

**Erhebungsuntersuchungen
zur
Qualität von Geländeauffüllungen**

**Bewertung von Auftragsböden nach ihrer
Leistungsfähigkeit**

IMPRESSUM

Herausgeber	Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg 76185 Karlsruhe · Postfach 21 07 52, http://www.uvm.baden-wuerttemberg.de/lfu
ISSN	0949-0256 (Bd. 4, 2000)
Redaktion	Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg Abteilung 2 - Ökologie, Boden- und Naturschutz Raimund Kohl
Bearbeitung	Taberg Planungsbüro GmbH, Karlsruhe Dipl.-Geogr. B. Juris (Projektleiter) unter Mitarbeit von Dipl.-Geogr. Dr. B. Schuhmacher Dipl.-Geogr. I. Gueinzus
gefördert durch	Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg
Umschlaglayout	Stephan May · Grafik-Design, 76227 Karlsruhe
Titelbild	Jutta Ruloff · Dipl.-Designerin, 76275 Ettlingen
Fotos	Taberg Planungsbüro, Karlsruhe
Druck	Grube & Speck, 76137 Karlsruhe
Umwelthinweis	gedruckt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier
Bezug über	Verlagsauslieferung der LfU bei JVA Mannheim - Druckerei, Herzogenriedstr. 111, 68169 Mannheim Telefax 0621/398-370
Preis	21,-- DM (EURO: 10,74)

Nachdruck - auch auszugsweise - nur mit Zustimmung des Herausgebers unter Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet.

INHALTSVERZEICHNIS

ZUSAMMENFASSUNG	1
1 VERANLASSUNG	2
2 VORGEHENSWEISE UND UNTERSUCHUNGSMETHODEN	2
2.1 Aufgabenstellung und Untersuchungsumfang.....	2
2.2 Auswahl und Übersicht der Untersuchungsstandorte.....	3
2.3 Feldbodenkundliche Aufnahme.....	6
2.4 Bodenphysikalische Untersuchungsmethoden.....	8
2.5 Bodenchemische Untersuchungen.....	10
3 DOKUMENTATION DER GELÄNDEAUFFÜLLUNGEN	11
3.1 Genehmigungsstatus der Auffüllmaßnahmen.....	11
3.2 Fachtechnische Vorgaben.....	11
3.2.1 Qualität des Auffüllmaterials.....	12
3.2.2 Art der technischen Durchführung.....	13
3.2.3 Nachsorgemaßnahme.....	14
4 UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE	17
4.1 Bodeneigenschaften und -qualität der Untersuchungsstandorte A - N.....	17
4.2 Bewertung der Untersuchungsergebnisse.....	54
4.2.1 Rechtsgrundlagen.....	54
4.2.2 Bewertungsmethodik.....	54
4.2.3 Vergleich der Auffüllungsstandorte.....	59
4.2.4 Vergleich Auftragsboden – Referenzboden.....	66
4.2.5 Gesamtbetrachtung und Diskussion.....	80
5 FACHTECHNISCHE VORGABEN UND QUALITÄT DER GELÄNDEAUFFÜLLUNGEN	86
6 RESÜMEE	88
7 LITERATURVERZEICHNIS	89

ANHANG

Klimadaten

Photodokumentation

Zusammenfassung

An 13 ausgewählten Standorten in Baden-Württemberg wurden im Auftrag der Landesanstalt für Umweltschutz bodenkundliche Untersuchungen zur Qualität von Geländeauffüllungen durchgeführt. Die Untersuchungsstandorte wurden mit benachbarten, entsprechend unbeeinflussten Referenzböden verglichen, um eine mögliche Verbesserung oder Verschlechterung der Bodenqualität infolge der Auffüllung bewerten zu können.

Die Bestandsaufnahme umfaßte feldbodenkundliche, bodenphysikalische und bodenchemische Untersuchungen. Für eine Bewertung der Auftragsböden bezüglich ihrer Leistungsfähigkeit wurde eine auf die spezifischen Probleme von Geländeauffüllungen angepasste Bewertungsmethodik entwickelt.

Ergänzend zur bodenkundlichen Bestandsaufnahme wurden die Geländeauffüllungen hinsichtlich dem Genehmigungsstatus, der Art und Umfang der Genehmigungsaufgaben, der technischen Ausführung und der erforderlichen Nachsorgemaßnahmen ausgewertet und dokumentiert. Zusätzlich wurden die Landwirte bzw. Bauunternehmer zur Durchführung der Maßnahmen befragt.

Der Vergleich der Auftragsböden mit den Referenzböden ergibt, dass lediglich in 4 von 13 untersuchten Fällen die angestrebte nachhaltige Sicherung mindestens einer Bodenfunktion erreicht wurde. Nur bei diesen Geländeauffüllungen war die Besorgnis ausgeräumt, dass eine schädliche Bodenveränderung entstanden ist.

In allen anderen Fällen ist mit der durchgeführten Auffüllmaßnahme eine Bodenverschlechterung verbunden, die sich durch die Verminderung der Leistungsfähigkeit mindestens einer - in der Regel jedoch bei allen drei untersuchten - Bodenfunktion(en) ausdrückt.

Wesentliche Ursachen für die Bodenbeeinträchtigungen liegen in einer ungenügenden Material-eignung, einer durch nicht fachgerechten Bo-

denauftrag und Folgebewirtschaftung bedingten Bodenverdichtung und einer umlagerungsbedingten Gefügedegradation begründet.

Ein enger Zusammenhang zwischen der Qualität des eingesetzten Bodenmaterials und der erzielten wertgebenden Wirkung ließ sich belegen. Bei den bodenphysikalischen Untersuchungen wurden hohe Lagerungsdichten, geringe Gesamtporenvolumina und eine geringe Luftkapazität in den Auftragsböden festgestellt. Etwa die Hälfte der untersuchten Ober- und Unterbodenhorizonte wiesen sogar sehr starke Bodenverdichtungen auf. Folge der ungünstigen Eigenschaften im Luft- und Wasserhaushalt ist die Verminderung der Leistungsfähigkeit in bezug auf die geprüften Bodenfunktionen. In entscheidendem Maße wird diese durch die Einschränkung der physiologischen Gründigkeit herabgesetzt.

Bei den untersuchten Geländeauffüllungen ist ein Zusammenhang zwischen dem Erfolg der Maßnahme und dem Genehmigungsstatus festzustellen. Ungenehmigte oder nachträglich genehmigte Auffüllungen ohne entsprechende fachtechnische Begleitung besitzen wesentlich ungünstigere Bodeneigenschaften als genehmigte Auffüllungen.

Auch bei den in der Studie positiv beurteilten Auffüllungen ist nicht das gesamte Verbesserungspotenzial genutzt worden, weil der Bodenauftrag nicht gemäß den vorhandenen Richtlinien durchgeführt wurde und Defizite in der technischen Ausführung vorhanden waren.

Die bisher erteilten fachtechnischen Auflagen unterscheiden sich je nach Auffüllung in Art, Umfang und Detaillierungsgrad. Erforderlich ist jedoch ein einheitlicher, standardisierter Genehmigungsablauf mit vollständigem und einheitlichem Auflagenumfang.

Die zukünftige Bedeutung der neuen Regelungen nach Bundesbodenschutzverordnung für eine einheitliche und umfassende Bewertung von Auffüllungsvorhaben aus Bodenschutzsicht wird herausgestellt.

1 Veranlassung

Um den Erfolg von Geländeauffüllungen zur Bodenverbesserung bzw. zur Sicherung der Bodenfunktionen sowie bei Rekultivierungen zu gewährleisten, sind die Vorgaben des neuen Bundesbodenschutzgesetzes (1998) und der Bundesbodenschutz- und Altlastenverordnung (1999) zu berücksichtigen. Konkretisierende fachtechnische Vorgaben liegen für Baden-Württemberg bereits seit längerem vor (UMWELTMINISTERIUM 1994a, b). Empfehlungen zu bundesweiten Regelungen bzw. gemeinsamen Regelungen der Länder sind durch die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (LABO) gegeben (KOHL et al. 1997). Zu konkreten fachtechnischen Regelungen verweist die Bodenschutzverordnung auf die DIN 19731 (5/98).

Die in den Regelwerken genannten fachtechnischen Vorgaben wurden bisher in unterschiedlichem Umfang in Nebenbestimmungen von Genehmigungen aufgenommen.

Obwohl Auffüllungen im Aussenbereich nach §13 NatSchG bzw. §49 LBO grundsätzlich genehmigungspflichtig sind, wurden die Maßnahmen vielfach ohne Genehmigung ausgeführt oder erst nach erfolgter Aufbringung nachträglich genehmigt. Fachtechnische Vorgaben in Form entsprechender Genehmigungsaufgaben bleiben in diesen Fällen daher unberücksichtigt. Es besteht jedoch auch in Fällen genehmigter Auffüllungen oftmals der Verdacht, dass die Böden durch die Auffüllungsmaßnahmen anstelle der vorgegebenen nachhaltigen Sicherung der Bodenfunktionen im Sinne einer wertgebenden Wirkung vielmehr eine qualitative Verschlechterung erfahren.

Um einen Überblick über den qualitativen Zustand verschiedener Geländeauffüllungen in Baden-Württemberg zu erhalten, wurde die vorliegende Studie von der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg in Auftrag gegeben.

2 Vorgehensweise und Untersuchungsmethoden

2.1 Aufgabenstellung und Untersuchungsumfang

Mit dem Untersuchungsvorhaben soll der Nachweis über die Notwendigkeit und den Umfang fachtechnischer Vorgaben bei Geländeauffüllungen erbracht werden.

Hierzu wurden im Rahmen einer landesweiten Erhebung repräsentative Auffüllungsstandorte anhand geeigneter Auswahlkriterien ausgesucht und zusammen mit benachbarten, entsprechend unbeeinflussten Referenzstandorten untersucht. Die Bestandsaufnahme umfaßte sowohl feldbodenkundliche als auch bodenphysikalische und bodenchemische Untersuchungen. Im Anschluß erfolgte ein Vergleich der Auftragsböden mit den jeweiligen Referenzstandorten sowie eine Be-

wertung der fachtechnischen Vorgaben im Hinblick auf die erreichte Qualität der Geländeauffüllungen.

Die wichtigsten Fragestellungen für das Untersuchungsvorhaben lauten demnach:

- Wie ist der qualitative Zustand von Geländeauffüllungen in Baden-Württemberg zu bewerten?
- Konnten Böden in ihren Funktionen nachhaltig gesichert oder wiederhergestellt werden, d.h. wurde mit der Maßnahme eine wertgebende Wirkung im Vergleich zum Ausgangszustand erzielt?
- Wurden die Böden in ihrem Leistungsvermögen verschlechtert ?

- Ist das Entstehen schädlicher Bodenveränderungen als Folge der Aufbringungsmaßnahmen zu besorgen ?
- Was sind die Ursachen etwaiger Qualitätsmängel von Geländeauffüllungen ?
- Wie ist der Genehmigungsstatus bisheriger Auffüllungen ?
- War der Umfang der erteilten technischen Vorgaben für eine erfolgreiche Auffüllungsmaßnahme ausreichend oder bestehen Defizite ?
- Reichen die technischen Regeln der vorhandenen Regelwerke aus, um damit den Erfolg der Auffüllungsmaßnahme sicherzustellen ?
- Was ist für Umsetzung dieser fachtechnischen Vorgaben erforderlich ?

2.2 Auswahl und Übersicht der Untersuchungsstandorte

Auswahl der Standorte

In Abstimmung mit der Landesanstalt für Umweltschutz wurden aus einer landesweiten Zusammenstellung von laufenden und abgeschlossenen Auffüllungsvorhaben durch die Landratsämter und Regierungspräsidien eine erste Vorauswahl getroffen.

Von insgesamt 31 Vorschlägen zu Geländeauffüllungen und Rekultivierungen wurden zunächst 16 Standorte ausgewählt. Nach einer anschließenden Geländebegehung wurden hiervon 13 Untersuchungsstandorte berücksichtigt.

Im folgenden werden die im Rahmen der Untersuchung betrachteten 13 Standorte durchlaufend mit A - N bezeichnet.

Die Auswahl der Untersuchungsstandorte erfolgte unter Auswertung der von den Genehmigungsbehörden zur Verfügung gestellten Un-

terlagen (Genehmigungen, behördliche Auflagen etc.). Diese wurden ergänzt durch Rücksprachen mit den Landratsämtern sowie durch Recherchen bei den Grundstückseigentümern bzw. Pächtern/Landwirten oder ausführenden Bauunternehmen.

Die herangezogenen Auswahlkriterien für die Auswahl der Auffüllflächen waren:

Alter der Auffüllung

Um eine Vergleichbarkeit der Untersuchungsstandorte untereinander zu ermöglichen, wurde auf ein einheitliches Alter geachtet. Mit Ausnahme der Standorte I (4 Jahre) und M (2 Jahre) sind die Auffüllungen in etwa ein Jahr alt. Sehr junge Auffüllungen blieben unberücksichtigt. Als Mindestentwicklungszeit wurde eine Vegetationsperiode zugrundegelegt.

Art und Umfang der Genehmigungsunterlagen

In der Untersuchung werden genehmigte, nachträglich genehmigte sowie ungenehmigte Auffüllungen mit entsprechend unterschiedlichem Auflagenumfang berücksichtigt. In der Regel umfassten die fachtechnischen Auflagen Vorgaben bezüglich des verwendbaren Auffüllmaterials, der technischen Durchführung und der erforderlichen Nachsorgemaßnahmen.

Textur und Ausgangsmaterial des Bodenaushubs

Basierend auf den ausgewerteten Unterlagen ist nach Angaben der Betreiber als Auffüllmaterial zur Bodenverbesserung überwiegend Löß- bzw. Lößlehm verwendet worden. Dementsprechend wurden in der Vorauswahl Standorte berücksichtigt, bei denen als Bodenartenhauptgruppen Schluffe und Lehme mit dem Schwerpunkt lehmiger Schluff und schluffiger Lehm zu erwarten war.

Bei der Bestandserfassung im Gelände wurden allerdings teilweise erhebliche Abweichungen zu

den Angaben festgestellt, insbesondere in bezug auf die Textur des Unterbodens, den Grobbodenanteil und in Hinsicht auf Fremdbestandteile.

Als weiteres Auswahlkriterium wurde die von den Landratsämtern bzw. Betreibern geäußerte Einschätzung bezüglich der erreichten Qualität der Auffüllmaßnahme ausgewertet. Hierdurch sollte - mit entsprechendem Vorbehalt - gewährleistet sein, dass sowohl Positiv- als auch Negativbeispiele in der Untersuchung erfaßt werden konnten. In Tab. 2-1 sind allgemeine Angaben zu den Untersuchungsstandorten zusammengefaßt. Angaben zu den klimatischen Verhältnissen enthält Anlage 1. Eine Übersicht über die Lage und Verteilung der Standorte in Baden-Württemberg ist in Abb. 2-1 wiedergegeben.

Auswahl der Referenzstandorte

Zur Feststellung des Erfolges der Auffüllmaßnahmen, d.h. Bodenverbesserung oder auch -verschlechterung, waren die Ausgangsverhältnisse (ursprüngliche Bodenbeschaffenheit) in die Bewertung mit einzubeziehen. Da in der Erhebung ausschließlich abgeschlossene Geländeauffüllungen berücksichtigt wurden, war dies jedoch nur eingeschränkt möglich. Neben dem obersten Horizont des überschütteten "Altbodens" wurden unbeeinflusste Böden in unmittelbarer Nähe zur Geländeauffüllung als Referenzstandorte ausgewählt. Die Auswahl erfolgte unter Verwendung von verfügbaren Bodenkarten (BK 25 oder BÜK 200) und im Gelände unter Berücksichtigung der Relieflage, der Bodenform und des Profilaufbaus (s. Kap. 2.3).

Tab. 2-1: Bezeichnung, Lage, Alter und Flächengröße der einzelnen Auffüllungsstandorte

Bezeichnung	Standort	Landkreis	Alter(Jahre)	Flächengröße (ha)
A	Weingarten	Karlsruhe	1	ca. 3,0
B	Vaihingen-Aurich	Ludwigsburg	1	ca. 1,2
C	Kraichtal	Karlsruhe	1	ca. 0,12
D	Sinsheim	Rhein-Neckar	1	ca. 2,0
E	Karlsbad	Karlsruhe	1	ca. 1,4
F	Renningen	Böblingen	1	ca. 7,0
G	Spraitbach	Ostalbkreis	1	ca. 3,0
H	Korntal	Ludwigsburg	1	ca. 0,1
I	Tamm	Ludwigsburg	4	ca. 0,25
K	Mundelsheim	Ludwigsburg	1	ca. 0,15
L	Gutach	Ortenau	1	ca. 0,8
M	Friesenheim	Ortenau	2	ca. 0,35
N	Rheinau	Ortenau	1	ca.2,25



Abb. 2-1: Lage der Untersuchungsstandorte

2.3 Feldbodenkundliche Aufnahme

Die Aufnahme der Profile und die Probenentnahme im Gelände erfolgte im Herbst 1997 bei anhaltend trockener Witterung. Die Bodenfeuchte an den Standorten war zumeist als sehr gering einzustufen.

Bei allen 13 Standorten wurde zuerst die Auffüllfläche mittels Pürckhauerbohrungen charakterisiert und ein repräsentativer Lagepunkt für die Anlage der Profilgrube ausgewählt.

Auf der Grundlage von verfügbaren Bodenkarten und unter Berücksichtigung der Nutzung und Relieflage sowie der mittels Pürckhauerbohrungen erfaßten Bodenform bzw. Profilaufbau wurde in Nähe der Auffüllfläche der Referenzstandort und die Position der Profilgrube festgelegt.

Die Lage der Profilgruben bei sehr mächtigen Geländeauffüllungen wurde so gewählt, dass der unterste Horizont noch aus dem ursprünglichen Bodenprofil bestand.

Um eine ausreichende Repräsentanz des Probenahmepunktes in bezug auf die Fläche zu gewährleisten, wurde i. d. R. das am häufigsten vorkommende Erscheinungsbild im Profilaufbau beprobt. Wenn dies nicht eindeutig war, z.B. bei inhomogenen Auffüllungen mit größeren Materialunterschieden und -eigenschaften wurde die Probenahme auf der schlechteren Teilfläche durchgeführt.

Die Gruben wurden bis max. 1,5 m Tiefe angelegt, sofern nicht C-Horizonte oder sehr grobbo-denhaltige Auffüllungen eine Beprobung unmöglich bzw. wenig sinnvoll erscheinen ließen.

Im Anschluß an die feldbodenkundlichen Profilsprache mit Hilfe der "Bodenkundlichen Kartieranleitung" (AG Boden 1994) und des "Symbolschlüssels Bodenkunde" des Geologischen Landesamtes Baden-Württemberg (1995) wurde jede Grube photographisch dokumentiert (s. Anhang).

Die Profilsprache umfaßt die Aufnahme der Morphologie, den Bodentyp sowie die folgenden Parameter je Bodenhorizont:

Mächtigkeit, Bezeichnung, Bodenart, Grobbo-denanteil, bodenfremde Bestandteile, Humusgehalt, Carbonatgehalt, Rostfleckung und Bleichung, Durchwurzelung, Gefüge, Lagerungsdichte.

Die Ergebnisse wurden nach den in Tab. 2-2 dargestellten Klassifikationsschlüsseln eingestuft.

Tab. 2-2: Klassifizierung von Bodenmerkmalen aus der feibodenkundlichen Aufnahme

Parameter	Klassifizierung						Quelle	
	Klasse 0	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3	Klasse 4	Klasse 5		Klasse 6
Grobbodenanteil		sehr schwach < 2 Vol. %	schwach 2-10 Vol. %	mittel 10-25 Vol. %	stark 25-50 Vol. %	sehr stark 50-75 Vol. %	Grobboden > 75 Vol. %	nach BKA (1994) S. 141
Humusgehalt	humusfrei 0 %	sehr schwach humos < 1 %	schwach humos 1 - 2 %	mittel humos 2 - 4 %	stark humos 4 - 6 %	sehr stark humos 8 - 15 %		nach BKA (1994) S. 108
Carbonatgehalt	carbonatfrei 0 %	sehr carbonatarm < 0,5 %	carbonatarm 0,5 - 2 %	carbonathaltig 2 - 10 %	carbonatreich 10 - 25 %	sehr carbonatreich 25 - 50 %		nach BKA (1994) S. 110
Bleichung (Flächenanteil)		sehr gering 0 - 5 %	gering 5 - 10 %	mäßig gering 10 - 20 %	mittel 20 - 80 %	mäßig hoch 80 - 90 %	hoch 90 - 95 %	GLA Bad.-Würt. (1995) S. 52
Rostfleckung (Flächenanteil)		sehr gering 0 - 5 %	gering 5 - 10 %	mäßig gering 10 - 20 %	mittel 20 - 80 %	mäßig hoch 80 - 90 %	hoch 90 - 95 %	GLA Bad.-Würt. (1995) S. 52
Durchwurzelung (Fw/dm ²)			schwach < 5	mittel 6 - 10	stark 11 - 50	Wurzelfiz > 50		GLA Bad.-Würt. (1995), S. 52
Bodenfeuchte		trocken pF > 4,0	schwach feucht pF 4 - 2,7	feucht pF 2,7 - 2,1	stark feucht pF 2,1 - 1,4	nass pF < 1,4	stark nass pF ca. 0	nach BKA (1994) S. 113/114
effektive Lagerungsdichte		< 1,4 g/cm ³	1,4 - 1,6 g/cm ³	1,6 - 1,8 g/cm ³	1,8 - 2,0 g/cm ³	> 2,0 g/cm ³		nach BKA (1994), S. 126
Infiltration(*)		sehr gering < 1 cm/d	gering 1-10 cm/d	mittel 10-40 cm/d	hoch 40-100 cm/d	sehr hoch 100-300 cm/d	extrem hoch > 300 cm/d	nach BKA (1994) S. 306

(*) Mit Doppelringinfiltrometer gemessen; als Vergleichswerte für die Klassenbenennung wurden die in cm/Tag angegebenen Wasserleitfähigkeitswerte der BKA (AG Boden 1994) für wassergesättigte Stechringproben herangezogen

Probennahme

Die Probennahme erfolgte nach der "Zweiten Verwaltungsvorschrift des Umweltministeriums zum Bodenschutzgesetz über die Probennahme und -aufbereitung" (VwV Bodenproben) vom 24. August 1993.

Bei geschichteten Auffüllungen wurde jede Schicht beprobt, sofern es ihre Eigenschaften (Sand- und Grobbodenanteil) erlaubten. In der Regel wurden bei den Auffüllungsstandorten vier Horizonte und bei den Referenzstandorten zwei Horizonte beprobt.

Zur Ermittlung der Porenverteilung wurden 6 Stechzylinder und für die Bestimmung der gesättigten Wasserleitfähigkeit 10 Stechzylinder je Horizont entnommen. Aus den Horizonten in der Schürfgrube wurde ferner Material für die Bestimmung der Körnung und die Dichte der Festsubstanz entnommen.

Das Material für die Bestimmung der pH-Werte, des Gehaltes an organischem Kohlenstoff und der Schwermetallgehalte wurde als Mischprobe des obersten Horizontes mit Hilfe eines N-min-Bohrers aus der Umgebung der Grube entnommen. Das Material wurde nach der Entnahme im Labor luftgetrocknet und auf 2 mm abgesiebt. Dabei wurde der Grobbodenanteil mit erfaßt.

Doppelring-Infiltrationsmessung

Die Doppelring-Infiltrationsmessungen wurden in Anlehnung an die DIN 19682, Blatt 7 durchgeführt.

Bei der Interpretation der gemessenen Infiltrationsraten ist zu berücksichtigen, dass die Messungen bei allen Böden in einem sehr trockenen Zustand erfolgten. Die meisten Böden wiesen ausgeprägte Schrumpfungsriss auf. Daher besitzen fast alle Böden eine Durchlässigkeit, die hoch erscheint, wenn man sie mit ähnlichen Böden unter naturfeuchten Bedingungen vergleicht.

2.4 Bodenphysikalische Untersuchungsmethoden

Korngrößenanalyse

Der Grobboden > 2 mm wurde abgesiebt und gravimetrisch bestimmt. An den meisten Bodenproben war eine Carbonat- und teilweise auch Humuszerstörung notwendig. Die Bestimmung der Korngrößenanteile < 63 µm (Schluff und Ton) erfolgte mittels der Pipettmethode nach KÖHN, die der Anteile > 63 µm mit Hilfe einer Siebanalyse.

Porengrößenverteilung

Der Anteil an engen und weiten Grobporen wurde an sechs Stechringen je Horizont bestimmt. Für die Bestimmung des Totwassergehaltes wurden Aggregatproben verwendet.

Nach der Bestimmung der engen Grobporen wurden die Stechringe zur Ermittlung der Lagerungsdichte (= Rohdichte, trocken) bis zur Gewichtskonstanz bei 105°C im Trockenschrank getrocknet.

