotoptypenansprache entsprechend des speziell für die Bergbaufolgelandschaft entwickelten Biotoptypenschlüssels (FBM 1998).

Tab. 5: Anordnung und Anzahl der vegetationskundlichen Probeflächen

Untersuchungsgebiet	Anordnung der Probeflächen	Anzahl der Probeflächen
Delitzsch-SW, Brückenkippe	Vegetationsaufnahmen entlang der Eichprofiltrassen und auf den Profilgruben; zusätzlich entlang von Transekten quer zu den Schüttrippen im Bereich östlich des Randschlauchs Grabschütz	81
Goitsche, Baufeld IIa	Vegetationsaufnahmen entsprechend des vorgegebenen Gitternetzes und auf den Profilgruben	43
Espenhain, Brückenkippe	Vegetationsaufnahmen entlang der Eichprofiltrassen und auf den Profilgruben; zusätzlich entlang von Transekten senkrecht zu den Eichprofiltrassen	85
Nochten, NSG "Innenkippe"	Vegetationsaufnahmen entsprechend des von den Profilreihen aufgespannten Gitternetzes und auf den Profilgruben	65
Lohsa, ehem. TÜP	Vegetationsaufnahmen entsprechend des von den Profilreihen aufgespannten Gitternetzes und auf den Profilgruben	45
Spreetal-SO, Kippe Seidewinkel	Vegetationsaufnahmen entsprechend des von den Profilreihen aufgespannten Gitternetzes und auf den Profilgruben	35
Spreetal-NO, Spülraum I	Vegetationsaufnahmen im 100 m Raster in Anlehnung an eine bereits vorliegende bodenkundliche Rasterkartierung und auf den Profilgruben	53

Die Auswertung der vegetationskundlichen Geländedaten erfolgte mittels Klassifikations- und Ordinationsmethoden (vgl. z.B. Jongman et al. 1995, Glavac 1996). Die Clusteranalyse wurde mit dem Programm MVSP (Version 3.12d, Kovach Computing Services) unter Anwendung der Cluster-Methode "minimum variance of new cluster" und des Diversitätsmaßes "quadrierte euklidische Distanz" durchgeführt. Für eine weitergehende Analyse der Vegetationsdaten wurde außerdem das Programm Twinspan (Hill 1977) verwendet. Die Berechnung von Stetigkeitstabellen für die verschiedenen Untersuchungsgebiete sowie die Ermittlung von mittleren Zeigerwerten und Zeigerwertspektren erfolgte mit dem Programm SORT (Durka & Ackermann 1993). Die Ordinationen wurden mit dem Programm Canoco for Windows 4.5 (ter Braak & Smilauer 2002) durchgeführt. Dabei kamen folgende Methoden zur Anwendung:

Indirekte Ordinationsverfahren:

- Principal Component Analysis (PCA): Interspecies Correlation, Divide Species by Standard Deviation, Squareroot Transformation, Center by Species.
- Detrended Correspondence Analysis (DCA): Detrending by Segments, Squareroot Transformation, Downweighting of Rare Species.

Direkte Ordinationsverfahren:

- Redundancy Analysis (RDA): Interspecies Correlation, Divide Species by Standard Deviation, Squareroot Transformation, Center by Species.
- Canonical Correspondence Analysis (CCA): Interspecies Distance, Biplot Scaling, Squareroot Transformation, Downweighting of Rare Species.

In beiden Fällen erfolgte eine Vorwärtsselektion von Umweltvariablen, die mittels Monte-Carlo-Permutationsverfahren auf ihre statistische Signifikanz getestet wurden (Permutation Type: Blocks defined by Covariables).

Ausgehend von der Annahme, dass die Profilgruben für die jeweils auskartierten Bodenformen (nach KA4, AG Boden 1996) repräsentativ sind, wurden die einzelnen Vegetationsaufnahmen anhand der kartographisch abgegrenzten Bodenformengesellschaften (bzw. hauptsächlich verbreitete Kippsubstrate) den Profilgruben zugeordnet. Demzufolge gelten für mehrere Vegetationsaufnahmen die gleichen bodenkundlichen Kennwerte. Auf ebenen Kippenflächen war eine solche Zuordnung relativ einfach möglich, Einschränkungen mussten hingegen bei der sehr heterogenen Brückenkippe Delitzsch-SW, aber auch bei der Innenkippe Nochten, die durch ein sehr kleinflächiges Standortmosaik charakterisiert ist, in Kauf genommen werden. Demzufolge wurden in die weiteren Auswertungen lediglich 392 Vegetationsaufnahmen einbezogen, da nicht alle 407 Vegetationsaufnahmen eindeutig den Profilgruben zugeordnet werden konnten. Da zudem Arten, die nur selten in den Vegetationsaufnahmen notiert wurden, kaum Einfluss auf die Berechnung der Ordinationsstatistik nehmen (Lêps & Smilauer 2003), wurden lediglich die 161 Arten in den weiteren Analysen berücksichtigt, die mindestens dreimal in allen Aufnahmen vorkommen.

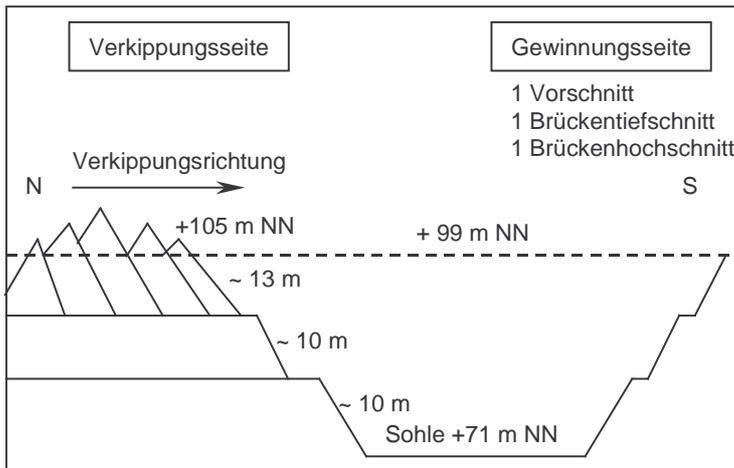
3.4 Bergbautechnologische und bergbauhistorische Recherchen

Es wurden folgende Angaben recherchiert:

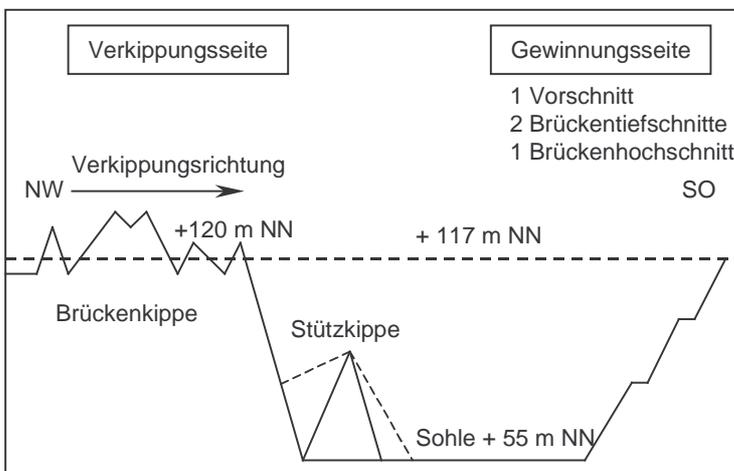
- Angaben zur Aufschluss-, Gewinnungs- und Verkippungstechnologie;
- Art der durchgeführten Sanierungs- und Rekultivierungsmaßnahmen (wie z.B. Böschungprofilierung) und den daraus resultierenden Standortbedingungen, u.a. Abraumszusammensetzung, Reliefformen und -genese sowie Morphodynamik;
- Kippenalter;
- Angaben zum Grundwasseranstieg und zur ggf. vorgesehenen Flutung der Restlöcher (Flutungszeiträume, Einstauhöhen etc.) sowie Informationen bezüglich Gewässermorphologie, hydrologisches Regime und Hydrochemie.

Als wesentliche Recherchequellen dienten das bergmännische Risswerk (LMBV), Betriebspläne, Braunkohlenpläne, bodengeologische Kippengutachten, Flutungskonzeptionen, Forschungsberichte und Fachgutachten sowie Befragung von Spezialisten (u.a. Bergbauingenieure, Zeitzeugen). Für weitergehende Analysen standen auch 3D-Geländemodelle zu Verfügung. Als Ergebnis der Recherchen sind in Abb. 3 beispielhaft die drei westsächsischen Untersuchungsgebiete dargestellt, die jeweils einen spezifischen Entstehungsprozess aufweisen.

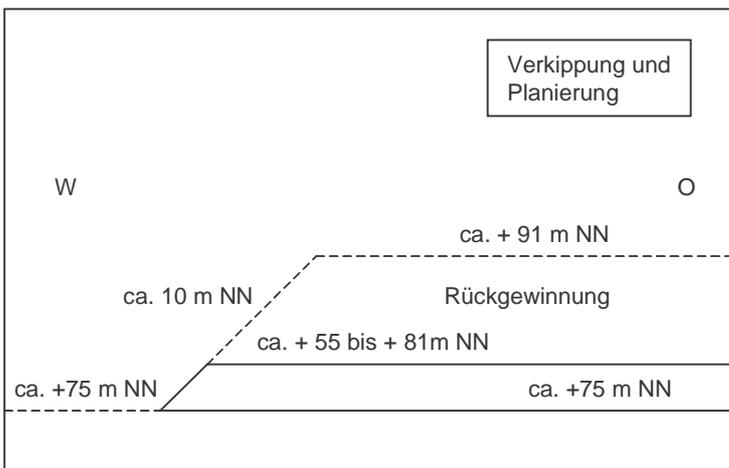
In den ostsächsischen Untersuchungsgebieten liegen mit der Spülkippe (Tagebau Spreetal-NO – Spülraum I), der Pflugkippe (Tagebau Spreetal-SO – Kippe Seidewinkel) und den Absetzerkippen (Tagebau Nochten – NSG "Innenkippe" und Tagebau Lohsa – Ehemaliger Truppenübungsplatz) "normale" technologische Entstehungsprozesse der Kippen vor. Darunter wird insbesondere die Überdeckung des verkippten und planierten Abraums mit einer ca. zwei Meter mächtigen kulturfähigen Bodenschicht verstanden. Als vorbereitende Rekultivierungsmaßnahmen zur Bodenverbesserung werden i.d.R. Dränagearbeiten vorgenommen und Düngergaben (NPK) verabreicht.



Tagebau Delitzsch-SW
 Brückenkippe Grabschützer See
 Verkippung von Nord (1984) nach
 Süd (1986);
 Endwasserspiegel ca. + 99,2 m NN



Tagebau Espenhain
 Brückenkippe Störmthaler See,
 Verkippung von Nordwest (1986/88)
 nach Südost (1989);
 Endwasserspiegel ca. + 117 m NN



Tagebau Goitsche, Baufeld IIa,
 Kippenentstehung Mitte der 1980er
 Jahre in Absetzertiefschüttung und
 anschließende Teilkippenrück-
 gewinnung

Abb. 3: Technologische Kippenentstehung in den westsächsischen Untersuchungsgebieten (schematisiert, Angaben nach bergmännischem Risswerk bestimmt)

4 Ergebnisse

4.1 Kippsubstratverhältnisse und Bodenentwicklung

4.1.1 Tagebau Nochten – NSG "Innenkippe"

4.1.1.1 Kippsubstratverhältnisse

Der gesamte Bereich der Absetzerkippenhochschüttung ist horizontal und vertikal durch eine sehr heterogene Kippsubstratzusammensetzung gekennzeichnet (vgl. Tab. 6). Die durch mehrere bodengeologische Gutachten (Jahresscheiben) bereits auskartierten Kippsubstrateinheiten wurden auf Basis der aktuellen Arbeiten weiter aggregiert. Dadurch werden die sehr wechselhaften und komplizierten Substratverhältnisse in gröbere Einheiten zusammengefasst. Das Aggregierungsniveau ist jedoch auch weiterhin als kompliziert einzuschätzen.

Das Untersuchungsgebiet ist überwiegend durch quartär-tertiäre Gemengesubstrate in unterschiedlichen Anteilen sowie durch schwankende Kohlegehalte gekennzeichnet. Substratsystematisch wurden demzufolge Wechsellagerungseinheiten auskartiert. Die vorherrschende Bodenart ist Sand (Schluff- und Lehmsand, teils Reinsand) mit unregelmäßigen Ton- und Schluffbrockenanteilen, wodurch in der Vermengung auch Lehm hinzutritt. Bei höherem Anteil beigemengten tertiären Tones sind die o.g. Gemengesubstrate in der Regel geringer kohlehaltig. Diese Substratvariation ist ebenfalls als Wechsellagerungseinheit auskartiert. Schluff- und Lehmsande, teils Reinsande treten im unregelmäßigem Wechsel mit Tonlehmen auf. Die Gemengeeinheiten treten meist großflächig auf. Die Abgrenzungen und Inhalte der KSK 10 sind in der Regel nachvollziehbar und liegen im Bereich der typischen Schwankungsbreiten.

Kippsubstrate aus überwiegend tertiärem Ton sind groß- und kleinflächig, teils auch inselartig verbreitet. Tonlehme sind vorherrschend, Lehme und Sande sind lokal eingemengt. Besonders in Muldenbereichen sind im Vergleich zur KSK 10 Abweichungen erkennbar, die oft auf Überprägung durch Arbeiten zur Anlage von Feuchtbiotopen zurückzuführen sind. Eine weitere Abweichung betrifft die substratsystematische Zuordnung auf Basis der KSK 10, die kohleführende Kipp-Schlufftone aushält. Weder die entsprechenden Kohlegehalte noch die Einordnung in Schlufftone konnten analytisch bestätigt werden.

Sehr kleinflächig und inselartig sind quartäre Sande vorhanden, die in der Regel als Reinsand, untergeordnet als Lehmsand mit geringen Anteilen beigemengter Schluff- und Tonbrocken auftreten. Diese Kippsubstrateinheit wurde von der KSK 10 in den Grenzen übernommen, aber nicht als Lehmsand (oj-Is(q)) auskartiert. Das Problem bei der Übersetzung der TGL Nomenklatur (mSI-Kp) in KA4 Standard (oj-Is(q)) kann wiederholt besonders im Niederlausitzer Bergbaurevier festgestellt werden und muss bei der Auswertung der KSK 10 Berücksichtigung finden. D.h., für die meisten Flächen müsste eigentlich oj-ss(q) – Kipp-Reinsand ausgewiesen sein (z.B. auch Tgb. Spreetal, vgl. Kap. 4.1.3).

Eine kleinere Fläche konnte als aushaltende Zweischichtsubstrateinheit auskartiert werden. Quartäre Sande (Reinsand) lagern über tertiärem Ton (Tonlehm), wobei die Sandmächtigkeit um 50 - 60 cm schwankt. In der KSK 10 ist diese Einheit nicht ausgewiesen, liegt aber im Bereich auskartierter Gemengeeinheiten, was der zur Bearbeitungszeit der bodengeologischen Gutachten üblichen Praxis bei kleinräumig auftretenden Substratvariationen entspricht.

Tab. 6: Feldiagnostische Merkmale, Tagebau Nochten – NSG "Innenkippe"

Die in der Tabelle verwendeten Abkürzungen zur Beschreibung des Boden- und Substrattyps, der Oberbodenhorizonte und der Gefügeformen sowie des Feinwurzelanteils (fW), der Regenwurmdichte (Re) und des Carbonatgehaltes (CaCO₃) folgen KA4 (AG Boden 1996) 1; P=Profilgrube, V=Grabloch

Profil Nr.	Bodenform (KA4) Bodentyp Substrattyp	Benennung (KA4)	Oberboden- horizonte	Tiefe (in cm)	fW (Stufe)	Re (Stufe)	CaCO ₃ (Stufe)	Gefüge
P 1	RQ-SS	Regosol-Pseudogley aus Kipp-Reinsand über Kipp-Tonlehm	IAh	-5	3	-	-	ein/kru
	oja-ss(q)/oja-tl(t)		IjilCv-Sw	-48	2-1	1	-	ein/bro
			IIjilCv-Sd	-110	1-0	-	-	kit/koh
P 2	OL-RQ	Lockersyrosem-Regosol aus flachem kalkführendem Kipp-Kohlentonlehm über Kipp-Kohlelehmsand mit Kipp-Reinsand und Sandlehm-, Lehmtbrocken	IAih	-2	2	-	2	bro/ein
	oj-(c)xtl\		IIjelC	-15	2	-	2	bro/kit
	oja-(ss+sl,t)xls(qt)		IIIjilCv	-50	1	-	-	bro/kit
P 3	sOL-RQ	pseudovergleyter Lockersyrosem-Regosol aus flachem kiesführendem Kipp-Kalkkohlenormallehm über kohleführendem Kipp-Sandlehm mit Kipp-Reinsand und Tonlehmbröckchen	IAih	-2	3	-	3.1	sub/bro
	oj-(k)cxll\		IIjelC	-20	2	-	2	bro/ein
	oja-(ss+tl)(x)sl(qt)		IIIjilCc	-50	2	-	2-1	bro/ein
P 4	SG-RQ	Stagnogley-Regosol aus flachem kies- und kalkführendem Kipp-Tonlehm über Kipp-Tonlehm	ISw-Ah	-3	3	-	2-3	sub/kru
	oj-(k,c)tl \ oja-tl(t)		ISrw-jilCv	-20	2	-	1	bro/kit
			IISrd-jilCv	-50	1	-	-	koh/kit
P 5	sOL-DD	pseudovergleyter Lockersyrosem-Pelosol aus carbonatführendem Kipp-Tonlehm über Kipp-Tonlehm	IeP-Aih	-2	2	-	2	sub/bro
	oj-(c)tl/oja-tl(t)		IeP	-33	2	-	2	koh/kit
			IIjilCv-P	-110	1-0	-	-	koh/riß
V 1	OL-RQ	Lockersyrosem-Regosol aus flachem Kipp-Kohlelehmsand mit Kipp-Reinsand und Sandlehmbröckchen über kiesführendem Kipp-Lehmsand mit Tonlehmbröckchen	IAih	-2	3	-	-	sub/ein
	oj-(ss+s)xls(qt)\		IIjilCv	-10	2	-	-	bro/ein
	oja-(tl)(k)ls(tq)		IIIjelCv	-40	1	-	-	bro/ein
V 2	OL-RQ	Lockersyrosem-Regosol aus flachem carbonatführendem Kipp-Kohleschlufflehm über Kipp-Kohleschluffsand mit Kipp-Reinsand, Sandlehm- und Tonlehmbröckchen	IAih	-3	4	1	2	ein/bro
	oj-(c)xuls\		IIjelC	-12	3	-	2	bro/ein
	oja-(ss+sl,t)xus(qt)		IIIjilCv	-40	2	-	-	bro/ein
V 3	SG-RQ	Stagnogley-Regosol aus flachem carbonatführendem Kipp-Tonlehm über Kipp-Tonlehm	ISw-Ah	-2	4	-	1-2	sub
	oj-(c)tl\oja-tl(t)		IISerw	-20	2	-	1-2	kit/koh
			IIIP-Srd	-40	1	-	-	kit/koh

Über die gesamte Fläche sind meliorative Maßnahmen bis in eine Tiefe von 20 bis max. 30 cm analytisch und oft bereits feldbodenkundlich durch erhöhten Carbonatgehalt nachweisbar. Die boden- bzw. substratsystematische Zuordnung dieses genetisch vom klassischen Kippsubstrat abzugrenzenden Horizonts ist jedoch auf Grund bestehender Nomenklaturdefizite schwierig.

Oberflächlich ist über weite Bereiche der Einfluss von Wind- und Wassererosion zu beobachten (Verfrachtungen, Zusammenschwemmungen). Dadurch bildet sich eine ca. 2 - 3 cm mächtige Schicht über dem jeweiligen Kippsubstrat, auf der die Bodenbildung (Humusakkumulation) einsetzt.

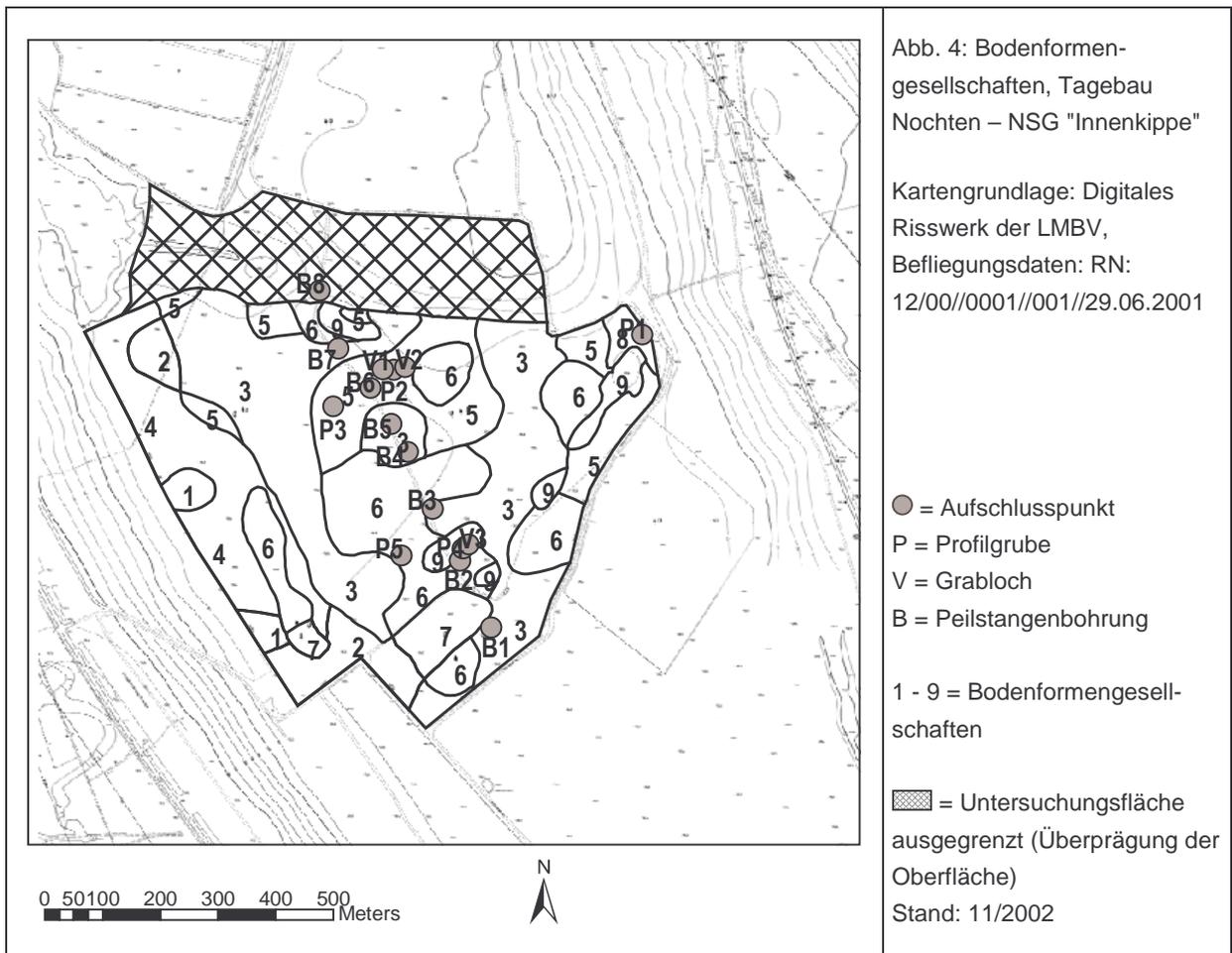
Die Abschätzung der Bodenentwicklungszeiträume ist nur ungefähr möglich. Auf Basis der Recherchedaten ist von gestaffelten Zeiträumen auszugehen (Verkippung und Bodengeologische Gutachten 1981 - 1986; VEB GFE 1985). Die Arbeiten zur Herstellung des Flächenplanums waren in der Regel vor der bodengeologischen Begutachtung abgeschlossen. Im Anschluss erfolgten meliorative Maßnahmen und andere gestalterische Arbeiten (z.B. Anlage der Feuchtbiotop). Größere Schneisen auf der Fläche zeugen von nachfolgenden, nicht mehr recherchierbaren Maßnahmen. Für den westlichen Teil der Fläche ist eine Bodenentwicklungszeit von ca. 18 bis 20 Jahren, für den östlichen Teil von ca. 15 Jahren anzunehmen.

4.1.1.2 Bodentyp

Über weite Bereiche der Fläche dominieren Regosole (vgl. Tab. 6, Abb. 4), die auf Subtypen- und Varietätenniveau weiter gegliedert werden können. Norm-Regosole mit deutlich ausgeprägtem Ah-Horizont sind hauptsächlich im westlichen Teil der Fläche anzutreffen. Ältere und meist dichtere Vegetation und Wiesennutzung führen zur vermehrten Humusanreicherung im A-Horizont. Der Übergangssubtyp Lockersyrosem-Regosol mit Aih-Horizonten um 2 cm ist der flächig am häufigsten auftretende Bodentyp (Profil 2). Diese Bodenentwicklungsstadien sind typisch für quartär-tertiäre Gemengesubstrate aus hauptsächlich Sanden und für rein quartäre Sande. Pseudovergleyte Böden treten bei höherem Tonanteil auf, wobei die Nässemerkmale im Zusammenhang mit der lokalen Substratsituation sehr schwankend ausgebildet sind (Profil 3).

Bei den auskartierten Pelosolen handelt es sich um Subtypen bzw. Varietäten, die nur im Bereich der Tonsubstrate auftreten (Profil 5). Dabei liegt der Schwerpunkt auf der substratspezifischen Definition (Tonboden mit entsprechend prognostizierbarer Entwicklung). Die pedogenetischen Merkmale, besonders die Gefügeaggregation, sind noch im Anfangsstadium. Deutliche Tendenzen, wie zum Beispiel tief reichende Schrumpfrisse mit kleinflächigem Rissmuster, die durch Quellung verschlossen bzw. verkleinert werden (pulsierende Polygone), konnten während der Feldarbeiten beobachtet werden. Damit läuft Pelosoldynamik zwar in relativ kurzen Zeitintervallen ab, ist aber in Form des typischen Gefüges (Polyeder, Prismen) jedoch erst initial vorhanden. Die Übergänge zu Lockersyrosem und Regosol richten sich nach der Ausbildung des Ah (Aih)-Horizontes. Nässemerkmale (Pseudovergleyung) sind meist sichtbar, lokal aber unterschiedlich stark ausgebildet.

Innerhalb der Regosole und Pelosole sind inselartig Lockersyroseme anzutreffen. Die hier nur initial und lückig ausgebildeten Ai-Horizonte sind oft die Folge von Veränderungen an der Erdoberfläche (u.a. Wühltätigkeit von Wildschweinen, Wind- und Wassererosion, anthropogene Einflüsse). Lokale, extreme Substratschwankungen sind eine weitere Ursache (sehr dichte Tonpakete, starke Kohlegehalte).



Nr	Bodentyp / Substrattyp	Bodenformengesellschaft
Klasse Ah / C – Böden		
1	RQn / oja-ss(q)	Regosol aus Kipp-Reinsand
2	RQn / oja-(ss+sl,tl)(x)us(qt) <> oja-(ss+sl,lt)xus(qt)	Regosol aus kohleführendem Kipp-Schluffsand mit Kipp-Reinsand und Sandlehm-, Tonlehmbrocken im Wechsel mit Kipp-Kohleschluffsand mit Kipp-Reinsand und Sandlehm und Tonlehmbrocken
3	OL-RQ / oja-(ss+tl)(x)us(qt) <> oja-(ss+tl)xus(qt)	Lockersyrosem-Regosol aus kohleführendem Kipp-Schluffsand mit Kipp-Reinsand und Sandlehm-, Tonlehmbrocken im Wechsel mit Kipp-Kohleschluffsand mit Kipp-Reinsand und Sandlehm- und Tonlehmbrocken
4	sRQ / oja-(ss+sl,tl)(x)us(qt) <> oja-tl(t)	pseudovergleyter Regosol aus kohleführendem Kipp-Schluffsand mit Kipp-Reinsand und Sandlehm-, Tonlehmbrocken im Wechsel mit Kipp-Tonlehm
5	OL-RQ / oja-(ss-sl,tl)(x)us(qt) <> oja-tl(t)	Lockersyrosem-Regosol aus kohleführendem Kipp-Schluffsand mit Kipp-Reinsand und Sandlehm-, Tonlehmbrocken im Wechsel mit Kipp-Tonlehm
Klasse Pelosole		
6	sOL-DD / oja-tl(t)	pseudovergleyter Lockersyrosem-Pelosol aus Kipp-Tonlehm
7	sRQ-DD / oja-tl(t)	pseudovergleyter Regosol-Pelosol aus Kipp-Tonlehm
Klasse Stauwasserböden		
8	RQ-SS / oja-ss(q) <> oja-tl(t)	Regosol-Pseudogley aus Kipp-Reinsand über Kipp-Tonlehm
9	SG-RQ / oja-tl(t)	Stagnogley-Regosol aus Kipp-Tonlehm

Stagnogley-Regosole können im Bereich von Tonsubstraten ausgehalten werden, die auf Grund der speziellen Reliefsituation (Muldenstrukturen) entstehen (Profil 4). Der periodisch schwankende Wasserspiegel auf dem stauenden Substrat bedingt deutliche Vernässungsmerkmale. Zum Teil sind Feuchthumusformen zu beobachten. Regosol-Pseudogley mit gut ausgeprägtem Ah-Horizont und sehr deutlichen diagnostischen Merkmalen des Pseudogleyes ist nur kleinflächig im Bereich des auskartierten Zweischichtsubstrattypes anzutreffen (Profil 1). Dieser sicher nachweisbare Subtyp des Pseudogleyes ist auf der noch jungen Kippe bemerkenswert, da direkte Abhängigkeiten zwischen spezifischen Substratsituationen und Bodenentwicklungen bestehen und in relativ kurzem Zeitraum bereits deutliche Merkmale auftreten. Der genannten Zweischichtigkeit kommt dabei besondere Bedeutung zu, da diese lokal über die gesamte Fläche verteilt als mögliche Substratvariation auftreten kann, vor allem im Bereich der Wechsellagerungssubstrate.

Humusaufgaben sind allgemein geringmächtig, meist sehr lückig entwickelt und oft als F-Mull oder Hagerhumus ausgebildet. Vegetationsdichte und -alter sowie Kalkmelioration nehmen Einfluss auf die Humusbildung. Insgesamt ist für die Untersuchungsfläche ein Zusammenhang zwischen Substratheterogenität und bodentypologischer Variabilität feststellbar.

4.1.2 Tagebau Spreetal-NO – Spülraum I

4.1.2.1 Kippsubstratverhältnisse

Die Substrate auf dieser Untersuchungsfläche sind 1978 in einem relativ engen Raster kartiert worden (VEB GFE Freiberg 1979). Die Ergebnisse konnten durch die aktuellen Arbeiten bestätigt werden (Tab. 7). Spülkohle, Asche und Schlacke (Fein- und Grobfractionen) sind im lagigen bis feinlagigen Wechsel aufgeschwemmt. Aus der Differenzierung der Substrate lässt sich eine klare Abhängigkeit zum Einspülort ableiten, wobei Parallelen zu natürlichen fluviatilen Schüttungen bemerkenswert sind. Sehr grobschlackehaltige Substratgemenge gehen in aschebetonte, feinschlackehaltige und diese in dominant spülkohlehaltige Substratgemenge über. Auf Basis dieser Abhängigkeit wurden die auskartierten sieben Substrateinheiten zu vier Einheiten aggregiert. Zur Abgrenzung der aggregierten Einheiten wurden auch Vegetationsdichtegrenzen berücksichtigt (vgl. G.E.O.S. Freiberg 1991). Somit lassen sich von West nach Ost drei relativ klar abtrennbare Substratkomplexe unterscheiden. Im zentralen östlichen Teil ergeben sich etwas modifizierte Grenzverläufe. Im Zentralteil der Fläche treten auch gehäuft kleinräumig wechselnde Substratverhältnisse auf (vgl. VEB GFE Freiberg 1979). Nomenklatorisch werden derartige Substratvarianten zur Zeit vereinheitlicht und allgemein als Rückstände aus Kraftwerken und Brikettfabriken definiert (vgl. KSK 10).

Über die gesamte Fläche sind die im Zusammenhang mit einem Aufforstungsversuch durchgeführten Meliorationsmaßnahmen bis in eine Tiefe von ca. 25 bis 30 cm nachweisbar. Die ursprüngliche Ablagerungsstruktur wurde zerstört und das Substratgemenge homogenisiert. Des Weiteren sind andere, die Oberfläche verändernde, Maßnahmen in einigen Bereichen deutlich sichtbar. Windverfrachtung, besonders der feineren Fraktionen, bedingt mehr oder weniger mächtige Schichtbildungen an der Oberfläche bzw. nachträgliche Überlagerungen.

Für diese Spülkippe ist der Beginn pedogenetischer Abläufe nur schwer zu datieren. Die Einspülungen erfolgten bis 1977, die bodengeologische Begutachtung 1978 (VEB GFE Freiberg 1979). 1980 wurde die Fläche für Aufforstungsmaßnahmen großflächig umgebrochen. Die später erfolgten lokalen Beeinflussungen und Flächenbrände sind (abgesehen von dem Brand 1984) weder zeitlich noch hinsichtlich ihrer flächigen Auswirkungen detailliert recher-

chierbar. Da bereits vorhandene Bodenentwicklungen durch den Umbruch von 1980 zerstört wurden, kann von ca. 20 Jahren Bodenentwicklung ausgegangen werden.

4.1.2.2 Bodentyp

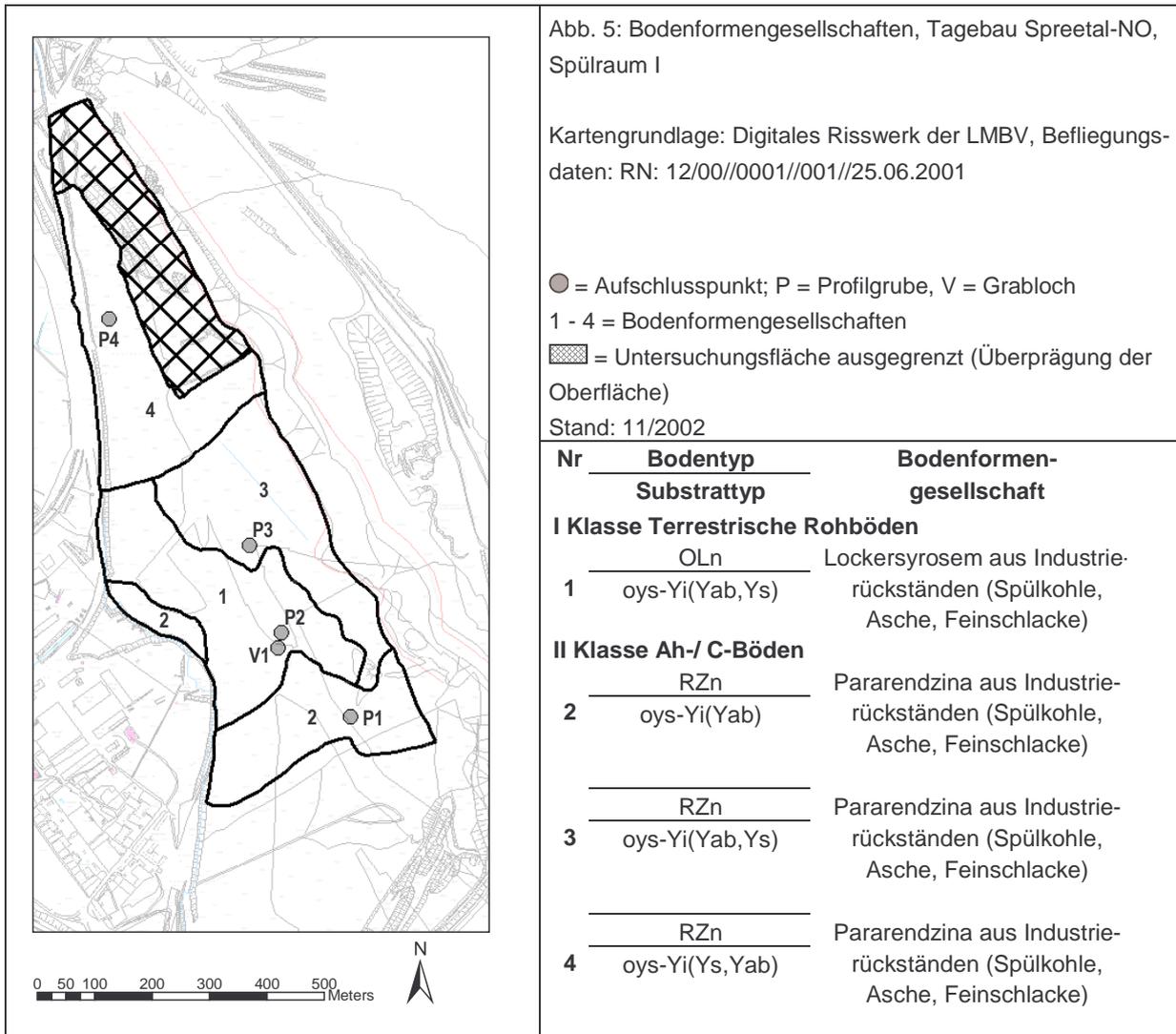
Bedingt durch den hohen Carbonatgehalt sind überwiegend Pararendzinen ausgebildet (Profile 1, 3, 4) (vgl. Tab. 7, Abb. 5). Die Ah-Horizonte sind auf Grund des hohen Kohlegehaltes feldbodenkundlich und analytisch nur schwer differenzierbar. Aber intensivere Feinwurzelausbildung und zum Teil krümeliges Gefüge sind weitere diagnostische Merkmale. Bereichsweise muss von Graswurzelfilz gesprochen werden. Die Benennung der vorgefundenen Humusauflage als Graswurzelfilz-Moder ist nomenklatorisch unscharf entsprechend der KA4 (AG Boden 1996). Richtiger wäre hier von Graswurzelfilz-Mull (F-Mull) zu sprechen, was auch dem Carbonatgehalt Rechnung tragen würde.

Lockersyroseme treten vorwiegend im Zusammenhang mit vegetationsfreien Flächen auf. Im Bereich von Vegetationsinseln können sie mit Lockersyrosem-Pararendzinen und Pararendzinen vergesellschaftet sein und sind dann durch fließende Übergänge gekennzeichnet (Profil 2). Die Humusauflage ist zum Teil in Form von Hagerhumus vorhanden. Es ist davon auszugehen, dass die wiederholt aufgetretenen Flächenbrände die Humusakkumulation gestört oder Erosionserscheinungen begünstigt haben. Auffällig ist die Carbonatzunahme in tieferen Schichten, die analytisch und meist auch im Gelände dokumentierbar ist und somit die Tendenz zur Carbonatverlagerung und / oder -fixierung andeutet.

Tab. 7: Felddiagnostische Merkmale, Tagebau Spreetal-NO – Spülraum I

Die in der Tabelle verwendeten Abkürzungen zur Beschreibung des Boden- und Substrattyps, der Oberbodenhorizonte und der Gefügeformen sowie des Feinwurzelaufbaus (fW), der Regenwurmdichte (Re) und des Carbonatgehaltes (CaCO_3) folgen KA4 (AG Boden 1996); P=Profilgrube, V=Grabloch

Profil Nr.	Bodenform (KA4) Bodentyp Substrattyp	Benennung	Oberboden- horizonte	Tiefe (in cm)	fW (Stufe)	Re (Stufe)	CaCO_3 (Stufe)	Gefüge
P 1	RZ	Pararendzina geringer Entwicklungstiefe aus Industrierückständen (Spülkohle, Asche)	IAh	-4	3	-	3.1-2	kru/bro
	oy-Yi/oys-Yi		IyelC	-30	3-2	-	3.1	bro/pol
			IlyelCv	-100	1	-	3.2	shi/riß
P 2	OL	Lockersyrosem aus Industrierückständen (Spülkohle, Asche, Feinschlacke)	IyelC	-29	2	-	3.1	bro/pol
	oy-Yi\oys-Yi		IlyelCv	-100	1	-	3.3	shi
P 3	RZ	Pararendzina geringer Entwicklungstiefe aus Industrierückständen (Spülkohle, Asche)	IAh	-4	4	-	3.2	kru/bro
	oy-Yi\oys-Yi		IyelC	-26	3	-	3.2	pol/bro
			IlyelCv	-70	1	-	3.3	ein/shi
			IIIyelCv	-100	-	-	3.2	shi
P 4	RZ	Pararendzina geringer Entwicklungstiefe aus Industrierückständen (Spülkohle, Asche)	IAh	-5	3	-	3.1	ein
	oy-Yi\oys-Yi		IyelC	-26	2	-	3.1	ein
			IlyelCv	-100	1-0	-	3.2	ein/shi
V 1	OL	Lockersyrosem aus Industrierückständen (Spülkohle, Asche, Feinschlacke)	IyelC	-30	-	-	3.1	bro/pol
	oy-Yi/oys-Yi		IlyelCv	-40	-	-	3.2	shi



4.1.3 Tagebau Spreetal-SO – Kippe Seidewinkel

4.1.3.1 Kippsubstratverhältnisse

Diese Pflugkippe ist substratsystematisch als relativ homogen einzuordnen (vgl. Tab. 8). Es treten fast ausschließlich quartäre Sande auf, die farblich variieren (Reinsande, untergeordnet Lehmsande im Zusammenhang mit geringen Schluffbrockenbeimengungen). Vereinzelt sind geringe Beimengungen tertiärer Sande festzustellen. Nach KSK 10 sind zwei Kippsubstrateinheiten erfasst, deren Abgrenzung im Gelände jedoch nicht nachvollziehbar ist. Ausschlaggebend für diese Schwierigkeit ist sicherlich die Übertragung von Kartier- bzw. Substrateinheiten aus TGL-Nomenklatur in KA4-Standard. Differenzierungen, die auf TGL-Basis auskartierbar sind, finden sich nach gültiger Nomenklatur vor allem innerhalb der Sandfraktionierungen wieder, d.h. in schwankenden Grob-, Mittel- und Feinsandanteilen, wobei Feinsand besonders betrachtet werden muss. Auf dem Niveau der Bodenartengruppe und -untergruppe bleibt der Reinsand vorherrschend.

Meliorationsmaßnahmen sind über weite Bereiche nachweisbar. Weitere Einflüsse resultieren aus technischen Maßnahmen, die zu einem späteren Zeitpunkt durchgeführt wurden sowie Emissionsstaubeinwehungen, die in schwankenden, jedoch meist geringen Mächtigkeiten erkennbar sind. Die Verkippung erfolgte in den sechziger Jahren. Bodengeologische

Gutachten sind im Zeitraum 1966 - 1968 erstellt worden (VEB GFE Freiberg 1969). Das Jahr der Grundmelioration ist unbekannt. Ebenso liegen zu lokalen Überprägungen keine zeitlichen Informationen vor. Es ist somit von einer ca. 30 jährigen Bodenentwicklung auszugehen.

4.1.3.2 Bodentyp

Die Bodenentwicklung befindet sich auf der gesamten Fläche relativ einheitlich auf dem Niveau von Regosolen (Tab. 8, Abb. 6). Ah-Horizonte sind bereits deutlich ausgebildet, wobei der Einfluss von (+/-) kohlehaltigen Emissionsstaubeinwehungen berücksichtigt werden muss. Die starke Wühltätigkeit von Wildschweinen führt lokal zu unterschiedlich ausgeprägten Erscheinungsbildern. Des weiteren ist die Bodenentwicklung auf der gesamten Fläche in hohem Maß durch spätere anthropogene Überprägungen gekennzeichnet (z.B. Fahrspuren, Trassen). Humusauflagen sind unterschiedlich ausgeprägt und meist sehr geringmächtig, wobei Graswurzelfilz-Moder und Hagerhumus, besonders im Bereich gestörter Abschnitte, dominieren.

