



Bodenschutz in Hessen

Rekultivierung von Tagebau- und sonstigen Abgrabungsflächen

Herstellung einer durchwurzelbaren Bodenschicht



Impressum

Herausgeber

Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz,
Landwirtschaft und Verbraucherschutz
Mainzer Straße 80
65189 Wiesbaden
E-Mail: poststelle@umwelt.hessen.de
www.umweltministerium.hessen.de

Auftraggeber

Regierungspräsidium Darmstadt
Abteilung Arbeitsschutz und Umwelt Wiesbaden
Lessingstraße 16-18
65189 Wiesbaden
IV/Wi 41.1 Arbeitsschutz und Umwelt

Projektbetreuung

Marion Peine | *Regierungspräsidium Darmstadt*

Bearbeitung

Ingenieurbüro Dr. Feldwisch
Dr. Norbert Feldwisch
Karl-Philipp-Straße 1
51429 Bergisch Gladbach
www.ingenieurbuero-feldwisch.de

Ingenieurbüro Flickinger & Tollkühn GmbH
Thilo Tollkühn
Am Josenberg 10
78355 Hohenfels-Kalkofen
www.flickinger-tollkuehn.de

März 2017

ISBN 978-3-89274-391-0

Projektbegleitender Arbeitskreis

Harald Baacke | *Regierungspräsidium Darmstadt*
Gerhard Darschin | *Regierungspräsidium Darmstadt*
Luitgard Kirfel | *Hessisches Ministerium für Umwelt, Klima-
schutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz*
Dierk Koch | *Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen*
Udo Laun | *Fachbereich Wasser und Boden Hochtaunuskreis*
Dr. Jörg Martin | *Hessisches Ministerium für Umwelt, Klima-
schutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz*
Marion Peine | *Regierungspräsidium Darmstadt*
Dr. Stephanus Sauer | *Landesamt für Geologie und Bergbau
Rheinland-Pfalz*
Dr. Thomas Vorderbrügge | *Hessisches Landesamt für Natur-
schutz, Umwelt und Geologie*
Carolin Wurm | *Regierungspräsidium Darmstadt*

Titelfoto

Ingenieurbüro Dr. Feldwisch

Hinweis

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Hessischen Landesregierung herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlbewerberinnen und -bewerbern oder Wahlhelferinnen und -helfern während eines Wahlkampfes zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags-, Europa- und Kommunalwahlen. Missbräuchlich sind insbesondere eine Verteilung dieser Druckschrift auf Wahlveranstaltungen oder an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel.

Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Druckschrift nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Landesregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es jedoch gestattet, die Druckschrift zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden.

Bodenschutz in Hessen

Rekultivierung von Tagebau- und sonstigen Abgrabungsflächen

- Herstellung einer durchwurzelbaren Bodenschicht -

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	9
1 Einleitung	10
2 Zulassungsverfahren	12
2.1 Bergrecht	13
2.2 Wasser-, Immissions-, Naturschutz- und Baurecht	15
3 Anforderungen an die Planung	17
3.1 Planungsgrundsätze	17
3.2 Verfüllbereiche.....	18
3.3 Dokumentation des Ausgangszustands der Böden.....	19
3.4 Flächen- und Massenbilanz der Eingriffe in Böden	22
3.5 Anforderungen an das Bodenmaterial.....	24
3.6 Fachlich unzureichende Inhalte von Planungsunterlagen	25
4 Allgemeine Anforderungen an die Bodenrekultivierung	26
4.1 Mindestflächen, Flächenform, räumliche Aspekte	26
4.2 Anlegen von Probefeldern	27
4.3 Maschinen und Geräte – Einsatzmöglichkeiten und -grenzen.....	29
4.4 Bodenfeuchte – Grenzen für Bodenarbeiten	38
4.4.1 Konsistenzgrenzen.....	38
4.4.2 Grenzen des Wassergehalts bzw. der Wasserspannung	39
4.5 Anforderungen an die Bodenkundliche Baubegleitung.....	44
4.5.1 Aufgabenspektrum einer Bodenkundlichen Begleitung.....	44
4.5.2 Anforderungen an die Ausbildung der bodenkundlichen Begleitung.....	46
5 Bodenausbau bzw. Bodenabtrag	48
5.1 Grundsätze	48
5.2 Vornutzung Wald	49

5.3	Vornutzung Landwirtschaft	50
5.3.1	Ackerböden	50
5.3.2	Grünlandböden	51
6	Zwischenlagerung	52
7	Rekultivierungsarbeiten	56
7.1	Herstellung des Rohplanums (mittlerer Teil des Füllkörpers)	566
7.2	Herstellung der durchwurzelbaren Bodenschicht	57
7.2.1	Geeignete Materialien	57
7.2.2	Mächtigkeit der durchwurzelbaren Bodenschicht.....	57
7.2.3	Schadstoffgehalte des Bodenmaterials	60
7.2.4	Physikalische und sonstige Eigenschaften des Bodenmaterials.....	60
7.3	Anlieferung von Bodenmaterial	64
7.4	Bodenschonende Einbauverfahren	65
7.4.1	Streifenverfahren.....	65
7.4.2	Flächenverfahren	70
7.4.3	Zwischenbegrünung des Unterbodens	711
7.5	Abweichende Anforderungen an den oberen Verfüllbereich.....	711
8	Überwachung und Dokumentation der bautechnischen Ausführung.....	733
9	Standortgutachten.....	74
10	Sanierung von Rekultivierungsmängeln.....	76
10.1	(Tief-)Lockerungen	77
10.2	Auffüllung von Sackungen	78
10.3	Bodenaustausch	78
10.4	Unterstützende Rekultivierungsmaßnahmen	79
10.5	Dränung.....	79
10.6	Sanierung stofflicher Schäden	80

11	Folgebewirtschaftung	81
11.1	Zwischenbegrünung	81
11.2	Folgenutzung Wald.....	84
11.2.1	Zwischenbegrünung.....	85
11.2.2	Vorwald.....	86
11.3	Folgenutzung Offenlandschaft (Landwirtschaft oder Naturschutz)	87
11.4	Abnahme	88
12	Literatur	91
13	Anhang – Checklisten	94

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2–1:	Zulassungsverfahren bei Rohstoffabbauvorhaben in Hessen (nach HLUG 2008).....	12
Abb. 3–1:	Schematischer Aufbau eines natürlichen Bodenprofils und eines Rekultivierungsbodens mit fachspezifischen Begrifflichkeiten	18
Abb. 4–1:	Schematische Darstellung der Druckfortpflanzung im Boden in Form so genannter Druckzwiebeln bei unterschiedlichen Kontaktflächen des Laufwerks und unterschiedlichen Auflasten (verändert nach Gisi et al. 1997) ..	30
Abb. 4–2:	Langarmraupenbagger (Stefan Melchior, melchior + wittpohl Ingenieuresellschaft)	32
Abb. 4–3:	Schematische Aufsicht des Bodenauftrags mittels Planierraupe und Kettenbagger. Der geringere Spurfächenanteil wird deutlich (Ingenieurbüro Feldwisch).....	33
Abb. 4–4:	Lockerung des Rohplanums von einem Kettenbagger mit Tiefengrubber. Ein Wechsel zwischen Baggerlöffel und Tiefengrubber ist mittels Schnellkupplung leicht möglich. (Fotos: Gerhard Dumbeck)	36
Abb. 4–5:	Nomogramm zur Ermittlung des maximalen Kontaktflächendrucks von Maschinen in Abhängigkeit von der Saugspannung und dem Maschinengewicht (nach FaBo 2003, verändert)	40
Abb. 6–1:	Lage von Bodenmieten (nach FSK Schweiz 2001).....	52
Abb. 7–1:	Regelprofil der Verfüllbereiche	57
Abb. 7–2:	Aufsicht eines Streifenverfahrens (Ingenieurbüro Feldwisch)	66

Abb. 7–3:	Aufsicht schematischer Befahrungslinien beim Streifenverfahren zur Begrenzung des befahrenen Flächenanteils (Ingenieurbüro Feldwisch).....	67
Abb. 7–4:	Querschnitt eines Streifenverfahrens mit einem Arbeitsgang (Ingenieurbüro Feldwisch).....	68
Abb. 7–5:	Querschnitt eines Streifenverfahrens mit zwei Arbeitsgängen (Ingenieurbüro Feldwisch).....	69
Abb. 7–6:	Flächenverfahren mit zwei Arbeitsgängen (Ingenieurbüro Feldwisch) oben: Querschnitt unten: Aufsicht des Einbaus des A-Materials	70
Abb. 10–1:	Gefüge- und Aufwuchsschäden nach der Wiederherstellung durchwurzelbarer Bodenschichten durch schädliche Verdichtungen mit Pfützenbildungen sowie Bodenschäden durch Substratmischung, hier Kieseinmischungen in den lössbürtigen Mutterboden (Fotos: Ingenieurbüro Feldwisch).....	76
Abb. 10–2:	Mechanische Tieflockerung; Links: Abbruchlockerungsgerät („MM100“) (Ingenieurbüro Feldwisch) Rechts: Stechhublockerer TLG 470 (T. Weyer, Fachhochschule Südwestfalen).....	77
Abb. 10–3:	Links: Pfützenbildung in Sackungsbereichen (Ingenieurbüro Feldwisch) Rechts: Auffüllen der Sackungen mit geeignetem Bodenmaterial bei trockenen Bodenverhältnissen (Ingenieurbüro Feldwisch)	78
Abb. 10–4:	Dränpflug im Einsatz (Ingenieurbüro Feldwisch)	80
Abb. 11–1:	Wurzelbilder ausgewählter Begrünpflanzen (Kutschera 2010; mit freundlicher Genehmigung des DLG-Verlags).....	84
Abb. 11–2:	Begrünpung mit Saatgutmischungen fördert die Bodenbedeckung	85

Tabellenverzeichnis

Tab. 3–1:	Mustertabelle zur Inanspruchnahme von Bodenflächen	22
Tab. 4–1:	Flächenfreimachung, Bodenabtrag, Aufmietung, Bodenauftrag – Einsatzmöglichkeiten und Einsatzgrenzen verschiedener praxisüblicher Maschinen und Geräte	31
Tab. 4–2:	Bodentransport auf der Baustelle – Einsatzmöglichkeiten und Einsatzgrenzen verschiedener praxisüblicher Maschinen und Geräte.....	34
Tab. 4–3:	Tieflockerung – Einsatzmöglichkeiten und Einsatzgrenzen verschiedener praxisüblicher Maschinen und Geräte	35
Tab. 4–4:	Dränung – Einsatzmöglichkeiten und Einsatzgrenzen verschiedener praxisüblicher Maschinen und Geräte	37
Tab. 4–5:	Konsistenzbereiche der Böden, Konsistenzgrenzen und Bodenfeuchtezustand nach Ad-hoc-AG Boden (2005, S. 115) sowie Befahrbarkeit nach DIN 19731 und BMLFUW (2012, S. 42).....	38

Tab. 6–1:	Bewertung des zwischenzulagernden Bodenmaterials und der Mieteneigenschaften (FaBo 2003, verändert).....	54
Tab. 6–2:	Maximale Höhen der Bodenmieten nach den Kriterien der Tab. 6–1 (FaBo 2003, verändert).....	54
Tab. 7–1:	Regelmächtigkeit der durchwurzelbaren Bodenschicht (dwB) in Abhängigkeit von der (Folge-)Nutzung und der Vegetationsart nach LABO (2002), ergänzt um Regelmächtigkeiten humoser Oberböden und Kommentierungen nach Feldwisch (2014).....	59
Tab. 7–2:	Begrenzung des Humusgehaltes bei der Herstellung einer durchwurzelbaren Bodenschicht (LABO 2002, Tabelle II-2; verändert)	62
Tab. 7–3:	Bodenkundliche Anforderungen an die Rekultivierungsschicht in Abhängigkeit von der Zielnutzung (nach BMLFUW 2012, verändert)	62
Tab. 11–1:	Artenliste zur Zwischenbegrünung von Rekultivierungsböden (Auswahl)	82
Tab. 11–2:	Bodenkundliche Kontrollkriterien zur Beurteilung der durchwurzelbaren Bodenschicht (nach BVB 2013, S. 82-83; verändert)	89

Checklisten

Checkliste 1:	Prüfung der verwendeten Bodeninformationen zur Bestandserfassung....	94
Checkliste 2:	Prüfung der Erfassung der Empfindlichkeit der betroffenen Böden.....	95
Checkliste 3:	Prüfung der Flächen- und Massenbilanz in den Antragsunterlagen.....	97
Checkliste 4:	Prüfung der allgemeinen Anforderungen an die Rekultivierung	98
Checkliste 5:	Prüfung der Ausführungen zum Bodenausbau	99
Checkliste 6:	Prüfung der Ausführungen zur Zwischenlagerung	100
Checkliste 7:	Prüfung der Ausführungen zu den Rekultivierungsarbeiten	101
Checkliste 8:	Überwachung	102
Checkliste 9:	Prüfung der Ausführungen zum Standortgutachten	104
Checkliste 10:	Prüfung der Sanierung von Rekultivierungsmängeln	105
Checkliste 11:	Prüfung des Konzeptes zur Folgebewirtschaftung.....	106

Vorwort

Liebe Leserin, lieber Leser,

Kiesgruben, Steinbrüche, Sandabbau – der Rohstoffbedarf unserer Wirtschaft hinterlässt deutliche Spuren in Natur und Landschaft. Am Ende der Rohstoffgewinnung steht oftmals eine Rekultivierung der betroffenen Abbauflächen. Aber auch bei anderen Vorhaben ist es immer wieder nötig, entstandene Schäden an Natur und Landschaft so weit wie möglich zu beheben.



Dazu gehört insbesondere, eine durchwurzelbare Bodenschicht herzustellen. Dies erfordert Wissen und Sorgfalt. Böden sind ein hochkomplexes Gefüge aus mineralischen Bestandteilen und organischen Substanzen, in deren Poren Wasser und Luft gespeichert werden. Essentiell für den Erfolg einer Rekultivierung ist die Vermeidung schädlicher Verdichtungen des Bodens. Lagerung, Einbau und Eigenschaften der Böden sind dafür von zentraler Bedeutung: Sie bestimmen, ob die Böden ihre vielfältigen Funktionen im Naturhaushalt wieder übernehmen können.

Nur auf intakten Böden kann die Landwirtschaft dauerhaft gesunde Nahrungsmittel produzieren oder ein Wald sich entwickeln. Sauberes Grundwasser kann nur garantiert werden, wenn unsere Böden als Wasserfilter funktionsfähig sind.

Verdichteter Boden ist hingegen für die kommenden Generationen in seinen Funktionen stark beeinträchtigt. Auch wenn oft noch Gras über ihm wächst und man ihm nicht ansieht, dass er geschädigt ist: Seine eigentlichen Leistungen kann der Boden nicht mehr erbringen. Er verliert einen Großteil seiner Fähigkeit zur Speicherung von Wasser, Wurzeln können ihn nicht mehr durchdringen, der dezentrale Wasserrückhalt der Böden als Beitrag zur Hochwasservorsorge und vieles mehr bleibt verloren.

Eine sorgfältige Rekultivierung zahlt sich aus: Ob die Flächen später als Wald, für die Landwirtschaft oder Naturschutz geplant sind – die rekultivierten Böden prägen den Standort und sind entscheidend für die erfolgreiche Folgenutzung.

Mit dieser Arbeitshilfe geben wir allen, die mit der Rekultivierung von Abgrabungen oder der Herstellung einer durchwurzelbaren Bodenschicht befasst sind, eine umfassende und praxisnahe Hilfestellung an die Hand.

A handwritten signature in black ink, which appears to read 'Priska Hinz'. The signature is fluid and cursive.

Priska Hinz

Hessische Ministerin für Umwelt, Klimaschutz,
Landwirtschaft und Verbraucherschutz

1 Einleitung

Bei der Rekultivierung von Tagebauflächen wird ein vollständiger oder teilweiser Neuaufbau von Böden vorgenommen. Die Rekultivierung kann in die Arbeitsschritte Planung, technische Ausführung, Überwachung und Folgebewirtschaftung gegliedert werden.


Die materiellen Anforderungen des vorsorgenden Bodenschutzes an die Rekultivierungsschicht sind insbesondere in § 12 BBodSchV näher geregelt. Die Rekultivierungsschicht entspricht im Regelfall der bodenschutzfachlich definierten durchwurzelbaren Bodenschicht, die zumeist bis zu 2 m Tiefe reicht.

Die derzeitige Rekultivierungspraxis entspricht nicht immer den Anforderungen des Bodenschutzes. So gelingt es nicht in jedem Fall, die natürlichen Bodenfunktionen wieder weitgehend entsprechend der standortgerechten Ausprägung herzustellen. Beispielsweise treten schädliche Bodenverdichtungen in den Rekultivierungsschichten auf, wenn die Bodenarbeiten bei zu hohen Bodenwassergehalten durchgeführt werden.

In Hessen werden die materiellen Anforderungen an Verfüllungen in der „Richtlinie für die Verwertung von Bodenmaterial, Bauschutt und Straßenaufbruch in Tagebauen und im Rahmen sonstiger Abgrabungen“ vom 3. März 2014 (Verfüllrichtlinie; StAnz. 10/2014 S. 211) festgelegt (HMUKLV 2014a). Für die Herstellung der durchwurzelbaren Bodenschicht werden dabei Rahmenbedingungen vorgegeben.

Die vorliegende Arbeitshilfe enthält fachtechnische Anforderungen an eine hochwertige Rekultivierung. Dabei beschränkt sie sich auf die durchwurzelbare Bodenschicht. Es werden soweit wie möglich quantifizierbare Kriterien für die Qualitätsanforderungen verwendet.

Mit der Arbeitshilfe soll es ermöglicht werden, die gesetzlich geforderten Vorgaben zu konkretisieren und den Antragstellern und den Behörden Hilfestellungen für einen rechtssicheren Vollzug zu geben. Folgende zentrale Ziele werden dabei verfolgt:

- Konkretisierung der bodenschutzfachlichen und insbesondere bodenphysikalischen Anforderungen an die Rekultivierungsmaßnahmen, speziell an die Wiederherstellung der durchwurzelbaren Bodenschicht (= Rekultivierungsschicht);
- Systematisierung des Prüfungsumfangs der Zulassungsbehörden;
- Bereitstellen von Checklisten, anhand derer die Prüfung und Bewertung der Antragsunterlagen sowie die Überwachung und Abnahme erleichtert werden (s. Anhang; Verweise im Text auf die Checklisten sind wie folgt kenntlich gemacht:  **Checkliste 1**

In einem Textteil werden die fachtechnischen Anforderungen an eine bodenschonende Rekultivierung ausführlich beschrieben (Kap. 3 bis Kap. 11). Im Anhang sind für eine schnelle Orientierung Checklisten zusammengestellt, anhand derer einerseits die Vorhabensträger die bodenschutzfachlichen Anforderungen an die Planung und Ausführung von Rekultivierungen nachvollziehen und andererseits die Zulassungsbehörden die Vollständigkeit und Qualität von Antragsunterlagen beurteilen können.

Neben der Wiederherstellung einer funktionierenden durchwurzelbaren Bodenschicht für eine land- und forstwirtschaftliche Folgenutzung werden in der Praxis auch andere Folgenutzungen angestrebt. Letztlich entscheidet die zuständige Behörde, inwieweit dies zu Abweichungen in den Anforderungen führen kann. Die wieder herzustellenden Flächen sind jedoch keine freien Gestaltungsräume. Vielmehr ist aus Sicht des Bodenschutzes grundsätzlich zu verlangen, dass verloren gegangene Bodenfunktionen wieder hergestellt werden. Dieser Anspruch ist mit hinreichendem Gewicht in eine Abwägung über die konkrete Folgenutzung einzustellen und so weit wie möglich umzusetzen. Dies richtet sich sowohl an Behörden als auch an Planer und Ausführende.

Auch sind Sonderfälle denkbar, bei denen aus fachlichen Gründen eine schematische Anwendung der in der Arbeitshilfe dargestellten Vorgehensweisen nicht angebracht ist, oder in denen auch andere als die aufgezeigten Vorgehensweisen geeignet sind, um die Anforderungen zu erfüllen.

Die bodenschutzfachlichen Anforderungen an die Rekultivierung von Tagebauflächen und Abgrabungen sind auch auf andere Bauvorhaben übertragbar, bei denen eine durchwurzelbare Bodenschicht wiederhergestellt werden muss. Die vorliegende Veröffentlichung baut als vierter Teil auf andere Arbeitshilfen des Landes Hessen auf. Bereits erschienen sind:

- HMUELV (2011): Bodenschutz in der Bauleitplanung. Arbeitshilfe zur Berücksichtigung von Bodenschutzbelangen in der Abwägung und der Umweltprüfung nach BauGB in Hessen. Arbeitshilfe des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Wiesbaden.
- HLUG (2012): Vorsorgender Bodenschutz bei Baumaßnahmen zur Verbesserung der Gewässerstruktur und der Durchgängigkeit. Schriftenreihe: Böden und Bodenschutz in Hessen. Heft 10.
- HMUKLV (2014b): Bodenschutz bei der Planung, Genehmigung und Errichtung von Windenergieanlagen. Arbeitshilfe des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Wiesbaden.

2 Zulassungsverfahren

Im Rahmen der Planung und Erstellung der Antragsunterlagen sind die Anforderungen unterschiedlicher Rechtsbereiche zu berücksichtigen. Zulassungen von Abgrabungen erfolgen über Bergrecht¹, Wasserrecht², Immissionsschutzrecht³ oder Baurecht⁴ (vgl. Abb. 2–1). Von den ca. 400 Rohstoffabbauvorhaben in Hessen unterliegen mehr als die Hälfte dem Bergrecht. Weiterhin sind materielle Anforderungen aus den Rechtsbereichen Bodenschutz, Naturschutz, Umweltprüfung, Abfall, Forst und Denkmalschutz zu berücksichtigen. Die „Handlungsempfehlung zur rechtlichen Behandlung von Aufschüttungen und bei Auf- und Einbringen von Bodenmaterial auf Böden“ vom 27. Oktober 2015 (StAnz. 46/2015 S. 1150) stellt dar, welche Rechtsbereiche neben dem Bodenschutzrecht beim Auf- und Einbringen von Bodenmaterial auf Böden betroffen sein können und erläutert die jeweiligen materiellrechtlichen Anforderungen sowie Zulassungsverfahren und Anordnungsbefugnisse.

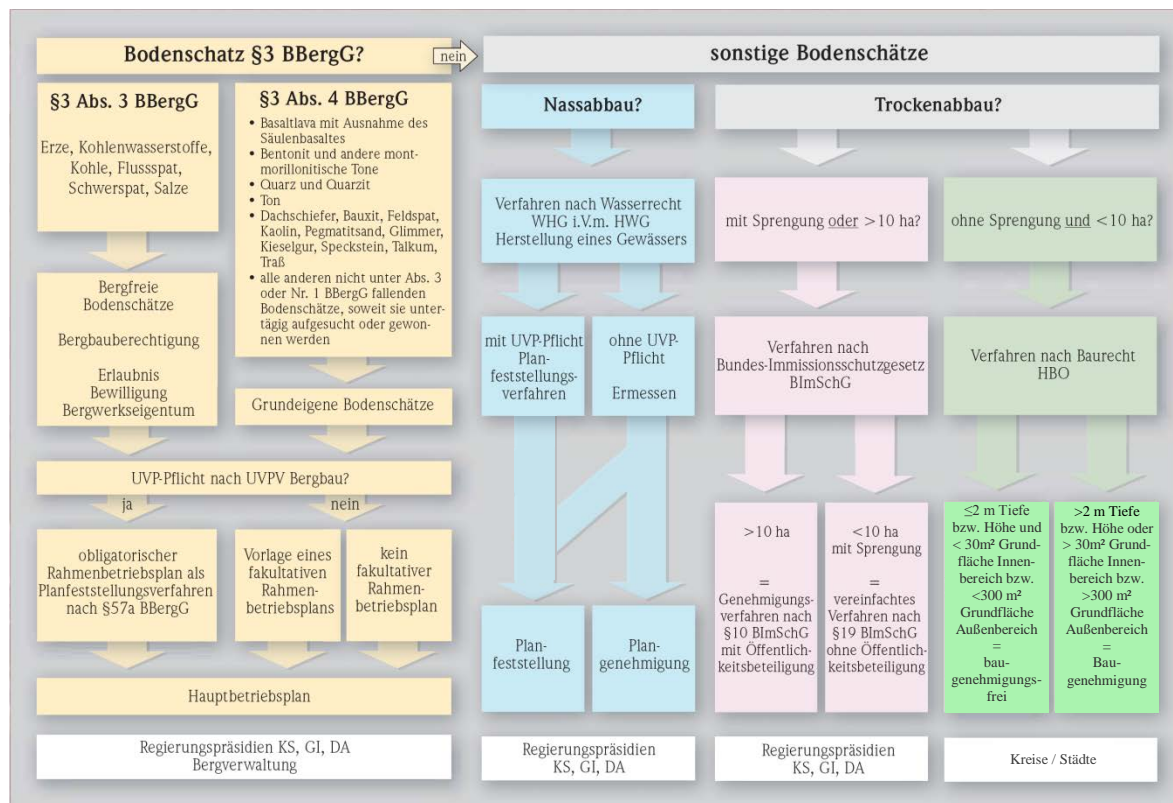


Abb. 2–1: Zulassungsverfahren bei Rohstoffabbauvorhaben in Hessen (nach HLOG 2008)

¹ Bundesberggesetz vom 13. August 1980 (BGBl. I S. 1310), zuletzt geändert durch Artikel 303 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474)
 Verordnung über die Umweltverträglichkeitsprüfung bergbaulicher Vorhaben vom 13. Juli 1990 (BGBl. I S. 1420), zuletzt geändert durch Artikel 8 der Verordnung vom 3. September 2010 (BGBl. I S. 1261).
² Wasserhaushaltsgesetz vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), zuletzt geändert durch Artikel 320 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474).
³ Bundes-Immissionsschutzgesetz in der Fassung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274), zuletzt geändert durch Artikel 76 der Verordnung vom 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474).
⁴ Hessische Bauordnung vom 15. Januar 2011 (GVBl. I 2011), zuletzt geändert durch Artikel 40 des Gesetzes vom 13. Dezember 2012 (GVBl. S. 622).

Die Grundsätze der verschiedenen Zulassungsverfahren werden in den beiden folgenden Unterkapiteln kurz beschrieben.

2.1 Bergrecht

Innerhalb des Bergrechtes gibt es verschiedene Zulassungen, in denen Regelungen zur Verfüllung und Wiedernutzbarmachung getroffen werden können. Es wird unterschieden zwischen Rahmen-, Haupt-, Sonder- und Abschlussbetriebsplänen. Die einzelnen Pläne unterscheiden sich dabei erheblich in ihrer Laufzeit und in der Detailtiefe der darin getroffenen Regelungen.

Rahmenbetriebspläne

Rahmenbetriebspläne regeln – wie der Name schon vermuten lässt – nur die Rahmenbedingungen für einen Bergbaubetrieb. Die Laufzeit dieser Zulassungen umfasst meist mehrere Jahrzehnte. Da sich die rechtliche Situation in den Umweltbereichen und auch die fachlichen Einschätzungen bzw. Bewertungen von Sachverhalten in dieser Laufzeit sehr ändern können, ist es nicht sinnvoll, in dieser Zulassung sehr konkrete Regelungen zu treffen. Somit werden auf der Ebene des Rahmenbetriebsplans auch normalerweise keine Regelungen hinsichtlich der Qualität des Materials oder der Einbauweise getroffen, sondern nur die Wiedernutzbarmachung und die Profilierung der Fläche vorläufig festgelegt. Die im Verfahren beteiligten Stellen haben dabei darauf zu achten, dass die geplanten Ziele nicht anderen Zielen der Raumordnung entgegenstehen oder es zu Konflikten mit Nutzungen in der näheren Umgebung kommen kann (z. B. Landwirtschaft-Trinkwassergewinnung, Naturschutz-Gewerbegebieterschließung). Des Weiteren sollte darauf geachtet werden, dass von der geplanten Profilierung keine Gefahren ausgehen und die geplante Profilierung hinsichtlich der benötigten Massen auch realistisch erscheint.

Allerdings verfügt nicht jeder bergrechtlich zugelassene Betrieb über einen Rahmenbetriebsplan. Die Regelungen zur Verfüllung bzw. Wiedernutzbarmachung werden dann ausschließlich in Haupt-, Sonder- und Abschlussbetriebsplänen getroffen.

Sonderbetriebspläne und Abschlussbetriebspläne

Für gewöhnlich werden die Verfüllung und die Wiedernutzbarmachung der bergbaulich genutzten Flächen im Rahmen von Sonder- bzw. Abschlussbetriebsplänen geregelt. Von den beteiligten Stellen sollte unter Berücksichtigung einschlägiger rechtlicher Grundlagen und anerkannter technischer Maßstäbe ein besonderes Augenmerk auf die vom Unternehmer beschriebene angewandte Technik, die Qualität des Materials (chemisch und physikalisch) sowie die Maßnahmen zur Qualitäts- und Beweissicherung gelegt werden. Darunter fallen insbesondere: Maschineneinsatz, beantragte Einbaugrenzwerte, organisatorische Bedin-

gungen, beschriebene Überwachungsmaßnahmen und -vorrichtungen. Aufgabe der beteiligten Stellen ist hier auch eine Bewertung, ob bei der geplanten Einbauweise und den verwendeten Materialien der Boden die Funktionen theoretisch übernehmen kann, die für die geplante Folgenutzung notwendig sind. Falls das nicht eindeutig (bei ordnungsgemäßer Durchführung) zu erwarten ist, sollten geeignete Nebenbestimmungen formuliert werden. Die eigentliche Erfolgskontrolle über die gesamte Maßnahme ist aber erst nach Abschluss der Rekultivierung möglich.

Hauptbetriebspläne

Nach § 52 BBergG sind Hauptbetriebspläne für die Errichtung und Führung eines Betriebes aufzustellen. In den meisten Fällen sind allerdings die Gewinnung sowie die dafür notwendigen vorbereitenden Tätigkeiten Gegenstand der Hauptbetriebspläne. Von den beteiligten Stellen ist hier zu prüfen, ob bei der geplanten Abtragung von Oberboden und Abraum einschließlich deren Lagerung den Belangen des Bodenschutzes ausreichend Rechnung getragen wird.

In wenigen Fällen werden Verfüllung und Wiedernutzbarmachung in einem Hauptbetriebsplan geregelt. In einem solchen Fall ist zusätzlich der Antrag entsprechend den oben beschriebenen Ausführungen zu Sonderbetriebsplänen zu prüfen und sind entsprechende Bewertungen vorzunehmen. Im Vergleich zu den unbefristeten Sonderbetriebsplänen sind Hauptbetriebspläne in der Regel auf eine Laufzeit von 2 Jahren begrenzt, so dass die Bedingungen der Verfüllung immer wieder an neue rechtliche Situationen angepasst werden können.

Bodenschutzfachliche Anforderungen an die bergrechtlichen Unterlagen

Die bodenschutzfachlichen Anforderungen an die Planungsunterlagen im Zulassungsverfahren sowie konkrete Anforderungen an die Bodenrekultivierung bemessen sich nach den Kap. 3 bis 11.

2.2 Wasser-, Immissions-, Naturschutz- und Baurecht

Der Abbau von Steinen und Erden, die nicht durch § 3 BBergG erfasst sind, werden über Wasser-, Immissionsschutz- und Baurecht zugelassen. Die Art und Größe des Abbaus sind ausschlaggebend dafür, welches Zulassungsverfahren zum Tragen kommt (Abb. 2–1). Nassabbauverfahren werden nach Wasserrecht zugelassen. Bei Trockenabbauverfahren entscheiden die Größe und ggf. notwendige Sprengungen darüber, ob eine immissions- oder baurechtliche Zulassung erfolgt. Weitere zulassungsspezifische Differenzierungen können dem Ablaufschema in Abb. 2–1 entnommen werden.

Wasserrecht

Das Freilegen von Grundwasser, z. B. bei der Kiesgewinnung, stellt nach § 68 WHG eine Gewässerausbaumaßnahme dar, die nach § 68 Abs. 1 WHG grundsätzlich im Rahmen eines förmlichen Planfeststellungsverfahrens zu genehmigen ist. Anstelle des Planfeststellungsverfahrens kann gemäß § 68 Abs. 2 WHG ein Plangenehmigungsverfahren durchgeführt werden, wenn für den Gewässerausbau nach dem Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) keine Verpflichtung zur Durchführung einer Umweltverträglichkeitsprüfung besteht. Ob eine Umweltverträglichkeitsprüfung für ein Vorhaben erforderlich wird, ist zunächst in einer allgemeinen Vorprüfung im Einzelfall nach §§ 3c und 3e i. V. m. Anlage 1 Nr. 13.18 UVP zu entscheiden.

Immissionsschutzrecht

Bei Tagebau- und Abgrabungsvorhaben, bei denen Sprengstoffe verwendet werden und deren Abbaufäche kleiner 10 ha ist, ist ein vereinfachtes Verfahren nach § 19 BImSchG möglich. Nach Ziffer 2.1 der 4. BImSchV ist bei einer Abbaufäche größer 10 ha ein immissionsschutzrechtliches Genehmigungsverfahren nach § 10 BImSchG durchzuführen.

Naturschutzrecht

Sofern keine andere Zulassungs- oder Anzeigepflicht besteht, kann für ein Vorhaben auch alleine eine Eingriffsgenehmigung nach § 17 Abs. 3 BNatSchG erforderlich sein.

Baurecht

Abgrabungen und Aufschüttungen über 2 m Tiefe bzw. Höhe und 30 m² Grundfläche im Innenbereich und über 300 m² Grundfläche im Außenbereich ohne Verwendung von Sprengstoffen sind baugenehmigungspflichtig.

Bodenschutzfachliche Anforderungen an die Planungsunterlagen

Die bodenschutzfachlichen Anforderungen an die Planungsunterlagen im Zulassungsverfahren nach Wasser-, Immissionsschutz- oder Baurecht sowie konkrete Anforderungen an die Bodenrekultivierung bemessen sich nach den Kap. 3 bis 11.

3 Anforderungen an die Planung

Die Rekultivierungsplanung ist essentielle Grundlage für eine hochwertige Wiederherstellung durchwurzelbarer Bodenschichten. In den nachfolgenden Unterkapiteln werden neben Planungsgrundsätzen weitere wesentliche Anforderungen und Grundlagen vermittelt.

3.1 Planungsgrundsätze

Generell sind im Zuge von Rohstoffabbauvorhaben wie bei anderen Eingriffsvorhaben die Umweltgüter in ihrem Ausgangszustand zu erfassen und zu bewerten, die vorhabensspezifischen Wirkfaktoren zu ermitteln sowie geeignete und verhältnismäßige Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen darzustellen. Verbleibende Beeinträchtigungen und darauf ausgerichtete notwendige Kompensationsmaßnahmen sind abzuleiten. Dies gilt auch für das Schutzgut Boden bei Rohstoffabbauvorhaben.

