

Erhaltung fruchtbaren und kulturfähigen Bodens bei Flächeninanspruchnahmen

**Umweltministerium
Baden-Württemberg**

**Luft
Boden
Abfall**



Heft 10



~~6.3.1/10~~
IX,08
002,010

Erhaltung fruchtbaren und kulturfähigen Bodens bei Flächeninanspruchnahmen

**Untersuchung des Geologischen Landesamts Baden-Württemberg
im Auftrag des
Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft,
Umwelt und Forsten
Baden-Württemberg**

Forschungsprojekt Ordn.-Nr. 64-87.38:

Technische und organisatorische Voraussetzungen
für die
Erhaltung fruchtbaren und kulturfähigen Bodens
bei Flächeninanspruchnahmen durch Überbauung,
Versiegelung und sonstige Maßnahmen

Bearbeiter: F. Zwölfer, M. Geiß, P. Adam,
K. Heinrichsmeier, H. Herrmann

20. FEB. 1995

Landesanstalt für Umweltschutz
Baden-Württemberg

Inventar-Nr.: 89/122, 10
z. Ex.

Herausgeber: Umweltministerium Baden-Württemberg
Kernerplatz 9, 70182 Stuttgart

Redaktion, Satz
und Gestaltung: Geologisches Landesamt Baden-Württemberg

Herstellung: Steinmann Druckerei & Verlag GmbH
Rimsinger Weg 18, 79111 Freiburg i. Br.

UM-9-94; 3. überarbeitete Auflage 1994

Diese Reihe wird auf Papier mit 100% Altpapieranteilen gedruckt

Vorwort



Sparsamer und schonender Umgang mit dem Boden sind zentrale Anliegen bei jeder Form von Flächeninanspruchnahmen, sei es durch Überbauung, Rohstoffabbau oder sonstige Vorhaben.

Diesen Zielen tragen das Bodenschutzprogramm der Landesregierung und das Landesbodenschutzgesetz in besonderer Weise Rechnung. Zudem hat das Umweltministerium – damals noch als Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Umwelt und Forsten – im Jahre 1987 beim Geologischen Landesamt Baden – Württemberg eine Untersuchung zum Bodenschutz bei Flächeninanspruchnahmen in Auftrag gegeben. Die Ergebnisse werden mit der vorliegenden Veröffentlichung einem weiten Kreis berührter Stellen, den Städten, Gemeinden und Genehmigungsbehörden sowie interessierten Bürgern zur Verfügung gestellt.

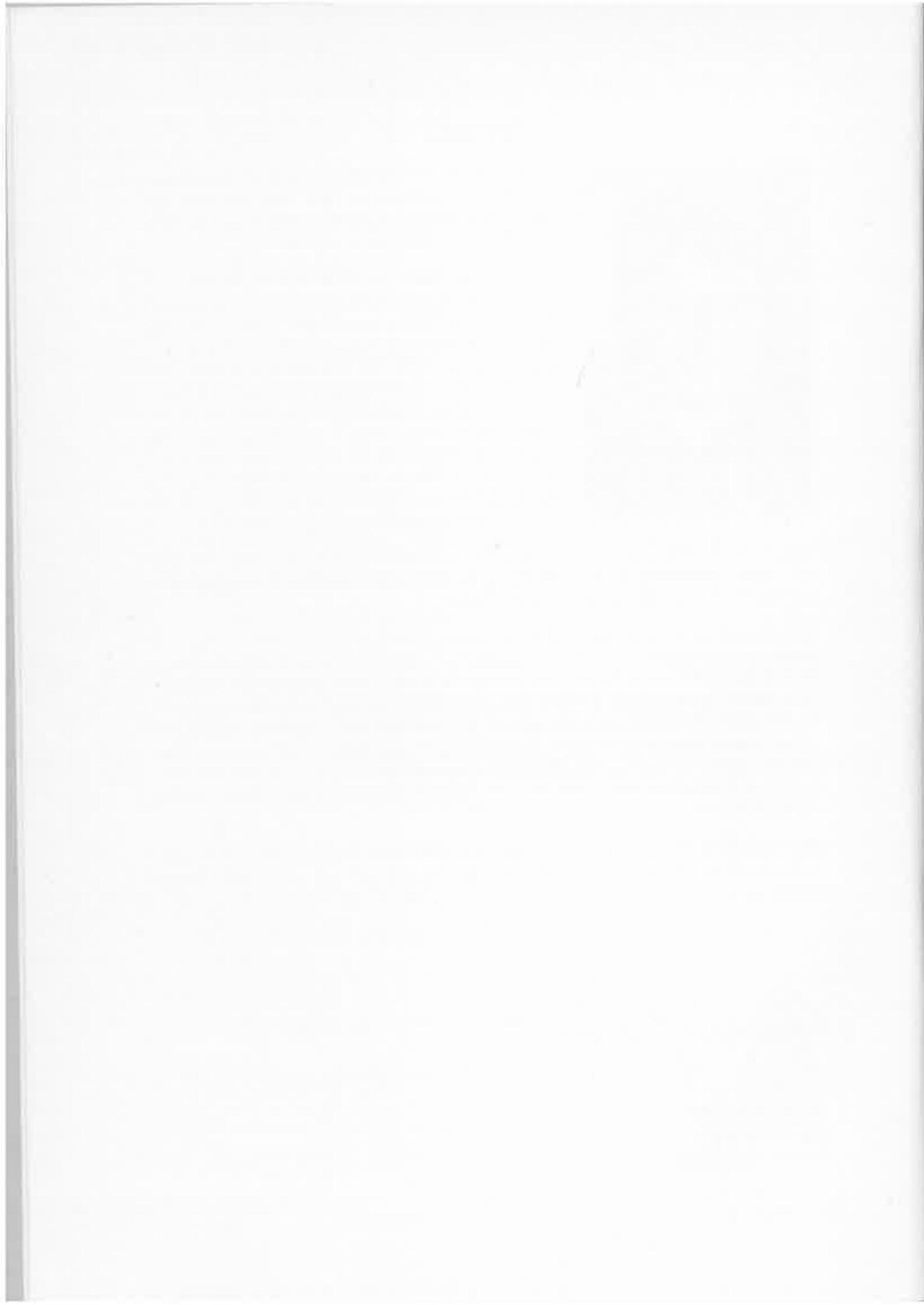
Damit soll erreicht werden, daß die zahlreichen wertvollen Anregungen und Hinweise bei den Trägern von Baumaßnahmen, Planern und Ausführenden Beachtung und Eingang in die Praxis des täglichen Baugeschehens finden.

Im Einzelfall kann der – nicht erst im Bodenschutzgesetz Baden – Württemberg (§ 4, Abs.2), sondern schon vom Bundesgesetzgeber vorgeschriebene (§ 202 BauGB) – Schutz des nicht vermehrbaren Umweltgutes Boden etwas höhere Kosten verursachen. Aber gerade die in jüngster Zeit im Lande bekanntgewordenen Bodenkontaminationen, die teilweise nur noch durch Bodenaustausch zu beheben sind, zeigen, wie wichtig der schonende Umgang mit humosem Oberboden und kulturfähigem Unterboden ist. Das gilt umso mehr, da in einem dichtbesiedelten Land wie Baden – Württemberg maßvolle Flächeninanspruchnahmen im Interesse der weiteren Entwicklung auch künftig nicht zu vermeiden sind.

Die Tatsache, daß bereits die dritte Auflage gedruckt werden muß, beweist, daß die Broschüre auf eine große Nachfrage bei interessierten Bürgern und betroffenen Stellen stößt.

A handwritten signature in black ink, reading "Harald B. Schäfer". The signature is written in a cursive, flowing style.

Harald B. Schäfer
Umweltminister
Baden – Württemberg



Inhalt

	Seite
1	Einführung 6
2	Eigenschaften und Vorkommen von fruchtbarem und kulturfähigem Boden 7
2.1	Eignung als Kulturpflanzenstandort 7
2.2	Empfindlichkeit gegen Umlagerungen 8
2.2.1	Verdichtung 8
2.2.2	Zerstörung der Grobporenkontinuität 11
2.3	Regenerations- und Meliorationsfähigkeit umgelagerter Böden 12
2.4	Gesamtbeurteilung verschiedener Böden 12
2.5	Wichtige Vorkommen kulturfähiger Böden in Baden-Württemberg 14
3	Gewinnung und Wiederverwendung des kulturfähigen Bodens 15
3.1	Trennung verschiedener Bodenhorizonte und -schichten 15
3.2	Allgemeine Grundsätze für die technische Durchführung der Kulturbodenarbeiten 16
3.3	Gewinnung des Kulturbodens 17
3.3.1	Abtrag des Mutterbodens 17
3.3.2	Ausbau des kulturfähigen Unterbodens 17
3.4	Zwischenlagerung des Kulturbodens 18
3.4.1	Nachteile und Gefahren der Zwischenlagerung 18
3.4.2	Anlage und Pflege von Mutterbodenmieten 18
3.4.3	Zwischenlagerung von kulturfähigem Unterboden 19
3.5	Wiederverwendung des kulturfähigen Bodens 21
3.5.1.	Meliorationen mit geringmächtigem Bodenauftrag (<60 cm) 21
3.5.2	Rekultivierung 21
3.5.2.1	Mächtigkeit des Bodenauftrags 21
3.5.2.2	Untergrund- und Geländegestaltung 22
3.5.2.3	Vorgehen beim Bodenauftrag 23
3.5.2.4	Landwirtschaftliche Erstbewirtschaftung und Meliorationen 24
3.6	Zur fachtechnischen Planung von Rekultivierungsmaßnahmen 24
4	Überlegungen zur staatlichen und privatwirtschaftlichen Regelung der Erhaltung und Wiederverwendung von kulturfähigem Boden 27
	Literatur 30
	Anhang I Ergebnisse von Kompressionsversuchen im Labor 31
	Anhang II Ansaaten für die Begrünung von Mutterbodenmieten 41
	Anhang III Begriffserklärungen 43

1 Einführung

Im Bodenschutzprogramm '86 Baden-Württemberg wird dem Schutz des Mutterbodens und des kulturfähigen Unterbodens bei allen flächenbeanspruchenden Baumaßnahmen hohe Priorität zuerkannt. Auch das Bodenschutzgesetz Baden-Württemberg vom 24.6.1991 verpflichtet jedermann zu einem sparsamen und schonenden Umgang mit dem Boden (§4); Die Wiederverwendung von geeignetem Bodenaushub ist somit eine direkte Forderung des Gesetzes. Neben den spektakulären Tagesthemen des Bodenschutzes, die sich immer mehr auf Probleme der Schadstoffbelastung konzentrieren, droht diese Forderung in Vergessenheit zu geraten. Ihre Bedeutung und Aktualität sollte jedoch gerade angesichts des wieder zunehmenden Bauflächenbedarfs nicht unterschätzt werden. In Baden-Württemberg wurden im Jahre 1993 ca. 13 Millionen t oder etwa 9 Millionen m³ Bodenaushub auf Hausmüll-, Erd- und Bauschuttdeponien abgelagert. Dieser Bodenaushub tritt nun in der Statistik als „beseitigter Abfall“ und in der Landschaft meist als fremdartige Erhebung auf. Bei schonendem Umgang mit dem Bodenaushub hätten mit einem Teil der auf Deponien abgelagerten Menge Flächen von mehreren 100 ha rekultiviert oder durch Bodenauftrag verbessert werden können.

Die Erhaltung und Wiederverwendung von kulturfähigem Bodenaushub ist kein Selbstzweck. Sie dient der Rekultivierung von Flächen mit zerstörtem Boden wie Kiesgruben, Steinbrüchen, Deponien, aufgelassenen Straßen u.a. Sie ermöglicht aber auch eine Verbesserung geringwertiger, flachgründiger Böden. Solche Maßnahmen sind nicht nur im Hinblick auf land- und forstwirtschaftliche Nutzungsinteressen zu begrüßen, sie stellen auch einen wesentlichen Beitrag zum Grund- und Hochwasser-

schutz dar. Die vor Schadstoffeintrag schützende Deckschicht über grundwasserführenden Kiesen oder Festgesteinen wird ebenso wie die Wasserspeicherkapazität und damit die abflußdämpfende Wirkung der Böden bei hochwasserwirksamen Regenereignissen entscheidend erhöht und verbessert. Insofern trägt ein fachgerechter Bodenauftrag zur Erhaltung und Verbesserung der nach dem Bodenschutzgesetz schützenswerten Bodenfunktionen bei. Hinzu kommt, daß die Wiederverwendung von Bodenaushub für Rekultivierungen und Bodenverbesserungen teure Deponieflächen einsparen hilft, also nicht nur die Landschaft, sondern auch öffentliche und private Finanzen schont. Kurz gesagt: Wenn schon Flächen verbraucht werden und Boden sein „Heimatrecht“ verliert und ausgebaut wird, dann ist es ein Gebot der Ökologie und Ökonomie, kulturfähigen Bodenaushub sinnvoll wiederzuverwenden.

Nicht jeder Bodenaushub ist für die Wiederverwendung geeignet, also „kulturfähig“. Auch kulturfähiger Boden kann durch unsachgemäßes Vorgehen bei der Umlagerung irreparable Schäden erleiden. Anfall und Wiederverwendung des Kulturbodens sollten räumlich und zeitlich aufeinander abgestimmt sein. Zu große Transportwege sind aus Gründen der Wirtschaftlichkeit und Umweltbelastung nicht vertretbar, lange Zwischenlagerungszeiten erhöhen den Flächenbedarf. Diese vielschichtige, bodenkundliche, technische und organisatorische Fragen umfassende Problematik ist Gegenstand der vorliegenden Arbeit. Sie basiert auf Gelände- und Laboruntersuchungen des Geologischen Landesamts, auf langjährigen, bei der Beratungstätigkeit des Amtes gesammelten Erfahrungen in Rekultivierungsfragen, auf Literaturrecherchen und Umfragen bei Behörden und Unternehmen.

2 Eigenschaften und Vorkommen von fruchtbarem und kulturfähigem Boden

Der Begriff „kulturfähiger Boden“ ist von den großräumigen Rekultivierungsmaßnahmen im Tagebau des rheinischen Braunkohlenreviers her bekannt. Auf den mit sandig-kiesigem Material verkippten Abbauflächen, den sogenannten Rohkippen, soll dort durch Auftrag von kulturfähigem Boden wieder eine landwirtschaftliche oder forstwirtschaftliche Nutzung ermöglicht werden, also wieder Kulturland gewonnen werden. Die Ansprüche an die Beschaffenheit des kulturfähigen Bodens sind dabei je nach der beabsichtigten Nutzung recht unterschiedlich. Bei landwirtschaftlicher Nutzung sind weitgehend steinfreie Löß- und Lößlehmschichten vorgeschrieben, bei forstwirtschaftlicher Nutzung kommen auch Gemische aus sandig-kiesigen Abraumschichten mit Löß oder anderen bindigen Bodenarten in Betracht (Richtlinien 1973 a, b).

Daß im Braunkohlenrevier nur Löß und Lößlehm für landwirtschaftliche Rekultivierungen verwendet wird, hat seine Ursache in der bekannten Fruchtbarkeit der Lößböden, ist aber nur deshalb möglich, weil dort Löß in ausreichenden Mengen vorkommt. In anderen Tagebauen sind diese Voraussetzungen nicht gegeben, es muß dort mit den ursprünglich vorhandenen Böden vorlieb genommen werden: Beim Gipsabbau sind es häufig tonige Keuperböden (KNAUF o. J.), beim Kiesabbau im Alpenvorland kiesige Moränenböden (AMSLER u. a. 1987). Auch diese Böden sind kulturfähig, wie die erzielten Rekultivierungserfolge erkennen lassen.

Die Beispiele zeigen, daß in Abhängigkeit von der geplanten Nutzung der Auftragsfläche und den örtlichen Gegebenheiten ganz verschiedene Bodensubstrate als kulturfähig bezeichnet werden. Löß steht dabei infolge seiner großen Verbreitung, seiner oft großen Mächtigkeit und seiner günstigen Eigenschaften an erster Stelle; kulturfähiger Boden muß also nicht Boden im pedologischen Sinne sein, Lockergesteine kommen ebenso in Frage.

Eine umfassende Definition des Begriffs lautet:

Kulturfähig sind Boden- und Lockergesteinsschichten, die ein geeignetes Substrat für Kulturpflanzen darstellen und bei einer Umlagerung diese Eigenschaft nicht verlieren bzw. in absehbarer Zeit wieder gewinnen.

Beurteilungskriterien sind also die Eignung als Kulturpflanzenstandort, die Empfindlichkeit gegen Umlagerungen und die Regenerationsfähigkeit nach der Umlagerung. Sie werden im nächsten Abschnitt behandelt.

2.1 Eignung als Kulturpflanzenstandort

Bei mineralischen Bodenschichten ist die Bodenart entscheidend: von ihr hängen Wasser- und Nährstoffversorgung sowie Durchlüftung und Durchwurzelbarkeit in starkem Maße ab. In der Reihe Sand-Lehm-Ton stellen Lehmböden mit 15–25% Tonanteilen das ökologische Optimum dar, bei der Bewertung durch die Bodenschätzung erzielen sie die höchste Punktzahl (maximal 100). Neben Lehm ist auch tonarmer Schluff bei nicht zu dichter Lagerung ein gut geeignetes Substrat, weshalb selbst Rohlöß ohne Bodenbildung als Kulturpflanzenstandort brauchbar ist. Von geringerer Qualität sind Sande, Tone und steinige Bodenarten; stark steinige Böden und Skelettböden mit Stein- oder Kiesgehalten über 45 Gew.% sowie Festgesteine sind ungeeignet. Bei der Beurteilung ist jedoch folgendes zu berücksichtigen:

1. *Die Eignung ist vom Klima abhängig:* Im niederschlagsreichen Schwarzwald sind grusig-sandige Böden trotz ihrer geringen Wasserhaltekapazität ertragreiche Grünlandstandorte, in Trockengebieten des Rheintals wären sie ohne künstliche Bewässerung landwirtschaftlich kaum zu nutzen. Würde man die im Rheintal fruchtbaren Lößböden auf den Schwarzwald „umsiedeln“, so entstünden dort infolge Erosion und Bodenvernäsung landbauliche Grenzstandorte.
2. *Die Eignung ist vom Zweck der Wiederverwendung, also von der geplanten Nutzungsart abhängig:* Steinige Lehmböden und schwere Tonböden können ertragreiche Wiesen oder wüchsige Wälder tragen, für den Ackerbau sind sie problematisch. Sandböden liefern hohe Erträge im Spargel- und Tabakbau, als Weizen- oder Zuckerrübenstandorte sind sie uninteressant.

Organische Bodenschichten (Torfe) stellen zwar in ungestörter Lagerung am Ort ihrer Entstehung oft geeignete Kulturpflanzenstandorte dar, sind aber nach einer Umlagerung nur als Bodenverbesserungsmittel zu verwenden (Einmischung in den Oberboden).

Obwohl die Bodenart in der Praxis zunächst das wichtigste Kriterium ist, um über die Wiederverwendung von Bodenaushub zu entscheiden, dürfen **chemische Eigenschaften** nicht außer acht gelassen werden. Insbesondere Waldböden sind oft stark versauert und bedürfen dann einer Aufkalkung oder Vermischung mit kalkhaltigen Bodenschichten. Vor allem in Siedlungsnähe oder im Einflußbereich von

Emittenten ist auf eine eventuelle Schadstoffbelastung zu achten. Schadstoffbelastungen können das Pflanzenwachstum beeinträchtigen und eine Gefahr für die Nahrungskette und das Grundwasser darstellen.

2.2 Empfindlichkeit gegen Umlagerungen

Neben der Korngrößenzusammensetzung der festen Bodenteilchen, der Bodenart, bestimmt ihre räumliche Anordnung, also das **Bodengefüge**, die ökologischen Eigenschaften, insbesondere den Wasser- und Lufthaushalt sowie die Durchwurzelbarkeit eines Bodens. Jede Bodenumlagerung stellt einen starken Eingriff in das Bodengefüge dar. Gefügestörungen sind daher das Hauptproblem bei allen Rekultivierungen und Meliorationen durch Bodenauftrag. Dabei ist zu unterscheiden zwischen der Verdichtung (Abnahme des Porenvolumens) und der Zerstörung des zusammenhängenden Hohlraumsystems, der Porenkontinuität. Letztere stellt sich auch bei verdichtungsfreier Umlagerung oft erst nach langen Zeiträumen wieder ein.