Tab. 8: Felddiagnostische Merkmale, Tagebau Spreetal-SO – Kippe Seidewinkel

Die in der Tabelle verwendeten Abkürzungen zur Beschreibung des Boden- und Substrattyps, der Oberbodenhorizonte und der Gefügeformen sowie des Feinwurzelanteils (fW), der Regenwurmdichte (Re) und des Carbonatgehaltes (CaCO_3) folgen der KA4 (AG Boden 1996); P = Profilgrube

Profil. Nr	Bodenform (KA4) Bodentyp Substrattyp	Benennung	Oberboden- horizonte	Tiefe (in cm)	fW (Stufe)	Re (Stufe)	CaCO_3 (Stufe)	Gefüge
P 1	RQ	Regosol geringer Entwicklungstiefe aus Kipp-Reinsand	IAh	-6	3	-	-	ein
	oj-ss(q)/ojp-ss(q)		IIjilC	-30	2	-	-	ein
			IIIfAh	-32	2	-	-	ein
			IIIjilCv	-120	1-0	-	-	ein
P 2	RQ	Regosol geringer Entwicklungstiefe aus Kipp-Reinsand	IAh	-8	3	-	-	ein
	oj-ss(q)/ojp-ss(q)		IIjilC	-18	2	-	-	ein
			IIIjilCv	-40	2	-	-	ein
			IIIjilCv	-72	1-0	-	-	ein

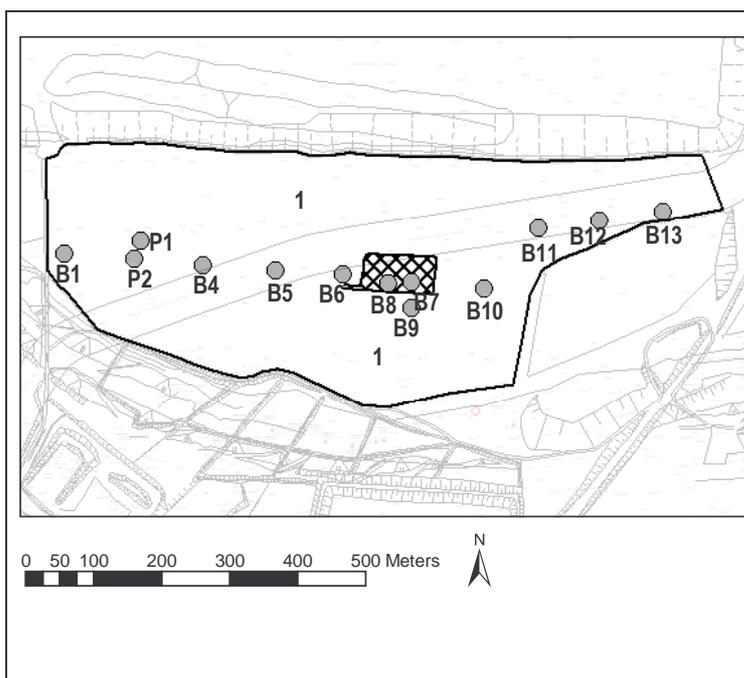


Abb. 6: Bodenformengesellschaften, Tagebau Spreetal-SO, Kippe Seidewinkel

Kartengrundlage: Digitales Risswerk der LMBV, Befliegungsdaten: RN: 12/00//0001//001//25.06.2001

● = Aufschlusspunkt; P = Profilgrube, B= Peilstangenbohrung
1 = Bodenformengesellschaft
▨ = Untersuchungsfläche ausgegrenzt (Überprägung der Oberfläche)
Stand: 11/2002

Nr.	Bodentyp Substrattyp	Bodenformen- gesellschaft
II Klasse Ah-/C-Böden		
1	RQn ojp-ss(q)	Regosol aus Kipp-Reinsand

4.1.4 Tagebau Lohsa – Ehemaliger Truppenübungsplatz

4.1.4.1 Kippsubstratverhältnisse

Die Absetzerkippe ist durch relativ homogene Kippsubstratverhältnisse gekennzeichnet (Tab. 9). Die in der KSK 10 ausgewiesene Substrateinheit konnte durch Geländeaufnahmen bestätigt werden und ist für die neu kartierten Flächen ebenfalls repräsentativ. Überwiegend handelt es sich um quartäre Sande, die farblich variieren (kiesführender Reinsand, untergeordnet Lehmsand mit geringen Schluffbrockenbeimengungen). Lokal treten tertiär-quartäre Gemengesubstrate (Reinsand) und tertiäre kohleführende Sande (Reinsand und Lehmsand) auf, die im Arbeitsmaßstab in nicht auskartierbaren Flächengrößen anzutreffen sind. Die Fläche ist durch die ehemalige Nutzung als Truppenübungsplatz zum Teil sehr stark überprägt (Fahrspuren, Baumaßnahmen, Überschüttungen usw.).

Die Fläche wurde in den achtziger Jahren geschüttet und zum Teil bodengeologisch begutachtet (VEB GFE Freiberg 1988). Da über den Zeitpunkt der Beendigung von Maßnahmen, die im Zusammenhang mit der Nutzung als Truppenübungsplatz stehen, keine genauen Informationen vorliegen, ist zumindest für die ungestörten Bereiche von ca. 20 Jahren Bodenentwicklung auszugehen.

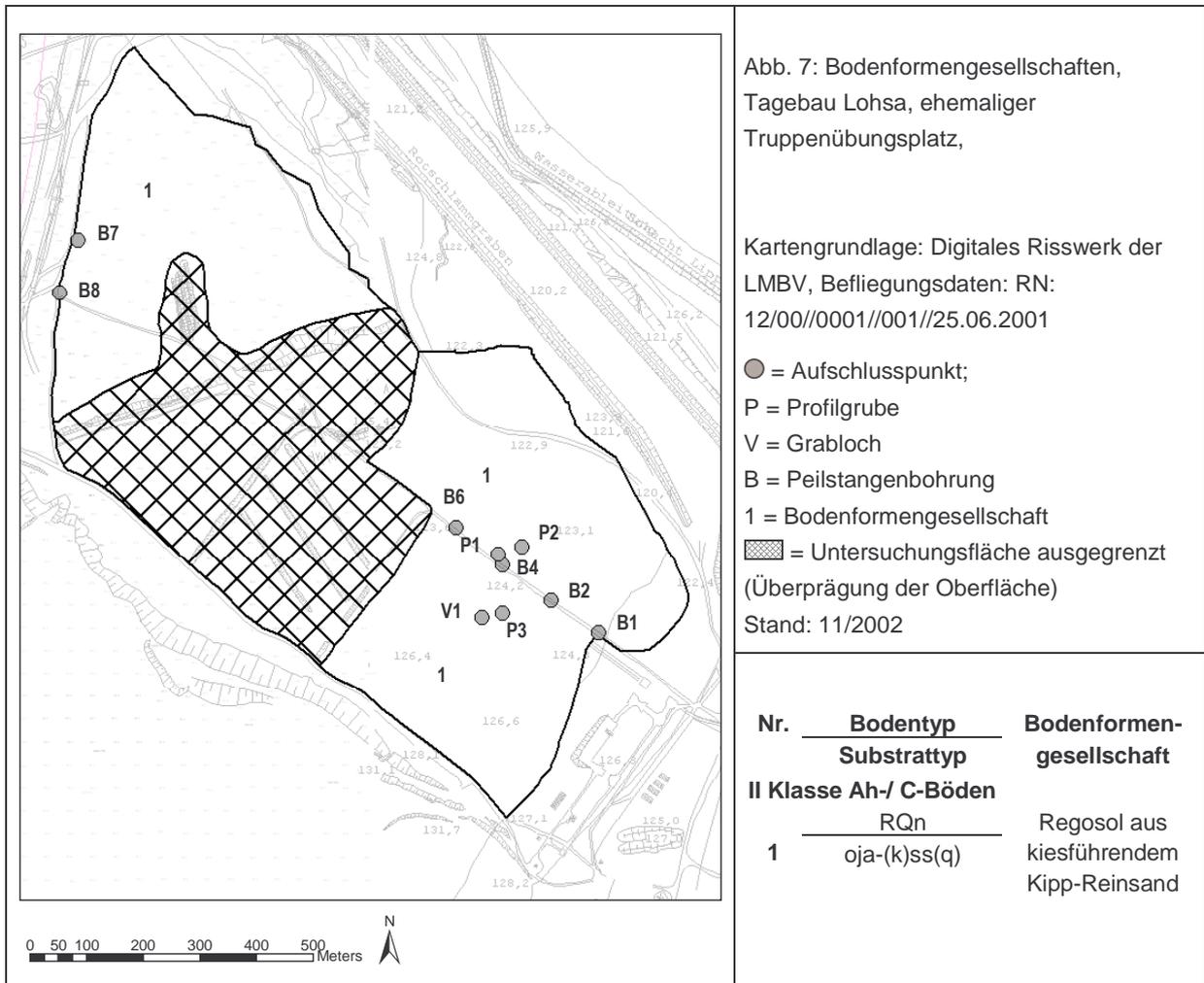
Tab. 9: Felddiagnostische Merkmale, Tagebau Lohsa – Ehemaliger Truppenübungsplatz
Die in der Tabelle verwendeten Abkürzungen zur Beschreibung des Boden- und Substrattyps, der Oberbodenhorizonte und der Gefügeformen sowie des Feinwurzelanteils (fW), der Regenwurmdichte (Re) und des Carbonatgehaltes (CaCO_3) folgen KA4 (AG Boden 1996); P = Profilgrube, V = Grabloch

Profil Nr.	Bodenform (KA4) Bodentyp Substrattyp	Benennung	Oberboden- horizonte	Tiefe (in cm)	fW (Stufe)	Re (Stufe)	CaCO ₃ (Stufe)	Gefüge
P 1	RQ	Regosol geringer Entwicklungstiefe aus kiesführendem Kipp-Reinsand	IAh	-5	4	-	-	ein
	oja-(k)ss(q)		IAh-jilCv	-15	3	-	-	ein
			ljilCv	-120	2-0	-	-	ein
P 2	RQ	Regosol geringer Entwicklungstiefe aus kiesführendem Kipp-Reinsand	IAh	-6	5	-	-	ein
	oja-(k)ss(q)		IAh-jilCv	-15	4	-	-	ein
			ljilCv	-120	3-0	-	-	ein/bro
P 3	RQ	Regosol geringer Entwicklungstiefe aus kiesführendem Kipp-Reinsand	IAh	-6	5	-	-	ein
	oja-(k)ss(q)		IAh-jilCv	-10	3	-	-	ein
			IfAh	-14	3	-	-	ein
			lffjilCv	-28	2	-	-	ein
V 1	RQ	Regosol geringer Entwicklungstiefe aus Kipp-Reinsand mit kohleführendem Kipp-Lehmsand	IAh	-8	4	-	-	ein
	oja-((x)ls)ss(tq)		ljilCv	-40	3-2	-	-	ein/bro

4.1.4.2 Bodentyp

Auf der Untersuchungsfläche dominieren Regosole mit deutlich ausgebildeten Ah-Horizonten (Tab. 9, Abb. 7). Durch die Beeinflussungen der Oberfläche sind lokal Lockersyrosem-Regosole und Lockersyroseme zu verzeichnen. Lockersyroseme können zudem auch inselartig und sehr kleinflächig im Zusammenhang mit tertiären kohlehaltigen Sanden auftreten. Die Wühltätigkeit von Wildschweinen ist bereichsweise sehr intensiv, wodurch Humusaufgabe

und Ah-Horizonte gestört und vermengt sind bzw. im Ergebnis Sonderformen entstehen. Weit verbreitet sind jedoch deutliche Humusauflagen, die bei Vorhandensein einer dichteren Vegetation auch als Graswurzelfilz-Moder, ansonsten als F-Mull oder bei einem nur lückigen Bewuchs als Hagerhumus einzustufen sind.



4.1.5 Tagebau Espenhain – Brückenkippe Störmthaler See

4.1.5.1 Kippsubstratverhältnisse

Diese unplanierte Brückenkippe mit extremer Reliefdynamik ist hauptsächlich durch tertiäre Kippsubstrate gekennzeichnet (vgl. Tab. 10). Kohleführende Sande (Lehmsand) dominieren, Kohlebrocken sind in schwankenden Anteilen beigemischt. Im nordwestlichen Teil treten gehäuft quartär-tertiäre Gemengesande (kohleführender Lehmsand und kiesführender Reinsand) mit lokal beigemischten Lehmbrocken (Geschiebemergel / -lehm) auf. An der Oberfläche von Kipprippen sind partiell Kies, Xyllit und Markasitkonkretionen durch Ausschwemmung von Feinmaterial stark angereichert. Allgemein sind die Kipprippen durch extreme Erosionsdynamik gekennzeichnet. Dabei erscheinen die Rippenkerne im Bereich der Gemengesubstrate stabiler im Vergleich zu Bereichen mit reinen tertiären Sanden.

Die Substratzusammensetzung in den Tieflagen (Rippentäler) ist durch flächige Aufschwemmungen über Kippsubstraten geprägt. Dadurch entstehen aushaltende Tal- und Rinnensohlen bis hin zur Einebnung und Reliefumkehr. Kohleführende Sande (Lehmsand) wechseln lagig oder feinlagig, zum Teil auch streifig, mit Kohletonlagen (Schluffton). Die Ränder der Tieflagen sind meist sandiger ausgebildet. Durch Anreicherung von Feinstsubstrat können sich lokal periodisch mit Wasser gefüllte Mulden ausbilden. Die Mächtigkeiten der Aufschwemmschichten sind von den lokalen Höhendifferenzen abhängig und können von 0,50 bis 2,00 m betragen. Da diese Substrate aus natürlichen geogenetischen Prozessen hervorgegangen sind und häufig typische Ablagerungsstrukturen fluvial aufgeschwemmter Sedimente aufweisen, kann nicht mehr von Kipp-Substraten gesprochen werden. Im Vergleich zum Ausgangs-Kippsubstrat weisen sie erhöhte pH-Werte auf.

Dieser Abschnitt der Brückenkippe wurde 1986 - 1988 geschüttet und anschließend durch rekultivierungstechnische Maßnahmen nicht beeinflusst. Es ist somit von einer ca. 15 jährigen Bodenentwicklung auszugehen. In Abhängigkeit von der extremen Reliefdynamik sind zwei substratunabhängige Hauptentwicklungsrichtungen festzustellen (vgl. Tab. 10, Abb. 8).

4.1.5.2 Bodentyp

Auf Kipprippen (Toplagen und Böschungen), die starker Wind- und Wassererosion ausgesetzt sind, liegen ausnahmslos Lockersyroseme, meist als unprofilierte Rohböden vor (Profile 1, 4). Im Bereich der Gemengesande tritt bei etwas dichter Vegetationsbedeckung lokal Hagerhumus auf. Die Hauptursache für die in diesem Entwicklungsstadium verharrenden Substrate ist nicht ausschließlich in deren Phytotoxizität zu suchen, die oft als das wichtigste Kriterium angeführt wird. Vielmehr müssen die extreme Erosionslage, verbunden mit der Erosionslabilität und Benetzungsfeindlichkeit der kohleführenden Substrate als wesentliche Rahmenbedingungen berücksichtigt werden. Für den mitteldeutschen Raum sind im Vergleich zum Lausitzer Abbaugbiet geringere und sehr schwankende Schwefelgehalte nachgewiesen, die in Abhängigkeit von der petrographischen Zusammensetzung, d.h. ihres Mineralbestandes an Pyrit und Markasit, variieren. Die daraus resultierenden kleinräumig variierenden Aziditätsverhältnisse schaffen somit auch unterschiedliche Voraussetzungen für eine Vegetationssukzession.

Die Kipprippen aus quartär-tertiären Gemengesandssubstraten sind im Verband stabiler, was durch beigemengte Lehmbröckchen noch begünstigt wird. Daraus und aus der Substratzusammensetzung resultieren lokal variierende bodenphysikalische/-chemische Verhältnisse (z.B. Basenverfügbarkeit und Feuchtigkeit). Eine vergleichsweise dichtere Vegetationsbedeckung und partiell vorhandener Hagerhumus deuten auf diese qualitativen Unterschiede hin, die sich jedoch noch nicht in differenzierbaren Horizonten manifestieren.

Ausgeprägte Tieflagen (Täler, Rinnen) und auch kleinere Rinnenstrukturen mit aktiver Aufschwemmdynamik sind überwiegend durch Lockersyroseme und Lockersyrosem-Regosole gekennzeichnet (Profile 2, 3, 5). Geringe und lokal unterschiedlich ausgeprägte Nässemerkmale (pseudovergleyte Lockersyrosem-Regosole) sind häufig zu beobachten und zeigen damit deutlich feuchtere Verhältnisse an. Die beschriebene Wechsellagigkeit der Schwemmsubstrate ist vertikal und horizontal unterschiedlich ausgeprägt und bedingt kleinräumig Sw- bzw. Sd-Horizonte, die auf Grund ihrer minimalen Mächtigkeiten nicht differenzierbar sind.

Aih-Horizonte sind in Abhängigkeit von der Vegetationsdichte ausgebildet, teils mehrfach überschwemmt und "wachsend". D.h., intensive Feindurchwurzelung und Pflanzenreste, verbunden mit schwacher Humosität, sind auch in den jüngeren Aufschwemmlagen zu beob-

achten. Unter diesen speziellen Umständen ist die humusmehrende Wirkung von *Calamagrostis epigejos* und somit ihre Pionierfunktion für eine, auch in relativ kurzen Zeiträumen ablaufende Bodenentwicklung, gut nachweisbar.

Die von Katur (1994) beschriebenen Säureverhältnisse der Abschwemmsubstrate, die im Bereich ihrer ehemaligen Reliefposition bereits durch erhöhte Oxidationsraten sulfidischer Minerale und deren Verlagerung gekennzeichnet sind, können in der Tendenz bestätigt werden. Unterschiede zeichnen sich jedoch durch relativ geringe Verschiebungen der pH-Werte um pH 3 (Toplagen) zu pH 3 - 4 (Aufschwemmsubstrate) ab. Somit muss neben den Aziditätsverhältnissen den kleinräumig variierenden Feuchtigkeits- und Erosionsverhältnissen große Bedeutung beigemessen werden. In Aih-Horizonten in Bereichen mit dichter Vegetation liegen die pH-Werte z.T. über 4, was auf Wechselwirkungen in der Hauptwurzelzone oder Emissionseinwirkung hindeutet.

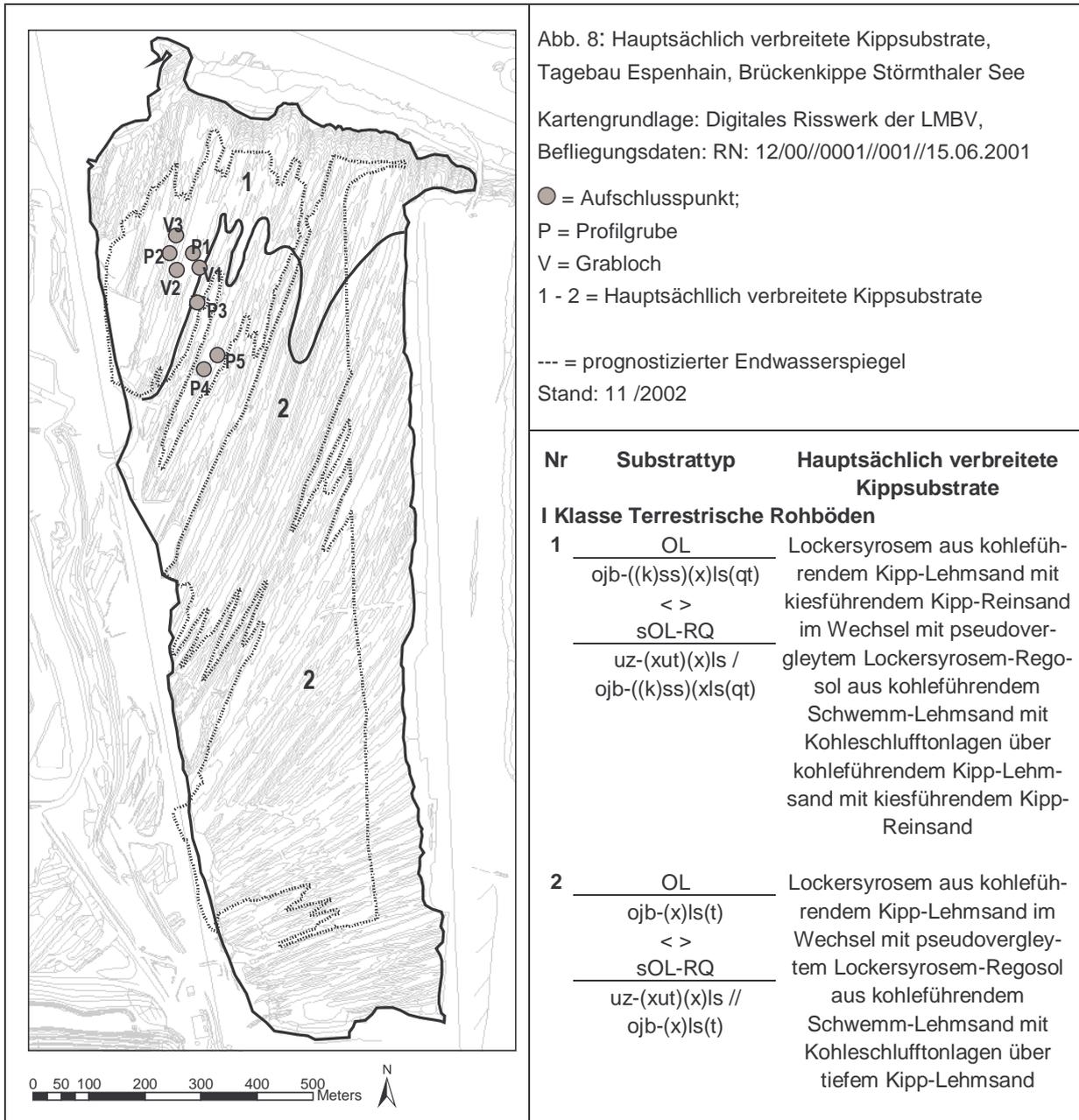
Tab. 10: Felddiagnostische Merkmale, Tagebau Espenhain – Brückenkippe Störmthaler See

Die in der Tabelle verwendeten Abkürzungen zur Beschreibung des Boden- und Substrattyps, der Oberbodenhorizonte und der Gefügeformen sowie des Feinwurzelanteils (fW), der Regenwurmdichte (Re) und des Carbonatgehaltes (CaCO₃) folgen der KA4 (AG Boden 1996); P = Profilgrube

Profil Nr.	Bodenform (KA4) Bodentyp Substrattyp	Benennung	Oberboden- horizonte	Tiefe (in cm)	fW (Stufe)	Re (Stufe)	CaCO ₃ (Stufe)	Gefüge
P 1	OL obj-((k)ss)(x)ls(qt)	Lockersyrosem aus kohleführendem Kipp-Lehmsand mit kiesführendem Kipp-Reinsand	IjilCv	-110	2-0	-	-	ein/bro
P 2	sOL-RQ uz-(xut)(x)ls/ obj-((k)ss)(x)ls(qt)	pseudovergleyter	IAih	-5	4	-	-	shi/koh
		Lockersyrosem-Regosol aus kohleführendem Schwemm-Lehmsand	ISdw-ilCv	-14	3	-	-	shi/koh
		Schwemm-Lehmsand mit Kohleschlufftonlagen über kohleführendem Kipp-Lehmsand mit kiesführendem Kipp-Reinsand	IISw-ilCv	-50	3	-	-	ein/shi
P 3	OL-RQ uz-(xut)(x)ls/obj-(x)ls(t)	Lockersyrosem-Regosol aus kohleführendem Schwemm-Lehmsand	IAih	-4	4-5	-	-	ein/shi
		mit Kohleschlufftonlagen über kohleführendem Kipp-Lehmsand	IilCv	-40	3	-	-	ein/shi
			IjilCv	-110	3-1	-	-	ein/bro
P 4	OL obj-(k,x)ls(t)	Lockersyrosem aus kies- und kohleführendem Kipp-Lehmsand	IjilCv	-110	-	-	-	ein/bro
P 5	sOL-RQ uz-(xut)(x)ls/obj(x)ls(t)	pseudovergleyter	IAih	-5	5	-	-	shi/ein
		Lockersyrosem-Regosol aus kohleführendem Schwemm-Lehmsand	IilCv	-72	4-2	-	-	shi/ein
		mit Kohleschlufftonlagen über tiefem kohleführendem Kipp-Lehmsand	IjilCv	-110	2-1	-	-	ein/bro

Zusammenfassend ist festzustellen, dass auf Kippsubstraten im klassischen Sinne noch keine Bodenentwicklung erfolgte. Die durch Erosion freimodellierten Kippsubstrate der Toplagen von Rippenkomplexen sind mit frisch geschütteten Kippsubstraten zu vergleichen. Nomenklatorisch wird von terrestrischen Rohböden gesprochen (Lockersyrosem mit Ai <

2 cm, lückig), was im speziellen Fall unpassend erscheint, da diese Substrate noch unbestimmte Zeit im unprofilierten Zustand verbleiben werden. Es ist deshalb eine Differenzierung zwischen unentwickelten Rohböden und Rohböden mit vorherrschend Ai/C-Profilen in Erwägung zu ziehen (vgl. Altermann & Rosche 2002). Auf Grund der kleinräumigen Heterogenität wurden für dieses Untersuchungsgebiet die hauptsächlich verbreiteten Kippsubstrate kartographisch dargestellt.



4.1.6 Tagebau Delitzsch-SW – Brückenkippe Grabschützer See

4.1.6.1 Kippsubstratverhältnisse

Die weiträumige, unplanierte Brückenkippe mit relativ kleingliedriger Morphologie ist durch sehr heterogene Substratverhältnisse gekennzeichnet (vgl. Tab. 11). Ausschlaggebend dafür sind Abraumschnitte über mehrere geologische Formationen und mehrfache Technologieän-

derungen. Zum Teil sind Massenblöcke mit vorherrschend quartären Kippsubstraten geschüttet worden. Im Vergleich zur Brückenkippe im Tagebau Espenhain sind die Reliefunterschiede innerhalb der Kipprippen durch geringere Höhendifferenzen gekennzeichnet. Ebenso sind die Tieflagen seltener talartig ausgebildet. Da eine flächendeckende Kartierung nicht durchgeführt werden konnte, wurde mittels Profiltrassen in repräsentativen Lagen die Substratsituation erkundet. Wechselnde Substratverhältnisse innerhalb der kleingliedrigen Kipprippenkomplexe, zum Teil starke Erosionserscheinungen in den Top- und Böschungslagen verbunden mit Aufschwemmsubstraten in den Tieflagen sowie wechselnde Vegetationsverhältnisse verweisen auf die Variabilität der Substrate und Substratgemenge.

Grundsätzlich können zwei über weite Bereiche generalisierbare Kippsubstrateinheiten angesprochen werden, die in Bezug auf ihre stratigraphische Zuordnung zu unterscheiden sind. Innerhalb dieser Einheiten schwanken Bodenart, Skelettgehalt und Kohlebeimengungen relativ stark. Aus diesem Grund sind Wechsellagerungseinheiten auskartiert. Da technologiebedingt die geologischen Ausgangssubstrate horizontal und vertikal von Rippe zu Rippe und im Streichen der Rippenzüge sehr heterogen verkippt wurden, sind diese Rippenkomplexe kaum differenzierbar.

Es treten quartäre, carbonathaltige, kiesführende Lehme auf (Normallehm, Sandlehm), die lokal mit Lehmsanden vermischt sind und zum Teil Solummaterial (Sandlöß) enthalten. Kleinflächig sind auch stark kiesige Sande (Reinsand) vorhanden. Kipprippen aus quartären Lehmen sind relativ erosionsstabil. Oberflächlich ist über den anstehenden Rippenkernen eine unterschiedlich mächtige aufgelöste und in der Regel bewegte Lage ausgebildet, die in Richtung Böschungfuß mächtiger wird. Es handelt sich genetisch dabei nicht mehr um Kippsubstrate im klassischen Sinne, sondern um geogenetisch entstandene Schichten. Die Mächtigkeit der Abrutschlagen bzw. der durch Setzungs- und Sackungsvorgänge geprägten Schichten ist lokal variierend und vom Böschungswinkel abhängig. Die nach Süden exponierten Flanken sind meist steiler und zum Teil sogar als Abbruchkanten ausgebildet. Als charakteristische Merkmale sind geringere Lagerungsdichten und Festigkeiten zu nennen, während die "anstehenden" Kipp-Lehme durch Transport und Versturz noch deutlich verfestigt sind. Im Bereich der rein quartären Lehme sind in den angrenzenden Tieflagen deutlich geringmächtigere bzw. kaum Aufschwemmsubstrate zu beobachten.

Als weitere Kippsubstrateinheit sind tertiär-quartäre, carbonat- und kohlehaltige, meist kiesführende Gemengesande (Lehmsand), die in schwankenden Anteilen mit kohleführenden Tonen (Lehmtone) brockig und klumpig vermischt sind, zu nennen. Lokal tritt in der Vermischung Lehm hinzu (Normallehm und Sandlehm). Rein tertiäre Sande treten nur vereinzelt auf. Oberflächlich sind bereichsweise Kiese durch Ausspülung stark angereichert. Diese Kippsubstrateinheit ist für den Tagebau bisher nicht auskartiert worden. Im Vergleich mit quartären Lehmrippen sind die Kipprippen aus Gemengesubstraten wesentlich instabiler und erosionsanfälliger. Demzufolge sind angrenzende Tieflagen mit unterschiedlich mächtigen Aufschwemmsubstraten gefüllt (> 30 - 100 cm). Die Schwemmsubstrate liegen als carbonathaltige, sehr stark kohlehaltige (bis Kohle) Lehme (Normallehme, Sandlehme) und Tone (Lehmtone) vor. Entsprechend der heterogenen Rippenzusammensetzung variiert die wechsellagige bis streifige Struktur und Substratausbildung der Aufschwemmsubstrate. Ebenso ist eine Auflösungs- und Abrutschschicht festzustellen.

Des Weiteren treten markante Unterschiede in den morphologischen Formen auf. Während sich im Zusammenhang mit Aufschwemmprozessen Tal- und Rinnensohlen herausbilden, herrscht im Bereich der rein quartären Lehme noch deutlich der kerbförmige Charakter in den Tieflagen vor. Als lokale, meist kleinflächige Vorkommen sind sehr stark kohlehaltige

(bis Kohle), carbonatführende Tone (Schluffton) zu nennen, da sich diese durch spezifische pedogenetische Entwicklungen auszeichnen. In der Vermengung sind zudem Lehme und Sande anzutreffen. Die Brückenkippe ist von 1981 bis 1984 geschüttet worden. Da keine weitere Bearbeitung erfolgte, können ca. 17 bis 20 Jahre Bodenentwicklungszeit angenommen werden. Im Drehpunktbereich sind technologiebedingt ältere Kippsubstrate anzutreffen (siehe Profile 8, 9).

4.1.6.2 Bodentyp

Durch die spezielle Morphodynamik der Brückenkippe ist auf reinen Kippsubstraten eine klassische Bodenentwicklung zu beobachten (vgl. Tab. 11, Abb. 9). Ausgehend von Sackungs-, Setzungs- und Ausspüldynamik in den Top- und oberen Böschungslagen sind abgerutschte bzw. abrutschende Massen in variablen Mächtigkeiten über Kippsubstraten die charakteristischen Ausgangsgesteine für bodenbildende Prozesse. In den Tieflagen dominieren in Abhängigkeit von den angrenzenden Substraten der Kipprippen Aufschwemmsubstrate.

Lockersyroseme (oft unprofiliert) sind hauptsächlich im Zusammenhang mit tertiär-quartären Gemengesubstraten in Top- und oberen Böschungslagen anzutreffen (Profile 2, 3, 5). Es ist davon auszugehen, dass u.a. die beschriebene Erosionsinstabilität der Substrate für die Ausbildung dieses Bodentyps ausschlaggebend ist, da bodenphysikalische und -chemische Verhältnisse nicht grundsätzlich als vegetationsfeindlich einzustufen sind. Auf lokal vorkommenden, sehr kiesreichen quartären Sanden sind ebenfalls Lockersyroseme zu finden. Ah-Horizonte sind sehr lückig und initial entwickelt, Hagerhumus kann nur partiell beobachtet werden. Im nordöstlichen Teil sind im Bereich eines älteren Kippenabschnittes Pararendzinen auf tertiär-quartärem Gemengesubstraten ausgebildet, wobei Ah-Horizonte undeutlicher in Erscheinung treten. Gleichzeitig ist dieser Bereich durch einen älteren Baumbestand und eine dichtere Vegetationsbedeckung gekennzeichnet. Da kaum Auflagehumus ausgebildet ist, kann auf eine hohe Umsatzrate geschlossen werden. Auffällig ist ebenso der Regenwurmbesatz und die hohe makrobiologische Aktivität in diesem Kippenbereich (Profil 8).

Pararendzinen mit gut ausgebildeten Ah-Horizonten, oft intensiver Feindurchwurzelung und wiederholt mit Regenwurmbesatz bestimmen den pedogenetischen Zustand der quartären Kipprippen aus vorrangig Lehmen (Profile 1, 6). Die Ausbildung von Ah-Horizonten in analogen Reliefpositionen steht damit im deutlichem Zusammenhang mit dem Substrat und der daraus folgenden Erosionsstabilität bei der Betrachtung etwa gleich alter Kippenabschnitte.

In den Tieflagen im Bereich der quartären Lehme sind Pararendzinen mit unterschiedlich ausgeprägten Vernässungsmerkmalen anzutreffen (pseudovergleyte Pararendzinen). Auch für diese Kippe sind undifferenzierte Horizontmerkmale typisch. D.h. Sw- und Sd-Horizonte sind nicht klassisch abtrennbar ausgebildet, Vernässungsmerkmale aber deutlich und stark gefügeabhängig entwickelt (Grabloch V 1).

Die an Gemengesubstrate angrenzenden Rinnen sind in der Regel durch noch sehr aktive Aufschwemmvorgänge geprägt. Es dominieren Lockersyroseme mit zum Teil sehr deutlichen Vernässungsmerkmalen. Auf Subtypen- und Varietätenniveau können Unterschiede beobachtet werden, die starken Schwankungen unterliegen (Profil 4). In den Rinnenlagen können wiederholt fortgeschrittene Bodenentwicklungen im Zusammenhang mit Vernässungsercheinungen und Pelosoldynamik festgestellt werden. Dabei handelt es sich um Bildungen, die stark von der lokalen Substratsituation abhängig sind, wie z.B. um Einschwemmungen sehr toniger Substrate oder auch generell erhöhte Beimengungen von Tonklumpen oder

Verdichtungen. In Bezug zur Gesamtfläche stehen diese Böden als Beispiele für Begleitbodenformen (Profile 7, 9). Diese Entwicklungsrichtung wird prognostisch bedeutsamer werden und neben der zu erwartenden Vergleyung in Folge von Grundwasseranstieg prägend sein. Auf Grund der kleinräumig wechselnden Substratbedingungen wurden für den Tagebau Delitzsch-SW Kippsubstratblöcke auf Basis von Abschätzungen der hauptsächlich verbreiteten Kippsubstrate kartographisch dargestellt.

Tab. 11: Felddiagnostische Merkmale, Tagebau Delitzsch-SW – Brückenkippe Grabschützer See
Die in der Tabelle verwendeten Abkürzungen zur Beschreibung des Boden- und Substrattyps, der Oberbodenhorizonte und der Gefügeformen sowie des Feinwurzelanteils (fW), der Regenwurmdichte (Re) und des Carbonatgehaltes (CaCO₃) folgen KA4 (AG Boden 1996); P=Profilgrube, V=Grabloch

Profil Nr.	Bodenform (KA4) Bodentyp Substrattyp	Benennung	Oberboden- horizonte	Tiefe (in cm)	fW (Stufe)	Re (Stufe)	CaCO ₃ (Stufe)	Gefüge
P 1	RZ	Pararendzina geringer	IAh	-5	4	2	3.1	bro/kru
	uar-(k)cls/ojb-(k)cls(q)	Entwicklungstiefe aus flachem kiesführendem Rutsch-Kalksandlehm über kiesführendem Kipp-Kalknormallehm	IelCv	-20	2	-	3.1-3.2	bro/kit
			IIjelCv	-100	1	1	3.2	kit/bro
P 2	OL	Lockersyrosem aus flachem kiesführendem Rutsch-Kalkkohlelehm-sand mit kohleführenden Lehmtonbrocken über kiesführendem Kipp-Kalkkohlelehm-sand mit kohleführenden Lehmtonbrocken	IAi	-1	2	-	3.1	bro/ein
	uar-((x)lt)(k)cxls\		IelCv	-10	2	-	3.1	bro/ein
	ojb-((x)lt)(k)cxls(tq)		IIjelCv	-90	2-1	1	3.1	ein/bro
P 3	OL	Lockersyrosem aus kiesführendem Kipp-Kalkkohlelehmsand mit kohleführenden Lehmtonbrocken	IAi	-1	2	-	3.1	ein
	ojb-((x)lt)(k)cxls(tq)		IjelCv	-110	2-1	1	3.1	bro/ein
P 4	SS-OL	Pseudogley-Lockersyrosem aus kies- und kalkführender Schwemmsandkohle über kiesführendem Kipp-Kalkkohlelehmsand mit kohleführenden Lehmtonbrocken	IelCv	-30	3	2	3.2	shi/bro
	uz-(k,c)slx/		IISw-jelCv	-58	2	1	3.1	bro/kit
	ojb-((x)lt)(k)cxls(tq)		IIISwd-jelCv	-100	1	1	2	klu/kit
P 5	OL	Lockersyrosem aus kiesführendem Kipp-Kalkkohlelehmsand mit kohleführenden Lehmtonbrocken	IAi	-1	3	-	3.1	bro
	ojb-((x)lt)(k)cxls(tq)		IjelCv	-110	3-1	1	3.1	bro/kit
P 6	RZ	Pararendzina geringer	IAh	-5	3	2	3.1	bro/kru
	uar-(k)cls/ojb-(k)cls(q)	Entwicklungstiefe aus kiesführendem Rutsch-Kalklehmsand über kiesführendem Kipp-Kalklehmsand	IelCv	-60	2	-	3.1	bro/ein
			IIjelCv	-110	1	-	3.1	bro/ein
P 7	SS-DDc	Pseudogley-Kalkpelosol aus Kipp-Schlufftonkohle mit Kalksandlehm-brocken	ISw-Ah	-6	5	1	3.1	sub
	ojb-(csl)utx(qt)		IISrdw-eP	-40	3-2	-	3.1	pol/kit

Fortsetzung Tab. 11

Profil Nr.	Bodenform (KA4) Bodentyp Substrattyp	Benennung	Oberboden- horizonte	Tiefe (in cm)	fW (Stufe)	Re (Stufe)	CaCO3 (Stufe)	Gefüge
P 8	RZ	Pararendzina geringer	IAh	-3	5	2	3.1	kru/ein
	ojb-((x)lt)(k)cxls(tq)/ ojb-(k)csl(q)	Entwicklungstiefe aus	IjelCv	-35	3	1	2-3.1	bro/ein
		Kiesführendem Kipp- Kalkkohlelehmsand mit kohleführenden Lehm- tonbrocken über kies- führendem Kipp-Kalk- sandlehm	IIjelCv	-110	2-1	-	3.1	bro/ein
P 9	DDc-SS	Kalkpelosol-Pseudogley	IeAh	-6	5	3	2-3.1	sub/kru
	uz-(k)cIlx\ ojb-((x)lt)(k)cXll(tq)	aus flacher kiesführen- der Schwemm-Kalk- normallehmkohle über kiesführendem Kipp- Kalkkohlenormallehm mit kohleführenden Lehmtonbrocken	IleP-Sdw	-30	3-1	2-0	2-3.1	pol/kit
V 1	SS-RZ	Pseudogley-Pararend- zina aus flachem	IAh	-9	2	1	3.1	bro/kru
	uar-(k)csl\ojb-(k)cIl(q)	kiesführendem	ISw-elCv	-26	1	-	3.2	bro
		Hangrutsch- Kalksandlehm über kiesführendem Kipp- Normallehm	IISdw-jelCv	-100	1	-	3.2	bro/koh
V 2	OL-RZ	Lockersyrosem-Para- rendzina aus	IAih	-2	4	-	3.1	shi/koh
	uz-cxlt	Schwemm- Kalkkohlelehmton	IelCv	-100	3-1	-	3.1	shi/koh
V 3	OL-RZ	Lockersyrosem-Para- rendzina aus flachem	IAih	-2	3	1	2	bro/shi
	uz-(c)xut\uz-(k,c)xsl	carbonatführendem	IlelCv	-17	2	1	2	shi/koh
		Schwemm-Kohleschluff- ton über kohle- und kalkführendem Schwemm-Kohlesand- lehm	IIlelCv	-100	1	-	2	shi/bro
V 4	sRZ	pseudovergleyte Para- rendzina aus	IAh	-7	4	1	3.1	kru
	uar-(k)cIl\ojb-(k)cIl(q)	kiesführendem	ISdw-elCv	-34	2	1	3.1	bro/kit
		Hangrutsch-Kalknormal- lehm über kiesführen- dem Kipp- Kalknormallehm	IISdw-jelCv	-100	2-1	-	3.2	bro/kit
V 5	RZ	Pararendzina aus kies- führendem Hangrutsch- Kalksandlehm über	IAh	-4	4	-	3.1	bro/kru
	uar-(k)csl\ojb-(k)cIl(q)	kiesführendem Kipp- Kalknormallehm	IelCv	-40	3	-	3.1	bro
				IIjelCv	-100	2-1	-	3.3	bro/kit
V 6	SG-RZ	Stagnogley-Pararend- zina aus flacher	Of	+5	-	-	-	-
	uz-cutx\ ojb-(csl)utx(qt)	Schwemm-Kalkschluff- tonkohle über Kipp- Schlufftonkohle mit Kalksandlehmbröcken	ISw-Ah	-5	4	-	3.1	sub
			ISrdw-elCv	-15	3	-	3.1	koh/pol
			IISrdw	-40	3-2	-	3.1	pol/kit

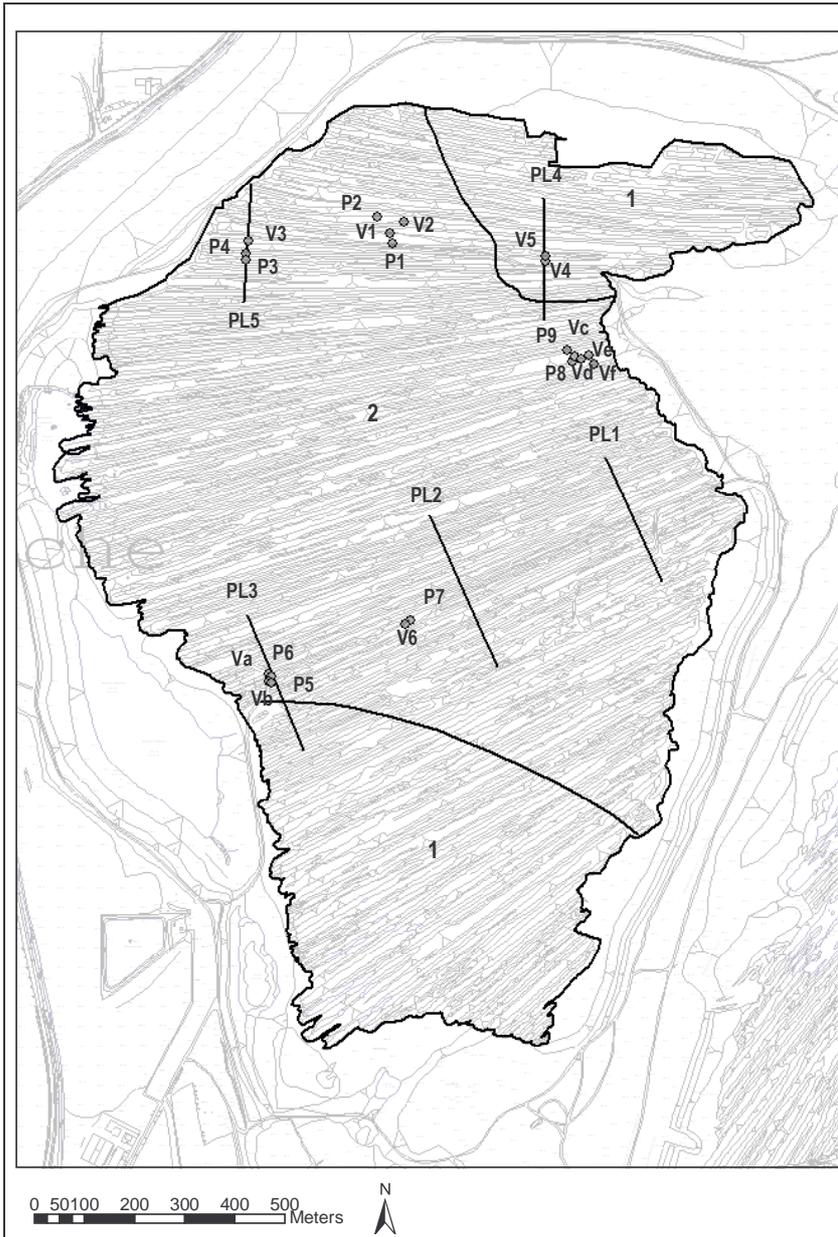


Abb. 9: Hauptsächlich verbreitete Kippsubstrate, Tagebau Delitzsch-SW, Sukzessionsfläche Grab-schützer See

Kartengrundlage: Digitales Risswerk der LMBV, Befliegungsdaten: RN: 12/00//0001//001//15.06.2001

● = Aufschlusspunkt
 P = Profilgrube
 V = Grabloch
 PL = Profillinie

1 - 2 = hauptsächlich verbreitete Kippsubstrate

Stand: 11/2002

Nr.	Substrattyp	Abschätzung hauptsächlich verbreiteter Kippsubstrate
I Klasse Terrestrische Rohböden		
1	obj-(k)cll(q) < > csl,cls	kiesführender Kipp-Kalknormallehm im Wechsel mit Kipp-Kalksandlehm und Kipp-Kallehmsand
2	obj-((x)lt)(k)cxls(tq) < > cxll,(k,c)xsl	kiesführender Kipp-Kalkkohlelehmsand mit kohleführenden Lehmbro-cken im Wechsel mit Kipp-Kalkkohlennormallehm und kies- und kalk-führendem Kipp-Kohlelehmsand

4.1.7 Tagebau Goitsche – Baufeld IIa

4.1.7.1 Kippsubstratverhältnisse

Auf der durch Kippenrückgewinnung entstandenen sehr ebenen Fläche im Bereich der Ab-setzerkippe sind überwiegend quartäre kiesführende Sande (Reinsand) auskartiert (Tab. 12).

Die relativ homogene Kippsubstrateinheit ist innerhalb der Sandfraktion lokal variabel (substrattypische Inhomogenität). Ausschlaggebend dafür sind erhöhte Feinkiesgehalte und in der Tendenz dominierende Mittel- und Feinsandanteile sowie lokal geringe Anteile beigemengter Schluffbrocken. Die Bodenartenuntergruppe bleibt jedoch Reinsand. Tertiärquartäre, kohle- und kiesführende Gemengesande (Reinsand, untergeordnet Lehmsand mit beigemengten Tonbrocken) tritt großflächig im Südwestteil und in gestreckten Flächen innerhalb der quartären Sande auf. Kleinflächige, im Arbeitsmaßstab nicht auskartierbare Einschaltungen, können generell auftreten.

Die Kippenrückgewinnung erfolgte von 1990 bis 1994. Damit kann von ca. 7 bis 10 Jahren Bodenbildung ausgegangen werden. Auf der Fläche ist hauptsächlich Lockersyrosem-Regosol als Subtyp des Regosoles ausgebildet. Die Aih-Horizonte sind durch sehr geringe Humosität und mittlere, teils starke Durchwurzelung gekennzeichnet. Dieses Entwicklungsstadium kennzeichnet die beiden hauptsächlich auftretenden Substratvarianten.