Das Gesamtporenvolumen (GPV) ergibt sich aus der Lagerungsdichte (db) des Bodens und der Dichte der Festsubstanz (df) nach:

$$GPV = 1 - (db/df)$$

Die Dichte der Festsubstanz wurde an auf 2 mm gesiebt Material nach HARTGE & HORN (1992) bestimmt. Sie wurde zur Berechnung des Gesamtporenvolumens herangezogen und schwankte in den meisten Horizonten um 2,65 g/cm³. Nur in einigen carbonat- und tonreichen Horizonten erreichte sie Werte bis ca. 2,70 g/cm³.

Wasserleitfähigkeit

Die Ermittlung der gesättigten Wasserleitfähigkeit erfolgte an 10 Stechzylindern nach DIN 19683. Die bodenphysikalischen Ergebnisse wurden nach den in Tab. 2-3 dargestellten Klassifikationsschlüsseln eingestuft.

Tab. 2-3: Klassifizierung von bodenphysikalischen Bodenmerkmalen

Parameter	Klassifizierung					Quelle
	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3	Klasse 4	Klasse 5	
gesättigte Wasserleitfähigkeit	sehr gering < 1 cm/d	gering 1-10 cm/d	mäßig 10-40cm/d	hoch 40-100 cm/d	sehr hoch 100-300 cm/d	nach BKA (1994), S.306
Rehdichte, trocken (in g/cm ³)	sehr gering < 1,25	gering 1,25 - 1,45	mäßig 1,45 - 1,65	hoch 1,65 - 1,85	sehr hoch > 1,85	nach BKA (1994), S.127
Obergrenze der Stauwasserschle (in dm unter GOF)	sehr flach < 2 dm lockerungs- und drainbedürftig	flach 2 - 4 dm lockerungs- und drainbedürftig	mäßig 4 - 8 dm lockerungs- und drainbedürftig	flief 8 - 13 dm drainbedürftig	sehr tief > 13 dm drainbedürftig	DWVK (1980), S.2
Physikalische Eigenschaften eines S ₀ -Horizontes	Ausgeprägt Kf < 0,1 cm/d grundsätzlich lockerungsbedürftig	durchschnittlich Kf 0,1 - 1 cm/d grundsätzlich lockerungsbedürftig	Übergangshorizont Kf 1 - 10 cm/d Lockerung erwägenswert	Horizonte mit Kf > 10 cm/d nicht locker- ungsbedürftig		DWVK (1980), S.2. DWVK (1980), S.4
Luftkapazität	sehr gering < 2 Vol. %	gering 2 - 4 Vol. %	mäßig 4 - 12 Vol. %	hoch 12 - 20 Vol. %	sehr hoch > 20 Vol. %	nach BKA (1994), S. 303

2.5 Bodenchemische Untersuchungen

Die bodenchemischen Untersuchungen wurden an lufttrockenem und auf 2 mm abgeseibtem Material durchgeführt. Für die Schwermetallbestimmung und die Bestimmung des organischen Kohlenstoffgehaltes im C/N-Analyser wurde das Material zusätzlich in einer Achatmühle gemörsert.

pH-Wert

Der pH-Wert wurde mit einer Glaselektrode aus 10 g Boden und 25 ml 0,01 m CaCl_2 -Lösung potentiometrisch bestimmt (VDLUFA Methodenbuch 1991, A 5.1.1)

Kohlenstoffgehalt

Der Kohlenstoffgehalt wurde durch trockene Veraschung mit einem Multiphase Carbon Determinator, RC 412 mit Infrarotdetektor der Firma LECO ermittelt.

Schwermetalle

Die Bestimmung der Schwermetalle Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn und As erfolgte im Königswasseraufschluß (DIN 38414 –S 7) mit anschließender Messung am Atom-Absorptionsspektrometer.

Zur Bewertung der Schwermetallgesamtgehalte im Bodenmaterial wurde als Maßstab gemäß Bundesbodenschutzverordnung (§12 in Verbindung mit Anhang 2) 70% des Vorsorgewertes herangezogen, da es sich um Flächen mit landwirtschaftlicher Folgenutzung handelt.

Mitbetrachtet werden die Vorsorgewerte sowie die naturbedingt erhöhten Schadstoffwerte (vgl. auch Hintergrundwerte), da diese die Besorgnisschwelle des Entstehens schädlicher Bodenveränderungen markieren und welche gleichzeitig die Mindestanforderung bei der Aufbringung von Materialien auf Böden darstellt.

Die Hintergrundwerte sind entnommen aus der "Dritten Verwaltungsvorschrift des Umweltministeriums zum Bodenschutzgesetz über die Ermittlung und Einstufung von Gehalten anorganischer Schadstoffe im Boden" vom 24. August 1993.

Tab. 2-4: Zulässige Schadstoffgehalte im Bodenmaterial bei der Aufbringung auf Böden nach §12 BBodSchV

Anforderung	Schadstoffgehalte unterhalb*
Mindestanforderung	Vorsorgewerte
Zusatzanforderung bei landwirtschaftlicher Folgenutzung	70 % der Vorsorgewerte

* Ausnahme: bei naturbedingt erhöhten Gehalten

3 Dokumentation der Geländeauffüllungen

3.1 Genehmigungsstatus der Auffüllmaßnahmen

In der Untersuchung sind sowohl genehmigte, als auch nachträglich genehmigte und ungenehmigte Auffüllungen erfaßt worden. Einen Überblick gibt Tabelle 3-1.

Tab. 3-1: Genehmigungsstatus der Auffüllmaßnahmen

Genehmigungsstatus der Auffüllung	Standorte
genehmigt	B, C, D, F, G
nachträglich genehmigt	H, K, L, N
ungenehmigt	A, E, I, M

Alle von der vorliegenden Untersuchung erfaßten Auffüllungen überschreiten die Flächengröße von 300 m² und sind demnach naturschutzrechtlich (§ 13 NatSchG) bzw. baurechtlich (§ 49 LBO) genehmigungspflichtig. Die Größe der Auffüllflächen liegt zwischen ca. 0,1 ha (Standort H) und ca. 7 ha (Standort F) (vgl. Tab. 2-1).

Geländeauffüllungen sind aus Bodenschutzsicht genehmigungsfähig, wenn die Maßnahme den Anforderungen nach §12 Bundesbodenschutzverordnung entspricht.

In den genehmigten bzw. nachträglich genehmigten Fällen wurden die Auffüllungen zum Zwecke der Bewirtschaftungserleichterung (Standorte B, C, D, F, K) und allgemeinen Verbesserung der Bodenqualität (Standort G) durchgeführt. In diesen Fällen sollten flachgründige Böden in der Gründigkeit verbessert und der Steingehalt durch Überdeckung mit Feinboden verringert werden. Bei den Standorten H und K wurde die Maßnahme als beabsichtigter Niveauausgleich (Senke) begründet. Bei Stand-

ort L handelt es sich um eine Tälchenverfüllung, wodurch eine maschinelle Bearbeitbarkeit ermöglicht werden sollte. Bei Standort N sollte Staunässe durch die Auffüllung beseitigt werden. Eine gleiche Begründung wurde im Rahmen einer Recherche von den Landwirten der ungenehmigten Auffüllungen I und M genannt. Bei den ungenehmigten Maßnahmen A und E wurde die Verbesserung der Gründigkeit angegeben.

3.2 Fachtechnische Vorgaben

Für genehmigte Auffüllungen wurden grundsätzlich Auflagen mit entsprechenden fachtechnischen Vorgaben erteilt. Bei nachträglich genehmigten Auffüllungen sind für den Vorgang der Auffüllung keine Vorgaben berücksichtigt worden. In diesen Fällen wurden jedoch im Zuge des nachträglichen Genehmigungsverfahrens fachtechnische Maßnahmen zwecks Minimierung der verursachten Bodenbelastungen nachgefordert. Art und Umfang der Nachforderungen richteten sich hierbei jeweils nach der Schadenssituation.

Ungenehmigte Auffüllungen sind ohne Auflagen durchgeführt worden.

Bei einigen ungenehmigten bzw. nachträglich genehmigten Auffüllungen (A, L, N) kann bei den Betreibern allerdings die Kenntnis von fachtechnischen Vorgaben aufgrund von früheren Auffüllgenehmigungen unterstellt werden. Bei Standort H ist die Auffüllung nach Angaben des Landwirts von einem Fachgutachter begleitet und die Einhaltung der Technischen Regeln (UMWELTMINISTERIUM 1994b) freiwillig beachtet worden.

Im o.g. Zusammenhang wird im folgenden ausschließlich auf die im Rahmen der Genehmigung erteilten Auflagen oder den als bekannt unterstellten Auflagen eingegangen. Letztere

werden wie erteilte Auflagen gewertet. Ein Vergleich von erteilten Vorgaben, der eingehaltenen Auflagen und tatsächlichen Ausführung sowie die Herausstellung möglicher Defizite bezüglich des Auflagenumfanges erfolgt in Kap. 5.

In der Regel umfaßten die erteilten Auflagen fachtechnische Vorgaben bezüglich des verwendbaren Auffüllmaterials, der technischen Durchführung und der erforderlichen Nachsorgemaßnahmen. Eine Übersicht zu Art und Umfang der fachtechnischen Vorgaben gibt Tab. 3-2.

3.2.1 Qualität des Auffüllmaterials

• Herkunft und Eigenschaft des Auffüllmaterials

Die Spannbreite der behördlichen Auflagen zur Art und Qualität des Auffüllmaterials ist sehr groß. Sie reicht von unspezifischen Vorgaben, wie "guter Mutterboden", bis hin zu detaillierten Anforderungen an chemische und physikalische Eigenschaften des Bodens.

Für den Standort A wurden nur allgemeine Vorgaben erteilt. Das Bodenmaterial hatte in diesem Fall unbelastet, homogen und kulturfähig zu sein.

Genehmigungsbestimmungen zur physikalischen Materialbeschaffenheit beinhalteten Anforderungen zur Bodenart, Grobbodenanteil und Fremdmaterialbeimengungen. Für die Standorte B, C, D und F wurden die zulässigen Bodenarten direkt bzw. über die Angabe der Herkunftsfläche definiert. Dabei handelt es sich immer um schluffige bis lehmige Bodenarten. Grobboden (Standort B, C und D) und bodenfremdes Material (Standort B, C, G) waren zur Auffüllung nicht zugelassen. Der Grundsatz, dass bei Auffüllungen Bodenmaterial mit vergleichbaren Eigenschaften bevorzugt kombiniert werden sollte (UMWELTMINISTERIUM 1994 b), wird in den Genehmigungen nicht klar herausgestellt. Der Humusgehalt oder die Hydromorphiemerkmale werden in keiner Auflage berücksichtigt. Es wird nur vorgegeben, dass die oberste Schicht der

Auffüllung mit kulturfähigem bzw. humosem Oberboden auszuführen ist (Standort B, L).

In den erteilten Genehmigungen wird generell die Verwendung unbelasteten Bodens (Standort A, C, F und G) bzw. inerten Bodenmaterials ohne wassergefährdende Stoffe (Standort L) vorgeschrieben. Exakte, zulässige Schadstoffgehalte der Böden wurden nur für die Standorte B und D durch Bezugnahme auf die 3. VwV (Anorganische Schadstoffe) und 4. VwV (Organische Schadstoffe) zum Bodenschutzgesetz vorgegeben. Weitere chemische Eigenschaften (pH-Wert, Nährstoffgehalte) des Auffüllmaterials werden in den Genehmigungen nicht berücksichtigt.

Zur Herkunft des Materials bezüglich der Eigenschaften der Ausbaufäche und deren Nutzungsgeschichte wurden in den Genehmigungen der vorliegenden Auffüllmaßnahmen nicht explizit Vorgaben erteilt. Als Auffüllmaterial für die Standorte C, D und F wurde Bodenaushub aus konkreten Baumaßnahmen vorgeschrieben. In den Genehmigungsunterlagen wird in diesem Zusammenhang auf die Bodenart und das Fehlen von Belastungen des ausgehobenen Materials verwiesen (s.o.).

Auflagen hinsichtlich hygienischer Eigenschaften wurden in den vorliegenden Fällen nicht erteilt.

• Auffüllmächtigkeit

Bei den Standorten A, B, C, G und H liegen die maximal genehmigten Mächtigkeiten der Auffüllungen zwischen 15 und 30 cm. Diese geringen Auffüllhöhen ermöglichen noch eine Durchmischung des aufgefüllten Materials mit dem anstehenden Oberboden. Dadurch erübrigt sich ein Ausbau des Oberbodens, welcher zu Bodenverdichtungen führen kann.

Die Auffüllmächtigkeit der Standorte D und F liegt über 1 m. Die zulässigen Mächtigkeiten werden bei beiden Standorten auf max. 2,5 m begrenzt. Aus der Massenbilanz ergibt sich für Standort D eine durchschnittliche Auftragsmächtigkeit von ca. 1,2 m und für Standort F ca. 1,5 m.

3.2.2 Art der technischen Durchführung

Die Vorgaben zur Art der technischen Durchführung waren ebenfalls sehr unterschiedlich. Am häufigsten wurden Vorgaben zum Umgang mit dem Oberboden, zum Maschineneinsatz und zu den Witterungs- bzw. Konsistenzverhältnissen des Bodens erteilt.

- **Vorbereitende Maßnahmen**

Die Vorgabe, oberirdische Pflanzenteile bzw. die Grasnarbe zu zerkleinern (z.B. Fräseneinsatz) wurde lediglich bei Standort C explizit genannt, bei den Standorten F und H ist sie in allgemeiner Hinsicht durch Einhaltung der technischen Regeln (UMWELTMINISTERIUM 1994 a) vorgegeben. Bei den übrigen Standorten fehlen entsprechende Hinweise.

- **Oberbodenabtrag/-vermischung**

In Abhängigkeit von der Auffüllmächtigkeit wurden bezüglich des Oberbodens Vorgaben zum Oberbodenabtrag bzw. bei geringmächtigen Auffüllungen zur Vermischung des Auftragsbodens mit dem Untergrund erteilt.

Standort B war ursprünglich als geringmächtige Auffüllung (30 cm) ohne vorherigem Bodenabtrag vorgesehen. Das Substrat sollte auf den anstehenden Oberboden aufgetragen werden. Nach unzulässiger, überhöhter Auffüllung mußte die aufgebrachte obere Bodenschicht entfernt und beseitigt werden. Im Anschluß war die Auffüllung mit kulturfähigem Boden/Oberboden in einer Mächtigkeit von 20 cm zu überdecken.

Bei Standort C und G handelt es sich um geringmächtige Auffüllungen (15 bzw. 20 cm). Das Material sollte durch Fräsen bzw. mittels einem Aufreißer in den Unterboden eingebracht und vermischt werden.

Für die Standorte D und F, mit mittleren Auffüllmächtigkeiten >1m, wurde die Vorgabe erteilt, den Oberboden bis Pflugtiefe (30 cm) abzuschleppen, zwischenzulagern und für den Auftrag wieder zu verwenden.

- **Zwischenlagerung**

Vorgaben zur Zwischenlagerung in fachgerechten Bodenmieten wurden bei den beiden Standorten D und F, mit großflächigen Auffüllungen und Mächtigkeiten >1 m, erteilt. Bei Standort D ist diese Forderung allerdings als Option im Bedarfsfall formuliert. Bei Standort F erfolgte der Hinweis in allgemeiner Form (UMWELTMINISTERIUM 1994 a), zudem war die Vorgehensweise als solche vom Antragssteller beabsichtigt.

Bei den geringmächtigen Auffüllungen ohne vorgeschaltetem Oberbodenabtrag entfällt die Notwendigkeit der Zwischenlagerung.

- **Maschineneinsatz/Auflast**

Der Hinweis auf einen fachgerechten Einsatz von bodenschonenden Kettenfahrzeugen ist in allen Auflagen erfolgt. Unterschiede sind in der Angabe der zulässigen Bodenpressung zu verzeichnen. Diese ist entweder nicht weiter beziffert oder auf max. < 4 N/cm² (Moorraupe) bzw. 10 N/cm² beschränkt. Der Einsatz von Radfahrzeugen auf der Auftragsfläche war demnach nicht zulässig. Die Vorgaben bezogen sich sowohl auf den Ab- und Wiederauftrag von Oberboden (Standort D, F) als auch auf den Auftrag des Auffüllmaterials.

- **Einrichtung Fahrbahnen**

Die spezielle Einrichtung von Fahrbahnen für Radfahrzeuge auf der Auftragsfläche war - vermutlich aufgrund der Flächengröße - lediglich bei den Standorten D und F vorgegeben. Das angefahrene Bodenmaterial war bei der Anfuhr von den Wegen bzw. der Fahrspur aus abzukippen und dann mittels Raupe zu verteilen und einzubauen.

Das Einschleppen des Bodenmaterials, von den Zufahrtswegen aus in die Auftragsfläche, war ebenso verbindliche Auflage beim Standort B. Bei Standort G wurde das Einschleppen als Empfehlung formuliert.

- **Lockerung Auftragsfläche**

Eine spezielle Untergrundlockerung der Auftragsfläche wurde in zwei Fällen bzw. im Bedarfsfall in einem zusätzlichen Fall gefordert. Die Lockerung des Oberbodens mittels eines Aufreißers war für Standort G vorgegeben. Bei Standort B hatte die Untergrundlockerung nach Abschieben des unzulässig aufgefüllten Boden und vor dem Aufbringen des Oberbodens zu erfolgen.

Für den Standort D sollte die Notwendigkeit der Maßnahme nach Prüfung vor Ort und vor der Aufbringung des Oberbodens geklärt werden.

Eine Lockerung der Auftragsfläche gemäß den technischen Regeln (UMWELTMINISTERIUM 1994 a) war für den Standort F gefordert. Der Pächter der Fläche H gibt an, diese Auflagen freiwillig eingehalten zu haben.

- **Drainage**

Bei Standort F wurde die Auflage erteilt, die Funktionsfähigkeit der Drainagen zu erhalten bzw. wiederherzustellen.

Eine Neuanlage von Drainagen war in keinem Fall erforderlich.

- **Gestaltung Geländeoberfläche**

Die Vorgabe, den Anschluß der Auffüllfläche an die Parzellen im Umfeld zu gewährleisten, erfolgte in Form von Auflagen bei den Standorten A, B und F. Bei Standort F sollte zudem durch eine entsprechende Modellierung der Geländeoberfläche, ein Abfließen des Oberflächenwassers gewährleistet werden. Bei D war die Hangneigung an die natürliche Hanglage anzugleichen.

Für Auffüllung H kann eine entsprechende freiwillige Beachtung angenommen werden.

- **Witterung und Bodenkonsistenz**

Die Vorgabe, zur Vermeidung von Bodenverdichtungen, die Auffüllmaßnahme ausschließlich bei trockener Witterung auszuführen, wurde in nahezu allen betrachteten Fällen erteilt (Ausnahme L). Bei den Standorten B, C, D und G

wurde ebenso die Beachtung der Bodenkonsistenz als Vorgabe formuliert. In der Regel erfolgte der Hinweis in Form von "... bei trockener Witterung...", "... nur bei abgetrocknetem Boden..." oder "...hat witterungstechnisch so zu erfolgen, dass Verdichtungen ausgeschlossen werden können." (Standort B). In einem Fall wird eine Konsistenzzahl (mindestens halbfestes Bodenmaterial mit einer Konsistenz von ≥ 1) vorgegeben (Standort G).

3.2.3 Nachsorgemaßnahme

Als Auflagen vorgegebene Nachsorgemaßnahmen setzen sich zum einen aus abschließend durchzuführenden Lockerungsmaßnahmen und zum anderen aus Vorgaben für die Ersteinsaat und der weiteren Folgenutzung zusammen.

- **Lockerungsmaßnahmen**

Eine Lockerungsmaßnahme im Anschluß an die erfolgte Durchführung der Auffüllmaßnahme wird ausschließlich bei Standort A vorgegeben. In diesem Fall wird allerdings der Auftrag des kultivierbaren Bodens auf die bestehende Grasnarbe und anstehenden Oberboden gefordert. Durch die mechanische Lockerung (nicht mischend) soll die Durchwurzelung verbessert werden.

Bei Standort C waren nach der Aufbringung eventuelle Verdichtungen durch Lockerung zu beseitigen. Die Forderung eines hiermit verknüpften Prüftermins vor Ort wird in diesem Zusammenhang allerdings nicht erhoben.

- **Spezielle Ersteinsaat**

Nahezu mit jeder Genehmigung werden Vorgaben zur Ersteinsaat erteilt. Dabei wird vor allem eine direkt im Anschluß an die Auffüllmaßnahme zu erfolgende Einsaat von tiefwurzelnden Pflanzen (insbes. Klee gras) gefordert. In der Genehmigung zur Auffüllmaßnahme D wird diese Forderung ausführlich dargelegt: "...tiefwurzelnde Pflanzen mit hohem Wasserverbrauch; als Gründüngung Klee/Klee gras gegen Erosion und zur Stabilisierung des Bodengefüges; Dauer

mindestens eine Vegetationsperiode; keine Reihenfrüchte (Mais, Zuckerrüben, Kartoffel) als Ersteinsaat; Gründüngungspflanzen (Senf, Raps, etc.) nach der Ernte zur Verbesserung des Bodengefüges einsäen, nicht einpflügen, bei nachfolgendem Anbau von Reihenfrüchten Mulch- oder Direktsaat.”

In den Fällen A, B und C erfolgte die Aufforderung zur gesonderten Abstimmung mit dem zuständigen Landwirtschaftsamt.

• **Nachforderungen**

In der überwiegenden Zahl der untersuchten Auffüllungen sind unabhängig von dem Genehmigungsstatus von der Behörde Nachforderungen bezüglich Beseitigung oder Minimierung der verursachten Bodenbelastungen gestellt worden. Ausnahmen hierzu bilden lediglich die Standorte H und G.

In allen anderen 11 Fällen wurden die geforderten Maßnahmen jeweils in Abhängigkeit von der verursachten Schadenssituation erhoben. In diesem Zusammenhang unterschied sich das Ausmaß der Nachforderungen voneinander. Die

häufigsten bzw. relevanten Nachforderungen waren:

- Beseitigung des ungeeigneten Auffüllmaterials
- Entsorgung von unzulässig aufgetragenen Fremdmaterialien (Abfälle wie z.B. Bauschutt)
- Teilweises Abschieben einer überhöhten Auffüllung
- Verhinderung der Bodenerosion durch geeignete Maßnahmen
- Tieflockerungsmaßnahmen
- nachträgliche Niveaueingleichung der Geländeoberfläche
- Festlegung der Folgenutzung (keine Reihenfrüchte, Grünlandnutzung, etc.)

Zum Zeitpunkt der Aktenauswertung war in einigen Fällen nicht zu beurteilen, ob die Nachforderungen bereits durchgeführt und eingehalten wurden oder ob diese noch ausstanden.

Tab. 3 -2: Art und Umfang der Technischen Vorgaben (Behördliche Auflagen)

Techn. Vorgaben	Auffüllungsstandorte												
	A	B	C	D	E	F ¹	G	H	I	K	L	M	N
<i>Auffüllmaterial</i>													
Herkunft/Beschaffenheit	<input type="checkbox"/>	■	■	■		■	■	●			<input type="checkbox"/>		
Auffüllmächtigkeit/ -menge	<input type="checkbox"/>	■	■			■	■	●			<input type="checkbox"/>		
<i>Technische Durchführung</i>													
Vorbereitende Maßnahmen			■			■		●					
Oberbodenabtrag/ vermischung			■	■		■	■	●					
Zwischenlagerung				■		■							
Maschineneinsatz/ Auflast	<input type="checkbox"/>	■	■	■		■	■	●					
Einrichtung Fahrbahnen				■		■							
Lockerung Auftragsfläche		■		■		■	■	●					
Drainage						■	■	●					
Gestaltung Geländeoberfläche	<input type="checkbox"/>	■				■		●					
Witterung/Konsistenz beachten	<input type="checkbox"/>	■	■	■		■	■	●					
<i>Nachsorge</i>													
Lockerungsmaßnahmen	<input type="checkbox"/>	■	■	■		■		●					
Spez. Ersteinsaat	<input type="checkbox"/>	■	■	■		■	■	●					
Nachforderungen ³	■	■	■	■	■	■				■	■	■	■ ²

Anmerkungen: Standorte B, C, D, F, G genehmigt, andere nicht bzw. nachträglich genehmigt

- Techn. Vorgabe als Auflage erteilt;
- Techn. Vorgabe als Auflage aus früherer Auffüllmaßnahme bekannt;
- nach Angaben des Landwirts wurden Auflagen freiwillig eingehalten und Maßnahme von Fachgutachter überwacht;

¹ Einhaltung der technischen Vorgaben unter Bezugnahme auf Heft 10 (UM (1994 a) als allgem. Hinweis in Genehmigung gefordert;

² Nachforderungen wurden angekündigt;

³ Geforderte Maßnahmen in Abhängigkeit von der Schadenssituation.

4 Untersuchungsergebnisse

4.1 Bodeneigenschaften und -qualität der Untersuchungsstandorte A - N

Standort A: Weingarten

Der Standort Weingarten liegt nordöstlich des Ortes Weingarten in einem Oberhangbereich und wird ackerbaulich genutzt. Zum Zeitpunkt der Beprobung war die Fläche mit Klee gras eingesät.