2.2.1 Verdichtung

(1) Bei Bodenverdichtungen werden die für Durchlüftung und Wurzelwachstum wichtigen weiten Drän- oder Grobporen (Luftkapazität) am stärksten betroffen.

Abb. 1 zeigt ein charakteristisches Beispiel der im Anhang (Tab. A2) zusammengestellten Ergebnisse von Kompressionsversuchen im Labor. Sie lassen folgende Gesetzmäßigkeiten bei der Bodenverdichtung unter den gewählten Versuchsbedingungen erkennen:

- das Volumen der **weiten Grobporen** (= Luftkapazität LK) nimmt immer ab, oft sogar stärker (im Beispiel um 15,5 %) als das Gesamtporenvolumen (6,7 %)
- das Volumen der **engen Grobporen** kann zu- oder abnehmen (im Beispiel Abnahme um 1,5 %)
- das Volumen der **Mittelporen** nimmt meist zu (im Beispiel um 9,6 %)
- das Volumen der **Feinporen** bleibt meist fast unverändert, selten ist eine Zunahme festzustellen.

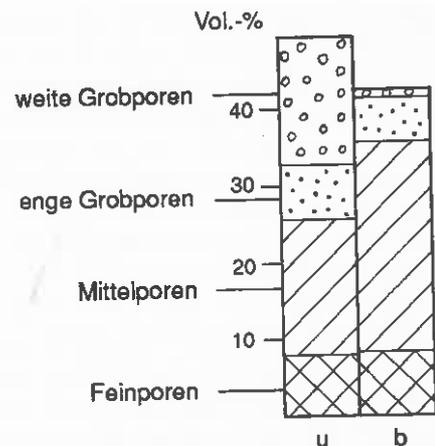


Abb. 1: Änderung des Gesamtporenvolumens und der Porengrößenverteilung durch Verdichtung ungestörter Proben aus dem Oberboden einer Lößpararendzina

u = unbelastet; b = belastet (60 N/cm²)*

*1 N (Newton)/cm² = 0,1 bar (entspricht 0,1 kg/cm²)

(2) Starke Bodenverdichtungen führen auch zu einer Abnahme der engen Grobporen und der Mittelporen (nutzbare Feldkapazität nFK)*.

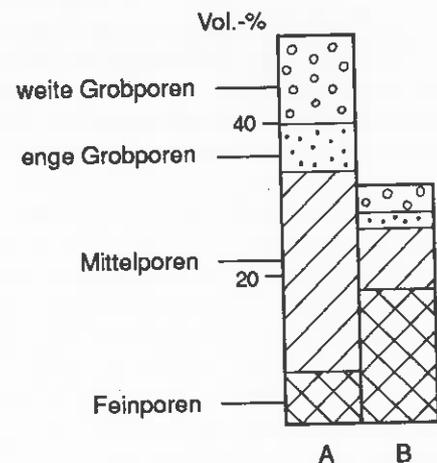


Abb. 2: Gesamtporenvolumen und Porengrößenverteilung in einem ungestörten (A) und in einem umgelagerten Löß (B) am Kaiserstuhl

* Die nutzbare Feldkapazität ist der pflanzenverfügbare Anteil der Wassermenge, die ein grundwasserfreier Boden maximal speichern kann und entspricht etwa dem Volumen der Mittelporen und engen Grobporen.

Die im Laborversuch bei statischer Belastung erreichte Bodenverdichtung stellt nicht die maximal mögliche Verdichtung dar. Das Gesamtporenvolumen (GPV) liegt bei stärkster Belastung um 40 % und darüber, nur in seltenen Fällen deutlich darunter. In

Auftragsböden aus Löß und Lößlehm treten jedoch häufig GPV unter 40% auf, im Extremfall wurden 31% gefunden (Abb. 2). Bei einer „rekultivierten“ (!) Fläche aus schwach lehmigem Sand, auf der eine Baumpflanzung vollständig abstarb, konnte sogar ein minimales GPV von 25% festgestellt werden (unveröffentlichte Daten des Geologischen Landesamtes). Auch SCHRÖDER (1988) weist nach, daß in rekultivierten Lößböden die GPV deutlich unter 40% liegen können.

Abb. 2 zeigt, daß bei starker Bodenverdichtung neben der LK auch die nFK abnehmen kann, während das Feinporenvolumen (Totwasser) zunimmt. Die Standortseigenschaften eines so verdichteten Bodens sind nicht nur durch Luftmangel, sondern infolge geringer nFK auch durch Wassermangel in Trockenperioden gekennzeichnet.

(3) Die Verdichtungsgefährdung ist von der Bodenart abhängig.

Da zwischen Korn- und Porengröße in dicht gelagerten Böden eine enge Beziehung besteht, ist zu erwarten, daß das Grobporenvolumen in verdichteten Böden mit abnehmender Korngröße zunehmend kritische Werte unterschreitet.

Bei den Kompressionsversuchen im Labor wurde in allen Lehmen und Schluffen nach der stärksten Belastung (60 N/cm²) eine sehr geringe bis geringe Luftkapazität (<5%) festgestellt (s. Anhang I). Nur im Sand war auch nach der stärksten Belastung die Luftkapazität noch hoch (Abb. 3). Dieses Ergebnis entspricht der bekannten Tatsache, daß bei dichter Lagerung die Luftkapazität in Schluff-, Lehm- und Tonböden gering ist, in Sandböden dagegen hoch (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1989).

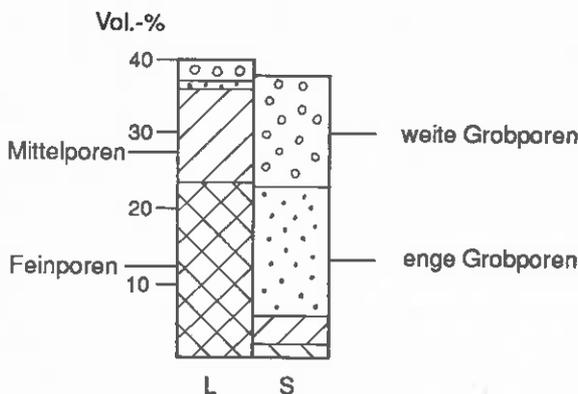


Abb. 3: Gesamtporenvolumen und Porengrößenverteilung eines Lehmbodens (L) und eines Sandbodens (S) nach starker Belastung (60 N/cm², vgl. Tab. A 9)

Einen Überblick über die Porengrößenverteilung der wichtigsten Bodenarten bei geringer und hoher Lagerungsdichte gibt Abb. 4 (AG Bodenkunde 1982). Danach ist die Beeinträchtigung des Wasser- und Lufthaushalts durch Dichtlagerung

- bei Sanden gering (eine gewisse Dichtlagerung ist sogar erwünscht)
- bei lehmigen Sanden mäßig (mittlere Luftkapazität)
- bei Schluffen und Lehmen hoch (geringe Luftkapazität)
- bei tonigen Lehmen und Tonen sehr hoch (sehr geringe Luftkapazität und deutliche Abnahme der nutzbaren Feldkapazität).

Daß bei extremer Verdichtung alle Bodenarten außer reinen Sanden ihre Eignung als Kulturpflanzenstandort verlieren können, darauf wurde schon im Absatz (2) dieses Kapitels hingewiesen.

(4) Bei der Umlagerung aufgelockerte Böden sind verdichtungsempfindlicher als ungestörte Böden mit höherer Lagerungsdichte.

Bekanntlich ist die Tragfähigkeit, d.h. der Widerstand gegen Zusammendrückung bzw. Verdichtung bei frisch geschütteten Böden ebenso wie bei einem frisch gepflügten Acker besonders gering: Je lockerer ein Boden ist, desto empfindlicher reagiert er auf Belastungen. Daher bewirkt die erste Überfahrt auf einem frisch geschütteten Boden die größte Abnahme des Gesamtporenvolumens. Dies zeigen auch die Kompressionsversuche: Die Porenvolumenabnahme durch Belastung ist bei gestörten Proben mit höherem Ausgangsporenvolumen deutlich größer als bei ungestörten Proben mit geringerem Ausgangsporenvolumen. Dieser Zusammenhang erscheint selbstverständlich. Es erhebt sich jedoch die Frage, ob durch Umlagerung oder sonstige Maßnahmen aufgelockerte Böden nach gleicher Beanspruchung im Endeffekt ein geringeres Porenvolumen oder eine ungünstigere Porengrößenverteilung aufweisen als ungestörte Böden mit höherer Vorverdichtung.

Abb. 5 zeigt, daß diese für die Praxis so bedeutsame Frage nicht pauschal zu beantworten ist: Auch nach starker Belastung ist das Porenvolumen gestörter Bodenproben meist noch etwas höher als das Porenvolumen ungestörter Proben. Die Luftkapazität als pflanzenbaulich entscheidendes Kriterium der Bodenverdichtung ist jedoch sehr stark reduziert und in keinem Fall höher, in 2 Fällen (A2 = Löß, C2 = Aue-

lehm) sogar deutlich geringer als bei ungestörten Proben. Diese beiden Proben haben die geringsten Tongehalte der Untersuchungsreihe (A2 = 7 %, C2 = 18 %), ihr Gefüge ist kohärent, ihre hohe ursprüngliche Luftkapazität (12 %) beruht also nicht auf einer Porenvergrößerung durch Aggregation wie bei tonreicheren Böden, sondern ist in erster Linie biogen

(Wurzeln, Bodentiere), und die Grobporen sind vor allem beim Löß durch Kalkausfällungen stabilisiert. Hier wirken sich daher mechanische Eingriffe durch Homogenisierung im Labor ebenso wie durch Umlagerungen für Rekultivierungszwecke besonders stark aus.

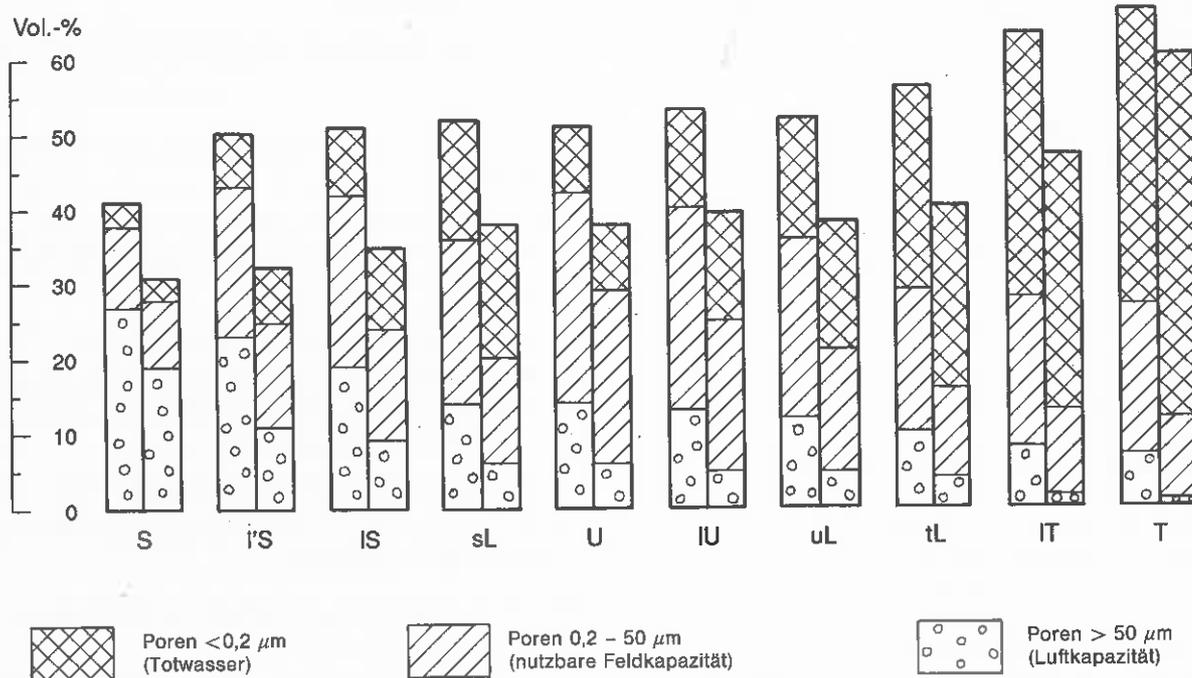


Abb. 4: Porengrößenverteilung verschiedener Bodenarten bei geringer (1. Säule) und hoher (2. Säule) Lagerungsdichte

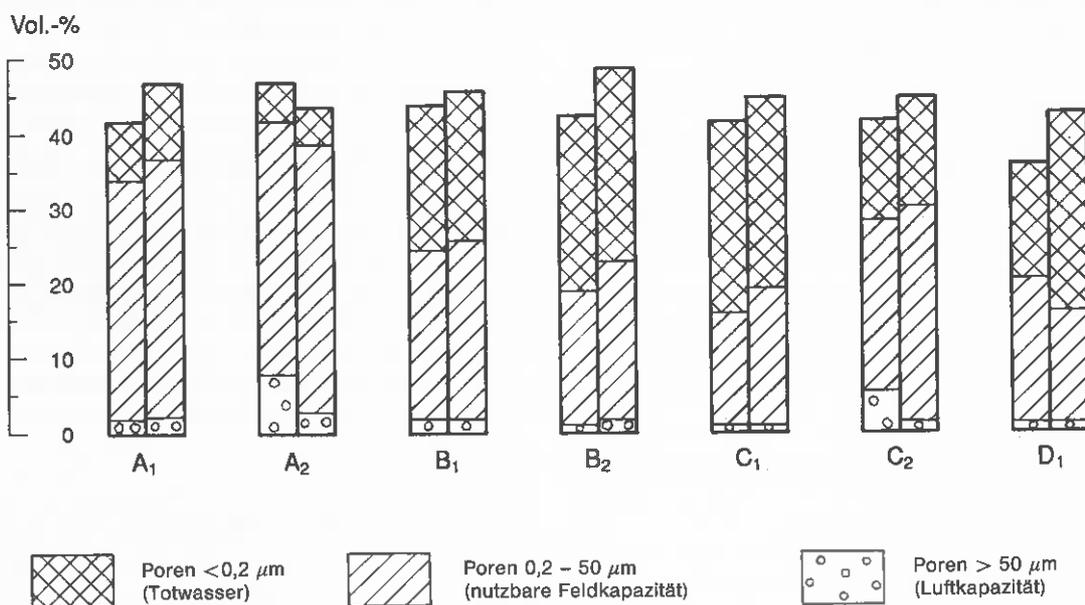


Abb. 5: Gesamtporenvolumen und Porengrößenverteilung ungestörter (1. Säule) und gestörter (2. Säule) Bodenproben nach Belastung mit 60 N/cm² bei pF 1,8 (vgl. Tab. A2 bis A9) *

* Der pF-Wert ist ein Maß für die Saugspannung, unter der das Bodenwasser steht: pF = log cm WS (WS = Wassersäule)

Noch gravierender als der im Labor festzustellende Einfluß der Lagerungsdichte auf die Verdichtbarkeit ist die Tatsache, daß die vertikale Druckfortpflanzung einer Auflast im Boden umso tiefer reicht, je lockerer der Boden und je geringer damit sein Scherwiderstand ist (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1989). Da Bodenverdichtungen, die tiefer als 60–80 cm unter Geländeoberfläche liegen, kaum mehr zu beseitigen sind, hat dies größte Bedeutung für die Rekultivierungspraxis. Darauf wird im Abschnitt 3 näher eingegangen.

(5) In der Praxis sind Bodenfeuchte und Konsistenz die ausschlaggebenden Faktoren.

Bei der Verdichtung ändern die Einzelkörner und Aggregate des Bodens ihre Lage zueinander, es müssen also Reibungswiderstände und Kohäsionskräfte überwunden werden. Mit zunehmendem Wassergehalt werden aber Reibung und Kohäsion stark vermindert. Bindige Böden sind daher im trockenen Zustand hart, nicht formbar und können nahezu „spurlos“ befahren werden, im sehr feuchten Zustand weich, leicht formbar und nicht zu befahren. Verformbarkeit und Verdichtbarkeit sind zwar nicht gleichzusetzen, da der für die Gesamtverdichtung optimale Wassergehalt niedriger als der maximale Wassergehalt ist, wie die Proctorversuche der Bodenmechanik zeigen. In feinkörnigen Böden werden jedoch bei starker Verformung oder Verknetung die Aggregate und damit die als Sekundärporen zwischen den Aggregaten vorliegenden Grobporen zerstört. Selbst bei gleicher Gesamtverdichtung ist daher das Gefüge naß verdichteter Böden weitaus ungünstiger als das Gefüge trocken verdichteter Böden.

Bei bindigen Böden (Lehme, Tone) ist die Konsistenz das wichtigste Kriterium zur Beurteilung ihrer Umlagerungsfähigkeit. Bei der Umlagerung breiiger und weicher Böden ist der Mißerfolg vorprogrammiert. Steife Böden sind noch gut formbar und daher nur bedingt umlagerungsfähig. Am wenigsten empfindlich sind halbfeste und feste Böden mit Wassergehalten unterhalb der Ausrollgrenze, wobei aber feste Tone kaum mehr zu bearbeiten sind.

Bei schwach bindigen Böden (lehmiger Sand, Schluff) ist die Konsistenzansprache schwierig und ungenau, da sowohl der plastische als auch der feste Zustand bei ihnen wenig ausgeprägt ist. Besser ist die Feuchteansprache nach dem Augenschein (AG Bodenkunde 1982). In Analogie zu der Beurteilung bindiger Böden sind nasse und stark feuchte Böden für die Umlagerung ungeeignet, feuchte Böden be-

dingt geeignet, am wenigsten empfindlich schwach feuchte und trockene Böden.

Der pF-Wert des Bodens liegt im Bereich der Ausrollgrenze bzw. an der Grenze schwach feucht/feucht bei 2,7, an der Grenze steif/weich bzw. feucht/stark feucht bei 2,1 (AG Bodenkunde 1982). Daraus folgt, daß Böden bei Feldkapazität ($pF \approx 1,8$) für die Umlagerung immer zu feucht sind und ein geeigneter Feuchtezustand nur nach längeren Trockenzeiten des Sommerhalbjahres eintritt. Nach einem trockenen Herbst kann dieser Zustand noch bis in den Winter hinein erhalten bleiben.

Die Konsistenz wirkt sich ebenso wie die Lagerungsdichte auf die Druckfortpflanzung im Boden aus: In weichen Böden ist die Tiefenwirkung einer Auflast weitaus größer als in festen Böden.

2.2.2 Zerstörung der Grobporenkontinuität

Im Abschnitt 2.2.1 wurde der Gehalt an weiten Grobporen (= Luftkapazität) als wichtigstes Kriterium für die Beurteilung von Bodenverdichtungen herangezogen. Es leuchtet ein, daß diese Grobporen ihre Funktion als Durchlüftungs- und Dränporen nicht erfüllen können, wenn sie – wie in einem Tilsiter Käse – isoliert und ohne Verbindung miteinander vorliegen. Neben der Luftkapazität ist also die Kontinuität der Grobporen von entscheidender Bedeutung.

In feinkörnigen Böden (Schluffen, Lehmen, Tonen) spielen bei der Entstehung von Grobporen Organismen (Wurzel- und Wurmgänge) sowie Schrumpfungsvorgänge (Risse) eine wichtige Rolle. Grobporen zeichnen sich daher auf Grund ihrer Entstehung oft durch eine stark ausgeprägte Kontinuität aus (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1989). Durch die Umlagerung werden solche röhren- oder rißförmigen Hohlraumssysteme selbstverständlich zerstört. Dies geschieht im Prinzip auch beim Pflügen und ist ein wichtiges Argument für die pfluglose Bodenbearbeitung. Es ist aber besonders gravierend bei Unterböden, die nicht immer wieder gelockert werden können und daher auf ein stabiles, funktionsfähiges Grobporensystem angewiesen sind.

In Schluffböden (Löß, viele kolluviale und alluviale Ablagerungen) stellen biogene Röhren die wichtigsten Grobporen dar, da diese Böden kaum zur Rißbildung durch Schrumpfung neigen. Oft sind diese Röhren schon während der sukzessiven Sedimentation entstanden und durch Kalkausfällungen stabili-

siert. Der Löß sowie viele kolluviale und alluviale Schluffböden verdanken dieser Tatsache ihre gute oder zumindest noch ausreichende Durchlüftung und Wasserdurchlässigkeit. Durch Umlagerungen gehen diese wesentlichen Gefügeelemente verloren.