Die Anforderungen des vorsorgenden Bodenschutzes im Zuge von Umweltprüfungen werden beispielsweise von FELDWISCH (2014) im Handbuch der Umweltverträglichkeitsprüfung dargelegt.

Neben den genannten allgemeinen Planungsanforderungen sind bei der Wiedernutzbarmachung von Tagebauen und Abgrabungen gesonderte Anforderungen an die Herstellung des Füllkörpers und der durchwurzelbaren Bodenschichten zu stellen. Dabei wird zwischen den stofflichen und physikalischen Anforderungen differenziert. Entsprechende planerische Ausführungen müssen in bergrechtlichen Betriebsplänen oder in entsprechenden Planungsunterlagen zur Wiedernutzbarmachung enthalten sein.

Zur Ableitung der stofflichen und physikalischen Anforderungen des Bodenschutzes an die Verfüllbereiche sind der Ausgangszustand der Böden vor dem Rohstoffabbau und die Zielnutzungen ermessensleitend zu berücksichtigen.

Der Bodenschutz zielt nach dem Abschluss von Eingriffsvorhaben auf die Wiederherstellung natürlicher Bodenfunktionen nach § 2 Abs. 2 Nr. 1 BBodSchG ab. Neben den natürlichen Bodenfunktionen können gleichzeitig auch die Nutzungsfunktionen als Standort für die land- und forstwirtschaftliche Nutzung nach § 2 Abs. 2 Nr. 3 Buchstabe c BBodSchG wiederhergestellt werden. Die Eignung der im Rahmen der Planung vorgesehenen Maßnahmen zur Wiedernutzbarmachung ist anhand der Kriterien der Bodenfunktionsbewertung darzulegen.

Die rechtlichen Pflichten, die sich aus dem Bundes- und Landesbodenschutzrecht ergeben, sind in Hessen in der „Richtlinie für die Verwertung von Bodenmaterial, Bauschutt und Straßenaufbruch in Tagebauen und im Rahmen sonstiger Abgrabungen“ vom 3. März 2014 (Verfüllrichtlinie) nochmals konkretisiert. Neben dem vorrangig thematisierten Schutz der Böden und des Grundwassers vor stofflichen Einwirkungen geht die Richtlinie auch in ge-
raffter Form auf den physikalischen Schutz der Böden ein.

Im Vordergrund steht bei der Rekultivierung der Schutz vor Verdichtungen bzw. Gefügebeeinträchtigungen, die zu erheblichen Beeinträchtigungen der natürlichen Bodenfunktionen führen und damit auch das Erreichen der Rekultivierungsziele gefährden können.

3.2 Verfüllbereiche

Zu betrachten sind die bodenschutzfachlichen Belange für den

- oberen Verfüllbereich (= insbesondere durchwurzelbare Bodenschicht – dwB, inklusive ggf. notwendiger Ausgleichsschicht; vgl. auch Kap. 7.5),
- mittleren Verfüllbereich (= wasserungesättigte Bodenschicht; Teil des Füllkörpers) und
- unteren Verfüllbereich (= wassergesättigte Bodenschicht inklusive Sicherheitsabstand von 1-2 m oberhalb der Grundwasseroberfläche; Teil des Füllkörpers) (vgl. Abb. 3–1).

Die bodenschutzfachlichen Anforderungen an die Verfüllbereiche sind in Kap. 7 detailliert beschrieben.

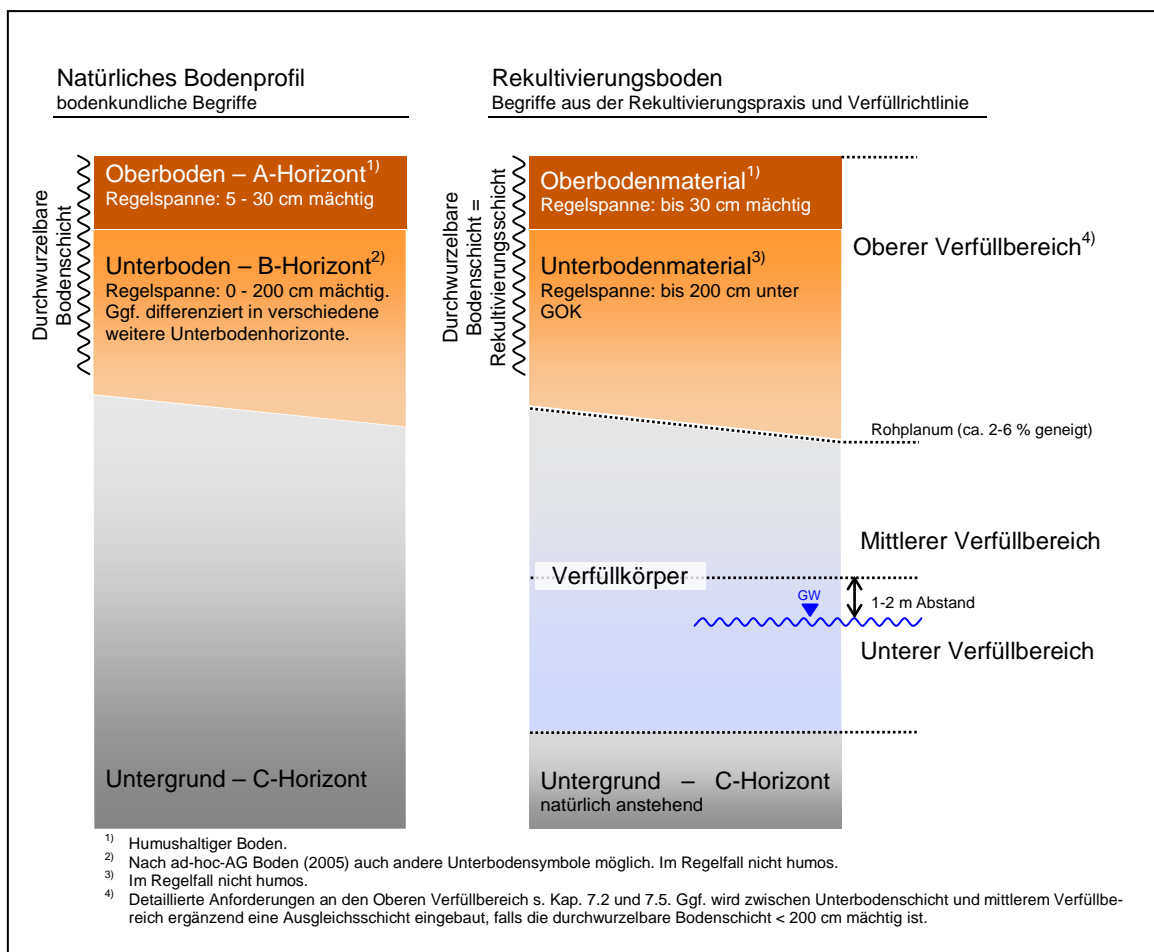


Abb. 3–1: Schematischer Aufbau eines natürlichen Bodenprofils und eines Rekultivierungsbodens mit fachspezifischen Begrifflichkeiten

3.3 Dokumentation des Ausgangszustands der Böden

Der Ausgangszustand der Böden vor dem Abbauvorhaben durch den Vorhabensträger ist zu erfassen, um die Eingriffserheblichkeit in das Schutzgut Boden bewerten und einen Bewertungsmaßstab für ein angemessenes Rekultivierungsziel nach Betriebsabschluss ableiten zu können.

Der Ausgangszustand ist mit folgenden Parametern zu erfassen:

- Allgemeine Standorteigenschaften: Nutzung, Geländeform inklusive Exposition und Hangneigung
- Böden: Bodentypen mit Ober- und Unterbodenmächtigkeiten, durchwurzelbare Bodenschichten, Feinbodenart, Grobbodenart und -anteil, Humusgehalt, Wasserhaushalt (nutzbare Feldkapazität und Feldkapazität in der durchwurzelbaren Bodenschicht, Grund- oder Stauwassereinfluss), Lufthaushalt (Luftkapazität)
- Bodenfunktionen: Ausprägung der natürlichen Bodenfunktionen und Archivfunktionen nach Methoden des HLNUG
- Schadstoffeigenschaften mit Hilfe von Gebiets- und Nutzungsbetrachtungen zu etwaigen natur- oder siedlungsbedingt erhöhten Schadstoffgehalten, bei Bedarf mit Hilfe von Schadstoffanalysen
- Ggf. anthropogene Überprägungen der natürlichen Standorteigenschaften wie Dränungen etc.

Die Erfassungsparameter können entweder den beim HLNUG für landwirtschaftlich genutzte Flächen verfügbaren großmaßstäbigen Bodenkarten entnommen werden oder sie müssen vor Ort erhoben werden. Für Tagebau- und Abgrabungsflächen werden Bodendaten im Maßstab 1:5.000 und größer benötigt.

Die in Hessen verfügbaren Bodenkarten sind auf der Internetseite des HLNUG dokumentiert. Link (letzter Zugriff: 18.07.2016):

<http://bodenviewer.hessen.de/mapapps/resources/apps/bodenviewer/index.html?lang=de>

Über einen WMS-Dienst (Web Map Service) können die Bodenflächendaten auch für Auswertungen bezogen werden:

<http://www.hlnug.de/?id=537>

Anhand der vorhandenen mittelmaßstäbigen Bodenflächendaten 1:50.000 und speziell der „Bodenhauptgruppen“ können die Bodeneinheiten mit den bodenbildenden Ausgangsgesteinen für das Vorhabensgebiet dargestellt werden. Damit steht ein Überblick über die wichtigsten Bodeneigenschaften im Vorhabensgebiet zur Verfügung. Der anhand der mittelmaßstäbigen Bodenflächendaten erstellte Überblick ist allerdings für die Erfassung und Bewertung der Böden der konkreten Tagebau- oder Abgrabungsstandorte zumeist nicht ausreichend räumlich differenziert.

Aus diesem Grund sind den Planungen zumeist entsprechende **Bodenkartierungen** nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung der AD-HOC-AG BODEN (2005) bzw. nach der Arbeitshilfe für die Bodenansprache der AD-HOC-AG BODEN (2009)⁵ zugrunde zu legen. Die gewählte Bohrdichte ist in den Antragsunterlagen fachlich zu begründen.

Der Mindestdatensatz einer Kartierung ergibt sich nach Ad-hoc-AG Boden⁶ „Geländeformblatt Mindestdaten für Untersuchungen nach § 2 BBodSchG (Ermittlung / Bewertung von Bodenfunktionen)“.

Die Bohrungen sind durch erfahrene Bodenkundler zu dokumentieren. Anhand der Bohrergebnisse sind die natürlichen Bodenfunktionen, Schutzwürdigkeiten und Empfindlichkeiten der Böden unter Einbeziehung der vorhandenen Bodenflächendaten zu bewerten.

Die Bodenkartierung soll den Zustand der Böden vor dem Eingriff festhalten und die Bereiche mit besonders schutzwürdigen oder empfindlichen Böden frühzeitig aufdecken. Auf dieser Grundlage sind Verfahren zum Bodenausbau und zur Rekultivierung zu wählen, die an die Empfindlichkeit der Böden angepasst sind.

Gibt es Hinweise auf eine frühere Nutzung, die zu stofflichen Belastungen der Böden geführt haben könnte (z. B. stillgelegte Betriebe, Altablagerungen), so ist eine Gefährdungsanalyse im Hinblick auf die Maßnahme und die Verwertung des Bodenaushubs durchzuführen.

Die Bewertung der Bodenfunktionen hat mit anerkannten Methoden zu erfolgen (vgl. <http://www.hlnug.de/themen/boden/vorsorge/bodenschutz-in-der-planung.html> (letzter Abruf: 27.05.2016) und Methodendokumentation zu Bodenflächendaten 1:50.000 im BodenViewer, jeweils über den Info-Button einsehbar). Bei der Verwendung anderer Methoden ist deren Eignung in angemessener Form darzulegen.

Die Antragsunterlagen müssen die zugehörigen Darstellungen und Informationen enthalten. Voraussetzung für die sachgerechte Bewertung des Vorhabens sind insbesondere Ausführungen

- zu den betroffenen Böden, den natürlichen Bodenfunktionen und Archivfunktionen,
- zu Empfindlichkeiten (insbesondere gegenüber Verdichtung und Erosion; Methoden s. HMUKLV 2014b),
- zu vorhandenen Vorbelastungen und Hintergrundwerten anorganischer und organischer Spurenstoffe und
- zu den vorgesehenen Vermeidungsmaßnahmen.

Die Belange des Natur- und Artenschutzes werden im landschaftspflegerischen Begleitplan (LBP) ausgeführt und zum Teil in einem landschaftspflegerischen Ausführungsplan (LAP) weiter konkretisiert. Die Böden mit ihren natürlichen Funktionen sind essentieller Bestandteil

⁵ Link: http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Boden/Aktuelles/Archiv/KA5_Arbeitshilfe.html?nn=1564346

⁶ Link: http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Boden/Netzwerke/Adhocag/Downloads/Gelaendeformblatt2_KA5.html (Letzter Aufruf: 27.05.2016). Ergänzend zu den Feldern des Aufnahmebogens sollte die Durchwurzelbarkeit und Durchwurzelungsintensität unter „Bemerkungen“ mit aufgenommen werden.

des Naturhaushaltes und werden insoweit von der naturschutzrechtlichen Eingriffsregelung erfasst. Da der Bodenschutz kein eigenständiges Zulassungsverfahren kennt, ist bei der Prüfung der Vollständigkeit der Unterlagen von der Zulassungsbehörde vom Antragssteller einzufordern, dass die Belange des Bodenschutzes im angemessenen Umfang im LBP (und ggf. LAP) ausgeführt werden. Alternativ können die Belange des Bodenschutzes auch in einem eigenständigen Fachbeitrag zusammenfassend dargestellt werden.

3.4 Flächen- und Massenbilanz der Eingriffe in Böden

Checkliste 3

In den Antragsunterlagen wird eine tabellarische Aufstellung der beanspruchten Bodenflächen erwartet. Es ist zu differenzieren nach dauerhaften Inanspruchnahmen bzw. Bodenverlusten und temporären Inanspruchnahmen (Tab. 3–1).

Tab. 3–1: Mustertabelle zur Inanspruchnahme von Bodenflächen

Flächen	Wirkfaktoren	Flächen- größe	Rekultivierung nach Bau- abschluss? ja / nein
1. Dauerhafte Inanspruchnahmen			
Befestigte Flächen wie neue Wegeflächen	Versiegelung	..... m ²	<input type="checkbox"/> / <input checked="" type="checkbox"/>
Wasserflächen	Verlust von Bodenfläche	..... m ²	<input type="checkbox"/> / <input checked="" type="checkbox"/>
2. Temporäre Inanspruchnahmen bei der Rohstoffgewinnung			
Abbaufäche	temporärer Verlust von Bodenflächen	..... m ²	<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>
Lagerflächen Bodenaushub*	Verdichtung, Vernässung	..... m ²	<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>
Anlagenflächen	Verdichtung, Schadstoffeintrag befestigt (Befestigungsart: .....)	..... m ²	<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>
	unbefestigt	..... m ²	<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>
sonstige Nebenflächen	Verdichtung, Schadstoffeintrag befestigt (Befestigungsart: .....)	..... m ²	<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>
	unbefestigt	..... m ²	<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>
3. Bodenabraum zum Wiedereinbau oder zur externen Verwertung bzw. Entsorgung			
Bodenqualitäten **	Wirkfaktoren	Volumina	
A-Boden	Verdichtung, Vernässung	..... m ³	
B-Boden	Verdichtung, Vernässung	..... m ³	
C-Boden	Verdichtung, Vernässung	..... m ³	

* Erläuterung: Bei der Kalkulation der notwendigen Mietenflächen für eine geordnete Lagerung des Bodenaushubs ist ein Auflockerungsfaktor zu berücksichtigen, der im Regelfall 1,3 beträgt.
 ** Ggf. ist der Abraum, bestehend aus humosem Oberboden (A-Boden), humusfreiem Unterboden (B-Boden) und Untergrund (C-Boden), anhand von Körnungs-, Humus- und sonstiger Bodeneigenschaften weiter zu differenzieren, wenn das zur Beurteilung der Rekultivierungseignung des Materials nötig ist.

Darüber hinaus sind im Antrag die Bodenmassen zu bilanzieren, die über der eigentlichen Lagerstätte liegen und zur Erschließung der Lagerstätte ausgehoben werden müssen. Mit Hilfe einer Massenbilanz ist darzulegen, welche unterschiedlichen Qualitäten an Bodenabraum anfallen (A-, B- und C-Boden) und in welchem Umfang dieser Bodenabraum im Ab-

bauvorhaben selbst wiedereingebaut oder extern einer Verwertung bzw. Entsorgung zugeführt werden soll. Für die Bodenabraumvolumina, die vor Ort wieder eingebaut werden sollen, muss erläutert werden, ob sie zwischengelagert werden müssen oder ob sie direkt in älteren, verfüllten Abbaubereichen wieder eingebaut werden können. Im Falle einer notwendigen Zwischenlagerung sind ausreichend Mietenlagerflächen nachzuweisen.

3.5 Anforderungen an das Bodenmaterial

Die Bodenmaterialien, die zur Wiedernutzbarmachung verwendet werden sollen, müssen dazu geeignet sein, sowohl die natürlichen Bodenfunktionen wiederherzustellen als auch der angestrebten Zielnutzung geeignete Wuchsbedingungen zu bieten. Als geeignete Wuchsbedingungen ist für Gehölz- und Waldflächen anzustreben, dass sich die Zielarten über die Initialpflanzung hinaus durch Naturverjüngung dauerhaft etablieren können.

Die spezifischen Eigenschaften des verwendeten Bodenmaterials sind an die Anforderungen der verschiedenen Verfüllbereiche nach Kap. 3.2 (vgl. auch Kap. 7.2.1 und 7.3), am Ausgangszustand (vgl. Kap. 3.3) und an die Anforderungen der Zielnutzung (vgl. Kap. 11) auszurichten.

3.6 Fachlich unzureichende Inhalte von Planungsunterlagen

In den Planungsunterlagen treten insbesondere folgende Mängel im unterschiedlichen Umfang auf:

- Keine oder unvollständige Erfassung und Bewertung:
Zum Teil werden nur verbal-argumentative Aussagen allgemeiner Art zum Schutzgut Boden vorgelegt, die keine Bewertung der Bodeneigenschaften, der natürlichen Bodenfunktionen und Archivfunktionen, der Schutzwürdigkeit sowie der Bodenempfindlichkeiten zulassen.
- Fehlerhafte und / oder unzureichende Erfassungs- und Bewertungsmethoden:
Anstelle fachlich valider Erfassungs- und Bewertungsmethoden, wie sie vom HLNUG entwickelt und veröffentlicht worden sind, wird zum Teil auf unzureichende oder sogar fachlich fehlerhafte Methoden zurückgegriffen. Im Ergebnis sind die planerischen Ausführungen zur Erfassung und Bewertung des Ausgangszustandes dann nicht für die Erteilung einer Zulassung geeignet.
- Fehlerhafte / unzureichende Maßstäblichkeit der Datengrundlagen:
Nicht selten greifen Planungsunterlagen lediglich auf die mittelmaßstäbliche Bodenkarte 1:50.000 zurück, die für ein Zulassungsvorhaben nicht ausreichend ist. Bodeninformativen müssen in einem Maßstab 1:5.000 und größer verwendet werden. Liegen sie nicht vor, dann sind sie durch eine Bodenkartierung zu erheben.
- Unzureichende Konfliktbewertung und Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen:
Wirkfaktoren, Wirkorte und daraus resultierende Wirkungen auf Böden werden nicht selten nur in pauschalierter und zum Teil fachlich falscher Form betrachtet. Daraus folgt, dass geeignete und erforderliche Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen nicht im angemessenen Umfang eingeplant werden.
- Kein funktionaler Bezug zwischen Eingriff in die Böden und Wiedernutzbarmachung:
Tagebauflächen und sonstige Abgrabungen werden von der Landschaftsplanung vielfach als freie Gestaltungsräume für die Zielsetzungen des engeren Arten- und Biotopschutzes gesehen. Belange des vorsorgenden Bodenschutzes werden stellenweise gar nicht wahrgenommen, so dass auch kein funktionaler Zusammenhang zwischen dem Eingriff in die natürlichen Bodenfunktionen und den vorgesehenen Maßnahmen zur Wiedernutzbarmachung hergestellt wird. Aus Sicht des Bodenschutzes sind jedoch auch verloren gegangene natürliche Bodenfunktionen grundsätzlich wiederherzustellen.

4 Allgemeine Anforderungen an die Bodenrekultivierung Checkliste 4

Zur schonenden Wiederherstellung bodenfunktional gut ausgeprägter, durchwurzelbarer Bodenschichten sind bei der bautechnischen Ausführung sowohl zeitliche als auch räumliche Aspekte zu berücksichtigen.

Die bautechnische Ausführung von Bodenrekultivierungen und die zu beachtenden bodenschutzfachlichen Anforderungen sind in einschlägigen Fachveröffentlichungen und Normungen wie FELDWISCH & FRIEDRICH (2016), BAFU (2015), BVB (2013), BMLFUW (2012), ISTE (2011), FABO ZÜRICH (2003), FSK SCHWEIZ (2001), DIN 19731 (1998) u. a. dargestellt. In den folgenden Unterkapiteln werden die zentralen technischen und fachlichen Aspekte an eine bodenschonende Wiedernutzbarmachung von Tagebauflächen und sonstiger Abgrabungen zusammengefasst.

4.1 Mindestflächen, Flächenform, räumliche Aspekte

Die Mindestflächengröße einzelner Rekultivierungsabschnitte ist abhängig von dem Abbauvorhaben, der Geländegeometrie des Abbaubereiches sowie dem Geräteinsatz. Beispielsweise haben sich bei großen Abbauvorhaben (Kies, Sand, Braunkohle, Gips etc.) Rekultivierungsabschnitte von mindestens 0,25-0,5 ha als günstig erwiesen. Eine derartige Mindestfläche zielt darauf ab, dass die Rekultivierung technisch und wirtschaftlich mit verhältnismäßigem Aufwand vorgenommen werden kann. Jedoch müssen oftmals in Steinbrüchen oder Tongruben, bei denen die Flächeninanspruchnahme im Allgemeinen wesentlich geringer ist, auch kleinere Flächen rekultiviert werden, damit sie zeitnah der geplanten Folgenutzung zugeführt werden können.

Bei großflächigeren Tagebau- und Abgrabungsvorhaben können größere Teilabschnitte rekultiviert werden, um einen möglichst wirtschaftlichen Einsatz geeigneter Maschinen zu gewährleisten. Als Beispiel sei die Tieflockerung genannt. Der wirtschaftliche Einsatz kann auch dadurch verbessert werden, wenn mehrere räumlich beieinander liegende kleine Rekultivierungsflächen in einem zeitlichen Durchgang tief gelockert werden.

Bezüglich der Flächenform der Rekultivierungsabschnitte sind nach Möglichkeit rechteckige Formen zu wählen, damit die notwendigen Maschinen effizient und bodenschonend eingesetzt werden können. Kleinteilige Nebenflächen erschweren nicht nur die Rekultivierungsarbeiten, sondern führen auch zu mechanischen Bodenbelastungen durch kleinräumige Anschluss- und Rangierfahrten bei der Rekultivierung. Bereits bei der Flächenform sollte auch an die Folgebewirtschaftung gedacht werden.

Grundsätzlich ist es sinnvoll, größere zu rekultivierende Flächen in Bauabschnitte zu unterteilen. Gemäß DIN 19731 sollten diese im Regelfall nicht größer als ein Hektar sein. Diese Größenbegrenzung zielt darauf ab, die notwendigen Befahrungen innerhalb eines Bauabschnittes sowohl von ihrer Streckenlänge als auch Befahrungsfrequenz angemessen zu beschränken, um Verdichtungswirkungen zu mindern.

4.2 Anlegen von Probefeldern

Um die vorgesehenen Rekultivierungsmaßnahmen auf ihre Geeignetheit zu überprüfen, empfiehlt sich die Anlage von Probefeldern.

Mit Hilfe der Probefelder kann beispielsweise ermittelt werden, ob die Rekultivierungsmaßnahmen angesichts der zur Verfügung stehenden Bodenmaterialien, kleinklimatischer Besonderheiten oder anderer vorhabensspezifischer Besonderheiten eine befriedigende Rekultivierungsqualität sicherstellen oder ob ggf. angepasste Rekultivierungsmaßnahmen notwendig sind. Damit tragen Probefelder zur Vermeidung erheblicher Rekultivierungsmängel auf großen Flächen bei. So wird etwaigen finanziellen Risiken einer Nachbesserung bei erheblichen Rekultivierungsmängeln vorgebeugt.

Die Probefelder können in die Gesamtmaßnahme integriert werden. Bei vergleichbaren Standortverhältnissen können ggf. auch Erkenntnisse aus Probefeldern z. B. anderer Steinbrüche oder Tagebaubetriebe verwendet werden.

An Probefelder sind folgende Mindestanforderungen zu stellen:

- Flächengröße: 0,1 bis max. 1 ha
- Dokumentation:
 - Bodenmaterial zur Rekultivierung: Herkunft, Bodenqualitäten (Mindestangaben: Feinboden, Grobboden, Humusgehalt, Schadstoffsituation), Zwischenlagerung (Wenn ja, wie lange und unter welchen Bedingungen?)
 - Rekultivierungsverfahren: Eingesetzte Technik wie Raupen oder Bagger und daraus resultierende Art des Bodeneinbaus (schiebend oder aufsetzend); spezifische Bodendrucke der eingesetzten Maschinen
 - Aufbau / Mächtigkeiten der Verfüllbereiche
 - Witterungsbedingungen während der Anlage der Probefelder bzw. Bodenwassergehalte während des Einbaus
 - Begrünungsverfahren
 - Ggf. gesonderte Rekultivierungsmaßnahmen wie Tieflockerung, Kalkung etc.
- Dauer: mindestens 1 Jahr
- Überprüfung: Frühestens 1 Jahr nach Fertigstellung der Probefelder wird die Funktionalität der Rekultivierungsschichten mit geeigneten bodenkundlichen Methoden überprüft. Geeignete Methoden: Gefügeansprache in Profilgrube (Schurf) und Aufwuchsbonitur.

Die Rekultivierungsqualität ist vorrangig mit Hilfe der Beurteilung des Bodengefüges nach DIN 19682, Teil 10, in Profilgruben zu überprüfen. Besondere Bedeutung kommt der Durchwurzelung zu, deren Intensität, Gleichförmigkeit und Tiefgang zu erfassen und zu bewerten ist.

Die Lage der Profilgruben, an denen die Gefügeeigenschaften erfasst und beurteilt werden, sind anhand von Vernässungshinweisen oder Pflanzenbonituren gezielt in kritische und ggf. zum Vergleich in unkritische Rekultivierungsteilflächen zu legen.

Zudem sind mittels Pflanzenbonitur Bereiche unterschiedlicher Rekultivierungsqualität auszugrenzen. So lässt sich anhand der Pflanzenvitalität, die mit Hilfe der Wuchshöhe, Wuchsdichte und ggf. ergänzend anhand des Wurzelbildes beurteilt werden kann, ermitteln, ob das Rekultivierungsziel erreicht wird oder ob Rekultivierungsmängel vorliegen.

Als Hilfsmittel zur Beurteilung der Rekultivierungsqualität kann auch der Eindringwiderstand mit Hilfe von Handpenetrometern nach DIN 19662 gemessen werden. Die Messungen erfolgen bis zu einer Tiefe von 80 cm unter GOK und können insofern lediglich den oberen Bereich der durchwurzelbaren Bodenschicht bzw. des oberen Verfüllbereiches erfassen. Dieses Verfahren eignet sich nur bei steinfreien bzw. steinarmen Rekultivierungsschichten. Bereiche unterschiedlicher Lagerungsdichte können mit der Methode erfasst werden. Dabei ist unbedingt auch die Bodenfeuchte im Umfeld der Messungen zu ermitteln, weil der Eindringwiderstand im starken Maße durch den Wassergehalt beeinflusst wird. Der Wassergehalt kann beispielsweise mit TDR- oder FD-Sonden⁷ gemessen werden (s. auch Kap. 4.4.2).

Weiterhin sind bei der Beurteilung der Probefelder organoleptische Auffälligkeiten wie Faulgase zu dokumentieren. Treten derartige Mängel auf, dann sind ungeeignete Bodenmaterialien zur Rekultivierung verwendet worden. Beispielsweise treten Faulgase auf, wenn humose Bodenschichten zu tief und zu dicht eingebaut werden, so dass anaerobe Bedingungen einsetzen.

Aufwändige Bodenuntersuchungen mit Hilfe „ungestörter“ Bodenproben⁸ müssen in der Regel nicht durchgeführt werden. Sie sollten speziellen bodenschutzfachlichen Fragestellungen oder Beweissicherungsverfahren vorbehalten bleiben. Die Entnahme ungestörter Bodenproben erfolgt mit Hilfe von Stechringen, die zumeist 100 oder 250 cm³ groß sind. In bodenphysikalisch ausgerichteten Laboren können anhand ungestörter Bodenproben die Trockenroh-dichte (DIN ISO 11272, Abschnitt 4.1), Porengrößenverteilung (DIN ISO 11274 mit den Druckstufen 25, 60, 100, 300 cm sowie 15 m Wassersäule) und gesättigte Wasserleitfähigkeit (DIN 19683 T9) ermittelt werden. Je zu untersuchende Bodenschicht sind minimal 8 Wiederholungen für die Ermittlung der Porengrößenverteilung und minimal 12 Wiederholungen für die gesättigte Wasserleitfähigkeit notwendig, um einigermaßen sichere Mittelwerte zu erhalten. Die Probenahme kann nur durch geschulte Personen mit Erfahrungen in der Feldbodenkunde erfolgen.

⁷ TDR-(Time-Domain Reflectometry) und FD-(Frequency Domain)Sonden bestimmen den Bodenwassergehalt mit Hilfe den dielektrischen Bodeneigenschaften. Dazu werden zwei oder mehr Elektroden in den Boden eingestochen.

⁸ In der Bodenkunde zielt eine „ungestörte“ Probenahme darauf ab, dass eine Probe in ihrer zu untersuchenden Lagerung erhalten bleibt, um daran bodenphysikalische Messungen vornehmen zu können (vgl. AD-HOC-AG BODEN 2005, Kap. 4.6). Dazu wird die Probe sorgfältig aus dem zu untersuchenden Bodenverband gelöst, so dass ihr natürliches oder auch anthropogen verändertes Bodengefüge weitestgehend erhalten bleibt. Eine „ungestörte“ Probenahme kann also auch die Untersuchung gestörter Bodengefügemerkmale zum Gegenstand haben.

4.3 Maschinen und Geräte – Einsatzmöglichkeiten und -grenzen

Von großer Bedeutung für den Rekultivierungserfolg sind die eingesetzten Maschinen und Geräte. Grundsätzlich gilt: Je geringer das Maschinengewicht⁹ und je geringer die Anzahl der Überfahrten bei den Rekultivierungsarbeiten, umso bodenschonender kann die durchwurzelbare Bodenschicht wiederhergestellt werden.

Weiterhin ist der Kontaktflächendruck des Laufwerks auf den Boden bedeutsam. Geringe Kontaktflächendrücke sind bodenschutzfachlich anzustreben. Bei gleicher Auflast und vergrößerter Aufstellfläche wirkt der Druckabtrag nicht so tief in den Boden hinein. Umgekehrt wirken größere Auflasten bei gleicher Aufstellfläche tiefer in den Boden hinein. Die Wirkungsprinzipien werden in Abb. 4–1 mit Hilfe so genannter Druckzwiebeln schematisch verdeutlicht.

Die aus Sicht des Bodenschutzes notwendigen Anforderungen an die Rekultivierungstechnik im Hinblick auf die Begrenzung der Lasteinträge in die Füllböden und Rekultivierungsschichten werden in Tab. 4–1 bis Tab. 4–4 dargelegt. Dabei werden Einsatzmöglichkeiten und Einsatzgrenzen verschiedener praxisüblicher Maschinen und Geräte erläutert. Die Einstufungen hinsichtlich der bodenschonenden Einsatzbereiche basieren auf Praxiserfahrungen.

Wichtiger Hinweis:

Neben der grundsätzlichen Eignung einer Maschine bzw. eines Gerätes sind die aktuelle Bodenfeuchte während des Einsatzes und die umsichtige Arbeitsweise des Bedienpersonals von entscheidender Bedeutung für den Schutz der Böden vor schädlichen Einwirkungen.

⁹ Physikalisch korrekt wäre hier von Maschinenmasse zu sprechen. Masse (Physik) = Die Masse ist eine ortsunabhängige Grundgröße der Physik, wie schwer ein Gegenstand in der SI-Einheit Kilogramm ist. Gewichtskraft = Masse x Beschleunigung. Auf der Erdoberfläche beträgt die Beschleunigung näherungsweise 9,81 m/s². Damit entspricht 1 kg Masse näherungsweise 9,81 kg x m/s² bzw. 9,81 Newton.

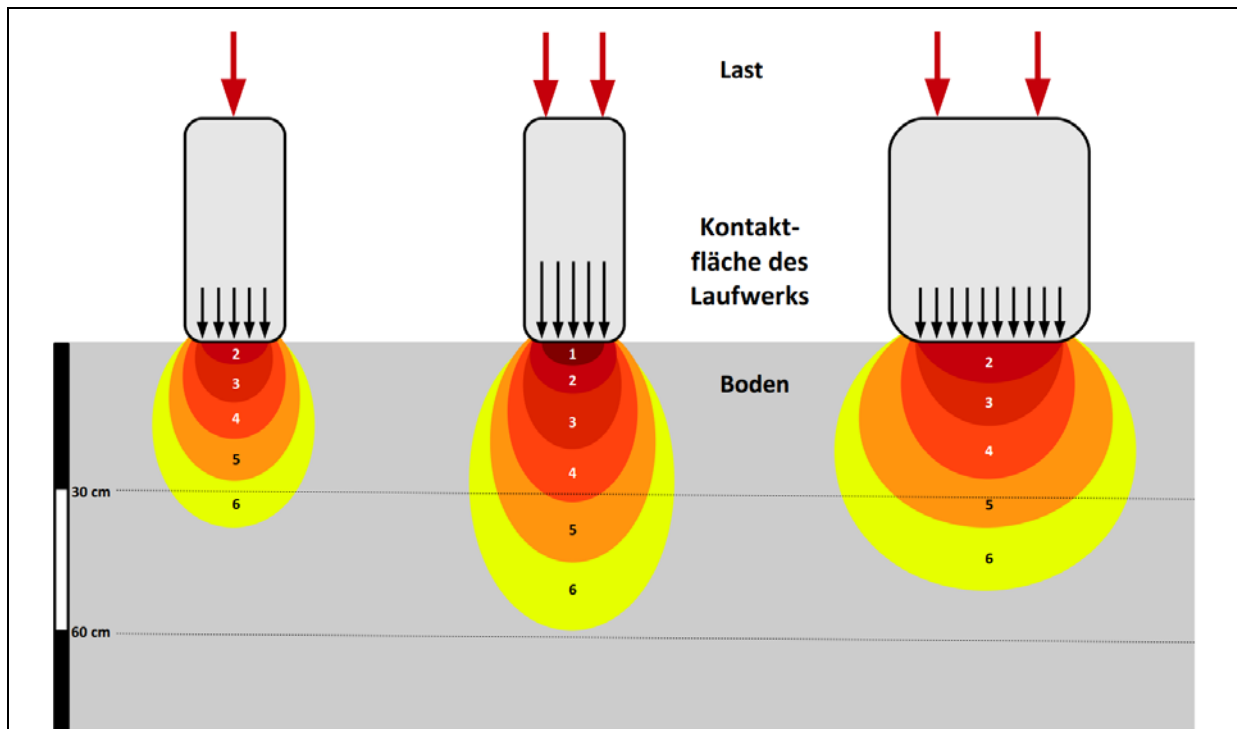


Abb. 4–1: Schematische Darstellung der Druckfortpflanzung im Boden in Form so genannter Druckzwiebeln bei unterschiedlichen Kontaktflächen des Laufwerks und unterschiedlichen Auflasten (verändert nach Gisi et al. 1997)

Erläuterung: 1 bis 6 = Abnehmender Vertikaldruck im Boden. Das heißt, bei Ziffer 1 wirkt der größte Vertikaldruck, bei Ziffer 6 der kleinste Vertikaldruck. Schematische, ordinal-skalierte Darstellung. Exakte Druckangaben sind nur in Abhängigkeit von Körnungseigenschaften und aktuellem Wassergehalt möglich.