Als Ausgangsgestein stehen Kalke des Mittleren Muschelkalkes an. Über dem Muschelkalk befindet sich eine Deckschicht aus Löß, welche auch das Ausgangsmaterial der Bodenbildung darstellt.

Die BK 25 (Blatt 6917) weist für die Fläche als Kartiereinheit mäßig tiefe Parabraunerden und Braunerden aus grobbodenarmen, schluffig-lehmigen und lehmigen Bodenarten über tonreichem Kalkgesteinszersatz aus (Bodeneinheit 13 und 15).

Feldbodenkundliche Beschreibung

Die Auffüllung besteht aus zwei Teilflächen, wobei die westliche 1996 ungenehmigt und die östliche 1995 genehmigt aufgefüllt wurde. Beprobte wurde die ungenehmigte Auffüllung im Westen.

Die Auffüllung der Fläche erfolgte mit Bodenmaterial aus Löß, zum Teil ist jedoch Fremdmaterial (Schläuche, Metall, Keramik, Bauschutt) eingemischt. An der Oberfläche waren relativ hohe Bauschuttanteile zu finden.

Der Standort wies vor der Auffüllmaßnahme eine mäßig tief entwickelte Braunerde aus Löß auf. Die Auffüllungsmächtigkeit bewegte sich zwischen 50 und 80 cm. Die Profilgrube wurde in einem Bereich angelegt, in welchem die Auffüllungsmächtigkeit etwa 50 cm beträgt. Die ermittelten Daten sind in Tab. 4-A1 angeführt.

Das aufgebraute Bodenmaterial weist im Profil überwiegend eine hohe Lagerungsdichte auf.

Tab. 4-A1: Feldbodenkundliche Untersuchungsdaten, Standort A Weingarten, Auftragsboden

Tiefe	Horizont	Substrat	Grobbodenanteil	Farbe	Humus	Carbonat	Rostfleckung	Bleichung	Durchwurzelung	Gefüge	Bodenfeuchte	effekt. Lagerungsdichte	Grobporen	Beimengungen
0 - 25	(Ap) jY1	Ut4	2	gebr	1	4-5	0	0	2	koh pla	1	4	0	Bauschutt Ziegelbruchstücke,
26 - 49	jY2	Ut4	2	gebr	1	4-5	0	0	2	pla, koh	1	4	0	Bauschutt
50 - 75	fAp	Ut4	2	brsw	3	0	0	0	0	pla, Pri	2	3	0	Ziegelbruchstücke, Kalkstein
75 - 100	Bv1	Lu	1	br	1	0	0	0	0	Pol, Sub	2	4	0	
100 - 140	Bv2	Ut4	1	br	1	0	0	0	0	Pol, Sub	2	3	0	

Infiltration: 28,75 cm/d (Klasse 3)

Bodentyp: Auftragsboden aus Rohlöß über Braunerde

Die Bodenart ist stark toniger Schluff, wobei der Grobbodenanteil gering ist. Neben Kalkkonkretionen wurden Bauschutt und Ziegelbruchstücke vorgefunden. Das Auffüllsubstrat ist carbonatreich bis sehr carbonatreich.

Der überdeckte fAp-Horizont weist z.T. plattiges Gefüge auf und gibt einen Hinweis darauf, dass der Boden mit schwerem Gerät bei zu hoher Bodenfeuchte während des Bodenauftrages befahren wurde. Aufgrund der überhöhten Mächtigkeit der Auffüllung - erlaubt waren in der nachträglich erteilten Genehmigung weniger als 30 cm - hätte der fAp-Horizont vor dem Bodenauftrag abgeschoben werden müssen.

Die feldbodenkundliche Gefügeansprache zeigt deutlich, dass zwar die Fläche mit hochwertigem Lössaushub beaufschlagt wurde, jedoch die Art der Aufbringung zu starken Verdichtungen und Gefügedegradationen geführt haben. In allen neu aufgeschütteten Bodenhorizonten wurden hohe Lagerungsdichten gemessen und die Gefügeform ist plattig oder kohärent.

Im Umfeld der Auffüllung konnte keine Braunerde in ausreichender Entwicklungstiefe gefunden werden, die als Vergleichsstandort für die Probenahme verwendbar war. Als Referenzfläche wurde daher eine Pararendzina aus Löss gewählt, die in bezug auf Bodenart und Mächtigkeit für den Vergleich besser geeignet war.

Die Pararendzina weist einen schwach humosen Ap-Horizont aus schluffigem Lehm auf, der Grobbodenanteil ist sehr gering (s. Tab. 4-A2). Der Oberboden ist stark durchwurzelt und weist ein günstiges Krümelgefüge auf. Die Lagerungsdichte ist mittel. Ab 30 cm wechselt die Bodenart zu schwach tonigem Schluff, die Durchwurzelung ist noch gering. Verdichtungen im Untergrund sind keine feststellbar.

Die im Feld gemessene Infiltration lag bei der Auffüllung deutlich unter der der Vergleichsfläche. Dies ist auf das oben beschriebene ungünstige Bodengefüge (kohärent und plattig) und das Fehlen eines Sekundärporensystems im Auffüllsubstrat zurückzuführen.

Bodenphysikalische Ergebnisse

In Hinsicht auf die Bodenart und den Grobbodenanteil unterscheiden sich die Referenzfläche und die Auffüllungsfläche kaum (s. Tab. 4-A3).

Deutliche Unterschiede ergeben sich allerdings in der Bewertung des Wasser- und Lufthaushaltes. Das Gesamtporenvolumen (GPV) der Auffüllung liegt bei ca. 40 %, die Lagerungsdichte (Rohdichte trocken) ist mit 1,65 bzw. 1,59 g/cm³ gerade noch als mittel einzustufen. Insbesondere der jY1-Horizont besitzt nur eine geringe Luftkapazität (Klasse 2). Auch die gesättigte Wasserleitfähigkeit ist mit 13,27 cm/d noch relativ gering.

Tab. 4-A2: Feldbodenkundliche Untersuchungsdaten, Standort A Weingarten, Referenz

Tiefe	Horizont	Substrat	Grobbodenanteil	Farbe	Humus	Carbonat	Rostfleckung	Bleichung	Durchwurzelung	Gefüge	Bodenfeuchte	effekt. Lagerungsdichte	Grobporen	Beimengungen
0 - 30	Ap	Lu	1	dnbr	2	4-5	0	0	4	Krü	1	3	2	
30 - 80	lcCv	Ut2	1	hebr	0	5	0	0	2	Koh	1	2-3		Kalkmycel
> 80	ll cCv	Su - Us	4	röli	0	5	0	0	0	Ein	1	2-3		Kalkmycel

Infiltration: 265,9 cm/d (Klasse 5)

Bodentyp: Pararendzina

Tab. 4-A3: Bodenphysikalische Ergebnisse, Standort A Weingarten

Bezeichnung/ Entnahmetiefe	Mächtigkeit (cm)	Sand %	Schluff %	Ton %	Grob-boden %	Bezeichnung	Rohdichte trock. g/cm ³	Gesamtporen-volumen Vol%	Grobporen > 50 µm Vol %	Grobporen 50 - 10µm Vol %	Mittelporen Vol %	Feinporen Vol %	Kf-Wert cm/d	Kf Stufe
Auffüllfläche														
ApjY1 / 10	- 25	8,2	70,4	21,4	3,2	Ut4	1,65	38,91	3,89	3,47	15,75	15,80	13,27	3
Y2 / 40	- 50	13,2	66,6	20,2	3,6	Ut4	1,59	41,23	6,61	4,23	11,69	18,70	40,41	3-4
fAp / 70	- 75	9,4	63,3	27,3	0,5	Lu	1,61	40,65	1,73	1,58	15,67	21,67	36,62	3
Bv1 nicht beprobt, aber ähnliche Verhältnisse wie im Bv2														
Bv2/ 110	- 110	7,8	67,4	24,8	0,1	Ut4	1,55	42,61	8,35	3,15	11,29	19,82	216,27 (*)	5
Referenzboden														
Ap / 10	- 30	14,9	61,0	24,1	0,5	Lu	1,49	43,26	6,94	5,18	14,98	16,16	67,55	4
IcCv/ 50	- 80	11,2	81,2	7,6	0,2	Uu	1,51	44,62	5,58	10,92	20,17	7,95	28,72	3

(*) = durch Regenwurmgänge erhöht.

Der Referenzstandort weist hingegen eine geringere Lagerungsdichte, eine mittlere Luftkapazität und im Oberboden eine mittlere gesättigte Wasserleitfähigkeit und damit vergleichsweise günstigere Verhältnisse auf. Das Gesamtporenvolumen sowie der Anteil enger und weiter Grobporen ist im Vergleich zur Auffüllung ebenfalls günstiger. Auffällig bei diesem Standort ist der hohe Anteil an engen Grobporen (ca. 5 - 11 Vol. %), der in den anderen untersuchten Profilen (s. u.) sonst kaum auftritt.

Positiv zu bewerten ist, dass an diesem Standort kein Bodenartenwechsel zum überdeckten Boden stattfindet, also "Gleiches zu Gleichem" ge-

schüttet wurde. Die physikalischen Bodenkennwerte belegen die generelle Eignung des aufgetragenen Materials.

Bodenchemische Ergebnisse

Der geringe Humusgehalt des aufgetragenen Materials trägt derzeit noch kaum zur Gefügestabilisierung bei.

Die Schwermetallgehalte der Auffüllung sind vergleichbar mit denen des Referenzbodens. Die gemessenen Gehalte liegen sämtlich unterhalb der Hintergrundwerte und mit Ausnahme von Chrom auch unterhalb der 70%-Vorsorgewert-Grenze (s. Tab. 4-A4).

Tab. 4-A4: Bodenchemische Ergebnisse, Standort A Weingarten

	pH-Wert	Humusgehalt (%)	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Auffüllfläche	7,6	0,66	8,6	0,21	50,8	17,3	0,04	27,0	14,1	51,0
Referenzboden	7,5	1,48	9,9	0,40	51,5	18,9	0,14	28,6	20,4	61,5

Schwermetallgehalte in mg/kg

Fettdruck: Überschreitung der 70%-Vorsorgewerte n. BBodSchV sowie der Hintergrundwerte nach 3. VwV „Anorganische Schadstoffe“

Standort B: Vaihingen - Aurich

Der Standort Vaihingen - Aurich, Gewinn Halde liegt südlich von Aurich in einem Mittelhangbereich und wird ackerbaulich genutzt. Als Ausgangsgestein stehen Kalke des Oberen Muschelkalkes an. Über dem Muschelkalk befindet sich ein Lößlehmschleier. Die BK 25 (Blatt 7019) weist für die Fläche Braune Rendzinen aus schluffigem, seltener schluffig-tonigem Lehm aus (Bodeneinheit 3).

Feldbodenkundliche Beschreibung

Der überwiegende Teil der erfolgten Auffüllung besteht aus tonigem Keupermaterial. Nur die obersten 30 cm bestehen aus Löß. Entsprechend der Genehmigungsauflagen sollte die Auffüllung der Fläche ausschließlich mit Bodenmaterial aus Löß erfolgen. Die lagenweise Anordnung der Schichten deutet darauf hin, dass das Material vermutlich in vier Auffüllungszyklen aufgebracht wurde und der Boden folglich mehrmals zur Materialeinebnung befahren wurde.

Die Pürckhauerbohrungen ergaben eine variierende Auffüllmächtigkeit von etwa 50 - 80 cm. Auf den ursprünglichen Ap-Horizont ist darüber hinaus eine dünne Lage Klärschlamm ohne weitere Einarbeitung ausgebracht worden. Da in dieser Tiefe eingebrachtes organisches Material nicht mehr verrotten kann, sind Fäulnisprozesse zu erwarten.

Laut den Genehmigungsunterlagen war ein Bodenauftrag nur bis zu einer Mächtigkeit von 25 cm erlaubt. Da bis zu 80 cm aufgeschüttet wurden, hätte der Ap-Horizont abgeschoben und nach dem Bodenauftrag wieder aufgebracht werden müssen.

Im Profil ist erkennbar, dass der alte Ap-Horizont nicht abgetragen wurde (s. Tab. 4-B 1). Als ursprünglicher Bodenzustand ist eine geringmächtige, grobbodenreiche Rendzina-Braunerde anzunehmen, die im fAp-Horizont einen Lößschleier aufweist. Schon ab etwa 20 cm Tiefe steigt der Steingehalt stark an. Die Mächtigkeit des alten Bodenprofils ist für eine landwirtschaftliche Nutzung sehr gering.

Tab. 4-B1: Feldbodenkundliche Untersuchungsdaten Standort B Vaihingen-Aurich, Auftragsboden

Tiefe	Horizont	Substrat	Grobbodenanteil	Farbe	Humus	Carbonat	Rostfleckung	Bleichung	Durchwurzelung	Gefüge	Bodenfeuchte	effekt. Lagerungsdichte	Grobporen	Beimengungen
0 - 19	Ap jY1	Tu4	2	dnbn	2	3	0	0	3	frK	1	4-5	0	
20 - 28	Ah jY2	Tu4	1	dnbn	3	1	0	0	3	frK	1	4-5	0	
29 - 43	jY3	Tu2	2	roli	0	3	0	0	0	Koh	1	4-5	0	
44 - 72	jY4	Tu3	1	grge	0	0	0	0	0	Koh	1-2	4-5	0	
73 - 90	fAp	Tu3	3	dnbn	3	4	0	0	0	Sub	1-2	3-4	0	Klärschlamm
91 - 98	Bv	Lt3	4	bn	1	4	0	0	0	Pol	2	4	0	
> 98	cCv	Lt3	5	bn	0	5	0	0	0		2	-	0	

Infiltration: 212,4 cm/d (Klasse 5)

Bodentyp: Auftragsboden aus schluffig-tonigen Substraten über Rendzina-Braunerde

Tab. 4-B2: Feldbodenkundliche Untersuchungsdaten, Standort B Vaihingen-Aurich, Referenzboden

Tiefe	Horizont	Substrat	Grobbodenanteil	Farbe	Humus	Carbonat	Rostfleckung	Bleichung	Durchwurzelung	Gefüge	Bodenfeuchte	effekt. Lagerungsdichte	Grobporen	Beimengungen
0-21	Ap	Tu3*	3	dnbn	3	4	0	0	3	Krü, Sub	2	3	2,m	
22-32	Bv	Lt3	4	bn	1	4	0	0	2	Pol	2	4	0	
> 32	Cv	Lt3	4 - 5	bn	0	5	0	0	0	0	2	3	0	

* Ap noch mit Lößanteil, ab Bv Muschelkalkmaterial

Infiltration: 201,5 cm/d (Klasse 5)

Bodentyp: geringmächtige (Rendzina)-Braunerde

Die untersten beiden Horizonte sind sehr tonreich (> 43 %), darüber wurden etwa 30 cm Lößlehm mit Tongehalten von etwa 30 % aufgebracht. Der Grobbodenanteil in allen Auftragshorizonten ist gering. Alle Horizonte besitzen hohe effektive Lagerungsdichten. Eine Durchwurzelung scheint nur bis zur Obergrenze des Y3 möglich zu sein. Die beiden obersten Horizonte weisen bearbeitungsbedingte Gefügeformen (Fragmentklumpen) auf, darunter liegt ein dichtes kohärentes Gefüge vor.

Der Bodentyp der Referenzfläche zeigt einen Übergang von der Rendzina zur Braunerde an. Da schon der zweite Horizont sehr grobbodenhaltig war, konnte nur der Oberboden mit Stechringen beprobt werden. Die Bodenart ist schluffiger Ton im Ap-Horizont über tonigem Lehm im Bv-Horizont. Bereits im Oberboden ist ein mittlerer Grobbodenanteil vorhanden, der nach unten zunimmt. Die Durchwurzelung reicht bis in 30 cm Tiefe. Der Boden weist ein günstiges Bodengefüge auf, dieses ist im Ap-Horizont krümelig-subpolyedrisch und wechselt mit zunehmendem Tongehalt in ein Polyedergefüge (s. Tab. 4-B2).

Der ursprüngliche Bodenaufbau zeigt damit an, dass eine Auffüllung zur Verbesserung der Bewirtschaftung durchaus sinnvoll war.

Die Infiltrationsrate von über 200 cm/d erscheint sowohl auf der Auffüllfläche als auch auf der Referenzfläche als sehr hoch. Die gesättigte Wasserdurchlässigkeit ist ebenfalls etwas höher als es der feldbodenkundliche Befund vermuten

läßt. Dies ist vermutlich auf die langandauernde Trockenheit ab August 1997 zurückzuführen, die in den Böden über das normale Maß hinaus zu Schrumpfungsrissen geführt hat.

Bodenphysikalische Ergebnisse

Die Auffüllung weist bezüglich des Gesamtporenvolumens und speziell der Grobporenanteile sehr geringe Werte für die drei obersten Auffüllungshorizonte (bis 40 cm Tiefe) auf. Im Vergleich zur Ausgangssituation (Referenzfläche) sind bei der Auffüllung darüber hinaus geringere Gehalte an Mittelporen zu verzeichnen. Der Anteil der Feinporen ist hingegen größer. Derartige Verschiebungen in der Porenverteilung und insbesondere die Abnahme der Luftkapazität sind charakteristisch für auflastbedingte Verdichtungen, die vermutlich durch nicht fachgerechte Befahrung entstanden sind. Die Rohdichte des Auftragsbodens liegt in den oberen 40 cm bei 1,7 g/cm³ und ist damit wesentlich höher als beim Vergleichsboden (s. Tab. 4-B 3).

Die untersuchten bodenphysikalischen Kennwerte der Referenzfläche liegen in einem normalen (mittleren) Bereich. Der frühere Ap-Horizont besitzt noch sehr ähnliche Eigenschaften wie der Ap-Horizont der Referenzfläche. Nur seine Wasserleitfähigkeit ist deutlich gesunken.

Tab. 4-B3: Bodenphysikalische Ergebnisse, Standort B Vaihingen-Aurich

Bezeichnung/ Entnah- metiefe	Mäch- tigkeit (cm)	Sand %	Schluff %	Ton %	Grob- boden %	Bezeich- nung	Roh- dichte trock. g/cm ³	Gesamt- poren- volumen Vol%	Grob- poren > 50 µm Vol %	Grob- poren 50 - 10µm Vol %	Mittel- poren Vol %	Fein- poren Vol %	Kf-Wert cm/d	Kf Stufe
Auffüll- fläche														
Ap jY1/10	-19	3,9	65,2	30,9	0,8	Tu4	1,71	36,01	1,13	1,28	9,17	24,43	11,85	3
Ah jY2/25	-28	4,1	67,8	28	0,7	Tu4	1,71	37,35	1,82	1,30	10,8	23,43	33,19	3
jY3 /35	-43	15,6	36,9	47,4	3,0	Tu2	1,69	38,29	0,67	0,42	10,61	26,59	8,10	2
jY4 /60	-72	3,2	53,5	43,3	0,22	Tu3	1,53	43,35	1,74	0,92	12,24	28,45	25,99	3
fAp /80	-90	9,3	52,9	37,8	13,9	Tu3	1,45	46,63	6,79	1,42	12,35	26,07	29,41	3
Referenz- boden														
Ap /10	-21	10	58,6	31,4	22,9	Tu3	1,49	45,12	6,89	3,10	9,95	25,18	525,77	6

darunter liegende Horizonte waren für eine Beprobung zu grobbodenhaltig

Bodenchemische Ergebnisse

Der Humusgehalt in der Auffüllungsfläche liegt bei etwa 1,2 %. Damit ist dieser im Vergleich zu den anderen Auftragsböden oder auch zu rekultivierten Neulandböden relativ hoch. Für eine Verbesserung der Tragfähigkeit ist dies ein positiver Aspekt, insbesondere dann, wenn zukünftig eine sachgemäße Humuswirtschaft betrieben wird.

Das Auftragsmaterial des obersten Horizontes hält bei den Elementen As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb sowohl Hintergrundwerte als auch 70%-Vorsorgewerte ein. Bei Zn wird der 70%-Vorsorgewert eingehalten, wohingegen Cu mit 48 mg/kg deutlich oberhalb der zulässigen Grenze von 28 mg/kg (70%-Vorsorgewert) liegt. Für die drei unteren jY-Horizonte liegen keine Schwermetallmessungen vor. Eine Überschreitung der 70%-Vorsorgewerte und der Hintergrundwerte zeigt allerdings auch der Referenzboden bei Cd und Zn an (s. Tab. 4-B 4).

Tab. 4-B4: Bodenchemische Ergebnisse, Standort B Vaihingen-Aurich

	pH-Wert	Humusge- halt %	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Auffüll- fläche	7,5	1,22	8,9	0,33	46,5	48,3	0,07	30,7	20,7	103,8
Referenz- boden	7,4	3,40	11,7	0,89	45,2	29,4	0,11	32,3	31,3	107,4

Schwermetallgehalte in mg/kg

Fettdruck: Überschreitung der 70%-Vorsorgewerte n. BBodSchV sowie der Hintergrundwerte nach 3. VwV „Anorganische Schadstoffe“

Standort C: Kraichtal

Der Standort Kraichtal-Menzingen liegt nord-nordöstlich von Menzingen und wird ackerbaulich genutzt. Die Fläche weist eine Neigung von 5 - 7° nach Süden auf.

Als Ausgangsgestein steht der Mittlere Keuper an, der im Untersuchungsgebiet im allgemeinen mit Löß überdeckt ist. Am Standort selber ist diese Überdeckung ca. 35 cm mächtig, darunter folgt eine stark steinige Lage aus Keupermaterial. Als Ausgangsboden stehen damit Pararendzinen oder wenn die Flächen für den Weinbau rigolt wurden, Rigosole an. (BK 25, Blatt 6818, Bodeneinheit 20).

Feldbodenkundliche Beschreibung

Gemäß der Geländekartierung besteht das Auffüllmaterial aus Löß, die Auffüllungshöhe liegt zwischen 30 und 70 cm. Die Fläche wurde nicht eben aufgeschüttet, sondern weist ein welliges Kleinrelief auf. Dies erklärt auch die unterschiedlichen Auffüllungsmächtigkeiten. Nach Auskunft eines Anrainers wird bei Niederschlägen regelmäßig Bodenmaterial abgeschwemmt und auf dem unterhalb vorbeiführenden Weg abgelagert. Der Aufwuchs des Wintergetreides auf der Fläche war unterschiedlich gut.

Die Profilgrube wurde in einem Bereich mit 50 cm Auffüllungsmächtigkeit angelegt. Das sehr carbonatreiche Material der Auffüllung weist

Tongehalte um 13 % und hohe Schluffanteile auf. Der Grobbodenanteil ist geringer als im darunterfolgenden fAp-Horizont. Die effektive Lagerungsdichte ist im Oberboden höher als im jY2-Horizont und dem darunterliegenden, alten Bodenprofil. Trotz dichter Lagerung ist eine starke bis mittlere Durchwurzelung bis in den fAp-Horizont hinein erkennbar. Das Gefüge ist kohärent. Nur der ehemalige fAp-Horizont weist noch ein krümeliges bis subpolyedrisches Gefüge auf. Da nur eine Auftragsmächtigkeit von 20 cm erlaubt war, die im Gelände vorgefundene Auftragsmächtigkeit jedoch deutlich darüber liegt, hätte der Ap-Horizont abgetragen werden müssen.

Das ungünstige Kohärentgefüge und die dichte Lagerung des Oberbodens sind vermutlich die Ursache für die reduzierte Infiltrationsrate (22 cm/d). Das verminderte Infiltrationsvermögen und der damit verbundene erhöhte Oberflächenabfluß liefert zugleich die Erklärung für die Erosionserscheinungen auf der mittel geneigten Fläche (s. Tab. 4-C1).

Die begrabene Pararendzina unterhalb der Auffüllung ist mit dem als Referenzboden gewählten Rigosol recht gut vergleichbar, wenn auch die Pararendzina flachgründiger war (s. Tab. 4-C2). Die geringe Mächtigkeit des Ausgangsbodens war Anlaß der Auffüllung, mit der eine Bodenverbesserung und Bewirtschaftungserleichterung erzielt werden sollte.

Tab. 4-C1: Feldbodenkundliche Untersuchungsdaten, Standort C Kraichtal, Auftragsboden

Tiefe	Horizont	Substrat	Grobbodenanteil	Farbe	Humus	Carbonat	Rostfleckung	Bleichung	Durchwurzelung	Gefüge	Bodenfeuchte	effekt. Lagerungsdichte	Grobporen	Beimengungen
0 - 25	Ap jY1	Ut3	1	gebr	1	5	2	0	4	Koh	1	3-4	0	
26 - 50	jY2	Ut3	1	gebr	0	5	2	0	3-4	Koh	1	2-3	0	
51-72	fAp	Ut3	2	dnbn	3	0	0	0	3	Krü, Sub	1	2-3	0	
> 72	Cv	Ut3	4	rolibn	0	1	0	0	0	0	1-2	3	0	

Infiltration: 21,7 cm/d (Klasse 3)

Bodentyp: Auftragsboden aus Löß über Pararendzina

Tab. 4-C2: Feldbodenkundliche Untersuchungsdaten, Standort C Kraichtal, Referenzboden

Tiefe	Horizont	Substrat	Grobbodenanteil	Farbe	Hu-mus	Car-bon-at	Rost-fleckung	Blei-chung	Durch-wurze-lung	Gefüge	Boden-feuchte	effekt. Lage-rungs-dichte	Grob-poren	Beimen-gungen
0 - 10	Rah	Ut3	2	dnbn	3	3	0	0	4	Krü	1	2	2,f	
11 - 35	R	Ut3	4	bn	1	2	0	0	2-3	Sub	1	2-3	0	
> 35	IICv	Ls3	5 - 6	bn	0	0	0	0	0	0	1	0	0	

Infiltration: 52,4 cm/d (Klasse 4)

Bodentyp: Rigosol

Beide Böden besitzen ähnliche Lagerungsdichten, der Grobbodenanteil ist identisch und die Bodenart jeweils toniger Schluff. Ebenso herrscht ein krümeliges bzw. subpolyedrisches Gefüge vor. Allerdings ist der fAp-Horizont trotz hohem pH-Wert nicht mehr carbonathaltig (HCl-Probe). Der ursprüngliche Boden war flachgründiger als der Referenzboden.