Mit zunehmendem Tongehalt übernehmen Schrumpfrisse die Funktion des Grobporensystems. Große, durchgehende Risse sind meist vertikal orientiert und damit für die Entwässerung des Bodens von Bedeutung. Bei Bodenumlagerungen werden diese Leitbahnen zerstört. Durch verzweigte Rißsysteme entstehen vielseitig begrenzte Aggregate. Im Idealfall – bei sehr schonender Umlagerung und fester Konsistenz – können diese Aggregate und damit ein zusammenhängendes Grobporensystem wie zwischen Sand- oder Feinkieskörnern erhalten bleiben. In der Praxis werden jedoch durch Bodenumlagerungen Aggregate zerstört, so daß auch bei Tonböden die Grobporenkontinuität stark beeinträchtigt wird.

2.3 Regenerations- und Meliorationsfähigkeit umgelagerter Böden

Starke Unterbodenverdichtungen führen zu Luftmangel und Wasserstau. Umgelagerte Böden können sich daher zu Pseudogleyen (Stauwasserböden) entwickeln, deren Eigenschaften insbesondere für die landwirtschaftliche Nutzung nachteilig sind. Diese Entwicklung ist – ohne Melioration – nicht umkehrbar, wie das natürliche Vorkommen von Pseudogleyen in unserem Klima beweist.

Dichtlagerungen des Unterbodens sind demnach persistent, und die leider verbreitete Vorstellung, daß die Zeit Gefügeschäden in umgelagerten Böden heilt, ist falsch. Dies wird auch durch eigene Untersuchungen an umgelagerten Lößböden in Rebflurbereinigungsgebieten belegt, wo nach 20 Jahren noch extreme Verdichtungen gefunden wurden (vgl. Abb. 2). Ebenso stellt SCHRÖDER (1988) fest, daß die bodenphysikalischen Eigenschaften geschütteter Lößböden sich im Laufe der Zeit wenig ändern, lediglich in der Krume konnte eine Zunahme der Aggregatstabilität nachgewiesen werden.

Im Abschnitt 2.2.2 wurde dargelegt, daß durch die Umlagerung auch bei Vermeidung von Verdichtungen infolge der Zerstörung des zusammenhängenden Porensystems Durchlüftung und Dränung

des Bodens beeinträchtigt werden. In umgelagerten Böden ist daher die Wiederbelebung von eminenter Bedeutung, denn durch Wurzeln und Bodentiere können wieder zusammenhängende Grobporen geschaffen werden. In tonarmen Schluffböden liegt darin die einzige Chance für eine natürliche „Regeneration“ des Unterbodens. In tonigen Böden entsteht zusätzlich durch Schrumpfung ein vertikales Hohlraumsystem, das die Entwässerung und Durchwurzelung des Bodens fördert (s. Abschn. 2.2.2); eine günstige Bodenentwicklung kann daher bei ihnen eher einsetzen. Eine solche Entwicklung reicht jedoch je nach Klima maximal bis zu einer Tiefe von 1 – 2 m.

Bei der Umlagerung stark und bleibend geschädigte Böden müssen durch Tieflockerung oder Dränung melioriert werden. Der Erfolg hängt von der Mächtigkeit der verdichteten Bodenschichten und der Bodenart ab. Auch hier stellen in der Praxis tonarme Schluffe das größte Problem dar infolge ihrer geringen Gefügestabilität und hohen Verschlammungsneigung. Generell kann gesagt werden, daß nach einer guten Rekultivierung Meliorationen meist nicht erforderlich werden, die Folgen einer schlechten Rekultivierung aber auch durch Meliorationen oft nicht zu beheben sind.

2.4 Gesamtbeurteilung verschiedener Böden

Im Abschnitt 2.1 wurde dargelegt, daß die Eignung von Bodenaushub für die Wiederverwendung von den Klimaverhältnissen und der geplanten Nutzung abhängt. In Tabelle 1 wird eine Gesamtbeurteilung der wichtigsten Bodenarten für verschiedene Nutzungsarten unter verschiedenen Klimaverhältnissen Baden-Württembergs versucht. Dabei wurde der Quotient Jahresniederschlag : Jahresmitteltemperatur (Regenfaktor nach LANG) zur Charakterisierung der Klimaverhältnisse herangezogen, da er die Durchfeuchtung und damit die klimaabhängige Vernässungsgefahr von Böden beschreibt. Mit zunehmendem Regenfaktor sind daher leichte Böden als besser, schluffreiche und schwere Böden als schlechter geeignet zu bewerten. Die höchsten Regenfaktoren (>160) treten im Schwarzwald und Allgäu auf, wo der Ackerbau auch infolge der Wärmeverhältnisse seine Grenze findet. Dort kommen also alle Bodenarten nur für eine Wiederverwendung im Bereich von Grünland- oder Waldflächen in Frage. Die Bewertung gilt nur für trockene oder schwach feuchte, nicht für vernäßte Bodenschichten.

Tab. 1: Eignung von Erdaushub für die Wiederverwendung bei Rekultivierungen und Meliorationen durch Bodenauftrag

Bodenart	Klimaverhältnisse am Ort der Wiederverwendung				
	A	B	C	D	E
S	4	4	4	5	2
IS	5	5	5 (7)	7	3
sL	7	7	7	6	3
U	7	6-7	6	2	1
IU-uL	7	7	7	6	1
tL	6	6	6	3	1
T	2	2	2	1	1
S, g-x	1	1	1	1	2
IS-L, g	5	5-6	6	6	3
U-IU, g	5	5-6	3	2	1
IS-L, x	2	2	2-3	3	3
IG	1	1	1-2	2	2
G, Gs, X	0	0	0	0	0

Erklärungen:

1. Eignungsstufen Eignung für die land- und forstwirtschaftliche Rekultivierung

- 0 ungeeignet für alle Nutzungsarten
- 1 schlecht geeignet für alle Nutzungsarten
- 2 schlecht geeignet für Acker*, mittel geeignet für Grünland und Wald
- 3 schlecht geeignet für Acker*, gut geeignet für Grünland und Wald
- 4 schlecht geeignet für alle Nutzungsarten, jedoch im warmen Klima für manche Sonderkulturen geeignet (z.B. Spargel, Tabak), bei Beregnung intensiver Acker- und Gemüsebau möglich
- 5 mittel geeignet für alle Nutzungsarten
- 6 mittel geeignet für Acker, gut geeignet für Grünland und Wald
- 7 gut geeignet für alle Nutzungsarten

* oder Klimaverhältnisse für Ackerbau ungeeignet

2. Bodenarten

- S, s Sand, sandig
- U, u Schluff, schluffig
- L, l Lehm, lehmig
- T, t Ton, tonig
- G, g Kies, kiesig: \varnothing 0,2-6 cm
- X, x Steine, steinig: \varnothing > 6 cm

3. Klimaverhältnisse

- | Stufe | Bezeichnung | Regenfaktoren nach LANG |
|-------|---------------|-------------------------|
| A | trocken | ca. 60 - 80 |
| B | mäßig trocken | ca. 80 - 100 |
| C | mäßig feucht | ca. 100 - 120 |
| D | feucht | ca. 120 - 160 |
| E | sehr feucht | > 160 |

2.5 Wichtige Vorkommen kulturfähiger Böden in Baden-Württemberg

In Tab. 2 sind die wichtigsten kulturfähigen Boden-substrate und ihre Hauptverbreitungsgebiete in Ba-

den-Württemberg zusammengestellt. Die Eignungs-bewertung gilt auch hier nur für trockene bis erd-feuchte, also nicht durch Grund- oder Stauwasser vernäßte Bodenschichten. In allen Klimastufen schlecht geeignete Bodensubstrate wurden nicht aufgeführt. Die Zusammenstellung soll eine Über-sicht geben und erhebt keinen Anspruch auf Voll-ständigkeit.

Tab. 2: Wichtige Vorkommen kulturfähiger Böden und Lockergesteine in Baden-Württemberg

Substrat	Klimaver-hältnisse *	Hauptverbreitungsgebiete	Eignung als Bodenauftrag für	
			Acker	Grünland u. Wald
mächtige Lößdecken	A	Kaiserstuhl, westlicher Kraichgau, Neckarbecken	gut	gut
	B	Markgräfler Hügelland, Freiburger Bucht, Lahr-Emmendinger Vorbergzone, östlicher Kraichgau, Filder	mittel-gut	gut
	C	Ortenau-Bühler Vorberge	mittel	gut
geringmächtige Löß- und Lehmddecken	A	Endinger Kaiserstuhl-Randebene, Neckar-Rheinebene, Tauberland	gut	gut
	B	Gäulandschaften, Mittleres Albvorland, Lone-Flächenalb	mittel-gut	gut
	C	Gäulandschaften, Senken und Trockentäler der Schwäbischen Alb, Nördliches Alpenvorland	mittel-gut	gut
	D	Senken und Trockentäler der Schwäbischen Alb	mittel-schlecht	gut
kiesfreie Flug- und Terrassensande	A + B	Nördliche Oberrheinebene	f. Sonderkulturen u. Beregnungsflächen gut	schlecht
lehmiger Grus u. Grob-sand (Verwitterungs-bildungen des Grundgebirges)	C	Vorderer Odenwald, Schwarzwald	mittel	mittel
	D		mittel	mittel-gut
	E	Schwarzwald	-	gut
kiesiger Lehm (Verwitterungsbildungen eiszeitlicher Schotter und Moränen)	A	Südliche Rheinebene	mittel	mittel-schlecht
	B	Alpenvorland (Bodenseebecken)	mittel	mittel
	C	Alpenvorland	mittel	mittel-gut
	D	Alpenvorland	schlecht	gut
	E	Alpenvorland (Allgäu)	-	gut
Steiniger toniger Lehm, (geringmächtige Kalksteinverwitterungslehme des Muschelkalks und Weißjura)	A	Tauberland	schlecht	mittel-schlecht
	B	Gäulandschaften	schlecht	mittel-schlecht
	C	Gäulandschaften, Schwäbische Alb	schlecht	mittel
	D	Oberes Gäu, Schwäbische Alb	schlecht	mittel-gut
	E	Hohe Schwabenalb	-	gut
nicht vernäßte Tone (Bröckeltone) des Gipskeupers	A	Gäulandschaften und Keuperbergland	mittel	schlecht
	B, C		mittel	mittel-schlecht
	D		schlecht	mittel-gut
nicht vernäßte Auelehme	A-C	Talauen	gut	mittel-gut
	D		mittel	gut

* Erläuterung s. Tab. 1

3 Gewinnung und Wiederverwendung des kulturfähigen Bodens

*Ist zwîvel herzen nahgebûr,
daz muoz der sêle werden sûr.*

In die Klage des mittelalterlichen Dichters möchte man einstimmen, wenn man sich die zahlreichen Fragen im Zusammenhang mit der Umlagerung von Böden vor Augen hält:

- Sollen verschiedene Bodenhorizonte oder -schichten getrennt gewonnen und wieder aufgebracht werden, wenn ja, welche Schichten sind zu trennen?
- Wie können bei der Gewinnung, Zwischenlagerung und dem Auftrag von Boden irreversible Schäden vermieden werden?
- Welche Anforderungen sind an den Untergrund zu stellen, wie mächtig muß der Bodenauftrag sein, damit ein geeigneter Kulturpflanzenstandort entsteht?
- Wie ist die neue Geländeoberfläche zu gestalten, um einerseits der Erosionsgefahr zu begegnen und andererseits den Abfluß von Überschußwasser zu ermöglichen?
- Durch welche pflanzenbaulichen und technischen Maßnahmen kann eine günstige Entwicklung des Auftragsbodens gefördert werden?

Es liegt auf der Hand, daß es für diese Fragen keine allgemeingültigen Lösungsrezepte gibt. Je nach den örtlichen Gegebenheiten wird immer wieder anders zu entscheiden sein, wobei oft genug technische und finanzielle Gesichtspunkte mit ausschlaggebend sind.

3.1 Trennung verschiedener Bodenhorizonte und -schichten

(1) Bei der Gewinnung und der Wiederverwendung von kulturfähigem Boden sind verschiedene Schichten (Horizonte) so wenig wie möglich, aber so viel wie nötig zu trennen.

Denn bei einer Trennung muß der Kulturboden sowohl beim Ausbau als auch beim Auftrag häufiger befahren werden, der Boden wird also stärker verdichtet. Der getrennte Ausbau verschiedener Bodenschichten ist demnach ganz abgesehen von den Kosten auch aus bodentechnologischen Gründen ungünstig. Unvermeidlich ist eine Trennung allerdings dann, wenn die auszubauenden Kulturbodenschichten große Qualitätsunterschiede aufweisen, also

z. B. kiesfreie und kiesige Bodenschichten übereinander auftreten. Allerdings ist auch dann der Verwendungszweck zu berücksichtigen: Für Grünland und Waldflächen stellt die Kiesbeimengung keine gravierenden Nachteile dar, bei der Rekultivierung (Melioration) von Ackerflächen sollte zumindest die obere Schicht des Bodenauftrags kiesfrei sein.

(2) Mutterboden (humoser Oberboden) ist unbedingt getrennt zu gewinnen und aufzutragen, wenn der Unterboden aus Sand, lehmigem Sand, lehmigem Ton und Ton besteht oder skelettreich ist. Bei skelettarmen oder -freien, lehmigen oder schluffigen Unterböden ist die Trennung nicht unabdingbar, aber von großem Vorteil.

Denn in Sandböden sind Humusstoffe die wichtigsten Sorptionsträger für Nährstoffe und Wasserspeicher, der Mutterboden muß daher als oberste Bodenschicht erhalten bleiben. „Rohe“ Tonböden sind kaum zu kultivieren, deshalb ist auch hier die Erhaltung des Mutterbodens unverzichtbar. Die Beimischung von skeletthaltigem Unterbodenmaterial ist natürlich vor allem bei zukünftiger Ackernutzung zu vermeiden. Aus diesen Gründen wird bei der Rekultivierung von Gipsabbauflächen mit Tonböden in Süddeutschland (KNAUF o. J.) und von Kiesgruben mit kiesig-steinigem Moränenverwitterungslehm in der Schweiz (AMSLER u. a. 1987) der Mutterboden stets vom übrigen Kulturboden getrennt.

Bei Rekultivierungen und Bodenumlagerungen im Löß wie im Rheinischen Braunkohlerevier (Richtlinien 1973) oder in Rebumlegungsgebieten am Kaiserstuhl wird aus verfahrenstechnischen Gründen der Mutterboden in der Regel nicht vom Unterboden getrennt. Dies ist sicherlich zu vertreten, da Rohlöß auch ohne fortgeschrittene Bodenbildung als Kulturpflanzenstandort brauchbar ist. Trotzdem sollten auch hier die günstigen Eigenschaften des Mutterbodens im Hinblick auf Verschlammungsneigung, Erosionsgefährdung und Nährstoffversorgung nicht übersehen werden. Auch seine Eigenschaften als Hauptlebensraum der Bodenorganismen sollten bedacht werden. Im kulturfähigen Unterboden treten in der Regel Organismen spärlich oder gar nicht auf, so daß für eine rasche Wiederbelebung des Auftragsbodens ein biologisch aktiver Oberboden die Funktion einer „Impfquelle“ übernimmt (KOBEL-LAMPARSKI & LAMPARSKI 1983).

Bei der Rekultivierung von Seitenablagerungen an der Bundesbahnneubaustrecke im Lößgebiet des Kraichgau und Neckarbeckens wurde aus diesem Grund und auf Wunsch der betroffenen Landwirte Mutterboden immer getrennt gewonnen und aufge-

tragen (WEINZIERL u. a. 1985). Bodenphysikalische Untersuchungen zeigen allerdings auch nachteilige Folgen durch das wiederholte Befahren beim Einebnen des Unterbodens und Auftrag des Mutterbodens.

3.2 Allgemeine Grundsätze für die technische Durchführung der Kulturbodenarbeiten

(1) Oberboden und kulturfähiger Unterboden sind vor Verdichtung und Vernässung zu schützen.

Dies gilt für alle Arbeitsschritte, also auch für den Ausbau. Denn einmal eingetretene Verdichtungen werden im weiteren Arbeitsablauf, etwa bei der Schüttung, nur bei nicht bindigen Sandböden wieder rückgängig gemacht. Schon bei schwach bindigen Böden (z. B. Löß) bleiben sie zumindest teilweise bestehen, bei bindigen und stark bindigen Böden sind sie besonders hartnäckig. Die Vernässung wirkt vor allem bei großen Zwischenlagern verheerend, da sie nicht mehr austrocknen können.

(2) Stark feuchte und nasse Bodenschichten sind nicht kulturfähig (vgl. Abschnitt 2.2).

Sie können erst nach Austrocknung als Kulturboden verwendet werden. Wenn infolge von hoch anste-

hendem Grundwasser oder großer Tiefenlage (>2 m) keine Austrocknung zu erwarten ist, kommen sie für die Wiederverwendung grundsätzlich nicht in Frage. Auch gut dränende Böden sind bei Feldkapazität, also nach längeren Regenperioden mit geringer Verdunstung, in der Regel zu feucht. Günstige Zeitpunkte für die Erdarbeiten treten daher vor allem in den Sommer- und Herbstmonaten ein.

Ein Schema für die Beurteilung nach dem Geländebefund gibt Tab. 3.

(3) Kulturboden sollte möglichst nicht befahren werden. Wenn das Befahren unvermeidlich ist, darf es nur durch Kettenfahrzeuge mit geringem Bodendruck erfolgen, nicht durch Radfahrzeuge.

Denn das Befahren stellt die wichtigste Ursache von Bodenverdichtungen bei den Erdarbeiten dar. In manchen Fällen läßt sich das Befahren allerdings nicht vermeiden (z.B. beim Einebnen von Auffüllflächen). Auf keinen Fall dürfen jedoch Radfahrzeuge eingesetzt werden, da ihr Bodendruck zu hoch ist. Am häufigsten wird die Planierdraupe für Arbeiten auf dem Kulturboden erforderlich. Die Kettenbreite dieser Fahrzeuge sollte mindestens 600 mm betragen, die Pressung unter der Kette 4N/cm² nicht überschreiten (DECKER & WEBER 1982), die Geräte müssen also mit einem sogenannten Breit- oder Moorlaufwerk ausgerüstet sein.

Tab. 3: Umlagerungseignung bindiger und nicht bindiger Böden in Abhängigkeit vom Feuchtezustand

Umlagerungseignung	Feuchtezustand nicht bindiger und schwach bindiger Böden (< 17 % Ton)	Konsistenz bindiger Böden (> 17 % Ton)
optimal	trocken (staubig), schwach feucht (Probe wird bei Wasserzugabe dunkler)	halbfest
tolerierbar	feucht (Finger werden etwas feucht, Probe wird bei Wasserzugabe nicht dunkler)	steifplastisch
unzulässig	stark feucht (Wasseraustritt beim Klopfen), naß (Boden zerfließt)	weich, breiig

3.3 Gewinnung des Kulturbodens

3.3.1 Abtrag des Mutterbodens

(1) Vorbereitende Arbeiten

Oberirdische Pflanzenteile zerkleinern oder abmähen und entfernen, Grasnarbe zerkleinern (z. B. mit Scheibenegge), im Wald Stubben und Astwerk entfernen oder zerkleinern (Stubbenfräse, Forstmulchgerät). – Die Entfernung oberirdischer Pflanzenteile ist vor allem dann empfehlenswert, wenn der Mutterboden in Mieten zwischengelagert werden soll. Denn bei unzureichender Sauerstoffversorgung kann es zu schädlichen Umsetzungen kommen.

(2) Technisches Verfahren

Für die Wahl eines geeigneten Verfahrens ist die Transportstrecke von Bedeutung. Ebenso muß berücksichtigt werden, ob der Unterboden kulturfähig und vor Verdichtung zu schützen ist.

a) Kurze Transportstrecken (bis maximal 30 m)

In der Regel wird hier die **Moorraupe** eingesetzt. Um den Mutterboden möglichst wenig zu befahren, sollte mit dem Abtrag vorne begonnen werden und nach jedem Schiebervorgang weiter zurückgesetzt werden (Abb. 6). **Laderaupe** und **Radlader** sind für diesen Zweck nur geeignet, wenn der Unterboden **nicht** als Kulturboden verwendet wird. Dabei dürfen diese Geräte nur auf der Abtragungsebene, nicht auf dem Mutterboden fahren. Wird dies eingehalten, so ist das Verfahren optimal.