Tab. 4–1: Flächenfreimachung, Bodenabtrag, Aufmietung, Bodenauftrag – Einsatzmöglichkeiten und Einsatzgrenzen verschiedener praxisüblicher Maschinen und Geräte

Maschine/Gerät	Verfügbarkeit *	Arbeitsverfahren	Bemerkungen	Bodenschonende Einsatzbereiche **
Maschinen mit großer Reichweite				
Bagger mit Kettenlaufwerk (Raupenbagger)	+	abtragend	Weit verbreitet und in verschiedenen Größen gut verfügbare Maschinen, die bei vielen Bodenarbeiten einsetzbar sind. Bodenschonende Laufwerke mit geringem Bodendruck stehen zur Verfügung. Als Spezialversionen mit <u>verlängertem Arm</u> und deutlich erhöhter Reichweite besonders bodenschonend, weil Fahr- und Rangieraufwand stark beschränkt werden kann (Tieflöffel-, Langstiel-/arm- oder Teleskopbagger; vgl. auch Abb. 4–2). In Abb. 4–3 wird der geringere Spurflächenanteil von Raupenbaggern vergleichend zum Einsatz einer Planierraupe dargestellt.	<ul style="list-style-type: none"> ○ Ziehen und Aussortieren von Wurzelstöcken ○ Bodenabtrag ○ Aufmietung ○ Bodenauftrag
Seilbagger mit Kettenlaufwerk (Schürfkübelbagger, Dragline)	-	abtragend	Äußerst selten anzutreffende Maschinen mit sehr großer Reichweite. Mit den Geräten kann der befahrene Flächenanteil stark begrenzt werden, wenn die Logistik und die Baufelderteilung darauf abgestimmt sind.	<ul style="list-style-type: none"> ○ Bodenabtrag ○ Bodenauftrag
Maschinen mit geringer Reichweite				
Radbagger	+	abtragend	Einsatz nur auf Baustraßen, Baggermatrassen, oder auf Rohplanum; Kombination aus geringer Aufstandsfläche und hohem Eigengewicht erfordert zwingend Schutzmaßnahmen.	<ul style="list-style-type: none"> ○ (Bodenabtrag) ○ (Aufmietung) ○ (Bodenauftrag)
Planierraupe	+	stoßend	Geringes Transportvolumen, dadurch mehrfaches Überfahren des Bodens beim Abtrag als auch beim Einplanieren notwendig. Starke Scher- und Stauchkräfte wirken auf den Boden, die beim Einebnen des oberen Verfüllbereiches zu begrenzen sind, um das Bodengefüge zu schonen. Planierraupen sind auch mit <u>Moorlaufwerken</u> verfügbar; die extrem große Aufstandsfläche bewirkt einen sehr geringen Flächendruck (< 0,2 kg/cm ²).	<ul style="list-style-type: none"> ○ Herstellung Rohplanum ○ Schonendes Einebnen des Rohplanums und oberen Verfüllbereichs nur ohne lange Schubwege (i. d. R. bis maximal 20 m) und mit wenig Bodenmaterial vor dem Planierschild möglich
Schürfkübelraupe	o	stoßend/ abtragend	Für Bodentransporte nur über kürzere Distanzen bodenschutzfachlich vertretbar. Einsatzgebiet für Böden, die abgetragen und ohne Zwischenlagerung wieder aufgetragen werden sollen. Starke mechanische Beanspruchung durch gepresste Lagerung im Schürfkübel und große Anzahl an Transportfahrten zwischen Abtrags- und Auftragsfläche. Einsatz ist nur unter besonders günstigen Saugspannungswerten vertretbar.	<ul style="list-style-type: none"> ○ (Bodenabtrag) ○ (Bodenauftrag)
Laderaupe	+	stoßend/ abtragend	Mit relativ kurzen und schmalen Kettenlaufwerken. Einsatz nur auf C-Horizonten. Bei unsachgemäßem Einsatz ist die Arbeitsweise vorwiegend stoßend und damit wenig bodenschonend.	<ul style="list-style-type: none"> ○ Unterbodenabtrag ○ Bodenmieten setzen ○ Boden verladen

Erläuterungen:

* + = gut verfügbar; o = mittel verbreitet; - = schlecht verfügbar

** Einstufung nach Praxiserfahrungen.

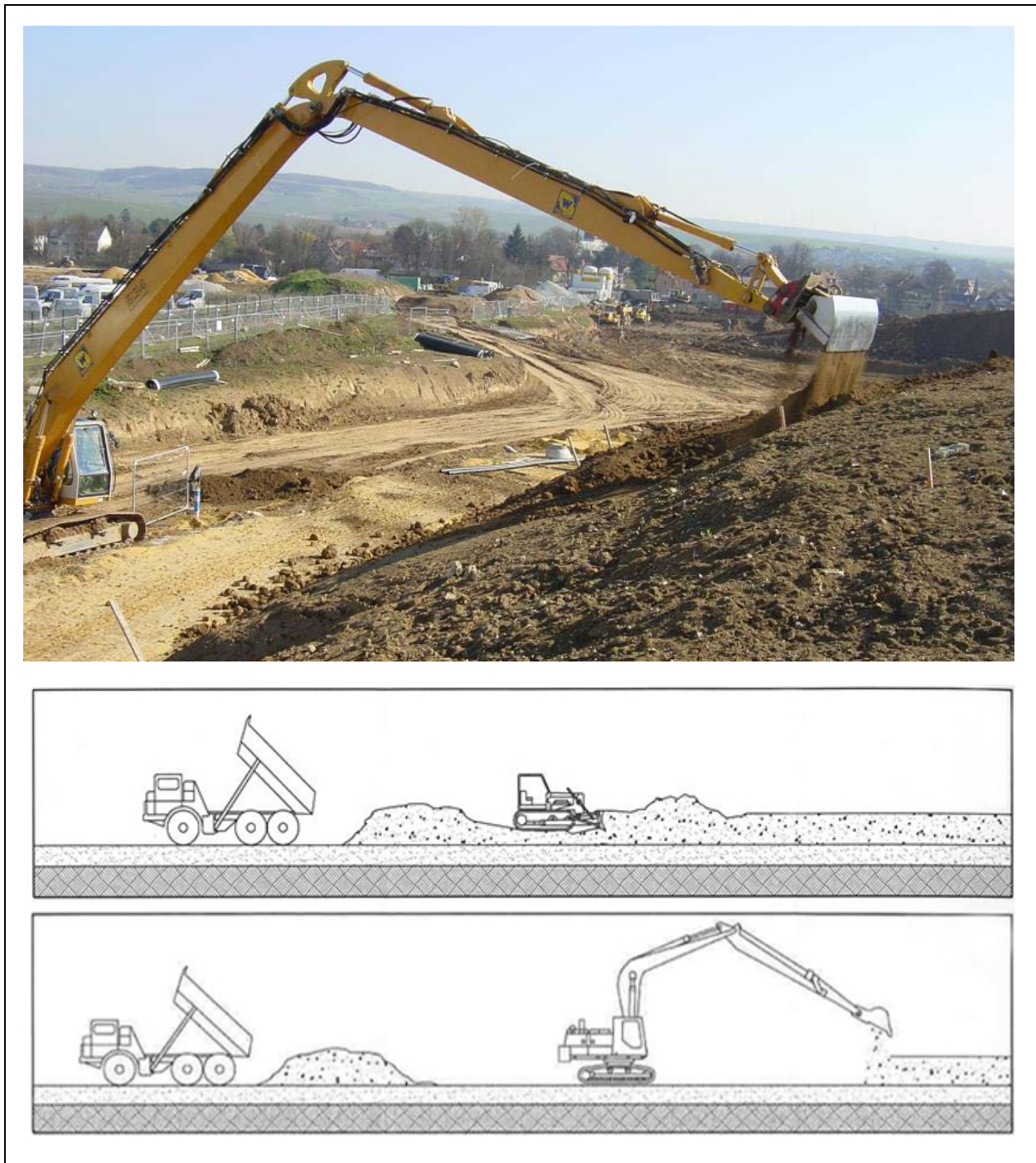


Abb. 4-2: Langarmraupenbagger (Stefan Melchior, melchior + wittpohl Ingenieurgesellschaft)
Oben: Verteilen von Boden ohne Befahrung des Auftragsbereichs
Mitte: Verteilen der Rekultivierungsschicht mit der Planierraupe; flächige Befahrung.
Unten: Verteilen der Rekultivierungsschicht mit einem Langarmraupenbagger; stark reduzierte Befahrung durch großen Arbeitsbereich.
Hinweis: Das Rohplanum ist im Regelfall vor dem Auftrag des Bodens für die durchwurzelbare Bodenschicht mit geeigneter Technik zu lockern, um eine Versickerung des Sickerwassers aus der durchwurzelbaren Schicht in den Verfüllkörper zu gewährleisten.

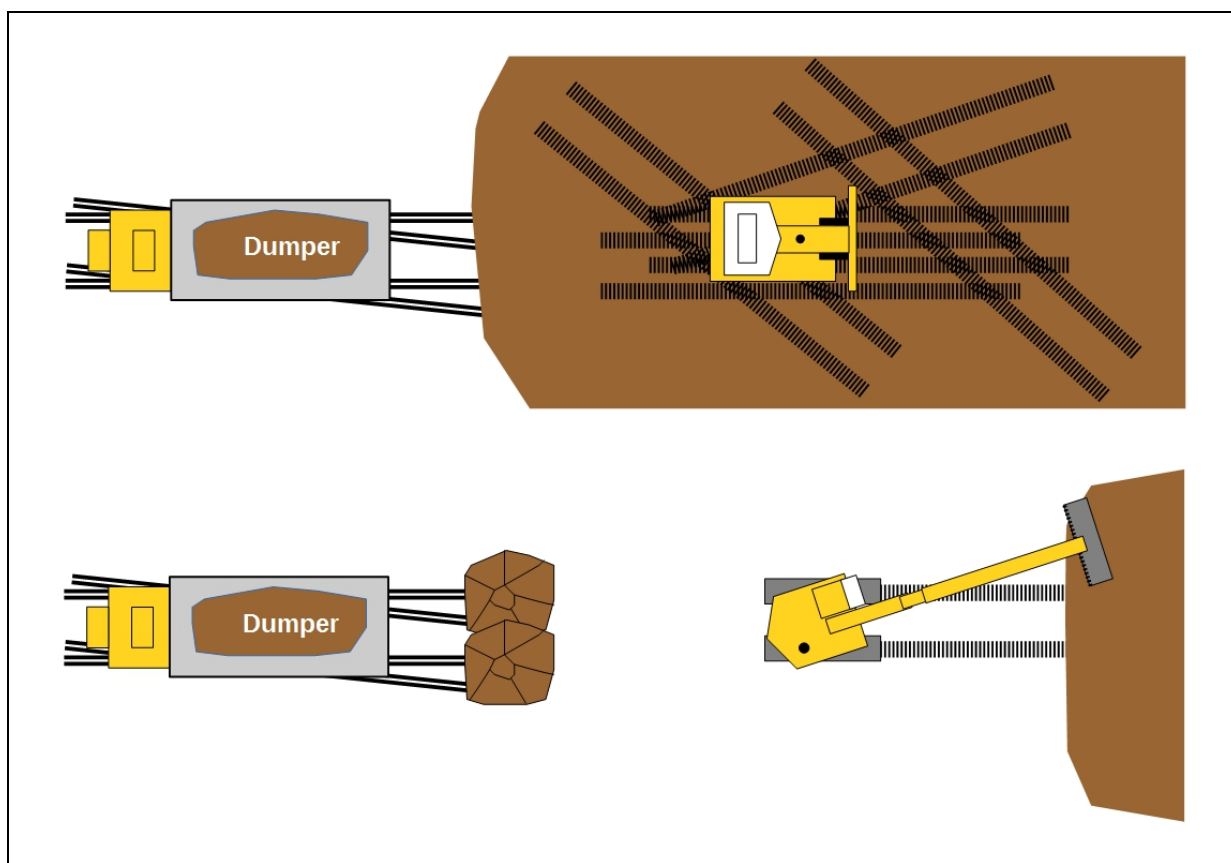


Abb. 4–3: Schematische Aufsicht des Bodenauftrags mittels Planierraupe und Kettenbagger. Der geringere Spurfächenanteil wird deutlich (Ingenieurbüro Feldwisch).

Hinweis: Das Rohplanum ist im Regelfall vor dem Auftrag des Bodens für die durchwurzelbare Bodenschicht mit geeigneter Technik zu lockern, um eine Versickerung des Sickerwassers aus der durchwurzelbaren Schicht in den Verfüllkörper zu gewährleisten.

Tab. 4–2: Bodentransport auf der Baustelle – Einsatzmöglichkeiten und Einsatzgrenzen verschiedener praxisüblicher Maschinen und Geräte

Maschine/Gerät	Verfügbarkeit *	Arbeitsverfahren	Bemerkungen	Bodenschonende Einsatzbereiche **
Raddumper	+	–	Verfügbar mit unterschiedlichem Ladevolumen. Einsatz nur auf C-Horizonten oder Baustraßen.	○ Über längere Distanzen auf C-Horizont oder Baustraße.
Raupendumper	o	–	Meist mit kleinem Ladevolumen Bodenschonung durch Verteilung der zugeladenen Masse auf eine große Aufstandsfläche.	○ Über längere Distanzen auch auf Rekultivierungsschicht möglich.
Muldenkipper	o	–	Transportanhänger aus der Landwirtschaft mit bodenschonenden Radlaufwerken (große Aufstandsfläche, geringer Reifeninnendruck). Als Zugmaschine werden üblicherweise landwirtschaftliche Traktoren eingesetzt. Verfügbarkeit u. a. abhängig von landwirtschaftlichen Saisonarbeiten (Ernte).	○ Über längere Distanzen auch auf Rekultivierungsschicht möglich, wenn bodenschonende Laufwerke beim Kipper und Traktor vorhanden sind.
Schürfkübelraupe	o	–	Für Bodentransporte nur über kürzere Distanzen wirtschaftlich einsetzbar. Einsatzgebiet für Böden, die abgetragen und ohne Zwischenlagerung wieder aufgetragen werden sollen. Starke mechanische Beanspruchung durch gepresste Lagerung im Schürfkübel und große Anzahl an Transportfahrten zwischen Abtrags- und Auftragsfläche. Einsatz ist nur unter besonders günstigen Saugspannungswerten vertretbar.	○ Nur über kurze Distanzen bei geringen Bodenfeuchten begrenzt möglich.

Erläuterungen:

* + = gut verfügbar; o = mittel verbreitet; - = schlecht verfügbar

** Einstufung nach Praxiserfahrungen.

Tab. 4–3: Tieflockerung – Einsatzmöglichkeiten und Einsatzgrenzen verschiedener praxisüblicher Maschinen und Geräte

Maschine/Gerät	Verfügbarkeit *	Arbeitsverfahren	Bemerkungen	Bodenschonende Einsatzbereiche **
Alle Lockerungsarbeiten dürfen nur bei trockenen, maximal steif-plastischen Böden durchgeführt werden.				
Raupe mit Heckaufreißer	+	starr, Aufbruchprinzip	Länge der Zähne variiert zwischen 30 (meist nicht sehr hilfreich) bis 120 cm. Zumeist nur 3 starre Zähne, so dass Lockerungsgänge zu weit auseinander liegen für eine gute Lockerungswirkung. Häufiger im Einsatz sind Heckaufreißer mit 80 cm Länge. Diese erzielen meist brauchbare Ergebnisse, wenn kreuzweise bei geringer Bodenfeuchte aufgerissen wird. Raupe sollte zwingend einen möglichst geringen spezifischen Bodendruck aufweisen (Regelfall ca. 0,25 kg/cm ²), wenn Rekultivierungsschicht aufgerissen wird. Großraupen mit nur einem sehr langen Zahn sind nur für Spezialfälle zu gebrauchen. Verdichtungen können nur bei ausreichend trockenem Boden aufgebrochen werden. Auf verdichtungsanfälligem Boden vom Einsatz absehen.	<ul style="list-style-type: none"> ○ Rohplanum aufreißen ○ (Rekultivierungsschicht tieflockern nur bei geringen Verdichtungsgraden, mindestens 4 Zähnen und geringen Bodenfeuchten. Die Zähne sollten die Verdichtungsschicht mindestens 20 cm unterfahren.)
Kettenbagger mit Aufreißzahn bzw. Grubber (s. Abb. 4–4)	o	starr, Aufbruchprinzip	Zähne sind in unterschiedlichen Längen auf dem Markt. Für Lockerungsarbeiten sind die Zahnängen den jeweiligen Erfordernissen anzupassen. Arbeit erfolgt rückschreitend. Mit Schnellkupplung verfügbar, so dass zwischen Löffel und Grubber schnell gewechselt werden kann.	<ul style="list-style-type: none"> ○ Rohplanum auf kleinen Flächen aufreißen oder abschnittsweise nach Fortschritt des Bodenauftrags.
Abbruchlockerer, insbesondere MM 100	o	beweglich, Abbruchprinzip	Lockerung durch Abbrechen oder Abstechen. Antriebsene, spatenähnliche Werkzeuge. Tiefenlockerung bis 80 cm Tiefe ohne großen Zugkraftaufwand, aber hohe Antriebsleistung erforderlich. Empfindlich gegen große Steine und hohe Steinanteile.	<ul style="list-style-type: none"> ○ Unterbodenlockerung bei mittleren bis intensiven Verdichtungen und trockenen bis leicht feuchten Böden.
Hublockerungsgeräte	o	beweglich, Aufbruchprinzip	Mit der Zapfwelle angetriebene Schare oder Schwerter. Weniger empfindlich bei Steinen.	<ul style="list-style-type: none"> ○ Unterbodenlockerung bei mittleren bis intensiven Verdichtung und trockenen Böden.
– Wippscharlockerer			Einsatz bei intensiven Verdichtungen bis ca. 80 cm Tiefe. Aufbruchprinzip ähnlich wie bei Heckaufreißern, aber mit besserem Wirkungsgrad durch beweglich gelagerte Schare. Anbaugerät für Traktoren.	
– Hubschwenklockerer			Einsatz bei mittleren Verdichtungen. Bewegliche Schwerter bis ca. 80 cm Länge, die vor und zurück pendeln. Lockerungseffekt etwas geringer als beim Wippschar- oder Stechhublockerer. Anbaugerät für Traktoren.	
– Stechhublockerer			Einsatz bei tiefgehenden, sehr intensiven Verdichtungen bis ca. 100 cm Tiefe. Schare sind beweglich an den Schwertern befestigt und führen eine stechend-hebende Bewegung aus. Hoher Zugkraftbedarf, zumeist Anbaugerät für Kettenfahrzeug.	

Erläuterungen:

* + = gut verfügbar; o = mittel verbreitet; - = schlecht verfügbar

** Einstufung nach Praxiserfahrungen.

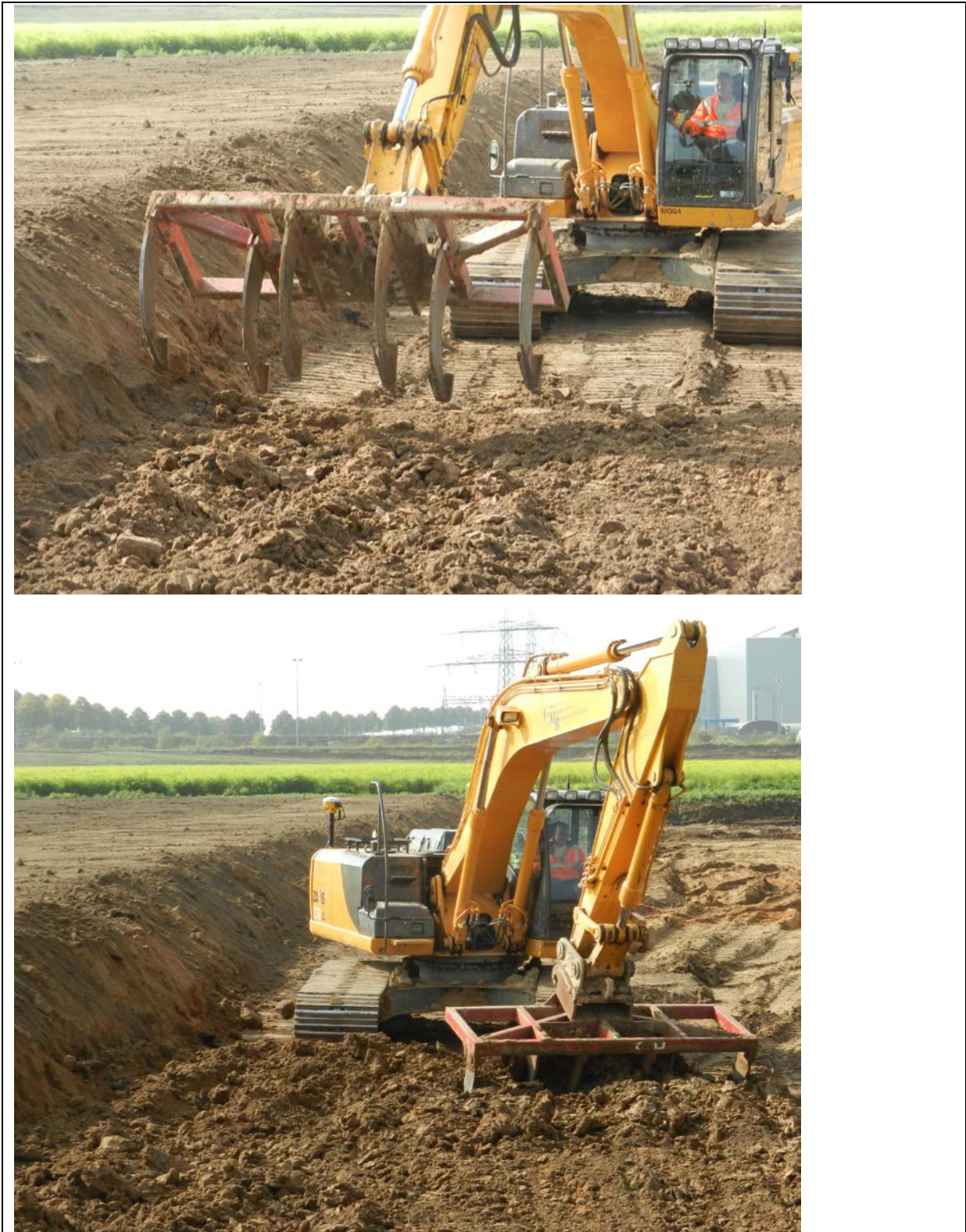


Abb. 4–4: Lockerung des Rohplanums von einem Kettenbagger mit Tiefengrubber. Ein Wechsel zwischen Baggerlöffel und Tiefengrubber ist mittels Schnellkupplung leicht möglich. (Fotos: Gerhard Dumbeck)

Tab. 4–4: Dränung – Einsatzmöglichkeiten und Einsatzgrenzen verschiedener praxisüblicher Maschinen und Geräte

Maschine/Gerät	Verfügbarkeit *	Arbeitsverfahren	Bemerkungen	Bodenschonende Einsatzbereiche **
Alle Dränarbeiten dürfen nur bei trockenen, maximal steif-plastischen Böden durchgeführt werden.				
Maulwurfsdränung	o	–	Rohrlose Dränung mit einem Lockerungs-schar, an dem eine Stahlkugel oder ein Stahlkegel durch den Boden gezogen wird und in bindigen Böden einen rohrlosen Drängang ausbildet. Zumeist flache Dränung bei ca. 60 bis 80 cm Bodentiefe und geringem Dränabstand zwischen 2 und 4 m. Bei anhaltender Vernässung regelmäßig zu wiederholen.	o Insbesondere geeignet für stark bindige Böden.
Sandschlitzdränung	o	–	In den vernässten Boden werden Schlitzte ge-fräst und der Fräsgang mit sickerfähigen Substraten wie Sand gefüllt.	o Insbesondere geeignet für staunasse Böden.
Systemdränung	o	–	Rohrdränssysteme aus Saugern und Sammlern, die Vernässungen effektiv und langlebig regulieren können. Die Kunststoffschlitzrohre werden über spezielle Dränmaschinen im Boden bis in Tiefen von 100 cm verlegt.	o Sehr effektive Dränwirkung auch bei großen Flächen. Sowohl bei Stau- als auch Grundnässe.

Erläuterungen:

* + = gut verfügbar; o = mittel verbreitet; - = schlecht verfügbar

** Einstufung nach Praxiserfahrungen.

4.4 Bodenfeuchte – Grenzen für Bodenarbeiten

4.4.1 Konsistenzgrenzen

Zur bodenkundlichen Beurteilung der Grenzen der Bodenumlagerung und Befahrbarkeit stehen verschiedene methodische Ansätze zur Verfügung. Die DIN 19731 stellt für die Umlagerung auf die Mindestfestigkeit bzw. Konsistenz ab. Die Bodenumlagerung und Befahrbarkeit sind in Abhängigkeit vom Feuchtezustand bindiger Böden (Ton Gehalt > 17 %)

- bei halbfestem Zustand **optimal**,
- bei steifplastischem **tolerierbar** und
- bei weich bis breiigem Zustand **unzulässig**.

Tab. 4–5: Konsistenzbereiche der Böden, Konsistenzgrenzen und Bodenfeuchtezustand nach AD-HOC-AG BODEN (2005, S. 115) sowie Befahrbarkeit nach DIN 19731 und BMLFUW (2012, S. 42)

Konsistenzbereich		Bodenmerkmale bei geringer und mittlerer effektiver Lagerungsdichte		Bodenfeuchtezustand				Befahrbarkeit ²⁾
Kurzzeichen	Bezeichnung	Zustand bindiger Böden (Ton Gehalt > 17 %)	Zustand nicht bindiger Böden (Ton Gehalt ≤ 17 %)	Wasser-spannung		Feuchtestufe		
				pF-Bereich [log cm WS]	[cbar] ¹⁾	Bezeichnung	Kurzzeichen	
ko1	fest (hart)	nicht ausrollbar und knetbar, da brechend; Bodenfarbe dunkelt bei Wasserzugabe stark nach	staubig; helle Bodenfarbe, dunkelt bei Wasserzugabe stark nach	> 4,0	> 990	trocken	feu1	optimal
Schrumpfgrenze								
ko2	halbfest (bröckelig)	noch ausrollbar, aber nicht knetbar, da bröckelnd beim Ausrollen auf 3 mm Dicke; Bodenfarbe dunkelt bei Wasserzugabe noch nach	Bodenfarbe dunkelt bei Wasserzugabe noch etwas nach	4,0 bis > 2,7	990 bis > 50	schwach feucht	feu2	optimal
Ausrollgrenze								
ko3	steif (-plastisch)	ausrollbar auf 3 mm Dicke ohne zu zerbröckeln, schwer knetbar und eindrückbar, da steif; dunkelt bei Wasserzugabe nicht nach	Finger werden etwas feucht, auch durch Klopfen am Bohrer kein Wasseraustritt aus den Poren; dunkelt bei Wasserzugabe nicht nach	2,7 bis > 2,1	50 bis > 12,4	feucht	feu3	tolerierbar
ko4	weich (-plastisch)	ausrollbar auf > 3 mm Dicke, leicht eindrückbar, optimal knetbar	Finger werden deutlich feucht, durch Klopfen am Bohrer wahrnehmbarer Wasseraustritt aus den Poren	2,1 bis > 1,4	12,4 bis > 2,5	sehr feucht	feu4	unzulässig
ko5	breiig (-plastisch)	ausrollbar, kaum knetbar, da zu weich, quillt beim Pressen in der Faust zwischen den Fingern hindurch	durch Klopfen am Bohrer deutlicher Wasseraustritt aus den Poren, Probe zerfließt, oft Kernverlust	≤ 1,4	< 2,5	nass	feu5	unzulässig
Fließgrenze								
ko6	zähflüssig	nicht ausrollbar und knetbar, da fließend	Kernverlust	0	0	sehr nass	feu6	unzulässig

¹⁾ Die Einheit Centibar wird hier in Anlehnung an das schweizerische Nomogramm (s. Abb. 4–5 auf S. 40) verwendet. Die Umrechnung in den pF-Wert erfolgt über eine Multiplikation mit 10 (Produkt entspricht der Einheit cm Wassersäule) und einer anschließenden Logarithmierung zur Basis 10 (LOG10).

²⁾ Bei bindigen Böden ist die Bearbeitbarkeit (Aushub, Umlagerung, Wiedereinbau) bei sehr starker Austrocknung zum Teil nur bedingt möglich, weil starke Klutenbildung die Bearbeitungsqualität – insbesondere im Hinblick auf die Wiederherstellung durchwurzelbarer Bodenschichten – vermindert.

Sehr tonreiche Böden (> 25 % Ton) sind im ausgetrockneten, festen Konsistenzzustand nicht bearbeitbar.

Die Konsistenz beschreibt die Formbarkeit und Plastizität des Bodens. Sie ist von der Körnung und dem Wassergehalt abhängig. In der Bodenkundlichen Kartieranleitung (KA5; AD-HOC-AG BODEN 2005) steht ein Tabellenwerk zur Erfassung der Konsistenz bindiger Böden zur Verfügung (vgl. auch DIN 19682-5). Dieses Tabellenwerk kann um Empfehlungen zur Bearbeitbarkeit und Befahrbarkeit der Böden ergänzt werden (Tab. 4–5; vgl. DIN 19731 und BMLFUW 2012).

Personen mit feldbodenkundlichen Erfahrungen können die Konsistenzgrenzen im Gelände mit Hilfe der Formbarkeit und Plastizität des Bodens taktil beurteilen. Diese kostengünstige und schnelle Beurteilung ist zumeist ausreichend und macht aufwändigere Verfahren, wie sie in Kap. 4.4.2 dargelegt sind, in vielen Fällen entbehrlich.

4.4.2 Grenzen des Wassergehalts bzw. der Wasserspannung

In der Schweiz wurde zur Bestimmung der Bearbeitbarkeit und Befahrbarkeit des Bodens eine Methodik entwickelt, welche die Saugspannung des Bodens zur Belastung durch ein Fahrzeug ins Verhältnis setzt. Diese Methode ist in der Schweiz inzwischen weit verbreitet und akzeptiert.

Grundlage ist ein Nomogramm (Abb. 4–5). Die Bewertung der Einsatzgrenzen der Maschinen ist in Abhängigkeit vom Witterungs- bzw. Bodenfeuchteverlauf täglich möglich. Bei stabilen trockenen und damit tragfähigen Bodenverhältnissen reicht eine wöchentliche Beurteilung aus. Dabei sollten der Bauablauf und die zu erwartende Witterungsentwicklung vorausschauend berücksichtigt werden, um rechtzeitig erforderliche Schutzmaßnahmen für das Bodengefüge ergreifen zu können.

Einsatzgrenzen von Maschinen

Die Einsatzgrenze einer Maschine kann entweder aus dem Nomogramm abgelesen oder berechnet werden. Beispielsweise muss eine 30 t schwere Maschine bei 12 cbar Saugspannung (= untere Grenze des steif-plastischen Konsistenzbereichs) einen maximalen Kontaktflächendruck von 0,32 kg/cm² einhalten, um schädliche Bodenverdichtungen zu vermeiden.