Bodenphysikalische Ergebnisse

Das Gesamtporenvolumen, die Luftkapazität und die Wasserleitfähigkeit des jY1Ap-Horizontes sind deutlich niedriger als in den beiden darunterfolgenden Horizonten. Die geringere Leitfähigkeit verglichen zum Unterboden zeigt

wiederum die Bedeutung der Gefügebildung und Aggregation für den Wasser- und Lufthaushalt eines Bodens an (s. Tab. 4-C3).

Der fAp-Horizont weist mit 86 cm/d immer noch eine sehr gute Wasserleitfähigkeit auf.

Der Oberboden des Referenzbodens besitzt gegenüber dem Oberboden der Auffüllung günstigere Eigenschaften im Wasser- und Luft-haushalt. Das Gesamtporenvolumen und der Anteil enger und weiter Grobporen liegen höher als bei der Auffüllfläche und insgesamt in einem mittleren Bereich.

Tab. 4-C3: Bodenphysikalische Ergebnisse, Standort C Kraichtal

Bezeichnung/ Entnah- metiefe	Mäch-tig- keit (cm)	Sand %	Schluff %	Ton %	Grob-boden %	Bezeich- nung	Roh-dichte trock. g/cm ³	Gesamt-poren- volumen Vol%	Grob-poren > 50 µm Vol %	Grob-poren 50 - 10µm Vol %	Mittel-poren Vol %	Fein-poren Vol %	Kf-Wert cm/d	Kf Stufe
Auffüll- fläche														
jYAp /15	- 25	3,4	83,9	12,7	0,73	Ut3	1,67	39,24	1,31	4,8	22,98	10,15	13,88	3
jY /35	- 50	2,2	83,6	14,1	0,57	Ut3	1,47	45,73	3,76	9,83	23,68	8,46	33,38	3
fAp /60	- 72	21,7	65,5	12,8	12,64	Ut3	1,48	43,11	6,14	3,57	16,04	17,36	86,71	4
Referenz- boden														
RAh /6	-10	14,6	72,5	12,8	7,95	Ut3	1,42	45,80	6,17	3,9	20,18	15,55	377,81	6
Horizonte zu grobbodenhaltig für eine Beprobung														

Tab. 4-C4: Bodenchemische Ergebnisse, Standort C Kraichtal

	pH-Wert	Humusgehalt %	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Auffüllfläche	7,7	0,34	6,7	0,15	39,5	12,8	0,06	19,8	9,6	36,3
Referenzboden	7,3	2,60	7,6	0,22	46,8	13,8	0,04	27,3	14,7	51,5

Schwermetallgehalte in mg/kg

Insbesondere die höhere Wasserleitfähigkeit und Infiltration weisen auf die günstigeren Gefügeeigenschaften (krümelig) und ein ausgeprägtes Sekundärporensystem hin.

Die physikalischen Bodenkennwerte belegen die generelle Eignung des aufgebrachten Materials.

Bodenchemische Ergebnisse

Der Humusgehalt in der Auffüllfläche ist sehr gering (s. Tab. 4-C 4). Wegen der schlechten Humusversorgung ist aufgrund des geringen Tongehaltes auf ein sehr geringes Nährstoffspeichervermögen (Kationenaustauschkapazität) zu schließen. Des Weiteren bewirkt eine reduzierte Aggregatstabilität eine höhere Erosionsanfälligkeit. Die Folgenutzung sollte daher eine humusmehrende Bewirtschaftungsweise unbedingt berücksichtigen.

Die Auffüllung hat keine Auswirkungen auf den pH-Wert.

Alle Schwermetallgehalte liegen unterhalb der 70%-Vorsorgewerte und unterhalb der Hintergrundwerte.

Standort D: Sinsheim

Der Untersuchungsstandort Sinsheim-Rohrbach liegt nordöstlich von Rohrbach in einem schwach bis mittel geneigten, südostexponierten

Hangbereich. Die Fläche wird ackerbaulich genutzt.

Als Ausgangsgestein der Bodenbildung steht Muschelkalk an, der jedoch lößüberdeckt ist. Als typische Bodeneinheiten werden Parabraunerden, Pararendzinen und Kolluvien angegeben (BÜK 200 CC 7118, Bodeneinheit 39).

Feldbodenkundliche Beschreibung

Gemäß dem im Gelände ermitteltem Eindruck wirkt die Auffüllungsfläche zweigeteilt. Auf Grundlage der Pürckhauerbohrungen erscheint der hangabwärts gelegene Teil insgesamt weniger verdichtet, ferner ist ein relativ gleichmäßiger Bewuchs mit Gründüngung festgestellt worden.

Der im Oberhang gelegene Flächenanteil hingegen zeigt regelmäßig eine dichte Lagerung im Bohrprofil, so dass hier flächige Verdichtungsercheinungen zu vermuten sind. Ein Aufwuchs der Gründüngung konnte im Gelände nicht bzw. nur sehr gehemmt festgestellt werden. Die Auftragsmächtigkeit ist insgesamt geringer als am Unterhang.

Als Beprobungsstandort wurde eine, bezüglich der Auffüllungsmächtigkeit und Materialbeschaffenheit, repräsentative Stelle ausgewählt. Der Probenahmestandort liegt im Oberhangbereich mit den ungünstigeren Verhältnissen. Gemäß Antragsunterlagen erfolgte die Auffüllung mit Bauaushub aus der Elsenzaue. Auf der Flä-

che lassen sich in mehreren Horizonten auch bodenfremde Bestandteile (Bauschutt, Gesteinsbrocken) in größerer Menge entdecken. In bezug auf Bodenart, Ausgangsmaterial und Mächtigkeit (40 - 70 cm) wechseln die Verhältnisse kleinräumig.

In der Profilgrube werden drei Auffüllungshorizonte mit ähnlichen Bodenarten und Carbonatgehalten unterschieden. Der jY1Ap-Horizont ist locker und besitzt ein subpolyedrisches, nach unten hin plattiges Gefüge. Die beiden anderen Auffüllungshorizonte besitzen sehr hohe effektive Lagerungsdichten. Der jY3-Horizont ist, bedingt durch hohe Anteile an Kulturschutt (Bauschutt, Kacheln, Glasscherben etc.), als stark grobbodenhaltig einzustufen. Überdeckt wurde eine Parabraunerde. Die Unterbodenhorizonte der Parabraunerde besitzen ebenfalls hohe Lagerungsdichten (s. Tab. 4-D1).

Die Verkippung erfolgte vermutlich in sehr feuchtem Zustand. Dies ist erkennbar an der Tatsache, dass in 40 - 50 cm Tiefe verschlammte Brocken bei der Anlage der Schürfgrube entdeckt werden konnten. Eine

Durchwurzelung dieses Horizontes ist nur entlang einiger Klüfte erkennbar.

Der Referenzboden stellt eine erodierte Parabraunerde in gleicher Hanglage dar. Die Bodenart ist schluffiger Lehm über tonigem Lehm über lehmigem Schluff. Der Grobbodenanteil ist gering. Das Profil ist bis zum Cv-Horizont entkalkt. Die Durchwurzelung ist bei einer mittleren effektiven Lagerungsdichte noch bis in eine Tiefe von 70 cm erkennbar (s. Tab. 4-D2). Der Wechsel vom subpolyedrischen zum polyedrischen Gefüge ist typisch für Parabraunerden.

Bodenphysikalische Ergebnisse

Die Infiltration in den aufgeschütteten Standort erscheint mit 37,5 cm/d relativ hoch, allerdings ist der Oberboden bis in 20 cm Tiefe recht locker gelagert. Neben der geringen Rohdichte besitzt der Oberboden (jY1Ap-Horizont) auch ein hohes Gesamtporenvolumen (>50 %), eine hohe Luftkapazität und einen sehr hohen kf-Wert (s. Tab. 4-D3).

Tab. 4-D1: Feldbodenkundliche Untersuchungsdaten, Standort D Sinsheim, Auftragsboden

Tiefe	Horizont	Substrat	Grobbodenanteil	Farbe	Humus	Carbonat	Rostfleckung	Bleichung	Durchwurzelung	Gefüge	Bodenfeuchte	effekt. Lagerungsdichte	Grobporen	Beimengungen
0 - 20	Ap jY1	Ut3	2	dnbn	2	4	0	0	3	Sub, Pla	1	2	f,2	
21 -41	jY2	Ut4	2	dnbn	0	3-4	0	0	0	Koh Klu	1	4-5	0	Ziegelbruch, Kalkstein
42-48	jY3	Ut4	4	dngr	3	3-4	0	0	0	Koh	1	4-5	0	Glas, Bauschutt, Kacheln
49 -58	Bt	Tu4	1	bn	0	1	0	0	0	Pol, Pla	1-2	4	0	Bauschutt, Ap-Material
59 - 65	Btv Cca	Tu4	1	gebn	0	4	0	0	0	Pol	2	4	0	
> 65- 150	Cca	Ut3	1	gebn	0	4-5	0	0	0	Koh	2	3	0	

Infiltration: 37,5 cm/d (Klasse 3)

Bodentyp: Auftragsboden aus Löß über (erodierter) Parabraunerde

Tab. 4-D2: Feldbodenkundliche Untersuchungsdaten, Standort D Sinsheim, Referenzboden

Tiefe	Horizont	Substrat	Grobbodenanteil	Farbe	Humus	Carbonat	Rostfleckung	Bleichung	Durchwurzelung	Gefüge	Bodenfeuchte	effekt. Lagerungsdichte	Grobporen	Beimengungen
0 - 30	Ap	Lu	1	dnbn	2	0	0	0	3-4	Sub	1	3	0	
31 - 69	Bt	Lt2	1	bn	0	0	1	0	2-3	Pol	1	3-4	0	
70 - 150	Cv	Ut2 - Ut3	1	gebn	0	4	0	0	0	Koh	2	3	0	

Infiltration: 68,4 cm/d (Klasse 4)

Bodentyp: erodierte Parabraunerde

Der jY2-Horizont weist hingegen mit einem Gesamtporenvolumen von 32,67 Vol. %, einer Luftkapazität unter 1 Vol.% und einer Rohdichte von 1,79 g/cm³ eine extrem dichte Lagerung und ungünstige Eigenschaften auf. Nur der gemessene kf-Wert paßt nicht in die Bewertung eines stark verdichteten, fast undurchlässigen Horizontes.

Die schlechten physikalischen Verhältnisse im überdeckten Bt-Horizont lassen aufgrund des plattigen Gefüges, des geringen Grobporenan-

teils und der hohen Rohdichte entweder auf eine ungünstige Bewirtschaftungsweise oder auf eine unsachgemäße Behandlung während der Auffüllmaßnahme schließen (schwere Radfahrzeuge, nasse Witterung).

Die physikalischen Bodenkenwerte belegen die generelle Eignung des aufgetragenen Materials. Dies gilt allerdings nicht für den jY3-Horizont, der in hohem Maße bodenfremde Bestandteile enthält.

Tab. 4-D3: Bodenphysikalische Ergebnisse, Standort D Sinsheim-Rohrbach

Bezeichnung/ Entnahmetiefe	Mächtigkeit (cm)	Sand %	Schluff %	Ton %	Grobboden %	Bezeichnung	Rohdichte trock. g/cm ³	Gesamtporenvolumen Vol%	Grobporen > 50 µm Vol %	Grobporen 50 - 10µm Vol %	Mittelporen Vol %	Feinporen Vol %	Kf-Wert cm/d	Kf Stufe
Auffüllfläche														
jY1Ap /15	- 20	3,3	81,1	15,7	1,25	Ut3	1,39	51,25	17,41	6,10	13,92	13,82	585,5	6
jY2 /35	- 41	3,8	75	21,3	2,44	Ut4	1,79	32,41	0,93	1,76	11,22	18,50	29,57	3
jY3 zu gering mächtig														
Bt /50	- 58	1,9	71,1	28	1,29	Tu4	1,75	34,51	0,39	0,70	9,72	23,70	3,45	2
Btv Cca /100	- 150	2,2	81,3	16,4	0,12	Ut3	1,80	32,97	0,48	1,97	18,82	11,70	5,78	2
Referenzboden														
Ap /10	-30	3,3	83	13,7	0,08	Ut3	1,59	42,87	3,19	1,92	18,92	18,84	13,01	3
Bt /35	-69	3,3	80,9	15,9	0,01	Ut3	1,65	38,47	1,75	1,58	9,73	25,41	9,85	2-3
Cv /100	-108	4,3	84,8	10,9	0,32	Ut2	1,55	44,03	3,79	4,98	25,81	9,45	55,2	4

Tab. 4-D4: Bodenchemische Ergebnisse, Standort D Sinsheim

	pH-Wert	Humusgehalt %	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Auffüllfläche	7,5	1,40	8,3	0,28	48,4	17,9	0,06	25,6	17,1	50,6
Referenzboden	6,9	1,91	8,5	0,29	53,0	19,0	0,07	28,8	20,0	59,3

Schwermetallgehalte in mg/kg

Fettdruck: Überschreitung der 70%-Vorsorgewerte n. BBodSchV sowie der Hintergrundwerte nach 3. VwV „Anorganische Schadstoffe“

Bodenchemische Ergebnisse

Die Auffüllfläche besitzt einen Humusgehalt von 1,4 %. Dies deutet darauf hin, dass der ehemalige Ap-Horizont, wie in den Antragsunterlagen gefordert, als Oberboden wieder aufgebracht wurde.

Die Schadstoffgehalte liegen für As, Cd, Cu, Hg, Pb und Zn unterhalb der 70% Vorsorgewerte und der Hintergrundwerte. Der Analysenwert für Cr und Ni liegt oberhalb der Hintergrundwerte, für Cr auch oberhalb des 70%-Vorsorgewertes. Da auch im Referenzboden eine leichte Überschreitung der Hintergrundwerte bei Cr und Ni vorkommt, verändern sich die Schadstoffgehalte gegenüber dem ursprünglichen Bodenzustand nicht. Durch die hohen Carbonatgehalte im Auffüllungsboden werden sie eher längerfristig festgelegt als im Referenzstandort (s. Tab. 4-D 4).

Standort E: Karlsbad

Die Untersuchungsfläche liegt nordöstlich von Ittersbach an einem Mittelhang und wird ackerbaulich genutzt. Die Fläche weist eine mittlere Neigung auf und ist nach Südosten exponiert. Als Ausgangsgestein steht auf dem größten Teil der Fläche Oberer bis Mittlerer Buntsandstein an, auf dem südlichen Teil befindet sich Muschelkalk als Ausgangsgestein. Die ganze Fläche ist mit einer Lößlehm-Deckschicht überzogen.

Die BÜK 200 (CC 7110) weist als Bodeneinheit podsolige Braunerden und Braunerden (Bodengesellschaft 10) aus.

Feldbodenkundliche Beschreibung

Die ungenehmigte Auffüllung wurde auf einer Fläche mit erodierten gering- bis mittelmächtigen Parabraunerde-Braunerden vorgenommen. Nach Angaben des Bewirtschafters ist die Auffüllung wegen der Flachgründigkeit des Standortes als Maßnahme zur Verbesserung der Bewirtschaftung durchgeführt worden.

Die Auffüllung weist eine Mächtigkeit zwischen etwa 30 und 70 cm auf. Zum Wegesrand und zum nördlichen Ackerrand hin sowie im hangabwärts gelegenen Bereich ist die Auffüllung geringer, in der Flächenmitte dagegen liegt sie flächenhaft bei ca. 60 - 70 cm.

Die differierenden Bodenarten in den einzelnen Horizonten lassen mehrere Auffüllungszyklen mit jeweils unterschiedlichen Materialien vermuten. Zum Teil sind bodenfremde Bestandteile wie Bauschutt und Ziegelbruchstücke mit eingemischt worden.

In der Profilgrube und bei der Geländebegehung wurden folgende Merkmale festgestellt:

Der alte Oberboden wurde einfach überdeckt. Das noch im fAp-Horizont vorhandene Stroh roch faulig.

Tab. 4-E1: Feldbodenkundliche Untersuchungsdaten, Standort E Karlsbad, Auftragsboden

Tiefe	Horizont	Substrat	Grobbodenanteil	Farbe	Humus	Carbonat	Rostfleckung	Bleichung	Durchwurzelung	Gefüge	Bodenfeuchte	effekt. Lagerungsdichte	Grobporen	Beimengungen
0 - 25	Ap jY1	Uls	2	geb n	1	1	0	0	3	Koh, Pla	1	3-4	0	Bauschutt, Ziegelbruchstücke
26 - 49	jY2	Uls	2	geb n (mr)	0	2 (4)*	1	0	2**	Pla	1	3-4	0	inhomogenes Material
50 - 59	Y3	Sl3	2	b n s w	1	3	0	0	0	Ein	1	3	0	organoleptischer Eindruck
60 - 81	fAp	Ut4	2	d n b n	2-3	0	0	0	0	Sub	1	3	0	
82 - 100	Bvt	Ut3	2	b n	0	0	0	0	0	Sub	1	3	0	
> 100	IICv	S	4-5	r o l i	0	0	0	0	0	Ein	1	-	0	

* inhomogen im Horizont verteilt,

**nur entlang Aggregatoberflächen

Infiltration: 10,7 cm/d (Klasse 2-3)

Bodentyp: Auftragsboden über Parabraunerde-Braunerde

Der Aufwuchs der Gründung war teilweise sehr schlecht und lückenhaft (Verdichtung, nicht kulturfähiges Material). Alle aufgeschütteten Horizonte sind verdichtet (plattiges Gefüge, hohe Lagerungsdichte).

Die Durchwurzelung reicht bis in 50 cm Tiefe (Y3). Das Auffüllmaterial ist im Vergleich zur überdeckten Parabraunerde-Braunerde carbonathaltig (s. Tab. 4-E1).

Am Referenzstandort steht eine erodierte Parabraunerde mittlerer Entwicklungstiefe an. Der Boden besitzt eine geringere Lagerungsdichte und größere Mächtigkeit als der ursprüngliche

Boden der Auffüllungsfläche, er ist aber ansonsten ähnlich aufgebaut (s. Tab. 4-E2).

Im Vergleich zur Auffüllung weist der Referenzboden ein günstigeres Krümel- und Subpolyedergefüge auf, die Lagerungsdichte ist 1 bis 2 Stufen geringer. Der Ap-Horizont des gewachsenen Bodens ist humoser, während der Grob-bodenanteil bis auf den IICv-Horizont in etwa vergleichbar ist.

Die Infiltrationsrate ist sowohl auf der Auffüllungsfläche als auch auf dem Referenzstandort sehr gering.

Tab. 4-E2: Feldbodenkundliche Untersuchungsdaten, Standort E Karlsbad, Referenzboden

Tiefe	Horizont	Substrat	Grobbodenanteil	Farbe	Humus	Carbonat	Rostfleckung	Bleichung	Durchwurzelung	Gefüge	Bodenfeuchte	effekt. Lagerungsdichte	Grobporen	Beimengungen
0 - 22	Ap	Ut3	2	d n b n	3	0	0	0	4	Krü, Sub	1	2	0	
23 - 60	Bvt	Ut4	2-3	b n	0	0	0	0	3	Sub	1	3	0	
> 60	IICv	S	4-5	r o l i	0	0	0	0	0	Ein	1	3	0	

Infiltration: 10,8 cm/d (Klasse 2-3)

Bodentyp: Parabraunerde aus Löß

Bodenphysikalische Ergebnisse

Die physikalischen Bodeneigenschaften der Auffüllungsfläche sind als ungünstig einzustufen. Die beiden oberen Horizonte besitzen eine Rohdichte von 1,65 g/cm³. Das Gesamtporenvolumen liegt unter 40 Vol. %. Allerdings bewirkt der hohe Sandanteil (Bodenart Uls mit mehr als 33 % Sandanteil), dass ca. 6 % Luftkapazität erreicht werden. Dieser Wert ist nach Bodenkundlicher Kartieranleitung (1994) als mittel einzustufen (s. Tab. 4-E3).

Der oberste Horizont weist eine nur geringe Wasserleitfähigkeit mit einem kf-Wert von 11,57 cm/d auf. Dagegen besitzt der Referenzboden mit einem kf-Wert von 48,5 cm/d eine höhere Wasserdurchlässigkeit.

Während in beiden Böden die Luftkapazität nur gering ist, weist bezüglich der Rohdichte und des Gesamtporenvolumens die Referenzvariante günstigere Eigenschaften auf als die Auffüllung.

Bezüglich der physikalischen Eigenschaften ist das aufgetragene Feinbodenmaterial (jY1- und jY2-Horizont) mit der Eignungsstufe A (DIN 19731) zu bewerten, allerdings ohne die Beimengungen der bodenfremden Bestandteile zu berücksichtigen.

Bodenchemische Ergebnisse

Der Humusgehalt in der Auffüllung beträgt 1,1 %. Dieser Wert gilt aber nur für den Umkreis der Grube, da weiter entfernt liegende Bereiche deutlich andere Materialeigenschaften im Oberboden besaßen. Der Humusgehalt des Referenzbodens liegt bei 3,7 % (s. Tab. 4-E 4), allerdings unter Wiesennutzung.

Die Schwermetallgehalte des Oberbodens der Auffüllungsfläche überschreiten in keinem Falle die 70%-Vorsorgewerte bzw. die entsprechenden Hintergrundwerte. Allerdings weist der Referenzboden (Tongehaltsgruppe 2) bei Cu eine Überschreitung des Hintergrundwertes auf.

Tab. 4-E3: Bodenphysikalische Ergebnisse, Standort E Karlsbad

Bezeichnung/ Entnahmetiefe	Mächtigkeit (cm)	Sand %	Schluff %	Ton %	Grob- boden %	Bezeichnung	Roh- dichte trock. g/cm ³	Gesamt- poren- volumen Vol%	Grob- poren > 50 µm Vol %	Grob- poren 50 - 10µm Vol %	Mittel- poren Vol %	Fein- poren Vol %	Kf-Wert cm/d	Kf Stufe
Auffüll- fläche														
jY1Ap /10	-25	33,4	50,7	15,9	5,24	Uls	1,65	37,90	6,31	5,97	11,76	13,86	11,57	3
jY2 /30	-49	36,0	51,3	12,7	4,48	Uls	1,64	39,35	5,92	2,85	13,57	17,01	150,4	5
Y3	- 59	Tankstellenaushub, organoleptischer Geruch, nur geringmächtig, daher nicht beprobt												
Ap /70	60 – 81	15,8	66,6	17,6	13,37	Ut4	1,55	41,01	3,07	1,85	17,88	18,21	100,94	4-5
Bvt /90	-100	13,0	72,6	14,4	14,4	Ut3	1,53	42,10	9,08	3,12	15,64	14,26	721,64	6
Referenz- boden														
Ap 10	-22	15,7	72,2	12,1	11,4	Ut3	1,34	49,27	3,29	6,36	18,82	20,80	48,53	4
Bvt 30	-60	14,7	67,6	17,7	9,83	Ut4	1,49	44,58	17,98	7,32	4,52	14,76	40,27	3-4

Tab. 4-E4: Bodenchemische Ergebnisse, Standort E Karlsbad

	pH-Wert	Humusgehalt %	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Auffüllfläche	6,5	1,07	7,7	0,12	33,1	12,6	0,07	13,4	14,3	35,7
Referenzboden	5,3	3,78	13,0	0,25	38,8	22,4	0,10	15,2	33,0	51,3

Schwermetallgehalte in mg/kg

Auffallend ist der Y3-Horizont. Während das aufgebrachte Oberbodenmaterial keine erhöhten Schadstoffgehalte aufweist, wurde im Unterboden als unterste Auffüllungsschicht auf einem Teil der Fläche ein organoleptisch auffälliger Horizont festgestellt. Dieser besteht laut vorliegenden Unterlagen vermutlich aus Bodenmaterial einer Tankstellensanierung. Die entsprechenden Untersuchungsergebnisse für PAK und Mineralöl-KW zeigten jedoch keine Überschreitung der Hintergrund- bzw. Vorsorgewerte.

Standort F: Renningen

Der Untersuchungsstandort Renningen liegt nordöstlich von Renningen und wird ackerbaulich genutzt.