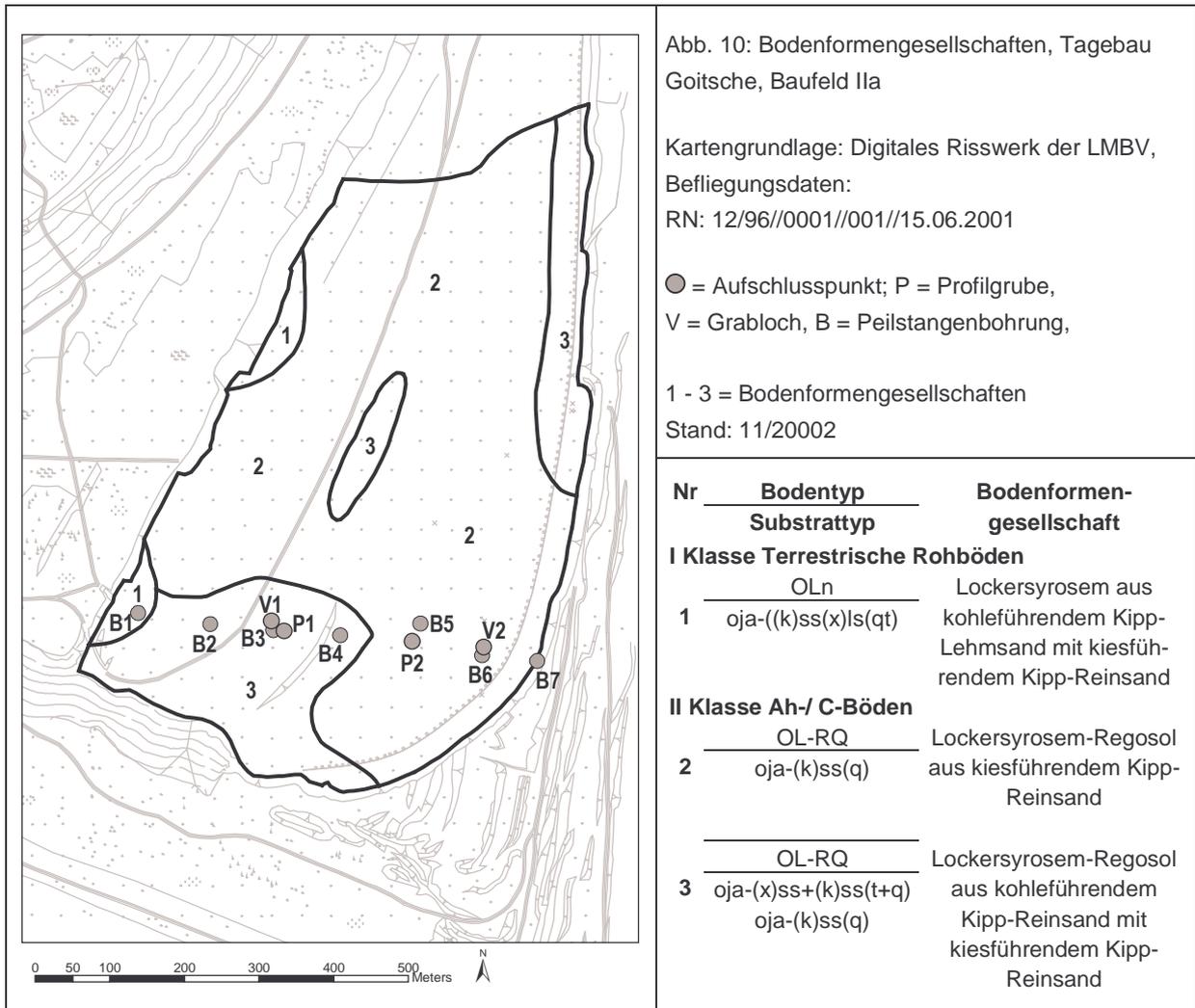
4.1.7.2 Bodentyp

Lockersyroseme (oft unprofiliert) sind kleinflächig, teils linienartig eingeschaltet und treten innerhalb der Gemengesande (vorherrschend Reinsand) im Zusammenhang mit erhöhten Anteilen tertiärer kohleführender Sande auf (Grabloch V 1). Desweiteren ist dieser Bodentyp im Bereich kohleführender Gemengesande (vorherrschend Lehmsand) anzutreffen (vgl. Abb. 10).

Tab. 12: Felddiagnostische Merkmale, Tagebau Goitsche – Baufeld IIa

Die in der Tabelle verwendeten Abkürzungen zur Beschreibung des Boden- und Substrattyps, der Oberbodenhorizonte und der Gefügeformen sowie des Feinwurzelanteils (fW), der Regenwurmdichte (Re) und des Carbonatgehaltes (CaCO₃) folgen KA4 (AG Boden 1996); P=Profilgrube, V=Grabloch

Profil Nr.	Bodenform (KA4) Bodentyp Substrattyp	Benennung	Oberboden- horizonte	Tiefe (in cm)	fW (Stufe)	Re (Stufe)	CaCO ₃ (Stufe)	Gefüge
P 1	OL-RQ	Lockersyrosem-Regosol aus kohleführendem Kipp-Reinsand und kiesführendem Kipp-Reinsand	IAih	-4	3-4	-	-	ein
	oja-(x)ss+(k)ss(t+q)		IjilCv	-85	3-2	-	-	ein
P 2	OL-RQ	Lockersyrosem-Regosol aus kiesführendem Kipp-Reinsand	IAih	-4	3	-	-	ein
	oja-(k)ss(q)		IjilCv	-110	2-0	-	-	ein
V 1	OL	Regosol aus kohleführendem Kipp-Reinsand und kiesführendem Kipp-Reinsand	IjilCv	-5	1	-	-	ein
	oja-(x)ss+(k)ss(t+q)		IIjilCv	-100	-	-	-	ein
V 2	OL-RQ oja-(k)ss(q)	Lockersyrosem-Regosol aus kiesführendem Kipp-Reinsand	IAih IjilCv	-4 -100	3 2-0	- -	- -	ein ein/bro



4.2 Bodenmikrobiologie

4.2.1 Mikrobielle Biomasse

Die Besonderheiten der bodenchemischen und bodenphysikalischen Charakteristika von Kippsubstraten spiegeln sich in den bodenmikrobiologischen Kennwerten wieder. Unabhängig von der pedogenetischen Entwicklung ist für alle untersuchten Standorte beim Übergang vom Ai- bzw. Ah- zum C-Horizont eine starke Abnahme der mikrobiellen Biomasse zu beobachten. An einem Lockersyrosem (Delitzsch, Profil 5), einer Pararendzina (Delitzsch, Profil 6) und einem Regosol (Spreetal-SO, Profil 1) sind in Abb. 11 beispielhaft Tiefenprofile der mikrobiellen Biomasse dargestellt. Sowohl im Ai- als auch im Ah-Horizont dieser Standorte erreicht die mikrobielle Biomasse (C_{mik}) die beachtliche Höhe von rund $440 \mu\text{g } C_{\text{mik}} \text{ g}^{-1}$ im Regosol, $810 \mu\text{g } C_{\text{mik}} \text{ g}^{-1}$ im Lockersyrosem und $1100 \mu\text{g } C_{\text{mik}} \text{ g}^{-1}$ in der Pararendzina.

Für alle untersuchten Standorte hat sich eine Gruppierung des gesamten Datenmaterials entsprechend den Bodenarten Kipp-Sande (16 Profile), Kipp-Lehme (4 Profile), Kipp-Tone (3 Profile) und Kipp-Kohleschluffe (2 Profile) als sinnvoll erwiesen (Abb. 12). Bezüglich der Höhe der mikrobiellen Biomasse (Mittelwerte) können diese Bodenarten wie folgt angeordnet werden: Kipp-Kohleschluffe ($1840 \mu\text{g } C \text{ g}^{-1}$) > Kipp-Tone ($1380 \mu\text{g } C \text{ g}^{-1}$) > Kipp-Lehme ($560 \mu\text{g } C \text{ g}^{-1}$) > Kipp-Sande ($480 \mu\text{g } C \text{ g}^{-1}$).

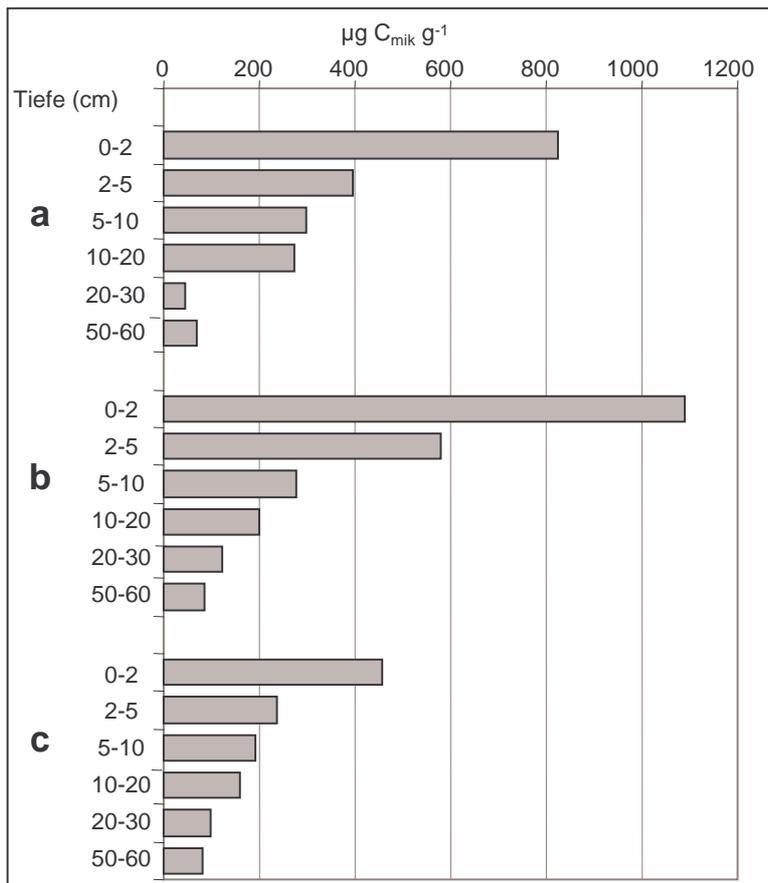


Abb. 11: Tiefenprofile der mikrobiellen Biomasse ($\mu\text{g C}_{\text{mik}} \text{g}^{-1}$) in a) einem Lockersyrosem, b) einer Pararendzina und c) einem Regosol

Diese Reihenfolge deutet auf eine Beziehung zwischen dem mikrobiellen C und der textuellen Zusammensetzung hin, welche sich durch folgende Regressionsgleichung charakterisieren lässt: $C_{\text{mik}} = 9,62 \times (\% \text{ Ton} + \% \text{ Schluff}) + 135$ ($r = 0,50$, $p < 0,01$). Auffällig ist, dass bei einer annähernd gleichen Körnungszusammensetzung die karbonathaltigen (quartären bzw. mit Kalk meliorierten) Substrate im Vergleich zu den kalkfreien eine höhere mikrobielle Biomasse aufweisen. Eine Korrelation zur Bodenreaktion konnte jedoch nicht festgestellt werden. Ein ähnlicher Sachverhalt und C_{mik} -Gehalte gleicher Größenordnung wurden in den Untersuchungen von ackerbaulich genutzten Kippenböden Mitteldeutschlands und der Lausitz ermittelt (Emmerling & Werbter 2001). Die Bestimmungen der C_{mik} -Gehalte erfolgten hier allerdings in Bodenproben, die aus der Tiefe 0 - 10 / 15 cm entnommen wurden.

Die C-Horizonte weisen gegenüber den Ai/Ah-Horizonten eine um 60-72 % geringere Biomasse auf. Erwartungsgemäß findet in den tieferen Aufschüttungshorizonten (tiefer als 20 cm) eine allmähliche Reduzierung der C_{mik} -Gehalte bis auf 13 bzw. 33 % des Ai/Ah-Horizontes statt. Die absolute Höhe der mikrobiellen Biomasse in der Tiefe von 50-60 cm ist durchaus mit derjenigen in Böden aus Löß vergleichbar. Es ist denkbar, dass eine Besiedlung der unteren Substratschichten durch den Transport von Mikroorganismen mit Sickerwasser der Niederschläge entlang der Klüfte und Risse erfolgt. Diese entstehen durch Zerbröckelung von ursprünglich dicht gelagerten tonigen und schluffigen Mittelmassen.

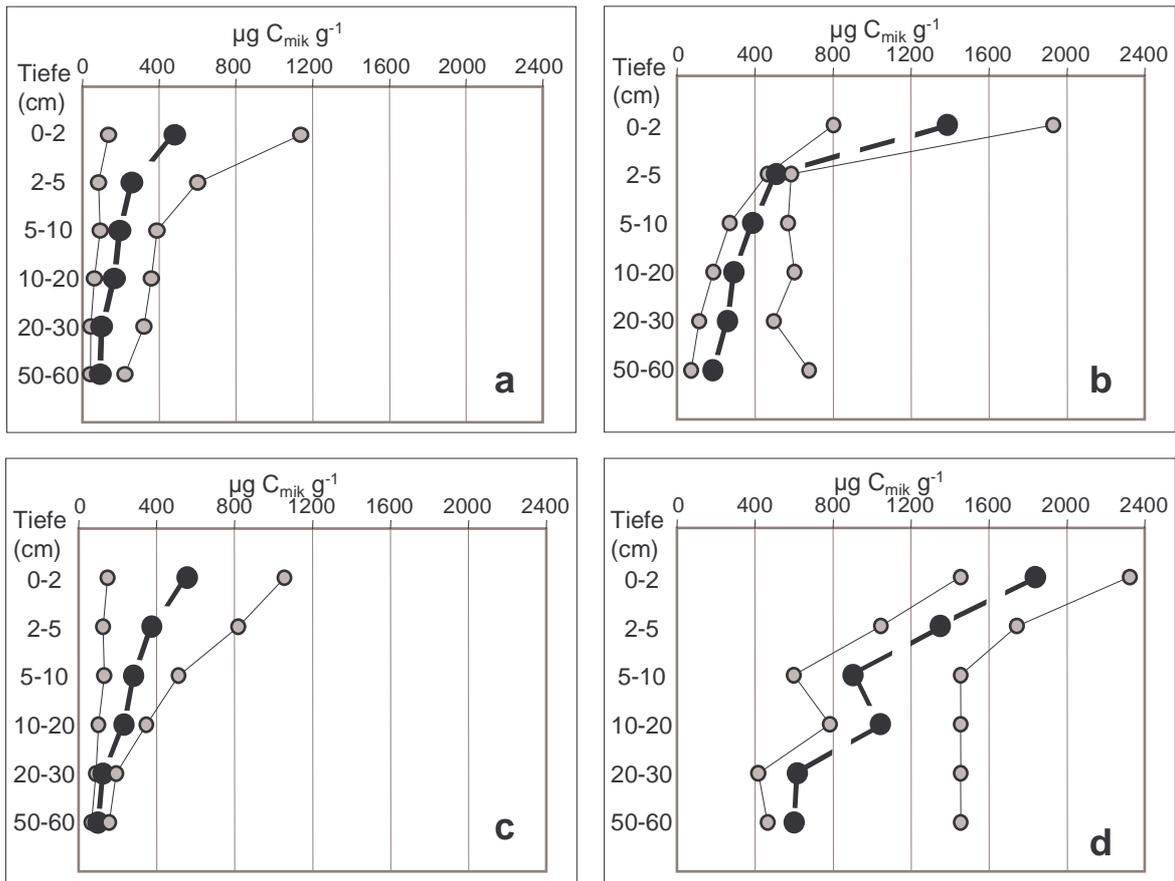


Abb. 12: Variationsbereiche (Minima, geometrische Mittel, Maxima) und Tiefengradient (0-2, 2-5, 5-10, 10-20, 20-30, 50-60 cm) der C_{mik} -Gehalte ($\mu\text{g } C_{mik} \text{ g}^{-1}$) in a) Kipp-Sanden, b) Kipp-Lehmen, c) Kipp-Tonen und d) Kipp-Kohleschluffen

Eine positive signifikante Korrelation besteht zwischen dem C_{mik} -Gehalt und dem Stickstoff- sowie Kaliumgehalt in Oberböden (Abb. 13). Eine Zunahme der in Kippenböden niedrigen Nährstoffgehalte hat in den 10 bis 50 Jahre alten Standorten eine Beziehung zum Alter der Flächen (Machulla 2000). Die hier untersuchten Flächen weisen jedoch sehr geringe Altersunterschiede auf, welche auf die Höhe der Biomasse keinen Einfluss nehmen.

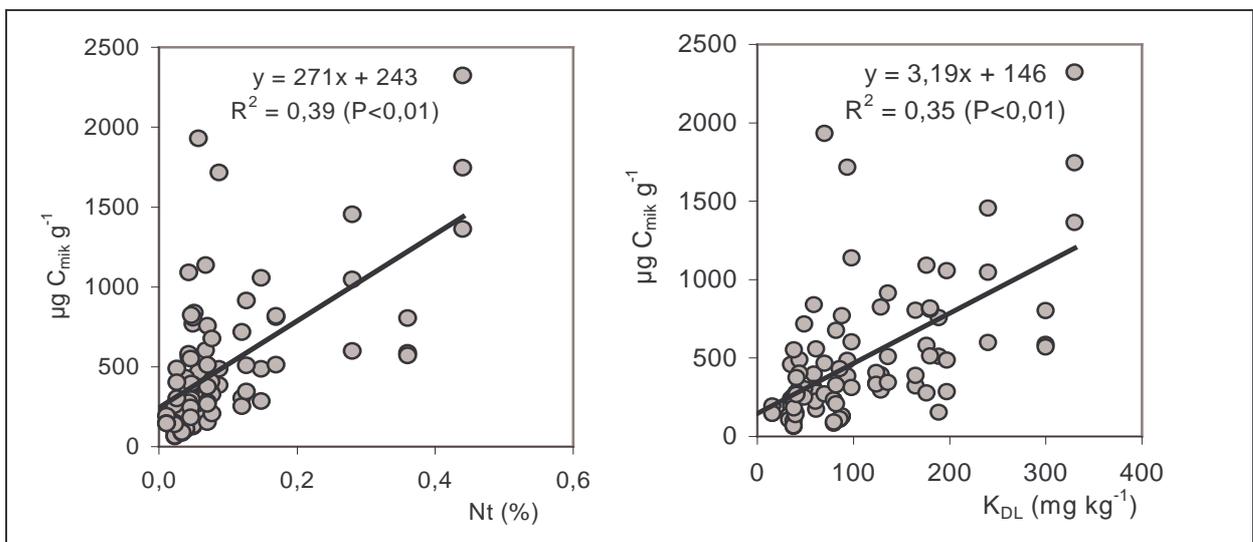


Abb. 13: Beziehungen zwischen der mikrobiellen Biomasse ($\mu\text{g } C_{mik} \text{ g}^{-1}$) und den Nährstoffen Gesamtstickstoff (Nt) und pflanzenverfügbares Kalium (K_{DL})

4.2.2 Aktivitätsparameter

Im Vergleich zu den Ackerböden zeigen Kippenböden z.T. höhere Respirationsraten ($\mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1} \text{h}^{-1}$) und metabolische Quotienten ($\text{mg CO}_2\text{-C g}^{-1} \text{C}_{\text{mik}} \text{h}^{-1}$) (vgl. Abb. 14). Die niedrigsten Werte von $0,9 \mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1} \text{h}^{-1}$ und $1,6 \text{mg CO}_2\text{-C g}^{-1} \text{C}_{\text{mik}} \text{h}^{-1}$ wurden im Ai/Ah-Horizont der Standorte auf Kipp-Sanden und die höchsten von $2,7 \mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1} \text{h}^{-1}$ und $2,2 \text{mg CO}_2\text{-C g}^{-1} \text{C}_{\text{mik}} \text{h}^{-1}$ an Standorten aus Kipp-Kohleschluffen ermittelt.

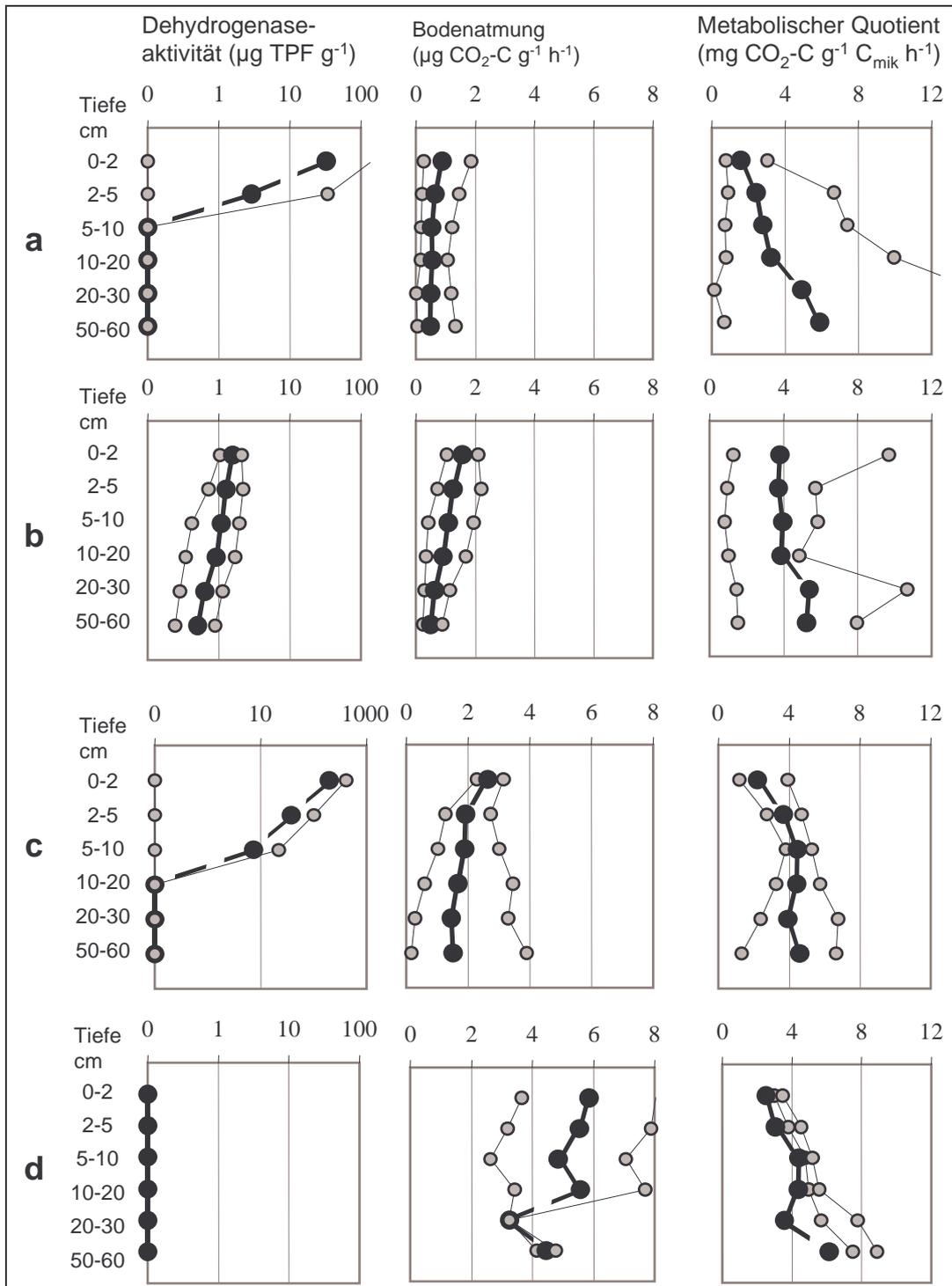


Abb. 14: Variationsbereiche (Minima, geometrische Mittel und Maxima) und Tiefengradient: 0-2, 2-5, 5-10, 10-20, 20-30, 50-60 cm der Dehydrogenasenaktivität, Bodenatmung und des Metabolischen Quotienten in a) Kipp-Sanden, b) Kipp-Lehmen, c) Kipp-Tonen und d) Kipp-Kohleschluffen

Zwischen den Standorten bestehen hinsichtlich der Höhe dieser Parameter im Ah-Horizont und deren konformen oder nichtkonformen Entwicklung eindeutige Unterschiede, die sich in Variationskoeffizienten von 32 % und 42 % widerspiegeln. Gleichsinnig für alle untersuchten Profile und Horizonte nahm die Bodenatmung mit der Tiefe ab und der Metabolische Quotient zu. Der Mittelwertunterschied zwischen den Ah- und C-Horizonten betrug entsprechend 40 % und 170 %. Zwischen der CO₂-Bildung und dem Metabolischen Quotienten einerseits sowie Kohlenstoffgehalt der Böden andererseits ließ sich kein Bezug herstellen.

Eine starke tiefenbezogene Abnahme wurde auch in den Untersuchungen der Dehydrogenasenaktivität ($\mu\text{g TPFg}^{-1}$) festgestellt. Bereits in einer Tiefe ab 5 cm wurden nur Werte bis maximal 54 % der Aktivität im Ah-Horizont festgestellt. Die Unterschiede zwischen den Substraten verursachten einen Variationskoeffizienten von 93 %. Die höchsten Werte von $198 \mu\text{g TPFg}^{-1}$ wiesen die Ah-Horizonte der Standorte auf Kipp-Tonen auf. Der Mittelwert aller Standorte von $57 \mu\text{g TPF g}^{-1}$ ist beträchtlich niedriger als der von natürlichen Böden, die z.B. in Ap-Horizonten ackerbaulich genützter Böden in Nord-Westdeutschland zwischen 129 und $222 \mu\text{g TPF g}^{-1}$ liegt (Beyer et al. 1992). Auch die spezifische Dehydrogenasenaktivität (Aktivität pro g Biomasse) ist niedriger und zeugt gemeinsam mit der erhöhten Atmung und dem hohen metabolischen Quotienten von einer durch r-Strategen dominierten mikrobiellen Gesellschaft.

Für die ökologische Einschätzung eines Standortes bezüglich seiner Potenziale eignen sich die Angaben zur Menge an mikrobieller Biomasse, welche für eine Flächeneinheit ($C_{\text{mik}} \text{ kg C m}^{-2}$ bzw. $C_{\text{mik}} \text{ kg C ha}^{-1}$) und eine bestimmte Tiefe kalkuliert wird, besser als die sonst üblichen Konzentrationsangaben in ($\mu\text{g C}_{\text{mik}} \text{ g}^{-1}$) oder ($\text{mg C}_{\text{mik}} 100 \text{ g}^{-1}$). Die auf diese Weise kalkulierten Werte zur Menge an mikrobieller Biomasse wurden substrat- und bodentypbezogen gruppiert. Diese Zusammenfassung in Gruppen lässt deutliche Unterschiede zwischen den Bodentypen und demzufolge den einzelnen Standorten erkennen (Tab. 13).

Tab. 13: Geometrische Mittelwerte (MW), Minima (Min) und Maxima (Max) der auf 1 ha kalkulierten C_{mik} -Menge in den oberen 10 cm und der Aktivitätsparameter Dehydrogenaseaktivität (DHA), Bodenatmung und Metabolischem Quotient ($q\text{CO}_2$) in den oberen 0-2 cm der untersuchten Bodentypen

Bodentyp	pH		C_{mik}			DHA			Bodenatmung	$q\text{CO}_2$
	CaCl ₂		kg C ha ⁻¹			$\mu\text{g TPF g}^{-1}$			$\mu\text{g CO}_2\text{-C g}^{-1} \text{ h}^{-1}$	$\text{mg CO}_2\text{-C g}^{-1} \text{ C}_{\text{mik}} \text{ h}^{-1}$
	n	MW	MW	Min	Max	MW	Min	Max	MW	MW
Kippsubstrate										
OL	5	5,90	247	171	603	5,3	0,0	14,3	0,61	1,79
OL-RQ/ sOL-RQ	7	4,92	361	119	1023	30,9	0,0	176,6	0,80	1,36
sOL-DD	1	6,98	1116	-	-	410,1	-	-	2,29	1,19
RZ	3	7,42	653	661	774	48,2	9,4	84,4	1,38	1,53
RQ	5	3,74	352	353	405	37,1	0,0	136,3	0,50	1,22
RQ-SS/ DDc-SS	2	7,36	628	614	642	76,7	15,7	137,7	1,99	2,10
SS-OL	1	7,50	823	-	-	27,3	-	-	1,85	1,63
SS-DDc	1	7,53	466	-	-	0,0	-	-	1,44	4,21
SG	1	7,26	450	-	-	126,1	-	-	1,72	2,24
Asche										
OL	1	7,29	263	-	-	0,0	-	-	3,15	3,92
RZ	3	7,28	496	507	665	44,0	0,0	131,9	4,29	2,42

Unabhängig vom Substrat wurde in den Lockersyrosemen (Delitzsch: Profile 2, 3, 5; Espenhain: Profile 1, 4; Spreetal-Spülraum: Profil 2) die niedrigste C_{mik} -Menge ermittelt. Eine voranschreitende Pedogenese wird durch die Zunahme des mikrobiellen C und der metabolischen Aktivität begleitet. Die höchsten Werte weisen Pararendzinen des Standortes Delitzsch (Profile 1, 6, 8) auf. Die kalkfreien Substrate in Lohsa (Profile 1, 2, 3) und Spreetal-Seidewinkel (Profile 1, 2) unterscheiden sich unwesentlich von den Lockersyrosemen. Eine Zunahme an Ton als auch der Bodenfeuchte, welche insbesondere in den Stauwasserböden beträchtlich ist (bis zu 60 Vol.-%), führen zur Entwicklung biomassereicher Oberböden auf den Standorten Delitzsch (Profil 9, 4) und Nochten (Profil 1, 5). Obwohl eine Beziehung zur Vegetation erwartet wurde, konnte eine Korrelation zwischen der C_{mik} -Menge und dem Gesamtdeckungsgrad lediglich für die Flächen in Espenhain festgestellt werden ($C_{\text{mik}} = 7,89 \times \text{Deckungsgrad} + 461$; $r = 0,87$, $p < 0,05$).

4.3 Biotoptypen in den Untersuchungsgebieten

4.3.1 Tagebau Nochten – NSG "Innenkippe"

Das Untersuchungsgebiet auf der Innenkippe Nochten ist durch eine hohe Biotoptypenvielfalt charakterisiert. Vorrangig liegt dies darin begründet, dass neben verschiedenen Gras- und Krautfluren, *Calamagrostis*-Beständen, Pionier- bzw. Vorwäldern und Aufforstungen auch temporäre und ausdauernde Kleingewässer zum Biotoptypeninventar zählen (Abb. 15). Die auf der Innenkippe Nochten vorgefundenen Gras- und Krautfluren können zum überwiegenden Teil den ausdauernden Gras- und Krautfluren auf frischen oder trockenen Standorten (KKPTL/D bzw. KKPML/D) zugeordnet werden. Diese Bestände werden durch z.B. *Hieracium pilosella*, *Leontodon autumnalis*, *Leontodon hispidus*, *Achillea millefolium*, *Poa compressa*, *Daucus carota*, *Festuca rubra*, *Festuca brevipila*, *Picris hieracioides*, *Taraxacum spec.*, *Epilobium tetragonum ssp. tetragonum*, *Trifolium arvense*, *Vicia tetrasperma*, *Vicia angustifolia*, *Melilotus alba* oder *Melilotus officinalis* geprägt. Da aber auch immer *Calamagrostis epigejos* zum Arteninventar zählt, sind die Übergänge zu *Calamagrostis*-Beständen (KKCTL/D bzw. KKCML/D) in der Regel fließend. Allerdings finden sich im westlichen Teil des Untersuchungsgebietes auch größere Bereiche mit *Calamagrostis*-Dominanzbeständen (KKCTDc). Im östlichen Teil des Gebietes sind außerdem kleinflächig Sandmagerasen (MMS) mit Übergängen zu Zwergstrauchheiden (MZC) ausgebildet. Die im Untersuchungsgebiet vorkommenden Kleingewässer sind überwiegend den Biotoptypen Ausdauernde Kleingewässer (GA), Temporäre Kleingewässer (GT) oder auch Flachgewässer (GF) zuzuordnen. In ihrem Uferbereich haben sich, entsprechend ihrer Wasserführung, z.T. breitere Schilfröhrichte (CRWP), Rohrkolbenröhrichte (CRWT), Binsenröhrichte (CRWJ) oder Röhrichte mit z.B. *Eleocharis palustris* (CRWZ) ausgebildet. Handelt es sich um ausdauernde Kleingewässer, konnte sich auch eine Makropyhtenvegetation herausbilden. In einigen Bereichen haben sich zudem Weidengebüsche (HGFW) etabliert. Zu den temporären Kleingewässern sind auch die z.T. ausgedehnten Wildschweinsuhlen zu zählen. Weite Bereiche des Untersuchungsgebietes sind durch eine dichte und vertikal reich strukturierte Gehölzsukzession (VPS) gekennzeichnet, die vorwiegend durch *Betula pendula*, *Populus tremula*, *Salix caprea*, *Pinus sylvestris* und *Hippophae rhamnoides* gebildet wird. Entsprechend des Deckungsgrades der Gehölze hat sich eine mehr oder weniger dichte Krautschicht herausgebildet, in der entweder *Calamagrostis epigejos* dominiert oder auch Gras- und Krautfluren mit *Melilotus alba*, *Melilotus officinalis*, *Hieracium pilosella* und weiteren Arten, die bei der Beschreibung des Biotoptyps KKP genannt wurden. Neben spontaner Gehölzsukzession gehören zum Untersuchungsgebiet aber auch Aufforstungen mit z.B. *Populus balsamifera*

(WLPF), *Amorpha fruticosa*, *Acer negundo* und *Caragana arborescens* (HGFMO) sowie *Hippophae rhamnoides* (HGFTH).

4.3.2 Tagebau Spreetal-NO – Spülraum I

Dieses Untersuchungsgebiet ist über weite Bereiche durch *Calamagrostis*-Bestände charakterisiert, die jedoch eine hohe Variationsbreite hinsichtlich Artenzusammensetzung, Deckungsgrad und Struktur aufweisen. Am weitesten verbreitet sind *Calamagrostis*-Bestände auf aschereichem Substrat, in denen Kräuter wie z.B. *Cirsium arvense*, *Reseda lutea*, *Carlina vulgaris*, *Centaurea stoebe*, *Diplotaxis tenuifolia*, *Echium vulgare*, *Oenothera spec.* oder *Psyllium arenarium* beigegeben sind (KKCML/Da). In einigen Bereichen sind auch verstärkt Gehölze, v.a. *Betula pendula* und *Pinus sylvestris*, am Vegetationsaufbau beteiligt, so dass hier bereits ein fließender Übergang zu Birken-Vorwäldern (VPS) zu beobachten ist. Insbesondere in den Randbereichen des Untersuchungsgebietes haben sich ausgedehnte Birken-Vorwälder entwickelt, die häufig durch eine grasreiche Krautschicht mit *Calamagrostis epigejos*, *Danthonia decumbens* oder verschiedenen *Festuca*-Arten charakterisiert sind. Hier finden sich an einigen Stellen auch individuenreiche Vorkommen von *Epipactis atrorubens*, *Ophrys apifera* oder *Botrychium matricariifolium*. Zudem weisen diese Bestände eine gut entwickelte Strauchschicht mit beispielsweise *Sorbus aucuparia*, *Populus tremula*, *Salix caprea* und *Robinia pseudoacacia* auf. Im zentralen Bereich des Untersuchungsgebietes sind aber auch größere Bereiche durch eine nur sehr spärliche Krautschicht mit einem Deckungsgrad von kleiner 10 % ausgewiesen, so dass diese dem Biotoptyp der vegetationsarmen Rohböden mit aschereichem Substrat (RRA) zuzuordnen sind (Abb. 16). Neben *Calamagrostis epigejos* siedeln hier z.B. *Phragmites australis*, *Echium vulgare* oder auch *Chaenorhinum minus*. Bei zunehmenden Deckungsgrad bilden sich Bestände aus, die den ausdauernden Gras- und Krautfluren (KKPML) zuzurechnen sind. Sie sind neben den zuvor genannten Arten noch durch *Tussilago farfara*, *Centaurea stoebe*, *Leontodon hispidus*, *Daucus carota* oder *Setaria viridis* gekennzeichnet.



Abb. 15: Ausdauernde Gras-Krautfluren und Gehölzsukzession sind für das NSG "Innenkippe Nochten" charakteristisch.



Abb. 16: Im Tagebau Spreetal NO, Spülraum I hat sich auf aschereichem Substrat eine nur lückige Vegetationsbedeckung herausgebildet.

4.3.3 Tagebau Spreetal-SO – Kippe Seidewinkel

Ähnlich wie der Truppenübungsplatz Lohsa ist auch das Untersuchungsgebiet Seidewinkel durch Trocken- und Magerbiotope sowie durch *Calamagrostis epigejos*-Fluren gekennzeichnet (Abb. 17). Allerdings ist die Gehölzsukzession in diesem Gebiet noch nicht so weit fortgeschritten. Je nachdem, ob entweder *Corynephorus canescens* oder verschiedene Kräuter

dominieren, können die Bestände den Silbergrasfluren (MMSGC) oder den von Kräutern dominierten Sandtrockenrasen (MMS) zugeordnet werden. Zu den am häufigsten vorkommenden Kräutern zählen beispielsweise *Hieracium pilosella*, *Helichrysum arenarium*, *Jasione montana*, *Rumex acetosella*, *Filago minima* oder *Teesdalia nudicaulis*. Diese Arten sind in der Regel auch in den *Calamagrostis epigejos*-Beständen (KKCTD bzw. KKCTL) anzutreffen. Nur selten sind *Calamagrostis epigejos* Monodominanz-Bestände (KKCTDc) ausgebildet. Kleinflächig sind im Untersuchungsgebiet auch Übergänge zu Zwergstrauchheiden mit einem höheren Deckungsgrad von *Calluna vulgaris* (MZC) anzutreffen, wobei in diesem Fall auch verstärkt Gehölze, v.a. *Betula pendula* und *Pinus sylvestris*, eine größere Rolle spielen. Für alle Biotoptypen gilt, dass Kryptogamen, sowohl Moose als auch Flechten, mit hoher Stetigkeit und Abundanz anzutreffen sind. Eine klare Grenzziehung zwischen den oben genannten Biotoptypen ist häufig nicht möglich, da bereits auf kleinem Raum ein Wechsel zwischen der Dominanz von *Corynephorus canescens*, verschiedenen Kräutern oder *Calamagrostis epigejos* zu verzeichnen ist. Auf kleinen Flächen wurden auch von *Festuca*-Arten dominierte Grasfluren (KKAG) verzeichnet. Auch in diesem Untersuchungsgebiet ist es wahrscheinlich, dass das kleinräumige Vegetationsmosaik z.T. auf ein durch Wildschweine verursachtes Störungsregime zurückzuführen ist.

4.3.4 Tagebau Lohsa – Ehemaliger Truppenübungsplatz

Dieses Untersuchungsgebiet ist im Wesentlichen durch verschiedene Trocken- und Magerbiotope mit wechselnden Anteilen spontaner Gehölzsukzession gekennzeichnet (Abb. 18). Häufig treten die verschiedenen Biotoptypen in enger Verzahnung miteinander auf. Diese kleinräumig wechselnden Vegetationsausprägungen sind einerseits sicherlich auf Einflüsse aus dem zurückliegenden militärischen Übungsbetrieb zurückzuführen, andererseits tragen auch die durch Wildschweine hervorgerufenen Störstellen zur Differenzierung der Vegetation bei. Weit verbreitet sind von Gräsern dominierte Magerrasen auf Sand (MMSG). Am häufigsten sind Silbergrasrasen (MMSGC), in denen neben *Corynephorus canescens* z.B. auch *Carex arenaria*, *Filago minima* oder *Hieracium pilosella* beigemischt sind. Darüber hinaus finden sich Magerrasen, die entweder von verschiedenen *Festuca*-Arten (MMSGF) oder *Agrostis capillaris* (MMSGA) geprägt sind. Weiterhin nehmen von Kräutern dominierte Magerrasen (MMSK) größere Bereiche ein, in denen häufig *Hieracium pilosella* höhere Deckungsgrade erreicht. Beigemischt sind außerdem z.B. *Hypochaeris radicata*, *Filago minima*, *Leontodon hispidus*, *Jasione montana* und *Helichrysum arenarium*. Außerdem sind auch von Kryptogamen dominierte Magerrasen (MMSY) auf größeren Bereichen zu finden. Neben den Sandmagerrasen nehmen kryptogamenreiche Zwergstrauchheiden (MZCy) größere Flächen ein. Hier sind jedoch auch immer Arten der Sandmagerrasen am Vegetationsaufbau beteiligt. Auf großen Flächen ist zudem ein starker Gehölzaufwuchs mit *Pinus sylvestris*, *Populus tremula*, *Robinia pseudoacacia*, *Cytisus scoparia* oder *Rubus fruticosus* agg. zu verzeichnen. Z.T. haben sich von *Populus tremula* dominierte Gehölzgruppen (HBH) etabliert, in denen Gräser (verschiedene *Festuca*-Arten oder *Calamagrostis epigejos*) die Krautschicht prägen. Ebenso finden sich dichte Ginstergebüsche (HGHTG). Stellenweise gelangt *Calamagrostis epigejos* zur Vorherrschaft (KKCTD bzw. KKCTL), wobei jedoch in den meisten Fällen Arten der Sandmagerrasen sowie Kryptogamen am Vegetationsaufbau beteiligt sind. Kleinflächig ist sowohl in den Sandmagerrasen, aber auch in den *Calamagrostis*-Beständen ein Eindringen von *Phragmites australis* zu verzeichnen.



Abb. 17: Die Kippe Seidewinkel im Tagebau Spreetal-SO ist durch Sandmagerrasen und Land-Reitgras-Fluren gekennzeichnet.



Abb. 18: Auf dem ehemaligen Truppenübungsplatz im Tagebau Lohsa bilden Zwergstrauchheiden und Sandmagerrasen ein kleinräumiges Mosaik.

4.3.5 Tagebau Espenhain – Brückenkippe Störmthaler See

Im südlichen Abschnitt ist diese Sukzessionsfläche überwiegend durch vegetationsfreie, sandige Rohbodensubstrate (RRS) charakterisiert (Abb. 19). Im nördlichen Bereich ist eine stärkere Vegetationsbedeckung, einschließlich Gehölzsukzession, anzutreffen. Ähnlich wie auf der Sukzessionsfläche "Grabschützer See" dominieren in den unterschiedlich geformten Rippentälern zumeist artenarme *Calamagrostis*-Bestände (KKCTL und KKCTD). Auf den Hang- und Plateaulagen der Schüttrippen haben sich trockene Gras- und Krautfluren mit überwiegend kurzlebigen Arten etabliert, die stellenweise Übergänge zu Magerrasen aufweisen (KKAT). Hiervon zeugen auch einzelne Vorkommen von Sand-Strohblume (*Helichrysum arenarium*) und Berg-Jasione (*Jasione montana*). In Folge der Grundwasserabsenkung existieren zur Zeit lediglich wenige temporäre Gewässer, demzufolge spielen Röhrichtbestände auf dieser Fläche kaum eine Rolle.

4.3.6 Tagebau Delitzsch-SW – Brückenkippe Grabschützer See

Die Brückenkippe ist durch ein kleinräumig wechselndes Mikrorelief und eine damit einhergehende heterogene Vegetationszusammensetzung charakterisiert (Abb. 20). Auf den Schüttrippen siedeln in erster Linie artenreiche, trockene Gras- und Krautfluren ausdauernder Arten (KKPT). Hinsichtlich ihrer Artenzusammensetzung weisen sie jedoch größere Unterschiede auf. So finden sich sowohl Bestände, die durch einzelne Arten, wie z.B. Bitterkraut (*Picris hieracioides*) oder Huflattich (*Tussilago farfara*) ausgewiesen sind, als auch stärker durch Gräser geprägte Bestände, u.a. mit Glatthafer (*Arrhenatherum elatius*), Trespe (*Bromus ssp.*) und Schwingel (*Festuca ssp.*). Daneben weisen einzelne Rippen eine nur sehr spärliche Vegetation auf. Bemerkenswert ist in diesem Untersuchungsgebiet das vereinzelt Auftreten von Silbergras (*Corynephorus canescens*) und der Sand-Strohblume (*Helichrysum arenarium*). In den Rippentälchen dominieren oftmals dichte und artenarme Land-Reitgrasfluren (KKCD), die zudem durch eine kompakte Moosschicht gekennzeichnet sind. An manchen Stellen ist die Gehölzsukzession bereits weit vorangeschritten. Nur kleinflächig und von untergeordneter Bedeutung sind gegenwärtig Schilfröhrichte (CRWP), die allerdings bei zukünftigem Grundwasseranstieg auch größere Flächen, ausgehend von den Rippentälchen, einnehmen können.

4.3.7 Tagebau Goitsche – Kippe Baufeld IIa

Das Untersuchungsgebiet ist durch Trocken- und Magerbiotope charakterisiert, wobei Silbergrasfluren (MMSGC) in verschiedenen Ausprägungen das Vegetationsbild bestimmen (Abb. 21). Dabei handelt es sich sowohl um artenarme Silbergrasfluren als auch um Silbergrasfluren mit einem höheren Kryptogamenanteil (MMSGCy). Stellenweise ist auch Gehölaufwuchs zu verzeichnen, obwohl entsprechende Keimlinge nur selten in den Vegetationsaufnahmen erfasst wurden. Des Weiteren finden sich Übergänge zu kräuter-dominierten, ausdauernden (Sand)Trockenrasen (KMSKH). Insbesondere die Sand-Strohblume (*Helichrysum arenarium*) und die Berg-Jasione (*Jasione montana*) sind mit einem vergleichsweise höheren Deckungsgrad zu verzeichnen. Kleinflächig eingestreut sind vegetationsarme Rohböden (RRS/RRK). Als weiterer Biotoptyp sind *Calamagrostis*-Bestände (KKCTL bzw. KKCTD) zu nennen, wobei das Land-Reitgras jedoch nur sehr kleinflächig Dominanzbestände ausbildet. Vielmehr ist in der Regel eine zweite Schicht aus verschiedenen Kräutern und Gräsern zu verzeichnen. Auffällig ist die oftmals "linienförmige" Anordnung der verschiedenen Biotoptypen, die auf die ehemalige Schüttrippenstruktur zurückgeführt werden kann. Ebenso spiegeln sich Fahrspuren im Vegetationsmuster von Silbergras deutlich wieder.



Abb. 19: Großflächige sandige Rohbodenstandorte im Tagebau Espenhain, Brückenkippe Störmthaler See.