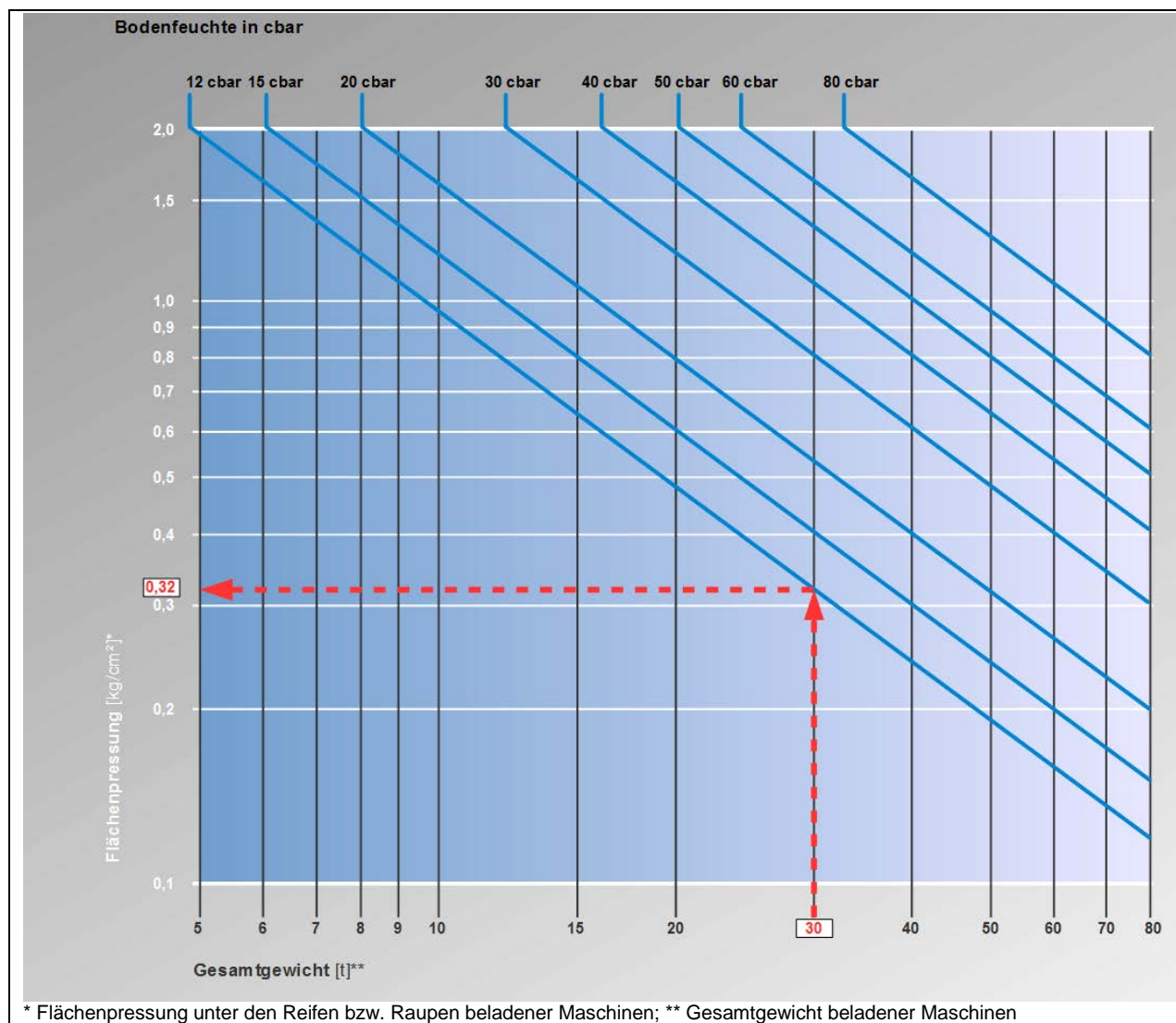
Die Berechnung des maximal tolerierbaren Kontaktflächendrucks bei bekanntem Gesamtgewicht und bekannter Saugspannung erfolgt mit nachstehender Formel:

$$\text{Maximaler Kontaktflächendruck [kg/cm}^2\text{]} = \frac{\text{Saugspannung [cbar]} \cdot \text{Maschinengesamtgewicht [t]}}{1,25}$$

Durch Umformung kann auch die minimale Saugspannung berechnet werden, bis zu der eine Maschine mit bekanntem Gesamtgewicht und Kontaktflächendruck noch eingesetzt werden kann:

$$\text{Minimale Saugspannung [cbar]} = \text{Maschinengesamtgewicht [t]} \times \text{Kontaktflächendruck [kg/cm}^2\text{]} \times 1,25$$

In Deutschland ist nach DIN 19731 ab einer Saugspannung < 12 cbar, was ungefähr einem pF-Wert von 2,1 (= 126 cm Wassersäule) entspricht, jegliche Befahrung und Bodenumlagerung unzulässig.



* Flächenpressung unter den Reifen bzw. Raupen beladener Maschinen; ** Gesamtgewicht beladener Maschinen

Abb. 4–5: Nomogramm zur Ermittlung des maximalen Kontaktflächendrucks von Maschinen in Abhängigkeit von der Saugspannung und dem Maschinengewicht (nach FAbO 2003, verändert)

Messung der Saugspannung des Bodenwassers (Tensiometer)

Um die Saugspannung bei der Beurteilung der Bearbeitbarkeit und Befahrbarkeit berücksichtigen zu können, können Messungen vorgenommen werden. Dazu sind Tensiometer an repräsentativen Stellen des Baufeldes einzubauen. Vernässte und deshalb besonders verdichtungsempfindliche Böden im Baufeld sind gesondert zu beproben.

Je zu beurteilende Bodenschicht sind mindestens 3, besser 5 Tensiometer einzubauen.

Zur Beurteilung der Saugspannung des Oberbodens haben sich Einbautiefen um ca. 15 cm Tiefe bewährt. Unterböden sollten regelhaft in ca. 30 bis 40 cm Tiefe beprobt werden. Die Funktionssicherheit der Tensiometer muss durch sorgfältigen Einbau und Wartung gewährleistet werden (vgl. BFE 1997).

Auffällige Abweichungen zwischen den Tensiometern einer Messtiefe müssen fachlich überprüft werden. Bei Bedarf sind einzelne Tensiometer mit stark abweichenden Messwerten neu einzubauen. Erfahrungsgemäß sind Abweichungen von ca. ± 5 cm Wassersäule bzw. ca. $\pm 0,5$ cbar um einen Mittelwert noch als natürliche Schwankungsamplitude bzw. praxisübliche Messungengenauigkeit einzustufen.

Darüber hinaus gehende Abweichungen sind regelmäßig entweder einer Messstörung oder deutlichen – ggf. anthropogen bedingten – Bodenheterogenitäten zuzuordnen. Die Ursachen starker Abweichungen sind zu klären, wenn ansonsten die Befahrbarkeit der Böden nicht sicher eingeschätzt werden kann. Besonders sorgfältig sind Tensiometer im Übergangsbereich von nassen zu feuchten Bodenzuständen im pF-Bereich zwischen 1,8 und 2,5 einzusetzen, weil in diesem Übergangsbereich Messfehler schnell zu einer falschen Einschätzung der Befahrbarkeit führen können.

Zur Ermittlung des maximalen Kontaktflächendrucks von Maschinen in Abhängigkeit von der Saugspannung und dem Maschinengewicht nach Abb. 4–5 wird die minimal ermittelte Saugspannung der einzelnen Tensiometer herangezogen. Mit dieser Vorgehensweise wird der empfindlichste Bodenzustand berücksichtigt, so dass die Anforderungen des vorsorgenden Bodenschutzes gewährleistet werden.

Bei Linienbaustellen oder sehr großen Baustellen sind geeignete Abstände zwischen einzelnen Tensiometerfeldern anhand bodenkundlicher Kriterien auszuwählen. Insbesondere an den Grenzen zwischen deutlich unterschiedlichen Bodeneigenschaften (Bodenarten, Grobbodenanteile, Humusgehalte, Vernässungen in Folge von Grund-, Stau- oder Hangwasser) sind Tensiometerstationen einzurichten.

Der Einbau von Tensiometern in Bodenmieten zur Beurteilung der Umlagerungseignung ist bei einer kurzen Lagerungsdauer bis ca. 6 Monate häufig nicht sinnvoll, weil a) bei einer ordnungsgemäß lockeren Lagerung der Bodenschluss der Tensiometer im lockeren Mietenkörper nicht gewährleistet ist und b) die Lagerungsdichte und Bodenfeuchte innerhalb des Mietenkörpers in Folge der Umlagerungsprozesse regelmäßig sehr stark streuen, so dass eine repräsentative Messung der Wasserspannung nur schwer möglich ist. Bei langen La-

gerzeiten konsolidiert sich das Bodenmaterial innerhalb der Miete durch Setzungsprozesse, so dass die vorgenannten Messunsicherheiten geringer werden. Insofern können bei langen Mietenlagerzeiten Tensiometermessungen durchaus gerechtfertigt sein. Sinngemäß gelten die Ausführungen auch für frisch geschüttete Auffüllungen und Rekultivierungen.

Der Aufwand für fachgerechte Tensiometermessungen zur Ermittlung der Wasserspannung ist vergleichsweise hoch. Vorteilhaft ist, dass bei fachgerechtem Einsatz objektive Messwerte zur Beurteilung der Eignung der Böden für Befahrungen und Umlagerung herangezogen werden können. Damit können Unsicherheiten in der Praxis der Rekultivierung ausgeräumt werden. Nachteilig ist der technische und finanzielle Aufwand. Weiterhin liefern Tensiometer nur repräsentative Messwerte, wenn sie fachgerecht eingebaut werden (Auswahl der Messstandorte und Messtiefen, Anzahl der Wiederholungen). Einzelmessungen sind nicht geeignet und täuschen nur eine Scheingenauigkeit vor. Unter fachlichen und praktischen Gesichtspunkten ist zu entscheiden, ob die alternativen Beurteilungsmethoden (Konsistenzgrenzen oder Messungen von Wassergehalten) im jeweiligen Einzelfall ausreichen.

Messung des Bodenwassergehaltes (Einstich-TDR- oder FD-Sonden¹⁰)

Anstelle der vergleichsweise aufwändig zu erfassenden Saugspannung kann der Wassergehalt mit Einstich-TDR- oder FD-Sonden ermittelt werden. Der Wassergehalt ist deutlich leichter zu messen und kann bei Bedarf schnell an verschiedenen Stellen des Baufeldes erhoben werden. Mit Hilfe bekannter Saugspannungs-Wassergehaltsbeziehungen können aus den Wassergehalten wiederum Wasserspannungen ermittelt werden, die eine Beurteilung der Konsistenzbereiche nach Tab. 4–5 oder der maximal vertretbaren Kontaktflächendrücke nach Abb. 4–5 erlauben. Die Handgeräte sind sehr sorgfältig von geschultem Personal einzusetzen, um Fehlmessungen zu vermeiden.

Jahreszeitliche und standörtliche Annahmen zur Bodenfeuchte

Anstelle der bauzeitlichen Messungen können auch plausible Saugspannungen für die Phasen der Rekultivierungsarbeiten angenommen werden. Je nach Jahreszeit und Standortbedingungen werden die empfindlichsten Bodenzustände unterstellt, um dem vorsorgenden Bodenschutz ausreichend Rechnung zu tragen. Damit erspart man sich aufwändige Messungen und macht sich unabhängig von bauzeitlichen Anpassungen des Maschinenparks. Beispielsweise sind im Winterhalbjahr generell nasse Bodenverhältnisse mit Saugspannungen < 12 cbar anzunehmen, so dass Bodenarbeiten zur Rekultivierung im Winterhalbjahr im Regelfall nicht erfolgen sollten. Falls dennoch Bodenarbeiten zur Rekultivierung im Winterhalbjahr aus bauphysikalischer Sicht unvermeidbar sind, dann sind aus Sicht des vorsorgenden Bodenschutzes nur sehr bodenschonende Maschinen mit sehr niedrigen spezifischen Bodendrücken einzusetzen. Erfahrungsgemäß sind bei derartig ungünstigen Witterungs- und

¹⁰ Vgl. Fußnote 7.

Bodenbedingungen spezifische Bodendrücke zwischen 0,25 und 0,5 kg/cm² einzuhalten, um schädlichen Bodenverdichtungen vorzubeugen. Der maximale Bodendruck ist anhand der eingesetzten Maschinenmassen zu bestimmen. Bei sehr verdichtungsempfindlichen Böden sind zum Teil noch geringere spezifische Bodendrücke einzuhalten.

Bodenfrost

Der Hinweis auf möglichen Bodenfrost im Winter als Vermeidungsmaßnahme ist zumeist nicht stichhaltig. Tieferreichende und damit tragfähige Frosteinwirkungen über eine längere Zeitspanne sind anhand agrarmeteorologischer Aufzeichnungen des Deutschen Wetterdienstes in weiten Teilen Deutschlands und auch Hessens selten. Insbesondere im wintermilden Rhein-Maingebiet, in dem die großen Abbauvorhaben in Hessen liegen, ist regelhaft davon auszugehen, dass im Winter kein tragfähiger Bodenfrost auftritt. Die Frostwirkung kann allenfalls bei kurzfristigen, zeitlich flexiblen Bodenarbeiten zum Bodengefügeschutz beitragen, wenn die Arbeiten tatsächlich nur bei tragfähigem Bodenfrost durchgeführt werden. Als tragfähig ist eine Bodenfrosteinwirkung von mindestens 10 cm zu bezeichnen; je nach Maschinenlasten und Befahrungsfrequenz muss die Frosteinwirkung sogar tiefer reichen, um ein Durchbrechen der Fahrzeuge zu vermeiden. In der Auftauphase und danach sind die Böden besonders verdichtungsempfindlich. Angesichts dieser Zusammenhänge sind Bodenarbeiten zur Rekultivierung nicht gezielt in die Wintermonate zu legen, weil neben dem fehlenden Bodenfrost auch regelhaft stark vernässte, verdichtungsempfindliche Bodenzustände angetroffen werden.

4.5 Anforderungen an die Bodenkundliche Baubegleitung

4.5.1 Aufgabenspektrum einer Bodenkundlichen Begleitung

Die Belange des Bodenschutzes bei Rekultivierungsverfahren erfordern bodenkundlichen Sachverstand. Nur so kann gewährleistet werden, dass geeignete und angemessene Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen zum bodenschonenden Umgang mit Bodenmaterial und zur schonenden Rekultivierung auch umgesetzt werden.

Ziel der Rekultivierung ist die Wiederherstellung einer durchwurzelbaren Bodenschicht, die im Regelfall 2 m beträgt (oberer Verfüllbereich). Um dieses anspruchsvolle Ziel zu erreichen, sind insbesondere Verdichtungsschäden zu vermeiden. Darüber hinaus sind geeignete Bodenmaterialien für den oberen Verfüllbereich vorzuhalten.

Die bodenschutzfachlichen Anforderungen sind bereits bei der Planung durch eine fachliche Begleitung zu vertreten. Planerische Fehler können in der Rekultivierungsphase kaum noch korrigiert werden.

Folgende wesentliche Leistungen sind von einer Bodenkundlichen Begleitung der Rekultivierung zu erbringen:

- Planungsphase:
Festlegung der bodenkundlichen Eigenschaften der durchwurzelbaren Bodenschicht nach Abschluss der Rohstoffgewinnung anhand des Ausgangszustands oder der Zielnutzung:
 - Vorgaben zum Bodenmaterial (Feinbodenart, Grobbodenanteil, Schichtung und Mächtigkeit von humosem Oberbodenmaterial über nicht humosem Unterbodenmaterial).
Hinweis: In der Rekultivierungspraxis ist häufig nicht absehbar, welche Bodenmaterialien in welcher Menge und mit welchen Substrateigenschaften zur Verfügung stehen. In der Planung kann lediglich die Zielsetzung des Bodenschutzes dargelegt werden, die nach Möglichkeit in der Rekultivierungsphase umgesetzt werden sollte. Im begründeten Einzelfall kann von den bodenschutzfachlichen Vorgabe zum Bodenmaterial abgewichen werden.
 - Fachliche Festlegungen zur ggf. notwendigen Zwischenlagerung geeigneter Bodenmaterialien.
 - Anforderung an den mittleren Verfüllbereich im Hinblick auf Sickerfähigkeit bzw. Ableitung von Sickerwasser (geeignete Lockerung vor Auftrag des oberen Verfüllbereichs, Neigung des Rohplanums zur lateralen Entwässerung).
 - Ggf. Planung von Probefeldern im Hinblick auf die zu überprüfenden Rekultivierungsabläufe und verfügbaren Bodenmaterialien.
 - Anforderungen an Maschinen und Geräte im Hinblick auf schonende Arbeitsprozesse.

- Bodenschutzfachliche Anforderungen an die Folgebewirtschaftung (geeignete Erstbegrünungsverfahren zur Absicherung des Rekultivierungserfolges).
- Zusammenfassende Darlegung der Bodenschutzbelange in einem eigenständigen Fachbeitrag Bodenschutz, der in die Zulassungsunterlagen einfließen kann.
- Ausschreibungsphase:
 - Müssen Rekultivierungsleistungen ausgeschrieben werden, dann sind die erforderlichen Leistungspositionen zur schonenden Rekultivierung so präzise zu definieren, dass Bieter entsprechend geeignete Technik und schonende Arbeitsprozesse bepreisen können. Ansonsten läuft man Gefahr, dass während der Ausführung von der Zulassungsbehörde erforderliche Maßnahmen zum Schutz der Böden eingefordert werden. Dies eröffnet den ausführenden Firmen das Stellen von Nachtragsangeboten, die nicht selten übersteuert sind.
- Rekultivierungsphase:
 - Fachliche Begleitung der Rekultivierungsprozesse im Hinblick auf planerische Vorgaben und Nebenbestimmungen der Zulassung.
 - Beurteilung geeigneter Rekultivierungszeiten angesichts der witterungsabhängigen Bodenwassergehalte, ggf. witterungsbedingt notwendige Bau- bzw. Rekultivierungsunterbrechung veranlassen.
 - Bewertung des Maschinen- und Geräteeinsatzes hinsichtlich des Schutzes der Böden vor Verdichtung.
 - Situative Beratung bei unerwarteten Rekultivierungsproblemen, wie ggf. auch bei widrigen Bedingungen der Mindeststandard des vorsorgenden Bodenschutzes noch eingehalten werden kann.
 - Beratung zu ggf. notwendigen Tieflockerungs- und Dränungsarbeiten.
- Folgebewirtschaftung:
 - Begleitung der Erstbegrünung (Termin, Sortenempfehlungen).
 - Empfehlungen zu ggf. unterstützenden Maßnahmen wie zum Beispiel Kalkung oder organische Düngung.
 - Empfehlungen zur Aufwuchspflege.
 - Aufwuchsbonitur und ggf. bodenkundliche Gefügebeurteilung bei erkennbaren Rekultivierungsmängeln.
 - Vorschlag ggf. notwendiger Sanierungsmaßnahmen.
 - Begleitung der Rekultivierungsabnahme.

Die bodenschutzfachliche Begleitung der Rekultivierung von der Planung bis zur Abnahme verschafft dem Rekultivierungsverpflichteten folgende Vorteile:

- Fachlich valide Umsetzung der Zulassungsanforderungen mit entsprechenden Nachweisen für die behördliche Überwachung durch Protokollierung der bodenschutzfachlichen

Vor-Ort-Begleitung insbesondere des Ausbaus, der Zwischenlagerung und des Wiedereinbaus des Bodenmaterials.

- Vermeidung von Bodenschäden, die aufwändige und teure Sanierungsmaßnahmen nach sich ziehen.
- Vermeidung von Imageschäden durch negative Reaktionen der Öffentlichkeit auf offenkundige Rekultivierungsmängel.

4.5.2 Anforderungen an die Ausbildung der bodenkundlichen Begleitung

Die Begleitung hat durch Personen mit fundierten bodenkundlichen Kenntnissen zu erfolgen. Die Personen sollten nicht nur über theoretisches Wissen, sondern auch über praktische feldbodenkundliche Erfahrungen verfügen. Einen guten Überblick an die Qualifikation der bodenkundlichen Begleitung bietet die Veröffentlichung „Bodenkundliche Baubegleitung“ des BUNDESVERBANDES BODEN (2013, S. 28f). Danach sind insbesondere folgende Qualifikationen erforderlich:

- „Abgeschlossenes Studium an einer Universität oder Fachhochschule mit einer Ausrichtung oder Spezialisierung in Bodenkunde oder einer anderen als gleichwertig anerkannten Disziplin oder entsprechend ausreichenden praktischen Erfahrungen in diesem Bereich,
- feldbodenkundliche Kenntnisse und Erfahrungen (Bodenansprache, Bodenkartierung, bodenkundliche Profilaufnahme, Ermittlung der Verdichtungsempfindlichkeit von Böden),
- Bodenphysik (Folgen der Bodenverdichtung auf das Bodengefüge, den Bodenwasserhaushalt und das Bodenleben; Entnahme von gestörten und ungestörten Bodenproben; Berechnungs- und Messmethoden, Bodenwasserhaushalt und Messmethoden),
- Bodenchemie (Probennahme und -behandlung, Übersicht über Analysenparameter, Verlagerung und Mobilität von Schadstoffen im Boden, mögliche Ausbreitung),
- technische Grundlagen bezüglich des Umgangs mit dem Boden auf einer Baustelle (Umlagerung, Zwischenlagerung, Wiedereinbau, Wiederherstellung, Bodenmanagement),
- Kenntnis der einschlägigen Gesetze, Verordnungen und Normen und deren Kommentare,
- bau- und maschinentechnische Kenntnisse (wie z. B. Laufwerksunterschiede, spezifischer Kontaktflächendruck, Luftdruckregelungsanlagen etc.), die für die Beurteilung von Maschineneignung, Einsatzgrenzen sowie für die Bewertung von Baustellenabläufen notwendig sind,
- Erfahrungen im Projektmanagement auf Baustellen (Planung, Projektierung, Bauleitung) sowie praktische Baustellenerfahrung und
- Erkennen und Beurteilung von schädlichen Bodenveränderungen und Ableitung von Maßnahmen zu ihrer Beseitigung.

- Zudem erfordert diese Tätigkeit ein hohes Maß an Kommunikationskompetenz und Erfahrung im Konfliktmanagement mit Behörden, Bauherren/-trägern, ausführenden Baufirmen und sonstigen Betroffenen.“

Die Abbauunternehmen können geeignete Personen zur bodenkundlichen Baubegleitung entweder als externe Gutachter beauftragen oder anstellen. Weiterhin besteht die Möglichkeit, vorhandene Mitarbeiter durch Schulungen und andere Maßnahmen entsprechend zu qualifizieren, damit sie die Leistungen durchführen können.

5 Bodenausbau bzw. Bodenabtrag

Checkliste 5

Bereits beim Ausbau können erhebliche bodenphysikalische und sonstige Beeinträchtigungen des Bodenmaterials verursacht werden, die den Rekultivierungserfolg gefährden. Im Folgenden werden bodenschutzfachliche Grundsätze dargelegt, die zu beachten sind. Weiterhin werden spezifische Anforderungen an den Bodenausbau bei unterschiedlichen Vornutzungen thematisiert.

5.1 Grundsätze

Beim Bodenausbau, der der eigentlichen Erschließung des Bodenschatzes vorausgeht, sind die Arbeiten so durchzuführen, dass der abgetragene Boden in einem rekultivierbaren Zustand erhalten wird. Insbesondere sind schädliche Verdichtungen während des Bodenabtrags zu vermeiden, weil der Rekultivierungserfolg bereits dadurch beeinträchtigt werden kann.

Wird Boden von außerhalb der Tagebau- bzw. Abgrabungsflächen zur Rekultivierung bereitgestellt, so ist der Rekultivierungspflichtige zwar dort nicht für den Umgang mit dem Bodenaushub verantwortlich. Er sollte jedoch darauf achten, dass dies möglichst bodenschonend erfolgt, um den Rekultivierungserfolg in seinem Tagebau bzw. seiner Abgrabungsstätte nicht zu gefährden.

Folgende einfache Anforderungs-/Kontrollkriterien für die bodenphysikalische Qualität des angelieferten Bodens bieten sich für die Rekultivierungspflichtigen unter anderem an:

- **Konsistenzigenschaften des Bodenmaterials:**
Weichplastische, breiige und zähflüssige Konsistenzen des angelieferten Bodens deuten auf dessen unsachgemäßen Ausbau und/oder unsachgemäßer Zwischenlagerung hin.
- **Verfestigungsgrad und Gefügefragmente:**
Starke und sehr starke Verfestigungen des Bodenmaterials, Klumpengefüge, glatte oder glänzende Schmierflächen der Gefügefragmente zeigen starke Verdichtungen an.
- **Geruch:**
Ein fauliger Geruch ist ein Anzeichen für verdichtete Böden, in denen unter Luftabschluss organische Bodensubstanz zersetzt wird.

Wesentliche Grundsätze für einen bodenschonenden Ausbau – sowohl innerhalb des Tagebaus als auch außerhalb – sind:

- „Abhebende“ Arbeitsweisen sind besser als „stoßende“ Arbeitsweisen, weil dadurch geringere Stauch- und Scherkräfte auf den Boden einwirken. Stoßende Arbeitsweisen mit Planierraupen sind nur bei sehr trockenen Verhältnissen unproblematisch. Aus diesem

Grund hat der Bodenabtrag im Regelfall mit Raupenbaggern („abhebend“) und nicht mit Planierraupen („stoßend“) zu erfolgen.

- Geräte, Maschinen und Arbeitsweisen sind an die Bodenverhältnisse anzupassen. Im besonderen Maße ist die Empfindlichkeit der Böden gegen Verdichtung zu berücksichtigen. Die Maschinenauswahl muss an der Empfindlichkeit ausgerichtet sein, um schädliche Verdichtungen zu vermeiden.
- Die Vermeidung von erheblichen Bodenbeeinträchtigungen steht im Vordergrund. Ein bloßer Verweis auf vorgesehene Rekultivierungs- und Sanierungsmaßnahmen rechtfertigt es nicht, vermeidbare Beeinträchtigungen zu unterlassen. Sind Beeinträchtigungen unvermeidbar, dann sind Rekultivierungs- und Sanierungsarbeiten einzuplanen, um die Beeinträchtigungen so weit wie möglich wieder zu beseitigen.
- Bereits bei der Flächenvorbereitung sind die Anforderungen des vorsorgenden Bodenschutzes zu erfüllen. Beispielsweise ist beim Holzeinschlag darauf zu achten, dass der anstehende Boden durch Befahrungen nicht bereits erheblich verdichtet wird. Werden derart vorverdichtete Bodenmaterialien bei der Rekultivierung eingesetzt, dann ist die Wiederherstellung einer durchwurzelbaren Bodenschicht deutlich erschwert. Auch die Verwertung außerhalb des Tagebaus oder der Abgrabung ist nicht mehr oder nur eingeschränkt möglich.
- Der Rekultivierungsverpflichtete sollte den schonenden Bodenausbau durch eine Eigenüberwachung sicherstellen. Damit können Fehler kurzfristig aufgedeckt und korrigiert werden.

Weitere bodenschutzfachliche Anforderungen an den Bodenausbau werden in den folgenden Kapiteln, gegliedert nach Art der Vornutzung, aufgeführt.

5.2 Vornutzung Wald

- Der Bodenabtrag hat mit Raupenbaggern und nicht mit Planierraupen zu erfolgen.
- Eine saubere Trennung von Ober- und Unterboden ist oft unmöglich, da organische Auflage-Horizonte und Ah-Horizonte häufig geringmächtig sind und eine Vermischung beim Ziehen der Wurzelstöcke unvermeidlich ist. In diesen Fällen ist eine pragmatische Trennung der oberen Schicht von ca. 20 bis 30 cm Mächtigkeit, in der das Humusmaterial eingemischt ist, und der darunter anstehenden Unterbodenschicht vorzunehmen.
- Hiebmaßnahmen und Rückearbeiten erfolgen ausschließlich von Rückegassen aus.
- Baumstümpfe bzw. Wurzelstubben sind mit Baggern aus dem Boden zu ziehen. Nach Möglichkeit ist diese Arbeit von den Rückegassen aus durchzuführen. Bei flächiger Befahrung ist sowohl die feuchteabhängige Befahrbarkeit zwingend zu beachten als auch der spezifische Bodendruck der eingesetzten Raupenbagger auf ein bodenschonendes Niveau zu senken.
- Das oft praktizierte Einfräsen der gesamten Wurzelstubben führt zu Vermischungen von frischem Holz mit Boden und widerspricht den Anforderungen der DIN 18915. Bei der

Zwischenlagerung und letztendlich bei der Verfüllung von Tagebauen oder Abgrabungen geraten die beigemischten Holzstücke in ein reduzierendes Milieu, was zu Bodenbeeinträchtigungen durch Faulgasbildungen führen kann. Auch können beigemischte Holzreste pflanzenverfügbare Mineralsalze wie insbesondere Nitrate oder Phosphate festlegen, so dass der Begrünungserfolg gefährdet wird. Unter baupraktischen Gesichtspunkten kann hier ein Schwellenwert von 10 Vol.-% Holzanteil genannt werden, der nicht überschritten werden sollte.

- Die Beimengung großer Holzanteile oder Baumstämme in die Rekultivierungsschicht kann bei der anschließenden Rekultivierung technische Probleme verursachen und sollte deshalb vermieden werden. Beispielsweise kann der störungsfreie Betrieb von Tieflockerungsgeräten bei großen bzw. massiven Beimengungen nicht mehr gewährleistet werden.
- Die Rückegassen sind auch als Erschließungswege für den Bodenaushub zu nutzen.
- In der Praxis wird der Holzeinschlag in Wäldern häufig vor dem 1. März durchgeführt, um dem Schutz von Brutvögeln und anderer Arten gerecht zu werden. Die Zielsetzung einer naturschutzgerechten Waldnutzung kann mit Anforderungen des Bodenschutzes kollidieren. Ein Holzeinschlag und das Holzurücken zu Zeiten ungeeigneter, zu nasser Bodenverhältnisse, wie sie im Winterhalbjahr regelhaft vorliegen, birgt die Gefahr des Entstehens massiver Bodengefügeschäden. Hier sollte eine sorgfältige Abwägung vorgenommen werden, wie die unterschiedlichen Schutzziele mit Hilfe von Terminplanung und der Auswahl bodenschonender Holzerntetechnik/-logistik soweit wie möglich gemeinsam verwirklicht werden können. Beispielsweise herrschen im Oktober und November in vielen Fällen sehr günstige Bodenverhältnisse, weil zumindest die Unterböden in diesen Monaten häufig noch nicht wieder durch winterliche Niederschläge wassergesättigt sind.

5.3 Vornutzung Landwirtschaft

5.3.1 Ackerböden

- Der Abtrag von Ackerböden ist vornehmlich nach der Ernte durchzuführen. Durch den Wasserentzug der Pflanzen sind die Böden nach der Ernte in der Regel tiefgründig abgetrocknet. Beispielsweise wird Getreide je nach Sorte zwischen Juli und Mitte August geerntet, so dass anschließend günstige Bedingungen für den Bodenausbau vorliegen. Aber auch noch im September bis Anfang Oktober können trockene (Unter-)Bodenverhältnisse vorliegen, wenn zuvor Mais oder Zuckerrüben angebaut wurden. Wird vor dem geplanten Bodenabtrag keine Ackerfrucht mehr angebaut, dann empfiehlt sich die Ansaat einer leistungsfähigen Zwischenfrucht mindestens drei Monate vor dem geplanten Bodenabtrag, um dem Boden möglichst viel Wasser zu entziehen. Diese Maßnahme zielt darauf ab, zum Zeitpunkt des geplanten Bodenabtrags eine möglichst hohe Tragfähigkeit und möglichst geringe Verdichtungsempfindlichkeit der Böden zu erreichen. In jedem Fall sind die konkreten Witterungsbedingungen des Einzeljahres

zu berücksichtigen. So können auch im Sommerhalbjahr nach Starkregenereignissen zeitweise zu hohe Bodenwassergehalte vorliegen.

- Der Aufwuchs ist vor dem Bodenabtrag am besten zu ernten, andernfalls zu mulchen oder zu entfernen. Ob der Aufwuchs auf der Fläche verbleiben kann, ist anhand der Aufwuchsmasse zu entscheiden. Ab ca. 0,5 kg/m² frischer Aufwuchsmasse sollte eine Abfuhr in Erwägung gezogen werden. Der Aufwuchs kann zum Beispiel einer Kompostierung, Biogasnutzung oder Futternutzung zugeführt werden. Falls eine Verwertung nicht möglich sein sollte, dann ist bei einem massigen Aufwuchs zwischen dem Mulchen und dem Bodenabtrag eine mindestens zweiwöchige Rottephase einzuhalten, bis die eingearbeitete Pflanzenmasse ausreichend biologisch umgesetzt worden ist. Die genannten Maßnahmen beugen möglichen Fäulnisprozessen der eingearbeiteten frischen Biomasse vor. Stoffausträge in Gewässer und Atmosphäre werden so vermieden bzw. reduziert. Ebenso können Beeinträchtigungen der Rekultivierungsbegrünung, die nach der Verfüllung von Bodenmaterial mit viel frischer organischer Substanz durch Faulgasbildungen auftreten, ausgeschlossen werden.

5.3.2 Grünlandböden

- Generell gelten die gleichen Anforderungen, wie sie für Ackerböden im vorstehenden Unterkapitel formuliert sind.
- Der Bodenabtrag sollte nach Möglichkeit nicht vor der ersten Schnittnutzung erfolgen, um den Bodenwassergehalt durch Transpirationswirkung des Grünlandaufwuchses abzusenken.
- Im Falle einer Grünlandweide empfiehlt sich anstelle der Beweidung eine Schnittnutzung vor dem Bodenabtrag, damit kein frischer Dung auf der Abtragsfläche liegt.
- Die Grünlandnarbe sollte vor dem Abtrag kurz geschnitten (so genannter tiefer Schröpfschnitt) und mechanisch zerkleinert (z. B. gefräst) werden. Ansonsten werden große, zusammenhängende Grassoden abgetragen und zwischengelagert, die sowohl die Mietenlagerung als auch die anschließenden Rekultivierungsarbeiten behindern können. Ob der Aufwuchs auf der Fläche verbleiben kann, ist anhand der Aufwuchsmasse zu entscheiden (vgl. Kap. 5.3.1).

6 Zwischenlagerung

Checkliste 6

Prinzipiell ist es für den Boden am besten, wenn er ohne Zwischenlagerung direkt an anderer Stelle zu Rekultivierungszwecken verwendet wird. Oft passen jedoch die zeitlichen und räumlichen Ansprüche nicht zusammen, so dass eine Zwischenlagerung unvermeidbar ist.

An eine Zwischenlagerung sind folgende Ansprüche zu stellen:

- Lagerort: Ebene Lagen oder Kuppenlagen sind geeignet.
- Als Untergrund ungeeignet sind vernässte und stauende Böden, aber auch Geländemulden, in denen Niederschlagswasser zusammenfließt. Gegebenenfalls ist für eine Entwässerung zu sorgen (Dränung oder Graben).
- Weiterhin sind naturschutzfachlich sensible Flächen (Biotope, FFH-Lebensraumtypen etc.) regelmäßig nicht für die Zwischenlagerung geeignet.
- Getrennte Lagerung von Oberboden, Unterboden und Abraum. Die Mieten sind zu kennzeichnen, damit Verwechslungen ausgeschlossen werden können.
- Getrennte Lagerung von Substraten unterschiedlicher Körnung bzw. unterschiedlicher stofflicher Belastungen. Auch Unterbodenmaterial, welches für die Wiederherstellung einer durchwurzelbaren Bodenschicht eingesetzt werden soll und im Ausgangszustand einen erheblichen Substratwechsel (Feinbodenart, Steingehalt) aufweist, muss ggf. entsprechend der Rekultivierungsanforderungen getrennt gelagert werden. Die Mieten unterschiedlicher Qualität sind zu kennzeichnen, damit Verwechslungen ausgeschlossen werden können. Die Massen- bzw. Volumenströme und die dafür notwendige Logistik (u. a. Größe der Mietenflächen) sind im Rahmen einer Bodenmanagementplanung darzulegen.
- Glättung und Profilierung der Mieten, damit die Menge eindringenden Wassers vermindert wird.
- Bodenmieten dürfen nicht befahren oder als Lagerort zweckentfremdet werden.
- Begrenzung der Mietenhöhe:
 - Bei Oberböden (humoses Bodenmaterial) auf maximal 2 m.
 - Bei Unterböden haben sich in der Praxis maximal 4-5 m bewährt. Wenn besonders trockenes Bodenmaterial aufgemietet wird, sind bis zu 10 m möglich (ISTE 2011).
 - Abweichungen sind nach FABO (2003) möglich (s. u.).