Die Untersuchungsfläche ist eben bis schwach geneigt. Als Ausgangsmaterial der Bodenbildung steht unter einem dünnen Lößlehmschleier grusig-toniges Material der dichtgelagerten Keuper-Fließerde (eingeregelter Grobbodenanteil) an. Im oberen Bereich ist das Keupermaterial verbraunt.

Die BÜK 200 (CC 7918) weist im Bereich der Auffüllungsfläche zwei unterschiedliche Bodengesellschaften aus. (Einheit 24: Pelosol, Pararendzina Pelosol, Pararendzina, Pelosol Braunerde oder Einheit 30: Braunerde, pseudovergleyte Pelosol-Braunerde, Ranker).

Feldbodenkundliche Beschreibung

Die genehmigte Auffüllung stellt mit ca. 7 ha die größte Auffüllfläche im Rahmen des Untersuchungsvorhabens dar. Die Fläche wurde mit mehr als 103.000 m³ Bodenmaterial bis zu einer maximalen Höhe von 2,5 m aufgeschüttet. Die Maßnahme wurde mit einer angestrebten Bodenverbesserung begründet, da der ursprüngliche Boden (Braunerde) sehr flachgündig und steinhaltig war.

Zulässig für die Aufbringung waren Lößlehme und steinhaltiges Keupermaterial mit schluffig-lehmiger Bodenart. Als Drainagematerial wurde Stubensandstein genehmigt, während Tonsteine und Knollenmergel abgelehnt wurden.

Um bei der Anlage der Profilgrube das alte Bodenprofil mit erfassen zu können, wurde die Grube im randlichen Bereich der Auffüllung angelegt. Hier besitzt die Auffüllung im jY1- und jY2-Horizont eine Mächtigkeit von 65 cm. Über das aufgebrachte Material ist der zuvor abgeschobene Oberboden in einer Mächtigkeit von 25 cm wiederaufgetragen worden.

Die Bodenarten des Auffüllmaterials variieren, der Tongehalt nimmt mit der Tiefe zu, der Grobbodenanteil bleibt gering. Fremd Beimengungen sind nicht festgestellt worden (s. Tab. 4-F1). Das Gefüge des wiederaufgetragenen Oberbodens ist krümelig-subpolyedrisch, d.h. es hat durch die Umlagerung des Materials keine Gefügedegradation stattgefunden.

Tab. 4-F1: Feldbodenkundliche Untersuchungsdaten, Standort F Renningen, Auftragsboden

Tiefe	Horizont	Substrat	Grobbodenanteil	Farbe	Humus	Carbonat	Rostfleckung	Bleichung	Durchwurzelung *	Gefüge	Bodenfeuchte	effekt. Lagerungsdichte	Grobporen	Beimengungen
0 - 25	Ap	Lu	2	dnbn	2	2-3	0	0	-	Krü, Sub	2	4	0	
26 - 65	jY1	Tu3	2	geli	0	4	0	0	-	Koh	3	4	0	
66 - 90	jY2	Tu2	2	ge, dngr	0	4	2	0	-	Koh	3	4	0	
91 - 135	IIBv Cv	Tu2	2	roli bn	0	1	1	1	-	Pol	3	5	0	
> 135	Cv	Ls2	4-5	roli	0		1	1	-	Pol	3	5	0	

* keine Durchwurzelung im Profil erkennbar

Infiltration: 33,5 cm/d (Klasse 3)

Bodentyp: Auftragsboden aus tonigem Material (mit Lößüberdeckung) über Braunerde

Die Lagerungsdichte nimmt allerdings im unteren Bereich des Ap-Horizontes stark zu. Der Unterboden weist ab einer Tiefe von 25 cm ein ungünstiges kohärentes Gefüge auf. Erst ab einer Tiefe von 90 cm ist in dem ursprünglichen Bv-Cv-Horizont ein Polyedergefüge vorzufinden. Die Porenkontinuität ist somit durch die Auffüllung im Profil erheblich gestört worden. Die effektive Lagerungsdichte ist hoch und nimmt mit zunehmender Tiefe weiter zu.

Der obere Teil des jY1-Horizontes ist stark carbonathaltig, dagegen ist der jY2-Horizont fast carbonatfrei. Der jY2-Horizont weist zudem hydromorphe Merkmale auf. Als Referenzprofil

wurde eine flachgründige Braunerde beprobt. Im Unterschied zur Auffüllung besitzt der Referenzboden als Bodenart einen schwach tonigen bis tonigen Lehm, der Grobbodenanteil nimmt mit der Tiefe zu und ist dort als mittel einzustufen. Trotz hoher bis sehr hoher Lagerungsdichte weist der Boden ein Krümel- bzw. im Unterboden ein Polyedergefüge auf (s. Tab. 4-F2).

Die Infiltrationsleistung des Referenzbodens ist wesentlich höher als die der Auffüllung einzustufen. Allerdings liegt die Infiltrationsrate des Auffüllstandortes im mittleren Bereich und ist damit im Vergleich zu den anderen Auffüllungen relativ hoch.

Tab. 4-F2: Feldbodenkundliche Untersuchungsdaten, Standort F Renningen, Referenzboden

Tiefe	Horizont	Substrat	Grobbodenanteil	Farbe	Humus	Carbonat	Rostfleckung	Bleichung	Durchwurzelung	Gefüge	Bodenfeuchte	effekt. Lagerungsdichte	Grobporen	Beimengungen
0 - 20	Ap	Lt3	2	dnbn	2	2-3	0	0	-	Krü, Sub	1	4	f,2	
21 - 33	IIBv	Lt2	2-3	(roli)bn	0	0	0	0	-	Pol	2	4-5	0	
> 33	BvCv	Lt2	3-4	roli	0	1	2	2	-	(Pol), Pla	3	4-5	0	

Infiltration: 157,8 cm/d (Klasse 5)

Bodentyp: Braunerde

Tab. 4-F3: Bodenphysikalische Ergebnisse, Standort F Renningen

Bezeichnung/ Entnah- metiefe	Mächt- igkeit (cm)	Sand %	Schluff %	Ton %	Grob-bo- den %	Bezeich- nung	Roh- dichte trock. g/cm ³	Gesamt- poren- volumen Vol%	Grob- poren > 50 µm Vol %	Grob- poren 50 - 10µm Vol %	Mittel- poren Vol %	Fein- poren Vol %	Kf-Wert cm/d	Kf Stufe
Auffüll- fläche														
Ap /15	-25	26,9	53,8	19,3	7,14	Lu	1,67	38,41	3,59	1,45	10,56	22,81	4,24	2
jY1 /40	-60	4,5	64,5	31,0	9,30	Tu3	1,62	40,29	2,01	1,08	10,35	27,65	0,89	1
jY2 /75	-90	3,0	37,0	60,0	3,37	Tu2	1,59	42,20	1,40	1,30	12,79	26,71	18,54	3
IIbVcV /110	-135	37,3	41,3	21,0	39,64	Ls2	1,80	32,88	4,07	1,98	10,74	16,09	20,25	3
Referenz- boden														
Ap /15	-20	21,1	45,1	33,7	14,76	Lt3	1,60	40,38	4,46	0,72	8,03	27,17	2,06	2
IIbV /25	-33	25,7	47,3	27,0	25,19	Lt2	1,78	33,07	6,06	0,88	4,73	21,40	26,01	3

Bodenphysikalische Beschreibung

Die bodenphysikalischen Eigenschaften weisen für den Auftragsboden im gesamten Profil relativ hohe Rohdichten (1,59 - 1,8 g/cm³), geringe Gesamtporenvolumina (ca. 32 bis 41 Vol. %), sehr niedrige bis niedrige Luftkapazitäten (1,4 - 4,1 Vol. %) und geringe bis mittlere kf-Werte auf.

Die Verhältnisse im Referenzstandort sind jedoch ähnlich. Auch hier sind vergleichbar ungünstige bodenphysikalische Eigenschaften zu verzeichnen (s. Tab. 4-F3). Aufgrund der schlechten Wasserleitfähigkeit im Unterboden der Auffüllung ist zu befürchten, dass der schluffig-lehmige Oberboden zeitweilig vernäsen wird.

Bodenchemische Ergebnisse

Da der Oberboden abgeschoben wurde, besitzt er in bezug auf den Humusgehalt in etwa vergleichbare Verhältnisse wie der frühere Ap-Horizont. Der pH-Wert der Oberböden ist identisch (s. Tab. 4-F4).

Die Schwermetallgehalte liegen im Oberboden, der allerdings weitgehend aus dem abgeschobenen Material besteht, bei allen Elementen unterhalb der 70%-Vorsorgewerte und der Hintergrundwerte.

Tab. 4-F4: Bodenchemische Ergebnisse, Standort F Renningen

	pH-Wert	Humusge- halt %	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Auffüll- fläche	7,1	1,76	6,2	0,15	37,6	16,7	0,07	16,6	15,9	46,5
Referenz- boden	7,1	2,34	4,4	0,15	46,3	16,2	0,09	23,9	13,4	64,3

Schwermetallgehalte in mg/kg

Standort G: Spraitbach

Der Standort Spraitbach befindet sich nordöstlich von Spraitbach auf einer Hochfläche und wird ackerbaulich (Maisanbau) genutzt, während der direkt daneben liegende Referenzstandort eine Weidenutzung aufweist.

Die BÜK 200 (CC 7118) weist als Ausgangsmaterial der Bodenbildung sandsteinführende Schluffe und Lehme, z.T. über Ton aus. Im Untergrund steht der Angulatensandstein des Schwarzjuras an. Als Bodentypen sind podsolierte Braunerden, pseudovergleyte Parabraunerden und Braunerde-Pseudogleye entwickelt (Bodeneinheit 90).

Feldbodenkundliche Beschreibung

Das Bodenprofil der Auffüllung besteht aus einem Oberboden (40 cm) aus sandigem Lehm und schluffig-lehmigem Sand und einem deutlich tonhaltigeren Unterbodenmaterial (s.Tab. 4-G1). Der Unterboden (> 40 cm) weist deutliche Hydromorphie Merkmale auf.

Der Referenzboden besitzt eine ähnliche Horizontabfolge (s. Tab. 4-G2). Beide Standorte sind als Braunerde-Pseudogleye anzusprechen.

Das Material für den Bodenauftrag wurde einem Hochwasserrückhaltebecken des Wasserverbandes Kocher-Lein entnommen, und in einer Mächtigkeit von ca. 15 cm aufgetragen. Vom vorhandenen Oberboden hebt es sich durch seine grauschwarze Färbung ab. Zu erkennen ist dies durch die nicht vollständig eingemischten Brocken des Auftragsmaterials im Oberboden.

Der Bodenauftrag mit LKW und die anschließende Einplanierung mit einer Planieraupe mit Aufreißer erfolgte laut Aussagen des Landwirtes während der Winterperiode bei gefrorenem Boden.

Aufgrund der geringen Auffüllungsmächtigkeit und der Einarbeitung des Auffüllungsmaterials in den Oberboden sind beide Bodenprofile in ihren feldbodenkundlichen Eigenschaften ähnlich. Die beiden obersten Horizonte besitzen jeweils leichtere Bodenarten und geringere effektive Lagerungsdichten als ihre entsprechenden Unterböden.

Auffällig ist allerdings der höhere Tongehalt im (jY)Ap-Horizont des Auffüllstandortes im Vergleich zur Referenzfläche. Es ist naheliegend, dass die Auffüllung mit schluffig-tonigem Sediment zur Erhöhung des Tongehalts geführt hat.

Tab. 4-G1: Feldbodenkundliche Untersuchungsdaten, Standort G Spraitbach, Auftragsboden

Tiefe	Horizont	Substrat	Grobbodenanteil	Farbe	Humus	Carbonat	Rostfleckung	Bleichung	Durchwurzelung	Gefüge	Bodenfeuchte	effekt. Lagerungsdichte	Grobporen	Beimengungen
0 - 30	(jY) Ap	Ls2	2	bn, swbn	3	0	0	0	4	Krü Koh*	1-2	2 3*	0	
31 - 42	BvSw	Slu	2	bn	1	0	1	0	3	Sub	1-2	3	0	
43 - 63	II BvSd	Lt2	2	ge ro bn mr	0	0	4	2	3	Pol	1-2	4	0	
> 63	Sd	Lt3	2-3	mr roli gr	0	0	4	4	2	Pol	2	4	0	

* = schwarze, noch nicht mit dem Ap-Material vermischte Brocken

Infiltration: 136,5 cm/d (Klasse 5)
Bodentyp: Braunerde-Pseudogleye

Tab. 4-G2: Feldbodenkundliche Untersuchungsdaten, Standort G Spraitbach, Referenzboden

Tiefe	Horizont	Substrat	Grobbo- denanteil	Farbe	Hu- mus	Car- bo- nat	Rost- fleckung	Blei- chung	Durch- wurze- lung	Gefüge	Boden- feuchte	effekt. Lage- rungs- dichte	Grob- poren	Beimen- gungen
0 - 15	Ap	Su4	2	dnbn	3	0	0	0	4	Krü, Sub	1-2	2	f,2	
16 - 30	BvSw	Ls	2-3	bn	0	0	2	0	3	Sub	1-2	3-4	0	
31 - 52	IIBvSd	Lt3	2-3	geb n mr	0	0	2	2	2	Sub, Pol	1-2	3	0	
53 - 130	Sd	Lt3	3	gr bn mr	0	0	2	3-4	0	Pol	2	3-4	0	

Infiltration: 130,2 cm/d (Klasse 5)

Bodentyp: Braunerde- Pseudogley

Das Gefüge im Oberboden ist in beiden Profilen subpolyedrisch und krümelig. Die zum Teil noch nicht mit dem Boden vermischten Sedimentbrocken im Auftragsboden besitzen eine etwas dichtere, kohärente Lagerung. Die darunter gelegenen Stauhorizonte besitzen höhere Tongehalte und eine höhere Lagerungsdichte.

Die Durchwurzelung reicht beim Referenzboden bis in den BvSw- bzw. bei der Auffüllungsvariante noch in den Sd-Horizont hinein.

Das Infiltrationsvermögen ist bei beiden Standorten gleich hoch (Klasse 5). Eine Beeinträchtigung infolge der Auffüllung ist daher nicht gegeben.

Bodenphysikalische Ergebnisse

Die Rohdichte der Oberböden ist gering (s.Tab. 4-G3), die der Unterböden mittel. Erstaunlich sind die gemessenen hohen Wasserleitfähigkeiten, die nicht zum Profilaufbau und zu den Staunässemerkmalen passen.

Sowohl das Gesamtporenvolumen als auch die Luftkapazitätswerte in der Auffüllfläche sind mit über 16 Vol. % im Oberboden und 10 Vol. % im SwBv-Horizont als gut zu bezeichnen. Selbst der Sd-Horizont besitzt mit 4 Vol.% noch eine für

Pseudogleye gute Luftkapazität. Die nutzbare Feldkapazität ist in den oberen Horizonten des Auftragsboden als mittel einzustufen.

Der als Grünland genutzte Referenzboden weist im Oberboden ähnlich gute, im BvSw-Horizont hingegen deutlich schlechtere bodenphysikalische Werte auf als der Auftragsboden.

Die Rohdichte ist mit $1,56 \text{ g/cm}^3$ relativ hoch und das Gesamtporenvolumen beträgt nur noch 41 Vol.%. Die langsam drainenden Grobporen sind allerdings im ganzen Profil des Referenzbodens mit hohen Werten vertreten.

Eventuell ist die Verbesserung der physikalischen Eigenschaften in den beiden obersten Horizonten der Auffüllungsfläche durch die mit einer Planierraupe durchgeführte Lockerung erklärbar, die nach Abschluß der Maßnahme mit einem Aufreißer erfolgte.

Positiv wirkte sich bei der Auffüllung die geringe Auftragsmächtigkeit, die Vermischung mit dem vorhandenen Ap-Horizont und die Einhaltung des Grundsatzes "Gleiches zu Gleichem" aus.

Tab. 4-G3: Bodenphysikalische Ergebnisse, Standort G Spraitbach

Bezeichnung/ Entnahmetiefe	Mächtigkeit (cm)	Sand %	Schluff %	Ton %	Grobboden %	Bezeichnung	Rohdichte trock. g/cm ³	Gesamtporenvolumen Vol%	Grobporen > 50 µm Vol %	Grobporen 50 - 10µm Vol %	Mittelporen Vol %	Feinporen Vol %	Kf-Wert cm/d	Kf Stufe
Auffüllfläche														
(jY) Ap/10	-30	28,6	48,3	23,2	3,75	Ls2	1,21	53,44	16,62	4,28	15,29	18,25	712,94	6
SwBv /25	-42	38,7	46,1	15,3	9,82	Slu	1,41	46,22	10,80	4,94	12,33	18,15	1415,1	6
IIbVsd /50	-63	19,0	47,0	34	11,73	Lt2	1,55	40,98	4,01	2,93	9,59	24,45	490	6
Referenzboden														
Ap /10	-15	44	49,2	6,8	12,83	Su4	1,28	49,58	4,42	9,18	25,5	10,48	192,44	5
BvSw /25	-30	42,2	36,3	21,5	17,14	Ls3	1,56	42,22	6,89	6,18	10,33	18,82	419,91	6
IIbVsd 45	-52	39,3	32,2	29,5	16,15	Lt2	1,42	46,86	11,34	7,12	9,51	18,89	511,5	6

Bodenchemische Ergebnisse

Die Humusgehalte sind in beiden Profilen hoch (s. Tab 4-G4). Der höhere Humusgehalt des Referenzbodens erklärt sich durch die Grünlandnutzung. Der für Ackerbau hohe Humusgehalt des Auftragsbodens ist bedingt durch den Eintrag des humusreichen Schlammes des Rückhaltebeckens. Gemäß Analysebericht wird der Anteil organischer Substanz im Baggergut des Regenrückhaltebeckens mit 7,6 % angegeben.

Die Bodenreaktion liegt bei beiden Varianten im mäßig sauren Bereich.

Die Schwermetallgehalte der Auffüllungsfläche liegen für Hg knapp über den Hintergrundwerten, für die anderen Schwermetalle unterhalb der Hintergrundwerte. Die 70%-Vorsorgewerte werden mit Ausnahme einer geringfügigen Überschreitung bei Chrom eingehalten. Trotz erhöhtem Ton- und Humusgehalt im Auffüllmaterial liegen die absoluten Schwermetallgehalte auf identischem Niveau mit der Referenzfläche.

Bei der Referenzfläche werden die Hintergrundwerte für alle Schwermetalle wegen der Einstufung in die Tongehaltsgruppe 1 überschritten, die 70%-Vorsorgewerte dagegen alle eingehalten.

Tab. 4-G4: Bodenchemische Ergebnisse, Standort G Spraitbach

	pH-Wert	Humusgehalt %	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Auffüllfläche	5,3	3,21	7,9	0,30	42,9	12,3	0,11	20,0	30,3	64,5
Referenzboden	5,1	4,72	13,2	0,26	41,6	13,8	0,12	18,4	26,0	51,1

Schwermetallgehalte in mg/kg

Fettdruck: Überschreitung der 70%-Vorsorgewerte n. BBodSchV sowie der Hintergrundwerte nach 3. VwV „Anorganische Schadstoffe“

Standort H: Korntal

Der Standort Korntal liegt nördlich des Industriegebietes der Ortschaft Korntal und wird ackerbaulich genutzt. Die Auffüllung erstreckt sich in einem schmalen Streifen von einem Oberhang bis in den Unterhangbereich.

Laut der BK 25 (Blatt 7120) handelt es sich bei den Böden um mittel bis mäßig tiefe Pelosole, die stellenweise von schluffigem Lehm überlagert sein können. Als Ausgangsgestein stehen Keupertone und -mergel an.

Feldbodenkundliche Beschreibung

Die Geländebegehung zeigte, dass es sich sowohl bei der Auffüll- als auch bei der Referenzfläche um einen tiefgründigen, humosen Keuperstandort handelt. Der ursprüngliche Bodentyp der Auffüllung ist ebenso wie der des Referenzstandortes als Pelosol anzusprechen.

In den oberen Bodenhorizonten der Auffüllung und im Oberboden des Referenzstandortes sind im Vergleich zu den jeweiligen Unterböden deutlich geringere Tongehalte aber höhere Schluffanteile vorhanden. Im Fall der Auffüllung ist dies auf den Lösslehmauftrag zurückzuführen. Bei dem Referenzstandort ist anzunehmen, dass eine geringmächtige Lössüberdeckung im Laufe der ackerbaulichen Bearbeitung mit dem

tonreicheren Untergrund vermischt wurde (s. Tab. 4 - H 1 und 4-H 2).

Die Mächtigkeit der Auffüllung mit Lösslehm schwankt zwischen 30 cm im Oberhangbereich und 70 cm im Unterhangbereich. Die physikalische Eignung zum Bodenauftrag ist aufgrund der Bodenart und des geringen Grobbodenanteils gegeben (Eignungsgruppe A).

Aufgrund der Mächtigkeit des Bodenauftrags hätte der Oberboden abgeschoben werden müssen.

Die effektive Lagerungsdichte des aufgeschütteten Materials ist gering bis mittel und nimmt mit Erreichen des überdeckten, ursprünglichen Tonbodens wesentlich zu. Eine ähnliche Verteilung der Lagerungsdichte weist der Referenzstandort auf. In den Oberböden beider Varianten sind vereinzelt Grobporen erkennbar.

Die Carbonatgehalte des beaufschlagten Materials liegen bei über 10 %. Das Gefüge in den Auftragshorizonten weist Krümel und Subpolyeder auf. Das Gefüge der überdeckten Bodenhorizonte besteht aus Polyedern und Prismen.

Der Referenzstandort besitzt unterhalb des Ap-Horizontes noch einen PAh-Horizont bis in 55 cm Tiefe. Der Tongehalt im Unterboden ist entsprechend dem Ausgangssubstrat bei beiden Varianten sehr hoch.

Tab. 4-H1: Feldbodenkundliche Untersuchungsdaten, Standort H Korntal, Auftragsboden

Tiefe	Horizont	Substrat	Grobbodenanteil	Farbe	Humus	Carbonat	Rostfleckung	Bleichung	Durchwurzelung	Gefüge	Bodenfeuchte	effekt. Lagerungsdichte	Grobporen	Beimengungen
0 - 25	Ap jY1	Tu3	1-2	geb n	2	4-3	0	0	4	Krü, Sub	1	2-3	m,2	
26 - 51	jY2	Tu3	1	geb n	2	4	0	0	4	Sub	2	3	0	
52 - 83	fAp	Tu2	1	swgr	2-3	4	0	0	3 *	Pri, Pol	2	4-5	0	
84 - 130	P	Tt	2	dn gr	1	0	0	0	0	Pri,Pol	2-3	5	0	

* Durchwurzelung nur entlang der Aggregatoberflächen

Infiltration: 190,8 cm/d (Klasse 5)

Bodentyp: Auftragsboden aus Lösslehm über vertisolartigem Pelosol

Tab. 4-H2: Feldbodenkundliche Untersuchungsdaten, Standort H Korntal, Referenzboden

Tiefe	Horizont	Substrat	Grobbo- denanteil	Farbe	Hu- mus	Car- bo- nat	Rost- fleckung	Blei- chung	Durch- wurzel- ung	Gefüge	Boden- feuchte	effekt. Lage- rungs- dichte	Grob- poren	Beimen- gungen
0 - 35	Ap	Tu3	1	swli	2-3	3-4	1	0	3	Pri, Pol	1	3	*	
36 - 55	PAh	Tt	1	swgr	3	0	0	0	2	Pri, Pol	2	5		
56 - 90	P	Tt	1	gr	0	0	3	0	0	Pri, Pol	2	5		

* Trockenrisse im oberen Profilteil

Infiltration: 178,5 cm/d (Klasse 5)

Bodentyp: vertisolartiger Pelosol

An beiden Untersuchungsstandorten wurde eine hohe Infiltrationsrate ermittelt (Klasse 5). Im Fall des Auftragsbodens könnte dies bereits darauf hinweisen, dass sich mit dem Krümel- und Subpolyedergefüge ebenso ein kontinuierliches Sekundärporensystem eingestellt hat.

Bodenphysikalische Ergebnisse

Die Rohdichte der jY-Horizonte ist gering bis mittel. Das Gesamtporenvolumen der Auffüllungshorizonte ist dementsprechend hoch. Allerdings wäre in der Porenverteilung ein Maximum bei den Feinporen und nicht bei den Grobporen zu erwarten. Der Anteil der weiten Grobporen im beaufschlagten Material ist gefügebedingt sehr hoch, vor allem im ApjY1-Horizont.

Dies erklärt zusammen mit dem feldbodenkundlichen Gefügebefund auch die extrem hohe Wasserleitfähigkeit. Die nutzbare Feldkapazität in den Auftragshorizonten hat sich gegenüber dem früheren Zustand (Referenz) nicht verbessert, bezogen auf das gesamte Profil hat diese jedoch aufgrund des vergrößerten durchwurzelbaren Raum wesentlich zugenommen.

Die tonigen Horizonte unterhalb der Auffüllung weisen nur eine mittlere Lagerungsdichte auf. Die Luftkapazität ist als sehr gering einzustufen. Die Wasserleitfähigkeit erreicht trotzdem mittle-

re Werte. Dies spricht für eine gute Porenkontinuität, wenn auch insgesamt die Wirkung der Sekundärporen mit der Tiefe abnimmt und das Gesamtporenvolumen zunehmend körnungsbedingt ist.