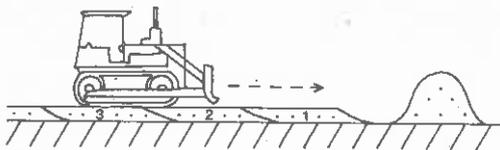


Abb. 6: Abtrag von Mutterboden

b) Lange Transportstrecken

Mit der Planierraupe allein sollte hier nicht gearbeitet werden, da die Schiebewege für einen schonenden Bodenabtrag zu lang sind. Die Kom-

bination **Moorraupe-Ladegerät-LKW** hat den Nachteil, daß der Unterboden in den LKW-Fahrspuren (bei sauberem Arbeiten im 50-m-Abstand) stark verdichtet wird. Trotzdem ist dieses Verfahren noch besser als das Arbeiten mit der Raupe allein. Wenn der Unterboden nicht kulturfähig ist, ist die Kombination von **Laderaupe** (Radlader) und LKW eindeutig vorzuziehen. Bei großflächigem Bodenabtrag sind **Schürfraupen** (Arbeitsweise wie Scraper) mit Mooraustrüstung interessant. Leider sind sie in der Praxis kaum im Einsatz.

3.3.2 Ausbau des kulturfähigen Unterbodens

(1) Die kulturfähige Bodenschicht sollte in einem Arbeitsgang ohne Zwischenbefahrung ausgebaut werden.

Planierraupe, Schürfraupe und Scraper sind daher für den Ausbau ungeeignet.

(2) Ideal ist der Ausbau von unten (Abb. 7 und 8).

Dabei fahren Ausbaugerät und Transportgerät auf dem nicht kulturfähigen Untergrund, so daß der Kulturboden nicht befahren wird. Geeignet sind Radlader, Laderaupe und Hochlöffelbagger bei Mächtigkeiten der Kulturbodenschicht bis 3 m.



Abb. 7: Ausbau von kulturfähigem Unterboden mit dem Radlader



Abb. 8: Ausbau von kulturfähigem Unterboden mit dem Hochlöffelbagger

(3) Beim Ausbau von oben muß der Bagger auf Matratzen stehen und das Transportgerät auf dem nicht kulturfähigen Untergrund fahren (Abb. 9 und 10).

Der in der Praxis am häufigsten eingesetzte Tieflöffelbagger kann nur Schichten bis etwa 3 m Mächtigkeit ausbauen. Bei größeren Mächtigkeiten ist der Seilzugbagger (Abb. 10) geeignet.

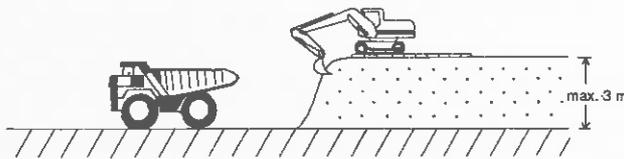


Abb. 9: Ausbau von kulturfähigem Unterboden mit dem Tieflöffelbagger auf Baggermatratze

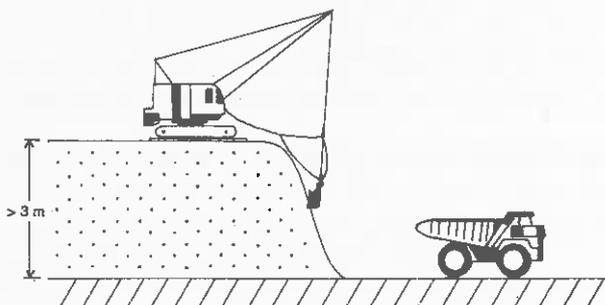


Abb. 10: Ausbau von kulturfähigem Unterboden mit dem Seilzugbagger auf Baggermatratze

3.4 Zwischenlagerung des Kulturbodens

3.4.1 Nachteile und Gefahren der Zwischenlagerung

Die Zwischenlagerung stellt in der Praxis ein so kritisches Problem dar, daß sie einerseits soweit wie möglich vermieden werden sollte, indem der ausge-

baute Boden sofort an seinem endgültigen Bestimmungsort aufgetragen wird, und daß andererseits, wenn die Zwischenlagerung unvermeidlich ist, mit äußerster Sorgfalt vorzugehen ist. Die wichtigsten Gefahrenquellen sind in der Praxis:

- Befahren der Kulturbodenlager insbesondere mit Radfahrzeugen beim Aufbau und beim Wiederabtrag. Gerade bei frisch geschütteten Böden führt der Lastwagenverkehr zu verheerenden Verdichtungen.
- Vernässung des Kulturbodenlagers während der Lagerzeit. Bei über 1–2 m mächtigen Lagern ist der Boden dann unbrauchbar, da das Lager nicht mehr austrocknen kann.
- Schädigung des Bodenlebens insbesondere in verdichtet aufgebauten Mutterbodenmieten durch Sauerstoffmangel und schädliche Zersetzungs Vorgänge mit Schwefelwasserstoffbildung

3.4.2 Anlage und Pflege von Mutterbodenmieten

(1) Wichtigstes Ziel ist die Erhaltung der biologischen Aktivität des Mutterbodens. Notwendig sind daher ausreichende Durchlüftung, Schutz vor Vernässung und Nachlieferung organischer Stoffe durch Begrünung.

Denn die Wiederbelebung umgelagerter Böden geht vom Mutterboden aus (umgelagerte Unterböden sind kaum belebt). Da die meisten Bodenorganismen aerob leben, sind Vernässungen und Luftmangel sehr schädlich, auch wenn die Mietenhöhe so gering ist, daß der Boden vor dem Wiederausbau vollständig austrocknen kann.

(2) Bei der Schüttung dürfen die Transportfahrzeuge nicht auf der Miete fahren. Die Profilierung und Glättung muß mit Moorraupen erfolgen.

Je nach den örtlichen Verhältnissen werden die Mieten mit der Planierraupe, der Laderaupen (Radlader) oder mit dem LKW aufgebaut. Besonders bewährt hat sich der Aufbau mit der Laderaupen, die den Boden aufsetzt, profiliert und glättet, ohne ihn zu befahren. Das Verfahren ist allerdings nur möglich, wenn die Miete dicht neben der Abtragsfläche zu liegen kommt. Bei der Schüttung mit Planierraupe oder LKW ist das anschließende Befahren und Profilieren mit der Moorraupe unvermeidlich. Nur bei kurzen La-

gerzeiten können unprofilierte Mieten (Wallmieten) toleriert werden.

(3) Die Mietenhöhe ist abhängig von der Mietenbreite, der Bodenart und dem Gehalt an unzersetzten organischen Stoffen.

Trapezförmige Mieten (Abb. 11) können höher geschüttet werden als Endlosmieten (Abb. 12), da bei Trapezmieten ein wirksamer Gasaustausch mit der Außenluft auch über die Seitenböschungen erfolgt. Da der Sauerstoffbedarf von dem Gehalt an unzersetzten Pflanzenresten abhängt, sind Mutterböden von Grünland- und Waldflächen in der Regel nach Abb. 11 oder 12 anzulegen, an Pflanzenresten arme Ackerkrumen können höher geschüttet werden (Abb. 13). Sandböden sind so gut durchlüftet und entwässert, daß sie in jedem Fall höher geschüttet werden können.

(4) Die Mieten dürfen nicht auf vernäbtem Untergrund angelegt werden. Der seitliche Wasserzutritt ist durch randliche Entwässerungsgräben zu verhindern. Insbesondere bei Endlosmieten ist auf eine ausreichende Durchlässigkeit des Untergrunds zu achten.

Besonders in Hang- und Senkenlagen werden häufig Mietenvernässungen infolge des Zutritts von Oberflächenwasser beobachtet. Bei Endlosmieten ist eine seitliche Entwässerung im Gegensatz zu Trapezmieten

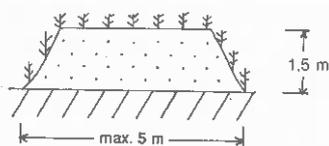


Abb. 11: Trapezförmige Miete für feinkörnige Mutterböden mit viel Pflanzenresten



Abb. 12: Endlosmiete für feinkörnige Mutterböden mit viel Pflanzenresten

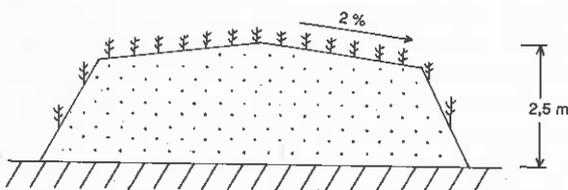


Abb. 13: Mutterbodenmiete für Sandböden und für Ackerkrumen, die arm an Pflanzenresten sind (maximale Breite ca. 20 m)

ten nicht möglich, deshalb hat hier die Durchlässigkeit des Untergrunds besondere Bedeutung.

(5) Die Mutterbodenmieten müssen so gestaltet sein, daß Oberflächenwasser nach außen abfließt.

Abflußlose Senken auf der Mutterbodenmiete fördern die Vernässung. Das Außengefälle sollte mindestens 2% betragen. Durch oberflächliches Glätten der Miete kann das Eindringen von Niederschlagswasser reduziert werden.

(6) Das Umsetzen von Mutterbodenmieten während der Lagerungszeit ist nur in Ausnahmefällen zu empfehlen.

Mieten mit günstigem Wasser- und Lufthaushalt brauchen nicht umgesetzt zu werden. Bei vernäbten Mieten führt die Umsetzung zu Bodenverdichtungen. Hier sollte alles getan werden, um die Austrocknung durch Begrünung, Düngung und die Anlage von Entwässerungsgräben zu fördern. Nur bei Mieten mit sehr viel Pflanzenresten kann – ähnlich wie bei der Kompostierung – das Umsetzen erforderlich werden.

(7) Zur Begrünung sind tiefwurzelnde, stark wasserzehrende Pflanzen zu verwenden.

Die Wahl geeigneter Pflanzen hängt vom Saattermin und der Lagerungsdauer ab (s. Anhang II). Bewährt hat sich z.B. Örettich, der infolge Selbstaussaat auch zweijährige Begrünung ohne Pflegemaßnahmen ermöglicht. Insbesondere auf Endlosmieten können mehrjährige Futterpflanzen auch landwirtschaftlich genutzt werden, wobei aber die Erntearbeiten gut abgetrockneten Boden voraussetzen.

3.4.3 Zwischenlagerung von kulturfähigem Unterboden

(1) Bei der Zwischenlagerung von kulturfähigem Unterboden stellen Verdichtungen während des Auf- und Abbaus der Lager und Vernässungen während der Lagerzeit die wichtigsten Gefahrenquellen dar.

In der Praxis erfolgt beim Auf- und Abbau der oft viele m mächtigen Unterbodenlager häufig eine intensive Befahrung mit LKW und Planierpaupen. Eindringendes Niederschlagswasser kann das ganze Zwischenlager unbrauchbar machen, da der Boden nur in Oberflächennähe wieder austrocknet.

(2) Verdichtungsgefährdete Bodenarten (mittelfeuchte bzw. steifplastische Schluffe, Lehme und Tone) können bis 5 m hoch geschüttet werden, weniger verdichtungsgefährdete Bodenarten (lehmiger Sand, schwach feuchte bzw. halbfeste Schluffe, Lehme und Tone) können bis 10 m hoch geschüttet werden.

Denn infolge der geringen biologischen Aktivität in Unterböden ist kein Gasaustausch mit der Außenluft wie bei Mutterbodenmieten erforderlich. Die Verdichtung durch Auflast (statische Belastung) tritt gegenüber der Verdichtung durch Befahren (dynamische Belastung) an Bedeutung zurück. In Laborversuchen wurden nach Belastungen mit 8 N/cm^2 , die etwa der Auflast einer Bodensäule von 5 m Höhe entsprechen, noch ausreichende Grobporenvolumina auch bei feuchten Bodenproben gefunden (vgl. Anhang I). Höher als 10 m sollten nur Sande und trockene Schluffe geschüttet werden, da sehr hohe Belastungen auch bei halbfesten feinkörnigen Böden zu einer deutlichen Abnahme der Grobporen führen.

(3) Die Schüttungshöhe wird durch die Geländesituation und die maschinelle Ausrüstung begrenzt.

Denn der lagige Einbau und vor allem das Zwischenbefahren der Mieten mit LKW ist zu vermeiden. Lediglich die oberste Ebene der Miete kann notfalls mit LKW befahren werden. Prinzipiell sind folgende wichtige Fälle zu unterscheiden:

a) Aufbau der Miete mit LKW und Moorraupe im ebenen Gelände (Abb. 14)

Mit diesem Verfahren können nur kleinere Mieten mit etwa 3–4 m Höhe angelegt werden, bei größeren Höhen müßte die Miete zu stark befahren werden.



Abb. 14: Anlegen einer Unterbodenmiete mit der Raupe im ebenen Gelände

b) Aufbau der Miete mit Hilfe eines Baggers oder mit Hilfe von Bagger und Förderband (Abb. 15)

Bagger mit langem Ausleger können den Boden etwa 6–7 m hoch aufsetzen, mit dem Förderband sind noch größere Schütthöhen möglich. Während des Aufbaus muß mit der Raupe gelegentlich planiert

werden, um zu starke Setzungen im Kern der Miete zu vermeiden.

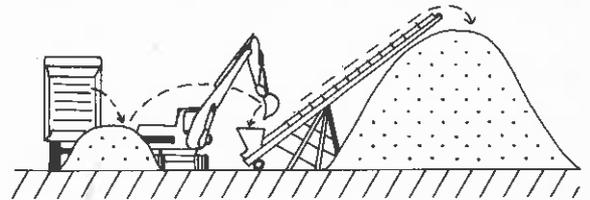


Abb. 15: Anlegen einer Unterbodenmiete mit Bagger und Förderband

c) Anlage von Mieten an steilen Hängen und Böschungen mit LKW und Raupe (Abb. 16)

Dieses Verfahren hat sich in der Praxis gut bewährt, da hierbei der Boden nur auf einer Ebene (der Endhöhe) befahren wird. Dort kann auch das Befahren mit LKW toleriert werden.

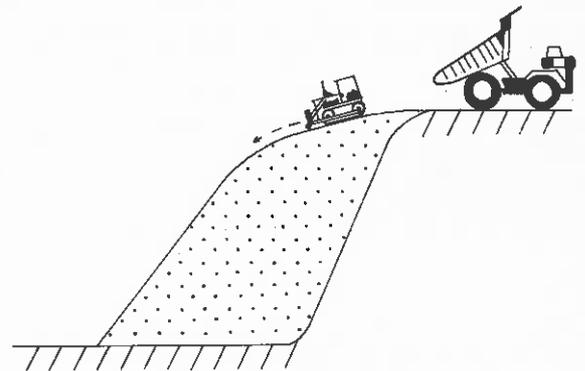


Abb. 16: Anlegen einer Unterbodenmiete am Hang

(4) Zum Schutz vor Vernässung müssen Unterbodenmieten profiliert, geglättet und möglichst begrünt werden.

Das Außengefälle soll auch bei trapezförmigen Mieten überall mindestens 2% betragen. Die Glättung erfolgt mit der Raupe, auch die Böschungen müssen geglättet werden. Oberflächennahe Verdichtungen sind dabei günstig, da sie vor dem Eindringen von Niederschlagswasser schützen. Insbesondere im Böschungsbereich entstehen immer wieder Risse, die eine große Gefahr darstellen (Einsickern von Niederschlagswasser). Es sind also Pflegemaßnahmen erforderlich. Die Begrünung kann im Anspritzverfahren erfolgen. Geeignet sind anspruchslose Pflanzen (z. B. Esparsette, Platterbse, Steinklee).

(5) Der Abtrag der Unterbodenmieten sollte von unten erfolgen. Beim Abtrag von oben müssen Bagger auf Matratzen stehen. LKW dürfen die Miete nicht befahren.

Beim Abtrag von unten können Laderaupe, Radlader oder Hochlöffelbagger eingesetzt werden, beim Abtrag von oben Tieflöffel- oder Seilzugbagger.

3.5 Wiederverwendung des kulturfähigen Bodens

Kulturfähiger Boden kann zur Melioration geringwertiger Böden oder zur Rekultivierung von Flächen mit zerstörtem Boden (Kiesgruben, Deponien usw.) verwendet werden. Erfolgt bei der Melioration ein mächtiger Bodenauftrag (>60 cm), so entstehen die gleichen Probleme wie bei der Rekultivierung, solche Maßnahmen werden daher im Abschnitt 3.5.2 (Rekultivierung) mit behandelt. Eine gesonderte Darstellung erfordert lediglich die Melioration durch geringmächtigen Bodenauftrag.

3.5.1 Meliorationen mit geringmächtigem Bodenauftrag (<60 cm)

(1) Melioration durch Bodenauftrag kommt vor allem bei flachgründigen Stein- und Kiesböden in Frage. Schwere Tonböden sind auf diese Weise nur meliorationsfähig, wenn das Klima nicht zu feucht ist und der anstehende Boden gut dränt. Vernäßte Böden können durch Bodenauftrag nicht melioriert werden.

Prinzipiell ist eine solche Maßnahme nur sinnvoll, wenn die Standortverhältnisse durch den Auftrag verbessert werden. Der häufig zu beobachtende Auftrag von Lehm oder Löß (manchmal auch Bauschutt!) auf vernäßten Flächen ist grober Unfug, da auch der Auftragsboden vernässen wird. Schwer zu bearbeitende, aber nicht vernässende Tonböden können durch den Auftrag leichterer Bodenarten verbessert werden. In Frage kommen vor allem die Bröckeltone des Gipskeupers, die ja in trockeneren und wärmeren Gebieten Baden-Württembergs ihre größte Verbreitung haben und häufig mit lößbürtigen, also tonärmeren Böden vergesellschaftet sind. Den besten Effekt und die geringsten Probleme bringt geeigneter Bodenauftrag bei gut dränenden, kiesigen und steinigen, auch sandigen Böden, deren Wasser- und Nährstoffversorgung unzureichend ist.

(2) Beim Andecken dürfen LKW den Auftragsboden nicht befahren. Die Verteilung erfolgt mit der Moorraupe.

Trockenes Wetter und trockener Boden vorausgesetzt, kann der Antransport über den anstehenden Boden mit LKW erfolgen, wenn dieser wenig verdichtungsempfindlich ist (stein- oder kiesreiche Böden). Auf verdichtungsgefährdeten Böden (z.B. Tonböden) fahren die LKW auf Wegen oder Fahrbahnen im 50-m-Abstand, von dort aus erfolgt die Verteilung mit der Moorraupe. Die Fahrbahnen sind dann vor dem Bodenauftrag gut zu lockern. Bei sehr starker Verdichtung der Fahrbahnen wird u.U. ein Bodenaustausch erforderlich.

(3) Der Auftragsboden ist nach Endplanie so tief zu lockern, daß der anstehende Boden noch mit erfaßt wird. Die Erstabwirtschaftung der Fläche entspricht der Erstabwirtschaftung rekultivierter Flächen (s. Abschnitt 3.5.2.4).

Denn durch die Lockerung soll der beim Planieren verdichtete Auftragsboden Anschluß an den durchlässigen Untergrund finden.

3.5.2 Rekultivierung

3.5.2.1 Mächtigkeit des Bodenauftrags

(1) Aus pflanzenbaulicher Sicht ist je nach Klima und Bodenart der Auftrag von 1-2 m kulturfähigem Boden anzustreben, (s. Tab. 4).

Der Hauptwurzelraum landwirtschaftlicher Kulturpflanzen reicht bis in eine Tiefe von etwa 0,5 – 1 m, einzelne Wurzeln gehen jedoch tiefer (bis 2 m und mehr) und sind für die Wasserversorgung in Trockenperioden von Bedeutung (GEHLKER 1976). Da die Trockengefährdung von den klimatischen Verhältnissen und der Wasserspeicherfähigkeit des Bodens abhängt, ist die für landwirtschaftliche Höchstträge erforderliche Bodenmächtigkeit unterschiedlich. Anhaltspunkte gibt Tab. 4.

Die erforderlichen Bodenmächtigkeiten liegen im Grünland etwas niedriger, für tiefwurzelnde Waldbäume höher. Bei Rekultivierungen, die sich nicht an landwirtschaftlichen Höchstträgen orientieren, sind natürlich auch geringere Auftragsmächtigkeiten möglich. Im Landschaftsbau sind die Ansprüche der geplanten Bepflanzung zu berücksichtigen, die sehr unterschiedlich sein können.