Abb. 20: Schüttrippenkomplex im Tagebau Delitzsch-SW.



Abb. 21: Das Baufeld IIa im Tgb. Goitsche ist durch ausgedehnte Silbergrasfluren charakterisiert

Im Hinblick auf Arten- und Biotopschutzaspekte sind für alle einbezogenen Tagebaue insbesondere Sandmagerasen, Silbergrasfluren und Zwergstrauchheiden (jeweils in verschiedenen Ausbildungsformen und Übergangsstadien), vegetationsarme Rohböden, Kleingewässer mit unterschiedlicher Wasserführung einschließlich ihrer Röhrichtbestände sowie verschiedene Stadien der Gehölzsukzession hervorzuheben.

4.4 Vegetationskundliche Charakterisierung

4.4.1 Artenzusammensetzung

Zur Identifizierung sowohl von Artengruppen, die für jedes Tagebaugebiet charakteristisch sind, als auch von Artengruppen, die eventuell zu tagebauübergreifenden Vegetationstypen zusammengefasst werden können, wurden die für jedes Untersuchungsgebiet ermittelten Stetigkeitstabellen zusammengefasst und miteinander verglichen (Tab. 14). Dabei wird deutlich, dass jedes der sieben Untersuchungsgebiete eine eigenständige Artenkombination aufweist. Lediglich *Calamagrostis epigejos* kommt in allen Tagebaugebieten mit einer vergleichsweise hohen Stetigkeit vor. Eine weite Verbreitung, allerdings mit geringeren Stetigkeitswerten, zeigen *Conyza canadensis*, *Erigeron acris*, *Trifolium arvense*, *Hypericum perforatum*, *Pinus sylvestris* (K), *Achillea millefolium*, *Brachythecium rutabulum*, *Cladonia pyxidata* und *Cladonia subulata*.

Tab. 14: Stetigkeitstabelle der Untersuchungsgebiete (Ausschnitt)

Aufgelistet sind nur Arten, die in einem Untersuchungsgebiet mindestens die Stetigkeit I erreichen. Über die Stetigkeit wird das prozentuale Vorkommen einer Art in allen Vegetationsaufnahmen eines Tagebaugebietes angegeben. R = Vorkommen in 0 - 5 %; + = Vorkommen in 5 - 10 %; I = Vorkommen in 10 - 20 %; II = Vorkommen in 20 - 40 %; III = Vorkommen in 40 - 60 %; IV = Vorkommen in 60 - 80 %; V = Vorkommen in 80 - 100 %; K = Krautschicht, S = Strauchschicht, B = Baumschicht

Arten / Tagebau	Spülräum	Nochten	Delitzsch	Espenhain	Goitsche	Lohsa	Seidewinkel
<i>Calamagrostis epigejos</i>	V	V	IV	V	IV	III	V
<i>Conyza canadensis</i>	II	II	I	III	III	II	II
<i>Ceratodon purpureus</i>	III	III	II	III	IV	+	IV
<i>Erigeron acris</i>	I	III	III	II	I	I	.
<i>Hieracium pilosella</i>	II	IV	IV	.	IV	V	III
<i>Trifolium arvense</i>	R	III	R	II	III	.	II
<i>Hypericum perforatum</i>	II	+	I	.	I	R	I
<i>Pinus sylvestris</i> (K)	II	II	R	R	.	II	I
<i>Achillea millefolium</i>	R	III	II	.	R	.	I
<i>Brachythecium rutabulum</i>	I	III	III	R	.	+	II
<i>Poa compressa</i>	II	III	+	R	R	.	+
<i>Festuca brevipila</i>	+	IV	R	.	.	II	II
<i>Festuca rubra</i>	I	V	I	.	+	R	III
<i>Cladonia pyxidata</i>	I	II	.	II	II	IV	IV
<i>Cladonia subulata</i>	I	III	.	I	II	III	V
<i>Taraxacum spec.</i>	III	V	IV	IV	I	.	.
<i>Cirsium arvense</i>	II	II	III	I	+	R	.
<i>Daucus carota</i>	II	II	IV	+	+	.	.
<i>Trifolium repens</i>	II	II	I	+	R	.	.
<i>Betula pendula</i> (K)	I	I	R	III	.	.	.
<i>Betula pendula</i> (S)	+	I	R	II	.	.	.
<i>Epilobium angustifolium</i>	R	II	II	II	R	.	R
<i>Epilobium tetragonum</i> ssp. tetragonum	.	II	II	III	.	.	.
<i>Hieracium piloselloides</i>	I	+	III	V	II	.	R
<i>Tussilago farfara</i>	.	.	IV	II	R	.	.
<i>Picris hieracioides</i>	.	R	V	III	II	.	.
<i>Artemisia vulgaris</i>	.	.	III	R	II	.	.
<i>Rumex acetosa</i>	.	R	II	R	I	.	.
<i>Crepis capillaris</i>	.	.	+	I	+	.	.
<i>Hypochoeris radicata</i>	R	I	R	III	IV	IV	II
<i>Filago minima</i>	.	R	.	II	IV	V	II
<i>Helichrysum arenaria</i>	+	+	R	R	III	III	IV
<i>Rumex acetosella</i>	R	I	.	R	III	IV	V
<i>Corynephorus canescens</i>	.	R	R	.	V	IV	IV
<i>Bryum caespitium</i>	III	R	.	+	.	.	R
<i>Echium vulgare</i>	III	.	.	.	.	.	.
<i>Centaurea stoebe</i>	II	.	.	.	.	.	.
<i>Reseda lutea</i>	II	.	.	.	.	.	.
<i>Diplotaxis tenuifolia</i>	II	.	.	.	.	.	.
<i>Chaenorrhinum minus</i>	II	.	.	.	.	.	.

Fortsetzung Tab. 14

Arten / Tagebau	Spülraum	Nochten	Delitzsch	Espenhain	Goitsche	Lohsa	Seidewinkel
<i>Carlina vulgaris</i>	II	R	+	.	.	.	.
<i>Sonchus asper</i>	II	.	R	+	.	.	.
<i>Oenothera spec.</i>	II	R	.	.	I	R	.
<i>Setaria viridis</i>	II	.	.	.	.	R	.
<i>Phragmites australis</i>	II	+	R	.	.	+	.
<i>Leontodon hispidus</i>	I	IV	.	.	.	I	+
<i>Leontodon autumnalis</i>	R	III	.	R	.	.	.
<i>Hieracium laevigatum</i>	R	II	R	+	.	.	.
<i>Dactylis glomerata</i>	.	II	R	.	.	.	.
<i>Prunus serotina (K)</i>	+	II	R	.	.	.	.
<i>Cerastium semidecandrum</i>	R	II	.	.	R	.	II
<i>Plantago lanceolata</i>	.	I	R	.	R	R	R
<i>Plantago major</i>	.	I	.	.	.	.	.
<i>Pinus sylvestris (B)</i>	R	I	.	.	.	R	R
<i>Betula pendula (B)</i>	+	I	.	R	.	.	R
<i>Hippophae rhamnoides (S)</i>	.	I	R	.	+	.	.
<i>Medicago lupulina</i>	.	III	III	.	+	.	+
<i>Melilotus alba</i>	.	III	I	R	.	.	.
<i>Vicia angustifolia</i>	.	III	II	R	R	.	.
<i>Hippophae rhamnoides (K)</i>	.	II	I	R	R	.	.
<i>Vicia tetrasperma</i>	.	II	II	R	+	.	.
<i>Arrhenatherum elatius</i>	.	.	III	.	.	.	.
<i>Medicago x varia</i>	.	.	II	.	.	.	.
<i>Apera spica-venti</i>	.	.	II	.	.	.	.
<i>Bromus tectorum</i>	R	.	II	.	.	.	R
<i>Populus x canadensis (S)</i>	.	.	II	R	.	.	.
<i>Matricaria recutita</i>	R	R	II	.	I	.	.
<i>Vicia hirsuta</i>	.	+	II	R	R	.	.
<i>Poa angustifolia</i>	.	.	I	.	.	.	.
<i>Equisetum arvense</i>	.	.	I	.	R	.	.
<i>Inula conyzae</i>	.	.	I	R	.	.	.
<i>Pastinaca sativa</i>	.	.	I	.	R	.	.
<i>Solidago canadensis</i>	R	R	I	II	.	.	.
<i>Salix caprea (K)</i>	R	R	I	II	.	.	.
<i>Populus tremula (S)</i>	R	+	+	II	.	+	.
<i>Populus x canadensis (K)</i>	.	.	II	I	.	.	.
<i>Salix aurita (K)</i>	.	R	.	II	.	.	.
<i>Crepis tectorum</i>	.	R	R	III	.	.	.
<i>Centaureum erythraea</i>	R	I	.	II	.	.	.
<i>Senecio vernalis</i>	.	.	R	I	.	.	.
<i>Rosa spec. (K)</i>	.	R	R	I	.	.	.
<i>Epilobium parviflorum</i>	.	R	R	I	.	.	.
<i>Salix aurita (S)</i>	.	.	.	I	.	.	.
<i>Tanacetum vulgare</i>	+	R	.	.	II	.	.
<i>Oenothera ammophila</i>	.	.	.	.	II	.	.
<i>Rubus fruticosus agg.</i>	+	.	.	.	I	I	.
<i>Carex hirta</i>	R	R	.	.	+	II	.
<i>Calluna vulgaris</i>	.	R	.	.	.	III	+
<i>Cytisus scoparius (K)</i>	.	R	.	.	.	II	.
<i>Holcus mollis</i>	.	.	.	.	.	II	+
<i>Festuca psammophila</i>	.	.	.	.	.	II	.
<i>Cladonia cervicornis</i>	.	.	.	.	.	I	.
<i>Carex arenaria</i>	.	R	.	.	.	I	.
<i>Digitaria sanguinalis</i>	.	.	.	.	.	I	.
<i>Jasione montana</i>	R	R	.	R	R	III	IV
<i>Polytrichum piliferum</i>	R	R	.	+	+	V	IV
<i>Teesdalia nudicaulis</i>	.	.	.	.	.	I	III
<i>Psyllium arenarium</i>	R	.	.	.	.	R	I
<i>Scleranthus perennis</i>	.	.	.	.	R	R	I
<i>Spergula morisonii</i>	.	.	.	.	.	.	I
<i>Populus tremula (K)</i>	+	I	R	I	.	+	.
<i>Pinus sylvestris (S)</i>	+	+	.	R	.	I	R
<i>Arenaria serpyllifolia</i>	+	I	.	R	I	.	+
<i>Poa pratensis</i>	.	R	I	.	R	.	I
<i>Agrostis stolonifera</i>	R	R	+	R	.	I	.
<i>Cladonia pleurota</i>	.	R	.	.	.	+	I

Als charakteristische Artengruppe für die Untersuchungsgebiete Spülraum, Nochten, Espenhain und Delitzsch können die Arten *Betula pendula* (K, S), *Cirsium arvense*, *Epilobium tetragonum* ssp. *tetragonum*, *Epilobium angustifolium*, *Daucus carota*, *Trifolium repens* und *Taraxacum spec.* genannt werden. In den westsächsischen Untersuchungsgebieten (Delitzsch, Espenhain und Goitsche) erreichen die Arten *Tussilago farfara*, *Picris hieracioides*, *Hieracium piloselloides*, *Rumex acetosa*, *Crepis capillaris* und *Artemisia vulgaris* eine höhere Stetigkeit. Hingegen haben *Rumex acetosella*, *Filago minima*, *Corynephorus canescens*, *Helichrysum arenarium* und *Hypochaeris radicata* ihren Verbreitungsschwerpunkt in den durch sandige Substrate geprägten Tagebaugebieten Goitsche, Lohsa und Seidewinkel. In den ostsächsischen Gebieten Lohsa und Seidewinkel sind außerdem *Jasione montana*, *Polytrichum piliferum* und *Teesdalia nudicaulis* mit höherer Stetigkeit anzutreffen. In Tab. 15 sind die in den Untersuchungsgebieten nachgewiesenen Arten aufgelistet, die in der Roten Liste des Freistaates Sachsen bzw. der BRD geführt oder gemäß Bundesartenschutzverordnung geschützt sind.

Tab. 15: Nachweise von gefährdeten und geschützten Arten in den Untersuchungsgebieten
RL = Rote Liste, BAV = Bundesartenschutzverordnung

RL Sachsen	RL BRD	BAV	Art	Spülraum	Nochten	Delitzsch	Espenhain	Goitsche	Lohsa	Seidewinkel
1	2		<i>Botrychium matricariifolium</i>	X	.	.	.	.	.	.
3			<i>Carlina vulgaris</i>	X	X	X	.	.	.	.
3			<i>Centaurium erythraea</i>	X	X	.	X	.	.	.
		§	<i>Dianthus deltoides</i>	.	X	.	.	.	.	.
3		§	<i>Epipactis atrorubens</i>	X	.	.	.	.	.	.
3	3		<i>Filago arvensis</i>	.	.	.	X	X	.	X
V	V		<i>Filago minima</i>	.	X	.	X	X	X	X
V		§	<i>Helichrysum arenaria</i>	X	X	X	X	X	X	X
3			<i>Hieracium bauhinii</i>	.	X	X	X	X	.	.
V			<i>Inula conyzae</i>	.	.	X	X	.	.	.
3			<i>Lathyrus tuberosus</i>	.	.	X	.	.	.	.
R		§	<i>Ophrys apifera</i>	X	.	.	.	.	.	.
V			<i>Securigera varia</i>	.	X	.	.	.	.	.
V			<i>Vulpia myuros</i>	.	.	X	.	X	.	.

4.4.2 Clusteranalyse

In einem nächsten Schritt wurden alle 407 Vegetationsaufnahmen mittels einer Clusteranalyse untersucht, um Hinweise auf tagebauübergreifende Vegetationseinheiten zu erhalten. Das Ergebnis der Klassifikation ist in Abb. 22 dargestellt und kann folgendermaßen zusammengefasst werden:

Auf einer ersten Ebene lassen sich drei Vegetationseinheiten voneinander trennen: Röhrichte, Sandtrockenrasen und trockene Gras-Kraut-Fluren, einschließlich *Calamagrostis epigjeos*-Bestände. Eine weitere Differenzierung der Röhricht-Bestände ist in der vorliegenden Arbeit nicht möglich, da der Schwerpunkt der Untersuchungen auf einer Analyse der Vegetationsverhältnisse in den terrestrischen Bereichen lag. Die Sandtrockenrasen können in zwei Gruppen aufgeteilt werden: in die Bestände der ostsächsischen Tagebaue (Seidewinkel und Lohsa) und in die Sandtrockenrasen des Tagebaus Goitsche. Auch die große Gruppe der Gras-Kraut-Fluren kann noch stärker differenziert werden. So ist auf der zweiten Ebene zunächst eine Differenzierung in überwiegend von *Calamagrostis epigjeos* geprägte

Bestände und in Gras-Kraut-Fluren möglich, wobei letztere z.T. eine deutliche Gehölzsukzession oder auch einen höheren Deckungsanteil an *Calamagrostis epigejos* aufweisen. Auf der nächsten Ebene spiegelt sich erneut die Zugehörigkeit zu den verschiedenen Untersuchungsgebieten wieder. So setzt sich die Gruppe der *Calamagrostis epigejos*-Bestände überwiegend aus Vegetationsaufnahmen aus dem Tagebau Nochten zusammen. Eine weitere Untergliederung basiert vor allem auf dem Anteil an Gehölzen in der Kraut- und Strauchschicht. Lediglich die Gruppe der *Calamagrostis*-Dominanzbestände umfasst Vegetationsaufnahmen aus verschiedenen Tagebaugebieten.

Auch in der Gruppe der Gras-Kraut-Fluren ist eine Differenzierung entsprechend der Zugehörigkeit zu verschiedenen Untersuchungsgebieten zu erkennen. Moosreiche *Calamagrostis*-Bestände, z.T. mit Übergängen zu Gras-Kraut-Fluren, finden sich überwiegend im Tagebau Delitzsch-SW und im Tagebau Nochten. Demgegenüber sind *Calamagrostis*-Fluren mit Arten der Gras-Kraut-Fluren vor allem in den Untersuchungsgebieten Spülraum I und Espenhain anzutreffen, wohingegen Übergänge zu Sandtrockenrasen auf die Gebiete Seidewinkel und Lohsa beschränkt sind. Gras-Kraut-Fluren mit einem hohen Deckungsanteil von *Tussilago farfara* oder *Arrhenatherum elatius* finden sich v.a. im Tagebau Delitzsch-SW, während Gras-Kraut-Fluren mit einem zwar geringen, aber stetigen Vorkommen von *Calamagrostis epigejos* oder Gehölzjungwuchs für das Untersuchungsgebiet im Tagebau Espenhain charakteristisch sind. Sehr lückige Gras-Kraut-Fluren, auch in diesem Fall z.T. wieder mit einem geringen Deckungsgrad an *Calamagrostis epigejos*, finden sich v.a. in den Untersuchungsgebieten Delitzsch, Espenhain und Spülraum I.

Auch die Lage der Vegetationsaufnahmen auf den zwei Brückenkippen (Rippental bzw. Rippenkuppe oder -hang) spiegelt sich in der Zugehörigkeit zu verschiedenen Klassen wieder. In den Tallagen dominieren entweder *Calamagrostis*-Dominanzbestände (Tagebau Espenhain) oder moosreiche *Calamagrostis*-Bestände (Tagebau Delitzsch-SW), während in Hang- oder Kuppenlage vielfach unterschiedliche Gras-Kraut-Fluren die Vegetation prägen.

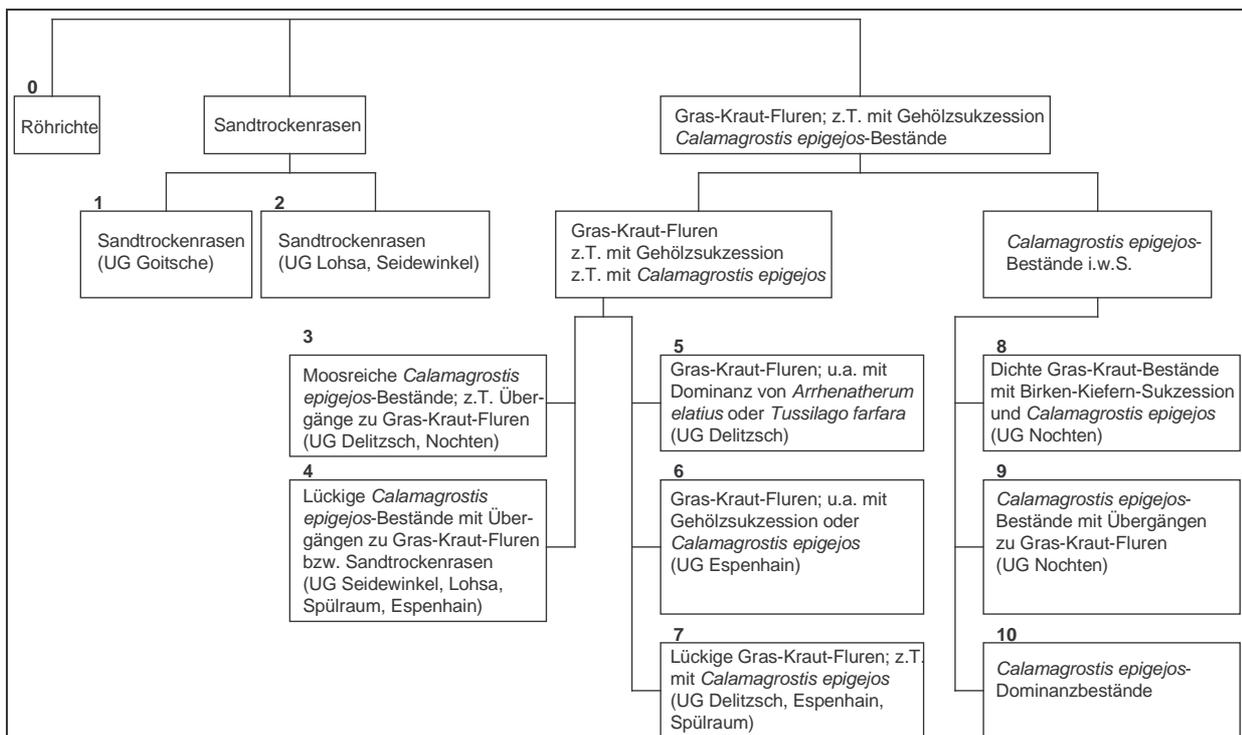


Abb. 22: Ergebnis der Clusteranalyse von 407 Vegetationsaufnahmen (Minimum Increase of Variance, quadrierte euklidische Distanz)

4.4.3 Ordination

In einem ersten Schritt wurde der gesamte Datensatz mittels Ordinationsverfahren analysiert, um festzustellen, ob sich tagebauübergreifende Umweltgradienten ermitteln lassen, die für das Vorkommen der einzelnen Arten ausschlaggebend sein können und die als Basis für weitergehende Sukzessionsprognosen Verwendung finden können. Die Röhricht-Bestände wurden in den folgenden Auswertungen nicht weiter berücksichtigt, da sie in ihrer Artenzusammensetzung zu stark von allen anderen Vegetationsaufnahmen abweichen. Sie hätten somit einen zu starken Einfluss auf die Ergebnisse genommen.

4.4.3.1 Indirekte Ordination (DCA)

Die Analyse von 386 Vegetationsaufnahmen mittels indirekten Ordinationsmethoden zeigt, dass die sieben Untersuchungsgebiete in dem von den ersten beiden Ordinationsachsen aufgespannten Diagramm relativ gut voneinander abgrenzbar sind (vgl. Abb. 23, Tab. 14). Das entspricht auch den Ergebnissen der vegetationskundlichen Tabellenarbeit (vgl. Kap. 4.4.1). Lediglich die drei Gebiete Goitsche, Lohsa und Seidewinkel zeigen stärkere Übergangsbereiche. Dass die Vegetationsaufnahmen der Gebiete Espenhain und Spülraum in dem Ordinationsdiagramm eng verzahnt erscheinen, ist auf die zweidimensionale Darstellung zurückzuführen. Eine Differenzierung dieser zwei Gebiete ist über die dritte Ordinationsachse möglich.

Da eine Darstellung aller 161 Arten im Ordinationsdiagramm nicht möglich ist, wurden in der Abb. 23 lediglich die Arten dargestellt, die den größten Einfluss auf die Berechnung des Ordinationsmodells haben. Dabei zeigt sich, dass die durch Sandtrockenrasen geprägten Untersuchungsgebiete durch z.B. *Jasione montana*, *Helichrysum arenarium*, *Rumex acetosella*, *Corynephorus canescens*, *Filago minima*, *Polytrichum piliferum* und *Calluna vulgaris* charakterisiert sind. Dagegen haben in den Gras-Kraut-Fluren *Trifolium repens*, *Taraxacum spec.*, *Cirsium arvense*, *Daucus carota*, *Picris hieracioides*, *Tussilago farfara* und *Arrhenatherum elatius* ihren Schwerpunkt. Insgesamt kann durch das in Abb. 23 dargestellte Ordinationsdiagramm ca. 16 % der Variabilität in dem Datensatz erklärt werden.

Im folgenden werden die Ordinationsachsen als Umweltgradienten interpretiert. Daraus lassen sich Hinweise auf mögliche Variablen ableiten, die für das Vorkommen einzelner Arten in den verschiedenen Untersuchungsgebieten ausschlaggebend sein könnten. Als eine erste Annäherung können aus dem Wissen über die ökologischen Ansprüche der einzelnen Pflanzenarten und unter z.B. der Verwendung von Ellenbergschen Zeigerwerten (Ellenberg et al. 1992) Rückschlüsse auf Umweltvariablen gezogen werden, die zu einer Differenzierung der Artenzusammensetzung beitragen. Es wurden deshalb die mittleren Zeigerwerte (Feuchte-, Reaktions- und Stickstoffzahl) für jedes Untersuchungsgebiet berechnet (vgl. Tab. 16). Ein Vergleich dieser Werte mit dem Ordinationsdiagramm in Abb. 23 zeigt entlang der ersten Achse eine Zunahme sowohl der Feuchtezahl als auch der Reaktions- und Stickstoffzahl. Dementsprechend kann in einer ersten Näherung ein Feuchtegradient (z.B. auf Grund von Veränderungen in der Bodenart), aber auch eine Erhöhung des pH-Wertes sowie eine bessere Stickstoffversorgung für die Anordnung der Vegetationsaufnahmen entlang der ersten Achse vermutet werden.

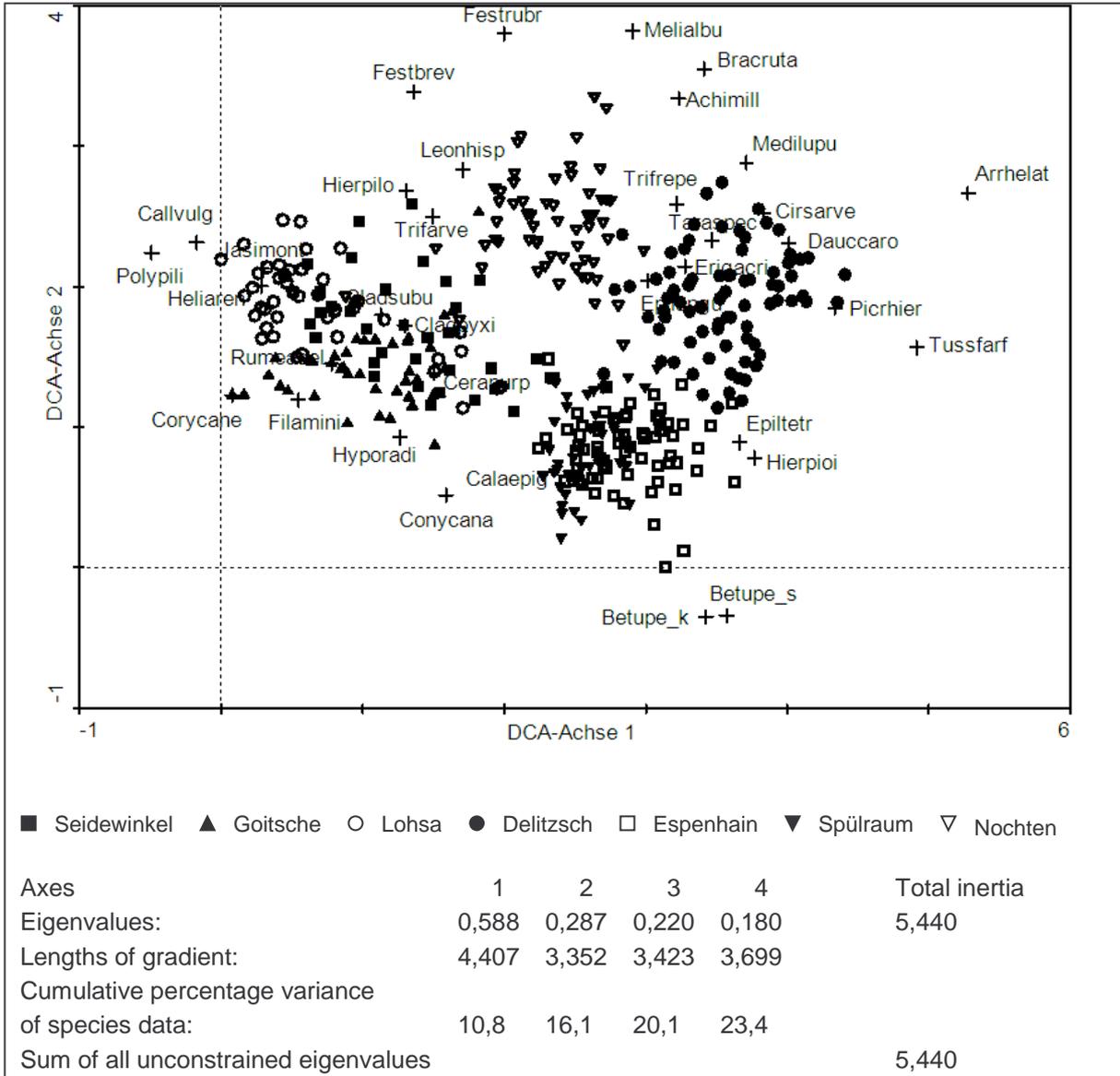


Abb. 23: Indirekte Ordination (DCA) des gesamten Datensatzes (386 Vegetationsaufnahmen, 161 Arten). Artenabkürzungen s. Anhang 1.

Tab. 16: Mittlere Zeigerwerte für die Untersuchungsgebiete

Tagebau	Lohsa	Goitsche	Seidewinkel	Nochten	Spülraum	Espenhain	Delitzsch
F-Zahl	3.1	2.5	3.0	4.4	4.8	4.2	4.8
R-Zahl	2.5	3.6	3.1	5.7	6.7	6.4	7.3
N-Zahl	2.6	2.7	3.5	4.0	5.5	5.3	5.0

Um diese Vermutungen zu testen, wurde wiederum eine DCA-Ordination durchgeführt, bei der jedoch nach einer Berechnung der Species- und Sample-Scores eine Regression der resultierenden Ordinationsachsen mit den verfügbaren Umweltvariablen durchgeführt wurde. (Im Gegensatz zu den direkten Ordinationsverfahren, wo zur Berechnung der Ordinationsachsen die Vegetationsaufnahmen direkt mit den Umweltvariablen in Verbindung gesetzt werden.) Dabei zeigte sich, dass die erste Achse u.a. als Abbild der Korngrößenverteilung von Sand zu Schluff interpretiert werden kann. Es kann deshalb vermutet werden, dass die damit verbundenen Unterschiede in der Wasserversorgung sich auch in einer Erhöhung der Feuchtezahl entlang der ersten Achse widerspiegeln. Des weiteren kann die erste Achse

als ein pH-Wert-Gradient [eng korreliert mit der Basensättigung (V-Wert) und dem CaCO_3 -Gehalt] beschrieben werden. Diese Beobachtung geht konform mit einer Erhöhung der Reaktionszahl entlang der ersten Achse. Aber auch die zweite Achse weist Korrelationen mit der Bodenart auf, erkennbar an den negativ mit dieser Achse korrelierten Variablen Luftkapazität und Trockenrohdichte. Darüber hinaus kann aber auch ein Nährstoffgradient vermutet werden, was z.B. durch eine negative Korrelation der 2. Achse mit den Variablen Gehalt an Gesamtstickstoff und organischer Substanz zum Ausdruck kommt.

4.4.3.2 Indirekte Ordination (DCA) unter Einbeziehung von Covariablen

Basierend auf den Ergebnissen der Cluster-Analyse und der indirekten Ordination wurde im Anschluss untersucht, ob die herausgearbeiteten Gradienten auch dann erhalten bleiben, wenn der Einfluss von Autokorrelation bei der Berechnung des Ordinationsmodells berücksichtigt wird. Zu diesem Zweck wurde eine partielle Ordination durchgeführt, wobei die Zugehörigkeit zu einem Untersuchungsgebiet als Covariable kodiert wurde.

Im Ergebnis (Tab. 17) zeigt sich, dass der durch dieses Datenmodell erklärte Varianzanteil von 9,0 % auf den ersten zwei Ordinationsachsen deutlich unter dem liegt, der ohne Berücksichtigung von Autokorrelation ermittelt wurde (16,1 %), wobei die Covariablen bereits 26,5 % der Varianz im Datensatz erklären. Ebenso sinkt der Eigenwert der ersten Achse von 0,588 auf 0,200. Es ist deshalb davon auszugehen, dass die Zugehörigkeit zu den verschiedenen Untersuchungsgebieten großen Einfluss auf die in den Vegetationsaufnahmen dokumentierte Artenzusammensetzung nimmt.

Tab. 17: Ordinationsstatistik der partiellen indirekten Ordination (DCA); 386 Vegetationsaufnahmen, 161 Arten; Berücksichtigung der Zugehörigkeit zu einem Untersuchungsgebiet als Covariable

Axes	1	2	3	4	Total inertia
Eigenvalues	0,200	0,158	0,138	0,114	5,440
Length of gradient	2,507	3,200	2,196	2,133	
Cumulative percentage variance of species data	5,0	9,0	12,4	15,3	
Sum of all unconstrained eigenvalues					3,988

Durch eine nachträgliche Regression der Ordinationsachsen mit den Umweltvariablen konnte auch in diesem Fall gezeigt werden, dass die bereits zuvor ermittelten Umweltgradienten im Wesentlichen erhalten bleiben, wenn auch in schwächerer Ausprägung. So lässt sich wiederum entlang der ersten Achse ein pH-Wert-Gradient bzw. ein Gradient im Hinblick auf die Bodenart herausarbeiten, wohingegen entlang der zweiten Achse ein Gradient mit Bezug auf organische Substanz, mikrobielle Aktivität sowie Bodenart zu vermuten ist.

4.4.3.3 Direkte Ordination

In einem nächsten Schritt wurden mittels direkten Ordinationsverfahren die Umweltvariablen mit den Vegetationsaufnahmen unmittelbar in Beziehung gesetzt. Da jedoch viele der gemessenen Umweltvariablen positiv bzw. negativ korrelieren und somit redundante Informationen beinhalten, die eine Interpretation der Ergebnisse erschweren, erfolgte zunächst eine Reduzierung der Variablen. Dazu wurden in einem ersten Schritt alle Erklärungsvariablen paarweise korreliert. Dabei zeigte sich, dass insbesondere die Variablen S-Wert (austauschbare Metallkationen und Ammonium); austauschbare Kationen (Ca, Na, Mg, K); Saugspannung (pF 1,8, pF 2.5, pF 4.2, pF 4.7) sowie Festsubstanzdichte und gesättigte hydrologische Leitfähigkeit redundante Informationen zu z.B. H-Wert (hydrolytisch wirkende Ionen, H^+ , Al^{3+}), T-Wert (Kationenaustauschkapazität), Bodenart, Luftkapazität, nutzbare Feldkapazität sowie

Trockenrohdichte aufweisen. Die Variablen S-Wert, austauschbare Kationen, Saugspannung, Festsubstanzdichte und hydrologische Leitfähigkeit wurden deshalb in allen folgenden Analysen nicht weiter berücksichtigt. In einem zweiten Schritt wurde eine Hauptkomponentenanalyse unter Zentrieren und Standardisieren der Variablen zu Zero Mean und Unit Variance mit den noch verbleibenden Erklärungsvariablen durchgeführt. Auf diese Weise wurden die folgenden Hauptkomponenten ermittelt:

1. Komponente:

- Bodenart (Schluff, Sand, Skelett, nutzbare Feldkapazität, Trockenrohdichte)
- Säure-Basen-Haushalt: (pH-Wert, V-Wert, T-Wert, Kalkgehalt)
- "Nährstoff"-Versorgung (Gesamtstickstoff, organische Substanz, pflanzenverfügbares Magnesium und Kalium, Bodenatmung, mikrobielle Biomasse)
- Gesamtschwefel

2. Komponente:

- Säure-Basen-Haushalt (pH-Wert, V-Wert, H-Wert, Kalkgehalt)
- Dehydrogenase-Aktivität, Metabolischer Quotient

3. Komponente

- Bodenart (Ton, Luftkapazität)

In einem dritten Schritt wurden für alle weiteren Analysen mittels Vorwärtsselektion und dem Wissen aus den bisher durchgeführten Untersuchungen die relevanten Variablen für den jeweiligen Datensatz ermittelt. Dabei zeigte sich, dass, bis auf Dehydrogenase-Aktivität, Metabolischer Quotient und Flächenalter, jede Variable für sich alleine betrachtet (Marginal Effect) einen signifikanten Erklärungswert ($p < 0,001$) im Hinblick auf die Vegetationszusammensetzung hat. In das verbleibende Modell für den gesamten Datensatz konnten unter Berücksichtigung des Conditional Effect, nur die folgenden neun Variablen statistisch gesichert ($p < 0,05$) aufgenommen werden: Sand, Skelett, mikrobielle Biomasse, organische Substanz, Gesamtstickstoff, pH-Wert, Kalkgehalt, pflanzenverfügbare Phosphor, Gesamtschwefel.

4.4.3.4 Direkte Ordination (CCA) unter Einbeziehung von Covariablen

Im Anschluss wurde eine direkte Ordination (CCA) unter Einbeziehung von 386 Vegetationsaufnahmen, 161 Arten, 9 Umweltvariablen und Berücksichtigung der Zugehörigkeit zu einem Untersuchungsgebiet als Covariable durchgeführt. Aus der Ordinationsstatistik in Tab. 18 geht hervor, dass die Varianz in dem Gesamtdatensatz nur zu einem sehr geringen Prozentsatz durch die einbezogenen Umweltvariablen erklärt werden kann (3.4 % auf den ersten beiden Achsen; selbst bei einer Einbeziehung aller 33 zur Verfügung stehenden Umweltvariablen würde dieser Anteil nur auf 4.8 % ansteigen).

Tab. 18: Ordinationsstatistik CCA; 386 Vegetationsaufnahmen, 161 Arten, 9 Umweltvariable, Zugehörigkeit zu einem Untersuchungsgebiet als Covariablen

Axes	1	2	3	4	Total inertia
Eigenvalues	0,075	0,063	0,049	0,034	5,440
Species-environment correlations	0,688	0,653	0,639	0,642	
Cumulative percentage variance					
- of species data	1,9	3,4	4,7	5,5	
- of species environment relation	24,5	45,1	61,1	72,2	
Sum of all unconstrained eigenvalues					3,988
Sum of all canonical eigenvalues					0,305

Demzufolge lassen sich aus dieser Analyse auch nur sehr grobe Tendenzen bezüglich des Einflusses einzelner Umweltvariablen auf die Vegetationsdifferenzierung ableiten. Bei einer Interpretation des in Abb. 24 dargestellten Ordinationsdiagramms ist außerdem zu berücksichtigen, dass die verschiedenen Variablen nicht ausschließlich auf eine Ordinationsachse, sondern in den meisten Fällen auf zwei Achsen laden (wie z.B. Sand und Skelett auf die 1. und 3. Achse, Mikrobielle Biomasse und Organische Substanz auf die 1. und 2. Achse sowie organische Substanz und Gesamtstickstoff auf die 1., 2. und 3. Achse). Allerdings sind auch in diesem Fall die Gradienten "Bodenart", "pH-Wert" und "Organische Substanz, Gesamtstickstoff, mikrobielle Biomasse" erkennbar. Entsprechend dieser Gradienten sind v.a. die durch einen höheren Gehalt an organischer Substanz, Gesamtstickstoff und pflanzenverfügbaren Phosphor sowie die durch eine höhere mikrobielle Biomasse ausgewiesenen *Calamagrostis*-Dominanzbestände und moosreichen *Calamagrostis*-Bestände auf der linken Seite des Ordinationsdiagramms angeordnet. Die durch höhere pH-Werte charakterisierten Gras-Kraut-Fluren sowie die durch einen höheren Sandanteil ausgewiesenen Sandtrockenrasen liegen auf der rechten Seite im Ordinationsdiagramm. Eine weitergehende Differenzierung der Vegetationsaufnahmen erfolgt entlang der 2. Ordinationsachse v.a. über die Variablen organische Substanz und Gesamtschwefel, die positiv, sowie durch den Kalkgehalt und pflanzenverfügbaren Phosphor, die negativ auf diese Achse laden. Auf Grund der zweidimensionalen Darstellung ist es auch in diesem Fall nicht ohne weiteres möglich, die Sandtrockenrasen von den restlichen Beständen im Ordinationsdiagramm abzugrenzen, da Sand und Skelett auch auf die dritte Achse laden.

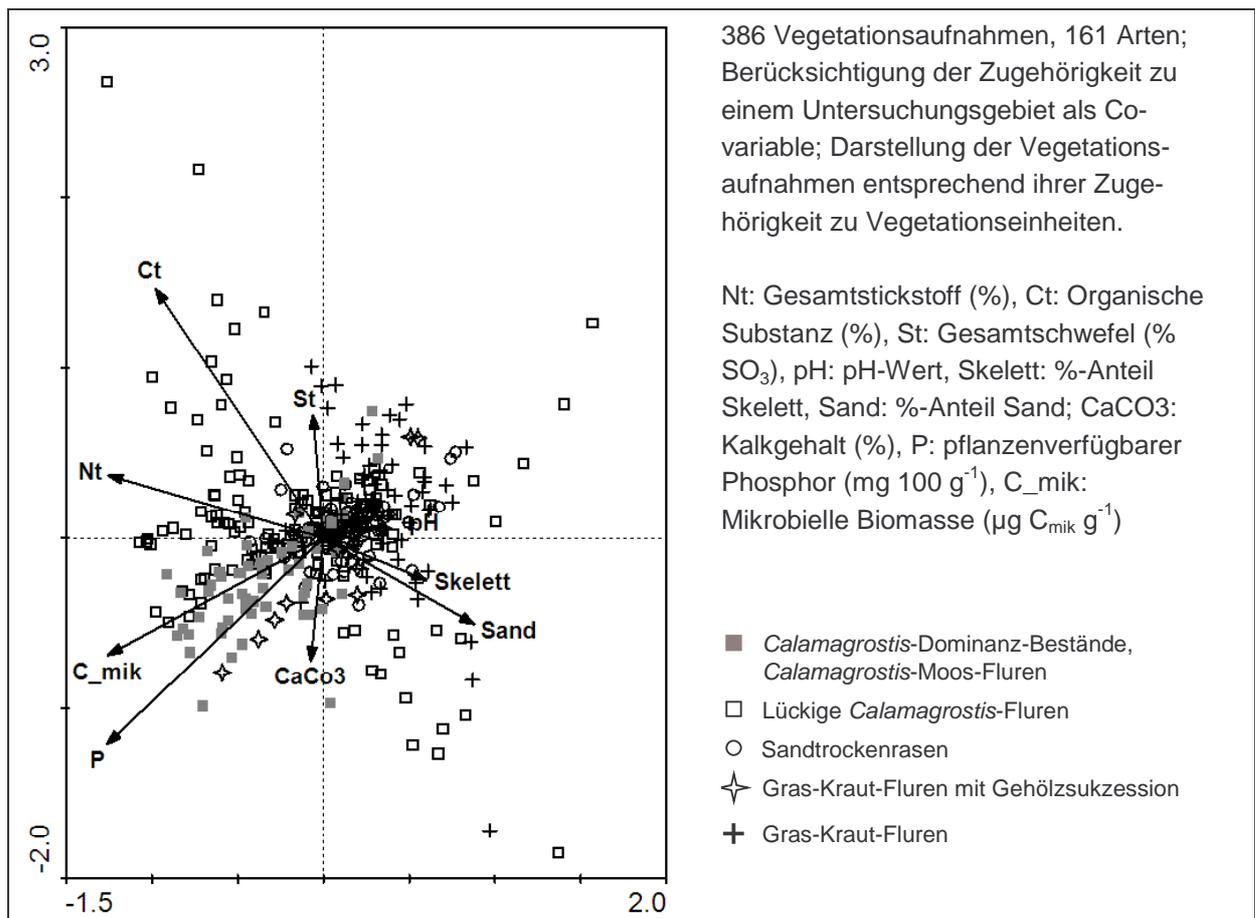


Abb. 24: Partielle direkte Ordination (CCA) des gesamten Datensatzes. Ordinationsstatistik s. Tab. 18

4.4.3.5 Partielle Ordination

In einem nächsten Schritt soll der Einfluss der unabhängigen Variablen unter folgenden Gesichtspunkten quantifiziert werden (vgl. z.B. Borcard & Legendre 1984, Borcard et al. 1992, Pan et al. 1998):

- Welcher Anteil an erklärter Varianz ist ausschließlich auf die lokal wirkenden Umweltvariablen zurückzuführen?
- Welcher Anteil an erklärter Varianz ist ausschließlich auf die Variable "Raum" (d.h. Zugehörigkeit der Vegetationsaufnahmen zu einem Untersuchungsgebiet) zurückzuführen?
- Welcher Anteil an erklärter Varianz ist den Umweltvariablen und der Variable "Raum" gemeinsam?
- Welcher Anteil bleibt an unerklärter Varianz?

Zur Ermittlung dieser unterschiedlichen Anteile wurden folgende Ordinationsmodelle berechnet:

- Direkte Ordination, in der ausschließlich die Umweltvariablen als Erklärungsvariable einbezogen werden;
- Direkte Ordination, in der ausschließlich die Zugehörigkeit zu den Untersuchungsgebieten als Erklärungsvariable einbezogen wird;
- Direkte Ordination mit Umweltvariablen als Erklärungsvariable und Zugehörigkeit zu den Untersuchungsgebieten als Covariable;
- Direkte Ordination mit der Zugehörigkeit zu den Untersuchungsgebieten als Erklärungsvariable und Umweltvariablen als Covariable;
- Direkte Ordination mit Umweltvariablen und Zugehörigkeit zu den Untersuchungsgebieten als Erklärungsvariablen.

Das Ergebnis dieser Analyse kann folgendermaßen zusammengefasst werden (Tab. 19, Abb. 25):

- Varianzanteil der ausschließlich auf die lokalen Umweltparameter zurückzuführen ist: 5.61%
- Varianzanteil der ausschließlich auf die Zugehörigkeit zum UG zurückzuführen ist: 8.74 %
- Varianzanteil der beiden Variablengruppen gemeinsam ist (a – c bzw. b – d): 17.97 %
- Nicht erklärter Varianzanteil: $100 - 32,32 = 67,68$

Tab. 19: Variance Partitioning; Umweltvariablen = Sand, Skelett, Mikrobielle Biomasse, Organische Substanz, Gesamtstickstoff, pH-Wert, Kalkgehalt, pflanzenverfügbarer Phosphor, Gesamtschwefel; UG = Zugehörigkeit zu einem Untersuchungsgebiet

	Erklärungsvariable	Covariable	Sum of all canonical eigenvalues	Sum of all unconstrained eigenvalues	Erklärter Varianzanteil (%)
a	Umweltvariablen	-	1,283	5,440	23,58
b	UG	-	1,452	5,440	26,59
c	Umweltvariablen	UG	0,305	3,988	5,61
d	UG	Umweltvariablen	0,473	4,156	8,74
e	Umweltvariablen, UG	-	1,756	5,440	32,32

Die Umweltvariablen erklären (ohne Berücksichtigung von Autokorrelation) ca. 23,6 % (a) der Varianz in dem Gesamtdatensatz. Allerdings können ca. $\frac{3}{4}$ dieses Anteils (18,0 %; a – c bzw. b – d) auch durch die räumliche Anordnung der Untersuchungsflächen erklärt werden. Hingegen ist lediglich 5,6 % (c) der Varianz in dem Datensatz ausschließlich auf die vor Ort

wirkenden Umweltvariablen zurückzuführen. Ca. 8,7 % (d) sind ausschließlich durch die Zugehörigkeit zu einem Untersuchungsgebiet bedingt. Der hohe Anteil an nicht erklärter Varianz (67,7 %; $100 - e$) ist auf bislang unberücksichtigte oder auch nur schwer erfassbare Parameter zurückzuführen. Dabei könnte es sich z.B. um Zufallsereignisse bei der Wiederbesiedlung, den Einfluss des regionalen Arten-Pools oder auch das lokal wirkende Störungsregime (u.a. Wühltätigkeit von Wildschweinen oder Flächenbrände, wie z.B. im UG Spülraum I) handeln.