Die physikalischen Eigenschaften des aufgetragenen Materials sind im Gegensatz zu den meisten anderen Standorten insgesamt als gut zu beurteilen. Die Bodenart schluffiger Ton des Auffüllungsmaterials ist angesichts des tonigen Ausgangssubstrates als bevorzugt geeignet anzusprechen (s. Tab. 4-H 3).

Die Referenzfläche besitzt im Oberboden mit 9,38 Vol. % sowohl eine deutlich bessere Luftkapazität als auch eine bessere gesättigte Wasserleitfähigkeit als der fAp-Horizont in der Auftragsfläche. Die sehr tonigen Böden der Referenzfläche weisen damit verhältnismäßig gute bodenphysikalische Eigenschaften auf.

Schluffreicherer Material über tonreiches Material zu schichten, kann oftmals Wasserstau und Vernässung bewirken. Dies dürfte in diesem Fall aufgrund der Hangneigung der beaufschlagten Fläche jedoch nicht problematisch sein, da ein hangabwärts führender Wasserabzug möglich ist.

Tab. 4-H3: Bodenphysikalische Ergebnisse, Standort H Korntal

Bezeichnung/ Entnahmetiefe	Mächtigkeit (cm)	Sand %	Schluff %	Ton %	Grobboden %	Bezeichnung	Rohdichte trock. g/cm ³	Gesamtporenvolumen Vol%	Grobporen > 50 µm Vol %	Grobporen 50 - 10µm Vol %	Mittelporen Vol %	Feinporen Vol %	Kf-Wert cm/d	Kf Stufe
Auffüllfläche														
Ap jY1/10	- 25	9,7	56,4	33,9	4,37	Tu3	1,29	51,0	22,28	3,95	7,65	17,12	2539,1	6
jY2 /30	- 51	8,5	59,8	31,7	1,06	Tu3	1,46	45,68	14,08	1,13	10,74	19,73	1094,9	6
fAp /65	- 83	16,4	31,1	52,5	1,17	Tu2	1,53	41,05	0,33	2,05	12,62	26,05	38,0	3-4
P /90	-130	12,7	19,4	67,8	8,86	Tt	1,51	44,31	0,13	2,08	12,22	29,88	18,09	3
Referenzboden														
Ap /30	- 35	11,4	53,4	35,2	0,57	Tu3	1,45	44,5	9,38	1,57	9,47	24,08	161,49	5
PAh /50	- 55	0,3	21,8	77,8	0,0	Tt	1,47	46,82	3,34	1,23	11,35	30,9	11,4	3

Bodenchemische Ergebnisse

Der Humusgehalt im Oberboden der Auffüllung ist gegenüber der Referenzvariante deutlich niedriger, wird mit über 1,4 % jedoch noch im Vergleich zu anderen Auffüllstandorten als relativ gut eingestuft (s. Tab. 4-H 4). Die durch den Humusgehalt bedingte Aggregatstabilität hat ebenso zum Erhalt der Gefügeausbildung im umgelagerten Auffüllmaterial beigetragen.

Die Bodenreaktion liegt bei beiden Varianten, bei vergleichbarem Carbonatgehalt der Oberböden, im schwach alkalischen Bereich.

Die Schwermetallgehalte der Auffüllung liegen alle unterhalb der 70%-Vorsorgewerte sowie unterhalb der Hintergrundwerte. Dagegen weist die Referenzfläche für As, Cr, Hg eine Überschreitung der Hintergrundwerte, für Cd, Cu und Pb auch eine deutliche Überschreitung der 70%-Vorsorgewerte auf. Am Bodenprofil waren keine Auffälligkeiten erkennbar, die auf eine anthropogene Beeinflussung schließen lassen. Vermutlich handelt es sich um geogen bedingte Schwermetallgehalte. Es wäre jedoch sinnvoll, zusätzlich zum Gesamtgehalt bei diesem Referenzstandort den Anteil der mobilen Schwermetalle mit zu bestimmen.

Tab. 4-H4: Bodenchemische Ergebnisse, Standort H Korntal

	pH-Wert	Humusgehalt %	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Auffüllfläche	7,4	1,45	8,2	0,17	50,4	22,8	0,07	29,6	25,0	61,5
Referenzboden	7,5	2,95	22,4	1,42	59,9	104,5	0,12	43,8	261,1	91,7

Schwermetallgehalte in mg/kg

Fettdruck = Prüfwertüberschreitung nach VwV Anorganische Schadstoffe

Standort I: Tamm

Der Standort Tamm liegt westlich der Ortschaft Tamm und wird als Pferdeweide genutzt. Die BK 25 (Blatt 7020) weist im Untersuchungsgebiet mittlere und mäßig tiefe erodierte Parabraunerden aus Löß auf.

Feldbodenkundliche Beschreibung

Die Auffüllung der Fläche erfolgte mit inhomogenem Material. Während das Oberbodenmaterial flächenhaft aus Lößlehm besteht, sind im Unterboden der Auffüllung verschiedenartige Materialien erkennbar. Zum Teil besteht es ebenfalls aus Lößlehm, in Teilbereichen ist jedoch auch toniges Keupermaterial verwendet worden. Der alte Ap-Horizont wurde durch die Auffüllung überdeckt (s. Tab. 4-I1).

Die Auffüllung erfolgte in mindestens zwei Zyklen. Auf den alten Ap-Horizont der erodierten Parabraunerde wurde (allerdings nicht auf der gesamten Fläche) über 30 cm grobbodenhaltiges Keupermaterial mit der Bodenart sandig-toniger Lehm aufgetragen. Darüber wurden etwa 20 cm Lößlehm (stark schluffiger Ton) auf-

gebracht. Beide Auftragshorizonte sind carbonathaltig, dicht bzw. sehr dicht gelagert und weisen ein plattiges Gefüge auf. Die darunter liegende Parabraunerde besitzt keinen Al-Horizont mehr. Unter dem fAp-Horizont steht ein tonreicher und dicht gelagerter Bt-Horizont an. Die Durchwurzelung endet mit Erreichen des ehemaligen fAp-Horizontes in 50 - 60 cm Tiefe.

Die Parabraunerde am Referenzstandort besitzt im Gegensatz zur Auftragsfläche noch einen geringmächtigen Al-Horizont (s. Tab 4-I2). Die Bodenart ist schwach bzw. stark schluffiger Ton bei sehr geringem Grobbodenanteil.

Das Profil ist carbonatfrei. Die Durchwurzelung reicht wie bei der Auffüllung bis in ca. 60 cm Tiefe. Ferner sind die Hydromorphiemerkmale etwas stärker ausgeprägt als im Unterboden des Auftragsprofils. Der Bt-Horizont ist ähnlich dicht gelagert wie in der Auftragsfläche.

Die Infiltrationsrate an beiden Standorten ist mit 19,1 bzw. 28,3 cm/d gering. Dies deutet auf nutzungsbedingte Verdichtungen (Pferdekoppel) hin.

Tab. 4-I1: Feldbodenkundliche Untersuchungsdaten, Standort I Tamm, Auftragsboden

Tiefe	Horizont	Substrat	Grobbodenanteil	Farbe	Humus	Carbonat	Rostfleckung	Bleichung	Durchwurzelung	Gefüge	Bodenfeuchte	effekt. Lagerungsdichte	Grobporen	Beimengungen
0 - 20	Ap jY1	Tu4	1	dnbn	1	4	0	0	4	Pla, Sub	1	3-4	f,2	
21 - 55	jY2	Lts	4 *	gr und roli	0	4	0	0	2 **	Pla	1	5	0	
56 - 80	fAp	Ut4	1	dnbn	2	0	2	0	0	koh (sub)	2	3-4	0	
81 - 122	Bt1	Tu2	1	bn	0	4	1	0	0	Pol	2	4	0	
123 - 150	Bt2	Tu2	1	bn	0	4	0	0	0	Pol	2-3	4	0	

* kleine, plattige Mergelstücke

** geringe Durchwurzelung entlang von Trockenrissen

Infiltration: 19,1 cm/d (Klasse 3)

Bodentyp: Auftragsboden aus Löß und Keupermaterial über erodierter Parabraunerde

Tab. 4-I2: Feldbodenkundliche Untersuchungsdaten, Standort I Tamm, Referenzboden

Tiefe	Horizont	Substrat	Grobbodenanteil	Farbe	Humus	Carbonat	Rostfleckung	Bleichung	Durchwurzelung	Gefüge	Bodenfeuchte	effekt. Lagerungsdichte	Grobporen	Beimengungen
0-20	Ap	Tu4	1	dnbn	1-2	0	0	0	4	Kru, Sub	1	3-4	0	
21-32	Al	Tu4	1	gelibn	0	0	2	0	4	Sub, Koh	1-2	3-4	0	
33-60	Bt1	Tu2	1	bn	0	0	2	0	2	Pol	2	3-4	0	
>60	Bt2Sd	Tu2	1	bn	0	4	3	0	0	Pol	2	4	0	

Infiltration: 28,3 cm/d (Klasse 3)

Bodentyp: Parabraunerde

Bodenphysikalische Ergebnisse

Der aufgebrauchte Oberboden weist ein mittleres Gesamtporenvolumen auf, die Rohdichte ist noch als mittel anzusprechen, die Wasserleitfähigkeit und die Luftkapazität sind mittel bis hoch. Allerdings ist die nutzbare Feldkapazität dieses Horizontes mit Werten von weniger als 9 Vol. % als gering anzusehen.

Die Rohdichte des darunterfolgenden Keupermaterials liegt bei $1,8 \text{ g/cm}^3$ und ist damit sehr hoch. Dadurch ist der durchwurzelbare Bodenraum stark eingeschränkt. Das Gesamtporenvolumen ist als sehr gering einzustufen, allerdings erreicht die Luftkapazität und die Wasserleitfähigkeit, vermutlich aufgrund des Grobbodenanteils noch mittlere Werte. Die nutzbare Feldkapazität ist sehr gering.

Die Referenzfläche zeichnet sich durch mittlere Lagerungsdichten im gesamten Profil aus. Der Oberboden weist eine geringere Luftkapazität und eine niedrigere Wasserleitfähigkeit als im Unterboden auf. Dies zeigt, dass auch diese Fläche durch die Nutzung als Pferdekoppel schon in den oberen Bereichen verdichtet ist. Die nutzbare Feldkapazität im Ap- und Al-Horizont ist aufgrund des höheren Mittelporenvolumens hingegen deutlich größer als im fAp-Horizont der Auftragsfläche und im Bt-Horizont der Referenzfläche. Das Oberbodenmaterial der Auftragsfläche kann, obwohl es als stark schluf-

figer Ton eingestuft wurde, als geeignet angesehen werden, da es ähnliche Tongehalte besitzt wie der Ausgangsboden. Das Keupermaterial dagegen, das als Bodenart einen sandig-tonigen Lehm mit einem hohen Grobbodenanteil besitzt, muß als ungeeignet zur Bodenverbesserung angesehen werden. Der Auftrag muß dementsprechend eher als "Entsorgungsmaßnahme" beurteilt werden.

Bodenchemische Ergebnisse

Die Humusgehalte liegen bei etwa 0,85 % und damit für Auffüllböden verhältnismäßig hoch. Der Referenzboden weist einen für ackerbaulich genutzte Parabraunerden normalen Humusgehalt auf. Nach Aussage des Landwirts wird diese Fläche erst seit kurzem als Pferdekoppel genutzt.

Der pH-Wert im Oberboden der Auffüllung ist aufgrund des Carbonatanteiles deutlich höher als im Referenzboden.

Die gemessenen Schwermetallgehalte der Auffüllung unterschreiten sowohl die jeweiligen 70%-Vorsorgewerte als auch die Hintergrundwerte. Dagegen sind in der Referenzfläche die Gehalte von Cr, Hg und Zn höher als die Hintergrundwerte, aber unterhalb der 70%-Vorsorgewerte (s. Tab. 4-I4).

Tab. 4-I3: Bodenphysikalische Ergebnisse, Standort I Tamm

Bezeichnung/ Entnahmetiefe	Mächtigkeit (cm)	Sand %	Schluff %	Ton %	Grobboden %	Bezeichnung	Rohdichte trock. g/cm ³	Gesamtporenvolumen Vol%	Grobporen > 50 µm Vol %	Grobporen 50 - 10µm Vol %	Mittelporen Vol %	Feinporen Vol %	Kf-Wert cm/d	Kf Stufe
Auffüllfläche														
Ap jY1/15	- 20	5	67,4	27,6	0,36	Tu4	1,57	40,63	12,81	1,17	7,87	18,78	50,81	4
jY2 /30	- 55	39,2	28,4	32,4	52,87	Lts	1,81	34,06	4,72	1,12	6,19	22,03	18,72	3
fAp /60	- 80	6,9	73,0	20,1	0,39	Ut4	1,62	39,90	6,43	2,22	9,26	21,99	16,62	3
Referenzboden														
Ap /15	- 20	5,5	68,0	26,5	0,95	Tu4	1,57	42,47	3,2	4,37	17,09	17,8	30,11	3
Al /25	- 32	5,2	67,8	27,0	0,21	Tu4	1,55	42,35	5,17	4,47	12,28	20,43	89,72	4
Bt1 /55	- 60	3,4	47,1	49,5	0,31	Tu2	1,52	43,60	8,05	1,80	6,49	27,26	472,9	6

Tab. 4-I4: Bodenchemische Ergebnisse, Standort I Tamm

	pH-Wert	Humusgehalt %	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Auffüllfläche	7,5	0,88	7,9	0,20	56,4	20,2	0,04	33,9	17,2	61,6
Referenzboden	5,6	1,88	7,9	0,3	50,2	19,3	0,11	23,2	23,6	86,9

Schwermetallgehalte in mg/kg

Fettdruck: Überschreitung der 70%-Vorsorgewerte n. BBodSchV sowie der Hintergrundwerte nach 3. VwV „Anorganische Schadstoffe“

Standort K: Mundelsheim

Der Untersuchungsstandort befindet sich westlich der Ortschaft Mundelsheim und wird Weinbaulich genutzt. Es handelt sich um eine im Unterhangbereich gelegene ca. 20 m breite und bis an den Rand der Talsohle reichende Flur.

Die BÜK 200 (CC 7118) gibt für das Untersuchungsgebiet als Bodengesellschaft Rendzina-Rigosole und Pararendzina-Rigosole auf Muschelkalkhängen an.

Feldbodenkundliche Beschreibung

Die Auffüllung erfolgte bei der Neuanlage der Rebepflanzung und wurde zum Teil mit Rohlöß, zum Teil mit steinreichem Material, in dem größere Muschelkalkgerölle enthalten waren, durchgeführt.

In der Nähe des Feldweges wurden auch einige Betonbrocken in der Auffüllung gefunden. Die eingebrachten Felsbrocken aus Muschelkalkmaterial wurden - gemäß Unterlagenauswertung - vermutlich an verschiedenen Stellen auf dem Gelände in dafür ausgehobene Gruben vergraben.

Generell gilt Auffüllmaterial der Bodenart Schluff als besonders geeignet. Im vorliegenden Fall schränkt der zu hohe Grobbodenanteil und die Anwesenheit der relativ großen Blöcke im Auffüllmaterial die Materialeignung ein.

Der Auftrag von Schluff auf Ton entspricht zwar nicht dem Grundsatz "Gleiches zu Gleichem", die Kombination beider Substrate wird allerdings als zulässig eingestuft.

Insgesamt gesehen entspricht die Materialqualität aufgrund des hohen Grobbodenanteils im Ausgangsboden den Anforderungen.

Die Auffüllungsfläche weist einen etwa 40 cm mächtigen Ap-Horizont aus mittel tonigem Schluff auf. Das Gefüge des Auftragshorizontes ist als kohärent anzusprechen. Der Carbonatgehalt ist hoch bis sehr hoch (s. Tab 4-K1).

Unter der Auffüllung liegen rigolte Horizonte, die mit Carbonatgestein durchsetzt sind. Vor allem der fR1-Horizont weist hohe Steingehalte auf.

Der darunterliegende fR-2 Horizont besitzt deutlich geringere Grobbodenanteile, während dieser im IICv wieder zunimmt. Eine Durchwurzelung ist im Profil nicht festgestellt worden.

Die Infiltration ist mit 25 cm/d zwar mittel, jedoch für den Standort relativ gering. Neben dem ungünstigen Gefüge und den fehlenden Sekundärporen ist dieser geringe Wert vermutlich auf das mehrmalige Befahren der Fläche mit schweren Fahrzeugen zurückzuführen. Hierauf weist ebenfalls die hohe Rohdichte im Oberboden hin.

Der Bodentyp der Referenzfläche stellt eine humose Braunerde aus schluffigem Ton dar (s. Tab. 4-K 2). Der Standort ist zwischen den Reihen bewachsen und bis in große Tiefen gut durchwurzelbar.

Der Carbonatgehalt nimmt mit der Tiefe zu. Der Boden weist eine gute Gefügeentwicklung auf. Bis in große Tiefe sind deutlich sichtbare Regenwurmgänge feststellbar. Die Infiltrationsrate war daher extrem hoch.

Tab. 4-K1: Feldbodenkundliche Untersuchungsdaten, Standort K Mundelsheim, Auftragsboden

Tiefe	Horizont	Substrat	Grobbodenanteil	Farbe	Humus	Carbonat	Rostfleckung	Bleichung	Durchwurzelung	Gefüge	Bodenfeuchte	effekt. Lagerungsdichte	Grobporen	Beimengungen
0 - 37	Ap jY	Ut3	3	geli bn	2	4-5	0	0	0	Koh	2	3		
38 -52	fR1	Tu3	3	bn	2	3-4	0	0	0	Sub	2	3-4		Carbonatgestein, z.T. große Blöcke
53 -80	fR2	Tu3	1-2	bn	2	3-4	0	0	0	Sub	2	3-4		
81 -100	II Cv	Lt2	4-5	geli bn	0	4	0	0	0	Koh	2	-		Blöcke aus Carbonatgestein

Infiltration: 25,3 cm/d (Klasse 3)

Bodentyp: Auftragsboden aus Löß über Rigosol

Tab. 4-K2: Feldbodenkundliche Untersuchungsdaten, Standort K Mundelsheim, Referenzboden

Tiefe	Horizont	Substrat	Grobbo- denanteil	Farbe	Hu- mus	Car- bo- nat	Rost- fleckung	Blei- chung	Durch- wurze- lung	Gefüge	Boden- feuchte	effekt Lage- rungs- dichte	Grob- poren	Beimen- gungen
0 - 35	Ap	Tu3	1	dnbn	3	2	0	0	4	Krü, Sub	2	3	m,4*	
36 -70	Bv1	Tu3	1	bn	0	2	1	0	4	Sub	2	3	m,4*	
71 - 127	Bv2	Tu3	1	bn	0	2	0	0	2	Sub, Pol	2	3-4	m,2	
>130	Cv	Ut3	1	geli bn	0	4	0	0	0	Koh	2-3	3		

* starke Regenwurmtätigkeit

Infiltration: 1698,4 cm/d (Klasse 6)

Bodentyp: Braunerde

Bodenphysikalische Ergebnisse

Der jYAp-Horizont ist durch die Auffüllung und das mehrmalige Befahren dicht gelagert. Er besitzt nur ein geringes Gesamtporenvolumen mit einer geringen Wasserleitfähigkeit.

Die Luftkapazität und die nutzbare Feldkapazität sind noch als mittel einzustufen. Die darunter liegenden rigolten Horizonte besitzen eine ge-

ringere Lagerungsdichte, ein höheres Gesamtporenvolumen und eine mittlere Wasserleitfähigkeit (s. Tab. 4-K3).

Trotzdem besitzen auch die rigolten Horizonte eher ungünstige bodenphysikalische Eigenschaften.

Tab. 4-K3: Bodenphysikalische Ergebnisse, Standort K Mundelsheim

Bezeich- nung/ Entnah- me- tiefe	Mäch- tig- keit (cm)	Sand %	Schluff %	Ton %	Grob-bo- den %	Bezeich- nung	Roh- dichte trock. g/cm ³	Gesamt- poren- volumen Vol%	Grob- poren > 50 µm Vol %	Grob- poren 50 - 10µm Vol %	Mittel- poren Vol %	Fein- poren Vol %	Kf-Wert cm/d	Kf Stufe
Auffüll- fläche														
jYAp /25	- 37	14,1	81,8	14,1	1,24	Ut3	1,67	37,27	4,86	0,92	21,10	10,39	2,72	2
fR1 /45	- 52	9,5	56,7	33,8	30,33	Tu3	1,48	43,63	4,63	0,66	18,38	19,96	21,21	3
fR2 /65	- 80	7,6	61,9	30,4	0,95	Tu3	1,49	44,53	9,39	1,15	15,40	18,59	14,85	2
IICv	> 80	Horizont enthält zu hohen Grobbodenanteil												
Referenz- boden														
Ap /25	- 35	8,1	55,8	36,1	0,74	Tu3	1,43	46,76	13,72	2,87	10,91	19,26	1330,2	6
Bv1 /45	- 70	6,6	59,4	34,0	0,01	Tu3	1,43	45,83	9,23	2,78	14,24	19,58	938,37	6
Bv2 /75	- 127	6,3	60,2	33,5	0,12	Tu3	1,50	44,91	9,26	2,63	14,44	18,58	626,36	6

Tab. 4-K4: Bodenchemische Ergebnisse, Standort K Mundelsheim

	pH-Wert	Humusgehalt %	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Auffüllfläche	7,5	0,52	10,1	0,18	52,3	19,2	0,04	31,9	14,4	52,3
Referenzboden	7,4	1,40	11,2	0,23	60,5	27,6	0,05	36,3	24,0	65,6

Schwermetallgehalte in mg/kg

Fettdruck: Überschreitung der 70%-Vorsorgewerte n. BBodSchV sowie der Hintergrundwerte nach 3. VwV „Anorganische Schadstoffe“

Der Referenzboden weist gute bodenphysikalische Verhältnisse in bezug auf die Rohdichte ($< 1,5 \text{ g/cm}^3$), das Gesamtporenvolumen (ca. 44 Vol %) und die Luftkapazität (im Oberboden 13, im Unterboden über 9 Vol.%) auf.

Die Wasserleitfähigkeit ist bis in 1 m Tiefe sehr gut. Im Vergleich zu der Auffüllung sind diese Kennwerte als wesentlich günstiger einzustufen und können insgesamt durch die hohe biologische Aktivität im Boden erklärt werden.

Bodenchemische Ergebnisse

Das Material der Auffüllung besitzt nur einen sehr geringen Humusgehalt, während bei der Referenzvariante übliche Werte vorkommen. Da die Fläche am Hang liegt und nicht durch Bewuchs geschützt ist, besteht aufgrund des hohen Schluffanteils eine erhöhte Erosionsgefahr.

Die Bodenreaktion liegt bei beiden Böden im schwach alkalischen Bereich.

Bei allen zwei Oberböden überschreitet der Schwermetallgehalt für Cr die Hintergrundwerte geringfügig (s. Tab. 4-K4). Im Oberboden der Auffüllungsfläche liegt der Cr-Gehalt auch über dem entsprechenden 70%-Vorsorgewert.

Standort L: Gutach

Der Untersuchungsstandort Gutach liegt im Unterhangbereich einer durch einen kleinen

Bachlauf geschaffenen tälchenartigen Hohlform. Die Fläche wird als Grünland genutzt.

Laut der BÜK 200 (CC 7910) handelt es sich vorwiegend um Parabraunerde-Braunerden und Braunerden, die sich aus einer lößlehmhaltigen Deckschicht über Kristallinschutt entwickelt haben und in stark geneigten bis steilen Unterhängen der Schwarzwaldtäler vorkommen (Bodeneinheit 18).

Feldbodenkundliche Beschreibung

Bei der Untersuchungsfläche handelt es sich um eine Tälchenverfüllung zum Zweck der Bewirtschaftungserleichterung. Durch die Auffüllung wird die Hangneigung deutlich herabgesetzt.

Vor der Auffüllung wurde der Oberboden abgeschoben, zwischengelagert und nach der Verfüllung als oberste Schicht wieder aufgebracht. Für die Auffüllung wurde Bauschutt (Ziegel, Betonbrocken etc.) und Bodenaushub mit hohen Grobbodenanteilen aus Graniten und Gneisen verwendet.

Die Profilgrube konnte lediglich bis zu einer maximalen Tiefe von 50 cm angelegt werden, da ab dieser Tiefe der extrem steinhaltige und dichte Untergrund aus Auffüllungsmaterial folgte. Ein Profilaufbau mit einer etwa 40 cm mächtigen, feinkbodenreichen Auffüllungsschicht über Bauschutt und steinhaltigem Bodenaushub ist für die gesamte Fläche typisch.