Tab. 4: Für landwirtschaftliche Höchstertträge erforderliche Bodenmächtigkeit in Abhängigkeit von Klima und Bodenart

Klimatische Verhältnisse (Regenfaktoren nach LANG)	Bodenart	anzustrebende Bodenmächtigkeit
trocken – mäßig trocken (< 100)	alle Bodenarten	2,0 m
mäßig feucht (100–120)	l'S, IS	2,0 m
	sL, U, IU, uL, tL	1,5 m
feucht (>120)	l'S	1 – 1,5 m
	IS, sL, U, IU, uL, tL	1,0 m

(2) Aus der Sicht des Grundwasserschutzes ist ein Bodenauftrag von mindestens 2 m anzustreben.

In Grundwassergebieten ohne schützende Deckschichten verringert der Auftrag von Bodenmaterial mit guten Filtereigenschaften den Eintrag von Schadstoffen in das Grundwasser. Der Schutz wird naturgemäß mit zunehmender Mächtigkeit besser. Bei bindigen Deckschichten < 2 m besteht die Gefahr, daß sich Trockenrisse bis zum durchlässigen Untergrund bilden.

(3) Bei Rekultivierungen auf wasserdurchlässigem Untergrund sind verfahrenstechnisch und im Hinblick auf spätere Bodenvernässungen, bei Verwendung von verdichtungsgefährdetem Kulturbodenmaterial, Auftragsmächtigkeiten von etwa 1 m am günstigsten.

Denn die Schüttung kann bei dieser Auftragshöhe vor Kopf erfolgen, ohne daß Transportfahrzeuge den geschütteten Boden befahren müssen. Bodenschichten unterhalb 1 m Tiefe sind kaum wirksam zu lockern oder zu meliorieren und trocknen auch im Sommer nach einmal eingetretener Vernässung selten aus. Verdichtungen und Vernässungen im Auftragsboden unterhalb 1 m Tiefe sind also äußerst schwierig zu beseitigen und bewirken auch eine Vernässung der darüberliegenden Bodenschichten. Ge-

ringmächtige Bodenaufträge sind daher bei durchlässigem Untergrund und verdichtungsgefährdetem Auftragsboden von großem Vorteil. Ist der Untergrund schwer oder nicht durchlässig, so gilt dies natürlich nicht, denn ein wasserstauer Untergrund sollte möglichst tief unter Geländeoberfläche liegen.

3.5.2.2 Untergrund- und Geländegestaltung

(1) Die Wasserdurchlässigkeit des Untergrunds hat entscheidenden Einfluß auf die Entwicklung des Auftragsbodens.

Die Ansprüche an die Wasserdurchlässigkeit des Untergrunds sind natürlich umso höher, je feuchter das Klima ist. Aber auch in den trockensten Gebieten Baden-Württembergs muß der Untergrund noch gewisse Sickerwassermengen ableiten.

(2) Am günstigsten ist ein stark steiniger oder kiesiger Untergrund, in dem das Überschußwasser flächig versickern kann.

Bei Rekultivierungen im rheinischen Braunkohlenrevier wird deshalb vorgeschrieben, die obersten 2 m der Rohkippe mit sandig-kiesigem Material aufzubauen (Richtlinien 1973).

(3) Bei wasserundurchlässigem Untergrund (z.B. abgedichtete Deponien) ist der Einbau einer Kiesschicht unter dem Kulturboden als Sickerhilfe zu empfehlen.

In der Schweiz wird bei der Rekultivierung undurchlässiger Rohdeponien eine Kiesschicht von ca. 30 cm eingebaut (AMSLER u.a. 1987). Die Kiesschicht muß mindestens 4% Gefälle zum Vorfluter haben. Im ebenen Gelände werden bei großen Flächen Sickerschächte erforderlich. Die Oberfläche der Rohkippe muß glatt sein, damit keine Wasserlöcher entstehen. Setzungsvorgänge müssen also weitgehend abgeschlossen sein.

(4) Bei insgesamt noch ausreichender Wasserdurchlässigkeit, aber oberflächlicher Verdichtung muß der Untergrund gründlich gelockert werden.

Der Untergrund muß bei der Lockerung trocken sein und darf dann nicht mehr befahren werden. Letzteres hat große verfahrenstechnische Nachteile (vgl. Abschnitt 3.5.2.3) Die Lockerungstiefe richtet sich nach der Verdichtungstiefe.

(5) Können Vernässungen der rekultivierten Flächen nicht ausgeschlossen werden, so sollte die neue Geländeoberfläche keine abflußlosen Mulden aufweisen und eine Neigung von mindestens 2–3% haben. Für eine spätere Drainage müssen Vorfluter angelegt werden.

Vernässungen können in allen schluffreichen und bindigen Auftragsböden auch bei sorgfältiger Arbeitsweise entstehen, d. h., sie sind in den seltensten Fällen auszuschließen. In Mulden und Senken sammelt sich dann Oberflächenwasser an. Die Beseitigung von Vernässungen ohne Drainage ist nur möglich, wenn der Untergrund die flächige Versickerung gewährleistet und der Auftragsboden weniger als 1 m mächtig ist. Bei großflächigen Rekultivierungen erscheint eine terrassierte Geländegestaltung günstig, wobei am Fuß der Böschungen Vorflutgräben angelegt werden (SCHRÖDER 1988).

3.5.2.3 Vorgehen beim Bodenauftrag

Je nach den örtlichen Gegebenheiten und der maschinellen Ausrüstung können zahlreiche verschiedene Verfahren beim Bodenauftrag angewandt werden, deren vollständige Aufzählung unmöglich ist. Hier kann daher nur beispielhaft auf einige wichtige Möglichkeiten eingegangen werden. Die nasse Bodenumlagerung im Spülverfahren (Rheinbraun) wird nicht berücksichtigt, da sie für süddeutsche Verhältnisse kaum in Frage kommt.

(1) Ideal ist der Auftrag mit beweglichen Förderbändern (Absetzern).

Denn dabei wird weder der Untergrund noch der Kulturboden befahren. Der technische Aufwand ist jedoch so hoch, daß solche Geräte nur bei Großmaßnahmen wie im Braunkohlenrevier eingesetzt werden: Wünschenswert wäre die Entwicklung kleinerer Geräte, die Entfernungen von etwa 10–20 m überbrücken, um das oft nachteilige Befahren des Untergrunds zu vermeiden.

(2) Ist der Untergrund gut wasserdurchlässig und nicht verdichtungsgefährdet, kann mit LKW vom Untergrund aus vor Kopf geschüttet werden (Abb. 17).

Wenn dabei die gewünschte Schütthöhe ohne Befahren der Kulturkippe mit LKW nicht erreicht werden kann, muß der Boden mit einem Ladegerät (Laderaupe, Radlader, Hochlöffelbagger) hochgesetzt werden.

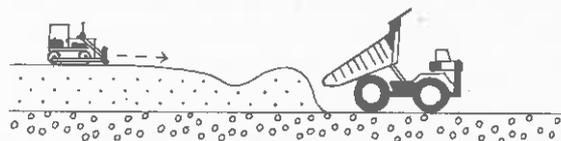


Abb. 17: Schütten des Kulturbodens mit LKW auf durchlässigem Untergrund

(3) Ist der Untergrund verdichtungsgefährdet, so muß er bei Vorkopfschüttung in schmalen Streifen vor der Kulturkippe gelockert werden. Die gelockerten Streifen dürfen nicht mehr befahren werden. Der Kulturboden kann daher nicht direkt geschüttet werden, sondern ist mit einem geeigneten Ladegerät (z.B. Laderaupe, Hochlöffelbagger) hochzusetzen (Abb. 18).

Bei der großflächigen Rekultivierung ist ein Befahren des Untergrunds ohne Einsatz von Förderbändern unvermeidlich, da die LKW keinesfalls auf dem Kulturboden fahren dürfen. Zur Lockerung vgl. 3.5.2.2. Als Einbaugerät ist der Hochlöffelbagger geeignet.

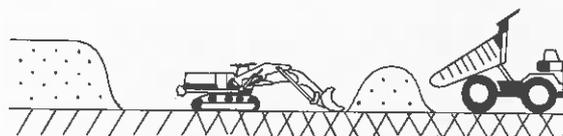


Abb. 18: Aufsetzen des Kulturbodens mit Hochlöffelbagger auf verdichtungsgefährdetem, aber lockerungsfähigem Untergrund

(4) Bei schmalen Flächen bis etwa 20 m Breite (z. B. aufgelassene Straßen) kann der seitlich vorgehaltene oder angeordnete Kulturboden mit der Moorraupe verteilt werden. Die Moorraupe darf dabei nur auf Endhöhe fahren, um einen lagigen Einbau zu vermeiden.

Bei der Rekultivierung aufgelassener Straßen sollte die Schüttung des Kulturbodens von oben, also von der noch vorhandenen Straße aus erfolgen. Dabei darf der notfalls gelockerte Untergrund nicht mehr befahren werden.

(5) Beim Auftrag des Mutterbodens darf der Kulturboden nicht mit LKW befahren werden.

Bei großflächigen Rekultivierungen ist daher nach Fertigstellung von etwa 20 m breiten Streifen der Mutterboden sofort aufzutragen (Antransport auf dem Untergrund, Hochsetzen mit dem Bagger, vgl. Abb. 18). Ist der Mutterbodenauftrag auf größeren

Flächen mit geschüttetem Unterboden unvermeidlich, so muß dieser gut abgetrocknet sein und die LKW müssen auf Fahrbahnen im 50-m-Abstand fahren, die anschließend zu lockern sind. Die Verteilung des Mutterbodens erfolgt mit der Moorraupe.

(6) Durch eine Zwischenbegrünung des Unterbodens mit Tiefwurzeln vor Auftrag des Mutterbodens wird die Durchwurzelung und damit die Bildung kontinuierlicher Grobporen im Unterboden gefördert.

Erfolgt die Erstansaat auf der fertiggestellten Kulturkippe, also dem angedeckten Mutterboden, so besteht die Gefahr, daß die Durchwurzelung sich auf den nährstoffreicheren und besser durchlüfteten Oberboden beschränkt und der Unterboden biologisch nicht aktiviert wird. In der Schweiz hat sich eine Zwischenbegrünung mit Kreuzblütlern (Ölrettich, Senf) oder Winterroggen bewährt (AMSLER u.a. 1987).

3.5.2.4 Landwirtschaftliche Erstbewirtschaftung und Meliorationen

(1) Die Erstbewirtschaftung rekultivierter Flächen muß der Gefügelabilität und der gestörten biologischen Aktivität umgelagerter Böden Rechnung tragen.

Schonende Bodenbearbeitung mit leichtem Gerät bei trockener Witterung und Reaktivierung des Bodenlebens sind daher geboten.

(2) Um einen gut durchwurzelbaren Bodenraum zu gewährleisten, sind die fertiggestellten Flächen vor der Erstansaat zu lockern.

Beim Einebnen der Kulturkippe mit der Moorraupe sind zumindest oberflächennahe Bodenverdichtungen unvermeidlich. Reichen die Verdichtungen bis etwa 30 cm Tiefe, können sie mit dem Tiefengrubber beseitigt werden. Tieferreichende Verdichtungen erfordern eine Tieflockerung (Wippscharlockerer, Spatenmaschine). Wenn der oberste Teil der Kulturkippe nicht mit Mutterboden aufgebaut wurde, kann auch rigolt werden. Dabei ist ein Zweischarpflug zu verwenden, bei dem das Schlepperrad nicht auf der untersten Pflugsohle fährt.

(3) Die Erstansaat sollte mit mehrjährigen Tiefwurzeln erfolgen.

Am besten bewährt hat sich in der landwirtschaftlichen Rekultivierungspraxis die Luzerne. Ab August

kommen Kreuzblütler, bis Ende Oktober noch Winterroggen in Frage, die im nächsten Jahr durch Luzerne zu ersetzen sind.

(4) Der Aufwuchs sollte in den ersten Jahren gemulcht, nicht geerntet werden.

Denn durch Mulchen wird dem Boden organische Masse zugeführt, die für die Wiederbelebung notwendig ist.

(5) Stallmist fördert Regenwürmer und damit die Durchporung des Unterbodens.

In Dauerdüngungsversuchen wurden auf stallmistversorgten Parzellen durchschnittlich 50mal mehr Lumbriciden als auf Vergleichsparzellen festgestellt (BRAUNS 1968)! Da die Durchporung des Unterbodens das wichtigste Problem bei der Regeneration umgelagerter Böden darstellt, erscheint diese Tatsache durchaus bedenkenswert.

(6) Frühestens nach 3 Jahren kann mit Fruchtwechsel im Ackerbau begonnen werden.

Auch dann ist noch eine bodenschonende Bearbeitung (am besten Minimalbodenbearbeitung) angezeigt. Um Frühjahrsbestellung bei feuchtem, druckempfindlichem Boden zu vermeiden, sind Wintergetreide und Wintererbsen vorzuziehen. Zuckerrüben und Mais sind zunächst tabu, da die Ernte meist in Zeiten hoher Bodenfeuchtigkeit fällt.

(7) Bei Bodenvernässungen sind Meliorationen erforderlich.

Die Beseitigung von Bodenvernässungen durch Tieflockerung ist nur möglich, wenn durch die Lockerung durchlässige Schichten erreicht werden. In der Regel ist dies dann der Fall, wenn maximal 1 m Kulturboden auf kiesigem oder steinigem, durchlässigem Untergrund geschüttet wurde. Ist der Kulturboden mächtiger oder der Untergrund schlecht wasserdurchlässig, so werden Dränagen erforderlich. Häufig sind Bedarfsdränagen ausreichend.

3.6 Zur fachtechnischen Planung von Rekultivierungsmaßnahmen

Für den Erfolg größerer Rekultivierungsvorhaben ist eine detaillierte Planung von ausschlaggebender Bedeutung. In der Praxis beschränkt sich allerdings die Planung häufig auf die lapidare Mitteilung, daß die

Flächen anschließend (z.B. nach dem Kiesabbau) rekultiviert werden. Womit und wie, das bleibt dem Zufall überlassen. Oder man geht von der Wunschvorstellung aus, daß Abraum eben kulturfähiger Boden ist.

Zur Planung von Rekultivierungsmaßnahmen gehören:

1. Die Erkundung des Vorkommens von kulturfähigem Boden auf der beanspruchten Fläche durch eine Bodenkartierung
2. Die Erstellung einer Massenbilanz: Wieviel kulturfähiger Boden fällt in welcher Qualität an, wie mächtig kann der Kulturboden auf der zu rekultivierenden Fläche geschüttet werden?
3. Die Planung der Geländegestaltung und der Anlage von Vorflutern
4. Beurteilung der voraussichtlichen Wasserdurchlässigkeit des Untergrunds (evtl. muß vor Auftrag des Kulturbodens Kies geschüttet werden)
5. Festlegung des zeitlichen Ablaufs der Maßnahmen: Wieviel Kulturboden fällt in den einzelnen Bauphasen an, welche Flächen können sofort ohne Zwischenlagerung des Kulturbodens rekultiviert werden? Bei der Planung des Zeitablaufs ist zu berücksichtigen, daß die Arbeiten witterungsabhängig sind, Winter und Frühjahr sind in der Regel (aber nicht immer!) die ungünstigsten Jahreszeiten.
6. Ermittlung des Flächenbedarfs für Kulturbodenzwischenlager (u. a. vom zeitlichen Ablauf abhängig, s. Punkt 5)
7. Überlegungen zur erforderlichen maschinellen Ausrüstung und Schlagkraft

Eine Planung, die diesen Forderungen gerecht wird, ist nicht einfach, wenn sie „hinhaut“, sogar ein beachtliches Kunststück. Sie ist aber Voraussetzung für den Erfolg. Auch für die Ausschreibung der Erdarbeiten ist sie unverzichtbar. Wie oft kann eine fachtechnisch wichtige Maßnahme nicht ausgeführt werden, weil sie in der Ausschreibung nicht vorgesehen war und zu Nachforderungen des Auftragnehmers führen würde! Der Berater stößt dann mit seinen Vorschlägen gegen eine Wand. Der Fachberater muß gleich zu Beginn, also bei der Planung intensiv mitwirken.

Im folgenden soll an einem Beispiel demonstriert werden, wie durch Erstellung einer Massenbilanz

und Planung des Bauablaufs eine Deponie sukzessive geschüttet und rekultiviert werden kann, ohne zusätzlich Flächen in Anspruch zu nehmen.

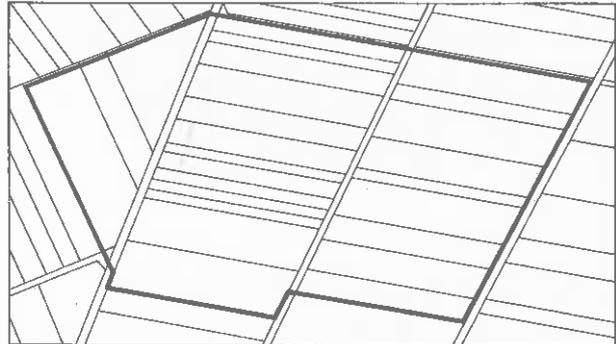
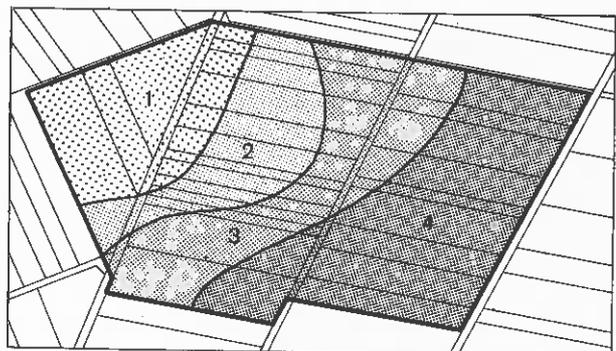


Abb. 19: Lageplan 1 : 5 000

Hier soll eine Deponie angelegt werden. Die Fläche ist später wieder zu rekultivieren und der ursprünglichen landwirtschaftlichen Nutzung zuzuführen

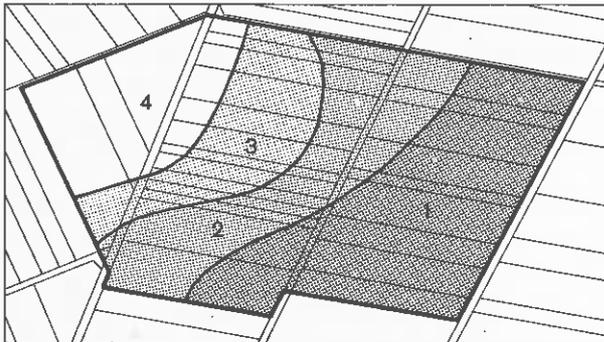


- | | |
|---|--------------------------------------|
| 1 | flachgründige Rendzina aus Kalkstein |
| 2 | Pararendzina aus geringmächtigem Löß |
| 3 | erodierte Parabraunerde aus Löß |
| 4 | Parabraunerde aus Löß |

Abb. 20: Bodenkarte 1 : 5 000

Die Bodenkarte zeigt Art und Verbreitung der Böden und ihres Ausgangsgesteins.

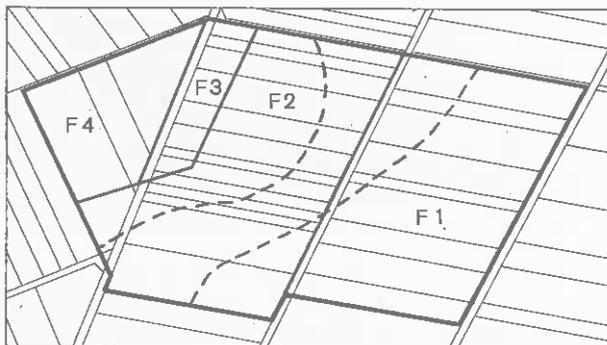
Aus der Bodenkarte wird eine Rekultivierungskarte abgeleitet, die Vorkommen und Mächtigkeit kulturfähiger Bodenschichten aufzeigt



Mächtigkeit des kulturfähigen Bodens in m

	Mutterboden	Unterboden
1	0,3	2
2	0,3	1
3	0,3	0,5
4	-	-

Abb. 21: Rekultivierungskarte 1 : 5 000



	Größe m ²	Mutterboden (MB) m ³	kulturfähiger Unterboden (KB) m ³
F1	19 500	5 700	36 000
F2	21 000	6 300	20 000
F3	3 000	-	-
F4	7 500	-	-
Summe	51 000	12 000	56 000

Abb. 22: Massenbilanz und Bauablauf 1 : 5 000

Mit den vorhandenen Kulturbodenmassen kann nach der Deponieschüttung auf der Gesamtfäche von 5,1 ha ein neues Bodenprofil, bestehend aus 0,24 m Mutterboden (MB) und 1,1 m Unterboden (KB) aufgebaut werden.