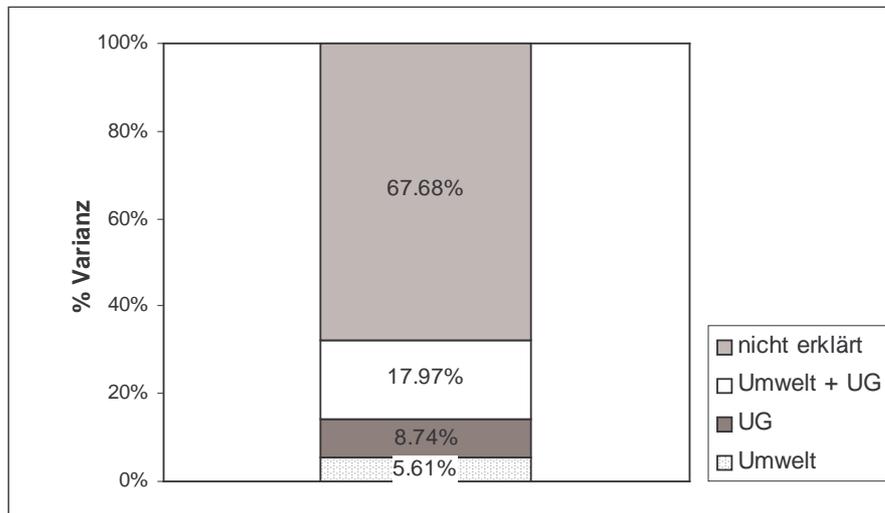


Abb. 25: Variance Partitioning; Umwelt = ausschließlich durch Umweltvariable erklärter Varianzanteil, UG = ausschließlich durch Zugehörigkeit zum Untersuchungsgebiet erklärter Varianzanteil, nicht erklärt = nicht erklärter Varianzanteil, Umwelt + UG = erklärter Varianzanteil, der beiden Gruppen von Erklärungsvariablen gemeinsam ist.

4.4.4 Analyse einzelner Untersuchungsgebiete

Ausgehend von dem nur geringen Beitrag der Umweltvariablen zur Varianzerklärung in dem Gesamtdatensatz (Tab. 18) wurden im Folgenden die verschiedenen Untersuchungsgebiete einzeln analysiert. Die jeweils relevanten Umweltvariablen, die signifikant zur Varianzerklärung beitragen, wurden mittels Vorwärtsselektion ermittelt.

4.4.4.1 Tagebau Spreetal-NO, Spülraum I

In Folge der ehemaligen Nutzung als Aschespülfläche hat sich in diesem Gebiet ein deutlicher Gradient im Hinblick auf die Bodenart herausgebildet (vgl. Abb. 26). Ausgehend von tonigem Sand in Wechsellagerung mit reinem Sand und schwach grusiger Schlacke am Einlauf (P4), über sandig lehmigem Schluff in nesterartiger Vermengung mit reinem Sand (P3), mittel schluffigem Ton und nesterartiger Vermengung mit reinem Sand (P2), bis hin zu stark tonigem Schluff (P1). Mit zunehmendem Schluff- und Tonanteil ist auch ein Anstieg des Gehalts an Organischer Substanz und Gesamtstickstoff sowie der Mikrobiellen Biomasse verbunden. Durch die in das Ordinationsmodell einbezogenen vier Umweltparameter können auf den ersten zwei Achsen 18,3 % der Varianz im Datensatz erklärt werden, wobei die erste Achse 15 % zur Varianzerklärung beiträgt.

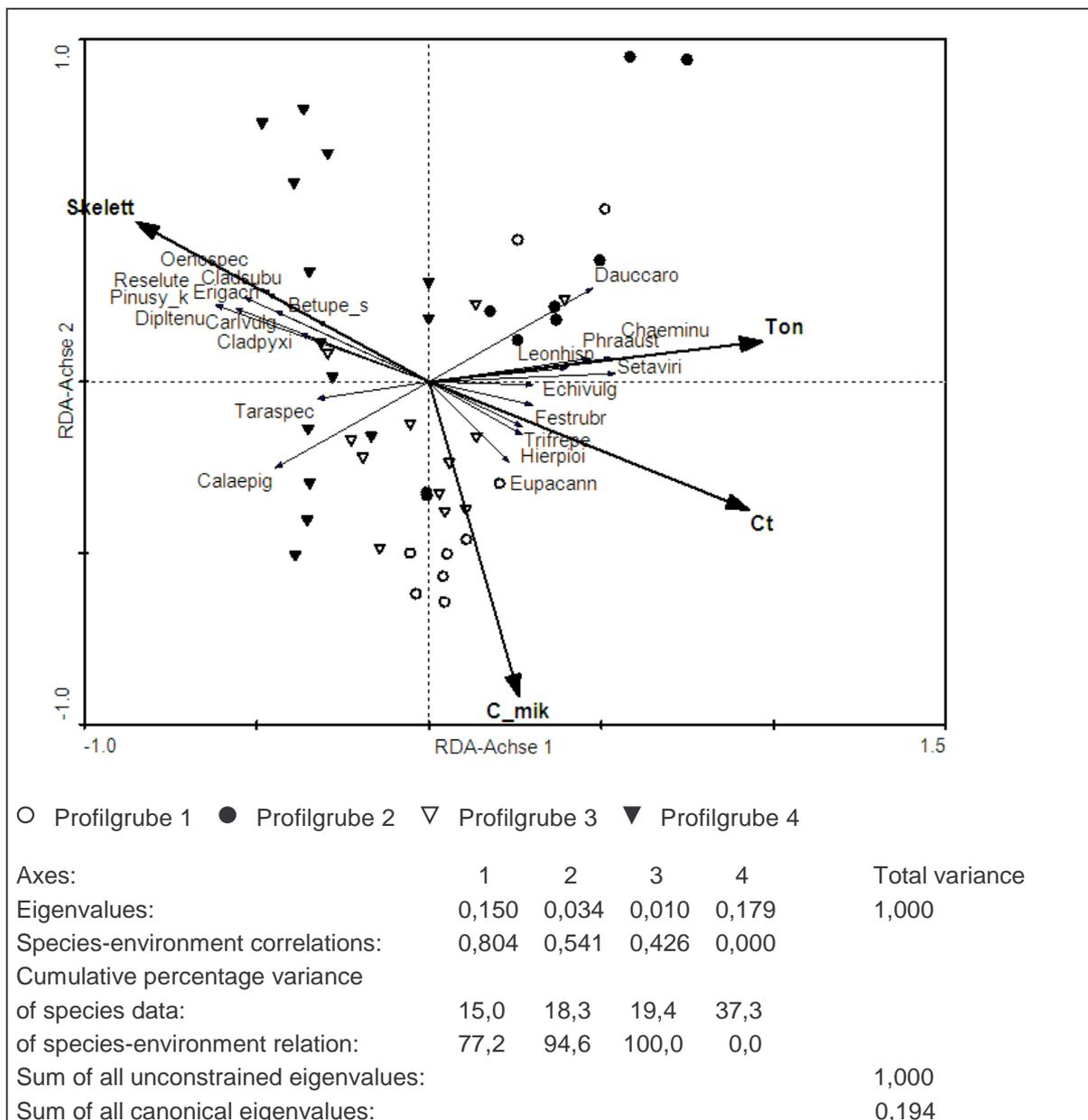


Abb. 26: Direkte Ordination (RDA); Tagebau Spreetal-NO – Spülraum I; 44 Vegetationsaufnahmen, 35 Arten; Klassifizierung der Vegetationsaufnahmen nach ihrer Zuordnung zu Profilgruben; Ct: Organische Substanz (%), Skelett: %-Anteil Skelett, Ton: %-Anteil Ton; C_mik: Mikrobielle Biomasse ($\mu\text{g C}_{\text{mik}} \text{g}^{-1}$). Artenabkürzungen s. Anhang 1.

Entlang dieses skizzierten Gradienten lässt sich auch ein Wechsel in der Vegetationszusammensetzung beobachten (vgl. Tab. 20): Während in den stärker tonig bis schluffig geprägten Bereichen *Eupatorium cannabinum*, *Sonchus asper*, *Echium vulgare*, *Phragmites australis*, *Chaenorhinum minus*, *Daucus carota*, *Centaurea stoebe*, *Setaria viridis*, *Conyza canadensis* und *Trifolium repens* ihren Verbreitungsschwerpunkt haben, sind für den durch sandiges Substrat gekennzeichneten Bereich *Taraxacum spec.*, *Reseda lutea*, *Diplotaxis tenuifolia* und *Pinus sylvestris* charakteristisch. Nur *Calamagrostis epigejos* ist im gesamten Untersuchungsgebiet mit hoher Abundanz und hohem Deckungsgrad anzutreffen.

Tab. 20: Ausschnitt aus der Stetigkeitstabelle, Tagebau Spreetal-NO – Spülraum I

Art	Profilgrube 1	Profilgrube 2	Profilgrube 3	Profilgrube 4
<i>Sonchus asper</i>	III	II	II	I
<i>Eupatorium cannabinum</i>	III	I	+	.
<i>Robinia pseudoacacia</i>	II	I	I	+
<i>Hieracium piloselloides</i>	II	II	I	.
<i>Leontodon hispidus</i>	II	II	.	.
<i>Phragmites australis</i>	III	IV	II	I
<i>Chaenorhinum minus</i>	III	IV	IV	+
<i>Daucus carota</i>	III	IV	II	II
<i>Centaurea stoebe</i>	II	IV	II	II
<i>Poa compressa</i>	II	III	.	II
<i>Setaria viridis</i>	III	V	III	+
<i>Conyza canadensis</i>	II	III	I	II
<i>Trifolium repens</i>	II	III	III	I
<i>Echium vulgare</i>	IV	IV	IV	II
<i>Festuca rubra</i>	II	II	II	.
<i>Calamagrostis epigejos</i>	V	V	V	V
<i>Taraxacum spec.</i>	III	I	III	IV
<i>Bryum caespiticium</i>	I	III	III	III
<i>Ceratodon purpureus</i>	I	II	III	II
<i>Reseda lutea</i>	.	I	III	IV
<i>Cirsium arvense</i>	II	II	II	III
<i>Diplotaxis tenuifolia</i>	.	.	III	IV
<i>Pinus sylvestris</i>	+	.	III	IV
<i>Oenothera spec.</i>	I	I	.	III
<i>Cladonia pyxidata</i>	+	.	.	III
<i>Carlina vulgaris</i>	.	.	I	III
<i>Cladonia subulata</i>	.	.	.	III
<i>Erigeron acris</i>	.	.	.	III
<i>Betula pendula</i>	.	.	.	II
<i>Hieracium pilosella</i>	II	I	+	II
<i>Hypericum perforatum</i>	II	I	+	II
<i>Festuca brevipila</i>	+	I	+	.

4.4.4.2 Planierte und durch sandige Substrate charakterisierte Untersuchungsgebiete

Zu den Untersuchungsgebieten, die überwiegend durch sandige Substrate gekennzeichnet sind und die zudem im Rahmen von Sanierungsmaßnahmen geplant worden sind, zählen:

- Kippe Seidewinkel (Tagebau Spreetal SO): reiner Sand, z.T. in Wechsellagerung mit schwach schluffigem Sand (P1) bzw. schwach toniger Sand in Wechsellagerung mit reinem Sand, sehr schwach kiesig (P2);
- Ehemaliger Truppenübungsplatz (Tagebau Lohsa): reiner Sand mit geringem Anteil an beigemengten Schluffbrocken (P1), reiner Sand, sehr schwach kiesig (P2), reiner Sand in Wechsellagerung mit schwach tonigem Sand (P3);
- Baufeld IIa (Tagebau Goitsche): reiner Sand in Wechsellagerung mit schwach tonigem Sand, mittel kiesig (P1), reiner Sand, z.T. in Wechsellagerung mit schwach tonigem Sand, mittel kiesig (P2).

Eine Analyse dieser Vegetationsaufnahmen erfolgte unter Einbeziehung der Zugehörigkeit zum jeweiligen Untersuchungsgebiet als Covariable. Aus Abb. 27 ist zu erkennen, dass auch in diesen Untersuchungsgebieten die Bodenart Einfluss auf die Artenzusammensetzung nimmt. Eine weitergehende Differenzierung ist über den pH-Wert sowie durch einen höheren Nährstoffgehalt (u.a. pflanzenverfügbarer Phosphor und Gesamtstickstoff) möglich, wobei ein höherer Phosphor-Gehalt auch mit einer höheren mikrobiellen Biomasse korreliert. Ins-

gesamt erklären die einbezogenen Umweltparameter 19,1 % der Varianz im Datensatz auf den ersten beiden Achsen.

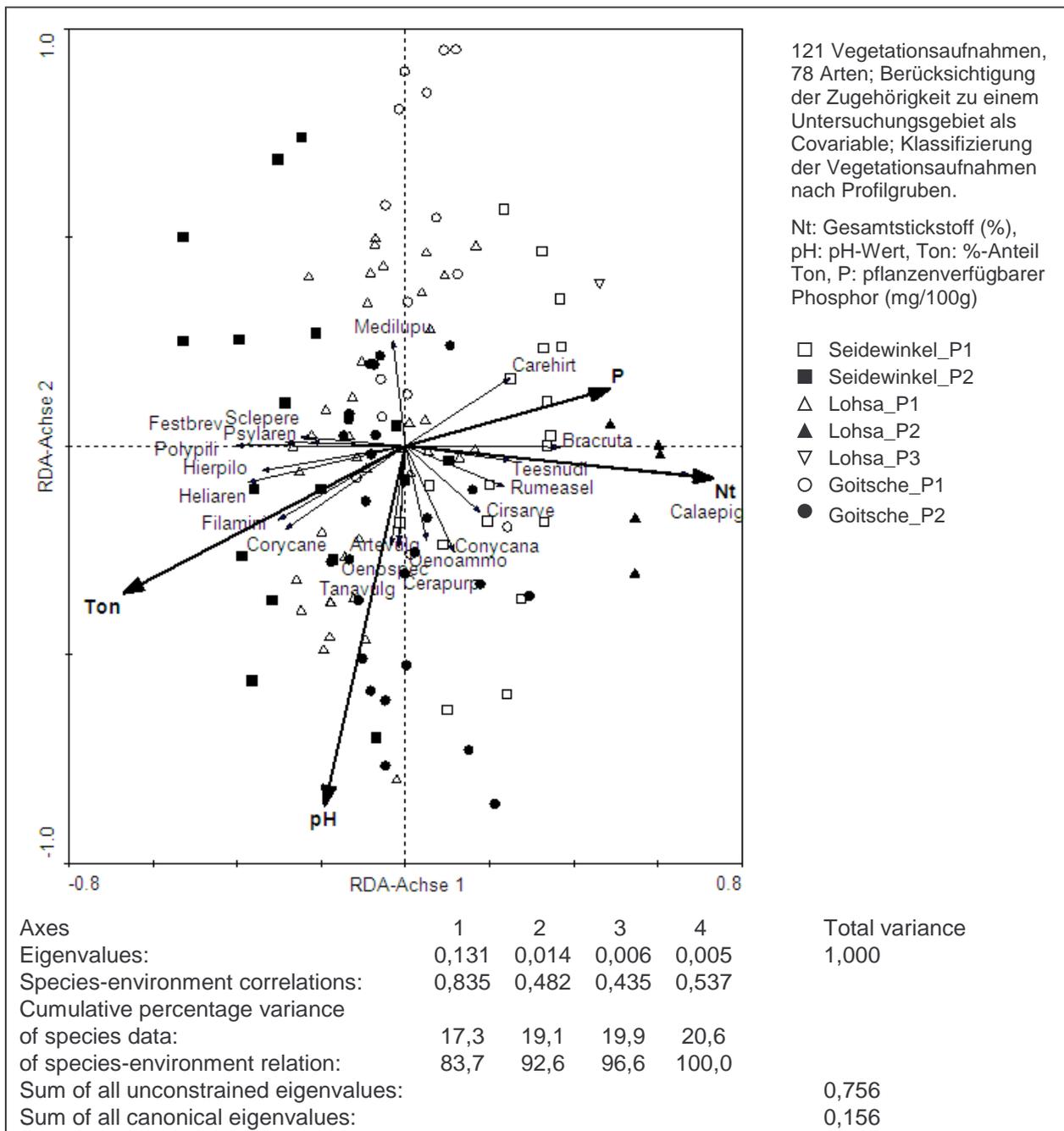


Abb. 27: Direkte Ordination (RDA), geplante Untersuchungsgebiete mit sandigen Substraten. Artenabkürzungen s. Anhang 1.

Sowohl aus dem Ordinationsdiagramm (vgl. Abb. 27) als auch aus der Korrelationsmatrix der Arten- und Umweltparameter ist zu entnehmen, dass z.B. *Festuca brevipila*, *Corynephorus canescens*, *Hypochaeris radicata*, *Helichrysum arenarium* und *Polytrichum piliferum* auf Substraten mit leicht erhöhtem Tonanteil, moosreichere Bestände mit *Ceratodon purpureus*, *Cladonia pyxidata*, *Brachythecium rutabulum* und *Teesdalia nudicaulis* dagegen eher auf rein sandigen Substraten mit höherer Abundanz und höherem Deckungsgrad vorkommen. *Calamagrostis epigejos* zeigt eine positive Korrelation sowohl mit der Bodenart "Sand" als auch mit einer besseren Nährstoffversorgung. Diese Zusammenhänge werden in der Stetigkeits-

tabelle (Tab. 21) allerdings durch den Einfluss der einzelnen Tagebaugebiete überlagert, so dass die o.g. Wechselbeziehungen kaum erkennbar sind.

Tab. 21: Ausschnitt aus der Stetigkeitstabelle, durch sandige Substrate geprägte sowie planierte Untersuchungsgebiete

Art	Goitsche G_P2	Goitsche G_P1	Seidewinkel S_P2	Lohsa L_P1	Seidewinkel S_P1	Lohsa L_P2
<i>Festuca brevipila</i>	.	.	III	II	+	I
<i>Corynephorus canescens</i>	V	V	V	IV	III	I
<i>Hypochaeris radicata</i>	V	III	III	IV	I	III
<i>Helichysum arenarium</i>	IV	II	V	III	III	III
<i>Hieracium pilosella</i>	V	II	V	V	II	V
<i>Polytrichum piliferum</i>	I	.	V	V	IV	III
<i>Ceratodon purpureus</i>	V	III	III	R	V	II
<i>Cladonia pyxidata</i>	II	I	IV	IV	V	V
<i>Teesdalia nudicaulis</i>	.	.	II	+	III	III
<i>Brachythecium rutabulum</i>	.	.	II	.	III	IV
<i>Calamagrostis epigejos</i>	IV	IV	V	III	V	V
<i>Rumex asetosella</i>	III	II	V	IV	V	V
<i>Cladonia subulata</i>	II	I	V	III	V	V
<i>Filago minima</i>	V	II	IV	V	I	V
<i>Conyza canadensis</i>	III	I	II	II	I	IV
<i>Trifolium arvense</i>	IV	II	II	.	II	.
<i>Hypericum perforatum</i>	II	+	II	R	+	I
<i>Jasione montana</i>	+	.	V	III	III	III
<i>Calluna vulgaris</i>	.	.	I	III	+	IV
<i>Pinus sylvestris (K)</i>	.	.	I	II	+	II

4.4.4.3 Tagebau Nochten – NSG "Innenkippe"

Da die Vegetationsaufnahmen auf der Innenkippe im Tagebau Nochten, die der Profilgrube 1 (reiner Sand) zugeordnet werden, infolge ihrer stark abweichenden Artenzusammensetzung einen zu großen Einfluss auf die Berechnung des Ordinationsmodells nehmen, wurden sie in die folgenden Analysen zunächst nicht mit einbezogen. Für die verbleibenden Flächen spielt eine Differenzierung nach der Bodenart kaum eine Rolle. Vielmehr leisten bodenchemische Kennwerte, wie z.B. die Versorgung mit pflanzenverfügbarem Phosphor oder auch der Kalkgehalt, einen höheren Beitrag zur Varianzerklärung (vgl. Abb. 28). Zurückzuführen ist dies wahrscheinlich auf die auf dieser Fläche durchgeführte Grundmelioration. Eine positive Korrelation mit dem Phosphor- und Kalkgehalt weisen die Variablen Organische Substanz, Gesamtstickstoff, Kalium, Magnesium, T-Wert und Mikrobielle Biomasse auf. Insgesamt kann durch die drei einbezogenen Variablen (pflanzenverfügbarer Phosphor, Kalkgehalt und mikrobielle Biomasse) 10,4 % der Varianz im Datensatz auf den ersten beiden Ordinationsachsen erklärt werden.

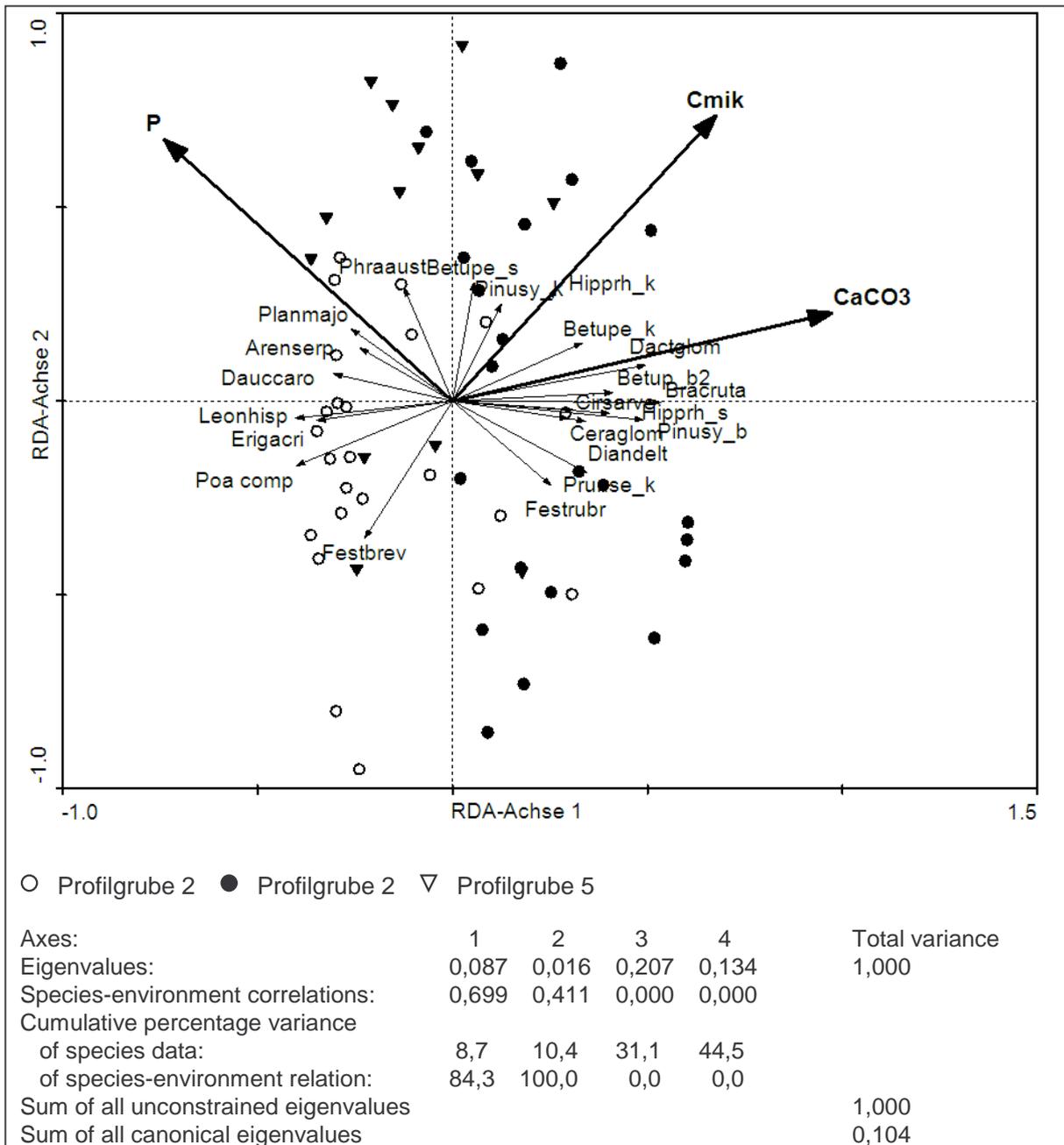


Abb. 28: Direkte Ordination (RDA), Tagebau Nochten – "Innenkippe"; 59 Vegetationsaufnahmen, 72 Arten; Klassifizierung der Vegetationsaufnahmen nach Profilgruben. CaCO₃: Kalkgehalt (%), C_{mik}: Mikrobielle Biomasse ($\mu\text{g C}_{\text{mik}} \text{g}^{-1}$), P: pflanzenverfügbare Phosphor ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$). Artenabkürzungen s. Anhang 1.

Neben zahlreichen Arten, die mit hoher Stetigkeit vorkommen, können im Wesentlichen zwei Artengruppen differenziert werden, die sich entlang des oben beschriebenen Gradienten anordnen (vgl. Tab. 22). So weisen *Plantago major*, *Arenaria serpyllifolia*, *Daucus carota*, *Leontodon hispidus*, *Erigeron acris*, *Poa compressa* und *Festuca brevipila* eher eine negative Korrelation zum Kalkgehalt bzw. zur Nährstoffversorgung auf. Hingegen korrelieren v.a. Gehölze eher positiv mit Kalkgehalt und Nährstoffversorgung, wie z.B. *Betula pendula*, *Pinus sylvestris*, *Prunus serotina* und *Hippophae rhamnoides*, ebenso wie einige Arten der Krautschicht, wie z.B. *Festuca rubra*, *Dactylis glomerata*, *Cirsium arvense* und *Brachythecium rutabulum*.

Tab. 22: Ausschnitt aus der Stetigkeitstabelle, Tagebau Nochten – NSG "Innenkippe"

Art	Profilgrube 2	Profilgrube 5	Profilgrube 3
<i>Brachythecium rutabulum</i>	II	IV	V
<i>Vicia angustifolia</i>	II	III	IV
<i>Pinus sylvestris</i>	I	II	III
<i>Betula pendula</i>	R	I	II
<i>Cirsium arvense</i>	I	II	III
<i>Dactylis glomerata</i>	R	II	III
<i>Betula pendula</i>	.	I	III
<i>Hippophae rhamnoides</i>	.	+	II
<i>Pinus sylvestris</i>	.	+	III
<i>Prunus serotina</i>	I	.	IV
<i>Hieracium pilosella</i>	V	IV	III
<i>Leontodon hispidus</i>	IV	IV	III
<i>Erigeron acris</i>	III	III	II
<i>Poa compressa</i>	IV	III	I
<i>Arenaria serpyllifolia</i>	II	II	R
<i>Daucus carota</i>	III	II	I
<i>Plantago major</i>	I	II	.
<i>Calamagrostis epigejos</i>	V	V	V
<i>Festuca rubra</i>	V	IV	V
<i>Taraxacum spec.</i>	V	V	V
<i>Festuca brevipila</i>	V	III	IV
<i>Leontodon autumnalis</i>	IV	III	IV
<i>Melilotus albus</i>	IV	III	III
<i>Trifolium arvense</i>	III	III	IV
<i>Achillea millefolium</i>	III	III	IV
<i>Medicago lupulina</i>	III	III	III
<i>Ceratodon purpureus</i>	III	III	III
<i>Cladonia subulata</i>	III	III	III
<i>Cladonia pyxidata</i>	II	II	III
<i>Hippophae rhamnoides</i>	R	III	II
<i>Trifolium repens</i>	III	I	II
<i>Epilobium angustifolium</i>	II	III	III
<i>Hieracium laevigatum</i>	III	II	II
<i>Conyza canadensis</i>	II	II	II
<i>Vicia tetrasperma</i>	III	I	II
<i>Epilobium tetragonum ssp. tetragonum</i>	I	II	II
<i>Cerastium semidecandrum</i>	II	+	II
<i>Hypochaeris radicata</i>	II	I	II
<i>Centaurium erythraea</i>	II	+	+
<i>Populus tremula</i>	+	I	I

4.4.4.4 Tagebau Espenhain – Brückenkippe Störmthaler See

Im Gegensatz zu den bisher charakterisierten Untersuchungsgebieten, die überwiegend ein ebenes Relief aufweisen, ist die unsanierte Brückenkippe durch einen kleinräumigen Wechsel zwischen Rippenkuppen und -tälern gekennzeichnet. In den Rippentälern sind häufig Abschwemmsubstrate mit variierender Mächtigkeit anzutreffen (P2, P3, P5). Diese Substrate unterscheiden sich sowohl im Hinblick auf bodenphysikalische Eigenschaften, als auch bezüglich der Nährstoffversorgung von Substraten im Bereich der Rippenkuppen (P1, P4). Das Untersuchungsgebiet ist überwiegend durch tertiäre Sande ausgewiesen (P3, P4, P5); im nördlichen Bereich sind jedoch auch verstärkt quartär-tertiäre, sandige Gemengesubstrate anzutreffen (P1, P2).

Das Ordinationsdiagramm in Abb. 29 zeigt, dass die erste Achse wiederum in erster Linie einen Wechsel in der Bodenart widerspiegelt. So sind Vegetationsaufnahmen von rein sandigen Substraten überwiegend auf der rechten Seite des Diagramms angeordnet, wohinge-

gen Vegetationsaufnahmen auf Substraten mit einem leicht erhöhten Tonanteil auf der linken Seite angeordnet sind. Mit höheren Tongehalten ist auch eine bessere Nährstoffversorgung verbunden. Neben den Variablen pH-Wert und Tonanteil wurden in die Berechnung des Ordinationsmodells pflanzenverfügbare Phosphor und Mikrobielle Biomasse einbezogen, die positiv mit dem Gehalt an Gesamtstickstoff, Organischer Substanz, Magnesium und Kalium korrelieren. Allerdings lädt die Variable pflanzenverfügbare Phosphor stark auf die dritte Achse, so dass eine ausschließliche Betrachtung der ersten zwei Achsen zu Fehlinterpretationen führen kann. Der durch die ersten beiden Achsen erklärte Varianzanteil beträgt 28,5 %.

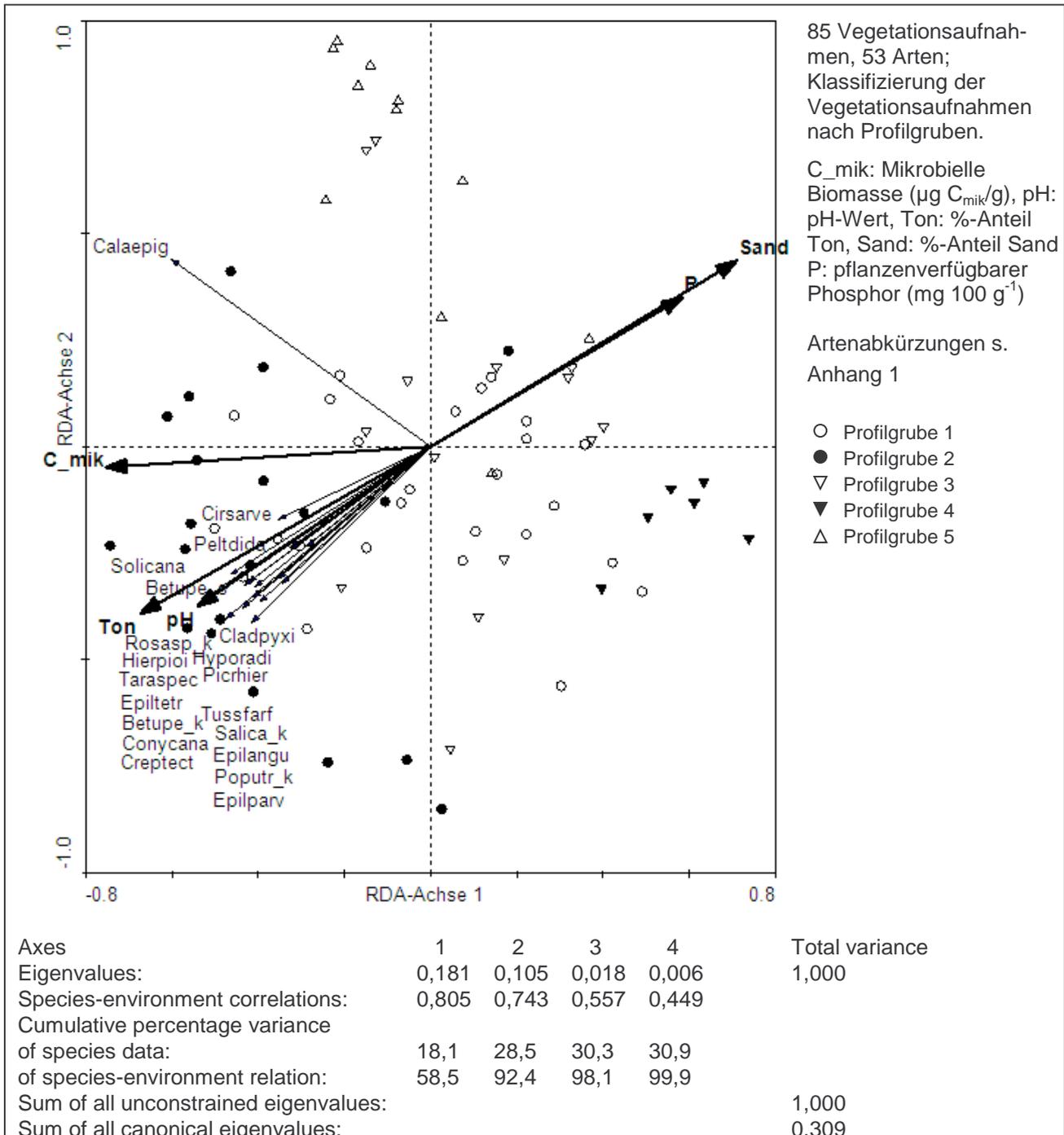


Abb. 29: Direkte Ordination (RDA); Tagebau Espenhain – Brückenkippe Störmthaler See

Die Stetigkeitstabelle (Tab. 23) gibt in diesem Untersuchungsgebiet ein etwas verfälschtes Bild wieder, da sie lediglich auf der Anwesenheit von Arten beruht. So sind die Flächen, die den Profilgruben P4 und P5 zugeordnet werden, zwar bezüglich des Vorkommens einzelner Arten sehr ähnlich, sie unterscheiden sich jedoch im Hinblick auf ihren Deckungsgrad. Während die Hang- und Kuppenbereiche (P4) durch eine nur sehr spärliche Vegetationsbedeckung oder sogar vegetationsfreie Flächen charakterisiert sind, finden sich in den Tallagen (P5) *Calamagrostis*-Bestände mit einem höheren Deckungswert. Gleiches gilt für die Flächen, die den Profilgruben P1, P2 und P3 zugeordnet werden. Auch hier weisen die Vegetationsaufnahmen in den Tallagen (P2, P3) im Vergleich zu den Vegetationsaufnahmen im Hang- und Kuppenbereich (P1) höhere Deckungsgrade auf. Des Weiteren unterscheiden sich die Vegetationsaufnahmen sowohl hinsichtlich Artenzahl und Artenzusammensetzung über Gemengesubstraten (P1, P2) bzw. tertiären Substraten (P3, P4, P5).

Tab. 23: Ausschnitt aus der Stetigkeitstabelle, Tagebau Espenhain – Brückenkippe Störmthaler See

Art	Profil 2	Profil 1	Profil 3	Profil 5	Profil 4
<i>Calamagrostis epigejos</i>	V	V	V	V	V
<i>Ceratodon purpureus</i>	III	III	III	II	III
<i>Hieracium piloselloides</i>	V	V	V	II	II
<i>Taraxacum spec.</i>	V	IV	IV	I	I
<i>Picris hieracioides</i>	V	III	II	I	II
<i>Crepis tectorum</i>	IV	IV	III	I	I
<i>Epilobium tetragonum ssp. tetragonum</i>	V	IV	II	II	.
<i>Betula pendula (K)</i>	IV	IV	III	+	.
<i>Betula pendula (S)</i>	IV	II	II	+	.
<i>Salix caprea (K)</i>	IV	III	I	+	.
<i>Hypochaeris radicata</i>	IV	IV	III	.	.
<i>Epilobium angustifolium</i>	IV	II	I	.	I
<i>Tussilago farfara</i>	IV	III	II	.	I
<i>Conyza canadensis</i>	IV	IV	III	I	.
<i>Solidago canadensis</i>	III	II	III	+	.
<i>Erigeron acris</i>	III	III	III	.	I
<i>Filago minima</i>	II	III	I	.	.
<i>Trifolium arvense</i>	II	I	II	+	I
<i>Centaurium erythraea</i>	II	II	I	+	.
<i>Salix aurita (K)</i>	II	II	II	.	I
<i>Crepis capillaris</i>	II	I	II	.	.
<i>Cladonia pyxidata</i>	III	II	+	+	.
<i>Populus tremula (K)</i>	II	II	+	.	.

4.4.4.5 Tagebau Delitzsch-SW – Brückenkippe Grabschützer See

Auch auf der Sukzessionsfläche am Grabschützer See ist eine Anordnung der Vegetationsaufnahmen entlang eines Gradienten mit Bezug zur Bodenart erkennbar (vgl. Abb. 30). Dabei ist außerdem eine positive Korrelation der Variablen Gehalt an Gesamtstickstoff und Mikrobieller Biomasse mit dem Tongehalt festzustellen. Eine weitergehende Differenzierung erfolgt über den pH-Wert und den Gehalt an pflanzenverfügbarem Phosphor. Die ersten beiden Ordinationsachsen erklären 10 % der Varianz im Datensatz. Auf Grund der kleinräumigen Substrat-Heterogenität ist in diesem Untersuchungsgebiet eine Zuordnung der einzelnen Vegetationsaufnahmen zu den Profilgruben nur mit Einschränkungen möglich. Aus diesem Grund wurde lediglich eine Unterscheidung zwischen Tal- und Hang- bzw. Kuppenlage sowie zwischen Flächen auf stärker tertiär bzw. quartär geprägtem Substrat getroffen. Die folgenden Ausführungen zeigen daher zunächst nur relativ grobe Tendenzen auf.

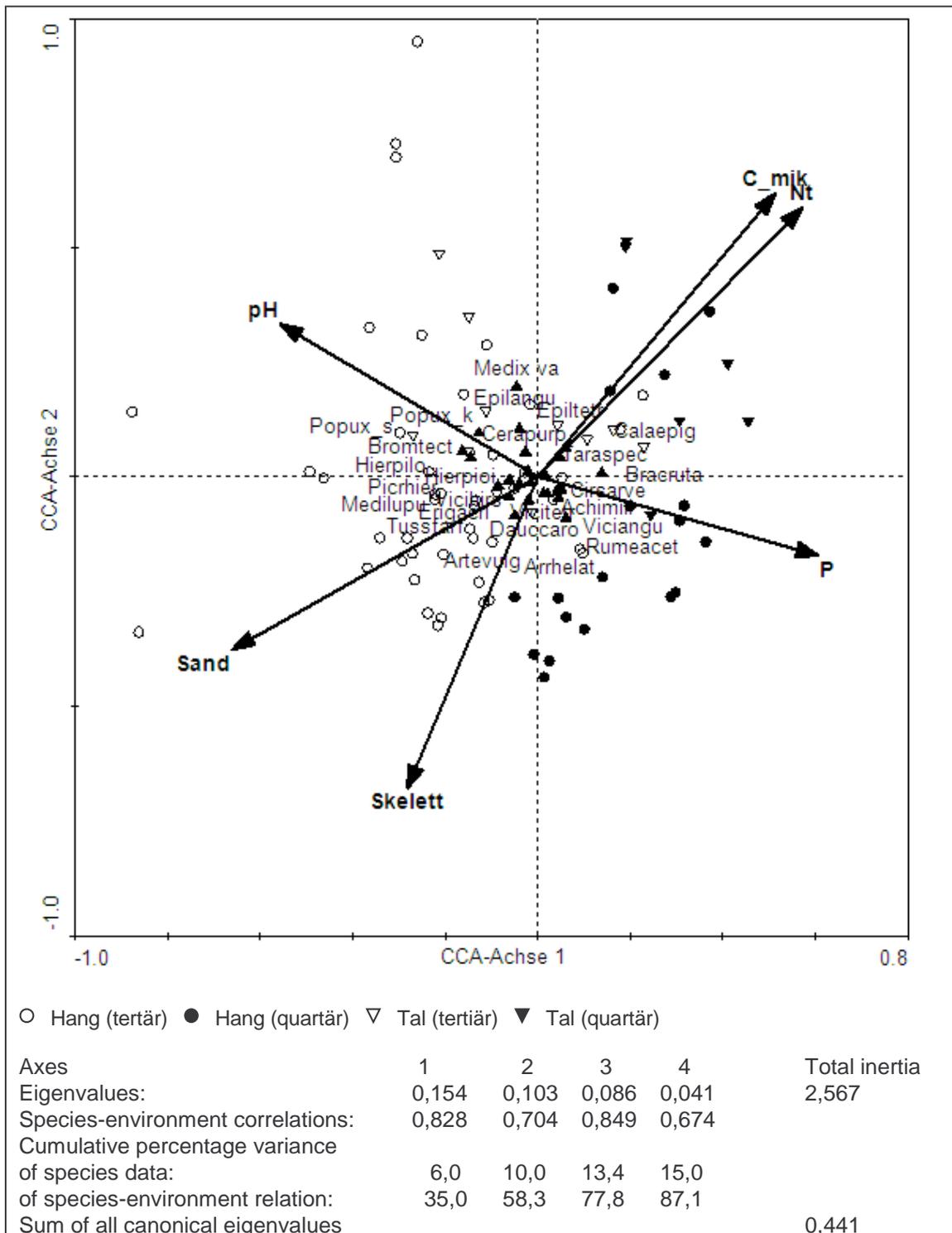


Abb. 30: Direkte Ordination (CCA), Tagebau Delitzsch-SW - Brückenkippe Grabschützer See; 79 Vegetationsaufnahmen, 72 Arten; Klassifizierung der Vegetationsaufnahmen nach Profilgruben. C_mik: Mikrobielle Biomasse ($\mu\text{g C}_{\text{mik}} \text{g}^{-1}$), Nt: Gesamtstickstoff (%), pH: pH-Wert, Sand: %-Anteil Sand, Skelett: %-Anteil Skelett, P: pflanzenverfügbare Phosphor ($\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$). Artenabkürzungen s. Anhang 1.

Aus Tab. 24 ist ersichtlich, dass z.B. *Picris hieracioides*, *Calamagrostis epigejos*, *Erigeron acris*, *Taraxacum spec.*, *Daucus carota*, *Hieracium piloselloides*, *Hieracium pilosella*, *Ceratodon purpureus* und *Medicago x varia* im gesamten Untersuchungsgebiet vorkommen. Einen Verbreitungsschwerpunkt in eher quartär geprägten Bereichen zeigen *Cirsium arvense*, *Brachythecium rutabulum*, *Epilobium tetragonum*, *Vicia tetrasperma*, *Trifolium repens*, *Inula*

conyzae, *Vicia angustifolia*, *Equisetum arvense*, *Poa pratensis* und *Hypericum perforatum*, wohingegen *Tussilago farfara*, *Medicago lupulina*, *Bromus tectorum* und *Populus canadensis* häufiger in tertiär geprägten Bereichen vorkommen.

Tab. 24: Ausschnitt aus der Stetigkeitstabelle, Tagebau Delitzsch-SW – Brückenkippe Grabschützer See

Art	Tal_Quartär	Hang_Quartär	Tal_Tertiär	Hang_Tertiär
<i>Picris hieracioides</i>	V	V	V	V
<i>Calamagrostis epigejos</i>	V	IV	V	IV
<i>Erigeron acris</i>	III	III	III	IV
<i>Taraxacum spec.</i>	V	V	IV	IV
<i>Daucus carota</i>	II	V	V	IV
<i>Hieracium piloselloides</i>	III	IV	V	IV
<i>Hieracium pilosella</i>	IV	IV	III	III
<i>Ceratodon purpureus</i>	I	III	II	III
<i>Medicago x varia</i>	II	II	I	II
<i>Cirsium arvense</i>	V	IV	II	III
<i>Brachythecium rutabulum</i>	V	V	III	II
<i>Epilobium tetragonum ssp. tetragonum</i>	V	III	III	II
<i>Vicia tetrasperma</i>	IV	II	II	I
<i>Trifolium repens</i>	III	I	.	+
<i>Inula conyzae</i>	I	II	.	+
<i>Vicia angustifolia</i>	III	III	I	+
<i>Equisetum arvense</i>	II	II	+	+
<i>Poa pratensis</i>	II	II	+	+
<i>Hypericum perforatum</i>	III	II	.	R
<i>Tussilago farfara</i>	II	III	V	IV
<i>Populus x canadensis (S)</i>	.	+	II	II
<i>Populus x canadensis (K)</i>	.	+	III	II
<i>Medicago lupulina</i>	II	II	IV	III
<i>Bromus tectorum</i>	.	II	+	III
<i>Artemisia vulgaris</i>	I	IV	II	III
<i>Arrhenatherum elatius</i>	II	V	II	III
<i>Achillea millefolium</i>	I	III	I	II
<i>Rumex acetosa</i>	II	III	+	II

5 Diskussion

5.1 Bodenentwicklung – Felddiagnose und Prozessdynamik

Bisherige Prognosen zur Bodenentwicklung orientieren sich stark an bodenphysikalischen und bodenchemischen Eigenschaften der Kippsubstrate, zu denen umfangreiche Untersuchungsergebnisse vorliegen. Ebenso wurden Bodenentwicklungen im Zusammenhang mit forst- und landwirtschaftlicher Nutzung intensiv diskutiert. Felddiagnostische Merkmale hingegen wurden bislang nur selten zur Kennzeichnung und Einschätzung von aktuellen Bodenentwicklungszuständen auf Sukzessionsflächen des Braunkohlenbergbaus oder für eine Zuordnung zu bodensystematischen Einheiten auf dem Niveau von Subtyp und Varietät (Subvarietät) verwendet. Insbesondere unter Berücksichtigung der vorliegenden Ergebnisse zum zeitlichen Ablauf der das Kippsubstrat verändernden geogenetischen Prozesse können jedoch Erweiterungen und Untersetzungen der bodensystematischen Nomenklaturen abgeleitet werden [KA4(5), Erfassungsvorschrift des LfUG 1999].