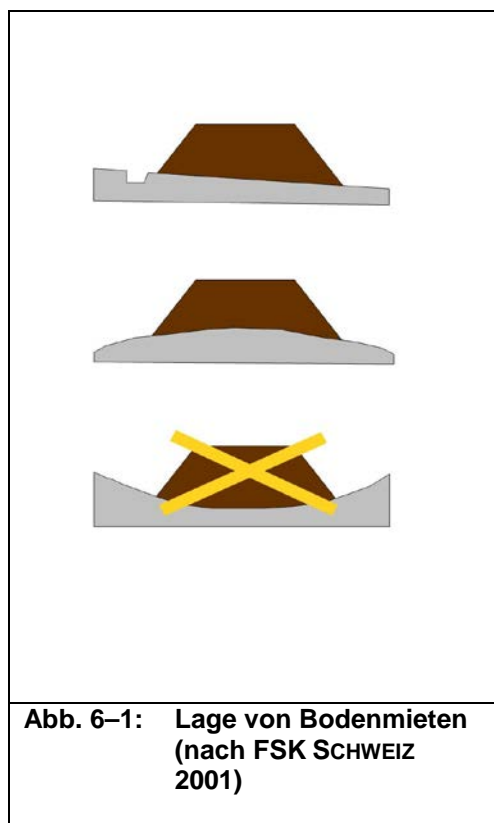


Abb. 6-1: Lage von Bodenmieten
(nach FSK SCHWEIZ
2001)

- Mieten sind bei absehbarer längerer Standzeit möglichst kurzfristig nach der Aufmietung zu begrünen. Als längere Standzeit ist in Anlehnung an DIN 18915 eine Lagerzeit von mehr als 2 Monaten anzusehen. Die Begrünung soll mit stark wasserzehrenden Pflanzen erfolgen. Dazu eignen sich bei überjähriger Lagerung winterharte Zwischenfruchtgemenge; bei langjähriger Lagerung sind beispielsweise Klee-Gras-Gemenge oder Luzerne geeignet. Die Begrünung ist während der Lagerzeit nach Bedarf zu pflegen und ggf. nachzusäen. Sie hält die Miete möglichst trocken, fördert das Bodenleben, verhindert Erosion und vermeidet Bewuchs mit unerwünschter Vegetation.
- Mieten sind im Regelfall mittels Raupenbagger aufzusetzen. Kleine Mieten können bei trockenen Bodenverhältnissen ($pF > ca. 2,7$; > 50 cbar; feu2 oder Konsistenz halbfest) ausnahmsweise auch mit anderen Maschinen wie z. B. Laderaupe oder Planierraupe angelegt werden.
- Bodenmaterial zur Wiederherstellung durchwurzelbarer Bodenschichten darf nicht zu nass zwischengelagert werden. Als maximale Bodenfeuchte des zwischenzulagernden Bodenmaterials sollte die Klasse feu 3 (feucht) bzw. die Konsistenzklasse steifplastisch (vgl. Tab. 4–5) eingehalten werden. Bei feuchteren Bodenverhältnissen drohen Verdichtungen und anaerobe Umsetzungsprozesse in den Bodenmieten, die den Rekultivierungserfolg anschließend schmälern.
- Die Lagerzeit soll so kurz wie möglich sein. Wenn möglich, sollte das ausgehobene Bodenmaterial ohne Zwischenlagerung direkt zur Verfüllung eines Rekultivierungsabschnitts verwendet werden.

Sollen andere Mietenhöhen als oben aufgeführt realisiert werden, dann kann das in Tab. 6–1 dargestellte Bewertungsschema verwendet werden.

Tab. 6–1: Bewertung des zwischenzulagernden Bodenmaterials und der Mieteneigenschaften (FABo 2003, verändert)

Bewertungskriterien	Punktzahl				
	-2	-1	0	+1	+2
Wassergehalt des Bodenmaterials					
Saugspannung [cbar] ¹⁾	6-12	–	12-50	> 50	–
alternativ: Konsistenzklassen ²⁾	ko4	–	ko3	ko2 u. ko1	–
Bodenartengruppe ³⁾	Lehmtone, Schlufftone ⁴⁾	Tonlehme ⁴⁾	Sandlehme, Normallehme, Lehmschluffe	Reinsande, Lehmsande, Schluffsande, Sandschluffe, Tonschluffe	–
Mietenform	–	–	flächig	–	wallförmig ⁵⁾
Miete überwintert	–	–	ja	nein	–

Erläuterungen:

- ¹⁾ Medianwert am Entnahmeort bei Bodenabtrag; Messtiefe ab GOK: Oberboden 15 cm, Unterboden 35 cm. Bei Saugspannungen kleiner als 12,4 cbar sind Bodenarbeiten unzulässig. Ausnahmen können für Sandböden (Ss, St2, Su2, Sl2) zugelassen werden, bei den Bodenarbeiten von Baustraßen bis 6 cbar möglich sind.
- ²⁾ Nach AD-HOC-AG BODEN 2005, Tabelle 17, S. 115). Bei breiigen und zähflüssigen Konsistenzen sind Bodenarbeiten unzulässig.
- ³⁾ Die originalen Angaben der Feinerdekorngung nach Datenschlüssel Nr. 6 (Schriftenreihe der FAL, Nr. 24) sind hier an die KA5 nach AD-HOC-AG BODEN (2005) angepasst. Statt Feinbodenarten werden hier Bodenartengruppen angegeben.
- ⁴⁾ Bei Böden mit >30% Ton sind bei Saugspannungen <15 cbar jegliche Bodenarbeiten zu unterlassen.
- ⁵⁾ Wallförmige Bodenmieten haben eine maximale Kronenbreite von 2 m.

Tab. 6–2: Maximale Höhen der Bodenmieten nach den Kriterien der Tab. 6–1 (FABo 2003, verändert)

Punktsumme nach Tab. 6–1	4/5	3	2	1	0	-1	-2	-3/-4
Oberbodenmiete [m]	3	3	2,5	2,5	2	1	1	²⁾
Unterbodenmiete [m]	6 ¹⁾	5 ¹⁾	4	4	3	2,5	1	²⁾

Erläuterungen:

- ¹⁾ Auf den Untergrund (C-Schicht) geschüttet oder inkl. des gewachsenen Bodens unter der Bodenmiete.
- ²⁾ Keine Mietenlagerung zulässig.

Beispiele zur Bestimmung der maximalen, bodenschonenden Mietenhöhe nach Tab. 6–1 und Tab. 6–2

Fall 1:

Bewertungskriterium		Zustand	Punktzahl
Wassergehalt des Bodenmaterials	Konsistenzklasse	Ko3	0
Bodenartengruppe		Lehmsande	+1
Mietenform		wallförmig	+1
Miete überwintert		nein	+1
Punktsumme			+3

Bewertungsergebnis: maximale Höhe einer Oberbodenmiete = 3,0 m
maximale Höhe einer Unterbodenmiete = 5,0 m

Fall 2:

Bewertungskriterium		Zustand	Punktzahl
Wassergehalt des Bodenmaterials	Konsistenzklasse	Ko3	0
Bodenartengruppe		Lehmschluffe	0
Mietenform		flächig	0
Miete überwintert		ja	0
Punktsumme			0

Bewertungsergebnis: maximale Höhe einer Oberbodenmiete = 2 m
maximale Höhe einer Unterbodenmiete = 3 m

7 Rekultivierungsarbeiten

Checkliste 7

Der eigentlichen Rekultivierung ist die Herstellung des Rohplanums vorangestellt. Die fachlichen Anforderungen an die einzelnen Arbeitsschritte werden in den folgenden Unterkapiteln beschrieben.

7.1 Herstellung des Rohplanums (mittlerer Teil des Füllkörpers)

In der Rekultivierungspraxis sind gerade die Füllkörper häufig sehr dicht gelagert, weil sie bei hohen Bodenfeuchten und bzw. oder mit sehr stark bodenbeanspruchenden Techniken eingebaut werden. Um einen Rekultivierungserfolg sicherstellen zu können, sind die nachstehend ausgeführten Anforderungen einzuhalten:

- Keine schädlichen Verdichtungen des Rohplanums, die zu einer Stauwasserbildung bis in die durchwurzelbare Bodenschicht führen können. Dazu ist nach DIN 18915 auf eine Verzahnung des mittleren und oberen Verfüllbereichs hinzuwirken, indem das Rohplanum mit geeigneten Geräten gelockert wird, bevor der obere Verfüllbereich aufgetragen wird.
- Bei zögerlicher Entwässerung (hohe Niederschläge, bindige Böden, Verdichtungen) sollte eine flächenhafte Entwässerung in Betracht gezogen werden. Das kann als ein System von Saugern und Sammlern erfolgen. Vor der Verlegung von Dränrohren muss sichergestellt sein, dass sich das Rohplanum gut abgesetzt hat. Nachsetzungen führen meist zu Vernässungsstellen. Dränrohre werden mit einem Gefälle von 1 – 2 % zur nächsten Entwässerungsstelle gebündelt. Technische Vorgaben zur Dränung sind entsprechend DIN 1185-1 zu berücksichtigen.
- Bei gut durchlässigem Rohplanum oder deutlich geneigtem Gelände von > 4 % kann auf Sickerhilfen verzichtet werden (vgl. FABO 2003, Kap. 2.3; BMLFUW 2012, Kap. 3.4.5).
- Das Rohplanum ist zur Beseitigung von Verdichtungen zu lockern (DIN 18915). Tiefgang, Intensität und geeignete Technik der Tieflockerung sind am Ausmaß der Verdichtung auszurichten. Liegt keine erhebliche Verdichtung vor, dann reicht das Aufreißen des Rohplanums, um die natürliche Versickerung zu verbessern. Im Falle sehr steiler Böschungen mit Neigungen > 1:2,5 sind diese zur Gewährleistung der Standsicherheit nur oberflächlich aufzureißen (vgl. DIN 18915).
- Die Anforderungen an die Schadstoffgehalte sind entsprechend der Verfüllrichtlinie zu beurteilen.
- Sind im Rahmen alter Zulassungen noch deutlich erhöhte Schadstoffgehalte im mittleren Verfüllbereich möglich, dann ist eine Durchsickerung des Verfüllkörpers zu verhindern. Dazu ist eine Abdichtung des mittleren Verfüllbereichs mit einer Sickerwasserableitung notwendig.

7.2 Herstellung der durchwurzelbaren Bodenschicht

7.2.1 Geeignete Materialien

Für die Wiederherstellung einer durchwurzelbaren Bodenschicht eignet sich insbesondere das im Abbaubereich anstehende, natürliche Bodenmaterial. Dieses ist nach Möglichkeit fachgerecht zwischenzulagern.

Muss Bodenmaterial von außen angeliefert werden, dann ist darin ein maximaler mineralischer Fremdanteil von 10 Vol.-% ohne Störstoffe wie Holz, Kunststoffe, Glas oder Metalle tolerierbar (vgl. DIN 19731 und Verfüllrichtlinie).

Die Anforderungen an die Schadstoffgehalte sind entsprechend der Verfüllrichtlinie zu beurteilen. Weitergehende Anforderungen werden in den folgenden Kapiteln dargelegt.

7.2.2 Mächtigkeit der durchwurzelbaren Bodenschicht

Die durchwurzelbare Bodenschicht (= Rekultivierungsschicht) reicht bis zu der Bodentiefe, die von den Pflanzenwurzeln in Abhängigkeit von den natürlichen Standortbedingungen durchdrungen werden kann (vgl. Abb. 7–1 und § 2 Nr. 11 BBodSchV).

Im Regelfall ist eine ca. 2 m mächtige durchwurzelbare Bodenschicht wiederherzustellen (vgl. dazu auch Ziffer 5.1 Verfüllbereiche Erläuterungen zu Abbildung 1 „Verwertung von Bodenmaterial, Bauschutt und Straßenaufbruch a) Oberer Verfüllbereich“ in der hessischen Verfüllrichtlinie).

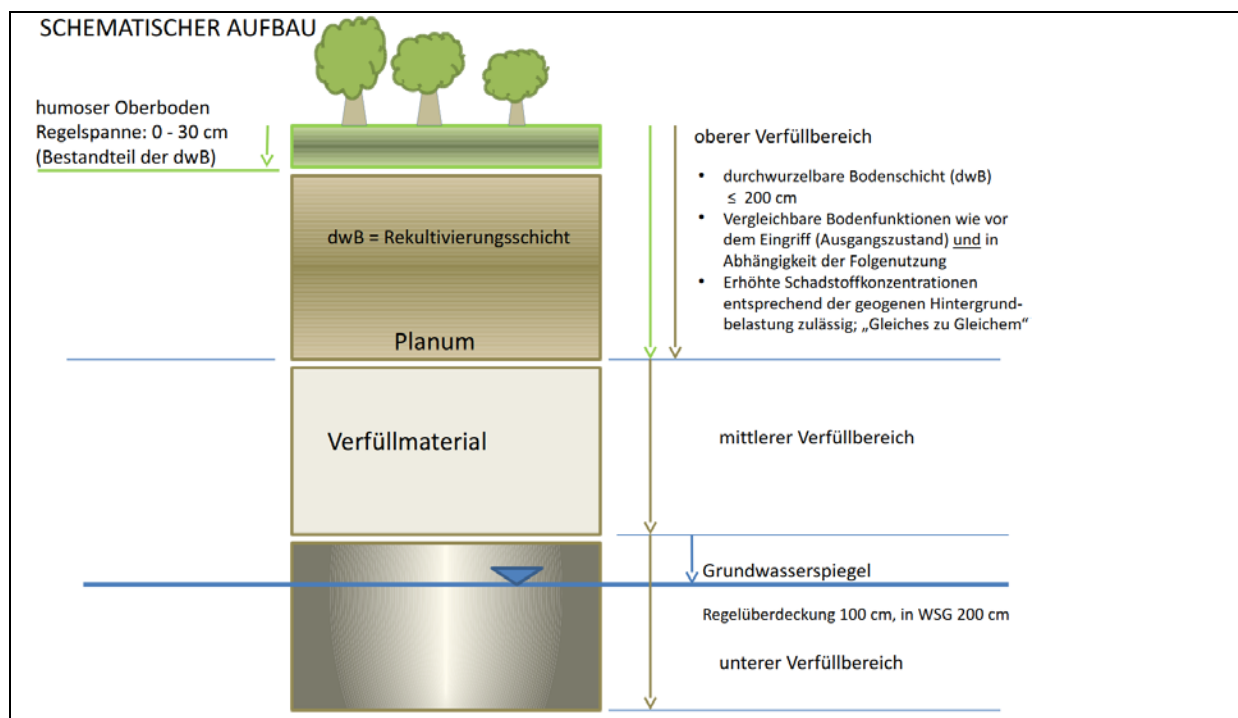


Abb. 7–1: Regelprofil der Verfüllbereiche (M. Peine)

Abweichend von der Regel kann die Mächtigkeit der durchwurzelbaren Bodenschicht standorttypisch festgelegt werden, wenn schon im mittleren Verfüllbereich Bodenmaterial eingebaut wird, welches die Anforderungen an Schadstoffgehalte für die durchwurzelbare Bodenschicht einhält.

Die vom Regelfall abweichende standorttypische Mächtigkeit kann anhand des Bodenzustands vor dem Abbau oder – falls der Ausgangszustand nicht dokumentiert sein sollte – anhand von Bodenflächendaten und Vor-Ort-Erkundungen im unverritzten Umfeld des Abbauvorhabens abgeleitet werden. Eine Mindestmächtigkeit der durchwurzelbaren Bodenschicht von 1 m sollte nicht unterschritten werden.

Da die neu hergestellte durchwurzelbare Bodenschicht erfahrungsgemäß ungünstigere physikalische Eigenschaften als der ursprüngliche Boden aufweist, sollte in Anlehnung an die LABO-Arbeitshilfe zu § 12 BBodSchV (LABO 2002) zum Ausgleich dieses Qualitätsverlustes ein Zuschlag durch eine Erhöhung der nutzbaren Feldkapazität erfolgen. Die Erhöhung der nutzbaren Feldkapazität kann durch eine mächtigere durchwurzelbare Bodenschicht oder durch die Wahl einer anderen Bodenart erzielt werden.

Bei der Festlegung der Mächtigkeit der durchwurzelbaren Bodenschicht (= Rekultivierungsschicht) sind auch die Anforderungen der Zielnutzung nach Tab. 7–1 zu beachten. Im Einzelfall können sehr geringmächtige Rekultivierungsschichten vertretbar sein, wenn beispielsweise eine extensive, flachgründige Grünlandvegetation angestrebt wird.

Die LABO-Arbeitshilfe zu § 12 BBodSchV (LABO 2002) führt Regelmächtigkeiten der durchwurzelbaren Bodenschicht in Abhängigkeit von der (Folge-)Nutzung und der Vegetationsart auf (vgl. Tab. 7–1). FELDWISCH (2014) hat die Angaben der LABO um Regelmächtigkeiten der humosen Oberbodenschicht ergänzt.

Tab. 7–1: Regelmächtigkeit der durchwurzelbaren Bodenschicht (dwB) in Abhängigkeit von der (Folge-)Nutzung und der Vegetationsart nach LABO (2002), ergänzt um Regelmächtigkeiten humoser Oberböden und Kommentierungen nach FELDWISCH (2014)

(Folge-)Nutzung	Vegetationsart	Regelspannweiten der gesamten dwB [cm] ^a	Regelmächtigkeit humoser Oberboden [cm] ^b	Bemerkungen
Landwirtschaft	Ackerkulturen einschließlich Feldgemüse	50 – 200	25 – 35	Oberbodenmächtigkeit entspricht der Pflugtiefe
	Grünland	50 – 150	5 – 20	
Erwerbsgartenbau	Gemüse, Zierpflanzen	50 – 100	30	
Haus-/Kleingärten, sonstige Gärten	Zierpflanzen, Nutzpflanzen	50 – 100	10 – 30	Oberbodenmächtigkeit entspricht Grabtiefe
Landschaftsbau	Rasen, Blumenwiesen	20 – 50	10 – 20	Hauptwurzelmasse bis 20 cm (vgl. Vegetationstragschicht nach DIN 18915, Kap. 6.1.1) ^{c)}
	Stauden und Gehölze	40 – 100	10 – 20	Hauptwurzelmasse bis 40 cm (vgl. Vegetationstragschicht nach DIN 18915, Kap. 6.1.1) ^{c)}
Wald	Forstgehölze	50 – 200	5 – 20	Hauptwurzelmasse bis 50 cm; maximale Durchwurzelung einzelner Arten auch über 200 cm

^a Der untere Bereich der Spannweite gilt für schlecht durchwurzelbare, der obere Bereich für gut durchwurzelbare Substrate. Weitere einzelfallbezogene Konkretisierungen erfolgen nach den Standortbedingungen und Materialeigenschaften (u. a. in Abhängigkeit von der Bodenart gemäß der Bodenkundlichen Kartieranleitung [KA 5], S. 355 f., Tab. 81. Die effektive Durchwurzelungstiefe nach KA 5 entspricht nicht der durchwurzelbaren Bodenmächtigkeit. Aus diesem Grund sind die oben aufgeführten Regelspannweiten der gesamten durchwurzelbaren Bodenschicht ermessensleitend zu verwenden.). Bei Mischnutzungen sind die Angaben an der vorherrschenden Nutzungsart auszurichten, im Landschaftsbau an der vorherrschenden Vegetationsart.

^b Die Angaben zur Regelmächtigkeit des humosen Oberbodens sind Erfahrungswerte, die an die Standortbedingungen vor Ort anzupassen sind.

^c Der Begriff „Vegetationstragschicht“ nach DIN 18915 entspricht der durchwurzelbaren Bodenschicht. Die Angaben der DIN 18915 zur Mächtigkeit von Vegetationstragschichten stammen aus dem Jahr 1973 und entsprechen nicht mehr umfänglich den Anforderungen des Bodenschutzrechtes; in vielen Fällen sind sie zu gering. Aus diesem Grund sind die oben aufgeführten Regelspannweiten der gesamten durchwurzelbaren Bodenschicht ermessensleitend zu verwenden.

7.2.3 Schadstoffgehalte des Bodenmaterials

In die Planung sind auch realistische Annahmen zu den verfügbaren Bodenmaterialien in geeigneter Qualität einzubeziehen. Die Anforderungen an die Schadstoffgehalte sind entsprechend der Verfüllrichtlinie zu beurteilen.

7.2.4 Physikalische und sonstige Eigenschaften des Bodenmaterials

Im Rahmen der Planung sind auch Qualitätsanforderungen für physikalische und sonstige Eigenschaften des Bodenmaterials zu berücksichtigen.

Für die Wiederherstellung einer funktionstüchtigen durchwurzelbaren Bodenschicht sind insbesondere folgende Bodeneigenschaften von zentraler Bedeutung (Begrifflichkeiten vgl. u. a. AD-HOC-AG BODEN 2005):

- Feinbodenart,
- Grobboden- bzw. Steinanteil,
- Fremdstoffanteil,
- Schadstoffgehalte (siehe oben),
- Humusgehalt,
- Bodenreaktion,
- Durchwurzelbarkeit,
- Wasserspeicherefähigkeit (nutzbare Feldkapazität, Feldkapazität),
- Wasser- und Luftdurchlässigkeit,
- Luftkapazität,
- Nährstoffversorgung und
- Puffer-, Filter- und Transformationseigenschaften.

Das zur Rekultivierung vorgesehene Bodenmaterial muss nach Möglichkeit die vorgenannten Bodeneigenschaften standorttypisch erfüllen. Ermessensleitend können Bodenkarten, Vor-Ort-Erkundungen im unverritzten Umfeld des Abbauvorhabens und insbesondere der Ausgangszustand (vgl. Kap. 3.3) herangezogen werden. Dies entspricht dem Zweck des Bodenschutzes, der nach § 1 BBodSchG darin besteht, nachhaltig die Bodenfunktionen zu sichern oder wiederherzustellen.

Im Rahmen der Planung ist darzulegen, in welchen Massen geeignete Bodenqualitäten realistisch zur Verfügung stehen werden. Dabei sind möglichst konkrete planerische Aussagen zu den Bodeneigenschaften, die von der durchwurzelbaren Bodenschicht erfüllt werden sollen, vorzunehmen.

Um eine hochwertige Wiedernutzbarmachung gewährleisten zu können, ist in die durchwurzelbare Bodenschicht nur Bodenmaterial ohne erhebliche physikalische Vorschädigungen – wie beispielsweise schädliche Verdichtungen oder Vernässungen – einzubringen. Insbeson-

dere ist das Bodenmaterial, welches im Zuge der Aufschließung der Tagebaue oder sonstiger Abgrabungen ausgehoben werden muss, schonend zu gewinnen und zwischenzulagern.

Weiterhin ist aus Sicht des Naturschutzes insbesondere darauf zu achten, dass keine invasiven Neophyten¹¹ oder Krankheitserreger mit dem Bodenmaterial verbreitet werden.

Zu den notwendigen und geeigneten Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen müssen in den Planungsunterlagen schlüssige und nachprüfbar festlegungen getroffen werden. Beispielsweise sind geeignete Mietenflächen im ausreichenden Umfang planerisch festzulegen. Auch ist die schonende Anlage und Pflege der Bodenmieten in den Planungsunterlagen darzulegen.

Im Falle von geplanten Fremdanlieferungen von Bodenmaterial für die durchwurzelbare Bodenschicht sind in den Planunterlagen Maßnahmen der Qualitätssicherung für stoffliche und physikalische Eigenschaften zu benennen.

Generell ist der TOC- bzw. Humusgehalt bei der Herstellung der durchwurzelbaren Bodenschicht zu beachten. Ziel muss es sein, negative Umweltwirkungen wie insbesondere die mit der Mineralisation von Humus verbundene verstärkte Auswaschung von Nitrat ins Grundwasser und Faulgasbildung zu vermeiden. Die LABO-Arbeitshilfe zu § 12 BBodSchV hat daher die maximal zulässige Schichtmächtigkeit des aufgetragenen Bodenmaterials bzw. Baggergutes in Abhängigkeit des Humusgehaltes definiert (Tab. 7–2). Dazu ist die durchwurzelbare Bodenschicht in eine humusreichere Oberbodenschicht (vergleichbar einem natürlichen Ah-Horizont) und eine humusarme Unterbodenschicht (vergleichbar einem natürlichem B-Horizont) zu unterteilen. Humushaltiges Bodenmaterial/Baggergut ist ausschließlich für die Oberbodenschicht zu verwenden (Tab. 7–2, vgl. Abb. 3–1).

In Tab. 7–3 sind weitere wesentliche bodenkundliche Anforderungen an die durchwurzelbare Boden- bzw. Rekultivierungsschicht für die Zielnutzungen Acker, Grünland und Wald zusammengestellt.

¹¹ Siehe „Schwarze und Graue Liste invasiver und potenziell invasiver Pflanzenarten“ des Regierungspräsidiums Gießen. (<https://rp-giessen.hessen.de/sites/rp-giessen.hessen.de/files/content-downloads/Schwarze%20Liste%20Pflanzen.pdf>, letzter Abruf 07.09.2016) (vgl. auch NEHRING et al. 2013).

Tab. 7–2: Begrenzung des Humusgehaltes bei der Herstellung einer durchwurzelbaren Bodenschicht (LABO 2002, Tabelle II-2; verändert)

Verwertungsmöglichkeiten	Bodenmaterial/Baggergut mit einem Humusgehalt ¹⁾ [%] von					
	≤ 1	1 - 2	2 - 4	4 - 8	8 - 16	> 16
Verwertung als Oberbodenmaterial ²⁾	ja					
Maximale Mächtigkeit des humosen Oberbodenmaterials ^{2) 4)}	unbeschränkt	0,5 m ³⁾	0,5 m ³⁾	0,3 m	0,15 m	Einzelfallprüfung
Verwertung als Unterbodenschicht ²⁾	ja	nein	nein	nein	nein	nein
Verwertung als oberste Bodenschicht in Gemischen mit anderen nährstoffreichen Materialien	ja	ja	nein	nein	nein	nein

Erläuterungen:

¹⁾ Humusgehalt = TOC-Gehalt x 1,72 (nach AD-HOC-AG BODEN 2005)

²⁾ Innerhalb der durchwurzelbaren Bodenschicht.

³⁾ Nicht im Grundwasserschwankungsbereich.

⁴⁾ In sensiblen Gebieten kann es zum Schutz des Grundwassers vor erhöhten Nitratreinträgen erforderlich sein, die Mächtigkeit der Oberbodenschicht zu verringern, da Ausgangspunkt für die Ableitung der Tabellenwerte ein C/N-Verhältnis von 12 : 1 bei Annahme einer Mineralisationsrate von 2 % ist.

Tab. 7–3: Bodenkundliche Anforderungen an die Rekultivierungsschicht in Abhängigkeit von der Zielnutzung (nach BMLFUW 2012, verändert)

Parameter	Oberbodenmaterial Mächtigkeit bestimmt sich nach Tab. 7–1, S. 59	Unterbodenmaterial	Bemerkung
Acker			
Humusgehalt [%]	1 bis 10	< 1	Humus = TOC mal 1,72 (vgl. Tab. 7–2)
pH-Wert in CaCl ₂ ¹⁾	5,5 bis 7,5	5,0 bis 8,0	Auf natürlich basenreichen Standorten können auch höhere pH-Werte toleriert werden.
C/N-Verhältnis	7:1 bis 15:1	–	
Pflanzenverfügbare Nährstoffgehalte (ins. P, K und Mg) ²⁾	Klasse C anzustreben	–	–
Luftkapazität bei pF 1,8 [Vol-%]	> 10	> 8	
Nutzbare Feldkapazität (pF 1,8 bis 4,2) im Durchschnitt [mm/dm]	> 15	> 14	Bei natürlich niedrigen nFK-Werten (z. B. Sand- oder Tonstandorten) sind auch niedrigere Werte tolerierbar.
Nutzbare Feldkapazität im durchwurzelbaren Wurzelraum [mm]	> 30	> 120	Ausgangszustand ermessensleitend.
Trockenrohddichte [g/cm ³]	< 1,5	< 1,5	
Gesättigte Wasserleitfähigkeit [cm/d]	> 30	> 20	

Parameter	Oberbodenmaterial Mächtigkeit be- stimmt sich nach Tab. 7-1, S. 59	Unterboden- material	Bemerkung	
Grobboden (Steine) (≥ 2 mm) [Vol.-%]	< 10	< 20	Ausgangszustand ermessensleitend.	
(> 63 mm) [Vol.-%]	0	< 5	Ausgangszustand ermessensleitend.	
Fremdanteile [Vol.-%]	< 10	< 10		
Grünland				
Humusgehalt [%]	1,5 bis 15	< 1	Humus = TOC mal 1,72 (vgl. Tab. 7-2)	
pH-Wert in CaCl ₂ ¹⁾	5,0 bis 7,5	5,0 bis 8,0	Auf natürlich basenreichen Standor- ten können auch höhere pH-Werte toleriert werden.	
C/N-Verhältnis	7:1 bis 15:1	–		
Pflanzenverfügbare Nährstoff- gehalte (ins. P, K und Mg) ²⁾	Klasse C anzustreben	–	–	
Luftkapazität bei pF 1,8 [Vol.-%]	> 10	> 8		
Nutzbare Feldkapazität (pF 1,8 bis 4,2) im Durchschnitt [mm/dm]	> 15	> 14	Bei natürlich niedrigen nFK-Werten (z. B. Sand- u. Tonstandorten) sind auch niedrigere Werte tolerierbar.	
Nutzbare Feldkapazität im durchwurzelbaren Bodenraum [mm]	> 20	> 120	Ausgangszustand ermessensleitend.	
Trockenrohdichte [g/cm ³]	< 1,4	< 1,5		
Gesättigte Wasserleitfähigkeit [cm/d]	> 30	> 20		
Grobboden (Steine) (≥ 2 mm) [Vol.-%]	< 10	< 20	Ausgangszustand ermessensleitend.	
(> 63 mm) [Vol.-%]	0	< 5	Ausgangszustand ermessensleitend.	
Fremdanteile [Vol.-%]	< 10	< 10		
Wald				
Humusgehalt [%]	3 bis 15	< 1	Humus = TOC mal 1,72 (vgl. Tab. 7-2)	
pH-Wert in CaCl ₂ ¹⁾	4,5 bis 8,0	5,0 bis 8,0	Der ursprüngliche pH-Wert darf um nicht mehr als 0,3 pH-Einheiten un- ter oder 0,7 pH-Einheiten überschrit- ten werden.	
C/N-Verhältnis	> 20:1	–		
Basensättigung [%]	Carbonat- frei >25	Carbonathaltig >90	Car- bonat frei >30	Carbonat- haltig >95
Luftkapazität bei pF 1,8 [Vol.-%]	> 10	> 8		

Parameter	Oberbodenmaterial Mächtigkeit be- stimmt sich nach Tab. 7–1, S. 59	Unterboden- material	Bemerkung
Nutzbare Feldkapazität (pF 1,8 bis 4,2) im Durchschnitt [mm/dm]	> 15	> 14	Bei natürlich niedrigen nFK-Werten (z. B. Sand- und Tonstandorten) sind auch niedrigere Werte tolerierbar.
Nutzbare Feldkapazität im durchwurzelbaren Wurzelraum [mm]	>20	> 120	Ausgangszustand ermessensleitend.
Trockenrohdichte [g/cm ³]	< 1,4	< 1,5	
Gesättigte Wasserleitfähigkeit [cm/d]	> 30	> 20	
Grobboden (Steine) (≥ 2 mm) [Vol.-%]	< 20	< 40	Ausgangszustand ermessensleitend.
(> 63 mm) [Vol.-%]	< 10	< 20	Ausgangszustand ermessensleitend.
Fremdanteile [Vol.-%]	< 10	< 10	

¹⁾ pH-Wert-Vorgaben der Verfüll-RL in H₂O; im Vergleich zur Messung in CaCl₂ nach BBodSchV sind pH-Messungen in H₂O ca. 0,5 bis 1 pH-Wertstufen höher.

²⁾ Die Nährstoffgehalte können aus Pflanzenbausicht nach den Vorgaben des Verbandes Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten fünfstufig beurteilt werden: A und B = Klassen mit Unterversorgung; C = Optimale Versorgung; D und E = Überversorgung.

7.3 Anlieferung von Bodenmaterial

Das Bodenmaterial für die durchwurzelbare Bodenschicht ist ausschließlich über das Rohplanum anzuliefern.

Ist dies nicht möglich, dann sind Baustraßen zu errichten, auf denen die notwendigen Transportfahrten durchgeführt werden können. Im Regelfall sind dafür mineralische Schüttungen aus natürlichem Gesteinsmaterial gut geeignet.

Damit die mineralische Schüttung der Baustraße nicht in den Boden gedrückt wird und später wieder vollständig entfernt werden kann, bietet sich das Auslegen eines Vlieses als Trennschicht an. Ein ausreichender Überstand an den Seiten muss dabei eingehalten werden. Allerdings sind ausgelegte Vliese kein absoluter Schutz, weil sie beim Ausbau nicht selten zerreißen. Alternativ kann die Baustraße aus Holzbohlen / Baggermatratzen hergestellt werden. Mineralische Schüttungen zum Aufbau der Baustraße können auch direkt auf dem Rohplanum verwendet werden. In diesem Fall sollte aber die Oberfläche des Rohplanums möglichst plan sein, damit beim vollständigen Ausbau der mineralischen Schüttung so wenig wie möglich Bodenmaterial mit abgezogen werden muss.

Häufig wird für die Herstellung durchwurzelbarer Bodenschichten Fremdmaterial benötigt. Zumeist passen die verfügbaren Bodenqualitäten selten exakt mit dem aktuellen Bedarf zusammen. Deshalb sind Zwischenlager der erforderlichen Qualitäten vorzuhalten. Für die Mietenstandorte sind die Anforderungen nach Kap. 6 zu beachten.

Die Überwachung der verwendeten bzw. angelieferten Bodenmaterialien zur Herstellung einer durchwurzelbaren Bodenschicht bestimmt sich nach Kap. 8.

7.4 Bodenschonende Einbauverfahren

Die durchwurzelbare Bodenschicht kann entweder im Streifen- oder Flächenverfahren hergestellt werden (verändert nach FABO 2003, Kap. 2.5; BMLFUW 2012, Kap. 3.4.6). Zuvor muss regelmäßig das Rohplanum gelockert werden (s. Kap. 7.1).

Bedeutsamer Grundsatz eines bodenschonenden Bodeneinbaus

Neben der grundsätzlichen Eignung der verwendeten Maschinen (vgl. Kap. 4.3) und des gewählten Einbauverfahrens (vgl. nachstehende Ausführungen) sind die aktuelle Bodenfeuchte während des Einsatzes und die umsichtige Arbeitsweise des Bedienpersonals von entscheidender Bedeutung für den Schutz der Böden vor schädlichen Einwirkungen.

7.4.1 Streifenverfahren

Der Bodenaufbau erfolgt in Streifen, die der Reichweite eines Baggers entsprechen. Die Abb. 7–2 skizziert das Prinzip eines Streifenverfahrens. Das Verfahren ist an die örtlichen Bedingungen wie insbesondere Flächengröße, Flächenform und Geländeneigung anzupassen. Kettenbagger mit großen Auslegern sind zu bevorzugen, um den Spurflächenanteil möglichst zu begrenzen.

Der Bodenaufbau erfolgt rückschreitend. Das heißt, das Bodenmaterial wird auf dem Rohplanum angeliefert, der Kettenbagger steht ebenfalls auf dem Rohplanum und fährt möglichst ohne Rangierarbeiten entsprechend dem Fortschritt des Bodenaufbaus in einer Linie rückwärts. Streifen um Streifen wird das Bodenmaterial aufgetragen.