Tab. 4-L1: Feldbodenkundliche Untersuchungsdaten, Standort L Gutach, Auftragsboden

Tiefe	Horizont	Substrat	Grobbodenanteil	Farbe	Humus	Carbonat	Rostfleckung	Bleichung	Durchwurzelung	Gefüge	Bodenfeuchte	effekt. Lagerungsdichte	Grobporen	Beimengungen
0 - 8	Ah	Lu	2	dnbn	3	0	0	0	4	Krü	2	2-3	2	
9 - 40	jY	Sl4	3	bn	1	0	2	0	3	Sub	2	3	0	Bauschutt, Ziegel
> 40	Y2	Lu	5	-	0	0	0	0	2	-	2	4	0	Gneis, Granit, Ziegel, Bauschutt

Infiltration: 267,8 cm/d (Klasse 5)

Bodentyp: Auftragsboden aus lößartigem Material über Bauschutt

Der Oberboden besteht in den obersten 10 cm aus dem wiederaufgebrachten alten Oberbodenmaterial. Dieses ist relativ locker gelagert, sehr gut durchwurzelt und weist ein günstiges Krümelgefüge auf. Darunter steht ein 30 cm mächtiges sandig-lehmiges, mit Bauschutt vermengtes Substrat an, das ebenfalls noch relativ locker gelagert ist und überwiegend subpolyedrisches Gefüge aufweist (s. Tab. 4-L1). Das Profil ist carbonatfrei.

Als Referenzboden wurde ein von der Lage im Tälchen vergleichbarer Standort außerhalb des Auffüllbereiches gewählt. Der hier vorgefundene Bodentyp wurde als Haftnässepseudogley angesprochen (s. Tab. 4-L 2).

Die Bodenart des Haftnässepseudogleys ist lehmiger Schluff über schluffigem Lehm. Nach unten ist der Boden immer stärker durch hydro-morphe Merkmale geprägt. Die Haftnässe ist vermutlich bedingt durch die hohen Niederschläge und die durch den Grundwasseranschluß im Profil verhinderte Versickerung des Niederschlags- und Hangzugswassers.

Die Solumtiefe im Referenzboden ist viel mächtiger als diejenige des Auftragsbodens. Die Durchwurzelung reicht bis in den Go-Horizont. Der Boden besitzt im gesamten Profil geringe Lagerungsdichten.

Tab. 4-L2: Feldbodenkundliche Untersuchungsdaten, Standort L Gutach, Referenzboden

Tiefe	Horizont	Substrat	Grobbodenanteil	Farbe	Humus	Carbonat	Rostfleckung	Bleichung	Durchwurzelung	Gefüge	Bodenfeuchte	effekt. Lagerungsdichte	Grobporen	Beimengungen
0 - 15	Ap	Ul3	1	dnbn	3-4	0	0	0	4	Krü, Sub	2	1	0	
16 - 26	BvSg1	Ul3	1	bn	0	0	2	0	3-4	Sub	3	1	0	
27 - 80	Sg2	Lu	1	gr	0	0	3	4	3	Sub	4	2	0	
81 - 150	Go	Lu	1	gr	0	0	4	4	2	Sub	4	2-3	0	

Infiltration: 238,9 cm/d (Klasse 5)

Bodentyp: vergleyter Haftnässe-Pseudogley

Das Gefüge im Oberboden ist krümelig-subpolyedrisch, während es in die Tiefe zu ausschließlich subpolyedrischem Gefüge wechselt.

Sowohl der Auftragsboden als auch die Referenzvariante weisen eine hohe Infiltrationsfähigkeit auf (Klasse 5).

Bodenphysikalische Ergebnisse

Die obersten zwei Horizonte der Auffüllung besitzen recht günstige bodenphysikalische Kennwerte (s. Tab. 4-L3). Die Lagerungsdichte ist gering, das Gesamtporenvolumen ist hoch, die Luftkapazität mittel und die gesättigte Wasserleitfähigkeit weist mittlere Werte auf.

Die nutzbare Feldkapazität ist sehr hoch, allerdings ist der Wurzelraum durch die darunter liegenden steinigten Schichten insgesamt nur geringmächtig. Durch den hohen Grobbodenanteil sind die darunter liegenden Horizonte wasserabführend. Für eine Wasserspeicherung sind sie jedoch ungeeignet.

Der Referenzstandort weist bei tiefer Gründigkeit durchgehend gute bodenphysikalische Bedingungen auf. Die Rohdichte ist sehr gering.

Alle Horizonte besitzen ein sehr hohes Gesamtporenvolumen. Die Luftkapazität der beiden oberen Horizonte ist mittel, die der beiden darunter liegenden Bodenhorizonte ist jedoch deutlich geringer.

Die nutzbare Feldkapazität weist hohe Werte auf. Auch die gesättigte Wasserleitfähigkeit besitzt im ganzen Profil hohe Werte. Im Vergleich zur Auffüllung sind die Verhältnisse der Referenzvariante bei allen Parametern günstiger.

Bodenchemische Ergebnisse

Die bodenbiologischen Bedingungen im Oberboden der Auffüllung (Krümelgefüge, Regenwurmgänge) sind als gut anzusehen. Dies ist durch die oberste Auffüllungsschicht bedingt, die aus dem abgeschobenen Oberbodenmaterial besteht.

Durch die Bodenumlagerung ist vermutlich der humose Oberboden mit Unterbodenmaterial vermischt worden. Daher ist der Gehalt an organischer Substanz im Oberboden der Auffüllung nur noch mittel, während die Auffüllung als stark humos einzustufen ist.

Tab. 4-L3: Bodenphysikalische Ergebnisse, Standort L Gutach

Bezeichnung/ Entnahmetiefe	Mächtigkeit (cm)	Sand %	Schluff %	Ton %	Grobboden %	Bezeichnung	Rohdichte trock. g/cm ³	Gesamtporenvolumen Vol%	Grobporen > 50 µm Vol %	Grobporen 50 - 10µm Vol %	Mittelporen Vol %	Feinporen Vol %	Kf-Wert cm/d	Kf Stufe
Auffüllfläche														
Ap / 5	-8	30,2	51,6	18,3	13,55	Lu	1,33	49,42	5,35	3,4	22,20	18,47	76,83	4
jY1 /25	-40	45,1	38,6	16,3	20,3	Sl4	1,48	43,34	4,99	2,45	21,26	14,64	77,19	4
Y2	nicht zu beproben, da Grobbodenanteil zu hoch													
Referenzboden														
Ap /10	-15	16	72,6	11,3	1,87	Ut2	1,13	54,49	6,29	2,83	25,34	20,03	77,3	4
BvSg1/20	-26	7,1	74,6	18,3	0,87	Ut4	1,07	58,43	9,32	4,67	24,09	20,36	263,96	5
Sg2 /50	-80	10,3	72,1	17,6	1,51	Ut4	1,34	49,41	3,53	3,00	20,66	22,22	226,56	5
Go /100	-150	3,3	75,0	21,7	0,09	Ut4	1,40	47,92	2,68	1,22	21,93	22,09	355,8	6

Tab. 4-L4: Bodenchemische Ergebnisse, Standort L Gutach

	pH-Wert	Humusgehalt %	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Auffüllfläche	5,1	3,28	14,0	0,16	33,8	11,6	0,09	15,1	23,5	48,5
Referenzboden	5,4	6,05	10,4	0,33	38,9	12,8	0,09	18,6	23,6	52,0

Schwermetallgehalte in mg/kg

Die Bodenreaktion der Oberböden beider Varianten liegt im mäßig sauren Bereich.

Die Schwermetallgehalte liegen in beiden Flächen unterhalb der Hintergrundwerte und der 70%-Vorsorgewerte (s. Tab. 4-L4).

Standort M: Friesenheim

Der Untersuchungsstandort befindet sich nördlich der Ortschaft Friesenheim auf der Niederterrasse am Rande der Rheinebene. Seit der Auffüllung liegt die Fläche brach.

Laut BÜK 200 (CC 7910) liegt die Untersuchungsfläche im Bereich einer Bodengesellschaft aus kalkhaltigen Gley-Kolluvien, Braunen Auenböden und Auengleyen.

Feldbodenkundliche Beschreibung

Bei der nicht genehmigten Auffüllung wurde Rohlöß in einer Mächtigkeit von 30 - 60 cm aufgebracht. Der ehemalige Oberboden wurde nicht abgeschoben, sondern überdeckt.

In der Profilgrube lag die Mächtigkeit der Auffüllung bei ca. 50 cm (s. Tab 4-M1). In etwa 30 cm ist eine dünne Lage mit Grobbodenanteilen und teilweise verrottetem Pflanzenmaterial erkennbar. Dieser Befund spricht für zwei Auffüll-

lungsphasen, die einige Zeit auseinander gelegen haben müssen. Der Carbonatgehalt im Auffüllungsmaterial ist recht hoch.

Die im Y2-Horizont erkennbaren schwach ausgeprägten Hydromorphiemerkmale sind aufgrund der geringen Entwicklungszeit nicht rezente, sondern auf das Auffüllungsmaterial, das auch eine etwas andere Färbung aufweist, zurückzuführen.

Das Gefüge in der Auffüllung ist plattig, die effektive Lagerungsdichte ist dennoch nicht sehr hoch.

Die zwei oberen Horizonte des überdeckten, ursprünglichen Bodenprofils weisen ebenso wie der Referenzstandort deutlich höhere Tongehalte auf (s. Tab 4-M2).

Die Referenzfläche ist auch im Gr-Horizont noch schluffig, während in der Auffüllungsfläche ein sehr grobbodenhaltiger Gr-Horizont ansteht. Der Boden ist bis in den Oberboden hinein hydromorph beeinflusst.

Da jedoch auch der Gr-Horizont keinen Hinweis auf einen aktuellen Grundwassereinfluß besaß, ist vermutlich aufgrund von Entwässerungsmaßnahmen keine rezente Auengleydynamik mehr gegeben.

Tab. 4-M1: Feldbodenkundliche Untersuchungsdaten, Standort M Friesenheim, Auftragsboden

Tiefe	Horizont	Substrat	Grobbodenanteil	Farbe	Humus	Carbonat	Rostfleckung	Bleichung	Durchwurzelung	Gefüge	Bodenfeuchte	effekt. Lagerungsdichte	Grobporen	Beimengungen
0 - 30	Ap jY1	Ut3	2	gebn	1	4	0	0	4	Sub, Pla	2	3	Risse	
31 - 50	Y2	Ut3	2	bnli	1	4	2	1	3	Pla	2	3	0	*
51 - 72	fAp	Tu3	1	dngr	2-3	0	1	0	2	Pol, Pri	2	3	Prismen	
73 - 110	MGo1	Tu3	1	gr	0	0	3	4	0	Pol, Sub	2	4	0	
111 - 148	MGo2	Usl	1	hegr	0	4-5	3	4	0	Sub	2-3	4	0	
> 148	MGr	-	5 - 6					6						

* in 30 cm Tiefe geringmächtige Lage mit teilweise verrottetem Pflanzenmaterial

Infiltration: 11,1 cm/d (Klasse 2-3)

Bodentyp: Auftragsboden aus Löß über Braunem Auenboden-Auengley (evt. reliktsch)

Im Unterboden steht als Go-Horizont ein tonarmer schluffiger Horizont an. Während die beiden oberen Horizonte entkalkt sind, enthält der Unterboden höhere Carbonatgehalte. Die Infiltrationsraten im aufgeschütteten Material sind nur gering, während der Referenzstandort eine sehr hohe Infiltration besitzt. Dies liegt an den feinen Trockenrissen, die die Bodenoberfläche durchziehen.

Bodenphysikalische Ergebnisse

Die Auffüllungshorizonte sind von den bodenphysikalischen Eigenschaften her mit einer mittleren Lagerungsdichte, einem Gesamtporenvolumen von deutlich über 40 % und einer

mittleren Wasserleitfähigkeit als mittel zu bewerten.

Im Bereich des ursprünglichen Bodenprofils, nimmt die nutzbare Feldkapazität und die Wasserdurchlässigkeit erheblich ab, während das Gesamtporenvolumen konstant bleibt.

Im Vergleich zur angenommenen Ausgangssituation (Referenz) sind mit Ausnahme vom Mittelporenanteil die Verhältnisse ungünstiger geworden. Die Lagerungsdichte des Referenzbodens ist geringer, das Gesamtporenvolumen, die Wasserleitfähigkeit und die Luftkapazität insbesondere im Unterboden sind deutlich höher (s. Tab. 4-M3).

Tab. 4-M2: Feldbodenkundliche Untersuchungsdaten, Standort M Friesenheim, Referenzboden

Tiefe	Horizont	Substrat	Grobbodenanteil	Farbe	Humus	Carbonat	Rostfleckung	Bleichung	Durchwurzelung	Gefüge	Bodenfeuchte	effekt. Lagerungsdichte	Grobporen	Beimengungen
0 - 25	Ap	Tu3	1	dnbn	3-4	0	2	0	4	Pol	2	3	m,2	
26 - 60	MGo	Tu3	1	grbn	0	0	3	3	3	Pol, Pri	2	3	0	
61 - 105	Go	Us	1	gr	0	4-5	4	4	0	Koh	3	3	0	
106 - 150	Gr	Us	1	gr	0	4-5	2	6	0	Koh	3	3	0	

Infiltration: 794,1 cm/d (Klasse 6)

Bodentyp: Brauner Auenboden-Auengley (evt. reliktsch)

Tab. 4-M3: Bodenphysikalische Ergebnisse, Standort M Friesenheim

Bezeichnung/ Entnahmetiefe	Mächtigkeit (cm)	Sand %	Schluff %	Ton %	Grobboden %	Bezeichnung	Rohdichte trock. g/cm ³	Gesamtporenvolumen Vol%	Grobporen > 50 µm Vol %	Grobporen 50 - 10µm Vol %	Mittelporen Vol %	Feinporen Vol %	Kf-Wert cm/d	Kf Stufe
Auffüllfläche														
Ap jY1/20	- 30	2,5	80,8	16,7	0,43	Ut3	1,49	45,50	7,05	3,25	26,09	9,11	21,47	3
jY2 /40	- 50	5,4	77,7	16,9	3,91	Ut3	1,55	42,18	2,26	1,97	23,65	14,30	14,30	3
fAp /60	- 72	8,3	53,7	38	0,27	Tu3	1,36	48,59	3,58	0,78	14,33	29,90	3,96	2
MGo1 /80	- 110	4,9	55,4	39,7	0,0	Tu3	1,48	44,69	3,94	0,37	10,45	29,93	2,90	2
Referenzboden														
Ap /15	- 25	6,3	59,6	34,1	0,08	Tu3	1,20	54,00	7,54	2,34	17,06	27,06	48,06	4
MGo /35	- 60	4,1	53,6	42,3	0,01	Tu3	1,39	48,31	7,84	1,40	14,07	25,01	65,13	4

Bodenchemische Ergebnisse

Der Humusgehalt des schluffigen Bodenauftrags ist sehr gering und im Vergleich zur Referenz wesentlich ungünstiger (s. Tab. 4-M4).

Zwar ist eine Erosionsgefährdung aufgrund der ebenen Lage nicht zu gegeben, aber die Verdichtungsanfälligkeit ist hoch, da die Aggregatstabilität des humusarmen und relativ tonarmen Materials sehr gering ist. Die zukünftige Gefügentwicklung wird entscheidend von der biologischen Aktivität im Boden abhängen.

Die Bodenreaktion liegt entsprechend dem Carbonatgehalt bei der Auffüllung im schwach alkalischen Bereich, während der Oberboden der Referenz mäßig sauer ist.

Bei beiden Varianten liegen die Schwermetallgehalte unterhalb der 70%-Vorsorgewerte und überwiegend unterhalb der Hintergrundwerte. Lediglich im Oberboden der Auffüllung werden für Cr und Ni die Hintergrundwerte geringfügig überschritten.

Aufgrund seiner chemischen Eigenschaften ist das Material zur Auffüllung geeignet.

Tab. 4-M4: Bodenchemische Ergebnisse, Standort M Friesenheim

	pH-Wert	Humusgehalt %	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Auffüllfläche	7,5	0,48	7,3	0,18	40,9	16,0	0,05	27,3	29,4	41,0
Referenzboden	5,9	4,71	7,4	0,32	57,2	19,6	0,09	31,8	29,4	94,9

Schwermetallgehalte in mg/kg

Standort N: Rheinau

Der Standort liegt südlich des Ortes Memprechtshofen im Bereich der ehemaligen Rench-
aue. Die ackerbauliche Nutzung (Maisanbau)
der Fläche wurde nach der Auffüllmaßnahme
beibehalten.

Die BK 25 (BK 7313) weist als Bodeneinheit
eine Vergesellschaftung von Auengley, Braunem
Auenboden und Auenpseudogley aus. Die
natürlichen Grundwasserstände liegen für den
MsHGw (mittlerer scheinbarer Hochgrundwas-
serstand) < 2 dm, für MsNGw (mittlerer schein-
barer Niedriggrundwasserstand) 5-8 dm unter
Flur. Stellenweise wurde das Grundwasser ab-
gesenkt (Bodeneinheit 24).

Feldbodenkundliche Beschreibung

Die Auffüllung ist mit schwach steinhaltigem
Material aus lehmig-schluffigen Sand durchge-
führt worden. Die Auffüllung erfolgte in der Flä-
chenmitte bis zu etwa 60 cm, zu den Rändern
hin läuft sie bis auf etwa 20 cm aus. Das Bo-
denmaterial ist carbonathaltig. Der Boden ist gut

durchwurzelt und besitzt eine mittlere effektive
Lagerungsdichte (s. Tab. 4-N1).

In Hinsicht auf die Bewertung der Materialeig-
nung ist ein Auftrag von Sand über Ton in dieser
Mächtigkeit nicht zulässig.

Der alte Oberboden ist nicht vollständig abge-
tragen worden. Daher ist ein noch wenige cm
mächtiger fAp-Horizont im Profil vorhanden. Die
nicht ganz einheitliche Färbung der ApjY1- und
jY2- Horizonte deutet darauf hin, dass der ab-
getragene Horizont mit dem aufgebrachtem Ma-
terial vermischt wurde. Die Durchwurzelung
reicht bis in den alten fAp-Horizont in 60 cm
Tiefe.

Unter den Resten des fossilen Ap-Horizontes
steht direkt ein Go-Horizont an, in dem keine
Gefügeentwicklung mehr erkennbar ist. Das
Material ist deutlich tonhaltiger als das des frü-
heren Oberbodens. Erst im Gr-Horizont steht
sandreiches, mit hohem Kiesanteil versetztes
Material an.

Die Infiltrationsrate ist in beiden Profilen sehr
hoch (Klasse 5).

Tab. 4-N1: Feldbodenkundliche Untersuchungsdaten, Standort N Rheinau, Auftragsboden

Tiefe	Horizont	Substrat	Grob- bodenanteil	Farbe	Hu- mus	Carbo- nat	Rost- fleckung	Blei- chung	Durch- wurze- lung	Gefüge	Boden- feuchte	effekt. Lage- rungs- dichte	Grob- poren	Beimen- gungen
0 - 32	jY1 Ap	Slu	2	bn	2	4	0	0	4	Sub	3-4	3	0	
33 - 54	jY2	Slu	2	bn	2	4	1	1	2-3	Koh Sub	2	3	0	
55 - 60	fAp	Ls2	1-2	gr bn	2	1-2	3	1-2	2	Sub	2	3	0	Reste des alten Ap
61 - 83	MGo	Tu3	2	dn gr	1	0	2	1	0	Koh	2	3	0	
84 - 102	Go	Lt2	2	he gr	1	0	4	4	0	Koh	2	4	0	
103 - 132	Gro	Lt2	2	gr	1	0	4	4	0	Koh	2	4	0	
> 132	Gr	S	4	gr	4	0	2	6	0	Ein	2	3	0	

Infiltration: 177,8 cm/d (Klasse 5)

Bodentyp: Auftragsboden aus Löß über Auengley (evt. reliktsch)

Tab. 4-N2: Feldbodenkundliche Untersuchungsdaten, Standort N Rheinau, Referenzboden

Tiefe	Horizont	Substrat	Grobbodenanteil	Farbe	Humus	Carbonat	Rostfleckung	Bleichung	Durchwurzelung	Gefüge	Bodenfeuchte	effekt. Lagerungsdichte	Grobporen	Beimengungen
0 - 25	Ap	Lus	1	bn	3	0	1	0	4	Sub	3	3	2	
26 - 56	MGo	Lt3	1	hegr	0	0	4	4	3	Pol	2	4	0	
57 - 91	Go2	Lt3	2	gr	0	0	4	4	2	Pol	2	4	0	
> 92	Gor	Sl	3-4	gr	0	0	2	4	0	Koh	2	3	0	

Infiltration: 241,5 cm/d (Klasse 5)

Bodentyp: Brauner Auenboden-Auengley (evt. reliktsch)

Das alte Bodenprofil und der Referenzstandort zeigen eine deutliche Auengleydynamik. Ob es sich um eine rezente oder um eine reliktsche Vergleyung handelt, konnte im Gelände nicht geklärt werden. Die geringe Bodenfeuchte des Gr-Horizontes lässt es zumindest möglich erscheinen, dass es sich im aufgedragenen Profil nicht um einen aktuellen Gr-Horizont handelt.

Der Referenzboden besitzt bis in den Go2-Horizont hinein ein Gefüge aus Subpolyedern und Polyedern (s. Tab. 4-N2). Der Oberboden mit der Bodenart schluffig-sandiger Lehm ist deutlich weniger tonhaltig als die Go-Horizonte aus tonigem Lehm, in denen die effektive Lagerungsdichte relativ hoch ist. Der Gr-Horizont ist wiederum sandig und besitzt einen hohen Grobbodenanteil. Die Durchwurzelung reicht bis in den Go2 in 90 cm Tiefe.

Bodenphysikalische Ergebnisse

Der ApjY1-Horizont besitzt eine mittlere Rohdichte (s. Tab. 4-N 3), ein relativ hohes Gesamtporenvolumen, eine mittlere Luftkapazität und eine relativ geringe Wasserleitfähigkeit. Der jY2-Horizont ist etwas dichter gelagert, so dass sein Gesamtporenvolumen und die Luftkapazität wesentlich schlechter sind.

Die nutzbare Feldkapazität ist in beiden Horizonten sehr hoch.

Der darunter liegende Go1-Horizont besitzt höhere Tongehalte und ist bis auf die Wasserleitfähigkeit in seinen physikalischen Eigenschaften besser als der jY2-Horizont.

Die beiden beprobten Horizonte in der Referenzfläche weisen gute bodenphysikalische Bedingungen und damit günstigere Verhältnisse als die Auffüllung auf. Sie besitzen eine geringe (Oberboden) oder mittlere (Unterboden) Lagerungsdichte, hohe Gesamtporenvolumina und eine relativ hohe nutzbare Feldkapazität.

Bodenchemische Ergebnisse

Der Humusgehalt ist mit 1,4 % in der Auffüllung relativ hoch, hat jedoch gegenüber der Referenz abgenommen (s. Tab. 4-N4). Auch dies spricht dafür, dass der alte Oberboden gut mit dem Auffüllungsmaterial vermischt wurde.

Bezüglich der Bodenreaktion besteht ein deutlicher Unterschied. Der pH-Wert der Auffüllung liegt im schwach alkalischen Bereich, in der Referenz mit pH 4,8 im stark sauren Milieu.

Die Schwermetallgehalte der Auffüllvariante liegen unterhalb der 70%-Vorsorgewerte und mit Ausnahme von Cr auch unterhalb der Hintergrundwerte. Die Gehalte im Oberboden des Referenzbodens überschreiten für Cr ebenfalls den Hintergrundwert und im Falle von Cr, Ni und Zn auch den 70%-Vorsorgewert.

Tab. 4-N3: Bodenphysikalische Ergebnisse, Standort N Rheinau

Bezeichnung/ Entnahmetiefe	Mächtigkeit (cm)	Sand %	Schluff %	Ton %	Grobboden %	Bezeichnung	Rohdichte trock. g/cm ³	Gesamtporenvolumen Vol%	Grobporen > 50 µm Vol %	Grobporen 50 - 10µm Vol %	Mittelporen Vol %	Feinporen Vol %	Kf-Wert cm/d	Kf Stufe
Auffüllfläche														
jY1Ap /20	- 32	44,6	40,3	15,1	8,89	Slu	1,51	45,31	7,57	3,60	21,93	12,21	12,11	3
jY2 /45	- 54	46,9	40,5	12,6	5,29	Slu	1,60	40,04	1,62	3,82	19,57	15,03	10,31	2-3
fAp	zu geringmächtig für eine Beprobung													
MGo /70	61-83	12,2	56,8	31	1,91	Tu3	1,45	45,85	4,06	1,32	17,36	23,11	3,97	2
Go /95	- 102	22,5	45,5	32,1	4,92	Lt2	1,65	38,88	1,16	0,42	14,79	22,51	2,0	2
Referenzboden														
Ap /15	- 25	15,3	45,2	39,6	1,09	Lt3	1,32	48,33	5,87	1,83	14,45	26,18	25,53	3
MGo /40	- 56	20,3	41,6	38,2	1,97	Lt3	1,52	43,40	5,60	0,98	11,73	25,09	149,9	5

Tab. 4-N4: Bodenchemische Ergebnisse, Standort N Rheinau

	pH-Wert	Humusgehalt %	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Auffüllfläche	7,4	1,36	5,5	0,21	35,7	13,1	0,05	18,1	14,0	48,8
Referenzboden	4,8	3,21	14,2	0,15	82,5	11,7	0,10	82,7	22,4	65,5

Schwermetallgehalte in mg/kg

Fettdruck: Überschreitung der 70%-Vorsorgewerte n. BBodSchV sowie der Hintergrundwerte nach 3. VwV „Anorganische Schadstoffe“

4.2 Bewertung der Untersuchungsergebnisse

4.2.1 Rechtsgrundlagen

Die Bewertung der Untersuchungsergebnisse erfolgt auf Grundlage der im folgenden Kapitel (Kap. 4.2.2) angeführten Bewertungsmethodik und unter Berücksichtigung von zwei Betrachtungsschwerpunkten.