In Tab. 25 sind die zum gegenwärtigen Zeitpunkt prognostizierbaren bodenbildenden Prozesse auf Kippen und Halden des Braunkohlebergbaus mit den daraus folgenden diagnostischen Horizonten zusammengefasst. Es sind jedoch weitere Untersuchungen erforderlich, um diese für das Untersuchungsgebiet charakteristischen Tendenzen und Entwicklungsrichtungen zu bestätigen. Insbesondere sich überlagernde Pedogenesen in Abhängigkeit von kleinräumigen Substratwechseln bei sehr heterogenen Kippsubstraten konnten noch nicht ausreichend betrachtet werden. Ebenso wird Grundvernässung erst perspektivisch wirksam und Podsolierung kann erst unter älteren Kiefernbeständen erwartet werden. Verbraunung wird auf Grund fehlender klar ausgeprägter Merkmale nicht diskutiert. Als Vorstufe können jedoch ICv-Horizonte mit unterschiedlich stark ausgeprägten und substratabhängigen Verwitterungs- und Oxidationserscheinungen betrachtet werden.

Tab. 25: Prognostizierbare bodenbildende Prozesse und diagnostische Horizonte auf Kippen und Halden des Braunkohlenbergbaus. Die Benennung der Horizonte folgt der KA4 (AG Boden 1996).

Pedogene Prozessdynamik →	Horizonte →	Bodentypen
Bildung organischer Auflagen / Humusanreicherung (Bioturbation, Bearbeitung)		L / Of / Oh Ai / Aih / Ah / Ap
Stauvernässung (Redoximorphe Merkmale durch Niederschlagswasser)		Sw / Sd (Swd, Sdw)
Grundvernässung (Redoximorphe Merkmale durch Grundwasser)		Go / Gr
Pelosodynamik (Gefügeaggregation durch Schrumpfung / Quellung, Peloturbation)		Ah-P / P
Podsolierung (Verlagerung gelöster organischer Stoffe)		Ahe / Aeh / Ae / Bs
Verbraunung (Verwitterung, Verlehmung, Tonmineralneubildung)		ICv / Bv-ICv / ICv-Bv / Bv

5.1.1 Bildung organischer Auflagen / Humusanreicherung

Auflagehumusformen sind in den Untersuchungsgebieten meist nur initial oder geringmächtig ausgebildet. In Folge der nur geringen Streunachlieferung der zumeist noch jungen und lückigen Baum- und Strauchbestände sind Hagerhumus und Mull-Varianten charakteristisch für diesen Zustand. Bei carbonathaltigen und meliorierten Substraten werden infolge höherer Umsatzraten auch zukünftig geringmächtige Mull- und Moder-Humusformen vorherrschen.

Deutliche Auflagehumusbildungen sind jedoch unter dichteren Vegetationsbeständen mit Dominanz von Gräsern sowohl auf sauren als auch carbonathaltigen Substraten anzutreffen. Humusakkumulation führt in der Regel zu mehr oder weniger ausgeprägter Gefügeaggregierung. Im Gelände ist damit ein wichtiges Merkmal zur Abtrennung vom nicht oder wenig beeinflusstem Ausgangssubstrat auch bei diffusen Farbunterschieden gegeben.

Die vor allem für forstliche Nutzung benannten Entwicklungszeiträume sind für die untersuchten Sukzessionsflächen zu verkürzen. Übergangsstadien (Ai-/Aih-Horizonte) konnten sich bereits nach ca. fünf bis sieben Jahren ausbilden. In Abhängigkeit von der Dichte der Krautschicht sind deutlich intensiver mit Feinwurzeln durchwurzelte Horizonte (2 - 5 cm Hauptwurzelzone) abtrennbar. Humusanreicherungen erscheinen felddiagnostisch diffus und analytisch oft unsicher, vor allem im Hinblick auf die Trennung geogener/pedogener Kohlenstoff. Der mikrobiologische Tiefengradient ist jedoch in der Regel ausgeprägt, ebenso sind die erkennbaren Hauptwurzelzonen deutlich belebt.

Ah / C-Profile mit gut differenzierbar ausgeprägten Ah-Horizonten sind bei entsprechender Bodenruhe nach ca. 15 Jahren insbesondere auf quartären Lehmen und Sanden z.T. schon sehr deutlich ausgebildet (Tagebau Nochten, Delitzsch-SW). Auf den älteren Untersuchungsflächen der Tagebaue Spreetal-SO und Lohsa sind nach ca. 20 - 30 Jahren Bodenentwicklung Regosole und Pararendzinen charakteristische und großflächig verbreitete Bodentypen und trotz erheblicher Großwildaktivität als gut differenzierbare Profile anzutreffen. Auch die Spülsubstratfläche im Tagebau Spreetal befindet sich zum überwiegenden Teil in diesem Stadium, wobei die Wirkung der wiederholt aufgetretenen Flächenbrände allerdings berücksichtigt werden muss. Auf sauren Substraten ist eine relativ schnelle Ausbildung von Übergangsstadien (Lockersyrosem-Regosol), wie z.B. auf der Brückenkippe im Tagebau Espenhain, zu beobachten.

Probleme der Identifizierung und Zuordnung zu pedogenen Prozessen treten auf Basis des felddiagnostischen Befundes, besonders bei kohlehaltigen Substraten auf. Mineralisierungsprozesse bedingen abnehmende Kohlegehalte, von einer Bildung spezieller Dauerhumusstoffgruppen ist deshalb auszugehen. Bei schwach- bis mittelkohlehaltigen Sanden und Lehmen sind, in Abhängigkeit vom pH-Wert (> 3), ähnliche Entwicklungstendenzen zu erwarten, wobei jedoch im Vergleich zu quartären Substraten längere Entwicklungszeiträume anzunehmen sind. Erhöhte pH-Werte an der Oberfläche von sehr sauren Substraten, z.B. auf der Brückenkippe im Tagebau Espenhain, sprechen für diesen Sachverhalt. Damit liegen für die verschiedenen Substrate ähnliche Reaktionsbereiche vor; Sulfidverwitterung und Auswaschung sind dabei jedoch zeitlich einzukalkulieren. Bei forstwirtschaftlicher Nutzung auf rein tertiären, nicht grundmeliorierten Substraten (schwach- bis mittelkohlehaltige Sande), ist beispielsweise im Tagebau Laubusch eine deutlich höhere Feindurchwurzelung im Vergleich zu rein quartären Sanden festgestellt worden. Für sehr tonige, dicht lagernde und kohlehaltige, äußerst saure Rohböden können die längeren Entwicklungszeiträume bestätigt werden.

Neben Emissionsstaubeinwehungen beeinflussen Wühlaktivitäten des Großwildes (hauptsächlich Wildschweine) entscheidend sowohl Horizontausbildung und Mächtigkeiten als auch das Auftreten von Sonderformen (z.B. typische Einmengungsstrukturen in den Tagebauen Spreetal-SO und Lohsa). Bei entsprechender Streunachlieferung und zeitlicher Dauer wirkt sich diese Form der Bioturbation, insbesondere auf Grund der zum Teil beträchtlichen Tiefenwirkung, durchaus positiv auf eine Humusakkumulation aus.

Als weitere Ursache für lokale Variationen oder Störungen sind außerdem nicht in jedem Fall recherchierbare anthropogene Einflüsse und die nachfolgend einsetzenden geogenetischen Prozesse zu nennen. Ebenso führen Setzungs- und Sackungsvorgänge sowie Wind- und Wassererosion zu Schichtbildungen von wenigen Zentimetern bis zu Meterdimensionen. In diesem Zusammenhang findet die Humusakkumulation nicht bzw. nur untergeordnet auf Kippsubstraten statt.

Auf Flächen mit dichten *Calamagrostis epigejos*-Beständen ist im Vergleich zu Flächen gleichen Alters und ähnlichen Substratverhältnissen eine intensivere Humusakkumulation verbunden mit sehr starker Feindurchwurzelung und Gefügeaggregation bis zum Krümelgefüge zu beobachten. Damit kommt die den Boden aufschließende Wirkung dieser Art deutlich zum Ausdruck.

Aktives Bodenleben ist makroskopisch in Form von einer mehr oder weniger starken Besiedlung durch Insekten oder Regenwürmer zu beobachten. Hervorzuheben ist in diesem Zusammenhang insbesondere der ungewöhnlich hohe Regenwurmbesatz und die zahlreichen Ameisenburgen im Bereich der Brückenkippe Delitzsch-SW.

5.1.2 Stauvernässung

Stauvernässung ist auf den Untersuchungsflächen oft initial, zum Teil aber auch bereits deutlich ausgebildet. In Abhängigkeit von der Bodenart, dem Verdichtungsgrad und der Mikromorphologie sind hauptsächlich Oxidationsmerkmale zu beobachten. Reduktionserscheinungen sind seltener erkennbar. Wurzelbahnen, Porenräume und Kluftflächen, besonders bei brockig-klumpigen bzw. Kittgefüge, sind bevorzugt durch Rostflecken und -beläge gekennzeichnet. Die Zuordnung zu pedogener Prozessdynamik konnte z.B. im Tagebau Nochten und Tagebau Delitzsch-SW relativ sicher festgestellt werden.

Besonders Lehme (reine Lehme, Gemenge- und Wechsellagerungsvarianten) sind durch sehr unregelmäßig verteilte oder reliktsche Nässemerkmale gekennzeichnet. Substrate der Tieflagenbereiche von unplanieren Brückenkippen sind in der Regel durch schwache Vernässung geprägt. Typisch sind undifferenzierte Pseudogleyhorizonte (S_{dw}, S_{wd}) und Übergangshorizonte, die im Zusammenhang mit substratspezifischen Inhomogenitäten variieren. Diese Pedogenese kann auf Varietätenniveau relativ häufig ausgegliedert werden. Sie ist nach 15 - 20 Jahren z.B. im Tagebau Nochten sowie den Tagebauen Delitzsch-SW und Espenhain nachweisbar und damit richtungsweisend. In Tieflagenbereichen von unplanieren Brückenkippen in den Tagebauen Espenhain und Delitzsch-SW können innerhalb der Aufschwemmsubstrate bereits nach fünf bis zehn Jahren Oxidationsmerkmale an Wurzelbahnen beobachtet werden. Neben allgemein feuchteren Verhältnissen wird diese Entwicklung maßgeblich durch feinlagige Strukturen (Sand/Ton/Sand usw.) begünstigt

Pseudogleyentwicklung mit Normhorizontierung in Form der Zweischichtprofilierung (z.B. Reinsand über Tonlehm) und entsprechender Ah-Mächtigkeit konnte exemplarisch nach ca. 15 Jahren Entwicklungszeit im Tagebau Nochten festgestellt werden. Ähnliche Verhältnisse sind als Begleitentwicklung in heterogenen Gemengesubstraten (Sande, Lehme) mit lokalen sehr variablen Lehm- und Tonanhäufungen vorhanden.

Stagnogleye sind in den Tagebauen Nochten und Delitzsch-SW ebenfalls ca. 15 - 20 Jahre nach Abschluß der Rekultivierungsmaßnahmen im Bereich periodisch mit Wasser gefüllter Mulden entstanden. Es treten klar ausgeprägte pedogene Merkmalskombinationen auf, wo-

bei die Ah-Horizonte noch relativ geringmächtig in Erscheinung treten. Feuchthumusformen sind im initialen Bildungsstadium.

5.1.3 Pelosoldynamik

Gefügeaggregation durch Peloturbation ist an sehr tonige Ausgangssubstrate gebunden und läuft über sehr lange Zeiträume bis zur Ausbildung klarer Horizontmerkmale (Sekundärgefüge mit Prismen, Polyeder) ab. Entsprechende Substratverhältnisse sind z.B. im Tagebau Nochten und Delitzsch-SW gegeben. Typische, zum Teil sehr tief reichende, Rissstrukturen (50 - 80 cm) mit oberflächlich erkennbarer Schrumpfs- und Quellungsdynamik an Polygonrissystemen, die während der Feldaktivitäten pulsierend zu beobachten waren, kennzeichnen den aktiven pedogenetischen Prozess. Diese Bodenentwicklung verläuft in vergleichsweise kurzen Zeiträumen (vgl. "Innenkippe" im Tagebau Nochten). Pelosole sind schwerpunktmäßig mit Substratbezug und unter Berücksichtigung der sich abzeichnenden Entwicklung angesprochen worden. Reine Pelosole können auf Grund der geringmächtigen und zum Teil lückigen A-Horizonte nicht auskartiert werden. Vernässung tritt in unterschiedlicher Intensität begleitend oder überlagernd auf.

Da die Humusakkumulation auf sehr tonigen Substraten auch auf Sukzessionsflächen gehemmt abläuft, ist die Frage nach der Bedeutung des natürlichen Bodenaufschlusses durch diese Pedogenese und die relevanten Zeiträume von Interesse. Um den Einfluss von Peloturbation detaillierter zu analysieren, müssten jedoch auch ältere Sukzessionsstandorte mit in die Untersuchungen einbezogen werden. Insgesamt wird die Einordnung dieser Standorte nach bodensystematischen Kriterien noch sehr konträr diskutiert.

5.1.4 Geogenetische Prozesse nach der Verkippung

Schichtbildende Vorgänge ermöglichen bei entsprechenden Mächtigkeitsverhältnissen auch eine nomenklatorische Abtrennung. Entsprechend KA4 (AG Boden 1996) sind 15 cm für die Ansprache einer Schicht erforderlich, bei pedogenetisch starkem Einfluss auch weniger. Damit sind unter Umständen die in der KSK 10 enthaltenen Informationen sowie die darauf aufbauenden Erhebungen und Untersuchungen auch über größere Flächen als modifiziert anzusehen, da solche schichtbildenden Vorgänge im Rahmen der Erstkartierung nicht erfasst worden sind, bzw. erst nach der Erstkartierung stattgefunden haben.

Insbesondere im Bereich unplanierter Brückenkippen und Böschungen (Untersuchungsgebiete Espenhain, Delitzsch-SW) spielen schichtbildende Prozesse und die damit häufig einhergehende flächige Verbreitung von Rutsch- (uar-) und Schwemm- (uz-) Substraten eine große Rolle. Ihre substrattypologische Abtrennung von Kippsubstraten ist auf der Basis von felddiagnostischen sowie bodenchemischen und vor allem bodenphysikalischen Eigenschaften (Lagerungsdichten) möglich und systematisch auch erforderlich, da im Vergleich zu Kippsubstraten veränderte (uar-) oder neue (uz-) Ausgangssubstrate für die Bodenbildung vorliegen.

Kleinräumige Verwehungen und Zusammenschwemmungen sind auf planierten und schwach reliefierten, vegetationsfreien Kippen die Regel. Sofern keine Einmischung, zum Beispiel durch Schwarzwild erfolgt, sind die entsprechenden, meist geringmächtigen Schichten auch nach einer Vegetationsbesiedlung noch nachweisbar. Die Ausweisung von Ablagerungen äolischer Sedimente, im speziellen Emissionsstäube, als künstliches Substrat mit natürlicher Geogenese ist als Sonderfall zu sehen.

5.1.5 Anthropogene Prozesse nach der Verkipfung

Profilverändernde Maßnahmen, Befahrung und andere Flächenbeeinflussungen beeinflussen auch auf Sukzessionsflächen die natürliche Bodenentwicklung. Da diese Ereignisse jedoch oft nicht mehr recherchierbar und in ihrem Ausmaß nur ungenau bestimmbar sind, ist eine Übertragung von Punktinformationen in die Fläche, insbesondere bei Vorliegen von heterogenen Substratverhältnissen, nur mit Einschränkungen möglich.

In diesem Zusammenhang stellt v.a. die Grundmelioration bis zur erreichten Bearbeitungstiefe und der damit einhergehenden gezielten Veränderung von Säureverhältnissen, Nährstoffpotenzialen und -verfügbarkeit auch auf Sukzessionsflächen eine entscheidende Veränderung dar. Die bodensystematische Zuordnung dieser veränderten Substrate ist derzeit noch nicht abschließend geklärt. Eine spezielle Symbolik ist für diesen in der Regel einmal gepflügten Horizont (bei relevanter Substrathomogenisierung kann auch von Schicht gesprochen werden) momentan nomenklatorisch nicht vorgesehen.

5.1.6 Carbonatverlagerung

Bei carbonathaltigem Ausgangsgestein ist eine Carbonatverlagerung zum Teil bereits felddiagnostisch feststellbar. Allerdings spiegelt sich dieser Feldbefund nicht in jedem Fall in den gemessenen pH-Werten wieder. Inwieweit eine Verlagerung und/oder Fixierung von Kalzium vorliegt, muss durch weitere Untersuchungen geklärt werden. Bei carbonathaltigen Substraten, wie verkippte Geschiebemergel und eingespülte Gemenge aus Kraftwerksrückständen, spielen auf Grund charakteristischer bodenchemischer und bodenphysikalischer Eigenschaften unterschiedliche Prozessabläufe wahrscheinlich eine Rolle.

5.1.7 Zusammenfassung charakteristischer bodenbildender und substratverändernder Prozesse

Zusammenfassend sind folgende Prozesse und Erscheinungen als charakteristisch für die Untersuchungsgebiete zu nennen:

- Ausbildung pedogener Merkmale / Horizontabfolgen: Organische Auflagen; Humusakkumulation; Verwitterungs- / Oxidationserscheinungen (tap(e)); Aggregatausbildung / Gefüge; Vernässungerscheinungen (fl(e + r), k(em));
- makrobiologische Aktivität: Feinwurzelausbildung; Regenwurmbesatz;
- geogenetische Prozesse mit Schichtbildung (Wasser- / Winderosion): Ausschwemmung / Abschlämmung (Kies- / Sandanreicherung an der Erdoberfläche); Anreicherung von organischer Substanz in Schwemmsubstraten;
- anthropogene Einflüsse: Ablagerung äolischer Sedimente (Flugstaubaufgaben); Bearbeitungshorizonte; andere oberflächenverändernde Maßnahmen;
- Carbonatverlagerung / pH - Wertabsenkung (Tiefengradient).

In Abb. 31 sind die zu erwartende pedogene Prozessdynamik und die daraus abzuleitenden Bodentypen für die bearbeiteten Untersuchungsgebiete zusammengefasst. Nach bisherigem Stand können folgende verallgemeinerbare Aussagen zur bodensystematischen Einordnung von Kippböden des sächsischen Braunkohlenbergbaus getroffen werden:

Durch Rekultivierungsmaßnahmen, wie z.B. Reliefgestaltung oder Melioration sowie die verschiedenen Nachnutzungen (Aufforstung, Acker, Grünland, Sukzession, Sonstige), werden in Verbindung mit dem Grundwasseranstieg durch Flutung von Tagebaurestlöchern grundlegende Voraussetzungen für die Entwicklung der Rohböden geschaffen. Die Entwicklungs-

richtung bzw. spezifische Vergesellschaftungen der Böden wird dann durch die Substratausbildung, die horizontale und vertikale Heterogenität auf verschiedenen räumlichen Maßstabebenen im jeweiligen Untersuchungsgebiet sowie die daraus resultierenden bodenphysikalischen und bodenchemischen Eigenschaften beeinflusst.

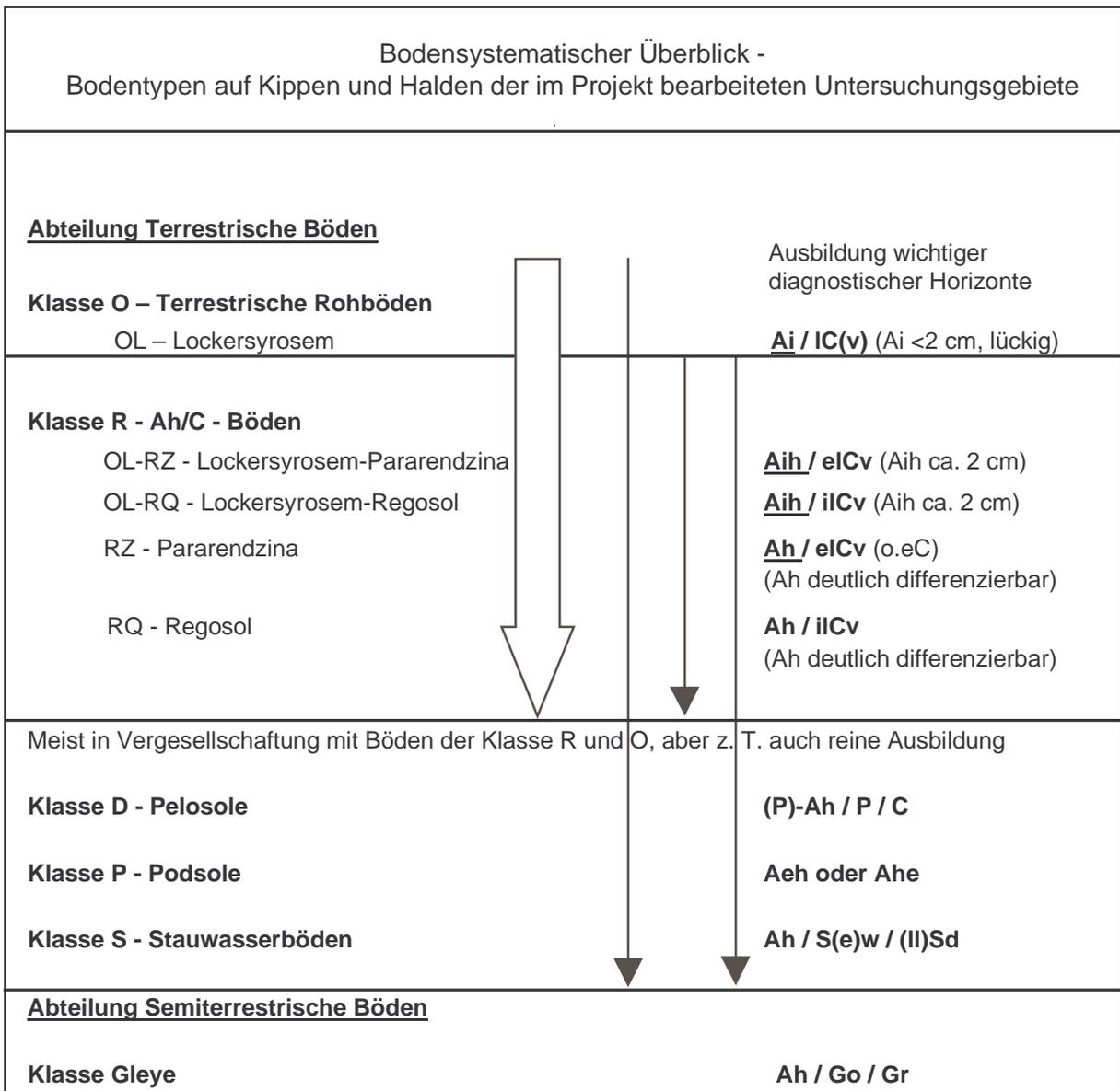


Abb. 31: Pedogene Prozessdynamik und Bodentypen in den Untersuchungsgebieten, Bezeichnung der Bodentypen und Horizonte nach KA4 (AG Boden 1996)

Typische terrestrische Entwicklungen verlaufen in Abhängigkeit vom Carbonatgehalt des Ausgangssubstrates über Lockersyrosem zum Lockersyrosem-Regosol / -Pararendzina als Übergangsstadium zu Regosol bzw. Pararendzina (Abb. 31). Bei forstwirtschaftlicher Nutzung sind Entwicklungszeiträumen von ca. 10 - 15 Jahre bis zur Ausbildung von Übergangsstadien sowie ca. 20 - 40 Jahre bis zur Ausbildung deutlicher Ah-Horizonte anzunehmen (Katzur & Haubold-Rosar 1996, Bräuning 1997, Franzke 1997a, 1997b, Wünsche et al. 1998). Bei landwirtschaftlicher Nutzung sind Ap-Horizonte in schwankenden Entwicklungstiefen bereits nach ca. 15 Jahren relativ deutlich in Folge einer Humusakkumulation festzustellen, d.h., Regosole bzw. Pararendzinen sind eher ausgebildet (Franzke 1998).

Felddiagnostisch sind sie durch geringmächtige Ausbildung von Humusauflagen und A-Horizonten (Ai + Aih) gekennzeichnet (Katzur & Haubold-Rosar 1996, Franzke 1996a, 1996b, 1997a, 1997b, Bräuning 1997). Spezifische Substrateigenschaften (sehr tonige Bodenart, hoher Kohlegehalt, damit im Zusammenhang stehende und/oder durch Sulfidminerale bedingte hohe Schwefelgehalte) verursachen längere Entwicklungszeiträume. Ebenso können Emissionsstaubeinwehungen und -auflagen die Ausbildung von Humusformen und A-Horizonten erheblich beeinflussen und zu Sonderformen, speziellen Bodenentwicklungen und Schichtbildungen führen (z.B. Katzur & Haubold-Rosar 1996, Franzke 1997a, 1997b, Altermann & Rosche 2002).

Eine schwache Podsolierung mit taschenartigen Aeh (Ahe)-Horizonten und initialen Bleichsäumen ist nach ca. 30 - 40 Jahren meist im Zusammenhang mit deutlich ausgebildeten Rohhumusauflagen auf Sanden zu beobachten (Franzke 1997a, 1997b). Auf längere Sicht sind podsolierte Regosole vor allem im ostdeutschen Bergbaurevier auf kalkfreien Sanden, Übergangsstadien auch auf älteren Kippen und Halden unter forstwirtschaftlicher Nutzung mit prognostizierter Entwicklung zu Podsolen (Katzur & Haubold-Rosar 1996) zu erwarten.

Verbraunungstendenzen sind zwar diskutabel, aber felddiagnostisch, u.a. auf Grund der diffusen Abtrennung von Bv-Säumen zur Substrateigenfärbung, die beispielsweise bei Sanden sehr variabel sein kann, nur sehr unsicher feststellbar. Zwar werden Braunerdeentwicklungen in verschiedenen Vergesellschaftungen prognostiziert, es besteht jedoch Untersuchungsbedarf zu Tonmineralneubildungen und Silikatverwitterung (Katzur & Haubold-Rosar 1996). Auch eine Entcarbonatisierung von carbonathaltigen Ausgangssubstraten, als Beginn der Entwicklung in Richtung basenreiche Braunerden, kann noch nicht mit Sicherheit festgestellt werden (Katzur & Haubold-Rosar 1996, Altermann & Rosche 2002).

Initiale hydromorphe Merkmale treten im Zusammenhang mit Stau- und Haftnässe bei terrestrischen sowie mit Grundnässe bei semiterrestrischen Entwicklungen auf (Katzur & Haubold-Rosar 1996, Bräuning 1997, Franzke 1996a, 1996b, 1997a, 1997b, 1998, Wünsche et al. 1998). Die Ausprägungsintensität und Zuordnung von Vernässungsmerkmalen, sowohl Vergleyung als auch Pseudovergleyung, zu rezenten Bodenentwicklungen werden in diesem Zusammenhang konträr diskutiert. Für die Ausbildung von Horizonten durch Vergleyung (Go / Gr) werden zum Teil 50 - 60 Jahre nach Grundwasserwiederanstieg prognostiziert. Pseudogleyentwicklungen sind ebenfalls erst über sehr lange Zeiträume zu erwarten (Katzur & Haubold-Rosar 1996, speziell für Substrate und Verhältnisse der Lausitz). Im Zusammenhang mit Vernässung werden beispielhaft folgende Bodenentwicklungen beschrieben (Franzke 1997a, 1998, Franzke & Donner 1999, 2000):

- **Pseudogley-Regosol:** nach ca. 15 Jahren und bei landwirtschaftlicher Nutzung (deutliche Zweischichtung durch lokal erhöhten, lagig ausgebildeten und verkitteten Tonbrockenanteil, über Fläche verbreitet Staunässe bis an Erdoberfläche);
- **Haftnässepseudogley-Regosol:** nach ca. 30 Jahren und bei landwirtschaftlicher Nutzung (Schluff dominierend mit Lehmsand in Wechsellagerung, über Fläche verbreitet auch Staunässe bis an Erdoberfläche!);
- **Pseudogley-Pararendzina:** nach ca. 40 Jahren und bei forstwirtschaftlicher Nutzung (Kalksandlehm im Wechsel mit Kalklehmsand mit spezifischer Kippen-Pseudogley-Dynamik, d.h. undifferenzierte Horizonte Sdw bzw. Swd in der Regel ohne Schichtung);
- **Gley-Regosol:** ab ca. 30 - 40 Jahren und bei forstwirtschaftlicher Nutzung (Schluff über Sand, schlecht zeichnend, vorherrschend Bleichung);
- **Regosol-Gley:** ab ca. 30 Jahren und bei forstwirtschaftlicher Nutzung (Ton, gut zeichnend mit deutlicher Merkmalskombination);

- **Gley:** ab ca. 40 Jahren und bei Sonstiger Nutzung (unmittelbarer Randbereich eines Restlochsees, Ah Mächtigkeit durch eingemengte Emissionsstaubaufgabe erhöht);
- **Lockersyrosem-Hanggley:** Sonderentwicklung an kippenseitiger Böschung zu einem Restlochsee in Folge der Kombination von ältere Dynamik (mehr als 20 Jahre) mit jüngerer überlagernder Entwicklung durch nachfolgende Reliefgestaltung.

5.1.8 Vorschläge zur nomenklatorischen Einordnung der Kippböden

Ausgehend von den Ergebnissen der feldbodenkundlichen Untersuchungen werden folgende Ergänzungen vorgeschlagen, die bei einer Überarbeitung der KA4/KA5 berücksichtigt werden könnten:

- Klasse: Terrestrische Rohböden – Typ: Lockersyrosem
Subtyp: **SS-OL Pseudogley-Lockersyrosem**
Subtyp: **SG-OL Stagnogley-Lockersyrosem**
- Klasse: Ah/C - Böden – Typ: Regosol und Pararendzina: Überarbeitung und Erweiterung der Horizontkombinationen auf Basis vorhandener Dokumentationsergebnisse für die Subtypen
SS-RQ Pseudogley-Regosol
SS-RZ Pseudogley-Pararendzina
und Ergänzung von:
Subtyp: **SG-RQ Stagnogley Regosol**
Subtyp: **SG-RZ Stagnogley Pararendzina**
- Klasse: Pelosole – Typ: Pelosol
Subtyp: **OL-DD Lockersyrosem-Pelosol**
Subtyp: **RQ-DD Regosol-Pelosol**
- Klasse: Stauwasserböden – Typ: Pseudogley
Subtyp: **OL-SS Lockersyrosem-Pseudogley**
Subtyp: **RQ-SS Regosol-Pseudogley**
Subtyp: **RZ-SS Pararendzina-Pseudogley**
Subtyp: **RQ-SG Regosol-Stagnogley**
Subtyp: **RZ-SG Pararendzina-Stagnogley**
- Ebenso sollten Haftnässepseudogley-Subtypen im Zusammenhang mit Terrestrischen Rohböden und Ah/C-Böden in Erwägung gezogen werden.

Die Subtypengliederung sowohl in der Klasse der Pelosole als auch der Stauwasserböden steht für Übergangsbodentypen. Charakteristische Pedogenesen überlagern den Prozess der Humusakkumulation, die durch junge Entwicklungsstadien gekennzeichnet ist. Die Ausbildung der diagnostischen Merkmale ist im Vergleich zu gewachsenen Böden geringer entwickelt, aber in der Regel durch eindeutige Kriterien angezeigt. Damit können ökologisch sehr bedeutsame Entwicklungsrichtungen dieser jungen Böden ausgedrückt und kommentiert werden. Neben den o.g. Ergänzungen werden folgende Vorschläge gemacht:

- Klare Abtrennung von Meliorationshorizonten - spezielles Symbol für Horizont (evtl. auch Genese) – z.B.: **R-Me (om - ojm, oym)**
- Ergänzung Graswurzelfilz-Mull-**GMU**
- Kalk-Gley und Kalk-Pseudogley sind nach KA4 (AG Boden 1996) auf Sekundärcarbonatanreicherung beschränkt. Mit Blick auf carbonathaltige Kippsubstrate sollten auch primär carbonathaltige Ausgangssubstrate zugelassen werden. Dabei sind meliorativ bedingte Carbonatanreicherungen von geogenen symbolisch zu trennen.
- Die Einführung einer Symbolik für flächig verbreitete Rohböden ohne pedogenetische Merkmale (kein Ai oder andere Merkmale) sollte ebenfalls Gegenstand der Diskussion sein. Sehr junge Entstehung oder erosive Dauereinwirkung bedingen Kippenbereiche,

die von Lockersyrosem getrennt werden sollten (vgl. Altermann & Rosche 2002). Die Frage, ab welchem Zeitraum unter Zugrundelegung der klimatischen Rahmenbedingungen von Cv zu sprechen ist, ist zu diskutieren.

5.2 Bodenmikrobiologie und Bodenentwicklung

Die Ergebnisse der bodenmikrobiologischen Untersuchungen können mit Ergebnissen aus Untersuchungen von forstlich rekultivierten und mit Kiefer aufgeforsteten, 57 Jahre alten Flächen im Lausitzer Braunkohlerevier verglichen werden (Kolk 1998). Die Lausitzer Standorte weisen eine schwach saure Bodenreaktion und C_{org} -Werte von 5,2 % auf. In den oberen 10 cm des Bodenprofils (Ai/C-Horizont) wurde eine mikrobielle Biomasse von $112 \pm 58 \mu\text{g } C_{\text{mik}} \text{ g}^{-1}$ ermittelt. Diese Werte werden von den vorliegenden Untersuchungen übertroffen. Das gleiche trifft für die Bodenatmung zu. Der Grund für die niedrigen C_{mik} -Gehalte dürfte in der Probenahme liegen. Die von Kolk (1998) untersuchten Bodenproben stammen aus den Tiefen 0 - 10 bzw. 0 - 15 cm. Durch das Einmischen des C-Horizontes, welcher i.d.R. wesentlich niedrigere Besiedlungsdichten aufweist, werden die C_{mik} -Gehalte "verdünnt".

Bezüglich des metabolischen Quotienten sind die im Rahmen der vorliegenden Arbeit ermittelten Werte mit den Angaben von Insam & Haselwandter (1989) für junge Böden einer durch das Abschmelzen des Eises befreiten Moräne vergleichbar. Der für junge Böden aus Bergematerial typische hohe $q\text{CO}_2$ -Quotient erfasst u.a. Mineralisierungsprozesse von Kohle. Wie Laves & Thum (1990) in Brutversuchen zeigen konnten (bei 25 °C und 50 % maximaler Wasserkapazität), breiteten sich insbesondere die Bodenpilze im kohlehaltigen Substrat aus und entwickelten ein auch ohne optische Vergrößerung sichtbares Myzel. Die auf diese Weise durch Bodenpilze gesteuerte C-Mineralisierung der Inkohlungsprodukte würde nach 13 bis 16 Jahren zur Halbierung der C_t -Menge führen. Der hierbei vorhandene Nährstoffmangel und eine geringe Substrateffizienz schlagen sich in den hohen $q\text{CO}_2$ -Werten nieder. Das höhere Aufkommen von Mikromyzeten und Aktinomyzeten in technogenen Systemen im Vergleich zu den Böden angrenzender natürlicher Ökosysteme wurde von Trofimov et al. (1986) nachgewiesen. Diese Dominanz geht mit der Reduktion der bakteriellen Besiedlungsdichte einher. Innerhalb der bakteriellen Assoziationen sind verstärkt Nichtsporenbildner (r-Strategen) und fluoreszierende Arten vertreten. Die letzteren sind als Phosphatmobilisierer bekannt. Diese Befunde stimmen mit den in der Arbeit vorliegenden und früheren Ergebnissen überein (Machulla & Hickisch 1988).

Die niedrigen DHA-Werte und deren ausgeprägter Tiefengradient in Kipp-Sanden und -Lehmen sind auf das Fehlen einer geschlossenen Pflanzendecke und ihrer Wurzelsysteme zurückzuführen. Ohne vegetationsfördernde Maßnahmen und ohne eine Zufuhr organischer Substrate, wie Klärschlamm oder Kompost, bleibt die mikrobielle Aktivität auf Kippenböden niedrig (Sopper 1992). In Kohleschluffen konnte keine Aktivität gemessen werden, obwohl der mikrobielle C-Gehalt hohe Werte aufwies. Hier wird ein deutlicher Einfluss des Kohlegehaltes erkennbar. Es kann Kolk et al. (2000) zugestimmt werden, dass in kohlehaltigen Substraten die Erhebung der DHA keine realitätsnahen Ergebnisse liefert, da die tatsächlich vorhandene Aktivität offensichtlich unterschätzt wird.

Aus dem Mittelwertvergleich kann abgeleitet werden, dass

- die Pioniermikroflora in ein bis drei Jahre alten Kippsubstraten im Wesentlichen in den oberen fünf Zentimetern der Rohböden aus Kippsubstraten konzentriert ist;
- zwischen den Teilflächen eines Standortes beträchtliche Unterschiede bezüglich der Höhe der Biomasse der mikrobiellen Pioniergesellschaft bestehen.

Die Nährstoffdefizite in Kippsubstraten führen dazu, dass die nahe der Oberfläche angesiedelte Mikrobenzönose effektiv die hier zur Verfügung stehenden sowie die mit den Niederschlägen eingetragenen Nährstoffe für den Aufbau und die Aufrechterhaltung ihrer Biomasse verwendet. Diese kann auf einem sich kaum ändernden Größenniveau über längere Zeiträume verbleiben. Das Auffangen der Nähr- und Energiequellen durch die Mikroflora oberflächennaher Zonen verursacht in den tiefer liegenden Strata eine Diskontinuität an Nährstoffeintrag und, dadurch bedingt, größere Schwankungen der hier angesiedelten mikrobiellen Biomasse, die zudem eine niedrige bzw. keine Dehydrogenasenaktivität aufweist und in der Substratverwertung insuffizient ist.

Zu den wichtigsten Nährstoffen gehört auch der organische Kohlenstoff. Es wurde jedoch keine Beziehung der mikrobiellen Parameter zu dem C_{org} -Gehalt festgestellt. Dagegen bestand ein enger Zusammenhang zum mit K_2SO_4 extrahierbaren Kohlenstoff: $C_{\text{mik}} = 5,02 \times C\text{-}K_2SO_4 - 237$ ($r = 0,57$, $p < 0,01$). Insbesondere in Kipp-Sanden war diese Beziehung eng: $C_{\text{mik}} = 8,43 \times C\text{-}K_2SO_4 - 568$ ($r = 0,74$, $p < 0,01$). Derartige enge Korrelationen zu der löslichen Fraktion des C_{org} sind auch von Vance et al. (1987) und Sparling & Zu (1993) beobachtet worden. Ross et al. (1995) stellten ebenfalls fest, dass in den als Grünland genutzten Böden eine Erhöhung der Gesamtkohlenstoffgehalte eine erhöhte Ausschüttung des K_2SO_4 -extrahierbaren C_{org} -Gehaltes nach sich gezogen hat. Je höher die Bodenfeuchte an den Probenahmeterminen war, desto höher waren auch die ermittelten (löslichen) C_{org} -Gehalte und die mikrobielle Biomasse. Zu den gleichen Ergebnissen kamen Mazzarino et al. (1993) bei Untersuchungen von Böden (Bodentyp Typic Humitropept) aus vulkanischem Gestein. Die mikrobielle Biomasse stand hierbei in keinem Bezug zum Gesamtgehalt an Kohlenstoff, wohl aber zur wasserlöslichen Fraktion der organischen Bodensubstanz.

In den mit Wasser oder K_2SO_4 -extrahierbaren C_{org} -Fraktionen wurden Kohlehydrate (Hu et al. 1995; Hu & van Bruggen 1997) nachgewiesen. Diese und andere ebenfalls leicht assimilierbaren Substrate entstammen den Wurzelexudaten, den Fäzes der Bodentiere sowie den pilzlichen Exopolysacchariden (Skleroglukan) oder den Zellinhalten abgestorbener Mikroorganismen (Landi et al. 1993). An Hand dieser Befunde ist die enge Bindung der Höhe der C_{mik} -Gehalte an die lösliche (K_2SO_4) C_{org} -Fraktion erklärbar.

Die Aschen aus der Braunkohleverbrennung zählen wegen ihrer physiko-chemischen Eigenschaften zu den Extremstandorten. Die Immigration von Mikroflora und ihre Etablierung in den neu entstehenden Biotopen, hängt eng mit der Substratqualität zusammen. In Böden aus Asche nehmen diese Prozesse parallel zum Salzaustrag aus den oberen Zentimetern zu. Im Vergleich zu den natürlichen Böden weist die entwickelte mikrobielle Gesellschaft einen zweifach höheren metabolischen Quotienten und eine vierfach niedrigere Dehydrogenasenaktivität auf (Machulla et al. 2004). Diese Ergebnisse sprechen dafür, dass diese Böden eine substratinsuffiziente Mikrobenzönose besitzen, die sich bezüglich ihrer Zusammensetzung noch stark von den umliegenden natürlichen Böden unterscheidet.

Die Analyse der Vegetationsaufnahmen unter Einbeziehung von Umweltvariablen (vgl. Kap. 4.4.4) ergab, wenn auch nur für einige Standorte und Profile [z.B. Spreetal-Spülraum; Espenhain (P2); Delitzsch-SW, quartäre Sedimente], positive und z.T. signifikante Korrelatio-

nen zwischen der Vegetationszusammensetzung und der Höhe der mikrobiellen Biomasse sowie dem Tongehalt. Aus bio- und zoözoologischen Studien auf ehemaligen Bergbauflächen (Dunger 1991, Sopper 1992, Harris et al. 1996) ist bekannt, dass die Primärsukzession der Vegetation einen bedeutenden Einfluss auf die Selektion und Sukzession der Bodenbiota ausübt. Im Zusammenhang mit der Sukzession vom Pionierstadium zum Vorwaldstadium wird eine Genese mit folgendem Verlauf eingeleitet: Zuerst besteht die mikrobielle Gesellschaft aus schnellwachsenden, leichtverfügbare organische Substrate verwertenden r-Strategen. Diese Erstbesiedler sind überwiegend Bakterien. Die Zunahme von ligninhaltigen, schwer zersetzbaren Substraten initiiert jedoch eine Dominanz der stresstoleranten und somit konkurrenzfähigeren Mikromyzeten. Dieses Stadium kann einige Jahre bis Jahrzehnte andauern.

Die Initialphase der Kippenbesiedlung durch Bodentiere bis zum Erreichen des Quasi-Stationärzustandes kann 25 - 33 Jahre dauern (Dunger 1991). Die mikrobiellen Parameter weisen in einer Tiefe von 0 - 10 cm bereits nach 20 - 30 Jahren eine Biomasse und physiologische Aktivität auf, die der in natürlichen Böden gleich ist (Schafer et al. 1980, Stroo & Jencks 1982). Es wird prognostiziert, dass in einer Tiefe zwischen 20 - 50 cm solche Zustände nicht vor 400 Jahren eintreten. Die Entwicklung der mikrobiellen Gesellschaft junger Böden, die ein r/K-Kontinuum darstellt, durchläuft – beginnend mit dem strukturarm-labilen bis hin zum strukturreich-stabilen Zustand – verschiedene Strukturzustände. Eine niedrige Substrateffizienz (charakterisiert durch hohe qCO_2 -Werte) ist für diese sich unter äußerst extremen Bedingungen, wie stark saure Bodenreaktionen sowie niedrige C_{org} - und Nährstoffgehalte, entwickelnden mikrobiellen Gesellschaften charakteristisch.

Die hier aufgezeigte Entwicklung mikrobieller Eigenschaften in den untersuchten Kippenböden und Böden aus Aschen in der Lausitz und in Mitteldeutschland ermöglicht folgende Schlussfolgerungen:

- Die Menge und die Aktivität von Mikrobenzönosen wird in erster Linie von der Bodenfeuchte bzw. dem Grad der Bodenhydromorphie sowie den Ton-, Kalium- und Stickstoffgehalten bestimmt.
- Die C_{mik} -Menge erreicht in den 13 bis 25 Jahre alten Kippenböden auch ohne jegliche Bearbeitung (Kalkmelioration ausgenommen) und Nährstoffzugabe die Quantität der Biomasse in lehmigen Kippsubstraten unter Acker, Luzernenanbau und Brache (Emmerling & Werbter 2001). Auf Lockersyrosemen werden diese Werte nicht erreicht, weisen jedoch diesbezüglich natürliche Potenziale auf, welche z.B. auf den stauwasserbeeinflussten Standorten zum Tragen kommen.
- Die untersuchten Kippenböden weisen einen besonders weiten Variationsbereich der mikrobiellen Parameter auf. Offensichtlich spiegelt sich die Substratqualität und -variabilität in der Quantität einer Bodenmikrobenzönose wieder.
- Böden aus Asche weisen höhere C_{mik} -Gehalte und eine gleichmäßigere Verteilung im Profil auf. Bei ton- und schluffreichen Aschen kann sich eine beträchtliche mikrobielle Biomasse mit hohen Umsatzraten entwickeln.