Die Fahrspuren der Transportfahrzeuge und des Kettenbaggers sind nach Bedarf mit geeigneter Technik vor dem Auftrag des Bodenmaterials zu lockern. Die Lockerung kann entweder über das Kühlen mit der Baggerschaufel oder speziellen Grubbern, die anstelle der Schaufel am Baggerarm mittels Schnellkuppelsystem befestigt werden können (Abb. 4–4, S. 36), erfolgen.

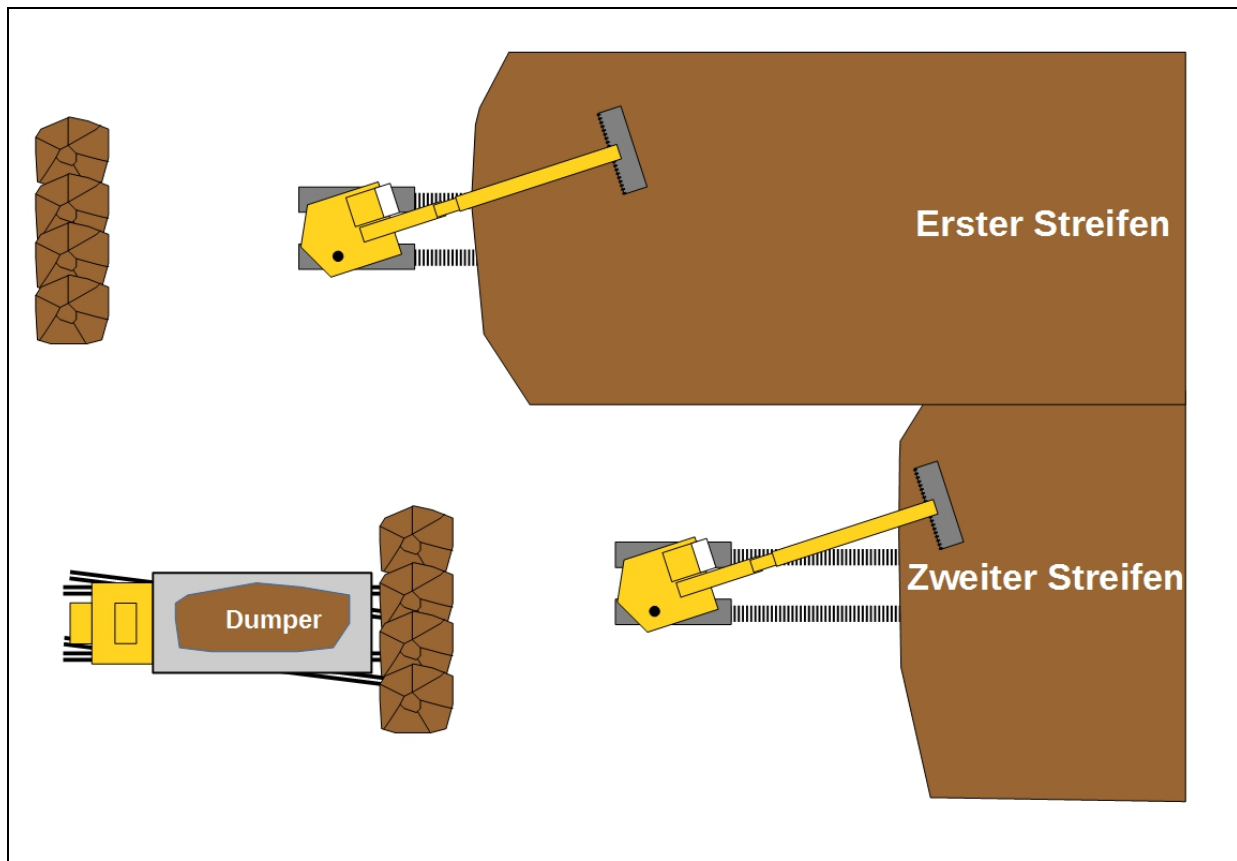


Abb. 7-2: Aufsicht eines Streifenverfahrens (Ingenieurbüro Feldwisch)

Hinweis: Das Rohplanum ist im Regelfall vor dem Auftrag des Bodens für die durchwurzelbare Bodenschicht mit geeigneter Technik zu lockern, um eine Versickerung des Sickerwassers aus der durchwurzelbaren Schicht in den Verfüllkörper zu gewährleisten.

Um den befahrenen und damit potenziell verdichteten Flächenanteil der Rohkippe möglichst gering zu halten, sind Befahrungslinien einzuhalten. Die Transportfahrzeuge, die das Bodenmaterial in das Rekultivierungsfeld anfahren, sollten über parallele Befahrungslinien an- und abfahren. Die nötigen Wendeschleifen sind in praxistauglichen Abständen anzulegen. Beispiel: Soll der befahrene Flächenanteil kleiner als 40 % gehalten werden, dann sollten die Wendeschleifen einen horizontalen Abstand von mindestens 20 m aufweisen. Um das Bodenmaterial rückwärtig abkippen zu können, müssen die Transportfahrzeuge in der Wendeschleife kurze Strecken rückwärts fahren.

Im Idealfall erfolgt der Antransport des Bodens im Einbahnstraßenprinzip parallel der Streifen, auf denen der Bodenaufbau erfolgt. Damit entfallen Wende- und Rangierfahrten auf dem Rohplanum. Voraussetzung ist, dass außerhalb des Rekultivierungsfeldes die An- und Abfahrt der Transportfahrzeuge in Längsrichtung des Streifenverfahrens über ein vorhandenes Wegesystem möglich ist.

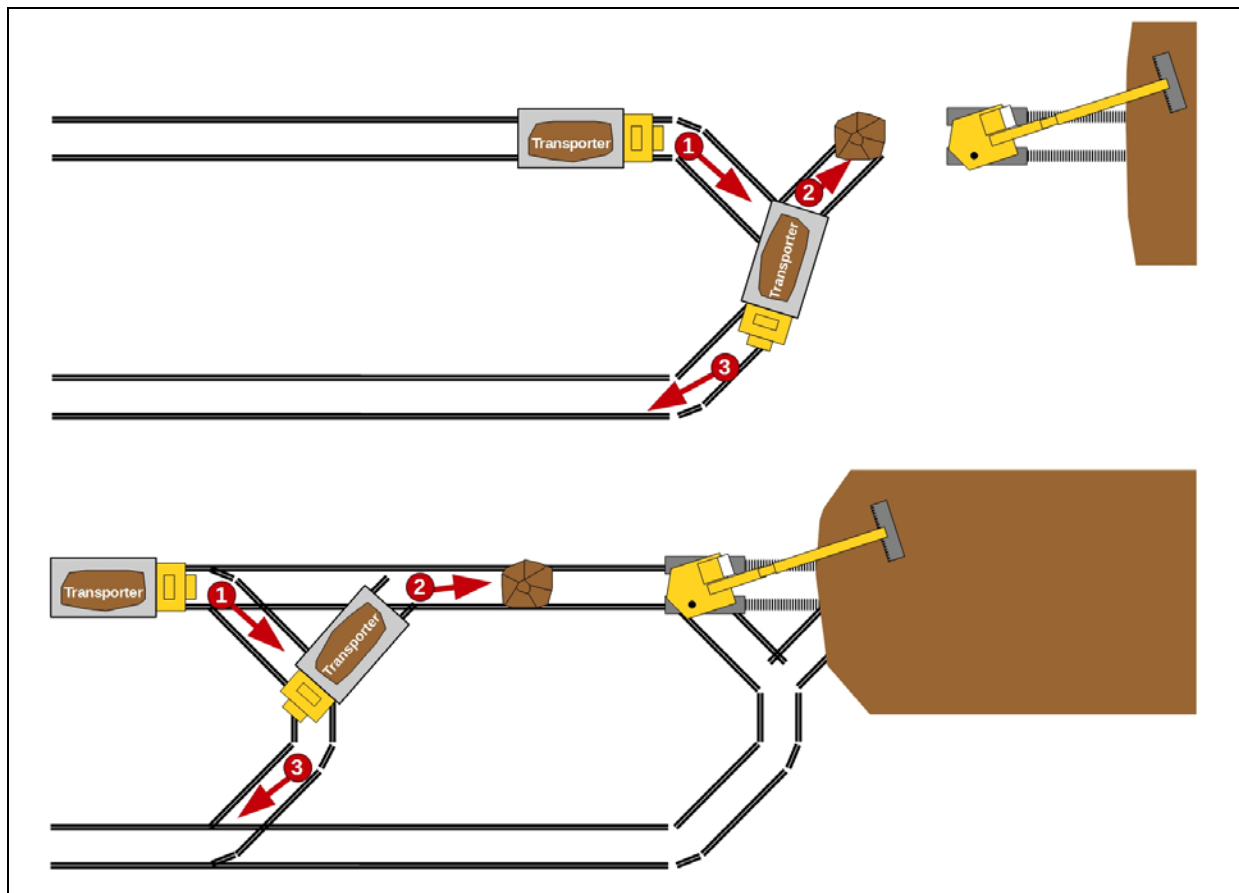


Abb. 7-3: Aufsicht schematischer Befahrungslinien beim Streifenverfahren zur Begrenzung des befahrenen Flächenanteils (Ingenieurbüro Feldwisch)

Hinweis: Das Rohplanum ist im Regelfall vor dem Auftrag des Bodens für die durchwurzelbare Bodenschicht mit geeigneter Technik zu lockern, um eine Versickerung des Sickerwassers aus der durchwurzelbaren Schicht in den Verfüllkörper zu gewährleisten.

Beim Streifenverfahren kann die gesamte durchwurzelbare Bodenschicht aus Unter- und Oberboden entweder in einem Arbeitsschritt oder in zwei Arbeitsschritten aufgebaut werden:

- Ein Arbeitsschritt:

Im Streifenverfahren wird zunächst der Unterboden aufgebracht und mit der Schaufel des Raupenbaggers eingeebnet. Auf dieses Unterbodenplanum wird dann unmittelbar der Oberboden aufgetragen. Der Bagger wird also zwischenzeitlich nicht umgesetzt. Dazu ist Unter- und Oberbodenmaterial in der notwendigen Menge abwechselnd heranzutransportieren, was hohe Anforderungen an die Materiallogistik stellt.

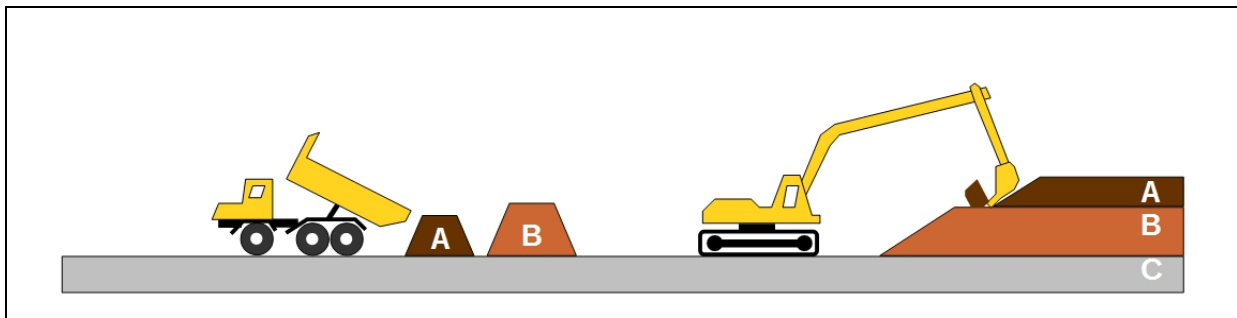


Abb. 7–4: Querschnitt eines Streifenverfahrens mit einem Arbeitsschritt (Ingenieurbüro Feldwisch)

- Zwei Arbeitsschritte:

Zuerst wird der Unterboden in einem Arbeitsschritt im Streifenverfahren vergleichbar der vorstehenden Arbeitsweise angelegt.

Anschließend erfolgt der Oberbodenauftrag im Streifenverfahren vor Kopf. Das heißt, dass sowohl der Antransport des Oberbodens als auch der Raupenbagger auf der bereits hergestellten Oberbodenschicht (A-Boden) fahren. Diese Vorgehensweise dient vornehmlich dem Schutz der Unterbodenschicht (B-Boden) vor schädlichen Verdichtungen. Etwaige Verdichtungen in der Oberbodenschicht können leichter beseitigt werden als in der Unterbodenschicht.

Die Befahrungen sind linienförmig vorzunehmen; flächige Befahrungen und unnötige Rangierfahrten sind zu unterlassen. Für dieses Verfahren sind bodenschonende Laufwerke mit geringer Bodenpressung besonders bedeutsam. Die Bodenfeuchte und Verdichtungsempfindlichkeit des Ober- und Unterbodens sind zu berücksichtigen. Gegebenfalls sind Bauunterbrechungen vorzunehmen. Falls in den linienförmigen Befahrungsbereichen Verdichtungen aufgetreten sind, sind diese mit geeigneter Technik zu beseitigen.

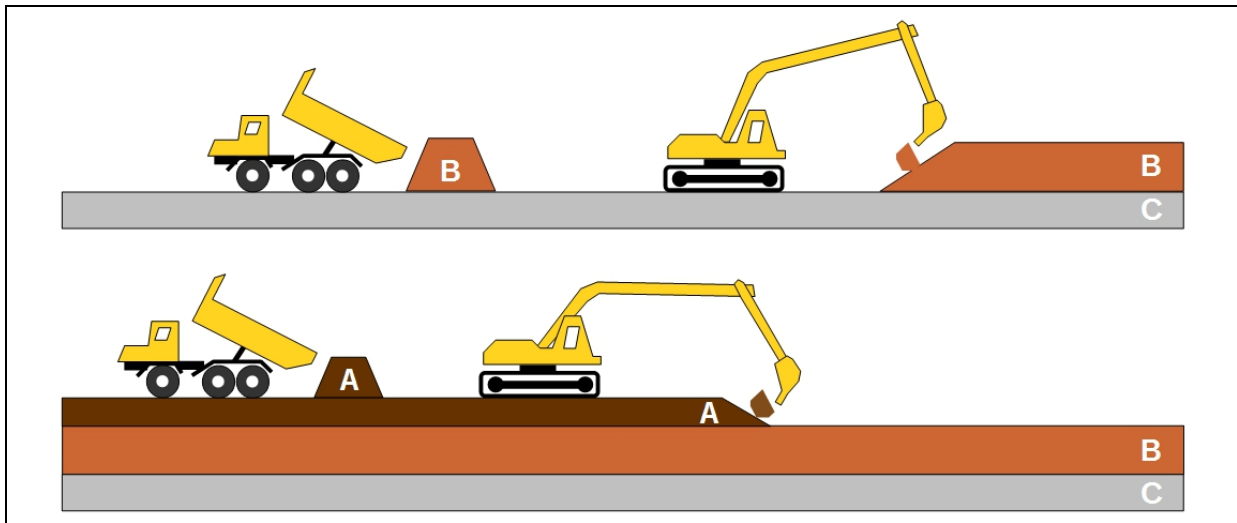


Abb. 7-5: Querschnitt eines Streifenverfahrens mit zwei Arbeitsgängen (Ingenieurbüro Feldwisch)

7.4.2 Flächenverfahren

Liegen günstige Rekultivierungsbedingungen vor, kann die durchwurzelbare Bodenschicht auch mit Planierraupen schonend hergestellt werden. Beim Flächenverfahren wird zunächst der Unterboden und dann in einem zweiten Arbeitsschritt der Oberboden aufgebaut. Der Einbau des B- und A-Bodenmaterials erfolgt quer zu den Befahrungslinien. Die Fahrspuren der Transportfahrzeuge auf dem C- und B-Planum sind nach Bedarf mit geeigneter Technik vor dem Andecken der folgenden Bodenschicht bei trockenen Bodenverhältnissen zu lockern. Besonders bedeutsam ist die Lockerungsarbeit beim B-Planum, weil die B-Schicht zur durchwurzelbaren Bodenschicht gehört.

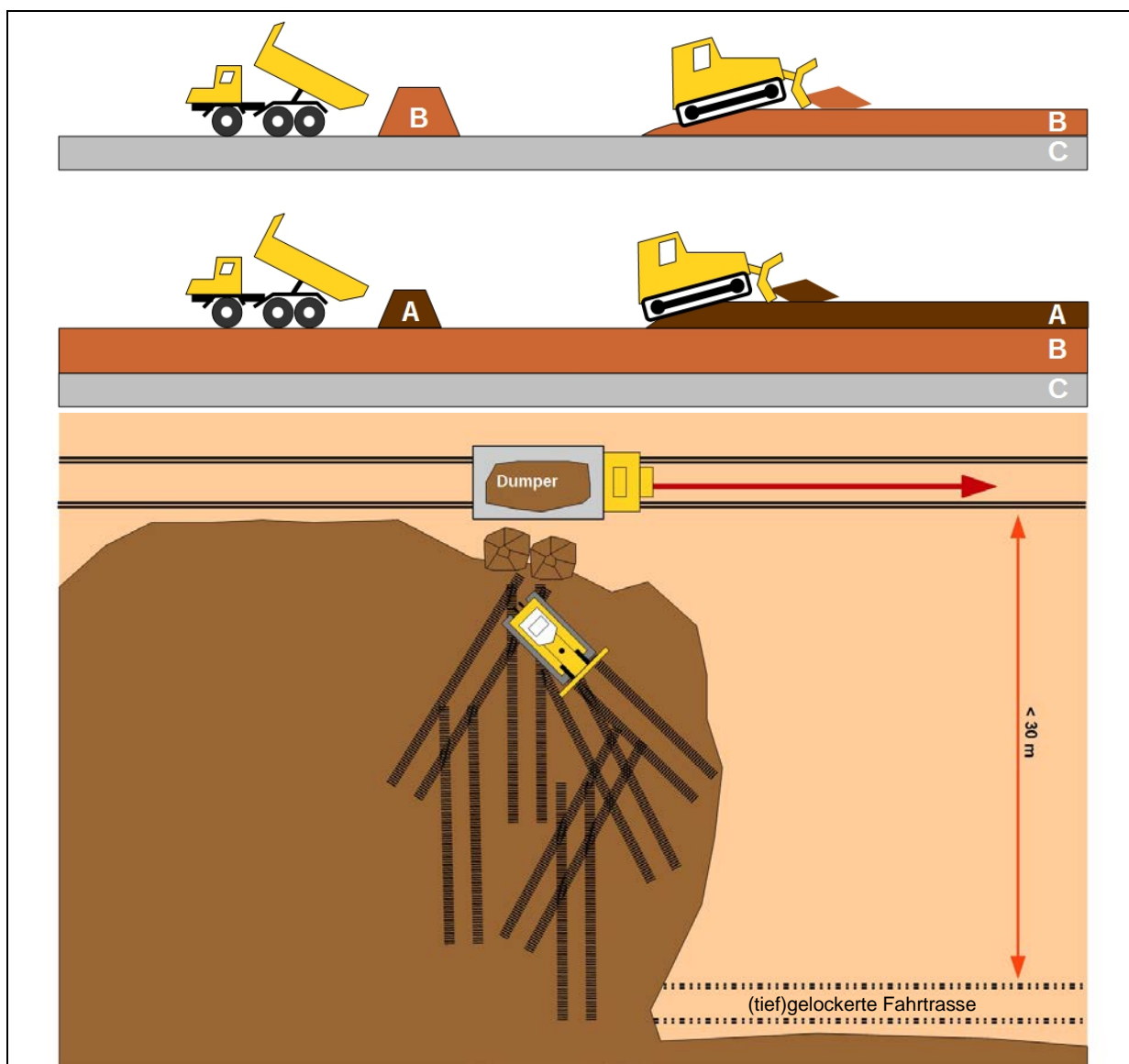


Abb. 7–6: Flächenverfahren mit zwei Arbeitsgängen (Ingenieurbüro Feldwisch)
oben: Querschnitt
unten: Aufsicht des Einbaus des A-Materials

Für das Flächenverfahren gelten folgende Voraussetzungen:

- Die Schublänge sollte aus Gründen des Bodengefügeschutzes auf maximal 30 m beschränkt werden. Die aktuelle Verdichtungsempfindlichkeit der Böden ist in Abhängigkeit vom Bodenwassergehalt zwingend zu beachten. Ggf. muss die Schublänge angemessen reduziert werden.
- Weiterhin gilt, dass entweder ausschließlich standorttypisches nicht-bindiges Bodenmaterial der Bodenartengruppen der Reinsande und Lehmsande (nach AD-HOC-AG BODEN 2005), die vergleichsweise wenig verdichtungsempfindlich sind, zur Rekultivierung verwendet wird
- oder
 - das Bodenmaterial zur Herstellung der durchwurzelbaren Bodenschicht maximal steif-plastisch oder trockener (vgl. Tab. 4–5) ist und
 - die Bodenpressung der Planierraupe möglichst gering ist (im Regelfall $< 0,35 \text{ kg/cm}^2$, besser $0,25 \text{ kg/cm}^2$) und
 - der Planieraufwand soweit wie möglich reduziert wird. Dazu ist das einzuebende Bodenmaterial am besten in einem Arbeitsgang in der notwendigen Schichtmächtigkeit möglichst gleichmäßig ohne großen Höhenversatz aufzutragen.

7.4.3 Zwischenbegrünung des Unterbodens

Sollte es notwendig sein, dass der Unterboden über Winter liegen bleiben muss, hat eine Zwischenbegrünung des Unterbodenplanums rechtzeitig vor Winter zu erfolgen. Die Ansaat einer nicht winterharten Zwischenfrucht sollte im Regelfall bis Mitte August abgeschlossen sein. Die Ansaat wird per Hand oder Anspritzbegrünung vorgenommen. In der anschließenden Vegetationsperiode ist der ggf. noch vorhandene Aufwuchs vor dem Mutterbodenauftrag zu mulchen; üppige Zwischenfurchtbestände sind mindestens 2 Wochen vor dem Auftrag des Oberbodens zu mulchen, damit eine Vorrotte stattfinden kann. Bei Bedarf ist die Rottephase zu verlängern oder der Aufwuchs ist abzuernten. Fäulnisprozessen, die nach dem Abdecken großer frischer Aufwuchsmassen entstehen, ist vorzubeugen.

7.5 Abweichende Anforderungen an den oberen Verfüllbereich

Die Verfüllrichtlinie schreibt eine Regelmächtigkeit von 2 m für den oberen Verfüllbereich vor. Ausnahmen von dieser Regel können darin begründet sein, dass im Ausgangszustand deutlich geringere Bodenmächtigkeiten vorhanden waren oder die Zielvegetation nur eine geringere Mächtigkeit benötigt bzw. erfordert. Entsprechende Ausnahmen sind in der Rekultivierungsplanung anhand der Anforderungen der verschiedenen Schutzgüter fachlich zu begründen.

Ist die durchwurzelbare Bodenschicht kleiner als 2 m, dann ist im Regelfall eine Ausgleichschicht einzubauen, um eine Mächtigkeit des oberen Verfüllbereichs von 2 m zu erhalten.

Die Ausgleichsschicht als Teil des oberen Verfüllbereichs muss teilweise nur geringere Anforderungen als die durchwurzelbare Bodenschicht erfüllen. Es gelten folgende Abweichungen:

- Keine Begrenzung der Schadstoffgehalte auf max. 70 % der Vorsorgewerte bei landwirtschaftlicher Nutzung.
- Die in Tab. 7–3 angegebenen maximalen Steingehalte können überschritten werden, wenn dadurch die durchwurzelbare Bodenschicht nicht beeinträchtigt wird.

Im Übrigen gelten für die Ausgleichsschicht die im Kap. 7.2 für die durchwurzelbare Bodenschicht dargestellten Anforderungen.

8 Überwachung und Dokumentation der bautechnischen Ausführung

Checkliste 8

Die Maßnahmen zur Wiedernutzbarmachung sind vom zuständigen Abbaunehmen im Rahmen der Eigenüberwachung im fachlich ausreichenden Detaillierungsgrad zu dokumentieren. Die Dokumentation muss es der Zulassungsbehörde erlauben, die fachlichen Anforderungen an die Rekultivierung, die Gegenstand der Zulassung waren, ohne zusätzliche Erhebungen beurteilen zu können.

Für die Überwachung sind vor allem folgende Themenblöcke bedeutsam:

- Bodenmieten: Mietenstandorte, deren Eignung und Bewirtschaftung (Begrünung und Pflege).
- Maschinen: Maschinen- und Gerätelisten, die eingesetzt werden.
- Bodenmaterial: Lieferscheine mit Qualitätsnachweisen bei Fremdlieferungen (Eignungs- und Herkunftsnachweise mit Angaben zu Schadstoffgehalten, Bodenartenhauptgruppen der Sande, Lehme, Schluffe oder Tone, Grobboden- bzw. Steingehalt, Humus- bzw. TOC-Gehalt, Art und Anteil an Fremdstoffen, ggf. physikalische Beeinträchtigungen durch Verdichtung / Vernässung); organoleptische Eingangskontrolle; Mietenplan der unterschiedlichen Bodenqualitäten.
- Bodenverdichtungen: Darlegung der Beurteilung der Befahrbarkeit und Bearbeitbarkeit von Böden zur Vermeidung schädlicher Bodenverdichtungen. Darlegung der ergriffenen Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen.
- Auftragsmächtigkeiten und Aufbau der unterschiedlichen Verfüllschichten mit Angaben zu den eingesetzten Bodenqualitäten (Homogenität, Verdichtungen, Staunässe, Fein- und Grobboden).
- Abnahmeprotokoll.
- Festlegung von Sanierungsbereichen und geeigneter Sanierungsmaßnahmen.
- Nachkontrolle, beispielsweise mit Hilfe einer Pflanzenbonitur, um Bereiche mit Wuchsbeeinträchtigungen zu identifizieren.
- Mängelbeseitigung.

Die Eigen- und Fremdüberwachung der vorgenannten Themen ist zu protokollieren und den Zulassungsbehörden vorzulegen. Bei etwaigen Mängeln sind Maßnahmen zur Beseitigung auszuführen.

Noch vor der abschließenden Bepflanzung bzw. Einsaat ist der Zulassungsbehörde ein Nachweis über die Wiederherstellung einer durchwurzelnbaren Schicht vorzulegen (Standortgutachten s. Kap. 9).

Sowohl die Eigenüberwachung als auch die Fremdüberwachung sollte nur durch sachkundiges Personal erfolgen. Sollte das Abbaunehmen nicht über ausreichend personelle Ressourcen verfügen oder nicht die Sachkompetenz besitzen, dann empfiehlt sich die Beauftragung einer externen bodenkundlichen Begleitung (vgl. Kap. 4.5).

9 Standortgutachten

Checkliste 9

Nach der Herstellung des oberen Verfüllbereiches (= Rekultivierungsschicht bzw. durchwurzelbare Bodenschicht; vgl. Kap. 3.2, speziell Abb. 3–1) erfolgt eine bodenkundliche Aufnahme der wichtigsten Eigenschaften entsprechend der Bodenkundlichen Kartieranleitung (AD-HOC-AG BODEN 2005 bzw. 2009).

Ziel der Bodenkartierung ist es, die Qualität der Rekultivierung vor der Begrünung zu überprüfen, damit eine flächenhafte Durchwurzelbarkeit der Rekultivierungsschicht gewährleistet werden kann. Bei offenkundigen Mängeln können diese noch vor der Begrünung beseitigt werden, so dass erhöhte Kosten für wiederholte Begrünungsmaßnahmen eingespart werden können.

Mit feldbodenkundlichen Methoden sind die folgenden Bodeneigenschaften mit den fachlichen Anforderungen aus den Planungs- und Zulassungsunterlagen abzugleichen:

- Feinbodenart,
- Grobboden- bzw. Steinanteil,
- Substratschichtung im durchwurzelbaren Bodenraum,
- Fremdstoffanteil,
- Humusgehalt,
- Bodenreaktion bzw. Carbonatgehalt,
- hydromorphe Merkmale wie Stauwasseranzeichen sowie
- Durchwurzelbarkeit und Gefügeeigenschaften nach DIN 19682-10.

Bei Verdacht auf stoffliche Belastungen sind Bodenbeprobungen und entsprechende Analysen vorzusehen.

Mit den genannten Bodeneigenschaften kann beurteilt werden, ob die bodenschutzfachlichen Rekultivierungsziele im Hinblick auf die unterschiedliche Lagerungsdichten flächenhaft mit Hilfe von einfachen Handsonden von bodenkundlich geübten Personen taktil beurteilt werden. Darüber hinaus kann auch ein Penetrologger nach DIN 19662 eingesetzt werden. Beide Verfahren dienen der punktuellen Bestimmung des mechanischen Eindringwiderstands. Mit ihnen können lokale oder flächenhafte Unterschiede des Eindringwiderstands erkannt werden, die Hinweise auf ggf. vorliegende schädliche Verdichtungen geben können.

Die Durchwurzelbarkeit und Bodengefügeeigenschaften können nur punktuell in Schürfen ermittelt werden. Ggf. kann auf Schürfe verzichtet werden, wenn anhand von Probefeldern nach Kap. 4.2, in den Rekultivierungsprotokollen oder in den bodenkundlichen Bohrungen und Sondierungen nach Herstellung des oberen Verfüllbereiches keinerlei Hinweise auf schädliche Verdichtungen in der Rekultivierungsschicht vorliegen. Liegen allerdings Hinweise auf mögliche schädliche Verdichtungen vor, dann sind Schürfe bis 2 m Tiefe anzulegen, um die Durchwurzelbarkeit und Bodengefügeeigenschaften zu erfassen. Die Schürfe können gezielt in kritischen Rekultivierungsbereichen angelegt werden. Falls lediglich Hinweise

auf schädliche Verdichtungen im oberen Teil der Rekultivierungsschicht existieren, dann kann die Schurftiefe angemessen begrenzt werden. Im Regelfall reichen dann ca. 60 cm tiefe Schürfe aus.

Die zuvor beschriebenen feldbodenkundlichen Untersuchungen sind so zu dokumentieren, dass die Qualität der Rekultivierung räumlich differenziert nachvollzogen werden kann.

Bei komplexen Fragestellungen und Rekultivierungsmängeln kann es notwendig sein, dass neben den feldbodenkundlichen Erfassungen auch aufwändigere bodenphysikalische, -chemische und -biologische Untersuchungen durchgeführt werden müssen. Geeignete Methoden und der Umfang der Untersuchungen sind im Einzelfall abzustimmen.

In der Praxis der Standortbegutachtung haben sich Zwischenbegrünungen bewährt. Eine Zwischenbegrünung bietet die Möglichkeit, anhand einer Aufwuchsbonitur und Beurteilung der Durchwurzelungsintensität und -tiefe mögliche Rekultivierungsmängel offen zu legen. Zur Zwischenbegrünung sollten Pflanzen gewählt werden, die unter den Standortbedingungen den Boden möglichst rasch und tiefreichend durchwurzeln (vgl. Kap. 11.1).

Die Ergebnisse des Standortgutachtens sind zwischen Abbauunternehmen und Zulassungsbehörde zu erörtern. Ggf. notwendige Maßnahmen zur Verbesserung der Rekultivierungsqualität sind abzustimmen.

10 Sanierung von Rekultivierungsmängeln

Checkliste 10

Zu sanierende Bodenschäden entstehen insbesondere infolge Verdichtung, Vernässung, fehlerhafter Substrattrennung und ggf. durch Schadstoffeinträge. Derartige Mängel gilt es im Rahmen des Standortgutachtens aufzudecken (Kap. 9), um geeignete, erforderliche und angemessene Maßnahmen zur Beseitigung der Mängel ergreifen zu können. Verdeckte Mängel treten zum Teil erst Jahre nach der Wiederherstellung des Oberflächenplanums zu Tage; auch diese sind dann zu beseitigen.

Die Sanierung von Rekultivierungsmängeln erfolgt entweder im Rahmen der Eigenverantwortung des Rekultivierungspflichtigen oder auf Grund einer Anordnung der zuständigen Behörde.

Geeignete Sanierungsmaßnahmen sind u. a. in BUWAL (2006), LANUV (2009), ISTE (2011), BMLFUW (2012), BVB (2013) und FELDWISCH (2014) beschrieben. Dazu gehören:

- Tieflockerungsmaßnahmen mit geeigneten Lockerungsgeräten / Begrünung mit Tiefwurzlern
- Auffüllung von Sackungen
- Bodenaustausch
- Kalkung und organische Düngung
- Dränung
- Sanierung stofflicher Schäden



Abb. 10–1: Gefüge- und Aufwuchsschäden nach der Wiederherstellung durchwurzelbarer Bodenschichten durch schädliche Verdichtungen mit Pfützenbildungen sowie Bodenschäden durch Substratmischung, hier Kieseinmischungen in den lössbürtigen Mutterboden (Fotos: Ingenieurbüro Feldwisch)

Die nachstehenden Unterkapitel sind dem BVB-Merkblatt zur Bodenkundlichen Baubegleitung weitgehend als Zitat entnommen (BVB 2013, Kap. 4.4.3), wobei sprachliche Anpassungen an die Rekultivierungsaufgaben durch Kursivsetzungen kenntlich gemacht sind. Stellenweise werden fachliche Ergänzungen vorgenommen, die gekennzeichnet sind.

10.1 (Tief-)Lockerungen

(zitiert aus: BVB 2013, Kap. 4.4.3; *Änderungen kursiv*)

Bei schädlichen Bodenverdichtungen ist der Wasser- und Lufthaushalt der Böden massiv gestört. Niederschlagswasser sickert nicht mehr oder nur sehr begrenzt in den Boden ein und es bilden sich ausgedehnte Pfützenbereiche, im Boden tritt O₂-Mangel auf. Die Folge ist ein gestörter Pflanzenwuchs bzw. dessen Totalausfall.

Derartige mechanische Überlastungen des Bodengefüges bedürfen im Regelfall einer initialen, mechanischen Lockerung mit geeigneten Tieflockerungsgeräten. Im Regelfall nicht geeignet sind die starren Zinken von Raupen, weil sie keine ausreichende Lockerung des Bodens gewährleisten. *In der humosen Schicht des oberen Verfüllbereichs (A-Boden) können Verdichtungsschäden zumeist mit Hilfe der üblichen landwirtschaftlichen Bodenbearbeitungsverfahren beseitigt werden. Für die Lockerung der unteren, nicht humosen Schicht des oberen Verfüllbereichs (B-Boden) sowie für das Rohplanum (mittlerer Verfüllbereich) sind insbesondere Tieflockerungsgeräte wie Abbruch-, Stechhub- oder Wippscharlockerer geeignet.*

Die initiale mechanische Lockerung ist in der Regel mit einer ergänzenden Ruhephase, in der tiefwurzelnde Pflanzen angebaut werden, abzusichern. Unterstützende Rekultivierungsmaßnahmen (Kap. 10.4) befördern den Vorgang.