Im Hinblick auf die spätere Rekultivierung der Depo-niefläche und ein flächensparendes Vorgehen bietet sich hier folgender Bauablauf an:

Phase 1: F1 wird geräumt:
5 700 m³ Mutterboden (= MB) werden auf F3 zwischengelagert (Mutterbodenmiete nach Abb. 13).
36 000 m³ Kulturboden (= KB) werden auf F4 zwischengelagert (Mietenhöhe 5 m).

Phase 2: Auf F1 wird die Rohkippe geschüttet.

Phase 3: F2 wird geräumt und gleichzeitig mit dem gewonnenen Kulturboden F1 rekultiviert. Für die Rekultivierung von F1 werden benötigt:
21 500 m³ KB (davon 20 000 m³ aus F2 und 1 500 m³ aus Zwischenlager F4)
4 700 m³ MB (aus F2, der Überschuß von 1 600 m³ aus F2 kann im teilgeräumten Zwischenlager F4 untergebracht werden).

Phase 4: Auf F2 wird die Rohkippe geschüttet.

Phase 5: F2 wird rekultiviert. Hierzu werden benötigt:
23 100 m³ KB (aus F4, wo dann noch 11500 m³ KB lagern)
5 000 m³ MB (davon 1 600 m³ aus Zwischenlager F4 und 3 400 m³ aus F3, wo dann noch 2 300 m³ MB liegen).

Phase 6: F3 und F4 werden abschnittsweise geschüttet und rekultiviert. Hierzu werden benötigt:
11 500 m³ KB (aus Zwischenlager F4)
2 500 m³ MB (im Zwischenlager F3 noch 2 300 m³ vorhanden).

4 Überlegungen zur staatlichen und privatwirtschaftlichen Regelung der Erhaltung und Wiederverwendung von kulturfähigem Boden

Jeder kennt das Problem: Planierraupe und Bagger sind allgegenwärtig und reißen Wunden in die Landschaft, bauen kostbaren Boden aus, der oft als lästig empfunden wird, in Müll- oder Erddeponien landet und letztlich nur auf der Kostenseite verbucht wird. Gesetzliche Regelungen und Verwaltungsvorschriften erscheinen daher dringend geboten. Sie ziehen aber auch Überwachungsaufgaben nach sich, die angesichts der zahllosen flächenverbrauchenden Maßnahmen im Lande kaum zu bewältigen sind. Es ist daher ebenso wichtig, das Interesse von Bauträgern, Land- und Forstwirten, Wasserwerksbetrieben und letztlich der gesamten Öffentlichkeit an der sinnvollen und fachgerechten Wiederverwendung von kulturfähigem Boden zu wecken.

Dem Staat stehen hierbei zahlreiche Möglichkeiten zur Verfügung, nicht nur Gesetz, Verordnung und Überwachung, sondern beispielsweise auch Gebührenerhebung (auf Erddeponien), Auflagen (bei Bau- und Abbaugenehmigungen), Planung (Bauleitplanung), Beratung, Information und Öffentlichkeitsarbeit. Was praktikabel und rechtlich realisierbar ist, kann nur der Verwaltungsfachmann beurteilen. Hier können lediglich Überlegungen und Anregungen aus der Sicht des Bodenkundlers beigetragen werden.

(1) Der gesetzliche Schutz des Mutterbodens (§ 202 BauGB) sollte auf den kulturfähigen Unterboden ausgedehnt werden.

Daß Mutterboden häufiger wiederverwendet wird als Unterboden, liegt allerdings weniger in seinem gesetzlichen Schutz begründet (denn wer überwacht das?) als darin, daß Bedarf besteht und oft sogar zahlende Abnehmer zu finden sind. Trotzdem sollte der gesetzliche Schutz nicht unterbewertet werden, denn er ermöglicht es der Genehmigungsbehörde, vom Antragsteller den Nachweis zu verlangen, was mit dem zu schützenden Boden geschieht. Um Streitigkeiten vorzubeugen, sollte in einem solchen Gesetz der Begriff „kulturfähig“ definiert werden (z. B. für land- und forstwirtschaftliche Rekultivierungen mittel bis gut geeignete Unterböden, vgl. Tab. 1 in dieser Arbeit).

(2) Es fehlen verbindliche Richtlinien zur Durchführung von Rekultivierungen.

In der DIN 18 915 (Vegetationstechnik im Landschaftsbau, Bodenarbeiten) sind lediglich Angaben zur Mächtigkeit der „Vegetationstragschicht“ (= kulturfähiger Boden) für Rasen (10-20 cm) bzw. Gehölz- und Staudenflächen (20-40 cm) zu finden. Es soll hier nicht diskutiert werden, ob diese Schichtmächtigkeiten für die genannten Zwecke ausreichen, jedenfalls sind sie für land- und forstwirtschaftliche Rekultivierungen indiskutabel. Die schon mehrfach zitierten Richtlinien Nordrhein-Westfalens und der Schweiz sind abgesehen von ihrer Unverbindlichkeit für Baden-Württemberg auch fachlich für die Verhältnisse des Landes nicht ausreichend. Es besteht also dringender Bedarf an einer Informationsschrift oder Richtlinie, die durch Verwaltungsvorschrift eingeführt werden sollte.

Der Effekt einer solchen Richtlinie im Hinblick auf die Erhaltung von kulturfähigem Boden liegt auf der Hand: Wenn bei allen Rekultivierungen im Zuge von Flurbereinigungen, beim Rückbau von Straßen, Kiesgruben, Steinbrüchen usw. eine Mindestmächtigkeit der kulturfähigen Deckschicht (z. B. 1 m) vorgeschrieben ist, wird der Bedarf an kulturfähigem Unterboden und damit auch der Anreiz oder der Zwang zu seiner Erhaltung außerordentlich ansteigen.

(3) Durch Bodenbörsen kann die sinnvolle Wiederverwendung von kulturfähigem Boden ohne aufwendige Zwischenlagerung gefördert werden. Aber Vorsicht: ohne fachliche Kontrolle ist Mißbrauch zu befürchten.

In einigen Landkreisen Baden-Württembergs sind sogenannte Boden- oder Erdaushubbörsen eingerichtet worden. Ihr unmittelbarer Zweck ist natürlich die Einsparung von Deponieraum, denn die Landkreise sind entsorgungspflichtig. Dienen solche Bodenbörsen auch der sinnvollen Wiederverwendung von kulturfähigem Boden? Bei der bisherigen Verwaltungspraxis ist dies zumindest teilweise sehr fraglich: Das Landratsamt übernimmt die telefonische Vermittlung zwischen Anbietern und Abnehmern, ohne die Eignung des anfallenden Bodens für den Verwendungszweck zu prüfen. Die sinnvolle Wiederverwendung ist also nur gewährleistet, wenn der Abnehmer selbst darauf achtet, daß der gelieferte Boden für seine Zwecke geeignet ist. Nun ist aber sicherlich nicht jeder Abnehmer in der Lage, dies zu beurteilen, selbst wenn er z. B. als Landwirt den Boden selbst bewirtschaftet. Noch mehr aber ist zu befürchten, daß er auch schlecht geeignetes Material annimmt, wenn er dafür bezahlt wird. Und der Anbieter zahlt, solange er billiger fährt als beim Transport zur Deponie. Schon bei einigen 100 m³ Erdaushub kann der Gewinn auf beiden Seiten einige 1000 DM betragen! Ohne fachliche Kontrolle sind dem Mißbrauch also Tür und Tor geöffnet, und die Bodenbörse ist gar kein so elegantes Hilfsmittel des Bodenschutzes, wie zunächst erhofft.

Tab. 5: Angebot und Nachfrage an der Erdaushubbörse des Landratsamts Emmendingen im Zeitraum Februar 1987 bis Juli 1989

	Materialbezeichnung						Gesamt
	Mutterboden	Löß	Lehm	sandiges Material	kiesiges Material	Sonstiges	
Angebot (m ³)	11 449	15 190	95 559	8 373	49 729	28 662	208 962
Nachfrage (m ³)	18 814	34 544	58 070	10 204	19 330	3 828	154 790

Damit soll keineswegs die Bodenbörse grundsätzlich abgelehnt werden. Ihr originärer Zweck, die Einsparung von Deponieraum, ist durchaus auch bodenkundlich vorteilhaft, da die Zwischenlagerung immer ein kritischer Punkt im Rekultivierungsablauf ist. In Gebieten mit vorherrschend gut geeigneten Böden, z. B. in Lößgebieten, kann auch ohne Kontrolle nicht viel schief gehen – zumindest was die Qualität des Auftragsbodens betrifft, die richtige Behandlung des Bodens ist wieder eine andere Frage. Aber der Vermittler sollte immer eine Vorstellung von der Herkunft des Erdaushubs **und** der Beschaffenheit der Auffüllfläche haben, in Zweifelsfällen diese vor Ort erkunden. Der Verfasser meint natürlich: Es muß ein Bodenkundler sein! Damit wird auch die Vermittlungstätigkeit komplizierter, die bisher nur in der Weitergabe von Adressen, Kubikmeterzahlen, ungeprüften Materialangaben und Terminen (Anfall oder Bedarf) bestand.

Daß das Vermittlungsangebot in der Praxis gut angenommen wird, zeigen die Zahlen, die uns das Landratsamt Emmendingen zur Verfügung stellte (Tab. 5). Welcher Anteil der angebotenen Mengen kulturfähiger Boden war und welcher Anteil der nachgefragten Mengen für Bodenverbesserungen oder Rekultivierungen gesucht wurde, ist allerdings unbekannt. Lediglich beim Mutterboden ist weitgehend Eignung und Verwendungszweck als kulturfähiger Boden anzunehmen, bei Löß und Lehm zumindest teilweise.

Die weitere Auswertung des Zahlenmaterials der Erdaushubbörse Emmendingen zeigte vor allem, daß Angebot und Nachfrage auch zeitlich oft nicht zusammenfallen. Das Problem der Zwischenlagerung bleibt also auch bei einer solchen Vermittlungstätigkeit bestehen.

(4) Die Nachfrage nach kulturfähigem Unterboden sollte gefördert werden.

Die Nachfrage nach Mutterboden übersteigt im allgemeinen ohnehin das Angebot (vgl. Tab. 5), oft kann er sogar verkauft werden. Wenn auch kulturfähiger Unterboden zum Handelsgut wird, ist sein Schutz am besten gewährleistet. Von staatlicher Seite kann diese Nachfrage in erster Linie durch die oben unter Punkt (2) empfohlenen verbindlichen Richtlinien gefördert werden. Auch durch Auflagen bei verschiedenen Genehmigungsverfahren kann in diesem Sinne Einfluß ausgeübt werden.

(5) Auf Erddeponien sollte die Möglichkeit geschaffen werden, kulturfähigen Boden getrennt von sonstigem Material sachgerecht zwischenzulagern.

Denn die sofortige Wiederverwendung ist insbesondere bei kulturfähigem Unterboden aus logistischen Gründen oft nicht möglich (s.o.) und die Zwischenlagerung an jeder einzelnen Baustelle ist nicht praktikabel. Der Flächenbedarf für Erddeponien wird durch diese Maßnahme nicht größer, da es sich um eine vorübergehende Lagerung handelt.

(6) Erddeponien für kulturfähigen Boden müssen so lokalisiert werden, daß möglichst kurze Transportwege entstehen. Dies sollte bei der Regional- und Flächennutzungsplanung berücksichtigt werden.

Die Forderung ist ökonomisch und umweltpolitisch selbstverständlich. Wie kurz die Transportwege allerdings sein können, wird von Fall zu Fall verschieden sein. Jedenfalls sollte bei Überlegungen zum Standort von Erddeponien im Rahmen der Aufstellung von Regional- und Flächennutzungsplänen untersucht werden, wo mit welchem Anfall bzw. Bedarf

an kulturfähigem Boden zu rechnen ist. Hierzu bedarf es bodenkundlicher Kartenwerke bzw. Erhebungen im Bereich zukünftiger Baumaßnahmen.

(7) Die Einhaltung bodenkundlicher Forderungen erhöht oft die Kosten und erfordert Sachverstand. Staatliche Kontrolle und fachliche Beratung sind daher unverzichtbar.

Bei fast allen Arbeitsschritten (Ausbau, Zwischenlagerung, Wiedereinbau) sind die Forderungen des Bodenkundlers dem Unternehmer lästig: Alle Arbeiten sind witterungsabhängig; beim Ausbau muß getrennt werden zwischen Mutterboden, kulturfähigem Unterboden und nicht kulturfähigem Aushub; bei der Zwischenlagerung muß sorgfältig gearbeitet werden, die Mieten müssen gepflegt werden; beim Wiedereinbau darf verdichtungsgefährdeter Untergrund nicht befahren werden usw. Es dürfte also eine utopische Hoffnung sein, daß durch den Erlaß verbindlicher Richtlinien allein der sachgerechte Umgang mit Kulturboden auch nur annähernd bewirkt wird. Hinzu kommt, daß schon die Entscheidung, ob und für welche Zwecke ein ausgebauter Boden geeignet ist, hohen Sachverstands bedarf. Neben bodenkundlichen

und pflanzenbaulichen Erfordernissen müssen auch klimatische Gegebenheiten berücksichtigt werden (vgl. Tab. 1). Der erforderliche Sachverstand ist nicht so breit gestreut, daß auf Fachberatung verzichtet werden kann.

Die Lösung des Überwachungsproblems wirft, abgesehen vom Mangel an Fachpersonal (Kontrolle erfordert Fachkenntnisse!), auch rechtliche Fragen auf: Wenn kulturfähiger Boden nicht entsorgungspflichtiger Abfall, sondern Wirtschafts- oder Handelsgut ist (ein prinzipiell wünschenswerter Zustand), unterliegt er dann noch der staatlichen Überwachung, wie es beim Abfall vorgeschrieben ist? Wie die personellen, organisatorischen und rechtlichen Probleme zu lösen sind, kann nicht Gegenstand dieser Arbeit sein. Sicher ist jedoch:

Wenn Bodenaushub und Auffüllungen bzw. Rekultivierungen wie bisher lediglich vom Schreibtisch aus genehmigt und nicht kontrolliert werden, kann das Ziel – die Erhaltung und sinnvolle Wiederverwendung von kulturfähigem und fruchtbarem Boden – nicht erreicht werden.

Literatur

- AG Bodenkunde der Geologischen Landesämter (1982): Bodenkundliche Kartieranleitung. - 3. Aufl.; Hannover.
- AMSLER, E., BALDINGER, G. H., DÖRFLINGER, A., JÄGGLI, F., MOOS, F., ROTH, A. & SALM, C. (1987): Kulturland und Kiesabbau. - Richtlinien zur Rückführung von Abbaugebieten in die Landwirtschaft. - Zürich, Nidau (Eidgen. Forsch.-Anst. landwirtschaftl. Pflanzenbau, Schweizer Fachverband Sand u. Kies).
- Bayrische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau & Bayrische Landesanstalt für Wasserwirtschaft (1976): Merkblatt zur kombinierten Dränung. - München.
- BRAUNS, A. (1968): Praktische Bodenbiologie. - Stuttgart (Fischer).
- CZERATZKI, W. (1972): Die Ansprüche der Pflanze an den physikalischen Bodenzustand. - Landbauforschung Völkenrode, **22**(1): 29-36.
- DECKER, H. & WEBER, K. (1982): Ratgeber für den Tiefbau. - 3. Aufl.; Düsseldorf (Werner).
- DIN 18 915 (1988): Vegetationstechnik im Landschaftsbau, Bodenarbeiten. Entwurf März 1988. - Berlin, Köln (Beuth).
- DUMBECK, G. & HARRACH, T. (1985): Porenverteilungen bei Bodenverdichtungen. - Mitt. dt. bodenkdl. Ges., **43**(1): 213-218; Göttingen.
- EMMERLING, H. & SCHRÖDER, D. (1988): Verfahren einer bodenschonenden Deponierung von Autobahn-aushub und nachfolgender Rekultivierung auf einer Muschelkalkhochfläche im Saargau. - Mitt. dt. bodenkdl. Ges., **56**: 345-350; Oldenburg.
- GEHLKER, H. (1976): Die optimale Mächtigkeit einer Deckschicht über schwer durchwurzelbarem Untergrund. - Z. Kulturtechn. u. Flurbereinig., **17**: 106-116; Berlin, Hamburg.
- Geologisches Landesamt Baden-Württemberg (1984): Empfehlungen zur Durchführung von Erdarbeiten für Rekultivierungszwecke. - Freiburg i. Br. - [Unveröff. Gutachten]
- HORN, R. & HARTGE, K.H. (1981): Die Bedeutung der Aggregation für die mechanische Belastbarkeit des Bodens. - Mitt. dt. bodenkdl. Ges., **32**: 43-50; Göttingen.
- KNAUF (o.J.): Praktizierter Naturschutz. - Dokumentation der Firma Knauf über Rekultivierungsverfahren abgebauter oberflächennaher Lagerstätten. - Iphofen.
- KOBEL-LAMPARSKI, A. & LAMPARSKI, F. (1983): Die Wiederbesiedlung flurbereinigten Rebgeländes im Kaiserstuhl durch Lumbriciden. - Mitt. dt. bodenkdl. Ges., **38**: 337-342; Göttingen.
- Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Umwelt und Forsten Baden-Württemberg (1986): Bodenschutzprogramm 86 Baden-Württemberg. - Stuttgart.
- Richtlinien des Landesoberbergamts Nordrhein-Westfalen für das Aufbringen von kulturfähigem Bodenmaterial bei landwirtschaftlicher Rekultivierung für die im Tagebau betriebenen Braunkohlenbergwerke vom 22.1. 1973 (1973 a).
- Richtlinien des Landesoberbergamts Nordrhein-Westfalen für das Aufbringen von kulturfähigem Bodenmaterial bei forstwirtschaftlicher Rekultivierung für die im Tagebau betriebenen Braunkohlenbergwerke vom 12.11.1973 (1973 b).
- SCHAEFFER, F. & SCHACHTSCHABEL, P. (1989): Lehrbuch der Bodenkunde. - 12. Aufl.; Stuttgart (Enke).
- SCHRÖDER, D. (1988): Bodenschonende Rekultivierung von Lössböden in Braunkohlentagebauen. - In: ROSENKRANZ, D. (Hrsg.): Bodenschutz, ergänzbares Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser, **7230**: 1-22; Berlin (Schmidt).
- WEINZIERL, W., MORITZ, R. & ZWÖLFER, F. (1985): Rekultivierung großflächiger Abraumhalden mit anschließender landwirtschaftlicher Nutzung. - Mitt. dt. bodenkdl. Ges., **43**(2): 903-908; Göttingen.
- WOHLRAB, B. (1970): Die Rekultivierung von Tagebauen aus bodenkundlich-technischer Sicht. - Z. Kulturtechn. u. Flurbereinig., **11**: 129-139; Berlin, Hamburg.

Anhang I

Ergebnisse von Kompressionsversuchen im Labor

Methode:

2stündige Belastung ungestörter und gestörter Proben im Ödometer bei unterschiedlichen Wassergehalten und Belastungen, Bestimmung von Porenvolumen und Porengrößenverteilung vor und nach Belastung.

Stechzylindergröße: Höhe 18 mm, Durchmesser 56,4 mm, Inhalt 45 cm²

Belastungsstufen: 4 N/cm², 8 N/cm² und 60 N/cm²

Wassergehalte: entsprechend pF 0,5, pF 1,8, pF 2,5 und pF 2,8

Zahl der Parallelen: 4 (natürliche Lagerung) bzw. 8 (gestörte Lagerung) je Belastungs- und Wassergehaltsstufe

Behandlung der Proben bei „gestörter Lagerung“: lufttrockene Proben werden zerteilt und auf < 2 mm gesiebt

Einzelbestimmungen:

Korngrößenverteilung (Tab. A 1): DIN 19 683, Blatt 2

Dichte der festen Bodensubstanz (dF in Tab. A1): DIN 19 683, Blatt 11

Dichte des Gesamtbodens (dB): gravimetrisch nach Trocknen von Volumenproben bei 105 °C

Wassergehalt bei verschiedenen Saugspannungen: gravimetrisch nach Gleichgewichtseinstellung im Drucktopf

Berechnung der Porenanteile (Wg = Wassergehalt in Vol.-%):

Gesamtporenvolumen GVP	=	$100 - \frac{dB}{dF}$
Luftkapazität LK	=	GPV – Wg bei pF 1,8
Feldkapazität FK	=	Wg bei pF 1,8
nutzbare Feldkapazität nFK	=	FK – Wg bei pF 4,2
weite Grobporen wGp	=	GPV – Wg bei pF 1,8
enge Grobporen eGp	=	wGp – Wg bei pF 2,5
Mittelporen Mp	=	eGp – Wg bei pF 4,2

Bezeichnung von Horizonten und Bodenarten nach AG Bodenkunde (1982).