5.3 Vegetationsentwicklung

Die Ergebnisse sowohl der bodenkundlichen als auch der vegetationskundlichen Auswertungen zeigen eindrucksvoll, dass die Untersuchungsgebiete durch eine hohe Heterogenität auf verschiedenen Maßstabsebenen charakterisiert sind. Dabei handelt es sich zum einen

- um eine Heterogenität auf der landschaftlichen Ebene (d.h. Unterschiede zwischen den verschiedenen Untersuchungsgebieten), und zum anderen
- um eine Heterogenität innerhalb der einzelnen Untersuchungsgebiete.

Diese Heterogenität ist keine grundsätzlich neue Erkenntnis, sondern wurde bereits in früheren Arbeiten nachgewiesen (z.B. Schmiedeknecht 1996, Durka et al. 1997, Tischew & Mahn 1998, FBM 1999, Felinks 2000). Allerdings erschweren diese Rahmenbedingungen eine Identifizierung von Variablen, die dazu geeignet sind, die Vegetationsentwicklung auf Kippenflächen in einer verallgemeinerbaren Form vorherzusagen. Im Folgenden sollen deshalb zunächst Variablen herausgearbeitet werden, die für die Vegetationsentwicklung in den Untersuchungsgebieten von Bedeutung sein können. Anschließend wird diskutiert, wodurch diese verallgemeinerbaren Aussagen begrenzt sind.

5.3.1 Verallgemeinerbare Wechselbeziehungen zwischen Vegetation und Umweltvariablen

Sowohl bei Einbeziehung aller Vegetationsaufnahmen als auch bei Betrachtung der einzelnen Untersuchungsgebiete ist – mit wenigen Ausnahmen – festzustellen, dass die Bodenart, d.h. die Korngrößenverteilung, offensichtlich größeren Einfluss auf die Vegetationszusammensetzung nimmt. So korreliert ein höherer Anteil an Feinsubstrat (Ton- und Schlufffraktion) meistens auch positiv mit einem höheren Gehalt an pflanzenverfügbarem Phosphor und Gesamtstickstoff sowie einer höheren mikrobiologischen Aktivität. Eine Differenzierung entlang dieses Gradienten ist eventuell über den pH-Wert möglich, der meistens positiv mit dem Kalkgehalt und negativ mit dem Gehalt an Gesamtschwefel korreliert. Die verschiedenen Vegetationseinheiten sind entlang dieses Gradienten in etwa folgendermaßen angeordnet (vgl. Abb. 24): Durch einen höheren Anteil an Feinsubstrat und einen höheren Gehalt an pflanzenverfügbarem Phosphor und Gesamtstickstoff sind häufiger *Calamagrostis*-Dominanzbestände, moosreiche *Calamagrostis*-Fluren sowie *Calamagrostis*-Bestände mit Übergängen zu angrenzenden Vegetationstypen, wie z.B. Sandtrockenrasen, charakterisiert. Demgegenüber sind die in den verschiedenen Untersuchungsgebieten anzutreffenden Gras-Kraut-Fluren häufig durch einen höheren pH-Wert und die Sandtrockenrasen außerdem durch einen höheren Gehalt an Sand und Skelett ausgewiesen.

Des Weiteren wurden die Wechselbeziehungen zwischen Vegetationseinheiten und Bodentypen analysiert. Dabei zeigte sich, dass v.a. Gras-Kraut-Fluren in den Untersuchungsgebieten Delitzsch-SW, Nochten und Espenhain auf Lockersyrosem bzw. Lockersyrosem-Regosol zu finden sind. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass in Folge der Wechsellagigkeit der Schwemmsubstrate in den Rippentälern auf den Abraumförderbrückenkippen Delitzsch-SW und Espenhain kleinräumig andere Bedingungen vorherrschen (wie z.B. pseudovergleyte Lockersyrosem-Regosole). Damit verbunden ist eine Veränderung in der Artenzusammensetzung, so dass in den Rippentälern v.a. *Calamagrostis*-Dominanzbestände oder auch moosreiche *Calamagrostis*-Fluren vorzufinden sind. Hingegen sind die den Sandtrockenrasen zugerechneten Vegetationsbestände in den Untersuchungsgebieten überwiegend durch Regosol (Seidewinkel und Lohsa) bzw. Lockersyrosem (Baufeld IIa) gekennzeichnet. Die nur kleinflächig anzutreffenden und überwiegend auf das Tagebaugebiet "Innenkippe Nochten" beschränkten Bodentypen, wie z.B. Pelosol, Stagnogley oder Regosol-Pseudogley, sollen in dieser zusammenfassenden Betrachtung zunächst nicht weiter berücksichtigt werden. Entsprechend diesen Ergebnissen können grob folgende Tendenzen aufgezeigt werden:

Ausgehend von den ersten Stadien der Bodenbildung Lockersyrosem (oder auch Lockersyrosem-Regosol), die im Untersuchungsgebiet überwiegend durch Gras-Kraut-Fluren trocke-

ner Standorte gekennzeichnet sind, siedeln auf Regosolen (z.T. auch noch Lockersyrosem-Regosol) v.a. Sandtrockenrasen und *Calamagrostis*-Bestände. Pararendzinen sind im Untersuchungsgebiet durch etwas artenreichere *Calamagrostis*-Bestände ausgewiesen. Ebenso weisen pseudovergleyte Böden, wie z.B. pseudovergleyter Lockersyrosem-Regosol bzw. pseudovergleyter Kalkpelosol, Vegetationsbestände mit einem höheren Deckungsgrad an *Calamagrostis epigejos* auf. So konnten auch Jakob et al. (1996) nachweisen, dass *Calamagrostis epigejos*-Dominanzbestände eher auf Standorten stocken, die durch eine bessere Wasserversorgung ausgewiesen sind. Hingegen sind die im Untersuchungsraum kartierten Stagnogleye bzw. pseudovergleyten Pararendzinen durch Röhrichtbestände gekennzeichnet, in denen z.B. *Eleocharis palustris* oder *Phragmites australis* hohe Deckungswerte erreichen können.

Die Beobachtung, dass *Calamagrostis*-Bestände unterschiedlicher Ausprägung in den Untersuchungsgebieten vorwiegend auf Flächen anzutreffen sind, die bereits eine etwas fortgeschrittenere Bodenentwicklung aufweisen, ist wahrscheinlich auf die beiden folgenden Gründe zurückzuführen: Zum einen trägt *Calamagrostis epigejos* auf Grund seiner hohen Produktion an organischer Substanz zu einer "Verbesserung" der standörtlichen Bedingungen bei (humusanreichernde Wirkung, vgl. Kap. 5.1.1). Zum anderen werden durch *Calamagrostis epigejos*-Bestände wahrscheinlich die Auswirkungen von Wind- und Wassererosion reduziert, so dass – zumindest kleinflächig – eine raschere Bodenbildung ablaufen kann. Allerdings kann ausschließlich auf der Basis der vorliegenden Ergebnisse nicht abschließend geklärt werden, ob sich *Calamagrostis epigejos* nur dort ansiedelt, wo geeignete Bedingungen bereits vorhanden sind, oder ob *Calamagrostis epigejos* selbst zu den aktuell vorhandenen Verhältnissen beiträgt. Jedoch ist angesichts dieser angedeuteten Entwicklungstendenzen nicht davon auszugehen, dass sich mittelfristig auf allen Sukzessionsflächen *Calamagrostis*-Bestände entwickeln werden. Hier ist in Folge der bereits o.g. Heterogenität der Substratverhältnisse eine Differenzierung in Bezug auf die Vegetationseinheiten zu erwarten und darüber hinaus werden durch das lokale Störungsregime (vgl. Kap. 5.1) beständig neue offene Bodenstellen entstehen, auf denen sich weitere krautige Arten, aber auch Gehölze, etablieren können.

5.3.2 Einschränkungen der Verallgemeinerbarkeit

Ausgehend von den vorliegenden Ergebnissen ist eine Differenzierung der Vegetationseinheiten sowie eine Prognose möglicher Entwicklungsrichtungen ausschließlich in Abhängigkeit von einer Unterteilung des Ausgangssubstrates in quartär und tertiär, wie z.B. von Kleinkecht (2002) für Waldentwicklung auf Kippen diskutiert, nicht möglich. Als mögliche Ursache ist in Erwägung zu ziehen, dass die ursprünglich vorhandenen Unterschiede zwischen tertiärem und quartärem Ausgangssubstrat durch folgende Phänomene überprägt werden:

Melioration mit unterschiedlicher Intensität und in unterschiedlicher Tiefe: Hinweise auf durchgeführte Meliorationsmaßnahmen konnten im Projekt für die Untersuchungsgebiete Innenkippe Nochten, Spülraum I und Seidewinkel nachgewiesen werden (vgl. Kap 4.1).

Störungen durch Wühltätigkeiten von Wildschweinen: Ausgedehnte Wühltätigkeiten von Wildschweinen sind v.a. in den Untersuchungsgebieten Innenkippe Nochten, Seidewinkel und Lohsa zu beobachten (vgl. Kap. 5.1). Die Auswirkungen dieser Wühltätigkeiten spiegeln sich sowohl in einer Veränderung des Bodentyps (z. B. Lockersyrosem-"Inseln" inmitten von Regosol) als auch in einer veränderten Vegetationszusammensetzung wieder, wie z.B. kleinere Flächen mit Sandtrockenrasenvegetation in *Calamagrostis*-Beständen (Seidewinkel)

oder auch Flächen mit Brombeer-Beständen in Sandtrockenrasen (ehemaliger Truppenübungsplatz, Lohsa).

Abtragungs- und Auflagerungsprozesse in Folge von Wind- und Wassererosion, v.a. auf den von Rippenstrukturen geprägten Abraumförderbrückenkippen Espenhain und Delitzsch SW (vgl. Kap. 4.1.6): Da die in diesen Gebieten gemessenen bodenphysikalischen und -chemischen Parameter nicht grundsätzlich als vegetationsfeindlich einzuschätzen sind, könnten auch Erosionsprozesse für die oftmals lückige Vegetation in diesen Gebieten ausschlaggebend sein. Während in den Toplagen v.a. Abtragungsprozesse die Ansiedlung und Etablierung von Pflanzen verhindern können, kann in den Tieflagen die häufige Übersandung eine Verzögerung der Vegetationsentwicklung bewirken. Zudem weisen die durch aktive Abschwemmvorgänge geprägten Lockersyroseme in den Rippentälern z.T. deutliche Vernässungsmerkmale auf. Bedingt sind diese vorrangig durch die Einschwemmung von tonigen Substraten. Als Folge können sich in den Rippentälern temporäre Gewässer unterschiedlicher Tiefe und Ausdehnung entwickeln. Es ist deshalb davon auszugehen, dass die zum gegenwärtigen Zeitpunkt festgestellten Vegetationsunterschiede zwischen Rippenkuppe und -tal auch zukünftig erhalten bleiben, wobei die mit ansteigendem Grundwasserstand zu erwartende Vergleyung (vgl. Kap. 5.1.2) in den Rippentälern eine weitere Ansiedlung von Nässezeigern erwarten lässt.

Aber auch auf ebenen Sukzessionsflächen können durch Winderosion verursachte **Substratverfrachtungen** dazu beitragen, dass Unterschiede zwischen tertiärem und quartärem Ausgangssubstrat verwischt werden. So konnten mehr oder weniger kohlehaltige Emissionsstaubeinwehungen z.B. in den Untersuchungsgebieten Innenkippe Nochten, Spülraum I und Seidewinkel nachgewiesen werden (Kap. 4.1).

Als **weitere Einflussfaktoren**, die eine Generalisierung der vorgefundenen Ergebnisse schwierig machen, sind z.B. für das Untersuchungsgebiet Spülraum I die Einspülung von Industrierückständen, der 1980 erfolgte Umbruch der Fläche (mit dem Ziel der Aufforstung) sowie ein Brand im Jahr 1994 zu erwähnen. Ebenso können zurückliegende Nutzungen (z.B. Truppenübungsplatz Lohsa) oder Sanierungsmaßnahmen ("streifenförmige" Vegetationsmuster in Folge der Kippenrückgewinnung im Tagebau Goitsche, Baufeld IIa) Einfluss auf die aktuelle Vegetationszusammensetzung nehmen. Als ausschlaggebend für kleinräumige Vegetationsmuster, die nicht ohne weiteres durch die erhobenen Umweltvariablen erklärt werden können, müssen zudem Einzelereignisse im Rahmen von Sanierungstätigkeiten genannt werden, die jedoch nicht in jedem Fall recherchierbar sind. Hierzu zählt beispielsweise das Befahren der Flächen mit Kettenfahrzeugen, deren Fahrspuren im Tagebau Goitsche durch *Corynephorus canescens* deutlich nachgezeichnet werden, die Anlage von Schneisen (zu welchem Zeitpunkt, mit welcher Breite?) oder die nicht mehr genaue Verortbarkeit von ehemaligen Fahrwegen.

Weiterhin können folgende Aspekte dafür verantwortlich sein, dass das Vorkommen von einzelnen Arten sowie die Ausbildung von Vegetationsbeständen und ihre zeitliche Entwicklung nicht ohne weiteres auf die vor Ort herrschenden Standortbedingungen zurückzuführen ist:

Regionaler Artenpool: Je nach Lage und Entfernung der neu entstehenden Flächen zu potenziellen Diasporenquellen in der Umgebung können ganz unterschiedliche Arten am Aufbau der Phytozönose beteiligt sein (vgl. Pysek & Pysek 1988, Holl & Cairns 1994, Tränkle & Poschlod 1995, Tischew 1998). Dies soll am Beispiel des Tagebaugesbietes Espenhain näher erläutert werden. Dieses Untersuchungsgebiet ist z.B. hinsichtlich mikrobiologischer

Kennwerte; pH-Wert; Gehalt an organischen Kohlenstoff, Magnesium, Kalium; S-, V-, T-Wert; Ton-, Schluff- und Sandgehalt; Luftkapazität sowie Kalkgehalt durchaus mit den Untersuchungsgebieten Baufeld IIa, ehemaliger Truppenübungsplatz Lohsa oder Seidewinkel vergleichbar. Während in den zuletzt genannten Gebieten jedoch z.B. *Corynephorus canescens*, *Helichrysum arenarium* und *Jasione montana* sowohl eine hohe Stetigkeit als auch einen hohen Deckungsgrad aufweisen, sind im Untersuchungsgebiet Espenhain *Helichrysum arenarium* und *Jasione montana* lediglich mit Einzelexemplaren vertreten, *Corynephorus canescens* konnte bislang noch nicht nachgewiesen werden. Zwar könnte ein Grund für das Fehlen dieser Arten in dem von den anderen Flächen abweichenden Makrorelief liegen, ausschlaggebend ist jedoch, dass im Südraum Leipzig sowie in der näheren Umgebung vom Tagebau Delitzsch-SW, diese Arten natürlicherweise eine Verbreitungslücke in der gewachsenen Landschaft aufweisen (Benkert et al. 1996, Hardtke & Ihl 2000). Erst in den letzten Jahren ist ein allmähliches Einwandern dieser Arten auf die Kippenflächen zu beobachten (Durka et al. 1997, UFZ 2001). Demzufolge besteht durchaus die Möglichkeit, dass sich trotz vergleichbarer abiotischer Standortbedingungen Vegetationsbestände mit einer voneinander abweichenden Artenzusammensetzung in den verschiedenen Untersuchungsgebieten entwickeln können. Die Bedeutung des regionalen Artenpools kommt außerdem dadurch zum Ausdruck, dass jedes Untersuchungsgebiet durch eine eigenständige Artenkombination ausgewiesen ist (vgl. Tab. 14). So konnten beispielsweise auch Klotz et al. (2000) für die Bergbaufolgelandschaft im Südraum Leipzig nachweisen, dass die Artenzusammensetzung auf den Kippenflächen unmittelbar die Artenzusammensetzung in den gewachsenen Randbereichen widerspiegelt. So trägt die Häufigkeit der einzelnen Arten in den Randbereichen zu einer Varianzerklärung von ca. 50 % bei, wohingegen weitere Umweltvariablen für eine Erklärung der vorgefundenen Varianz nur von untergeordneter Bedeutung sind (vgl. auch Hanf 1937, Beer 1955, Klemm 1966, Pysek & Pysek 1988).

Aber auch die auf verschiedenen räumlichen Maßstabsebenen wirkenden **Störungsregime** können Einfluss auf Artenzusammensetzung bzw. Dominanzverhältnisse an einem konkreten Ort nehmen und Vegetationsmuster verursachen, die sich nicht ohne weiteres mit parallel erhobenen abiotischen Umweltvariablen erklären lassen (vgl. z.B. White 1979, van der Maarel 1988, Jentsch et al. 2002). In den Untersuchungsgebieten spielen v.a. durch Wildschweine oder Ameisen verursachte Störereignisse eine große Rolle. Während Störungen durch Wildschweine in allen Vegetationseinheiten von Bedeutung sind, ist die Aktivität von Ameisen v.a. in Sandtrockenrasen oder Silbergras-Fluren von Bedeutung. Diese durch Tiere ausgelösten Störereignisse führen in der Regel zu offenen Bodenstellen und können somit die Ansiedlung von konkurrenzschwachen oder bislang nicht am Vegetationsaufbau beteiligten Arten begünstigen.

Kleinräumige Vegetationsmuster können aber auch durch einen sogenannten **Priority-Effekt** hervorgerufen werden (Clément & Touffet 1981, del Moral 1993, Mahn & Tischew 1995). In diesem Fall üben die zuerst ankommenden Arten einen entscheidenden Einfluss auf die weitere Besiedlung an einem Ort aus. So können sie einerseits die Funktion von "nurse plants" übernehmen (Symonides 1985, Salonen 1992, Salonen et al. 1992) und z.B. durch ein Festlegen von Feinmaterial oder Veränderung der mikroklimatischen Bedingungen dazu beitragen, dass sich in ihrem Schutz neu ankommende Individuen besser etablieren können. Andererseits können die zuerst etablierten Arten infolge des sich beständig erhöhenden Diasporenangebots oder auch über vegetative Verbreitungsmechanismen zur Dominanz gelangen und somit die Ansiedlung von weiteren Arten behindern.

5.3.3 Analyse des Sukzessionsverlaufs

Eine Vorhersage der Vegetationsentwicklung für die im Projekt untersuchten Sukzessionsflächen ist gegenwärtig nur mit Einschränkungen möglich. Ausschlagend dafür sind die folgenden Gründe:

- Da die jeweiligen Untersuchungsgebiete ein ähnliches Flächenalter aufweisen, lassen sich hieraus keine Rückschlüsse auf eine mögliche Vegetationsentwicklung ziehen.
- Das Zusammenspiel aus Standortverhältnissen, räumlicher Anordnung der Untersuchungsgebiete, aktuellen Vegetationsverhältnissen und bergbaulichen Rahmenbedingungen trägt dazu bei, dass jedes Gebiet zunächst als eine eigenständige Einheit zu betrachten ist.

Detaillierte Prognosen, welche Vegetationseinheiten sich auf welcher Fläche zu einem gegebenen Zeitpunkt einstellen, können daher nicht gemacht werden. Es können jedoch (ohne Anspruch auf Vollständigkeit) die folgenden Tendenzen aufgezeigt werden, wobei zur Vorhersage der Vegetationsentwicklung grundsätzlich zwischen unplanieren Brückenkuppen und planierten Sukzessionsflächen unterschieden werden sollte.

Auf den **Abraumförderbrückenkuppen** muss infolge des hohen Einflusses der Erosionsereignisse zwischen Rippenkuppen und -tälern differenziert werden. In den Rippentälern ist zu beobachten, dass sich dort zunächst *Calamagrostis epigejos*-Dominanzbestände oder auch moosreiche *Calamagrostis*-Fluren entwickeln. Auf den Rippenkuppen ist bei einem höheren Anteil an quartärem Substrat, ausgehend von Gras-Kraut-Fluren, wie z.B. den Möhren-Bitterkraut-Fluren oder Huflattich-Fluren, eine Entwicklung zu Gehölzbeständen zu verzeichnen. Auf reinem Tertiärs substrat trägt die verzögerte Wiederbesiedlung mit Gräsern, Kräutern und Gehölzen dazu bei, dass der vegetationsfreie Charakter über einen langen Zeitraum erhalten bleiben wird. Ein weiterer Aspekt, der für die Vegetationsentwicklung auf Brückenkuppen von Bedeutung ist, sind Unterschiede im Relief. So ist bei einem zukünftigen Grundwasserwiederanstieg eine voranschreitende Vergleyung und ein vermehrtes Auftreten von Nässezeigern und Röhrichtarten zu erwarten.

Auf **ebenen Sukzessionsflächen** hingegen ist davon auszugehen, dass die Vegetationsentwicklung stark von der Bodenart geprägt sein wird – zumindest dann, wenn keine tiefgreifenden Meliorationsmaßnahmen durchgeführt wurden. So werden sich auf eher sandigen Substraten zunächst Silbergrasfluren oder Sandtrockenrasen entwickeln, die jedoch in ihrer Artenzusammensetzung stark vom regionalen Artenpool beeinflusst werden. Davon ausgehend ist eine Entwicklung über *Calluna*-Heiden mit beginnendem Gehölzaufwuchs (wie z.B. Ginstergebüsch) hin zu Birken-Aspen-Kiefern-Vorwäldern zu erwarten. Dabei kann der Anteil der jeweiligen Gehölzarten jedoch starken Schwankungen unterliegen. Hingegen ist auf Flächen mit einem erhöhten Anteil an bindigem Substrat die Entwicklung von Gras-Kraut-Fluren und eine raschere Gehölzsukzession möglich. In jedem Fall werden *Calamagrostis*-Bestände unterschiedlicher Ausprägung sowohl auf sandigem als auch tonig/schluffigem Substrat am Vegetationsaufbau beteiligt sein. Darüber hinaus werden sich durch das lokale Störungsregime oder auch durch kleinräumige Substratunterschiede, wie z.B. Vernässungsflächen auf Tonlinsen, immer wieder unterschiedliche Vegetationsmuster herausbilden, so dass kaum eine lineare Aufeinanderfolge verschiedener Sukzessionsstadien zu erwarten ist. Zur Vegetationsentwicklung auf Sonderstandorten, wie z.B. Aschespüflflächen, liegen für langfristige Prognosen bislang zu wenig Daten vor.

6 Zusammenfassung

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurden die Einflüsse von bodenphysikalischen, -chemischen und -mikrobiologischen Parametern auf die Pedogenese und Vegetationsentwicklung auf Sukzessionsflächen in sächsischen Braunkohlentagebaugebieten analysiert. Ausgehend von umfassenden Geländekartierungen zeichnet sich grundsätzlich die Tendenz ab, dass insbesondere bezüglich des Erkennens von "echten" felddiagnostischen Merkmalen die Bodenentwicklung schneller zu verlaufen scheint, als bisher angenommen wurde. Ebenso konnte gezeigt werden, dass bodenmikrobiologische Prozesse einen entscheidenden Einfluss auf die Bodenentwicklung und somit auch auf die Vegetationsentwicklung nehmen können. Da jedoch alle untersuchten Flächen eine spezifische bergbautechnologische und bergbauhistorische Entwicklung aufweisen und demzufolge durch eine breite Vielfalt und einen hohen Grad an Individualität gekennzeichnet sind, ist für eine zielgerichtete Interpretation von Untersuchungsergebnissen die Einbeziehung von Informationen wie Verkippungstechnologie und Kippenaufbau, Alter (Liegezeiten) der Substrate, Zusammensetzung der Kippsubstrate und durchgeführte Rekultivierungsmaßnahmen (u.a. Melioration, Kulturbodenauftrag, Anpflanzungen) erforderlich. Dies kann im Einzelfall intensive und umfangreiche Recherchen erfordern. Infolge dieser hohen "Individualität" der jeweiligen Sukzessionsfläche sind auch Aussagen zum floristischen Arteninventar sowie zur Vegetationsentwicklung in der Bergbaufolgelandschaft nur mit Einschränkungen verallgemeinerbar bzw. vorhersagbar. Die Ergebnisse können folgendermaßen zusammengefasst werden:

6.1 Bodenentwicklung

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit konnte v.a. durch die Kombination von feldbodenkundlicher Dokumentation und analytischen Untersuchungen ein Beitrag zur Verbesserung des Kenntnisstandes bezüglich bodenbildender Prozesse auf Sukzessionsflächen in der sächsischen Bergbaufolgelandschaft geleistet werden, der jetzt für weitergehende, interdisziplinäre Auswertungen zur Verfügung steht.

Es konnte gezeigt werden, dass sich bereits nach fünf bis sieben Jahren Ai-/Aih-Horizonte ausgebildet haben. Ah/C-Profile, mit gut differenzierbaren Ah-Horizonten sind bereits nach ca. 15 Jahren insbesondere auf quartären Lehmen und Sanden z.T. schon sehr deutlich ausgebildet. Nach ca. 20 Jahren Bodenentwicklung sind Regosole und Pararendzinen als charakteristische und großflächig verbreitete Bodentypen anzutreffen. Neben Emissionsstaubeinwehungen beeinflussen Wühltätigkeiten des Großwildes die Horizontausbildung. Bei entsprechender Streunachlieferung kann sich diese Form der Bioturbation jedoch auch positiv auf die Humusakkumulation auswirken. Des Weiteren sind v.a. *Calamagrostis epigejos*-Bestände durch eine intensive Humusakkumulation ausgewiesen. Setzungs- und Sackungsvorgänge sowie Erosionsprozesse führen zu Schichtbildungen unterschiedlicher Mächtigkeit, wobei die Humusakkumulation nicht bzw. nur untergeordnet auf Kippsubstraten stattfindet. Somit bieten Sukzessionsflächen die einmalige Möglichkeit diese charakteristischen bodenbildenden Prozesse in der Bergbaufolgelandschaft auch langfristig zu beobachten. Allerdings konnte ebenfalls nachgewiesen werden, dass auch auf Sukzessionsflächen anthropogen bedingte profilverändernde Maßnahmen, v.a. Grundmelioration bis zur Bearbeitungstiefe, die Bodenentwicklung nachhaltig beeinflussen.

Stauvernässung war oft initial, z.T. aber auch bereits deutlich ausgebildet. In Abhängigkeit von Bodenart, Verdichtungsgrad und Mikromorphologie sind hauptsächlich Oxidations-, sel-

tener Reduktionserscheinungen erkennbar. Eine Zuordnung zu pedogener Prozessdynamik konnte in einigen Untersuchungsgebieten relativ sicher nachgewiesen werden. Da Gefügeaggregation durch Peloturbation an sehr tonige Ausgangssubstrate gebunden ist, konnten entsprechende pedogenetische Prozesse v.a. im Tagebau Nochten beobachtet werden. Reine Pelosole konnten aber auf Grund der geringmächtigen und lückigen A-Horizonte nicht auskartiert werden.

Grundsätzlich werden durch Reliefgestaltung oder Melioration sowie durch die verschiedenen Nachnutzungen in Verbindung mit Grundwasserwiederanstieg grundlegende Voraussetzungen für die Entwicklung der Rohböden geschaffen. Die Entwicklungsrichtung und spezifische Vergesellschaftung der Böden wird durch die Substratausbildung, die horizontale und vertikale Heterogenität sowie die daraus resultierenden bodenphysikalischen und -chemischen Eigenschaften beeinflusst. Dabei verlaufen typische terrestrische Entwicklungen in Abhängigkeit vom Carbonatgehalt des Ausgangssubstrats über Lockersyrosem zum Lockersyrosem-Regosol-/Pararendzina als Übergangsstadium zu Regosol bzw. Pararendzina.

Auf der Basis der vorliegenden Ergebnisse können folgende Vorschläge zur Überarbeitung bzw. Ergänzung der KA4(5) gemacht werden:

- Klasse: Ah/C - Böden – Typ: Regosol und Pararendzina: Überarbeitung und Erweiterung der Horizontkombinationen auf Basis vorhandener Dokumentationsergebnisse für die Subtypen
 - SS-RQ Pseudogley-Regosol
 - SS-RZ Pseudogley-Pararendzina
 und Ergänzung von:
 - Subtyp: SG-RQ Stagnogley Regosol
 - Subtyp: SG-RZ Stagnogley Pararendzina
- Klasse: Pelosole – Typ: Pelosol
 - Subtyp: OL-DD Lockersyrosem-Pelosol
 - Subtyp: RQ-DD Regosol-Pelosol
- Klasse: Stauwasserböden – Typ: Pseudogley
 - Subtyp: OL-SS Lockersyrosem-Pseudogley
 - Subtyp: RQ-SS Regosol-Pseudogley
 - Subtyp: RZ-SS Pararendzina-Pseudogley
 - Subtyp: RQ-SG Regosol-Stagnogley
 - Subtyp: RZ-SG Pararendzina-Stagnogley

6.2 Bodenmikrobiologische Parameter

Die in den untersuchten Substraten maximal 31 Jahre andauernde Bodenbildung hat zur Entstehung von geringmächtigen Ah/C-Böden geführt, welche insbesondere im oberen Dezimeter mikrobiell besiedelt sind. Die v.a. in den Böden aus Aschen oder Kippsubstraten nachgewiesenen niedrigen Kalium- und Phosphorgehalte und der daraus resultierende Mangel an Nährstoffen führt dazu, dass auch innerhalb dieses Bereiches zwischen den Tiefen 0 - 2 und 2 - 5 cm signifikante Unterschiede bezüglich der C_{mik} -Gehalte bestehen. In den 18 bis etwa 31 Jahre alten Böden entwickelte sich eine C_{mik} -Menge, die mit Werten zwischen rund 260 kg/ha und 700 kg/ha als "gering" bzw. "mäßig" zu bezeichnen ist.

Aus den Regressionsanalysen kann abgeleitet werden, dass die mikrobielle Biomasse und Aktivität in erster Linie in Beziehung zum K_2SO_4 -löslichen Kohlenstoff- und Tongehalt sowie

zum Bodentyp stehen. Demgegenüber lassen weder der C_{org} -Gehalt, noch die Bodenreaktion einen deutlichen Einfluss auf die C_{mik} -Menge erkennen. Ebenso bestehen zwischen dem Alter der Standorte und der Höhe der mikrobiellen Biomasse und ihrer Aktivität keine signifikanten Beziehungen.

Eine positive signifikante Korrelation besteht zwischen der Höhe der mikrobiellen Biomasse und der Bodenatmung sowie der Dehydrogenasenaktivität. Ebenso weisen die Höhe der mikrobiellen Biomasse und die Aktivität sowie deren Tiefengradient einen substratspezifischen Charakter auf, so dass eine Abstufung zwischen Böden aus unterschiedlichen anthropogenen Substraten erkennbar ist.

Durch die Erhebung und Auswertung der bodenmikrobiellen Parameter konnte gezeigt werden, dass eine mikrobiologische Indikation anthropogener Standorte sowie deren Unterschiede untereinander anhand der folgenden drei Charakteristika für die Bodenmikrobenzönose möglich und erstrebenswert ist:

- Die **Höhe der mikrobiellen Biomasse** eines gegebenen Biotops: Sie kann mit Hilfe der Methode der substratinduzierten Respiration erfasst und aufgrund von signifikanten Korrelationen mit den Aktivitätsparametern stellvertretend für diese charakterisiert werden.
- Die **Aktivität**: Sie kann durch Erfassung der Bodenatmung, der Dehydrogenasenaktivität und deren spezifische Größen ein deutliches Bild von der Mikrobenzönose vermitteln. Bezüglich des metabolischen Quotienten sind noch weitere Untersuchungen und Auswertungen des in der Literatur vorhandenen Datenmaterials nötig. Die kausalen Beziehungen zwischen diesem biotischen und weiteren abiotischen Parametern sind in unterschiedlichen Ökosystemen nicht eindeutig und eine konträre Interpretation ist möglich.
- Die **Zusammensetzung der Mikrobenzönose**: Die Biodiversität eines Systems kann und soll anhand der vorhandenen Mikroorganismengruppen und deren Besiedlungsdichte beurteilt werden.

Als Konsequenz der mikrobiellen Indikation von anthropogenen und anthropogen überprägten Standorten ist die Bewertung der Bodenqualität erstrebenswert. Auf diese Weise wird es möglich, z.B. die Belastbarkeit der Standorte mit Schadstoffen zu prognostizieren bzw. deren Rolle als potenzielle Quelle von diesen und den überschüssigen Nährstoffen einzuschätzen. Des Weiteren wird es möglich, mit Hilfe von weiteren bodenphysikalischen und -chemischen Parametern, Empfehlungen sowohl für Bodenverbesserungs- und Erosionsschutzmaßnahmen als auch für eine standortgerechte Nutzung zu präzisieren. Letztlich unterstreicht das Vorkommen von extremophilen Organismen die Schutzwürdigkeit der sie beherbergenden Standorte.

6.3 Vegetation

Ausgehend von den vorliegenden Ergebnissen zeichnet sich die Tendenz ab, dass *Calamagrostis*-Dominanzbestände oder auch moosreiche *Calamagrostis*-Bestände verstärkt auf Flächen mit einem höheren Anteil an Feinsubstrat sowie höheren Gehalt an pflanzenverfügbarem Phosphat und Gesamtstickstoff anzutreffen sind. Dies geht häufig, v.a. in Rippentälern auf Brückenkippen, mit der Ausbildung von pseudovergleyten Lockersyrosem-Regosolen einher. Hingegen korrelieren Gras-Kraut-Fluren eher mit höheren pH-Werten und konnten überwiegend auf Lockersyrosem bzw. Lockersyrosem-Regosol nachgewiesen werden. Ein höherer Anteil an Sand und Skelett und das Vorliegen von Regosol, z.T. auch Lockersyrosem, ist kennzeichnend für Flächen, die von Sandtrockenrasen besiedelt werden.

Auf unplanieren Abraumförderbrückenkippen ist bezüglich der Vegetationsentwicklung zwischen Rippenkuppen- und tälern zu differenzieren. Während in Rippentälern häufig *Calamagrostis*-Bestände dominieren, die bei zukünftigen Grundwasserwiederanstieg auch eine Entwicklung in Richtung Röhricht annehmen lassen, ist in Kuppenbereichen und bei Vorliegen von quartären Substraten eine relativ rasche Entwicklung über Möhren-Bitterkraut- oder Huflattich-Fluren zu Gehölzbeständen anzunehmen. Dominieren in den Kuppenbereichen hingegen tertiäre Substrate, ist von einer verzögerten Wiederbesiedlung mit Gräsern, Kräutern und Gehölzen auszugehen.

Auf ebenen Sukzessionsflächen nimmt die Bodenart größeren Einfluss auf die Vegetationsentwicklung. Auf sandigen Substraten ist ausgehend von Silbergras-Fluren oder Sandtrockenrasen über *Calluna*-Heiden mit Gehölzaufwuchs (z.B. Besen-Ginster) eine Entwicklung von Birken-Aspen-Kiefern-Vorwäldern anzunehmen. Hingegen dominieren auf bindigen Substraten Gras-Kraut-Fluren und es ist eine schneller einsetzende Gehölzsukzession zu erwarten.

Darüber hinaus erschweren allerdings kleinräumige Vegetationsmuster, die sich u.a. in Folge

- eines lokalen Störungsregimes (z.B. Wühltätigkeiten von Wildschweinen, durch Erosion bedingte Substratverfrachtungen oder Ab- bzw. Auflagerungsprozesse);
- kleinräumiger Substratunterschiede oder Sonderstandorte (z.B. Einspülung von Industrierückständen);
- der Flächenhistorie (Sanierungs-, Meliorationsmaßnahmen);
- der Einflussnahme des regionalen Artenpools, des Priority-Effektes, Zufallsereignisse bei der Wiederbesiedlung

einstellen, verallgemeinerbare Aussagen.

Flächendeckende Vegetationserfassungen auf repräsentativen Standorten bilden eine fundierte Basis, um den Ist-Zustand der Vegetation auf den für Prozessschutz vorgesehenen Flächen in der sächsischen Bergbaufolgelandschaft zu dokumentieren. Um jedoch Mechanismen zu identifizieren, die für die weitere Vegetationsentwicklung ausschlaggebend sind, ist die Durchführung von Wiederholungsaufnahmen zu einem späteren Zeitpunkt erforderlich. Dabei sind echte Zeitreihen von Flächen, die einer möglichst unbeeinflussten Entwicklung unterliegen, sowohl für die Sukzessionsforschung als auch für die Renaturierungsökologie von großer Bedeutung. Um eine fachlich fundierte und ökologisch aussagekräftige Interpretation zu ermöglichen, sollten parallel zu den Vegetationsaufnahmen auch Informationen zu Bodenart und -typ, Verhältnis von Tertiär-/Quartärsubstrat und Kalkgehalt sowie zu Art und Umfang von Meliorationsmaßnahmen und Sanierungstätigkeiten, bergbautechnischen Rahmenbedingungen und Flächenalter erhoben werden. Als Beispiel für die Relevanz von solchen Untersuchungen können Dauerflächenuntersuchungen von tschechischen Kippenflächen (Prach & Pysek 2001; Prach et al. 2001) oder aus dem Gebiet der Goitsche (Fromm et al. 2002) angeführt werden.

Um weitergehende Interpretationen der aktuellen Vegetationsmuster und ihrer zukünftigen Entwicklung zu ermöglichen, ist außerdem eine stärkere Berücksichtigung des regionalen Artenpools, d.h. der Entfernung von potenziellen Wiederausbreitungszentren zu den neu entstehenden Kippenflächen, ihrer Lage und Anordnung im Raum sowie ihrer Artenzusammensetzung unter Berücksichtigung der autökologischen Eigenschaften der Arten (z.B. Ausbreitungsverhalten) erforderlich. Weiterhin ist eine stärkere Einbeziehung des Störungsregimes auf verschiedenen Maßstabsebenen zur Analyse der Pedogenese und Vegetationsentwicklung auf den Prozessschutzflächen erforderlich.

Darüber hinaus werden Sukzessionsprozesse natürlich auch von z.B. faunistischen, hydrologischen oder auch klimatischen Verhältnissen beeinflusst. Auf diese Parameter konnte im Rahmen des aktuellen Projektes jedoch nicht näher eingegangen werden.

Als aussagekräftige Umweltvariablen, die im Rahmen einer felddiagnostischen Bodenansprache erhoben werden sollten, um Aussagen zur zukünftigen Vegetationsentwicklung sind v.a. Angaben zur Bodenart (Korngrößenverteilung), Anteil an Quartär- bzw. Tertiärssubstrat, Kalkgehalt, Bodentyp, Erosionsdynamik (Abtragung, Auflagerung, Substrateinwehung) und durchgeführte Meliorationsmaßnahmen zu nennen. Insbesondere die Bodenart ist als ein integrierender Parameter hervorzuheben, da z.B. die Gehalte an pflanzenverfügbarem Phosphor, Kalium und Magnesium bedingt durch Auswaschungsverluste in Sandböden meist niedriger sind als in Tonböden (vgl. auch Kleinknecht 2002). Auch die Kationenaustauschkapazität weist eine positive Korrelation mit dem jeweiligen Schluff- und Tonanteil auf, wobei die Werte für die basischen (S-Wert) und sauren (H-Wert) Austauschionen sowie die Basensättigung mit dem pH-Wert korrelieren.

6.4 Naturschutzrelevante Aspekte und Umsetzung in die Praxis

Bislang wurde das naturschutzfachliche Ziel "Prozessschutz" in der Bergbaufolgelandschaft vielfach wie eine "black box" behandelt, indem ohne detaillierte Untersuchungen Flächen anhand von "Ersatzparametern" für Prozessschutz ausgewiesen wurden. Als geeignete Ersatzparameter wurde in einer ersten Näherung das Vorhandensein von Eigenschaften herangezogen, die als ausschlaggebend für eine langfristige Geotopdynamik angesehen wurden, wie z.B. hoher Anteil an Tertiärssubstrat, hohe Reliefenergie, Nährstoffarmut, kleinräumig wechselnde Standortverhältnisse sowie ein hohes Erosionspotenzial – ohne dass jedoch hinreichende Kenntnisse vorlagen, dass es sich dabei tatsächlich um für Prozessschutz (i.S. von biotischer Entwicklung) relevante Kriterien handelt. Meistens war damit auch der Wunsch verbunden, den Offenlandcharakter dieser Landschaften möglichst langfristig zu erhalten, um gerade den an diese Standortbedingungen angepassten Tier- und Pflanzenarten, die auf Grund der Eutrophierung und Standortnivellierung in der gewachsenen Kulturlandschaft gefährdet sind, ein langfristiges Überleben, ohne Durchführung von aufwändigen Pflegemaßnahmen, zu sichern (vgl. z.B. Straube 1998, 2000).

Ausgehend von den vorliegenden Ergebnissen können diese Kriterien folgendermaßen konkretisiert werden:

- Makrorelief: Aus den Ergebnissen kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass der Ausgestaltung des Makroreliefs (vgl. Unterschiede Abraumförderbrückenkippe – geplante Flächen) sowohl im Hinblick auf die Pedogenese als auch die Vegetationsentwicklung, große Bedeutung zukommt. Um alle für die Bergbaufolgelandschaft charakteristischen Prozesse ausreichend repräsentieren zu können, sind unplanierete Brückenkippen, aber auch planierte Flächen, bei der Auswahl von Gebieten für Prozessschutz zu berücksichtigen.
- Bodenart: Da die Bodenart als integrierender Parameter für die Vegetationsentwicklung eine größere Bedeutung besitzt, müssen sowohl Flächen, die überwiegend von sandigem Substrat geprägt sind, als auch solche mit einem höheren Schluff- bzw. Tonanteil einbezogen werden.
- Sonderstandorte: Mit Blick auf die technogene Entstehung der Bergbaufolgelandschaft sollten auch Sonderstandorte, wie z.B. Aschespülflächen, als Prozessschutzflächen ausgewiesen werden.

- Räumliche Anordnung: Da davon auszugehen ist, dass der regionale Artenpool maßgeblichen Einfluss auf die Artenzusammensetzung der sich entwickelnden Phytozönosen nimmt, sollten die verschiedenen Tagebaubereiche (Südraum Leipzig – Nordraum Leipzig – Ostsachsen) ausreichend repräsentiert sein.
- Störungsregime: Als besonderes Merkmal von Prozessschutzflächen ist die oftmals kleinräumige Standort- und Vegetationsheterogenität zu nennen, die zumindest teilweise auf das jeweils vorherrschende lokale Störungsregime zurückzuführen ist (z.B. Erosionsprozesse, Aktivitäten von verschiedenen Tierartengruppen). Um längerfristig das Fortbestehen eines solchen Störungsregimes zu gewährleisten, sollten im Rahmen von Sanierungsmaßnahmen folgende Aspekte berücksichtigt werden (vgl. auch Durka et al. 1997; Wiegleb et al. 2000):
 - gezielte Verkippung von Substraten, die auch langfristig eine möglichst hohe geomorphologische Dynamik gewährleisten;
 - weitgehender Verzicht auf Maßnahmen, die sich einschränkend auf das Störungsregime auswirken, wie z.B. Nivellierung der Vegetations- und Standortverhältnisse durch Grundmelioration, Einsaaten oder Planierung;
 - Gewährleistung einer ausreichenden Flächengröße.

Um jedoch auszuschließen, dass Prozessschutz in der Bergbaufolgelandschaft nur als eine "billige Variante" des Naturschutzes betrachtet wird und als Sukzessionsflächen nur diejenigen Gebiete ausgewiesen werden, die ökonomisch irrelevant sind und Prozessschutz somit auf sogenannte "Restflächen" beschränkt bleibt, ist eine Einbeziehung der Sukzessionsflächen in ein regionales Vorrangflächennetz für Naturschutz anzustreben (Altmoos 1999a, UFZ 2001). Dabei ist außerdem zu überprüfen, welche Funktion diese Flächen im Rahmen eines landesweiten Biotopverbundes (§ 3 BNatSchG) übernehmen können. Darüber hinaus wird aus den vorliegenden Ergebnissen deutlich, dass durch die Sicherung von Prozessschutzflächen ein wesentlicher Beitrag für den Pedotopschutz (s. z.B. NSG "Innenkippe" im Tagebau Nochten) geleistet wird.

Im Sinne einer konkreten Anwendung der Ergebnisse und Fortsetzung der Arbeiten werden nachstehende Vorschläge unterbreitet:

- Integration relevanter Daten in das FIS Boden und in das FIS Naturschutz des LfUG und Aufnahme ausgewählter Profilstandorte in das Boden-Dauerbeobachtungsprogramm des LfUG;
- Einbeziehung der Untersuchungsgebiete in die Konzeptionen und Planungen zum landesweiten Biotopverbundsystem, zu Natur- und Pedotopschutzgebieten;
- Prüfung und ggf. Aufnahme der Ergänzungsvorschläge zur bodensystematischen Nomenklatur in die KA5;
- Durchführung gezielter Recherchen zur Dokumentation der bergbautechnologischen Entstehung und der bergbauhistorischen Entwicklung naturschutzrelevanter Flächen;
- Fortsetzung vergleichbarer Untersuchungen auf weiteren Sukzessionsflächen der Bergbaufolgelandschaft zur Verdichtung der Daten, zur weiteren Absicherung und Präzisierung der Aussagen unter Auswertung der Daten nach einheitlichen Kriterien;
- Entwicklung und Durchführung eines "komplexen Standortmonitorings" auf ausgewählten Flächen der Bergbaufolgelandschaft im Zusammenwirken mit anderen Sachgebieten (z.B. Naturschutz, Hydrologie, Raumplanung) sowie die integrierte Untersuchung und Erforschung von standörtlichen und landschaftlichen Entwicklungsprozessen.