Abb. 10–2: Mechanische Tieflockerung;
Links: Abbruchlockerungsgerät („MM100“) (Ingenieurbüro Feldwisch)
Rechts: Stechhublockerer TLG 470 (T. Weyer, Fachhochschule Südwestfalen)

10.2 Auffüllung von Sackungen

(zitiert aus: BVB 2013, Kap. 4.4.3)

In Sackungen bilden sich häufig Pfützen, in deren Folge Vernässungen der Böden und Wachstumsbeeinträchtigungen der Kulturpflanzen auftreten. Aus diesem Grund sind Sackungen mit geeignetem Bodenmaterial aufzufüllen. Dabei ist dem Bodengefügeschutz Rechnung zu tragen. Insbesondere ist die Maßnahme nur bei trockenen Bodenverhältnissen durchzuführen. *Nach Erfordernis ist der Boden vor oder nach dem Bodenauftrag zu lockern.*



**Abb. 10–3: Links: Pfützenbildung in Sackungsbereichen (Ingenieurbüro Feldwisch)
Rechts: Auffüllen der Sackungen mit geeignetem Bodenmaterial bei trockenen Bodenverhältnissen (Ingenieurbüro Feldwisch)**

10.3 Bodenaustausch

(zitiert aus: BVB 2013, Kap. 4.4.3; *Änderungen kursiv*)

Sind die mechanischen Beeinträchtigungen des Bodengefüges so massiv, dass sie in absehbarer Zeit nicht regenerierbar sind, oder *sind ungeeignete, ggf. stofflich belastete stoffliche Bodenmaterialien in der Rekultivierungsschicht verwendet* worden, dann ist in der Regel ein Bodenaustausch vorzunehmen. Alle notwendigen Sanierungsmaßnahmen – wie Ausbau und Abtransport des geschädigten Bodenmaterials sowie Antransport und Einbau geeigneten Bodenmaterials – sind bodenschonend durchzuführen, um erneute Schäden zu vermeiden.

Die Eignung des *neu anzuliefernden* Bodenmaterials bestimmt sich nach *Kap. 7.2*. Ist eine landwirtschaftliche Folgenutzung geplant, soll der Boden frei von problematischen Wildkräutern und kritischen Krankheitserregern sein. *Der Nachweis ist durch eine Begutachtung der Herkunftsfläche zu erbringen.*

10.4 Unterstützende Rekultivierungsmaßnahmen

(zitiert aus: BVB 2013, Kap. 4.4.3)

Die in den vorherigen Unterkapiteln genannten Maßnahmen zur Wiederherstellung der natürlichen Bodenfunktionen werden durch Kalkung (empfehlenswert: silikatische Kalke) oder organische Düngung unterstützt, aber nicht ersetzt. Dabei sind die Bedingungen des Einzelfalls zu berücksichtigen.

Beispielsweise fördert eine Kalkung auf versauerten Böden den Rekultivierungserfolg deutlicher als auf gut gepufferten, neutralen Böden. Hierbei sind bodenartenspezifische Unterschiede im Ziel-pH-Wert zu beachten. In ähnlicher Weise bewirkt eine organische Düngung auf humusarmen Böden zumeist eine deutlich positivere Wirkung auf das Bodenleben als auf bereits humusreichen Böden.

Generell wirken alle Maßnahmen, die das Bodenleben fördern, positiv auf den angestrebten Rekultivierungserfolg.

10.5 Dränung

(zitiert aus: BVB 2013, Kap. 4.4.3; *Änderungen kursiv*)

Bei massiver Vernässung in Folge *rekultivierungsbedingter* Verdichtungen ist häufig eine Dränung der betroffenen Bodenflächen nötig, um eine geregelte Folgebewirtschaftung zu ermöglichen. In Abhängigkeit von der Flächenbetroffenheit und dem Vernässungsausmaß sind die Dränsysteme einzelfallbezogen auszuarbeiten.

Das Dränsystem aus Saugern und Sammlern kann entweder vor der Herstellung des oberen Verfüllbereichs bzw. der Rekultivierungsschicht auf dem Rohplanum angelegt (vgl. FSK 2001) oder nach der Herstellung der Rekultivierungsschicht mit geeigneter Technik im Boden verlegt werden (vgl. z. B. Abb. 10–4).



Abb. 10–4: Dränpflug im Einsatz (Ingenieurbüro Feldwisch)

10.6 Sanierung stofflicher Schäden

(zitiert aus: BVB 2013, Kap. 4.4.3; *Änderungen kursiv*)

Zur Bearbeitung und Beseitigung von stofflich bedingten Schädigungen haben sich vielfältige Sanierungsmethoden bewährt. An dieser Stelle sei daher lediglich auf die umfangreiche Fachliteratur und Arbeitshilfen *des HLNUG* verwiesen.

11 Folgebewirtschaftung

Checkliste 11

Das Bodengefüge frisch rekultivierter Standorte ist durch zahlreiche Umlagerungs- und Rekultivierungsprozesse beeinträchtigt und deshalb sehr labil. Es ist stark anfällig für Schadverdichtungen und Erosion. Deshalb zielt die Rekultivierung darauf ab, das Bodenleben und damit die Gefügeregeneration zu aktivieren und zu unterstützen.

Generell soll gebietseigenes Saat- oder Pflanzgut zur Anwendung kommen (§ 40 Abs. 4 BNatSchG). Bei der Anfangsbegrünung kann von diesem Grundsatz abgewichen werden, wenn die wesentlichen Schutzziele der Anfangsbegrünung (schnelle Anfangsbegrünung sowie intensive und tiefe Durchwurzelung) dies notwendig machen. Ab 2020 ist das Ausbringen von gebietsfremden Gehölzen und Saatgut genehmigungspflichtig.

Die Umsetzung und Erfolgskontrolle der Folgebewirtschaftung ist zu protokollieren und der Zulassungsbehörde vorzulegen.

11.1 Zwischenbegrünung

Durch die gezielte Ansaat der Rekultivierungsflächen lassen sich eine ganze Reihe positiver Effekte erreichen:

- Absicherung der Bodenlockerung durch Pflanzenwurzeln
- Bildung von Sekundärporen
- Erhöhung der Tragfähigkeit des Bodens
- Akkumulation von Humus, ggf. von Stickstoff
- Aktivierung des Bodenlebens
- Mineralisierung und Auswaschung von Nährelementen wird entgegen gewirkt
- Ausbreitung von Neophyten wird gebremst
- Erosion lässt sich verhindern oder abschwächen

Zudem bietet der Aufwuchs die Möglichkeit, mittels Pflanzenbonitur Bereiche auszugrenzen, in denen die Pflanzenvitalität (mögliche Indikatoren: Wuchshöhe und -dichte sowie Durchwurzelungsintensität und -tiefe) aufgrund einer nicht fachgerecht erfolgten Rekultivierung beeinträchtigt ist (vgl. Kap. 9).

In Tab. 11–1 ist eine Artenliste zur Zwischenbegrünung von Rekultivierungsböden aufgeführt. Den Pflanzenarten sind ihre Eigenschaften im Hinblick auf Durchwurzelung, N-Fixierung, Winterhärte und Standortansprüche zugeordnet.

Tab. 11–1: Artenliste zur Zwischenbegrünung von Rekultivierungsböden (Auswahl)

Pflanzenarten	Durchwurzelung			N-Fixierung	Winterhärte	Standortansprüche / Bemerkungen	
	Tiefe [cm] Hauptwurzelbereich	max.	Wurzeltyp B = Büschelw. P = Pfahlw.				Aufbrechen Verdichtungen?
Kulturpflanzen							
Senf <i>Sinapis arvensis</i>	40	120	B	nein	nein	Kalktolerant, meidet saure Standorte.	
Ölrettich <i>Raphanus sativus</i>	60	150	P	bedingt	nein	Frosttoleranter als Senf.	
Büschelschön <i>Phacelia tanacetifolia</i>	40	100	B	nein	nein	Anspruchslos und trockenheitstolerant, Bienenweide.	
Sonnenblumen <i>Helianthus annuus</i>	60	150	P	bedingt	nein	Für frische, nährstoffreiche Böden in sommerwarmen Klimlagen.	
Leindotter <i>Camelina microcarpa</i>	40	60	B	nein	nein	Schnelle Bodenbedeckung; für sommerwarme und -trockene nährstoff- und basenreiche lehm- und Lössböden.	
Roggen* <i>Secale cereale</i>	40	120	B	nein	nein	Basenarme Standorte, neutral bis mäßig sauer, keine Staunässe, geringe Wärmeansprüche.	
Waldstaudenroggen <i>Secale multicaule</i>	40	120	B	nein	nein	Anspruchslose Art; wächst auch auf leichten, sandigen und sauren Böden; wenig empfindlich auf nassen und kalten Standorten.	
Gerste* <i>Hordeum vulgare</i>	40	120	B	nein	nein	Basenreiche Standorte, trockenheitstolerant.	
Raps <i>Brassica napus</i>	40	120	P	nein	nein	Basenreiche Standorte, nicht auf staunässen und sehr tonigen Böden.	
(Wechsel-)Weizen <i>Triticum aestivum</i>	40	120	B	nein	nein	Spätsaatverträglich bis in den Januar je nach Witterung; vor allem für sommerwarme basen- und nährstoffreiche Standorte.	
Luzerne <i>Medicago sativa</i>	60	200	P	ja	ja	+	Nicht für saure, nasse, kalte und verdichtete Böden geeignet, bei Saat nach Ende August nicht winterhart, empfindlich gegenüber tiefem Schnitt, sehr tiefwurzelnd bei mehrjähriger Standzeit.
Rotklee <i>Trifolium pratense</i>	40	150	B (P)	bedingt	ja	ja	Kalktolerant, nicht auf staunassen Böden, Mindestniederschlags-summe/ a: 500 mm, pH > 5,5.
Weißklee <i>Trifolium repens</i>	40	120	B (P)	bedingt	ja	ja	Eher kalkmeidend, für mäßig saure Standorte.
Ackerbohne <i>Vicia faba</i>	40	200	P	ja	ja	ja	Etwas wärmeliebend, für frische, nährstoff- und basenreiche tiefgründige Ton- und Lehmböden.
Inkarnatklee <i>Trifolium incarnatum</i>	40	150	B (P)	bedingt	ja	ja	Liebt mäßig trockene, nährstoffreiche, kalkarme, lockere bindige oder sandige Böden.
Esparsette <i>Onobrychis viciifolia</i>	40	150	P	bedingt	ja	ja	Für tiefere und mittlere Lagen, auch für mäßig trockene und magerere Böden geeignet. Wurzeltiefen bis 4 m möglich.
Wildpflanzen (kleine Auswahl)							
Wegwarte <i>Cichorium intybus</i>	60	120	B (P)	bedingt	nein	ja	Salztolerante Pionierpflanze; etwas wärmeliebend.
Tauben-Skabiose <i>Scabiosa columbaria</i>	40	120	B (P)	nein	nein	ja	Bevorzugt auf mäßig trockenen, mäßig nährstoffreichen und kalkhaltigen Böden.
Nickendes Leimkraut <i>Silene nutans</i>	60	150	B	nein	nein	ja	Trockenheitstolerant; bevorzugt basenreiche, kalkarme Standorte, auch für Halbschatten geeignet.

Pflanzenarten	Durchwurzelung			N-Fixierung	Winterhärte	Standortansprüche / Bemerkungen	
	Tiefe [cm]		Wurzeltyp				Aufbrechen Verdichtungen?
	Hauptwurzelsbereich	max.	B = Büschelw. P = Pfahlw.				
Wilde Möhre <i>Daucus carota</i>	50	90	B (P)	bedingt	nein	ja	Verlangt hohe Sommerwärme; auch für magere und mäßig nährstoffreiche Böden geeignet; trockenheitstolerant.
Wilde Malve <i>Malva sylvestris</i>	60	150	B (P)	bedingt	nein	ja	Trockenheitstolerant, intensive Durchwurzelung.
Rohrglanzgras <i>Phalaris arundinacea</i>	60	200	B	bedingt	nein	ja	Sehr intensive und tiefe Durchwurzelung, intensiver Wasserentzug, auf feuchten bis nassen Standorten.

Erläuterungen:

* Bei Aussaat von Wintergetreidesorten im Frühjahr erfolgt nur eine vegetative Entwicklung.

Zur Zwischenbegrünung eignen sich auch besonders Mischungen von Saatgut, das vorzugsweise heimisch und standortangepasst ist. Saatgutmischungen bieten verschiedene Vorteile:

- Reduzierung des Auflauftrisikos und optimale Nutzung der Wachstumsfaktoren:
 Durch die verschiedenen Auflaufansprüche der einzelnen Arten im Hinblick auf Temperatur und Bodenfeuchte reagiert eine Saatgutmischung unempfindlicher auf Witterungsextreme, so dass auch bei ungünstigen Bedingungen eine Begrünung gelingen kann. Im Übrigen nutzen Saatgutmischungen die unterschiedlichen Wachstumsbedingungen in der Vegetationsperiode im Hinblick auf Wasserangebot, Temperaturverlauf, Licht- und Nährstoffangebot besser aus als Reinsaaten. Zudem ist der oberirdische Aufwuchs und die Wurzelmasse bei Mischungen zumeist größer, was sich günstig auf den Rekultivierungserfolg auswirkt.
- Verschiedene Wurzeltypen:
 Unterschiedliche Wurzeltypen der Mischungskomponenten erschließen den Boden optimal. Flach wurzelnde Arten mit so genannten Büschelwurzeln wie zum Beispiel Buchweizen, Phacelia oder Leindotter und tief wurzelnde Arten wie zum Beispiel Luzerne, Sonnenblumen, Ölrettich, Lupinen oder Steinklee nutzen den durchwurzelbaren Bodenraum vollständig aus. Die Kombination aus hoher Durchwurzelungsintensität von Feinwurzeln im Oberboden (z. B. Weidelgras oder Phacelia) und tief reichenden Pfahlwurzeln (z. B. verschiedene Leguminosen oder Ölrettich) wirkt sich günstig auf die Stabilisierung und Regeneration des Bodengefüges aus.

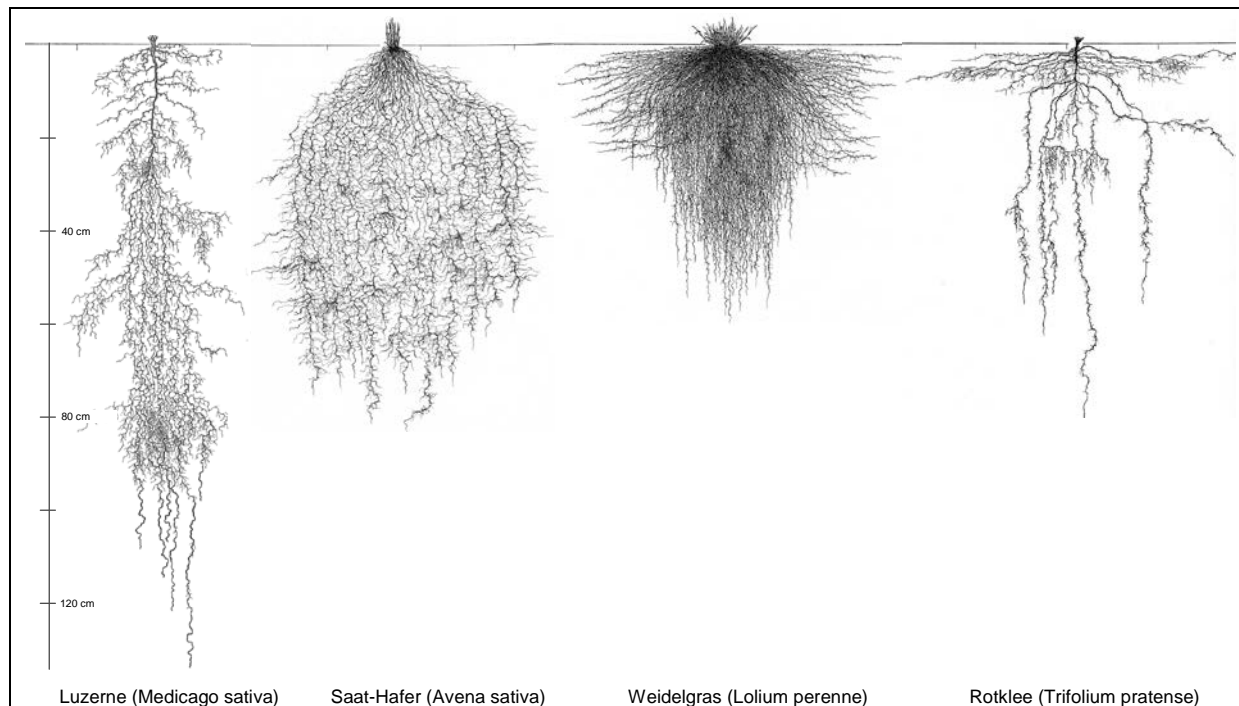


Abb. 11–1: Wurzelbilder ausgewählter Begrünpflanzen (KUTSCHERA 2010; mit freundlicher Genehmigung des DLG-Verlags)

- Förderung des Bodenlebens:

Das Bodenleben wird durch Wurzelauausscheidungen stark gefördert. Pflanzen unterscheiden sich in ihren Wurzelauausscheidungen, so dass günstige Bedingungen für eine vielfältige mikrobielle Aktivität geschaffen werden. Die verstärkte mikrobielle Bodenaktivität fördert anschließend die Besiedlung mit anderen Bodentieren wie Regenwürmern. Das Bodenleben trägt entscheidend zur Stabilisierung oder Regeneration des Bodengefüges bei.

Abschließend sei darauf hingewiesen, dass sich insbesondere bei den Kulturpflanzenarten der Saatzeitpunkt und die Standorteignung nicht am möglichen Ertragsmaximum zu orientieren haben. Auch spätere Aussaaten können die Wiederherstellung einer durchwurzelbaren Bodenschicht unterstützen.

11.2 Folgenutzung Wald

Zwischen dem Abschluss der technischen Rekultivierung und der Begründung eines Waldbestandes vergehen oft Monate oder in Einzelfällen Jahre. In dieser Zeit etabliert sich eine Spontanvegetation aus dem Diasporenvorrat des Rekultivierungsbodens oder durch Saatgut, das durch den Wind herangeweht wird. Diese enthält meist Arten, die eine spätere Waldbewirtschaftung beeinträchtigen oder erheblich erschweren.

11.2.1 Zwischenbegrünung

Werden Rekultivierungsflächen für die Folgenutzung Wald angesät, dann ist es zweckmäßig folgende Punkte zu beachten:

- Saatgut sollte keine Grasarten beinhalten, weil ansonsten Mäusepopulationen gefördert werden, die bei der Zielnutzung Schäden hervorrufen können.
- Keine kletternden oder schlingenden Pflanzenarten aussäen.
- Nur Lichtkeimer verwenden (Einarbeitung des Saatgutes entfällt).
- Artenreiche Saatmischungen sind besser als die Aussaat nur einer Art (verschiedene Wurzelsysteme erschließen den Boden intensiver).
- Ein gewisser Anteil an einjährigen Arten sorgt für eine schnellere Deckung (Abb. 11–2).
- Mehrjährige Arten können in den Folgejahren ihr Wurzelsystem maximal ausbilden (Tiefenerschließung).
- Die Masse der Arten sollte nicht wesentlich mehr als „Kniehöhe“ erreichen, sonst können sie jungen Forstkulturen hinderlich sein.
- Es ist zweckmäßig, die Artenzusammensetzung (z. B. Leguminosenanteil) und die Saatgutmenge an der Nährstoffausstattung des Rekultivierungsbodens anzupassen.
- Reduzierte Saatgutmengen verwenden (10 – 20 kg/ha), sonst bilden sich zu dichte Pflanzenbestände, die sich insbesondere nach Gewitterereignissen komplett umlegen und die Forstpflanzen umdrücken können.



Abb. 11–2: Begrünung mit Saatgutmischungen fördert die Bodenbedeckung

Die Ansaat sollte möglichst rasch erfolgen, bevor sich eine Spontanvegetation einstellen kann. Bei kleinen Rekultivierungsflächen ist eine Aussaat per Hand möglich; in diesem Fall ist der Aussaaterfolg erfahrungsgemäß am besten bei windstillem Wetter. Bei größeren Flächen sind handelsübliche Aussaatgeräte oder Anspritzbegrünungen geeignet. Die Anforderungen des Saatbettes an die Saatgutmischung sind zu beachten; nur bei einem sorgfältig

vorbereiteten und oberflächlich abgetrockneten Saatbett ist ein Begrünungserfolg sichergestellt.

Unter günstigen Umständen kann durch die gezielte Ansaat geeigneter Ansaatmischungen für Forstkulturen auf die Kultursicherung ganz verzichtet werden. Häufig reichen extensive Ausmäharbeiten aus. Ein weiterer positiver Nebeneffekt sind optisch ansprechende Wuchs- und Blühaspekte. Außerdem bieten derart begrünte Flächen eine Nahrungsquelle für Insekten und Vögel.

Im Jahr der Aussaat dominieren zunächst die einjährigen Arten das Bild. Im Zuge der Kulturentwicklung verschwinden zuerst die einjährigen Arten. Die Dominanzverhältnisse werden insbesondere von den standörtlichen Faktoren bestimmt. Insbesondere die ungünstiger werdenden Lichtverhältnisse in Folge der aufwachsenden Bäume führen allmählich zum Rückgang und schließlich zum Verschwinden der Zwischenbegrünung. Dies dauert in Abhängigkeit vom Wachstum der Forstkultur ca. 6 bis 10 Jahre.

11.2.2 Vorwald

Ein bewährtes Mittel, die Rekultivierungsstandorte für anspruchsvollere Baumarten „kulturfähig“ zu machen, ist die Begründung eines Vorwaldes.

Traditionell werden Vorwälder aus robusten und raschwüchsigen Pionierbaumarten wie z. B. Weiden, Pappeln, Birken oder Erlen begründet. Auch einige Nadelholzarten (Kiefer, Fichte) können Vorwälder bilden. Die Vorwälder sind in der Lage, Klimaextreme wie Spätfrost und extreme Sonneneinstrahlung abzumildern. Außerdem tragen die Baumwurzeln zum Aufschluss des Bodens bei.

Für folgende Gegebenheiten wird dringend ein Vorwald empfohlen:

- Senken-, Sohlen- oder sonstige Spätfrostlagen.
- Bei sonstigen ungünstigen Standortverhältnissen.

Grundsätzlich kann ein Vorwald durch un gelenkte oder gelenkte Sukzession oder durch Pflanzung entstehen. In der Tendenz verbessern sich die Standorte durch den Vorwald nach wenigen Jahren. Daneben ist die Schutzwirkung (z. B. Frostschutz, Beschattung, Windruhe, Luftfeuchte) fühl- und messbar. Im Schutz der Vorwälder können sich empfindlichere Baumarten durch natürliche Verjüngung entwickeln oder, wenn diese ausbleibt, gepflanzt werden.

Auch bei günstigen Standortverhältnissen empfiehlt es sich, auf die Vorwaldbaumarten nicht vollständig zu verzichten. Hier reicht ggf. ein weitständigerer Verband. Bei guten Standortbedingungen kann auch ein Vorwald gleichzeitig mit den Zielbaumarten gepflanzt werden.

Die Erstbewirtschaftung bis zur Abnahme (Kap. 11.4) der rekultivierten Flächen dauert ca. 7 bis 10 Jahre. In diesem Zeitraum können etwaige Rekultivierungsmängel aufgedeckt und beseitigt werden.

11.3 Folgenutzung Offenlandschaft (Landwirtschaft oder Naturschutz)

Werden rekultivierte Böden wieder landwirtschaftlich oder als Naturschutzflächen genutzt, so werden sie wieder mechanischen Belastungen durch Befahrungs- und Pflegemaßnahmen ausgesetzt. Wegen ihrer besonderen Verdichtungsempfindlichkeit benötigen sie dringend eine „Rekonvaleszenzphase“, während der sie sich unter optimalen Bedingungen stabilisieren und restrukturieren können. Ziel dieser Phase muss es sein, die Böden tragfähiger zu machen und vor Erosion zu schützen, bevor die Belastungen einer intensiven Nutzung wieder beginnen.

Zweckmäßig ist es, die Rekultivierungsflächen unverzüglich nach der Fertigstellung anzusäen. Die erste Folgekultur soll aus mehrjährigen intensivwurzelnden Pflanzen bestehen. Besonders geeignet sind Luzerne, diverse Kleearten oder Luzerne-Gras- oder Klee-gras-mischungen. Insbesondere die tiefwurzelnden Arten sichern den Lockerungserfolg biologisch ab. Daneben wird das Bodenleben (z. B. Regenwürmer) gefördert und folglich der Gefügestand verbessert.

Anzustreben ist eine extensiv bewirtschaftete Dauerbegrünung in den ersten Standjahren. Der Aussaatzeitpunkt richtet sich nach den verwendeten Pflanzenarten. Als Spätsaat kann Grünroggen noch Mitte bis Ende Oktober gesät werden. Als Saatgutmengen sollten die 1,5-fachen Mengen der sonst üblichen Saatmengen verwendet werden. Für die rekultivierten Flächen wird bei den Leguminosen mit Knöllchenbakterien geimpftes Saatgut empfohlen.

Im Falle einer naturschutzfachlichen Folgenutzung können die Artenzusammensetzung und die Saatgutmenge an die Nährstoffausstattung des Rekultivierungsbodens oder an die Nährstoffansprüche der Folgenutzung angepasst werden. Beispielsweise kann der Leguminosenanteil beschränkt werden, um eine N-Anreicherung zu begrenzen. Auch Dünnsaaten sind möglich, um beispielsweise offene Bodenflächen für bestimmte Zielarten anzubieten. Gleichwohl sind die Ziele des vorsorgenden Bodenschutzes wie insbesondere Gefügebau bzw. -stabilisierung und Erosionsvermeidung zu berücksichtigen.

Unterstützend kann eine Kalkung oder die Ausbringung organischer Festdünger wirken. Keinesfalls sollten reine N-Dünger oder Gülle verwendet werden. Erstere fördern den Grassanteil in den Saatmischungen, letztere kann das Bodenleben beeinträchtigen.

Bei der Bewirtschaftung sind in den ersten Jahren folgende Regeln strikt zu beachten (nach DIN 19731 mit Ergänzungen):

- Eine Befahrung darf nur bei ausreichend abgetrocknetem Boden erfolgen.
- Bei verdichtungsempfindlichen Böden oder bei anhaltend feuchten Böden sind Achslasten zu reduzieren bzw. bodenschonende Laufwerke zu verwenden.
- Bei Grünlandnutzung sind maximal 2, in Ausnahmefällen 3 Schnitte/Jahr zulässig.
- Keine Beweidung, auch nicht Herbstbeweidung!
- Hackfrüchte und Mais sollten nicht vor dem 6. Jahr angebaut werden, besser später.

- Generell ist nach der ersten Nachsorgephase eine ganzjährige Begrünung anzustreben (Zwischenfruchtanbau).

Vor der endgültigen Abnahme (Kap. 11.4) der rekultivierten Landwirtschafts- oder Naturschutzflächen sollte eine bis zu 4 Jahre dauernde Zwischenbewirtschaftung erfolgen; entsprechende Regelungen werden beispielsweise in der Schweiz praktiziert (FSK 2001). In diesem Zeitraum können etwaige Rekultivierungsmängel aufgedeckt und beseitigt werden.

11.4 Abnahme

Die Abnahme der rekultivierten Flächen erfolgt durch die Zulassungsbehörde. Es hat sich als vorteilhaft erwiesen, bei der Abnahme auf bodenschutzfachlichen Sachverstand zurückgreifen zu können. Dementsprechend sollte die bodenkundliche Begleitung am Abnahmetermin teilnehmen.

Die Abnahme beschränkt sich regelhaft auf eine Aufwuchsbonitur kombiniert mit der Spatendiagnose (Oberflächenabnahme).

Verdeckte Mängel bleiben von der Oberflächenabnahme unberührt. Jedoch kann mit Hilfe von Bodenschürfen die Qualität der wiederhergestellten durchwurzelbaren Bodenschicht überprüft werden, um verdeckte Mängel wie zum Beispiel Verdichtungen oder ungeeignete Substrate aufzudecken. In den Bodenschürfen sind die wiederhergestellten Bodenschichten nach DIN 19682-10 im Hinblick auf Gefügeeigenschaften, insbesondere Verdichtungen und Durchwurzelbarkeit, zu beurteilen.

Werden bei dem Abnahmetermin erhebliche Rekultivierungsmängel festgestellt, dann ist die Abnahme zurückzustellen, bis die Mängel nachweislich beseitigt worden sind.

Geeignete bodenkundliche Kontrollkriterien für die Abnahme sind in Tab. 11–2 aufgeführt.

Tab. 11–2: Bodenkundliche Kontrollkriterien zur Beurteilung der durchwurzelbaren Bodenschicht (nach BVB 2013, S. 82-83; verändert und ergänzt)

Beurteilung der Schichtmächtigkeiten	
Kontrollgrößen:	<ul style="list-style-type: none"> • Mächtigkeit in cm
Durchführung:	<ul style="list-style-type: none"> • nach Abschluss der Maßnahme
Methoden:	<ul style="list-style-type: none"> • Feldbodenkundliche Kontrolle der Schichtmächtigkeiten mit Hilfe von Spaten, Bohrungen oder Schürfen
Orientierungswerte:	<ul style="list-style-type: none"> • Vorgaben der Rekultivierungsplanung bzw. des Zulassungsbescheids (vgl. Regelmächtigkeiten in Tab. 7–1, S. 59)
Beurteilung des Bodengefüges	
Kontrollgrößen:	<ul style="list-style-type: none"> • Funktionalität des Gefüges (Luftkapazität, Durchwurzelbarkeit, Wasserleitfähigkeit, Packungsdichte, Aufwuchsbonitur)
Durchführung:	<ul style="list-style-type: none"> • Zeitnah nach Rekultivierungsabschluss. • Wiederholung vor Ende der Gewährleistungspflicht
Methoden:	<ul style="list-style-type: none"> • Visuelle Kontrolle der Bodenoberfläche (Pfützenbildungen) und Bonitur des Pflanzenaufwuchses (Wuchsdepressionen) • Beurteilen des Bodengefüges mit Hilfe <ol style="list-style-type: none"> 1. der Spatendiagnose (bis ca. 30 cm Bodentiefe) und 2. repräsentativer Bodenschürfe (gesamte durchwurzelbare Bodenschicht bis 200 cm Tiefe), evtl. mit Entnahme von Stechzylindern und labortechnische Bestimmung der Rohdichte, Luftkapazität und gesättigten Wasserleitfähigkeit
Orientierungswerte/ Schadensschwelle:	<p>Orientierungswerte:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vorgaben der Rekultivierungsplanung bzw. des Zulassungsbescheids (vgl. bodenkundliche Anforderungen an die Rekultivierungsschichten in Tab. 7–3, S. 62) <p>Allgemeine Schadschwellen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Luftkapazität: < 5 Vol % • Gesättigte Wasserleitfähigkeit: < 10 cm/d • Packungsdichte: Stufen 4 und 5 (DIN 19682-10 2007) <p>Die drei vorgenannten Kontrollgrößen müssen nach UBA (2004) zusammen betrachtet werden. Bedeutsam für die Beurteilung ist die Tiefenlage, Mächtigkeit und horizontale Ausdehnung der zu beurteilenden Bodenverdichtung.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Effektive Lagerungsdichte: Stufen 4 und 5 • Spatendiagnose: Stufen 4 und 5 • Eindringwiderstand eines Penetrometers nach DIN 19662, Juli 2012: Bei Ackerböden mit Wassergehalten über 80 % der nutzbaren Feldkapazität geht man bei Eindringwiderständen ab 2 MPa von negativen Auswirkungen auf den Pflanzenbestand aus, ab 3 MPa von erheblich negativen Auswirkungen.
Beurteilung des Bodenmaterials (A- und B-Boden)	
Kontrollgrößen:	<ul style="list-style-type: none"> • Körnung bzw. Bodenart • Art und Anteile an Fremdmaterialien
Durchführung:	<ul style="list-style-type: none"> • Spätestens nach Abschluss der Maßnahme, besser vor oder begleitend zur Rekultivierung bei der Bereitstellung des Rekultivierungsmaterials.
Methoden:	<ul style="list-style-type: none"> • Feldbodenkundliche Kontrolle des Bodenmaterials mit Hilfe der Fingerprobe. Beurteilung des Feinbodens (≤ 2 mm) und des Grobbodens (> 2 mm; entspricht dem Steingehalt). • Visuelle Kontrolle auf eventuelle Fremdbestandteile.
Orientierungswerte:	<ul style="list-style-type: none"> • Feinboden vergleichbar dem Ausgangszustand, wenn nicht anders festgelegt. • Vorgaben der Rekultivierungsplanung bzw. des Zulassungsbescheids (vgl. bodenkundliche Anforderungen an die Rekultivierungsschichten in Tab. 7–3, S. 62)

Beurteilung des Humusgehaltes des A-Bodens	
Kontrollgrößen:	<ul style="list-style-type: none">• Humusgehalt (Klasse nach Ad-hoc-AG Boden 2005 oder Masse-%)
Durchführung:	<ul style="list-style-type: none">• nach Abschluss der Maßnahme
Methoden:	<ul style="list-style-type: none">• Feldbodenkundliche Beurteilung durch Bodenkundler• Nach Bedarf: Analytische Kontrolle mittels Bodenproben
Orientierungswerte:	<ul style="list-style-type: none">• Vorgaben der Rekultivierungsplanung bzw. des Zulassungsbescheids (vgl. bodenkundliche Anforderungen an die Rekultivierungsschichten in Tab. 7–3, S. 62)

12 Literatur

Hinweis: Alle Internetverweise zuletzt am 07.09.2016 geprüft.

Ad-hoc-AG Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. 5. Aufl., Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.

Ad-hoc-AG Boden (2009): Arbeitshilfe für die Bodenansprache im vor- und nachsorgenden Bodenschutz. 1. Aufl., Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.

BAFU – Bundesamt für Umwelt Schweiz (2015): Boden und Bauen. Stand der Technik und Praktiken.

<http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01808/index.html?lang=de>

BfE – Bundesamt für Energiewirtschaft (Schweiz) (1997): Bodenschutzrichtlinien – Richtlinien zum Schutze des Bodens beim Bau unterirdisch verlegter Rohrleitungen.

BMLFUW – Österreichisches Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2012): Richtlinien für die sachgerechte Bodenrekultivierung land- und forstwirtschaftlich genutzter Flächen.

http://bfw.ac.at/050/pdf/Rekultivierungsrichtlinien_%202012.pdf

BSMLU – Bayerisches Staatsministerium für Landentwicklung und Umwelt (2005): Leitfaden zur Verfüllung von Gruben, Brüchen und Tagebauen. Fassung vom 09.12.2005.

<https://www.stmuv.bayern.de/themen/wasserwirtschaft/grundwasser/doc/verfuell.pdf>

BUWAL – Bundesamt für Umwelt Wald und Landschaft (2006): Bodenschutz beim Bauen.

<http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00106/index.html?lang=de>

BVB (2013): Bodenkundliche Baubegleitung BBB. BVB-Merkblatt Band 2. Erich Schmidt Verlag, Berlin.