Tab. A 1: Chemische und physikalische Eigenschaften der im Kompressionsversuch untersuchten Bodenproben

Profil	Bodentyp	Horizont	Probenbezeichnung	Entnahmetiefe cm	Bodenart	Humus %	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ %
A	Pararendzina aus Löß	Ap ₂	A 1	10- 30	U1 2	1,0	7,3	35
		1C ₂	A 2	60- 80	U	0,2	7,7	38
B	Parabraunerde aus Löß	Ap	B 1	10- 20	Lu	2,2	6,4	0,0
		Bt	B 2	40- 50	Ltu	0,9	6,2	0,0
C	Gley-Auenboden	Ap	C 1	10- 30	Lu	2,9	7,3	9,7
		GoM	C 2	50- 70	Lu	0,4	7,6	6,7
D	Parabraunerde aus Sand	Bt	D 1	75- 95	Lts	2,6	5,7	0,0
		1C	D 2	160-170	mSfs	0,0	7,5	9,9

Probe	Korngrößenverteilung in % der Feinerde							Physikalische Kennwerte					
	T	fU	mU	gU	fS	mS	gS	dF g/cm ³	dB g/100 cm ³	GPV Vol.-%	LK Vol.-%	FK Vol.-%	nFK Vol.-%
A 1	10,4	5,3	16,7	57,3	6,3	3,1	0,9	2,54	125,7	50,5	16,8	33,7	25,7
A 2	6,7	3,3	23,7	57,2	5,4	2,6	1,1	2,68	128,8	51,9	12,2	39,7	32,7
B 1	26,4	8,7	27,4	35,6	1,1	0,5	0,3	2,59	143,4	44,6	8,7	35,9	18,7
B 2	36,2	7,7	22,2	33,1	0,6	0,1	0,2	2,66	135,4	49,1	13,9	35,2	13,3
C 1	28,8	12,5	18,6	25,0	12,1	2,1	0,9	2,54	147,1	42,1	5,0	37,1	13,0
C 2	18,2	10,7	18,0	42,2	10,5	0,3	0,1	2,55	137,9	45,9	11,6	34,3	27,5
D 1	28,9	3,7	7,5	21,4	18,3	19,1	1,1	2,61	144,8	44,5	12,8	31,7	17,1
D 2	1,6	←5,3→			27,1	63,9	2,1	2,67					

Tab. A 2: Ergebnisse der Kompressionsversuche an ungestörten Proben des Profils A

Probe Nr. (Horizont)	Belastung (N/cm ²)	Wasserspannung b. Belastung pF	Wassergehalte bei verschiedenen Saugspannungen										Porenanteile* in Vol.-%									
			u = unbelastet					b = belastet					u = unbelastet					b = belastet				
			pF	0,5		1,8		2,5		2,8		4,2		GPV		wGp		eGp		Mp		nFk
u	b	u	b	u	b	u	b	u	b	u	b	u	b	u	b	u	b	u	b	u	b	
A1 (Ap2)	4	0,5	37,3	39,1	32,7	35,6	26,5	26,5	19,1	22,5	8,0	7,8	50,3	49,3	17,6	13,7	6,2	9,1	18,5	18,7	24,7	27,8
		1,8	43,1	40,2	33,5	36,3	25,6	28,1	18,9	25,3	8,0	7,8	50,7	49,0	17,2	12,7	7,9	6,2	17,6	20,3	25,5	26,5
		2,5	41,0	39,8	34,5	35,4	27,3	27,2	19,4	23,2	8,2	7,1	49,4	48,3	14,9	12,9	7,2	8,2	19,1	20,1	26,3	28,3
		2,8	40,4	39,1	33,4	35,4	24,9	25,1	19,0	23,2	7,8	6,8	51,8	50,7	18,4	15,3	8,5	10,3	17,1	18,3	25,6	28,6
	8	0,5	40,7	41,6	34,9	39,3	30,0	30,4	21,1	26,1	8,2	8,5	49,4	47,2	14,5	7,9	4,9	8,9	21,8	21,9	26,7	30,8
		1,8	40,4	40,2	33,5	36,3	25,5	28,6	18,6	26,0	8,0	6,9	50,6	48,4	17,1	12,1	8,0	7,7	17,5	21,7	25,5	29,4
		2,5	40,1	40,0	33,7	35,7	26,1	27,1	19,9	25,3	8,0	7,2	50,4	48,1	16,7	12,4	7,8	8,6	18,1	19,9	25,7	28,5
		2,8	40,8	40,9	34,4	37,2	26,7	29,4	21,3	26,3	8,0	7,0	50,7	49,1	16,3	11,9	7,7	7,8	18,7	22,4	26,4	30,2
	60	0,5	39,5	43,5	33,5	42,3	26,4	36,7	19,9	32,7	8,0	8,7	50,2	43,5	16,7	1,2	7,1	5,6	18,4	28,0	25,5	33,6
		1,8	40,3	42,1	33,0	40,1	24,9	33,0	17,3	28,8	8,0	8,4	50,3	42,2	17,3	2,1	8,1	7,1	16,9	24,6	25,0	31,7
		2,5	40,9	41,9	34,2	39,1	24,9	30,4	17,7	25,9	8,0	7,7	50,4	42,1	16,2	3,0	9,3	8,7	16,9	22,7	26,2	31,4
		2,8	39,3	42,6	33,0	40,1	25,5	32,1	20,2	28,9	7,8	9,3	51,7	44,6	18,7	4,5	7,5	8,0	17,7	22,8	25,2	30,8
A2 (1C2)	4	0,5	44,3	41,5	39,3	38,1	31,4	31,3	23,5	29,6	7,1	5,0	51,5	49,8	12,2	11,7	7,9	6,8	24,3	26,3	32,2	33,1
		1,8	43,8	41,7	39,6	38,3	31,3	32,4	20,6	31,1	6,9	5,3	52,7	50,0	13,1	12,3	8,3	5,9	24,4	27,1	32,7	33,0
		2,5	43,6	44,2	39,9	38,9	30,6	32,9	23,5	31,3	7,0	4,7	51,9	50,5	12,0	11,6	9,3	6,0	23,6	28,2	32,9	34,2
		2,8	42,7	41,5	38,7	37,3	30,0	30,7	24,3	26,5	7,0	5,1	52,2	50,2	13,5	12,9	8,7	6,3	23,0	25,6	31,7	32,2
	8	0,5	44,6	40,7	40,1	38,1	30,7	32,3	23,8	30,3	7,1	4,8	51,8	49,0	11,7	10,9	9,4	5,8	23,6	27,7	33,0	33,5
		1,8	44,3	41,0	39,8	37,8	30,7	31,9	24,1	30,1	7,0	4,9	52,3	50,1	12,5	12,3	9,1	5,9	23,7	27,0	32,8	32,3
		2,5	43,3	43,7	39,8	38,3	29,5	32,3	22,3	30,1	7,0	5,7	52,3	50,1	12,5	11,8	10,3	6,1	22,5	27,6	32,8	32,6
		2,8	43,9	44,8	39,8	39,0	29,9	32,6	23,9	29,5	7,1	5,4	51,2	49,8	11,4	10,8	9,9	6,4	22,8	27,2	32,7	33,6
	60	0,5	42,5	42,1	40,0	38,6	29,6	33,3	22,8	30,4	7,0	6,0	51,9	43,5	11,9	4,9	10,4	5,3	22,6	27,3	33,0	32,6
		1,8	44,4	42,7	40,7	38,9	29,3	33,4	23,5	30,9	7,1	5,1	51,3	47,1	10,6	8,2	11,4	5,5	22,2	28,3	33,6	33,8
		2,5	43,9	44,4	39,5	39,2	29,4	33,3	23,6	30,5	7,0	4,9	52,2	48,2	12,7	9,0	10,1	5,9	22,4	28,4	32,5	34,3
		2,8	43,5	42,4	39,5	37,8	28,9	29,8	22,6	25,1	7,0	6,0	52,1	47,7	12,5	9,9	10,6	8,0	21,9	23,8	32,8	31,8

*GPV = Gesamtporenvolumen
wGp = weite Grobporen (>50 µm)
eGp = enge Grobporen (10-50 µm)
Mp = Mittelporen (0,2-10 µm)
nFK = nutzbare Feldkapazität = eGp+Mp (0,2-50 µm)

Tab. A 3: Ergebnisse der Kompressionsversuche an ungestörten Proben des Profils B

Probe Nr. (Horizont)	Belastung (N/cm ²)	Wasser- span- nung b. Belastung pF	Wassergehalte bei verschiedenen Saugspannungen u = unbelastet b = belastet										Porenanteile* in Vol.-% u = unbelastet b = belastet									
			0,5		1,8		2,5		2,8		4,2		GPV		wGp		eGp		Mp		nFk	
			u	b	u	b	u	b	u	b	u	b	u	b	u	b	u	b	u	b	u	b
B ₁ (Ap)	4	0,5	39,2	40,5	35,6	37,3	33,5	34,9	31,5	33,1	18,1	18,2	43,8	42,5	8,2	5,2	2,1	2,4	15,4	16,7	17,5	19,1
		1,8	40,2	39,1	36,8	36,2	34,1	33,7	32,0	32,3	18,3	18,3	43,4	42,3	6,6	6,1	2,7	2,5	15,8	15,4	18,5	17,9
		2,5	37,8	39,2	35,3	35,1	32,9	32,9	30,8	32,1	18,0	17,5	44,2	42,7	8,9	7,6	2,4	2,2	14,9	15,4	17,3	17,6
		2,8	38,9	38,7	35,2	34,0	31,5	31,6	29,8	30,8	17,1	16,6	47,0	45,8	11,8	11,8	3,7	2,4	14,4	15,0	18,1	17,4
	8	0,5	39,6	40,5	36,5	37,8	33,6	36,6	31,6	33,3	17,5	18,8	45,7	43,6	9,2	5,8	2,9	2,2	16,1	16,8	19,0	19,0
		1,8	39,1	40,3	35,9	36,7	33,1	34,1	31,2	32,9	18,1	18,0	43,8	41,7	7,9	5,0	2,8	2,6	15,0	16,1	17,8	18,7
		2,5	39,6	40,6	35,9	36,1	33,2	33,7	31,2	33,0	17,8	17,4	44,7	42,7	8,8	6,6	2,7	2,4	15,5	16,3	18,1	18,7
		2,8	39,2	39,5	36,1	35,6	33,0	33,2	31,2	32,4	18,3	20,1	43,3	41,7	7,2	6,1	3,1	2,4	14,7	13,1	17,8	15,5
	60	0,5	39,1	40,5	35,8	40,0	33,2	38,4	31,1	34,9	18,1	20,8	43,9	40,5	8,1	0,5	2,6	1,6	15,1	17,6	17,7	19,2
		1,8	39,6	44,1	34,7	41,9	32,0	39,3	29,9	37,2	17,1	19,4	47,0	44,1	12,3	2,2	2,7	2,6	14,9	19,9	17,6	22,5
		2,5	39,4	41,3	36,3	40,5	33,2	38,3	30,9	37,1	18,2	19,6	43,5	41,3	7,2	0,8	3,1	2,2	15,0	18,7	18,1	20,9
		2,8	39,1	39,8	36,1	38,7	33,0	36,9	31,2	35,9	17,8	20,1	44,9	39,8	8,8	1,1	3,1	1,8	15,2	16,8	18,3	18,6
B ₂ (Bt)	4	0,5	40,8	41,6	36,0	37,7	33,8	36,8	32,6	34,3	22,0	22,2	48,6	47,0	12,6	9,3	2,2	1,9	11,8	13,6	14,0	15,5
		1,8	40,1	40,2	35,7	35,7	33,5	33,9	32,4	33,2	22,2	22,2	48,1	47,4	12,4	11,7	2,2	1,8	11,3	11,7	13,5	13,5
		2,5	39,8	40,3	33,7	34,4	31,3	32,4	30,0	31,6	21,2	20,8	50,4	49,2	16,7	14,8	2,4	2,0	10,1	10,8	12,5	13,6
		2,8	41,6	40,8	34,6	35,2	32,2	33,8	30,9	33,1	20,9	19,0	51,2	49,7	16,6	14,5	2,4	1,4	11,3	14,8	13,7	16,2
	8	0,5	40,5	41,7	36,1	38,6	33,8	36,7	32,7	35,0	21,9	23,1	48,9	46,5	12,8	7,9	2,3	1,9	11,9	13,6	14,2	15,2
		1,8	40,1	39,8	35,9	36,2	33,8	34,7	32,7	34,0	22,4	23,6	47,7	44,5	11,8	8,3	2,1	1,5	11,4	11,1	13,5	12,6
		2,5	40,5	40,6	34,7	34,8	32,6	34,2	31,5	33,1	21,8	21,0	49,1	46,7	14,4	10,9	2,1	2,6	10,8	13,2	12,9	14,8
		2,8	40,8	40,2	35,2	36,2	32,8	34,8	31,7	34,1	22,1	22,1	48,3	46,4	13,1	10,2	2,4	1,4	10,7	12,7	13,1	14,1
	60	0,5	40,1	39,8	34,7	39,8	32,4	38,4	31,3	37,3	21,6	24,7	49,5	43,5	14,8	3,6	2,3	1,4	10,8	13,7	13,1	15,1
		1,8	41,0	42,9	35,5	41,8	33,1	40,2	39,9	39,2	21,7	24,0	49,4	42,9	13,9	1,1	2,4	1,6	11,4	16,2	13,8	17,8
		2,5	40,5	41,2	34,2	39,1	31,9	37,4	30,9	36,4	21,9	27,2	48,9	41,2	14,7	2,1	2,3	1,7	10,0	10,2	12,3	11,9
		2,8	40,0	43,7	35,8	41,3	33,8	39,7	32,9	39,3	22,5	27,7	49,0	43,7	13,2	2,4	2,0	1,6	11,3	12,0	13,3	13,6

*GPV = Gesamtporenvolumen
wGp = weite Grobporen (>50 µm)
eGp = enge Grobporen (10-50 µm)
Mp = Mittelporen (0,2-10 µm)
nFK = nutzbare Feldkapazität = eGp+Mp (0,2-50 µm)

Tab. A 4: Ergebnisse der Kompressionsversuche an ungestörten Proben des Profils C

Probe Nr. (Horizont)	Belastung (N/cm ²)	Wasserspannung b. Belastung pF	Wassergehalte bei verschiedenen Saugspannungen										Porenanteile* in Vol.-%									
			u = unbelastet					b = belastet					u = unbelastet					b = belastet				
			pF	0,5	1,8	2,5	2,8	4,2	GPV	wGp	eGp	Mp	nFk	u	b	u	b	u	b			
C1 (Ap)	4	0,5	39,1	39,1	36,7	37,4	35,3	35,9	33,7	34,8	24,3	24,7	41,5	40,6	4,8	3,2	1,4	1,5	11,0	11,2	12,4	12,7
		1,8	40,4	38,6	37,8	37,2	36,1	35,5	34,8	34,6	23,8	26,4	42,7	40,2	4,9	3,0	1,7	1,7	12,3	9,1	14,0	10,8
		2,5	40,3	38,3	37,2	36,5	35,1	34,7	33,9	33,5	23,6	25,4	43,1	42,2	5,9	5,7	2,1	1,8	11,5	9,3	13,6	11,1
		2,8	39,8	35,5	36,8	34,7	35,5	33,4	34,2	32,1	24,6	27,4	40,7	38,4	3,9	3,7	1,3	1,3	10,9	6,0	12,2	7,3
	8	0,5	39,4	39,7	37,2	38,1	35,4	36,3	34,1	34,9	24,2	32,7	41,8	40,5	4,6	2,4	1,8	1,8	11,2	3,6	13,0	5,4
		1,8	40,1	40,8	36,9	38,4	34,7	36,6	33,6	35,0	23,3	26,4	45,4	42,6	8,5	4,2	2,2	1,8	11,4	10,2	13,6	12,0
		2,5	39,9	39,2	37,5	37,5	35,6	36,1	34,4	34,7	24,6	24,1	40,6	39,1	3,1	1,6	1,9	1,4	11,0	12,0	12,9	13,4
		2,8	40,1	38,8	37,3	36,2	35,4	35,0	34,1	33,5	24,5	23,9	41,0	39,5	3,7	3,3	1,9	1,2	10,9	11,1	12,8	12,3
	60	0,5	39,6	39,3	36,4	39,2	34,5	37,5	33,6	36,1	24,3	27,3	41,5	39,3	5,1	0,1	1,9	1,7	10,2	10,2	12,1	11,9
		1,8	39,9	41,5	36,4	41,2	34,1	39,7	32,7	38,3	23,4	26,1	43,8	41,5	7,4	0,3	2,3	1,5	10,7	13,6	13,0	15,1
		2,5	39,1	39,6	37,4	39,0	35,6	37,8	34,3	35,9	24,2	23,7	41,7	39,6	4,3	0,6	1,8	1,2	11,4	14,1	13,2	15,3
		2,8	39,1	38,0	36,7	38,2	35,0	36,9	33,9	35,4	23,7	28,3	42,8	41,5	6,1	3,3	1,7	1,3	11,3	8,6	13,0	0,9
C2 (GoM)	4	0,5	39,1	38,6	33,6	34,7	29,0	30,4	27,5	28,0	6,7	7,4	46,5	45,8	12,9	11,1	4,6	4,3	22,3	23,0	26,9	27,3
		1,8	38,5	37,8	33,9	33,6	29,0	30,0	27,0	28,0	6,7	5,7	46,7	45,8	12,8	12,2	4,9	3,6	22,3	24,3	27,2	27,9
		2,5	38,2	38,1	34,7	34,1	30,4	31,2	28,9	29,8	6,9	8,4	45,2	44,4	10,5	10,3	4,3	2,9	23,5	22,8	27,8	25,7
		2,8	38,6	38,1	33,9	35,0	28,2	28,4	26,8	26,6	6,9	8,5	44,5	43,8	10,6	8,8	5,7	6,6	21,3	19,9	27,0	26,5
	8	0,5	39,9	40,1	35,5	36,9	30,7	32,1	29,2	30,0	6,7	9,7	46,2	45,1	10,7	8,2	4,8	4,8	24,0	22,4	28,8	27,2
		1,8	39,0	38,5	34,6	34,9	27,4	28,6	25,7	26,2	6,7	6,6	46,4	44,7	11,8	9,8	7,2	6,3	20,7	22,0	27,9	28,3
		2,5	38,4	38,2	34,8	34,5	31,1	32,0	29,8	30,5	6,8	10,5	45,8	44,2	11,0	9,7	3,7	2,5	24,3	21,5	28,0	24,0
		2,8	38,1	37,6	33,5	32,0	27,8	28,7	29,6	26,4	6,7	6,6	46,7	45,5	13,2	10,4	5,7	3,3	21,1	22,2	26,8	25,5
	60	0,5	39,1	41,6	32,8	39,4	27,4	34,3	26,0	31,9	6,7	8,4	46,5	41,6	13,7	2,2	5,4	5,1	20,7	25,9	26,1	31,0
		1,8	38,3	38,2	34,2	36,0	28,1	30,7	26,5	28,5	6,8	12,9	45,9	41,5	11,7	5,5	6,1	5,3	21,3	17,8	27,4	23,1
		2,5	38,2	40,4	35,0	37,5	30,9	34,7	29,3	32,6	6,9	8,4	45,1	39,6	10,1	2,1	4,1	2,8	24,0	26,3	28,1	29,1
		2,8	39,2	39,6	35,1	35,7	29,0	32,2	27,4	30,5	6,8	7,0	45,5	41,5	10,4	5,8	6,1	3,5	22,2	25,2	28,3	28,7