7 Literaturverzeichnis

- Abo-Rady, M., Weise, A., Hoffmann, R. & Tenholtern, R. 1997. Kippsubstratkarten von Böden der Braunkohlenbergbaufolgelandschaften in Sachsen. In: SLFUG (Hrsg.): Materialien zum Bodenschutz. Radebeul.
- Abo-Rady, M., Weise, A., Oehme, W., Haubold, A., Möbes, A., Vogel, E., Neumann, E., Kühn, D. & Brandtner, W. 1998. Substratansprache auf Kippen und Halden des Braunkohlenbergbaus. Schriftenr. Angew. Geowiss. 3: 21-34.
- Abo-Rady, M. & Krüger, S. 1999. Auswirkungen einer 5-jährigen Flächenstilllegung von landwirtschaftlich genutzten Kippenböden Mitteldeutschlands und der Lausitz auf bodenphysikalische, -chemische und -biologische Eigenschaften. Forschungsbericht, LFUG Freiberg. (BMBF-Förderkennzeichen: 339634, Teilprojekt 3, LMBV Maßnahmennummer 109.50 – 109201405).
- Abresch, J.-P., Gassner, E., & von Korff, J. 2000. Naturschutz und Braunkohlensanierung. Angewandte Landschaftsökologie, 27: 427 S.
- AG Boden (1996) Bodenkundliche Kartieranleitung, 4. Auflg. Hrsg. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und Geologische Landesämter BRD. 392 S.
- Ahrens, E. & Thalmann, S. 1970. Zur Frage abiotischer CO₂-Abspaltung aus karbonathaltigen Böden. Z. Pflanzenernähr. Bodenkd., 127: 143-154.
- Altermann, M., Vogler, E. & Wünsche, M. 1998. Eigenschaften, Entwicklung und Funktion landwirtschaftlich genutzter Kippenböden im Westelbischen Braunkohlenfördergebiet und Möglichkeiten zur Optimierung von Rekultivierung, Melioration, Nutzung und Bewirtschaftung. Zwischenbericht 1. Halbjahr 1998 gemäß BEFT-ZE/AN 092, Halle. (Auftraggeber: Universität Trier, Institut für Bodenkunde).
- Altermann, M. & Rosche, O. 2002. Erfassung und Charakterisierung des abiotischen Standortfaktorenkomplexes - Bodenformen und Substrate - in ausgewählten Untersuchungsgebieten der Bergbaufolgelandschaft Mitteldeutschlands. Unveröff. Endbericht FLB (BMBF-Förderkennzeichen: 0339393A), Halle/Saale.
- Altmoos, M. 1999a. Systeme von Vorranggebieten für den Tierarten-, Biotop- und Prozeßschutz: Auswahlmethoden unter Einbeziehung von Habitatmodellen für Zielarten am Beispiel der Bergbaufolgelandschaft im Südraum Leipzig. UFZ-Bericht, 18/1999: 252 S.
- Altmoos, M. 1999b. Netzwerke von Vorrangflächen. Ein methodischer Rahmen zur Planung und Optimierung von Gebietssystemen für den Naturschutz. Naturschutz und Landschaftsplanung, 31(12): 357-367.
- Altmoos, M. & Durka, W. 1998. Prozeßschutz in Bergbaufolgelandschaften. Naturschutz und Landschaftsplanung, 30(8-9): 291-197.
- Anderson, J.P.E., Domsch, K.H., 1978. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soil. Soil Biol. Biochem., 10: 215-221.
- Anderson, T.-H. & Domsch, K.H. 1989. Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. Soil Biol. Biochem., 21: 471-479.
- Bauer, H.J. 1970. Untersuchungen zur bioökologischen Sukzession im ausgekohlten Kölner Braunkohlenrevier. Natur und Landschaft, 45: 210-215.
- Beck, T. 1984. Mikrobiologische und biochemische Charakterisierung landwirtschaftlich genutzter Böden II. Mitteilung: Beziehungen zum Humusgehalt. Z. Pflanzenernähr. Bodenkd., 147: 467-475.
- Beer, W.D. 1955. Beiträge zur Kenntnis der pflanzlichen Wiederbesiedlung von Halden des Braunkohletagebaues im nordwestsächsischen Raum. Wiss. Z. Karl-Marx Universität Leipzig, 5: 207-211.
- Bender, J. & Gilewska, M. 1984. The influence of pioneer forest plantations on the enzymatic activity of industrial soil. In: J. Szegi (Hrsg.), Soil biology and conservation of the biosphere. Akademiai, Kiado, Budapest, 827-835.
- Benkert, D., Fukarek, F. & Korsch, H. 1996. Verbreitungsatlas der Farn- und Blütenpflanzen Ostdeutschlands.
- Beyer, L. 1992. Die Dehydrogenaseaktivität typischer Ackerböden aus Geschiebemergel im Östlichen Hügelland, Schleswig-Holstein. Agrobiol. Res. 45: 28-36.
- Beyer, L., Wachendorf, C., Balzer, F.M. & Balzer-Graf, U.R. 1992. The effect of soil texture and soil management on microbial biomass and soil enzyme activities in arable soils of Northwest Germany. Agrobiol. Res. 45: 276-283.

- Borcard, D. & Legendre, P. 1984. Environmental control and spatial structure in ecological communities: an example using Oribatid mites (Acari, Oribatei). *Environ. Ecol. Stat.*, 1: 37-61.
- Borcard, D., Legendre, P. & Drapeau, P. 1992. Partialling out the spatial component of ecological variation. *Ecology*, 73(3): 1045-1055.
- Brändle, M., Durka, W. & Altmoos, M. 2000. Diversity of surface dwelling beetle assemblages in open-cast lignite mines in Central Germany. *Biodiversity and Conservation*, 9: 1297-1311.
- Brändle, M., Durka, W., Krug, H. & Brandl, R. 2003. The assembly of a local flora and fauna: Plants and birds in non-reclaimed mining sites. *Ecography*, 26: 652-660.
- Bräuning, A. 1997. In: Steine und Erden Planungsgesellschaft mbh, Zustand, Entwicklung und multifunktionale Wirkung von Wald- und Forstökosystemen auf Kippen und Halden des Braunkohlenbergbaus in Abhängigkeit vom Geotop, von der Rekultivierungsart und der waldbaulichen Behandlung. Band 1-4, unveröff. Forschungsbericht, Dresden.
- Broll, G., Dunger, W., Keplin, B. & Topp, W. 2000. Rekultivierung in Bergbaufolgelandschaften. Bodenorganismen, bodenökologische Prozesse und Standortentwicklung. *Geowissenschaften + Umwelt*. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg.
- Casida, I.E. 1977. Microbial metabolic activity in soil as measured by dehydrogenase determinations. *Appl. Environ. Microbiol.*, 34: 630-636.
- Clément, B. & Touffet, J. 1981. Vegetation dynamics in Brittany heathlands after fire. *Vegetatio*, 46: 157-166.
- CUI, 1998. Gestaltungsvorschläge für naturschutzrelevante Flächen im Geltungsbereich des Sanierungsrahmenplanes für den Tagebaureaum Spreetal. Im Auftrag der LMBV, Halle.
- del Moral, R. 1993. Mechanisms of primary succession on volcanoes: A view from Mount St Helens. In Miles, J. & Walton, D.W.H. (Hrsg.). *Primary Succession on Land*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 79-100.
- Dick, W.A. & Tabatabai, M.A. 1993. Significance and potential uses of soil enzymes. In: Metting, F.B.J. (Hrsg.), *Soil microbial ecology. Applications in agricultural and environmental management*. Marcel Dekker, Inc., New York, Basel, Hong Kong, 95-127.
- DIN 19684, Teil 5. 1977. CaCO₃ nach SCHEIBLER. Beuth Verlag, Berlin.
- DIN 19684, Teil 8. 1977. KAKpot (BaCl₂ bei pH 8,1) und austauschbare Kationen Ca, Mg, K, Na. Beuth Verlag, Berlin.
- DIN 51724 Teil 1. 1999. Bestimmung des Schwefelgehaltes. Beuth Verlag, Berlin.
- DIN ISO 10390. 1997. Bodenbeschaffenheit - Bestimmung des pH-Wertes. Beuth Verlag, Berlin.
- DIN ISO 10694. 1996. Bestimmung von C_{org}. Beuth Verlag, Berlin.
- DIN ISO 11261. 1997. Bodenbeschaffenheit - Bestimmung von Gesamt-Stickstoff - Modifiziertess Kjeldahl-Verfahren. Beuth Verlag, Berlin.
- Dunger, W. 1991. Zur Primärsukzession humiphager Tiergruppen auf Bergbauflächen. *Zool. Jb. Syst.*, 118: 423-447.
- Durka, W. & Ackermann, W. 1993. SORT - Ein Computerprogramm zur Bearbeitung von floristischen und faunistischen Artentabellen. *Natur und Landschaft*, 68: 16-21.
- Durka, W., Altmoos, M. & Henle, K. 1997. Naturschutz in Bergbaufolgelandschaften des Südraumes Leipzig unter besonderer Berücksichtigung spontaner Sukzession. *UFZ - Bericht*, 22/1997: 209 S.
- Dutzler-Franz, G. 1977. Der Einfluß einiger chemischer und physikalischer Bodenmerkmale auf die Enzymaktivität verschiedener Bodentypen. *Z. Pflanzenernähr. Bodenkd.*, 140: 329-350.
- Ellenberg, H., Weber, H.E., Düll, R. & Wirth, V. 1992. Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. *Scripta Geobot.*, 18: 180 S.
- Emmerling, C. & Werbter, N. 2001. Biomasse, Aktivität und Besiedlung von Bodenorganismen (Mikroorganismen, Collembolen, Regenwürmer, Streuabbau) als Indikatoren einer standortgerechten landwirtschaftlichen Nutzung von Kippböden. *Schriftenreihe der LfL*, 5: 79-95.
- FBM 1998. Biotoptypen der Braunkohlen-Bergbaufolgelandschaft Mitteldeutschlands. Unveröff. Manuskript, Forschungsverbund Braunkohletagebaulandschaften Mitteldeutschlands, Halle/Saale.
- FBM 1999. Konzepte für die Erhaltung, Gestaltung und Vernetzung wertvoller Biotope und Sukzessionsflächen in ausgewählten Tagebausystemen. Unveröff. Manuskript, Forschungsverbund Braunkohletagebaulandschaften Mitteldeutschlands, Halle/Saale.
- Felinks, B. 2000. Dynamik der Vegetationsentwicklung in den terrestrischen Offenlandbereichen der Bergbaufolgelandschaft. In: Wiegand, G., Bröring, U., Mrzljak, J. & Schulz, F. (Hrsg.), *Naturschutz in Bergbaufolgelandschaften - Landschaftsanalyse und Leitbildentwicklung*. Physica, Heidelberg, 160-176.

- Felinks, B., Hahn, B. & Wiegler, G. 1999. Vegetationstypen der terrestrischen Bereiche in der Niederlausitzer Bergbaufolgelandschaft. *Arch. für Nat.-Lands.*, 38(43-84).
- Felinks, B. & Wiegler, G. 1998. Welche Dynamik schützt der Prozeßschutz? Aspekte unterschiedlicher Maßstabsebenen - dargestellt am Beispiel der Niederlausitzer Bergbaufolgelandschaft. *Naturschutz u. Landschaftsplanung*, 30: 298-302.
- FIB Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaft e.V. 1994: Schaffung ökologischer Vorrangflächen bei der Gestaltung der Bergbaufolgelandschaft. Abschlußbericht zum BMBF-Forschungsvorhaben, FIB, Finsterwalde.
- FLB 2002. Forschungsverbund Landschaftsentwicklung Mitteldeutsches Braunkohlenrevier, Bernburg.
- Franzke, F. 1996a. Erstkartierung im Bereich der TK50 L4940 Borna. Unveröff. Kartierungsbericht an das Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie, Freiberg.
- Franzke, F. 1996b. Erstkartierung im Bereich des Altagebaues Laubusch. Unveröff. Kartierungsbericht an das Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie, Freiberg.
- Franzke, F. 1997a. Erstkartierung im Bereich des Altagebaues Laubusch. Unveröff. Kartierungsbericht an das Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie, Freiberg.
- Franzke, F. 1997b. Aufschlußverdichtung - Erstkartierung von Kippflächen im Bereich der TK50, L4940 Borna. Unveröff. Zwischenbericht an das Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie, Freiberg.
- Franzke, F. 1998. Einfluß der Nutzung und des Rekultivierungsalters auf die Bodenentwicklung von Kippen. Unveröff. Abschlußbericht an das Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie, Freiberg.
- Franzke, F. & Donner, Y. 1999. Bodenkundliche Untersuchungen von Böschungen in der Bergbaufolgelandschaft mit Vorrang Freizeit und Erholung. Unveröff. Abschlußbericht an das Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie, Freiberg.
- Franzke, F. & Donner, Y. 2000. Beiträge zur Bodenkundlichen Landesaufnahme, Kippenflächen, Bericht an das Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie, Freiberg.
- Fromm, A. Jakob, S. & Tischew, S. 2002. Sandtrockenrasen in der Bergbaufolgelandschaft. Syntaxonomische und experimentelle Ansätze. *Naturschutz und Landschaftsplanung*, 34(2/3): 45-51.
- G.E.O.S. 1991. Bodengeologischer Kartierungsbericht - Tagebau Spreetal, Spülraum I, BA 01/91, Freiberg.
- Garcia, C., Roldan, A. & Hernandez, T. 1997. Changes in microbial activity after abandonment of cultivation in a semiarid mediterranean environment. *J. Environ. Qual.*, 26: 285-291.
- Gil-Sotres, F., Trasar-Cepeda, M.C., Ciardi, C., Ceccanti, B. & Leirs, M.C. 1992. Biochemical characterisation of biological activity in very young mine soils. *Biol. Fertil. Soils* 13: 25-30.
- Glavac, V. 1996. Vegetationsökologie. Spektrum Akademie Verlag, Heidelberg.
- Gutte, P. 1995. Beitrag zur Gehölzsukzession in der Braunkohle-Folgelandschaft südlich von Leipzig. *Schriftenr. f. Vegetationskunde* 27: 119-126.
- Hahn, B. & Fromm, H. 2000. Biotische und abiotische Eigenschaften von Böden naturnaher Offenlandbereiche in der Niederlausitzer Bergbaufolgelandschaft. In: Wiegler, G., Bröring, U, Mrzljak, J. & Schulz, F. (Hrsg.), *Naturschutz in Bergbaufolgelandschaften: Landschaftsanalyse und Leitbildentwicklung*. Physica, Heidelberg, 143-159.
- Hanf, M. 1937. Die natürliche pflanzliche Erstbesiedlung von Abraumhalden. *Z. Naturwissenschaften, Organ d. Naturwiss. Ver. f. Sachsen und Thüringen zu Halle*, 91(2): 35-56.
- Hanf, M. 1939. Bodenzusammensetzung von Abraumhalden und natürliche pflanzliche Besiedlung. *Angew. Bot.*, 21: 149-176.
- Hardtke, H.-J. & Ihl, A. 2000. Atlas der Farn- und Samenpflanzen Sachsens. Sächsisches Druck- und Verlagshaus, Dresden.
- Harris, J.A., Birch, P. & Palmer, J.P. 1996. Land restoration and reclamation: Principles and practice. Longman, Harlow.
- Haubold, W., Katzur, J. & Oehme, W.-D. 1998. Das Lausitzer Revier - Bodensubstrate, landwirtschaftliche und forstliche Rekultivierung. Standortkundliche Grundlagen. In: Pflug, W. (Hrsg.), *Braunkohlentagebau und Rekultivierung. Landschaftsökologie - Folgenutzung - Naturschutz*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 536-558.
- Haubold-Rosar, M. 1994. Bodenphysikalische und -mechanische Eigenschaften landwirtschaftlich rekultivierter Böden aus Löß und Geschiebemergel/-lehm sowie Möglichkeiten ihrer Melioration. Shaker, Aachen.
- Haubold-Rosar, M. 1998. Bodenentwicklung. In: Pflug, W. (Hrsg.), *Braunkohlentagebau und Rekultivierung. Landschaftsökologie - Folgenutzung - Naturschutz*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 573-588.

- Heilmann, H., Joisten, H., Weise, A., Abo-Rady, M. & Bräuning, A. 1995. Natürliche und anthropogene Böden der Bergbaufolgelandschaft im Raum Leipzig (Exkursionsf.). Mitt. Dt. Bodenkundl. Ges. 77: 279-310.
- Hill, M.O. 1977. TWINSPAN. Phar Lap Software Inc.
- Holl, K.D. & Cairns, J. 1994. Vegetational community development on reclaimed coal surface mines in Virginia. Bull. Torrey Bot. Club, 121: 327-337.
- Hu, S., Coleman, D.C., Hendrix, P.F. & Beare, M.H. 1995. Biotic manipulation effects on soil carbohydrates and microbial biomass in a cultivated soil. Soil Biol. Biochem., 27: 1127-1135.
- Hu, S. & van Bruggen, A.H.C. 1997. Microbial dynamics associated with multiphasic decomposition of ¹⁴C-labeled cellulose in soil. Microb. Ecol., 33: 134-143.
- Hüttl, R., Klem, D. & Weber, E. 1999. Rekultivierung von Bergbaulandschaften. Das Beispiel des Lausitzer Braunkohlenreviers. Walter de Gruyter, Berlin, New York.
- Hunger, W., Weise, A. & Wünsche, M. 2000. Die Böden im Freistaat Sachsen. Atlas zur Geschichte und Landeskunde von Sachsen. Beiheft zur Karte A4. Leipzig und Dresden.
- Insam, H. & Haselwandter, K. 1989. Metabolic quotient of the soil microflora in relation to plant succession. Oecologia, 79: 174-178.
- Insam, H., Hutchinson, T.C. & Reber, H.H. 1996. Effects of heavy metal stress on the metabolic quotient of the soil microflora. Soil Biol. Biochem., 28: 691-694.
- Jäggi, W. 1976. Die Bestimmung der CO₂-Bildung als Maß der bodenbiologischen Aktivität. Schw. Landw. Forschung, 15: 371-380.
- Jakob, S., Tischew, S. & Mahn, E.G. 1996. Zur Rolle von *Calamagrostis epigejos* (L.) Roth in den Sandtrockenrasen des Braunkohlentagebaues "Goitsche" (bei Delitzsch). Verhandlg. GfÖ, 26: 797-805.
- Jenkinson, D.S. 1966. Studies on the decomposition of plant material in soil II. Partial sterilization of soil and the soil biomass. J. Soil Sci., 17: 280-302.
- Jentsch, A., Beyschlag, W., Nezadal, W., Steinlein, T. & Weiß, W. 2002. Bodenstörung - treibende Kraft für die Vegetationsdynamik in Sandlebensräumen. Naturschutz und Landschaftsplanung, 34(2/3): 37-44.
- Jentsch, H. 1975. Zur Pflanzenbesiedlung von Kippenflächen in Niederlausitzer Braunkohlengebieten. Naturschutzarbeit in Berlin und Brandenburg, 11: 35-39.
- Jentsch, H. 1994. Das Naturschutzgebiet Sukzessionslandschaft Nebendorf. Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg, 3(1): 29-32.
- Jongman, R.H.G., ter Braak, C.J.F. & van Tongeren, O.F.R. 1995. Data analysis in community and landscape ecology. Cambridge University Press, Cambridge.
- Jørgensen, R.G. 1995. Die quantitative Bestimmung der mikrobiellen Biomasse in Böden mit der Chloroform-Fumigations-Extraktions-Methode. Göttinger Bodenkundliche Berichte, 104: 229.
- Katzur, J. 1994. Bodenmelioration und forstliche Rekultivierung auf den Kippen und Halden des Braunkohlenbergbaues unter besonderer Berücksichtigung der extrem sauren schwefel- und kohlehaltigen Kippböden. In: Jahrestagung 1993 der Schutzgemeinschaft Deutscher Wald, Regionalverband "Lausitz", 5: 32-36.
- Katzur, J. 1997. Bergbaufolgelandschaften in der Lausitz. Naturraumpotentiale und Naturressourcen im Braunkohlerevier. Naturschutz und Landschaftsplanung, 29(4): 114-121.
- Katzur, J. & Haubold-Rosar, M. 1996. In: FIB (Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften Finsterwalde) 1996. Schaffung ökologischer Vorrangflächen bei der Gestaltung der Bergbaufolgelandschaften. Unveröff. Abschlussbericht an das BMBF, Finsterwalde: 433 S.
- Katzur, J. & Haubold-Rosar, M. 1996. Amelioration and reforestation of sulfurous mine soils in Lusatia (Eastern Germany). Water, Air and Soil Pollution, 91: 17 – 32.
- Kirmer, A. & Mahn, E.G. 2001. Spontaneous and initiated succession on unvegetated slopes in the abandoned lignite strip mining area of Goitsche, Germany. Appl. Veg. Sci., 4: 19-27.
- Kleinknecht, U. 2001. Vegetationskundliche Beschreibung und Einordnung der natürlich aufgewachsenen Birken-Zitterpappel-Vorwälder der Bergbaufolgelandschaft des Leipziger Südraums - das Hieracio piloselloidis-Betuletum pendulae ass.nov. Tüxenia, 21: 39-50.
- Kleinknecht, U. 2002. Primäre Gehölzsukzession in der Bergbaufolgelandschaft des Leipziger Südraums. Dissertationes Botanicae, 358. Borntraeger, Stuttgart.
- Klemm, G. 1966. Zur pflanzlichen Besiedlung von Abraumkippen und -halden des Braunkohlebergbaus. Hercynia, 3: 31-51.
- Klotz, S., Durka, W. & Schmidt, T. 2000. Vegetationsstruktur und -dynamik auf ehemaligen Bergbaustandorten in Mitteldeutschland und ihre Bedeutung für die Renaturierung. Bundes-

- gespräche der Kommission für Ökologie. Bd. 20 "Bergbaufolgeschäden und Ökosysteme". Dr. Friedrich Pfeil, München.
- Kolk, A. 1998. Bodenmikrobiologische Untersuchungen an forstlich rekultivierten Kippenflächen im Lausitzer Braunkohlerevier. In: Bungart, R. & Hüttel, R.F. (Hrsg.), Landnutzung auf Kippflächen - Erkenntnisse aus einem anwendungsorientierten Forschungsvorhaben im Lausitzer Braunkohlerevier. Cottbuser Schriften zu Bodenschutz und Rekultivierung. Brandenburgische Technische Universität Cottbus, Cottbus, 47-62.
- Kolk, A., Keplin, B., Werbter, S., Mayer, S. & Emmerling, C. 2000. Erprobung ausgewählter bodenbiologischer Methoden an rekultivierten Kippsubstraten. In: Broll, G., Dunger, W., Keplin, B. & Topp, W. (Hrsg.), Rekultivierung in Bergbaufolgelandschaften, Berlin, New York, 285-302.
- Kopp, D. & Ruhnau, U. 1980. Richtlinien der forstlich-standörtlichen Kartierung von Kippenstandorten. VEB Forstprojektion, Potsdam.
- Landi, L., Badalucco, L., Pomarè, F. & Nannipieri, P. 1993. Effectiveness of antibiotics to distinguish the contributions of fungi and bacteria to net nitrogen mineralization, nitrification and respiration. *Soil Biol. Biochem.*, 25: 1771-1778.
- Landratsamt des Niederschlesischen Oberlausitzkreises (Hrsg.) 1996. Naturschutz im Niederschlesischen Oberlausitzkreis. Naturschutzarbeit und Landschaftspflege. Heimatkundliche Beiträge für den Niederschlesischen Oberlausitzkreis, 13.
- LANDSCHAFTS-PLANUNG 1996. Weiterführung der ökologischen Untersuchungen der Tagebaue Nochten und Reichwalde. ÖAP Nochten/Reichwalde, Stufe 2. Unveröff. Gutachten im Auftrag der LAUBAG / GEOMONTAN GmbH. Dr. Böhnert & Dr. Reichhoff GmbH, Dresden, Freital.
- LAU (Hrsg.) 1999. Braunkohlefolgelandschaft Sachsen-Anhalts. Ber. d. Landesamtes für Umweltsch. Sachs.-Anh., Sonderheft 1/1998, Halle.
- Laves, D. & Thum, J. 1990. C/N-Transformation inkohlter organischer Substanz. Tag.-Ber., Akad. Landwirtsch.-Wiss., Berlin, 295: 105-110.
- Laves, D., Thum, J. & Wünsche, M. 1998. Das Mitteldeutsche Braunkohlenrevier - Wiedernutzbarmachung. Wirkung organischer Substanzen auf wesentliche Bodenfruchtbarkeitsmerkmale in Kippsubstraten. In: Pflug, W. (Hrsg.), Braunkohlentagebau und Rekultivierung. Landschaftsökologie - Folgenutzung - Naturschutz. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, pp. 809-821.
- Leps, J. & Smilauer, P. 2003. Multivariate analysis of ecological data using CANOCO. Cambridge University Press, Cambridge.
- LfUG Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie 1999 Kartier- und Erfassungsvorschrift für Bodenkundliche Profilaufnahmen. LfUG Freiberg.
- LfUG 2000. Schutzgebietsvorschläge für den sächsischen Teil der Bergbaufolgelandschaft des Mitteldeutschen Reviers mit landesweiter Bedeutung. Unveröff. Manuskript, Freiberg.
- LMBV 1999. Schaffung von Tagebauseen im mitteldeutschen Bergbaurevier. Die Wiederherstellung eines sich selbst regulierenden Wasserhaushaltes in den Braunkohleabbaugebieten des Freistaates Sachsen (Nordwestsachsen), des Landes Sachsen-Anhalt und des Freistaates Thüringen, Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH (Hrsg.), Berlin.
- LMBV 2000. Kerngebiete für den Naturschutz, Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau Verwaltungsgesellschaft - Länderbereich Ostsachsen.
- Londo, G. 1976. The decimal scale for relevés of permanent quadrats. *Vegetatio*, 33(1): 61-64.
- Machulla, G. 2000. Mikrobielle Aktivität von Böden aus anthropogenen und natürlichen Substraten: Meß- und Schätzverfahren für die Standortbewertung. Habilitationsschrift, Universität Halle, Halle.
- Machulla, G. & Hickisch, B. 1988. Bodenmikrobiologische Charakterisierung unterschiedlich alter Kippböden. Tag.-Ber., Akad. Landwirtsch.-Wiss. DDR, 269: 333-336.
- Mahn, E.-G. & Tischew, S. 1995. Spontane und gelenkte Sukzession in Braunkohlentagebauen - eine Alternative zu traditionellen Rekultivierungsmaßnahmen? *Verhandlg. GfÖ*, 24: 585-592.
- Malkomes, H.-P. 1984. Modifizierung der Wirkung eines Herbizids auf bodenbiologische Aktivitäten durch den Zusatz von Luzernemehl bzw. unbehandeltem Boden. *Zentralbl. Mikrobiol.*, 139: 441-452.
- Mazzarino, M.J., Szott, L. & Jimenez, M. 1993. Dynamics of soil total C and N, microbial biomass, and water-soluble C in tropical agroecosystems. *Soil Biol. Biochem.*, 25: 205-214.
- Müller, G. 1965. *Bodenbiologie*. Fischer, Jena.
- Müller, G., Förster, I., Buhlig, A., Bredemann, G. & Winkler, C. 1972. Ermittlung bodenbiologischer Aktivitätsparameter. IV. Mitt.: Ergebnisse und Prüffaktoren: Bodenatmung, Dehydrogenaseak-

- tivität und Krümelstabilität. *Zbl. Bakt., Parasitenkd., Infekt.-Krankh. u. Hyg., II. Abt.*, 127(7/8): 706-721.
- Müller, T. 1992. Zeitgang der mikrobiellen Biomasse in der Ackerkrume einer mitteleuropäischen Löß-Parabraunerde. Eine Ursache für die Mineralisation und Immobilisation des Bodenstickstoffs, Universität, Göttingen.
- NFG 1996. Bestandsergebnisse Fauna im Südteil Tagebau Espenhain 1993-1996. Unveröff. Gutachten im Auftrag der LMBV, Naturfördergesellschaft "Ökologische Station" Borna-Birkenhain e.V.
- NFG 2000. Tagebau Delitzsch-Südwest, Brückenkippe. Kernzonen für Naturschutz., Naturfördergesellschaft "Ökologische Station" Borna-Birkenhain e.V. Unveröff. Gutachten im Auftrag der LMBV.
- Novak, B. 1970. Der Einfluß gesteigerter N-Gaben auf die mikrobielle Umsetzung von Stroh im Boden. *Zbl. Bakt., Parasitenkd., Infekt.-Krankh. u. Hyg., II. Abt.*, 125(6): 577-583.
- Pan, D., Bouchard, A., Legendre, P. & Domon, G. 1998. Influence of edaphic factors on the spatial structure of inland halophytic communities: a case study in China. *J. Veg. Science*, 9: 797-804.
- Pietsch, W. 1990. Erfahrungen über die Wiederbesiedlung von Bergbaufolgelandschaften durch Arten des atlantischen Florenelementes. *Abh. und Ber. d. Naturkundemuseums Görlitz* 64: 65-68.
- Pietsch, W. 1998. Naturschutzgebiete zum Studium der Sukzession der Vegetation in der Bergbaufolgelandschaft. In: Pflug, W. (Hrsg.), Braunkohlentagebau und Rekultivierung. *Landschaftsökologie - Folgenutzung - Naturschutz*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 677-686.
- Pietzerka, U. & Roloff, A. 1995. Ökologische Untersuchungen zur Dynamik der natürlichen Gehölzbesiedlung aufgelassener Brückenkippen. Forschungsbericht. TU Dresden, Fachrichtung Forstwissenschaften, Institut für Forstbotanik und Forstzoologie. Dresden.
- Prach, K. 1987. Succession of vegetation on dumps from strip coal mining, N.W.Bohemia, Czechoslovakia. *Folia Geobot. Phytotax.*, 22: 349-354.
- Prach, K. & Pysek, P. 1999. How do species dominating in succession differ from others? *J. Veg. Science*, 10: 383-392.
- Prach, K. & Pysek, P. 2001. Using spontaneous succession for restoration of human-disturbed habitats: Experience from Central Europe. *Ecological Engineering*, 17: 55-62.
- Prach, K., Pysek, P. & Bastl, M. 2001. Spontaneous vegetation succession in human-disturbed habitats: A pattern across seres. *Appl. Veg. Sci.*, 4: 83-88.
- Pysek, A. & Pysek, P. 1989. Vegetation der Abbaudeponien in Böhmen: Veränderungen der Artensammensetzung im Verlauf der Vegetationsentwicklung. *Verhandlg. GfÖ*, 18: 37-41.
- Pysek, P. & Pysek, A. 1988. Zur spontanen Begrünung der erhaltigen und erlosenen Abbaudeponien in Böhmen. *Preslia*, 60: 133-155.
- Regionaler Planungsverband Oberlausitz Niederschlesien (Hrsg.) 1994. Braunkohlenplan Tagebau Nochten.
- Regionaler Planungsverband Oberlausitz Niederschlesien (Hrsg.) 1997. Braunkohlenplan als Sanierungsrahmenplan für den stillgelegten Tagebau Lohsa.
- Regionaler Planungsverband Westsachsen (Hrsg.) 1997. Braunkohlenplan als Sanierungsrahmenplan Tagebau Espenhain, Leipzig.
- Regionaler Planungsverband Westsachsen (Hrsg.) 1998. Braunkohlenplanung in Westsachsen, Leipzig.
- Regionaler Planungsverband Westsachsen (Hrsg.) 1999. Braunkohlenplan als Sanierungsrahmenplan Tagebaubereich Goitsche-Holzweißig-Rösa, Leipzig.
- Ross, D.J., Speir, T.W., Kettles H.A. & Mackay, A.D. 1995. Soil microbial biomass, C and N mineralization and enzyme activities in a hill pasture: influence of season and slow-release P and S fertilizer. *Soil Biol. Biochem.*, 27: 1431-1443.
- Salonen, V. 1992. Effects of artificial plant cover on plant colonization of a bare peat surface. *J. Veg. Science*, 3: 109-112.
- Salonen, V., Penttinen, A. & Särkkä, A. 1992. Plant colonization of a bare peat surface: population changes and spatial patterns. *J. Veg. Science*, 3: 113-118.
- Schafer, W.M., Nielsen, G.A. & Nettleton, W.D. 1980. Minesoil genesis and morphology in a spoil chronosequence in Montana. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44: 802-807.
- Schinner, F., Öhlinger, R., Kandeler, E. & Margesin, R. (Hrsg.) 1993. *Bodenbiologische Arbeitsmethoden*. Springer-Verlag, Berlin.
- Schlichting, E., Blume, H.P. & Stahr, K. 1995. *Bodenkundliches Praktikum*. Pareys Studentexte 81. Blackwell Wissenschaft, Berlin.

- Schmiedeknecht, A. 1996. Beziehungen zwischen standörtlichen Grundlagen und spontaner Vegetation im Tagebaugebiet "Goitsche" (Sachsen, Sachsen-Anhalt). *Verhandlg. GfÖ*, 26: 399-406.
- Schneider, R., Schneider, H. & Schröder, D. 1995. Beziehung zwischen Bodenorganismen und Gefügeentwicklung auf Löß-Neuland unter Acker- und Waldnutzung. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.*, 158: 197-204.
- Schröder, D. 1988. Initiale Bodenentwicklung in aufgespültem Löß und Hafenschlick. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.*, 151: 3-8.
- Schröder, D. & Urban, B. 1985. Bodenatmung, Celluloseabbau und Dehydrogenaseaktivität in verschiedenen Böden und ihre Beziehungen zur organischen Substanz sowie Bodeneigenschaften. *Landwirtsch. Forschung*, 38: 166-172.
- Schulz, F. & Wiegand, G. 2000. Development options of natural habitats in a post-mining landscape. *Land Degradation & Development*, 11: 99-110.
- SLfL Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft 1999. Beurteilung von Bodenzustand und Entwicklung Mittel- und Ostdeutscher Kippenböden für ihre ökologiegerechte landwirtschaftliche Nutzung. Abschlußbericht zum BMBF-LMBV-Forschungsvorhaben, Dresden. (BMBF-Förderkennzeichen: 0339634)
- Sopper, W.E. 1992. Reclamation of mine land using municipal sludge. In: Lal, R. & Stewart, B.A. (Hrsg.), *Soil Restoration. Advances in Soil Science*. Springer, Berlin, New York, 351-427.
- Sparling, G.P. & Zhu, C.Y. 1993. Evaluation and calibration of biochemical methods to measure microbial biomass C and N in soils from Western Australia. *Soil Biol. Biochem.*, 25: 1793-1801.
- Straube, S. 1998. Prozeßschutz – Artenschutzstrategie. *Naturschutzarbeit in Sachsen* 40: 39-46.
- Straube, S. 2000. Der Natur überlassen statt gestalten. Flächen im mitteldeutschen Braunkohlenrevier. *Nationalpark 1/2000*: 29-33.
- Stroo, H.F. & Jencks, E.M. 1982. Enzyme activity and respiration in minesoils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46: 548-553.
- StUFA 1999. Betrifft: Naturschutzgebiet "Innenkippe Nochten". Würdigung des Naturschutzgebietes. Unveröff. Manuskript, Staatliches Umweltfachamt Bautzen, Bautzen.
- Symonides, E. 1985. Population structure of psammophyte vegetation. *Tüxenia*, 5: 259-271.
- Szegi, J., Vörös, N. & Gulyas, F. 1983. Soil biological problems of the recultivation of open cut pit tips. *Zentralbl. Mikrobiol.*, 138: 577-583.
- Tabatabai, M.A. 1994. Soil Enzymes. In: Tabatabai, M.A. (Hrsg.), *Methods of soil analysis, Part 2. Microbiological and biochemical properties*. SSSA, Madison, WI, 775-833.
- ter Braak, C.J.F. & Smilauer, P. 2002. *CANOCO reference manual and CanoDraw for Windows. User's guide: software for canonical community ordination (version 4.5)*. Microcomputer Power, Ithaca, New York.
- Thomasius, H. & Häfker, U. 1998. Das Mitteldeutsche Braunkohlenrevier - Folgelandschaft, Rekultivierung und Naturschutz. Forstliche Rekultivierung. In: Pflug, W. (Hrsg.), *Braunkohlentagebau und Rekultivierung. Landschaftsökologie - Folgenutzung - Naturschutz*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 839-872.
- Thomasius, H., Wünsche M., Selent, H. & Bräuning, A. 1997. Zustand, Entwicklung und multifunktionale Wirkung von Wald- und Forstökosystemen auf Kippen und Halden des Braunkohlenbergbaus in Abhängigkeit vom Geotop, von der Rekultivierungsart und der waldbaulichen Behandlung. Abschlußbericht der Steine und Erden Planungsgesellschaft mbH, Dresden. (Im Auftrag der Deutschen Bundesstiftung für Umwelt und der LMBV).
- Thomasius, H., Wünsche, M., Selent, H. & Bräuning, A. 1998. Wald- und Forstökosysteme auf Kippen des Braunkohlenbergbaus in Sachsen - ihre Entstehung, Dynamik und Bewirtschaftung. *Schriftenreihe Sächsisches Landesamt für Forsten*, 17.
- Thum, J., Wünsche, M., Laves, D. & Vogler, E. 1990. Zur Humusbildung auf Kipp-Lehm bei Ackernutzung. *Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenk.*, 34(855-864).
- Tilsch, H. & Roloff, A. 1996. Bodenkundliche Begleituntersuchungen zu Sukzessionsaufnahmen auf der Brückenkippe des Tagebaus Espenhain. Pilotstudie, Abschlussbericht (FKZ: 02-8802.3529/8). TU Dresden, Fachrichtung Forstwissenschaften, Institut für Forstbotanik und Forstzoologie. Dresden.
- Tischew, S. 1996. Analyse von Mechanismen der Gehölzsukzession auf Braunkohlentagebaukippen. *Verhandlg. GfÖ*, 26: 407-426.
- Tischew, S. 1998. Sukzession als mögliche Folgenutzung in sanierten Braunkohlentagebauen. *Berichte des Landesamtes für Umweltschutz Sachsen-Anhalt*, 1: 42-54.

- Tischew, S. & Mahn, E.G. 1998. Ursachen räumlicher und zeitlicher Differenzierungsprozesse von Silbergrasfluren und Sandtrockenrasen auf Flächen des mitteldeutschen Braunkohlentagebaus - Grundlagen für Renaturierungskonzepte. *Verhandlg. GfÖ*, 28(307-317).
- Tränkle, U. & Poschod, P. 1995. Vergleichende Untersuchungen zur Sukzession von Steinbrüchen unter besonderer Berücksichtigung des Naturschutzes. *Ergebnisse und Schlußfolgerungen*. Veröff. PAÖ, 12: 167-178.
- Trofimov, S.S., Naplekova, N.N. & Kandrasin, E.P. (Hrsg.) 1986. *Gumusoobrasowanie v technogenykh ekosistemach*. Nauka, Novosibirsk.
- UFZ 2001. Vorrangflächen für Naturschutz in der Bergbaufolgelandschaft Westsachsens und Nordthüringens. Unveröff. Abschlussbericht, Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH, Leipzig.
- van der Maarel, E. 1988. Vegetation dynamics: patterns in time and space. *Vegetatio*, 77: 7-19.
- van Gestel, M., Ladd, J.N. & Amato, M. 1992. Microbial biomass responses to seasonal change and imposed drying regimes at increasing depths of undisturbed topsoil profiles. *Soil Biol. Biochem.*, 24: 103-111.
- Vance, E.C., Brookes, P.C. & Jenkinson, D.S. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biol. Biochem.*, 19: 703-707.
- VEB GFE 1969. Bodengeologisches Gutachten über die Wiederurbarmachungsflächen 1969 (Pflugkippe 1, Pflugkippe 3, Absetzerkippe und Brückenkippe) im Bereich des Tagebaus Spreetal des VEB Kombinat Schwarze Pumpe, Geologische Forschung und Erkundung Freiberg (Unveröff. Gutachten i.A. des VEB Kombinat Schwarze Pumpe), Freiberg.
- VEB GFE 1977. Spülraum I / Tagebau Spreetal des VEB BKW Welzow. Stellungnahme Bodengeologie, Kippe Spreetal 1977, Geologische Forschung und Erkundung Halle (Betriebsteil Freiberg). (Unveröff. Gutachten i.A. VEB Braunkohlenwerk Welzow), Freiberg.
- VEB GFE 1979. Spülraum I im Tagebaubereich Spreetal des VEB BKW Welzow. Kippengutachten, Kippe Welzow 1978, Geologische Forschung und Erkundung Freiberg. (Unveröff. Gutachten i.A. des VEB BKW Welzow), Freiberg.
- VEB GFE 1985. Absetzertiefschüttung 1010 und SE-Teil Plateau Absetzertiefschüttung 1010 sowie Plateau/S-Böschung Absetzertiefschüttung 1063 im Tagebau Nochten (Begutachtungsabschnitt 1984). (Unveröff. Gutachten i. A. VEB BKW "Glückauf", Knappenrode). Geologische Forschung und Erkundung, Freiberg.
- VEB GFE 1988. Tagebau Scheibe; Außenkippe Tgb. Lohsa (Begutachtungsabschnitt 01/88). WUM Kippe Scheibe 1988., Geologische Forschung und Erkundung Freiberg. (Unveröff. Gutachten i.A. des VEB Braunkohlenwerk Welzow), Freiberg.
- Vogler, E., Schmidt, M. & Saupe, G. 1998. Das Mitteldeutsche Braunkohlenrevier - Folgelandschaft, Rekultivierung und Naturschutz. *Landwirtschaftliche Rekultivierung*. In: Pflug, W. (Hrsg.), Braunkohlentagebau und Rekultivierung. *Landschaftsökologie - Folgenutzung - Naturschutz*, Berlin, Heidelberg, 828-838.
- Westhus, W. 1981. Die Vegetation des Naturschutzgebietes "Nordfeld Jaucha" - eines älteren Tagebaurestloches. *Hercynia N.F.*, 18: 414-433.
- White, P.S. 1979. Pattern, process, and natural disturbance in vegetation. *Botanical Review*, 45(3): 229-299.
- Wiegand, G., Bröring, U., Mrzljak, J. & Schulz, F. (Hrsg.) 2000. *Naturschutz in Bergbaufolgelandschaften - Landschaftsanalyse und Leitbildentwicklung*. Physica-Verlag.
- Wiegand, G. & Felinks, B. 2001a. Predictability of early stages of primary succession in post-mining landscapes of Lower Lusatia, Germany. *Applied Vegetation Science*, 4(1): 5-18.
- Wiegand, G. & Felinks, B. 2001b. Primary succession in post-mining landscapes of Lower Lusatia - chance or necessity. *Ecol. Engineering*, 17: 199-217.
- Wolf, G. 1985. Primäre Sukzession auf kiesig-sandigen Rohböden im Rheinischen Braunkohlerevier. *Schriftenr. Vegetationskde.*, 16: 203 S.
- Wolf, G. 1998. Freie Sukzession und forstliche Rekultivierung. In: Pflug, W. (Hrsg.), Braunkohlentagebau und Rekultivierung. *Landschaftsökologie - Folgenutzung - Naturschutz*, Berlin, Heidelberg, 289 – 301.
- Wünsche, M., Oehme, W.-D., Haubold, W., Knauf, C., Schmidt, K.-J., Frobenius, A. & Altermann, M. 1981. Die Klassifikation der Böden auf Kippen und Halden in den Braunkohlenrevieren der DDR. *Neue Bergbautechnik*, 1: 42-48.
- Wünsche, M., Vogler, E. & Knauf, C. 1998. Bodenkundliche Kennzeichnung der Abraumsstrate und Bewertung der Kippenböden für die Rekultivierung im Mitteldeutschen Braunkohlenrevier. In:

- Pflug, W. (Hrsg.), Braunkohlentagebau und Rekultivierung. Landschaftsökologie - Folgenutzung - Naturschutz. Springer, Berlin, Heidelberg, 780-796.
- Zvjagintsev, D.G. 1980. Metody pocvennoj mikrobiologii i biochimii. Moskovskij Universitet, Moskwa.

Anhang 1: Abkürzungen der in den Ordinationsdiagrammen genannten Pflanzenarten

Artname	Abkürzung	Artname	Abkürzung
Achillea millefolium	Achimill	Hippophae rhamnoides (K)	Hipprh_k
Arenaria serpyllifolia	Arenerp	Hippophae rhamnoides (S)	Hipprh_s
Arrhenatherum elatius	Arrhelat	Hypochaeris radicata	Hyporadi
Artemisia vulgaris	Artevulg	Jasione montana	Jasimont
Betula pendula (B2)	Betup_b2	Leontodon hispidus	Leonhisp
Betula pendula (K)	Betupe_k	Medicago lupulina	Medilupu
Betula pendula (S)	Betupe_s	Medicago x varia	Medix va
Brachythecium rutabulum	Bracruta	Melilotus alba	Melialba
Bromus tectorum	Bromtect	Oenothera ammophila	Oenoammo
Calamagrostis epigejos	Calaepig	Oenothera spec.	Oenotspec
Calluna vulgaris	Callvulg	Peltigera didactyla	Peltdida
Carex hirta	Carehirt	Phragmites australis	Phraaust
Carlina vulgaris	Carlvulg	Picris hieracioides	Picrhier
Cerastium glomeratum	Ceraglom	Pinus sylvestris (B)	Pinusy_b
Ceratodon purpureus	Cerapurp	Pinus sylvestris (K)	Pinusy_k
Chaenorrhinum minus	Chaeminu	Plantago major	Planmajo
Cirsium arvense	Cirsarve	Poa compressa	Poa comp
Cladonia pyxidata	Cladpyxi	Polytrichum piliferum	Polypili
Cladonia subulata	Cladsubu	Populus tremula (K)	Poputr_k
Conyza canadensis	Conycana	Populus x canadensis (K)	Popux_k
Corynephorus canescens	Corycane	Populus x canadensis (S)	Popux_s
Crepis tectorum	Creptect	Prunus serotina (K)	Prunse_k
Dactylis glomerata	Dactglom	Psyllium arenarium	Psylaren
Daucus carota	Daucaro	Reseda lutea	Reselute
Dianthus deltoides	Diandelt	Rosa spec. (K)	Rosasp_k
Diploaxis tenuifolia	Dipltenu	Rumex acetosa	Rumeacet
Echium vulgare	Echivulg	Rumex acetosella	Rumeasel
Epilobium angustifolium	Epilangu	Salix caprea (K)	Salica_k
Epilobium parviflorum	Epilparv	Scleranthus perennis	Sclepere
Epilobium tetragonum ssp. tetragonum	Epiltetr	Solidago canadensis	Solicana
Erigeron acris	Erigacri	Tanacetum vulgare	Tanavulg
Eupatorium cannabinum	Eupacann	Taraxacum spec.	Taraspec
Festuca brevipila	Festbrev	Teesdalia nudicaulis	Teesnudi
Festuca rubra	Festrubr	Trifolium arvense	Trifarve
Filago minima	Filamini	Trifolium repens	Trifrepe
Helichrysum arenaria	Heliaren	Tussilago farfara	Tussfara
Hieracium pilosella	Hierpilo	Vicia angustifolia	Viciangu
Hieracium piloselloides	Hierpioi	Vicia tetrasperma	Vicitetr