DIN 1185-1 (2014): Dränung – Regelung des Bodenwasser-Haushaltes durch Rohrdränung und Unterbodenmelioration. Teil 1: Allgemeine Grundlagen. Normentwurf vom Oktober 2014.

DIN 18915 – Bodenarbeiten. Stand: In Überarbeitung, Mai 2015. Beuth Verlag GmbH, Berlin.

DIN 19662: Bodenbeschaffenheit – Felduntersuchungen – Bestimmung des Eindringwiderstandes von Böden mit dem Handpenetrometer. Stand: 07/2012. Beuth Verlag GmbH, Berlin.

DIN 19682, Teil 10: Bodenuntersuchungsverfahren im Landwirtschaftlichen Wasserbau – Felduntersuchungen – Teil 10: Beschreibung und Beurteilung des Bodengefüges. Stand: 07/2014. Beuth Verlag GmbH, Berlin.

DIN 19731 – Verwertung von Bodenmaterial. Stand: 05/1998. Beuth Verlag GmbH, Berlin.

FaBo – Fachstelle Bodenschutz Kanton Zürich (2003): Richtlinien für Bodenrekultivierungen. Baudirektion des Kantons Zürich, Amt für Landschaft und Natur, Fachstelle Bodenschutz, Walcheplatz 2, Zürich.

http://www.aln.zh.ch/dam/audirektion/aln/bodenschutz/bauen/pdf/richtlinien_fuer_bodenrekultivierungen.pdf

- Feldwisch, N., Ch. Friedrich (2016): Schädliche Bodenverdichtung vermeiden. Hrsg. vom Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. Schriftenreihe, Heft 10/2016. <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/26307>
- Feldwisch, N. (2014): Auswirkungen auf den Boden. In: P.-S. Storm & T. Bunge (Hrsg.): Handbuch der Umweltverträglichkeitsprüfung. Loseblattwerk, Lfg. 3/14. Kennzahl 2305. Berlin: Erich Schmidt Verlag.
- FSK Schweiz – Schweizerischer Fachverband für Sand und Kies (2001): Rekultivierungsrichtlinien – Richtlinien für den fachgerechten Umgang mit Böden. Seit 2003 mit dem Verband der Schweizer Transportbetonwerke fusioniert zum Fachverband der Schweizerischen Kies- und Betonindustrie.
- Gisi, U., R. Schenker, R. Schulin, F.X. Stadelmann, H. Sticher (1997): Bodenökologie. Thieme Verlag.
- GLA & LfU Bayern (2003): Das Schutzgut Boden in der Planung – Bewertung natürlicher Bodenfunktionen und Umsetzung in Planungs- und Genehmigungsverfahren. Bayrisches Geologische Landesamt und Bayrisches Landesamt für Umweltschutz.
- HLUG (2008): Rohstoffe in Hessen. 2/2008. Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Wiesbaden.
- HLUG (2011): Hintergrundwerte von Spurenstoffen in hessischen Böden. Wiesbaden. <http://www.hlnug.de/?id=6626> bzw. http://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/boden/hgw/Hintergrundwerte_Hessen.pdf
- HMUELV (2011): Bodenschutz in der Bauleitplanung. Arbeitshilfe zur Berücksichtigung von Bodenschutzbelangen in der Abwägung und der Umweltprüfung nach BauGB in Hessen. <https://umweltministerium.hessen.de/umwelt-natur/boden/vorsorgender-bodenschutz/bodenschutz-der-bauleitplanung> bzw. https://umweltministerium.hessen.de/sites/default/files/HMUELV/bodenschutz_in_der_bauleitplanung_langfassung.pdf
- HMUKLV (2014a): Richtlinie für die Verwertung von Bodenmaterial, Bauschutt und Straßenabruch in Tagebauen und im Rahmen sonstiger Abgrabungen (Verfüllrichtlinie). Staatsanzeiger für das Land Hessen, Nr. 10/2014 vom 3. März 2014, S. 211-223. https://umweltministerium.hessen.de/sites/default/files/media/hmuelv/verfuellrichtlinie_stanz_10_2014.pdf
- HMUKLV (2014b): Bodenschutz bei der Planung, Genehmigung und Errichtung von Windenergieanlagen. Arbeitshilfe des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Wiesbaden.
- iste (2011): Forstliche Rekultivierung. Hrsg. vom Landesarbeitskreis „Forstliche Rekultivierung von Abbaustätten“, Umweltbeurteilung im Industrieverband Steine und Erden Baden-Württemberg e.V. (iste). Schriftenreihe der Umweltberatung im iste, Band 3.
- Kutschera, L. (2010): Wurzelatlas mitteleuropäischer Ackerunkräuter und Kulturpflanzen. Band 1. DLG Verlag. Reprint der Originalausgabe von 1960.

LABO – Bund-/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (2002): Vollzugshilfe zu den Anforderungen an das Aufbringen und Einbringen von Materialien auf oder in den Boden (§ 12 Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung), vom 11.9.2002, in Zusammenarbeit mit LAB, LAGA und LAWA.

Download unter <http://www.labo-deutschland.de/Veroeffentlichungen.html>

LfL Bayern (2012): Bodenstruktur erkennen und beurteilen. Anleitung zur Bodenuntersuchung mit dem Spaten. Mitherausgeber: LfUG Sachsen und weitere.

Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz NRW (2010): Broschüre „Bodenverdichtung vermeiden“.

Nehring, S., I. Kowarik, W. Rabitsch, F. Essl (Hrsg.; 2013): Naturschutzfachliche Invasivitätsbewertungen für in Deutschland wild lebende gebietsfremde Gefäßpflanzen. BfN-Skripten 325. Bundesamt für Naturschutz, Bonn.

Rücknagel, J. (2014): Boden unter Druck – Schadverdichtungen vermeiden – Fruchtbarkeit sichern. DLG-Verlag.

UBA – Umweltbundesamt (2004): Ableitung von Kriterien zur Charakterisierung einer schädlichen Bodenveränderung, entstanden durch nutzungsbedingte Verdichtung von Böden - Regelungen zur Gefahrenabwehr". UBA-Texte 46/2004.

WSL – Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (2013): Bodenschutz im Wald: Ziele – Konflikte – Umsetzung. WSL-Berichte, Heft 6, Birmensdorf (Schweiz).

13 Anhang – Checklisten

Checkliste 1: Prüfung der verwendeten Bodeninformationen zur Bestandserfassung

Nr.	Inhalte der Prüfung	Ja / Nein	Wenn nein Nf / Nb*
1.1	Bezug zu vorhandenen Bodenflächendaten in Text und Karte vorhanden? Maßstab der Bodenkarte: 1 : Anforderung: Für die in Anspruch genommenen Bodenflächen sind die räumliche Verbreitung der Bodenformen mit Leitprofilen inkl. Angaben der wesentlichen Bodeneigenschaften wie Feinbodenarten, Grobbodenarten und -anteile, Humusgehalte und ggf. vorhandener Vernäsungsmerkmale in Text und Karte darzulegen. Grundlage sind vorhandene Bodenflächendaten im Maßstab 1:50.000 (BFD50) und größer. Die BFD50 vermitteln nur einen Überblick über das Vorhabensgebiet und bedürfen im Regelfall einer Konkretisierung mit Hilfe von Bodenkartierungen vor Ort (s. Pkt. 1.2).	<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>
1.2	Erfolgt Bodenkartierungen vor Ort? Anforderung: Die Bodeninformationen nach vorhandenen Bodenkarten sind mit Hilfe einer Bodenkartierung nach Ad-hoc-AG Boden (2005 bzw. 2009) zu verifizieren und ggf. inhaltlich und räumlich zu spezifizieren. Geeignete Darstellungsformen: Textliche und kartografische Darstellung.	<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>
1.3	Erfassung und Bewertung der räumlichen Verbreitung von Böden mit besonderer Ausprägung der Bodenfunktionen (schutzwürdige Böden) erfolgt? Anforderung: Die Bewertung der Bodenfunktionen hat mit anerkannten Methoden zu erfolgen (vgl. http://www.hlug.de/themen/boden/vorsorge/bodenschutz-in-der-planung.html ; letzter Abruf: 04.12.2015. Vgl. auch Methodendokumentation zu Bodenflächendaten 1:50.000 im BodenViewer, jeweils über den Info-Button einsehbar). Bei der Verwendung anderer Methoden ist die Eignung in angemessener Form darzulegen. Geeignete Darstellungsformen: Textliche und kartografische Darstellung.	<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>

* Erläuterung: Nf = Nachforderung; Nb = Nebenbestimmung

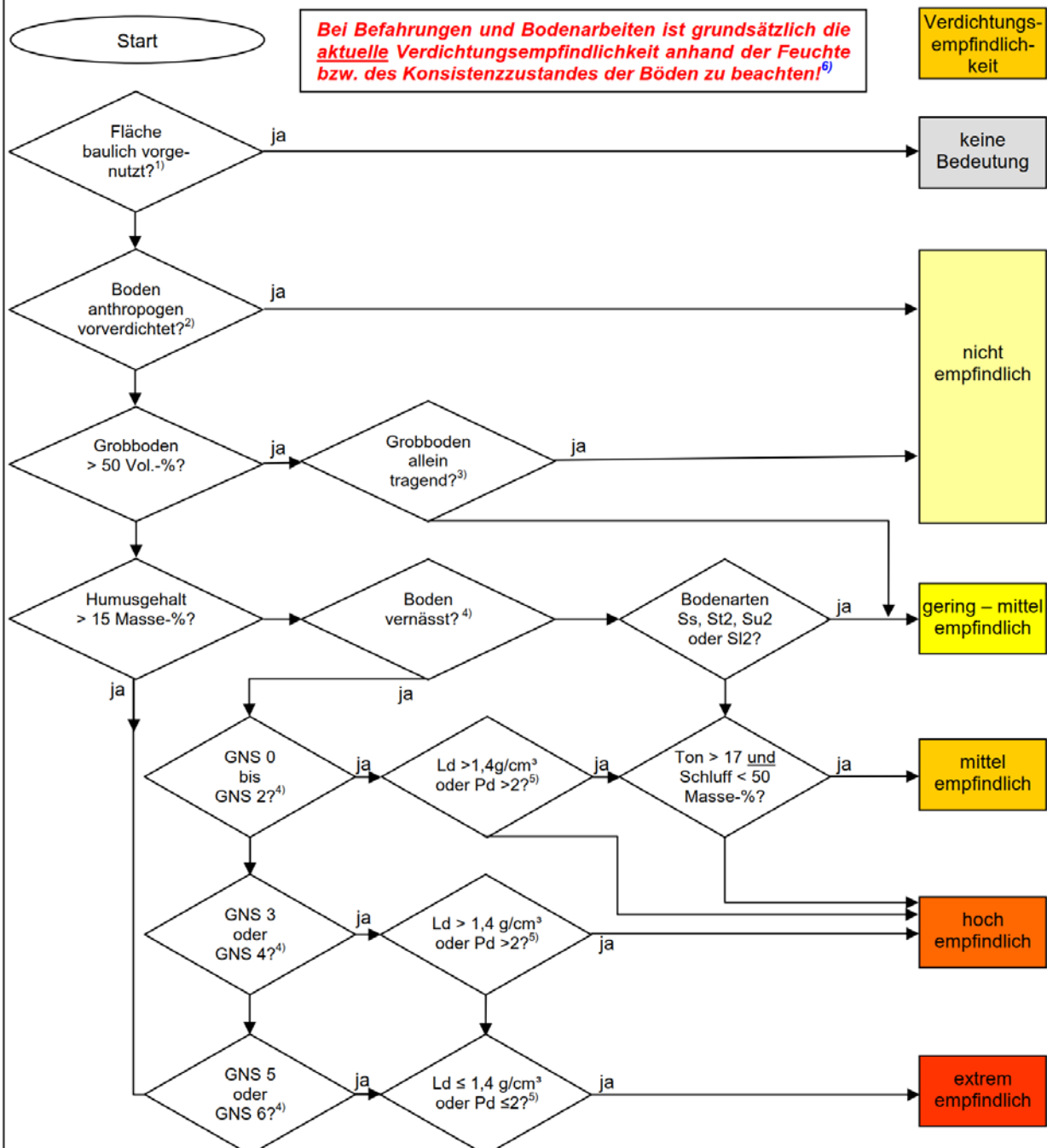
Checkliste 2: Prüfung der Erfassung der Empfindlichkeit der betroffenen Böden

Nr.	Inhalte der Prüfung	Ja / Nein	Wenn nein Nf / Nb*
2.1	<p>Erfassung der Verdichtungsempfindlichkeiten der Böden erfolgt?</p> <p>Anforderung: Anhand großmaßstäbiger Bodenflächendaten Hessen 1:5.000, landwirtschaftliche Nutzfläche (BFD5L) oder bodenkundlicher Profilaufnahmen nach Checkliste Nr. 1.2 ist die Verdichtungsempfindlichkeit der Böden anhand der Parameter Feinbodenart, Grobbodenanteil, Humusgehalt und Vernässung zu bewerten (s. Bewertungsschema auf folgender Seite). Das Bewertungsergebnis ist bedeutsam für die Auswahl bodenschonender Verfahren der Baufeldfreimachung, des Bodenausbaus, der Zwischenlagerung und der Rekultivierung. Bei verdichtungsempfindlichen Bodenmaterialien sind geeignete, erforderliche und angemessene Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen anzugeben.</p>	<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>
2.2	<p>Erfassung der Erosionsempfindlichkeiten der Bodenmaterialien erfolgt?</p> <p>Anforderung: Anhand der bodenkundlichen Profilaufnahmen nach Checkliste Nr. 1.2 ist die Erosionsempfindlichkeit der Böden durch Wasser anhand der Parameter Feinbodenart, Grobbodenanteil und Humusgehalt zu bewerten. Dazu bietet sich der so genannte K-Faktor der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung (ABAG) an (vgl. DIN 19708). Im Erosionsatlas im BodenViewer steht flächendeckend für Hessen eine Karte des K-Faktors zur Verfügung. Das Bewertungsergebnis ist bedeutsam für die Auswahl etwaig notwendiger Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen bei der Baufeldfreimachung, Zwischenlagerung und Rekultivierung.</p>	<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>

* Erläuterung: Nf = Nachforderung; Nb = Nebenbestimmung

Matrix zur Bewertung der standörtlichen Verdichtungsempfindlichkeit von Böden

(nach BFE 1997, geändert und ergänzt. Dieses Schema gilt **nur** für gewachsene natürliche Böden und **nicht** für geschüttete Böden. Geschüttete Böden sind grundsätzlich – weitgehend unabhängig vom Substrat – als hoch empfindlich einzustufen; Ausnahmen sind Böden mit Grobboden > 50 Volumen-% und reine Sandböden mit bindigen Anteilen < ca. 15 Masse-%.)



1) Unterschiedlich baulich vorgenutzte Teilflächen des Baufeldes sind getrennt zu bewerten. Beispielsweise unterliegen baulich nicht genutzte Grünflächen innerhalb von Bauliegenschaften den Anforderungen des vorsorgenden Bodenschutzes.
 2) Geeignete Schwellenwerte: Vorbelastung, gemessen → Bei pF 1,8 > 100 kPa. Packungsdichte → PD 4+5.
 3) Der Grobboden (Steine) ist allein tragend, wenn der Grobboden auch bei Auflasten stabil bleibt und er gleichzeitig kantige Formen aufweist, so dass sich die Steine gegenseitig verkanten. Ab ca. 75 Volumen-% ist von einer alleinigen Tragfähigkeit des Grobbodens auszugehen.
 4) Grundnässestufen (GNS) nach Erfassungsstandard Boden des HLNUG (<http://www.hlnug.de/static/medien/boden/fisbo/erfst/index.html>). Die Staunässestufen können äquivalent bewertet werden. Andere Vernässungsformen (Hang- und Haftnässe) können anhand der Tiefenlage der vernässten Horizonte entsprechend bewertet werden.
 5) Ld = Lagerungsdichte (nicht zu verwechseln mit Trockenrohdichte); Pd = Packungsdichte nach DIN 19682-10
 6) Als ausreichend trocken ist bei bindigen Böden der Konsistenzbereich halbfest bis steifplastisch zu bezeichnen (Konsistenzbezeichnung nach Bodenkundlicher Kartieranleitung). Höhere Bodenfeuchten und die damit verbundenen weichen, breiigen oder zähflüssigen Bodenkonsistenzen bedingen regelmäßig eine hohe bis extrem hohe aktuelle Verdichtungsempfindlichkeit.

Checkliste 3: Prüfung der Flächen- und Massenbilanz in den Antragsunterlagen

Nr.	Inhalte der Prüfung	Ja / Nein	Wenn nein Nf / Nb*
3.1	Eindeutige Flächen- und Massenbilanz vorhanden?	<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>
	Anforderungen: Die Flächen- und Massenbilanz der Eingriffe in Böden sind in textlicher, kartografischer und tabellarischer Form (vgl. Tab. 3-1) eindeutig zu beschreiben. Die Angaben müssen in sich schlüssig sein.	-	-

* Erläuterung: Nf = Nachforderung; Nb = Nebenbestimmung

Checkliste 4: Prüfung der allgemeinen Anforderungen an die Rekultivierung

Nr.	Inhalte der Prüfung	Ja / Nein	Wenn nein Nf / Nb*
4.1	<p>Mindestflächen, Flächenform, räumliche Aspekte</p> <p>Anforderungen: Die Antragsunterlagen müssen nachvollziehbare Angaben zu Mindestflächen, Flächenform und räumlichen Aspekten der Rekultivierungsfelder enthalten, die auf die Vermeidung bzw. Minderung von Verdichtungsgefährdungen abzielen.</p>	<p><input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/></p> <p>–</p>	<p><input checked="" type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/></p> <p>–</p>
4.2	<p>Anlegen von Probefeldern</p> <p>Anforderungen: Im Interesse einer hochwertigen Rekultivierung sollten Probefelder genutzt werden, um vorgesehene Rekultivierungsmaßnahmen auf ihre Geeignetheit zu überprüfen. Werden keine Probefelder vorgesehen, dann ist in den Antragsunterlagen detailliert darzustellen, wie die Qualitätsanforderungen an die Rekultivierung anderweitig erfüllt werden können.</p>	<p><input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/></p> <p>–</p>	<p><input checked="" type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/></p> <p>–</p>
4.3	<p>Maschinen und Geräte – Einsatzmöglichkeiten und -grenzen</p> <p>Anforderungen: Die Antragsunterlagen müssen die vorgesehenen Maschinen und Geräte mit ihren Einsatzmöglichkeiten und -grenzen dergestalt beschreiben, dass deutlich wird, wie eine funktionstüchtige durchwurzelbare Bodenschicht hergestellt werden kann. Neben den Maschinen und Geräten sind dazu auch die Einbauverfahren nach Kap. 7.4 zu berücksichtigen.</p>	<p><input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/></p> <p>–</p>	<p><input checked="" type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/></p> <p>–</p>
4.4	<p>Bodenfeuchte – Grenzen für Bodenarbeiten</p> <p>Anforderungen: Es ist konkret auszuführen, wie die aktuelle Bodenfeuchte im Rekultivierungsprozess berücksichtigt wird, um Verdichtungsschäden vorzubeugen.</p>	<p><input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/></p> <p>–</p>	<p><input checked="" type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/></p> <p>–</p>
4.5	<p>Bodenschutzfachliche Begleitung</p> <p>Anforderungen: Anhand der Komplexität der Rekultivierungsbedingungen ist zu entscheiden, ob eine bodenkundliche Baubegleitung nötig ist. Die Antragsunterlagen sollten deutlich machen, ob eine bodenkundlich versierte Begleitung eigenständig durch das Unternehmen garantiert werden kann oder ob diese Leistung an ein qualifiziertes Büro vergeben werden soll.</p>	<p><input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/></p> <p>–</p>	<p><input checked="" type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/></p> <p>–</p>

* Erläuterung: Nf = Nachforderung; Nb = Nebenbestimmung

Checkliste 5: Prüfung der Ausführungen zum Bodenausbau

Nr.	Inhalte der Prüfung	Ja / Nein	Wenn nein Nf / Nb*
5.1	Grundsätze und nutzungsbezogene Maßnahmen	<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>
	Anforderungen: Die Antragsunterlagen müssen deutlich machen, wie Beeinträchtigungen des im Abbaufeld auszuhebenden Bodenmaterials, welches zur Rekultivierung oder externen Verwertung vorgesehen ist, vermieden werden können. In die Bewertung der Antragsunterlagen hinsichtlich der vorgesehenen Maßnahmen zum Bodenausbau sind die Erläuterungen zum geplanten Maschinen- und Geräteeinsatz einzubeziehen (vgl. Kap. 4.3).	-	-

* Erläuterung: Nf = Nachforderung; Nb = Nebenbestimmung

Checkliste 6: Prüfung der Ausführungen zur Zwischenlagerung

Nr.	Inhalte der Prüfung	Ja / Nein	Wenn nein Nf / Nb*
6.1	Getrennte Lagerung von Ober- und Unterböden? Fachgerechte Lagerung des Bodenaushubs in Mieten entsprechend der DIN 19731 Ist eine getrennte Lagerung von Ober- und Unterboden sowie Bodenschichten unterschiedlicher Eignungsgruppe (insbesondere Humusgehalt, Schadstoffgehalt, Feinbodenart, Grobbodenanteil) vorgesehen?	<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> / <input checked="" type="checkbox"/>
6.2	Flächenbedarf für die Mietenlagerung nachgewiesen? Wird der Flächenbedarf für die Mietenlagerung unterschiedlicher Bodenqualitäten abgedeckt? (vgl. Kap. 3.4 und Checkliste 3)	<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>
6.3	Geplante Mietenhöhen angegeben? Sind die Oberbodenmieten maximal 2 m hoch? Sind die Unterbodenmieten maximal 3 m hoch? In Einzelfällen kann von diesen Regelangaben begründet abgewichen werden, wenn durch die Auflast keine schädliche Verdichtungen zu besorgen sind (vgl. Tab. 6-1 und Tab. 6-2).	<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> / <input checked="" type="checkbox"/>
6.4	Befahrung von Bodenmieten ausgeschlossen? Wird ausgeführt, dass Bodenmieten generell nicht befahren werden?	<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> / <input checked="" type="checkbox"/>
6.5	Begrünung der Bodenmieten dargelegt? Werden die Mieten bei einer längeren Lagerung begrünt? Ab Zeitspanne von 2 Monaten empfiehlt sich eine aktive Begrünung. Die Jahreszeit der Mietenlagerung innerhalb oder außerhalb der Vegetationsperiode ist bei der Forderung einer Begrünung zu berücksichtigen. Die Begrünung dient sowohl dem Erosionsschutz als auch der biologischen Entwässerung der Bodenmiete durch die Verdunstungsleistung der Pflanzen.	<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> / <input checked="" type="checkbox"/>
6.6	Mietenflächen geeignet? Sind die Mietenflächen geeignet (nicht vernässt, kein Oberflächenzufluss bzw. keine Muldenlage, keine hohe oder extreme Verdichtungsempfindlichkeit)?	<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>
6.7	Bodenschonender Technikeinsatz dargelegt? Zur Vermeidung von Verdichtungen nach § 12 Abs. 9 BBodSchV: Erfolgt die Zwischenlagerung und Umlagerung mit bodenschonender Technik (vgl. Kap. 4.3, Kap. 5 und Kap. 6)?	<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>
6.8	Stoffliche Vorbelastungen der Böden. Ist die Schadstoffsituation der zwischenzulagernden Bodenmassen hinreichend bekannt und – im Falle belasteter Bodenmaterialien – wird eine getrennte Zwischenlagerung unterschiedlich belasteter Bodenmaterialien vorgesehen?	<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>

* Erläuterung: Nf = Nachforderung; Nb = Nebenbestimmung

Checkliste 7: Prüfung der Ausführungen zu den Rekultivierungsarbeiten

Nr.	Inhalte der Prüfung	Ja / Nein	Wenn nein Nf / Nb*
7.1	Herstellung des Rohplanums Wird dargelegt, wie sichergestellt werden kann, dass eine freie Entwässerung der Rekultivierungsschicht entweder in den mittleren Verfüllbereich oder in ein Dränsystem stattfinden kann, um Stauwasserbildungen vorzubeugen?	<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>
7.2	Geeignete Bodenmaterialien für die Rekultivierungsschicht Wird in den Antragsunterlagen dargelegt, welche Bodenmaterialien mit welchen definierten Eigenschaften für die Wiederherstellung einer durchwurzelbare Bodenschicht / Rekultivierungsschicht verwendet werden sollen und sind die verwendeten Kriterien bodenschutzfachlich vertretbar? (vgl. Tab. 7-3)	<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>
7.3	Mächtigkeiten der A- und B-Bodenschicht Werden in den Antragsunterlagen die vorgesehenen Mächtigkeiten der A- und B-Bodenschichten beschrieben und bodenschutzfachlich nachvollziehbar begründet? (vgl. Tab. 7-1)	<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>
7.4	Anlieferung von Bodenmaterial und Einbauverfahren Beschreiben die Antragsunterlagen in nachvollziehbarem Umfang, wie eine bodenschonende Anlieferung und ein bodenschonender Einbau erfolgen sollen?	<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>

* Erläuterung: Nf = Nachforderung; Nb = Nebenbestimmung

Checkliste 8: Überwachung

Anmerkung: Die Anforderungen an eine Wiedernutzbarmachung als Vegetationsfläche, die im Rahmen der Planung und Zulassung festgelegt worden sind, sind im Rahmen der Überwachung auf ihre fachgerechte Umsetzung hin zu überprüfen. Insofern wiederholen sich die Fragen der voranstehenden Checklisten inhaltlich in der Checkliste zur Überwachung; die Fragen sind lediglich umformuliert und zielen hier auf die Umsetzung der Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen ab.

Im Einzelfall ist die Checkliste zur Überwachung mit den Anforderungen aus der Planung und Zulassung abzugleichen. Die nachstehende Checkliste kann insofern nur als eine Orientierung dienen.

Nr.	Inhalte der Prüfung	Ja / Nein *
8.1	Zwischenlagerung und Umlagerung von Bodenmaterial: Werden die Anforderungen des § 12 BBodSchV und der DIN 19731 eingehalten?	
	Anforderungen:	
8.1.1	<ul style="list-style-type: none"> • Fachgerechte Lagerung des Bodenaushubs in Mieten entsprechend der DIN 19731 <ul style="list-style-type: none"> → Ist eine getrennte Lagerung von Ober- und Unterboden sowie Bodenschichten unterschiedlicher Eignungsgruppe (insbesondere Humusgehalt, Schadstoffgehalt, Feinbodenart, Grobbodenanteil) erfolgt? 	□ / □
8.1.2	<ul style="list-style-type: none"> → Wird der Flächenbedarf für die Mietenlagerung unterschiedlicher Bodenqualitäten abgedeckt? 	□ / □
8.1.3	<ul style="list-style-type: none"> → Sind die Oberbodenmieten maximal 2 m hoch? → Sind die Unterbodenmieten maximal 3 m hoch? <p>In Einzelfällen kann von diesen Regelangaben begründet abgewichen werden, wenn durch die Auflast keine schädliche Verdichtungen zu besorgen sind (vgl. Tab. 6–1 und Tab. 6–2 auf Seite 54).</p>	□ / □
8.1.4	<ul style="list-style-type: none"> → Werden / wurden die Mieten nicht befahren? 	□ / □
8.1.5	<ul style="list-style-type: none"> → Sind die Mieten bei einer längeren Lagerung begrünt worden? <p>Ab einer Zeitspanne von 2 Monaten empfiehlt sich eine aktive Begrünung. Die Jahreszeit der Mietenlagerung innerhalb oder außerhalb der Vegetationsperiode ist bei der Forderung einer Begrünung zu berücksichtigen. Die Begrünung dient sowohl dem Erosionsschutz als auch der biologischen Entwässerung der Bodenmiete durch die Verdunstungsleistung der Pflanzen.</p>	□ / □
8.1.6	<ul style="list-style-type: none"> → Sind die Mietenflächen geeignet (nicht vernässt, kein Oberflächenzufluss bzw. keine Muldenlage, keine hohe oder extreme Verdichtungsempfindlichkeit)? 	□ / □
8.1.7	<ul style="list-style-type: none"> • Zur Vermeidung von Verdichtungen nach § 12 Abs. 9 BBodSchV: Erfolgt die Zwischenlagerung und Umlagerung mit bodenschonender Technik (vgl. Kap. 4.3. Kap. 5 und Kap. 6)? 	□ / □
8.1.8	<ul style="list-style-type: none"> • Im Falle stofflicher Vorbelastungen der Böden: <ul style="list-style-type: none"> → Können die rechtskonformen Verwertungs- bzw. Entsorgungswege mit Hilfe von Lieferscheinen transparent belegt werden? 	□ / □
8.2	Überprüfung der Umsetzung der Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen zum Schutz der Böden	
	Anforderungen:	
8.2.1	<ul style="list-style-type: none"> • Flächen- bzw. Bodeninanspruchnahme <ul style="list-style-type: none"> → Sind festgelegte Abtrassierungen umgesetzt worden, um ungeplante Inanspruchnahme von Nebenflächen zu vermeiden? 	□ / □
8.2.2	<ul style="list-style-type: none"> • Verdichtung bzw. mechanische Belastungen (Befahrung, Lagerung etc.) <ul style="list-style-type: none"> → Liegen Arbeitsanweisungen zur Benutzung von Baustraßen und Arbeitsbereichen vor? 	□ / □
8.2.3	<ul style="list-style-type: none"> → Werden Baustraßen, Fahrbohlen bzw. Fahrplatten für Rekultivierungsarbeiten mit verdichtungsempfindlichen Bodenmaterial eingesetzt? 	□ / □

Nr.	Inhalte der Prüfung	Ja / Nein *
8.2.4	→ Wird bei Bodenarbeiten (Aushub, Aufmietung, Wiedereinbau, Rekultivierung) auf witterungsabhängige Vernässungen und erhöhter Verdichtungsempfindlichkeiten der Böden mit Bauunterbrechung oder dem Einsatz besonders schonender Technik reagiert?	<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>
8.2.5	→ Werden für die Rekultivierungsarbeiten bodenschonende Laufwerke (Band- bzw. Kettenlaufwerke oder Breit-/Niederdruckreifen) eingesetzt? → Liegen nachprüfbar Maschinen-/Gerätelisten mit konkreten Angaben zum Maschinen-/Gerätetyp, Gesamtmassen (inkl. Vollast) und spezifischem Bodendruck vor?	<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>
8.2.6	• Auf-/Einbringen von Bodenmaterial in eine durchwurzelbare Bodenschicht → Wird bei der Wiederherstellung einer durchwurzelbaren Bodenschicht die Differenzierung zwischen Oberboden und Unterboden entsprechend dem Ausgangszustand beachtet?	<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>
8.2.7	• Bodenerosion → Wird die Bauphase ohne schützende Pflanzendecke (Flächenvorbereitung und Rekultivierungsabschnitte) soweit wie möglich begrenzt?	<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>
8.2.8	• Bauzeitenplan → Werden die Bodenarbeiten (Aushub, Aufmietung, Rekultivierung) gezielt in Phase mit wahrscheinlich trockenen Bodenverhältnissen (Sommerhalbjahr) gelegt?	<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>
8.2.9	→ Werden Bauunterbrechungen bei witterungsbedingten Vernässungen der Böden praktiziert?	<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>

* Wenn nein, dann sind geeignete, erforderliche und angemessene Maßnahmen zur Mängelbeseitigung festzulegen.

Checkliste 9: Prüfung der Ausführungen zum Standortgutachten

Nr.	Inhalte der Prüfung	Ja / Nein	Wenn nein Nf / Nb*
9.1	Standortgutachten vorgesehen? Wird dargelegt, ob ein Standortgutachten für Rekultivierungsabschnitte überhaupt vorgesehen ist? Wenn ja, weiter mit 9.2, ansonsten Nachforderung.	<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>
9.2	Erhebungsmethoden. Sind die dargestellten Erhebungsmethoden und zu erfassenden Bodeneigenschaften geeignet, die Rekultivierungsqualität entsprechend den Zulassungsbedingungen nachzuweisen?	<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> / <input checked="" type="checkbox"/>

* Erläuterung: Nf = Nachforderung; Nb = Nebenbestimmung

Checkliste 10: Prüfung der Sanierung von Rekultivierungsmängeln

Nr.	Inhalte der Prüfung	Ja / Nein *
10.1	Sind die auf der Grundlage der Überwachung oder des Standortgutachtens vorgesehenen Sanierungsmaßnahmen bodenschutzfachlich geeignet? Es ist bodenschutzfachlich nachvollziehbar zu begründen, mit welchen Maßnahmen die ermittelten Mängel beseitigt werden können.	<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>
10.2	Überprüfung der ergriffenen Maßnahmen zur Mängelbeseitigung. Kann ein Sanierungserfolg anhand bodenkundlicher Kontrollkriterien nach Tab. 11-2 nachgewiesen werden? (frühestens ein Jahr nach Sanierungsmaßnahme überprüfbar.)	<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>

* Wenn nein, dann sind geeignete, erforderliche und angemessene Maßnahmen zur Mängelbeseitigung festzulegen.

Checkliste 11: Prüfung des Konzeptes zur Folgebewirtschaftung

Nr.	Inhalte der Prüfung	Ja / Nein	Wenn nein Nf / Nb*
11.1	Zwischenbegrünung. Wird eine artenreiche und an die Standortbedingungen angepasste Zwischenbegrünung vorgesehen, die dazu geeignet ist, das Bodenleben und damit die Gefügeregeneration zu aktivieren und zu unterstützen?	<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> / <input checked="" type="checkbox"/>
11.2	Bewirtschaftung der Zwischenbegrünung. Sind bodenschonende Bewirtschaftungsmaßnahmen für die Phase der Zwischenbegrünung vorgesehen, die einer Verdichtung vorbeugen? Beispiele: <ul style="list-style-type: none"> • Eine Befahrung darf nur bei ausreichend abgetrocknetem Boden erfolgen. • Bei verdichtungsempfindlichen Böden oder bei anhaltend feuchten Böden sind Achslasten zu reduzieren bzw. bodenschonende Laufwerke zu verwenden. • Bei Grünlandnutzung maximal 2, in Ausnahmefällen 3 Schnitte/Jahr. Keine Beweidung, auch nicht Herbstbeweidung.	<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> / <input checked="" type="checkbox"/>
11.3	Abnahme.** Kann anhand bodenkundlicher Kontrollkriterien eine mängelfreie Abnahme erfolgen?	<input type="checkbox"/> / <input type="checkbox"/>	–

* Erläuterung: Nf = Nachforderung; Nb = Nebenbestimmung

** Wenn nein, dann sind geeignete, erforderliche und angemessene Maßnahmen zur Mängelbeseitigung festzulegen.

HESSEN



**Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz,
Landwirtschaft und Verbraucherschutz**

Referat Vorsorgender Bodenschutz, Bodenschutzrecht

Mainzer Straße 80
65189 Wiesbaden

E-Mail: poststelle@umwelt.hessen.de

Internet: www.umweltministerium.hessen.de