*GPV = Gesamtporenvolumen
wGp = weite Grobporen (>50 µm)
eGp = enge Grobporen (10-50 µm)
Mp = Mittelporen (0,2-10 µm)
nFK = nutzbare Feldkapazität = eGp+Mp (0,2-50 µm)

Tab. A 5: Ergebnisse der Kompressionsversuche an ungestörten Proben des Profils D

Probe Nr. (Horizont)	Belastung (N/cm ²)	Wasserspannung b. Belastung pF	Wassergehalte bei verschiedenen Saugspannungen u = unbelastet b = belastet										Porenanteile* in Vol.- % u = unbelastet b = belastet									
			0,5		1,8		2,5		2,8		4,2		GPV		wGp		eGp		Mp		nFK	
			u	b	u	b	u	b	u	b	u	b	u	b	u	b	u	b	u	b	u	b
D ₁ (Bt)	4	0,5	37,2	36,5	30,8	31,2	25,6	27,7	23,8	25,6	14,3	16,4	45,4	44,6	16,6	13,4	5,2	3,5	11,3	11,3	16,5	14,8
		1,8	38,0	38,0	32,7	34,9	29,0	32,3	28,1	30,9	14,8	15,2	43,8	42,4	11,1	7,5	3,7	2,6	14,2	17,1	17,9	19,7
		2,5	32,3	35,6	31,7	32,7	27,3	29,2	25,9	28,4	14,7	14,9	44,0	42,5	12,3	9,8	4,4	3,5	12,6	14,3	17,0	17,8
		2,8	37,2	36,5	30,5	30,4	25,0	27,4	24,5	26,0	14,3	16,4	45,7	44,8	15,2	14,4	5,5	3,0	10,7	11,0	16,2	14,0
	8	0,5	37,5	36,4	32,0	32,9	27,9	30,1	26,7	28,5	14,6	15,2	44,5	43,2	12,5	10,4	4,1	2,8	13,3	14,9	17,4	17,7
		1,8	36,9	36,0	31,0	33,4	27,0	30,7	25,9	29,2	14,5	16,1	44,7	41,6	13,7	8,2	4,0	2,7	12,5	14,6	16,5	17,3
		2,5	36,4	36,4	31,8	33,8	27,2	30,5	25,4	29,3	14,5	17,8	44,8	42,4	13,0	8,6	4,6	3,3	12,7	12,7	17,3	16,0
		2,8	39,3	39,9	33,0	34,9	29,7	31,5	27,9	29,7	14,5	20,2	44,3	41,2	11,3	6,3	3,3	3,4	15,2	11,3	18,4	14,7
	60	0,5	36,5	38,5	32,2	37,9	29,1	35,9	28,2	34,9	14,9	19,7	43,3	38,5	11,1	0,8	3,1	2,0	14,2	16,2	17,3	18,2
		1,8	38,0	37,7	32,0	35,7	27,5	32,7	26,1	31,1	14,8	16,0	43,7	36,3	11,7	0,6	4,5	3,0	12,7	16,7	17,2	19,7
		2,5	36,2	36,9	30,7	36,3	26,0	34,2	25,9	32,7	14,4	19,1	45,1	36,9	14,4	0,6	4,7	2,1	11,6	15,1	16,3	17,2
		2,8	37,1	37,9	32,1	35,2	25,9	32,9	24,5	30,6	14,5	19,9	45,0	37,9	12,9	2,7	6,2	2,3	11,4	13,0	17,6	15,3

*GPV = Gesamtporenvolumen
wGp = weite Grobporen (>50 µm)
eGp = enge Grobporen (10-50 µm)
Mp = Mittelporen (0,2-10 µm)
nFK = nutzbare Feldkapazität = eGp+Mp (0,2-50 µm)

Tab. A 6: Ergebnisse der Kompressionsversuche an gestörten Proben des Profils A

Probe Nr. (Horizont)	Belastung (N/cm ²)	Wasserspannung b. Belastung	Wassergehalte der belasteten Proben bei verschiedenen Saugspannungen					Porenanteile* in Vol.- %					
			pF	0,5	1,8	2,5	2,8	4,2	unbelas-	belastet			
									stet	GpV	wGp	eGp	Mp
A ₁ (Ap ₂)	4	0,5	41,4	39,7	37,8	36,1	6,5	53,9	51,5	11,8	1,9	31,3	33,2
		1,8	41,6	39,3	37,6	35,7	6,7	52,8	50,6	11,3	1,7	30,9	32,6
		2,5	40,7	38,1	34,9	32,2	6,6	53,7	51,3	13,2	3,2	28,3	31,5
		2,8	41,6	39,1	34,9	31,9	6,6	52,8	50,6	11,5	4,2	28,3	32,5
	8	0,5	41,9	40,3	38,7	36,5	6,8	54,3	50,1	9,8	1,6	31,9	33,5
		1,8	40,8	39,0	36,3	34,4	6,9	53,1	49,9	10,9	2,7	29,4	32,1
		2,5	42,3	39,2	36,7	34,3	6,7	53,6	49,7	10,5	2,5	30,0	32,5
		2,8	42,0	40,0	35,9	32,5	6,9	52,4	49,2	9,2	4,1	29,0	33,1
	60	0,5	46,5	44,6	42,8	40,9	8,3	54,8	46,5	1,9	1,8	34,5	36,3
		1,8	46,8	44,5	42,4	40,6	8,8	52,6	46,8	2,3	2,1	33,6	35,7
		2,5	47,0	43,9	41,4	39,8	8,7	53,0	47,0	3,1	2,5	32,7	35,2
		2,8	47,6	45,7	42,0	39,0	8,8	53,4	47,6	1,9	3,7	33,2	36,9
A ₂ (1C ₂)	4	0,5	38,8	35,5	31,8	28,7	4,1	53,1	51,9	16,4	3,7	27,7	31,4
		1,8	38,4	36,6	33,7	31,5	4,1	53,1	51,8	15,2	2,9	29,6	32,5
		2,5	41,5	36,5	32,8	30,6	4,6	53,4	52,1	15,6	3,7	28,2	31,9
		2,8	43,0	38,5	33,8	28,7	4,4	52,7	51,4	12,9	4,7	29,4	34,1
	8	0,5	38,9	35,8	32,4	30,3	4,0	52,9	51,0	15,2	3,4	28,4	31,8
		1,8	39,1	36,9	33,9	30,4	4,1	53,4	51,4	14,5	3,0	29,8	32,8
		2,5	41,9	37,0	33,5	30,2	4,6	53,3	51,2	14,2	3,5	28,9	32,4
		2,8	41,7	37,9	33,1	30,3	4,0	52,3	50,5	12,6	4,8	29,1	33,9
	60	0,5	44,4	41,8	39,0	36,5	4,9	54,3	44,4	2,6	2,8	34,1	36,9
		1,8	44,9	40,7	38,0	34,8	4,9	53,3	43,7	3,0	2,7	33,1	35,8
		2,5	46,6	41,4	38,0	34,0	5,4	53,5	46,6	5,2	3,4	32,6	36,0
		2,8	46,1	42,2	37,5	35,0	4,7	52,6	46,1	3,9	4,7	32,8	37,5

*GPV = Gesamtporenvolumen
wGp = weite Grobporen (>50 µm)
eGp = enge Grobporen (10-50 µm)
Mp = Mittelporen (0,2-10 µm)
nFK = nutzbare Feldkapazität = wGp+eGp (0,2-50 µm)

Tab. A 7: Ergebnisse der Kompressionsversuche an gestörten Proben des Profils B

Probe Nr. (Horizont)	Belastung (N/cm ²)	Wasserspannung b. Belastung pF	Wassergehalte der belasteten Proben bei verschiedenen Saugspannungen					Porenanteile* in Vol.-%					
			pF 0,5	1,8	2,5	2,8	4,2	unbelastet GpV	belastet				
									GpV	wGp	eGp	Mp	nFK
B ₁ (Ap)	4	0,5	37,4	36,3	34,8	34,2	14,7	59,2	55,7	19,4	1,5	20,1	21,6
		1,8	40,9	38,8	37,0	35,5	14,8	52,3	50,2	11,4	1,8	22,2	24,0
		2,5	39,5	37,8	36,1	34,7	17,0	53,6	50,6	12,8	1,7	19,1	20,8
		2,8	40,5	38,3	36,5	35,5	26,4	53,9	50,7	12,4	1,8	10,1	11,9
	8	0,5	39,7	38,2	35,7	34,8	15,3	56,9	53,1	14,9	2,5	20,4	22,9
		1,8	40,2	38,4	36,5	35,1	15,6	53,1	49,5	11,1	1,9	20,9	22,8
		2,5	39,3	37,6	36,3	35,1	20,9	54,1	49,8	12,2	1,3	15,4	16,7
		2,8	40,8	39,3	37,5	36,3	26,6	52,9	48,0	8,7	1,8	10,9	12,7
	60	0,5	46,7	45,2	42,9	41,9	20,5	55,5	46,7	1,5	2,3	22,4	24,7
		1,8	46,2	44,3	42,1	40,8	20,5	53,4	46,2	1,9	2,2	21,6	23,8
		2,5	45,8	44,5	43,6	42,6	21,4	54,6	45,8	1,3	0,9	22,2	23,1
		2,8	45,0	44,1	42,9	41,6	22,3	53,1	45,0	0,9	1,2	20,6	21,8
B ₂ (Bt)	4	0,5	37,1	36,9	35,2	33,8	17,3	58,3	55,9	19,0	1,7	17,9	19,6
		1,8	38,4	37,8	36,0	34,2	16,7	57,3	54,7	16,9	1,8	19,3	21,1
		2,5	37,6	35,9	33,9	32,1	17,3	57,5	54,4	18,5	2,0	16,6	18,6
		2,8	44,8	40,9	37,7	35,5	18,5	58,8	51,7	10,8	3,2	19,2	22,4
	8	0,5	35,6	35,3	34,0	33,6	16,6	59,7	56,6	21,3	1,3	17,4	18,7
		1,8	37,6	36,3	34,2	32,5	15,5	58,9	55,0	18,7	1,9	18,7	20,8
		2,5	38,1	36,4	34,7	33,0	18,2	57,0	52,7	16,3	1,7	16,5	18,2
		2,8	39,2	37,0	35,2	33,7	17,8	58,0	53,0	16,0	1,8	17,4	19,2
	60	0,5	44,9	44,1	43,0	42,1	25,3	58,3	44,9	0,8	1,1	17,7	18,8
		1,8	48,8	46,6	44,2	43,2	25,7	57,3	48,8	2,2	2,4	18,5	20,9
		2,5	45,8	45,6	44,4	43,0	25,3	57,3	46,5	0,9	1,2	19,1	20,3
		2,8	50,7	49,1	47,4	45,9	28,4	57,0	50,7	1,6	1,7	19,0	20,7

*GPV = Gesamtporenvolumen
wGp = weite Grobporen (>50 µm)
eGp = enge Grobporen (10-50 µm)
Mp = Mittelporen (0,2-10 µm)
nFK = nutzbare Feldkapazität = wGp+eGp (0,2-50 µm)

Tab. A 8: Ergebnisse der Kompressionsversuche an gestörten Proben des Profils C

Probe Nr. (Horizont)	Belastung (N/cm ²)	Wasserspannung b. Belastung	Wassergehalte der belasteten Proben bei verschiedenen Saugspannungen					Porenanteile* in Vol.-%					
			pF	0,5	1,8	2,5	2,8	4,2	unbelastet	belastet			
									GpV	GpV	wGp	eGp	Mp
C ₁ (Ap)	4	0,5	41,4	39,4	36,6	35,3	15,7	55,1	52,0	12,6	2,8	20,9	23,7
		1,8	39,2	37,3	35,3	32,8	14,8	53,7	51,9	14,6	2,0	20,5	22,5
		2,5	40,2	39,4	35,9	34,1	16,9	51,2	48,8	9,4	3,5	19,0	22,5
		2,8	39,8	37,6	34,1	32,7	14,7	54,4	51,1	13,5	3,5	19,4	22,9
	8	0,5	38,9	38,2	35,9	35,1	16,2	55,0	49,5	11,3	2,3	19,7	22,0
		1,8	39,2	37,6	35,4	33,6	17,6	53,5	50,9	13,3	2,2	17,8	20,0
		2,5	40,6	39,2	36,4	34,6	16,1	54,0	49,7	10,5	2,8	20,3	23,1
		2,8	40,0	38,2	35,1	34,0	16,2	53,2	48,0	9,8	3,1	18,9	22,0
	60	0,5	42,6	42,4	40,5	39,9	23,1	54,8	42,6	0,2	1,9	17,4	19,3
		1,8	44,5	43,7	41,9	40,5	24,8	51,9	44,5	0,8	1,8	17,1	18,9
		2,5	46,0	45,4	43,4	42,2	24,5	50,5	46,0	0,6	2,0	18,9	20,9
		2,8	45,9	44,6	42,2	40,5	23,1	53,7	45,9	1,3	2,4	19,1	21,5
C ₂ (GoM)	4	0,5	36,6	35,3	27,6	25,0	5,8	52,3	50,4	15,1	7,7	21,8	29,5
		1,8	38,8	36,9	27,6	23,1	6,7	50,0	48,0	11,1	9,3	20,9	30,2
		2,5	39,6	37,7	34,6	32,0	9,5	52,0	49,1	11,4	3,1	25,1	28,2
		2,8	40,7	36,9	33,2	30,0	9,2	52,9	50,0	13,1	3,7	24,0	27,7
	8	0,5	36,7	35,4	28,6	26,4	6,4	52,3	49,3	13,9	6,8	22,2	29,0
		1,8	38,1	36,8	31,7	29,7	6,9	51,8	47,6	10,8	5,1	24,8	29,9
		2,5	38,7	37,0	33,9	31,9	10,0	51,8	47,6	10,6	3,1	23,9	27,0
		2,8	41,2	37,2	31,9	29,5	9,9	52,7	48,1	10,9	5,3	22,0	27,3
	60	0,5	46,5	43,9	36,1	34,6	8,8	52,0	46,5	2,6	7,8	27,3	35,1
		1,8	44,8	43,8	41,7	40,3	8,9	50,9	44,8	1,0	2,1	32,8	34,9
		2,5	45,4	43,5	40,9	39,1	12,8	51,8	45,4	1,9	2,6	28,1	30,7
		2,8	49,2	45,9	40,9	39,4	13,4	53,7	49,2	3,4	5,0	27,5	32,5

*GPV = Gesamtporenvolumen
wGp = weite Grobporen (>50 µm)
eGp = enge Grobporen (10-50 µm)
Mp = Mittelporen (0,2-10 µm)
nFK = nutzbare Feldkapazität = wGp+eGp (0,2-50 µm)

Tab. A 9: Ergebnisse der Kompressionsversuche an gestörten Proben des Profils D

Probe Nr. (Horizont)	Belastung (N/cm ²)	Wasserspannung b. Belastung pF	Wassergehalte der belasteten Proben bei verschiedenen Saugspannungen					Porenanteile* in Vol.-%					
			pF 0,5	1,8	2,5	2,8	4,2	unbelastet	belastet				
								GpV	GpV	wGp	eGp	Mp	nFK
D ₁ (Bt)	4	0,5	36,2	30,3	29,6	28,2	15,9	55,9	52,7	22,4	0,7	13,7	14,4
		1,8	37,5	32,3	30,5	29,8	16,7	56,0	52,4	20,1	1,8	13,8	15,6
		2,5	37,5	30,8	29,1	27,9	16,5	53,9	49,9	19,1	1,7	12,6	14,3
		2,8	38,8	31,0	28,4	26,0	16,9	53,5	49,1	18,1	2,6	11,5	14,1
	8	0,5	36,4	31,8	30,7	29,3	18,6	52,0	47,9	16,1	1,1	12,1	13,2
		1,8	35,9	31,0	29,3	28,8	17,7	55,8	51,1	20,1	1,7	11,6	13,3
		2,5	36,0	31,7	29,9	28,4	19,0	53,4	47,2	15,5	1,8	10,9	12,7
		2,8	38,6	31,2	27,8	26,3	16,8	54,9	49,2	18,0	3,4	11,0	14,4
	60	0,5	39,8	36,3	36,0	35,2	23,6	53,6	39,8	3,5	0,3	12,4	12,7
		1,8	42,5	41,0	40,0	38,9	26,6	55,7	42,5	1,5	1,0	13,4	14,4
		2,5	40,9	39,4	38,5	36,8	26,2	54,3	40,9	1,5	0,9	12,3	13,2
		2,8	45,5	40,2	38,7	36,7	25,8	52,9	45,5	5,3	1,5	12,9	14,4
D ₂ (1C)	4	0,5	30,4	16,2	5,3	5,2	1,7	45,4	44,3	28,1	10,9	3,6	14,5
		1,8	31,7	19,4	5,0	4,9	1,7	44,6	43,5	24,1	14,4	3,3	17,7
		2,5	30,4	13,2	5,9	4,5	1,6	45,0	44,0	30,8	7,3	4,3	11,6
		2,8	29,2	17,5	5,6	5,2	1,8	43,9	42,7	25,2	11,9	3,8	15,7
	8	0,5	31,0	17,3	5,2	4,9	1,9	45,6	43,9	26,6	12,1	3,3	15,4
		1,8	30,9	21,3	5,6	5,2	1,9	43,4	41,8	20,5	15,7	3,7	19,4
		2,5	31,6	14,0	5,5	4,7	1,5	45,0	43,5	29,5	8,5	4,0	12,5
		2,8	31,8	17,9	5,1	4,9	1,6	44,0	42,4	24,5	12,8	3,5	16,7
	60	0,5	33,7	22,8	5,3	5,2	1,8	44,0	37,6	14,8	17,5	3,5	21,0
		1,8	33,2	21,9	5,7	5,5	1,6	43,9	38,4	16,5	16,2	4,1	20,3
		2,5	33,4	17,2	5,5	4,6	1,9	45,1	38,8	21,6	11,7	3,6	15,3
		2,8	34,6	16,7	5,2	5,2	2,2	44,7	37,8	21,1	11,5	3,0	14,5

*GPV = Gesamtporenvolumen
wGp = weite Grobporen (>50 µm)
eGp = enge Grobporen (10-50 µm)
Mp = Mittelporen (0,2-10 µm)
nFK = nutzbare Feldkapazität = wGp+eGp (0,2-50 µm)

Anhang II

Ansaaten für die Begrünung von Mutterbodenmieten (Beispiele)

Pflanzenart	Saatmenge je m ²	Durchwurzelungs- tiefe	Winterhärte	Saattermin	Ansaat geeignet für
Senf	2,0g	tief	nicht winterhart	Frühjahr bis Mitte September	Mieten mit mehrmonatiger Lagerzeit ohne Überwinterung
Ölrettich	2,0g	sehr tief	bedingt winterhart	Frühjahr bis Mitte September	Mieten mit einer Lagerzeit von weniger als 2 Jahren und maximal 1 Überwinterung
Winterraps, Winterrübsen	1,5g	tief	sehr winterhart	Mitte Juli bis Anfang September	
Winterroggen	20g	flach	sehr winterhart	August bis Ende Oktober	
Luzerne	3,0g	sehr tief	winterhart	Frühjahr; Juli bis Mitte August	Mieten mit mehrjähriger Lagerzeit
Kleegras	3,0g	tief	winterhart	Frühjahr bis Mitte August	
Grasmischungen	4,0g	flach	winterhart	Frühjahr bis Ende August	



Anhang III

Begriffserklärungen

Kulturfähiger Boden, Kulturboden (in neueren Arbeiten „kultivierbarer Bodenaushub“):

Boden- und Lockergesteinsmaterial, das nach fachgerechter Umlagerung ein geeignetes Substrat für Kulturpflanzen darstellt und deshalb als Bodenauftrag bei Rekultivierungen oder Bodenmeliorationen Verwendung findet.

Kulturfähiger Unterboden:

kulturfähige, humusarme und -freie Böden und Lockergesteinsschichten unterhalb des humosen Oberbodens. In der Praxis wird hierfür oft der Begriff „Kulturboden“, im Gegensatz zum „Mutterboden“, verwandt.

Mutterboden, humoser Oberboden:

in der Regel 1 bis 3 (4) dm mächtige humose Oberbodenschicht. Bei tiefhumosen Böden (z.B. kolluvialen Böden aus abgeschwemmtem Oberbodenmaterial) ist auch der Unterboden wie Mutterboden zu behandeln.

Regenfaktor nach LANG:

Quotient aus Jahresregenmenge durch Jahrestemperatur.