Zum einen werden die erhobenen Gelände- und Labordaten der einzelnen Geländeauffüllungen für eine Beurteilung herangezogen und vergleichend nebeneinander gestellt. Diese Art der Auswertung erlaubt es, Unterschiede und Gemeinsamkeiten der verschiedenen Auffüllungen zu ermitteln, um typische Probleme, die in Auftragsböden vorkommen, herauszuarbeiten.

Zum anderen wird im Vergleich der Auffüllungen mit den entsprechenden Referenzböden geprüft und bewertet, ob

1. die Besorgnis des Entstehens schädlicher Bodenveränderungen nicht hervorgerufen wird (gemäß §7 Satz2 BBodSchG und §9 BBodSchV) und ob

2. mindestens eine der natürlichen Bodenfunktionen (vgl. §2 Abs.2 Nr.1 BBodSchG) sowie die Nutzungsfunktion als Standort für die land- und forstwirtschaftliche Nutzung (vgl. §2 Abs.2 Nr.3b BBodSchG), insbesondere die Ertragsfähigkeit der Böden, nachhaltig gesichert oder wiederhergestellt wurde.

Rechtsgrundlage hierfür ist §12 Abs.2 und 5 der BBodSchV.

Um gemäß o.g. Vorgabe die Bodenfunktionen nachhaltig zu sichern oder wiederherzustellen, muß durch die Auffüllmaßnahme eine wertgebende Wirkung entfaltet werden. So wäre zum Beispiel eine Kalkung von sauren, pufferschwachen Böden als Sicherungsmaßnahme im Hinblick auf die Bodenfunktion „Ausgleichswirkung für stoffliche Einwirkungen“ anzusehen, da als wertgebende Wirkung die generell abnehmende

Pufferkapazität des Bodens erhalten werden kann. Nach DIN 19731 wird bei Geländeauffüllungen eine wertgebende Wirkung vor allem durch eine Erhöhung der Wirkung der Filterstrecke sowie der Vergrößerung der durchwurzelbaren Bodenschicht erreicht. Eine wertgebende Wirkung von Auffüllmaßnahmen kann durch Maßnahmen zur Bewirtschaftungserleichterung, wie z.B. durch eine verbesserte Bearbeitbarkeit des Bodens, bewirkt werden. Hier wird auf die Sicherung der Nutzungsfunktion „Standort für die landwirtschaftliche Nutzung“ abgezielt.

In bezug auf Schadstoffgehalte werden die Auftragsböden am Maßstab „70% der Vorsorgewerte“ bewertet, da bei der vorliegenden landwirtschaftlichen Folgenutzung der Geländeauffüllungen diese verschärfte Sollvorschrift heranzuziehen ist (§12, Abs.4 BBodSchV). Mitbetrachtet werden die Vorsorgewerte sowie die naturbedingt erhöhten Schadstoffwerte (Hintergrundwerte), da diese die Besorgnisschwelle des Entstehens schädlicher Bodenveränderungen markieren und welche gleichzeitig die Mindestanforderung bei der Aufbringung von Materialien auf Böden darstellt (vgl. auch Kap. 2.5).

4.2.2 Bewertungsmethodik

A Klassifizierung von Bodenkennwerten

Die folgenden Einstufungen werden auf Grundlage der Klassifizierungen gemäß der Bodenkundlichen Kartieranleitung (AG BODEN 1994), DVWK (1980, 1986), GLA (1995), DIN 19731 und UMWELTMINISTERIUM (1994 b) vorgenommen. Diese sind in Kap. 2 tabellarisch aufgeführt (s. Tab. 2-2 u. 2-3).

Die Bewertung erfolgt für jeden Auffüllstandort und für jeden beprobten Horizont. Ausgehend vom Ausprägungsgrad der betrachteten Merkmale oder der Erscheinungsform wird mittels einer vereinfachten, dreistufigen Skala bewertet.

Hierbei bedeuten:

+	positive Eigenschaft bzw. Standortbedingungen
o	mittlere Eigenschaft bzw. Standortbedingungen
-	negative Eigenschaft bzw. Standortbedingungen

Bewertungsmethodik feldbodenkundlicher Kennwerte

- Die Bewertung der **Bodenarten** und der **Grobbodenanteile** für die Eignung des Bodenmaterials und der Böden am Aufbringungsort erfolgt nach DIN 19731 bzw. nach der in Heft 28 (UMWELTMINISTERIUM 1994b) beschriebenen dreistufigen Untergliederung der Hauptbodenarten. Die Grenzziehung zwischen Lehmen und Tonen erfolgt im Rahmen dieser Untersuchung analog zum Vorschlag der DVWK (1997)

bei einem Tongehalt von 35 % (Begründung siehe Kap. 4.2.3). In Abhängigkeit von Bodenart und Grobbodenanteil werden jeweils 3 Eignungsgruppen unterschieden (Tab. 4.2.2-1).

- Übergeordnet sollte bei der Aufbringung von Bodenmaterial der Grundsatz *“Gleiches zu Gleichem”* berücksichtigt werden, der in Tabelle 3 des genannten Heftes dargelegt ist. Die Aufbringung von Bodenmaterial “niedrigerer” Eignungsgruppe auf Boden “höherer” Eignung ist nicht zulässig, da dies zu einer Verschlechterung des Standortes beiträgt.

Tab. 4.2.2-1: Eignungsgruppen in Abhängigkeit von Bodenart und Grobbodenanteil (DIN 19731)

Eignungsgruppe ¹⁾	Feinboden Bodenartenhauptgruppe	Grobboden Volumenanteil in % ²⁾
A, besonders geeignet	Schluffe, Lehme	
B, geeignet	Sande	
C, eingeschränkt geeignet	Tone	
a, besonders geeignet		< 1
b, geeignet		1 – 10
c, eingeschränkt geeignet		10 – 30

1) Insbesondere die Prüfkriterien Humusgehalt und Vernässungsmerkmale können bei der Bewertung der Bodenart zur Einstufung in eine andere Eignungsgruppe führen. Hingewiesen wird auf den positiven Einfluß des Humusgehaltes auf die Wasserspeicherkapazität von Sandböden sowie auf die Gefügestruktur von Tonböden.

2) Als Grobboden wird die Bodenfraktion mit Korngrößen > 2 mm Durchmesser bezeichnet. Beträgt die maximale Korngröße weniger als 20 mm Durchmesser, kann dies zu einer höheren Einstufung führen. Bodenmaterial mit Blöcken > 200 mm Ø ist ungeeignet.

- Das Kriterium **Beimengungen** dient dazu, die Anwesenheit bodenfremder Bestandteile wie Straßenaufbruch oder Bauschutt zu kennzeichnen:

+ = bodenfremde Bestandteile nicht enthalten
 - = bodenfremde Bestandteile enthalten

- Das **Bodengefüge** wird mit Hilfe der feldbodenkundlichen Ansprache bewertet:

+ = Krümel-, Subpolyedergefüge
 o = Kohärentgefüge
 - = Plattengefüge

- Das Kriterium **Schichtung** beinhaltet die Feststellung, ob durch den Bodenauftrag deutliche Unterschiede hinsichtlich der Bodenart zwischen den Auftragshorizonten und dem ursprünglichem Boden auftreten:

+ = keine ausgeprägte Schichtung
 - = Schichtung vorhanden

Bewertungsmethodik bodenphysikalischer Kennwerte

- Die **Rohdichte trocken (Rt)** wurde nach Schlüssel der Bodenkundlichen Kartieranleitung (AG BODEN 1994) eingestuft.
- Das **Gesamtporenvolumen (GPV)** ist abhängig von:
 - Bodenart

- Aufbau des Primär- und Sekundärporensystems
- Lagerungsdichte

CZERATZKI (1972) sieht für Lehmböden optimale Gesamtporenvolumina bei ca. 44 - 49 Vol. %. SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL (1992) geben für Schluffböden Gesamtporenvolumina von 56 - 39 Vol.% an. In einer ähnlichen Größenordnung liegen auch die von KUNTZE et al. (1988) genannten Größenordnungen. Demnach besitzen Mineralböden zumeist Porenvolumina von 40 - 50 %, locker gelagerte Schluffböden ca. 45 Vol. %, verdichtete Schluffböden etwa 35 Vol.%. Verdichtete Mineralböden besitzen nach KUNTZE et al. (1988) ein Gesamtporenvolumen von weniger als 40 Vol. %.

- Die **Luftkapazität (LK)** wird nach Bodenkundlicher Kartieranleitung (AG BODEN 1994, S. 303) eingestuft.
- Die **nutzbare Feldkapazität (nFk)**, die aus der Addition der langsam drainenden Grobporen und der Mittelporen errechnet werden kann, wird nach Bodenkundlicher Kartieranleitung (AG BODEN 1994, S. 302) eingestuft.
- Die **gesättigte Wasserleitfähigkeit (kf)** wird nach Bodenkundlicher Kartieranleitung (AG BODEN 1994, S. 306) eingestuft.

Eine auf der o. g. Literatur basierende Einstufung ist in Tab. 4.2.2-2 dargestellt.

Tab. 4.2.2-2: Bewertung der bodenphysikalischen Eigenschaften

Rt (g/cm ³)	GPV (Vol.%)	LK (Vol.%)	nFK (Vol.%)	kf (cm/d)	Wertung
< 1,45	> 44	> 12	> 22	> 40	+
1,45 - 1,65	44 - 40	12 - 4	22 - 14	10 - 40	o
> 1,65	< 40	< 4	< 14	< 10	-

Bewertungsmethodik bodenchemischer-Kennwerte

- Der **pH-Wert** der Oberböden wurde im Labor bestimmt, in darunter liegenden Horizonten wurde der **Carbonatgehalt** im Gelände abgeschätzt:

+ = pH >7 (o. freies Carbonat im Horizont)

o = pH 6,9 - 5

- = pH < 5

- Die **Humusgehalte** wurden nach Bodenkundlicher Kartieranleitung (AG BODEN 1994, S. 108) eingestuft:

+ = Humusgehalt > 2 %

o = Humusgehalt 1 - 2 %

- = Humusgehalt < 1 %

- Neben der in Kap. 4.1 enthaltenen Kurzbewertung der Ergebnisse der **Schwermetallgehalte** in den Oberböden der untersuchten Flächen wird an dieser Stelle keine weitergehende Bewertung vorgenommen, da bei den meisten Oberböden die betrachteten Elementkonzentrationen die 70%-Vorsorgewerte einhielten.

B Bewertungsmethodik für den Vergleich Auftragsböden - Referenzböden

Bodenfunktionen

Die mit einer Auffüllung verbundenen Veränderungen der physikalischen, chemischen und biologischen Bodeneigenschaften können sowohl in positiver als auch in negativer Richtung die Leistungsfähigkeit von Böden in Hinsicht auf den jeweiligen Erfüllungsgrad der verschiedenen Bodenfunktionen beeinflussen. Böden erfüllen eine Vielzahl natürlicher Funktionen (§2 Abs.2 Nr. 1 BBodSchG). Im Zusammenhang mit Geländeauffüllungen ist insbesondere auch die Nutzungsfunktion des Bodens als Standort für die land- und forstwirtschaftliche Nutzung (§2 Abs.2 Nr.3 BBodSchG) angesprochen (vgl. auch §12 Abs.2 BBodSchV).

Ein erster detaillierter Leitfaden zur Bewertung von Böden nach ihrer Leistungsfähigkeit ist mit Heft 31 der Reihe Luft, Boden, Abfall (UMWELTMINISTERIUM 1995) veröffentlicht worden.

Die vorliegende Betrachtung basiert jedoch auf einem modifizierten Bewertungsschema, welchem vor allem die untersuchten feldbodenkundlichen, bodenphysikalischen und -chemischen Kennwerte zu Grunde gelegt werden. Die Anwendung des o.g. Leitfadens für die folgende Bewertung wurde als nicht sinnvoll erachtet, da dieser für natürlich entwickelte Böden konzipiert wurde und die Besonderheiten von Auftragsböden nicht berücksichtigt.

Die folgende Bewertung stützt sich nicht auf alle genannten Bodenfunktionen, sondern beschränkt sich auf diejenigen, die durch die Aufbringung von Bodenmaterial sowohl verbessert bzw. gesichert als auch beeinträchtigt werden können. Diese sind

- Lebensgrundlage für Pflanzen (Standort für Kulturpflanzen)
- Bestandteil des Naturhaushaltes, insbesondere Wasserkreislauf (Ausgleichskörper im Wasserkreislauf)
- Abbau-, Ausgleichs- und Aufbaumedium für stoffliche Einwirkungen (Filter und Puffer für Schadstoffe)

Wertbestimmende Parameter

- Lebensgrundlage für Pflanzen (Standort für Kulturpflanzen)

Die Leistungsfähigkeit des Bodens in bezug auf die Bodenfunktion "Standort für Kulturpflanzen" wird durch die natürliche Ertragsfähigkeit bestimmt. Eine hohe Ertragsfähigkeit entspricht hierbei einer hohen Leistungsfähigkeit, wobei eine nachhaltige Bewirtschaftung zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit vorausgesetzt wird.

Als Bewertungsgrundlage werden die wesentlichen ertragsbestimmenden Kennwerte des Bodenwasserhaushaltes herangezogen:

Lagerungsdichte (R_t), Gesamtporenvolumen (GPV), Luftkapazität (Lk), nutzbare Feldkapazität (nFk), gesättigte Wasserleitfähigkeit (kf-Wert)

- Bestandteil des Naturhaushaltes, insbesondere Wasserkreislauf (Ausgleichskörper im Wasserkreislauf)

Die Ausgleichsfunktion der Böden im Wasserkreislauf besteht in der Fähigkeit, durch Aufnahme und Rückhaltung von Niederschlagswasser, den Abfluß zu verzögern bzw. zu vermindern. Dabei ist es im allgemeinen ohne Belang, ob das Wasser im Boden gespeichert wird und somit den Pflanzen zur Transpiration zur Verfügung steht, von der Bodenoberfläche verdunstet oder zur Grundwasserneubildung beiträgt.

Zur Bewertung werden folgende Parameter herangezogen:

Infiltrationskapazität, gesättigte Wasserleitfähigkeit (kf-Wert), nutzbare Feldkapazität (nFk), Luftkapazität (Lk)

- Abbau-, Ausgleichs- und Aufbaumedium für stoffliche Einwirkungen (Filter und Puffer für Schadstoffe)

Diese Funktion bezeichnet die Fähigkeit der Böden Schadstoffe zurückzuhalten, aus dem Stoffkreislauf zu entfernen und ggf. abzubauen.

Filtern bedeutet, dass Schadstoffpartikel während der Tiefenverlagerung im Porensystem der Böden mechanisch zurückgehalten werden.

Puffern bedeutet, dass Schadstoffe im Boden sorbiert, chemisch gefällt bzw. umgewandelt oder durch Organismen ab- bzw. umgebaut werden.

Im Rahmen dieser Untersuchung wird die Filter- und Pufferfähigkeit für Säuren und Schwerme-

talle betrachtet. Zur Bewertung werden die folgenden Parameter herangezogen:

pH-Wert, Carbonatanteil, Tongehalt, Humusgehalt, hydromorphe Merkmale

Beeinträchtigung der Leistungsfähigkeit

Im Mittelpunkt dieser vergleichenden Untersuchung steht die Frage, ob mit der Auffüllmaßnahme eine nachhaltige Sicherung bzw. Wiederherstellung von Bodenfunktionen erreicht wurde, d. h. wurde mit der Maßnahme eine wertgebende Wirkung erzielt oder wurde im Gegensatz dazu der Boden verschlechtert. Von einer Verschlechterung wird ausgegangen, wenn bei den Auftragsböden in Hinsicht auf die untersuchten Bodenfunktionen eine Verringerung der Leistungsfähigkeit im Vergleich zur Ausgangssituation zu verzeichnen ist.

In der Regel können Bodenverschlechterungen erwartet werden, wenn ungeeignetes Bodenmaterial, z.B. unverwittertes Tonmaterial, Boden mit hohem Grobbodenanteil sowie Boden mit Bauschuttanteil oder anderen bodenfremden Bestandteilen aufgetragen wird. Ein unzulässig hoher Gehalt an organischen und/oder anorganischen Schadstoffen im Auffüllmaterial ist ebenfalls als Verschlechterung zu bewerten.

Neben den materialbedingten Eigenschaften können ausführungsbedingte Beeinträchtigungen zu einer Bodenverschlechterung führen.

Durch die Umlagerung von Bodenmaterial kommt es zu Gefügeänderungen, die abhängig von dem Grad der mechanischen Einwirkungen und von der Gefügestabilität sind. Mit den Gefügeänderungen ist eine Verringerung des Gesamtporenvolumens, die Änderung der Porengrößenverteilung und die Unterbrechung der Porenkontinuität verbunden. In erster Linie wirkt sich dies nachteilig auf den Luft- und Wasserhaushalt der Böden aus.

Ausführungsbedingte Verdichtungen im Boden können die Durchwurzelbarkeit erheblich beeinträchtigen und zu Stauhorizonten führen, was sich wiederum auf alle Bodenfunktionen auswirken kann.

In der folgenden Bewertung wird als Kontrollsektion für die Einstufung und Bewertung der genannten Bodenfunktionen entweder eine Solumtiefe bis maximal 1 m oder aber die im Gelände angesprochene bzw. aus den bodenphysikalischen Laborwerten abgeleitete, physiologische Gründigkeit (Stausohlenobergrenze) zugrundegelegt.

Als Grenzen der physiologischen Gründigkeit wurden angenommen:

- Gesamtporenvolumen kleiner ca. 40 Vol. %,
- Rohdichte trocken $1,65 \text{ g/cm}^3$ und höher,
- Luftkapazität kleiner 4 Vol. %,
- Gesättigte Wasserleitfähigkeit kleiner ca. 10 cm/d.

Waren in einem Horizont drei dieser Grenzen erreicht, wurde davon ausgegangen, dass sich der Horizont zum Sd-Horizont entwickeln würde. Die entsprechende Tiefe wurde dann als maximale physiologische Gründigkeit bei der Bewertung der Bodenfunktionen angenommen.

Die Bewertung der möglichen Veränderungen der Bodenfunktionen wird in Kap. 4.2.4 vorgenommen und in Tab. 4.2.4-1 in Übersichtsform zusammengefaßt.

4.2.3 Vergleich der Auffüllungsstandorte

Das zur Auffüllung verwendete Feinbodenmaterial kann aufgrund der Bodenart gemäß der in DIN 19731 bzw. Heft 28 (UMWELT-MINISTERIUM 1994b) genannten Eignungsgruppen in den überwiegenden Fällen als "geeignet" bzw. "besonders geeignet" angesehen werden. In einigen Fällen wurde toniges Material aufgebracht, welches als "eingeschränkt geeignet" eingestuft wird.

Die Abbildung 4.2.3-1 gibt eine Übersicht über die für den Auftrag verwendeten Bodenarten der Ober- und Unterböden sowie der Referenzböden (Oberböden), soweit eine Laboranalyse der Körnung durchgeführt wurde. Die Abgrenzung der Eignungsgruppen wurde nach den in der

DIN 19731 zitierten 4. Auflage der Bodenkundlichen Kartieranleitung vorgenommen.

Für die nachfolgende Bewertung der Bodenarten (Tab. 4.2.3-1) wurden allerdings Änderungen bei der Abgrenzung der Eignungsgruppen vorgenommen. Gegenüber der 3. Auflage wurden in der 4. Auflage der Bodenkundlichen Kartieranleitung (1994) die Bodenartenansprache bei der Einstufung der Lehme geändert. Die Bodenarten stark schluffiger Ton (Tu4) und mittel schluffiger Ton (Tu3) konnten in der 3. Auflage als schluffiger Lehm bzw. schluffig-toniger Lehm und damit noch als Eignungsgruppe A "besonders geeignet" angesprochen werden, während sie nach der überarbeiteten Fassung nunmehr als Tone und damit Eignungsgruppe C "eingeschränkt geeignet" eingestuft werden.

Ein "stark schluffiger Ton" (Tu4) ist jedoch in seinen Eigenschaften den schluffigen Lehmen ähnlicher als tonigen Bodenarten, so dass es nicht sinnvoll erschien, diese Bodenart lediglich als "eingeschränkt geeignet" zu klassifizieren.

Bei der vorliegenden Bewertung wurde daher der Tongehalt auf $< 35 \%$ zur Abgrenzung der Eignungsgruppen "besonders geeignet" bzw. "eingeschränkt geeignet" festgesetzt. Diese Grenze wird auch vom DVWK (1997) zur Abgrenzung der verschiedenartigen Dynamik tonärmerer und tonreicherer Lehmböden verwendet.

Auf dieser Grundlage wird in Tab. 4.2.3-1 das aufgetragene Feinbodenmaterial der Standorte B (Oberboden), H und I mit Tongehalten $< 35 \%$ als "positiv" bewertet. Lediglich die Unterböden der Standorte B und F gelten in jedem Fall als "eingeschränkt geeignet".

Die Tab. 4.2.3-1 zeigt, dass in mehreren Fällen hinsichtlich der Bodenart ungeeignetes Bodenmaterial verwendet wurde. So ist bei den Geländeauffüllungen B, E, F, L und N der Feinboden in mindestens einem Horizont nicht geeignet.

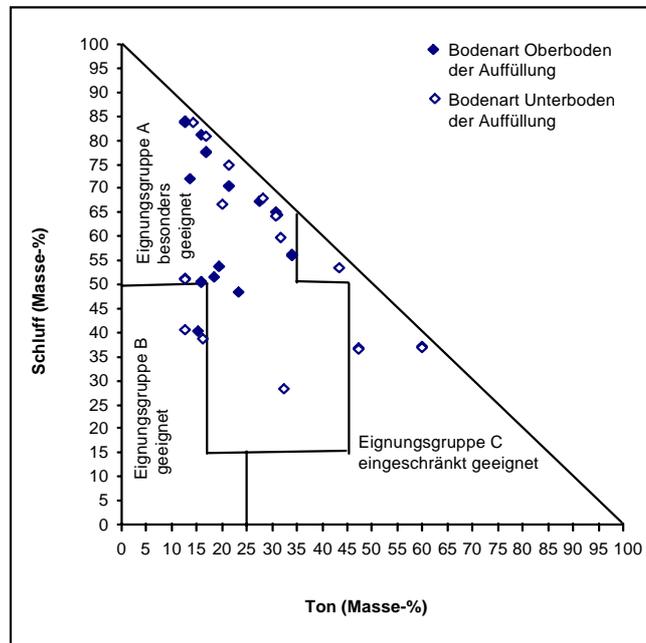
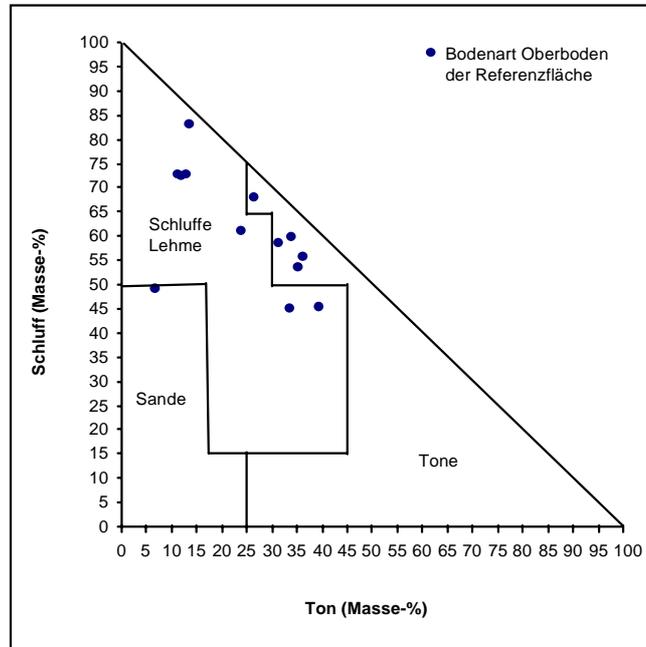


Abb. 4.2.3-1: Bodenarten bei Auftragsböden und Referenzböden (Zuordnung in Eignungsgruppen nach Bodenartendiagramm der Bodenkundlichen Kartieranleitung, 4. Aufl., geändert)

Bei den Standorten A, D, I, L und M sind entweder in einzelnen Auftragshorizonten höhere **Grobbodenanteile** oder aber zumindest höhere als in dem darunter befindlichen, ursprünglichen Bodenprofil anzutreffen. In diesen Fällen ist Material „niedrigerer“ Eignungsgruppe über Boden „höherer“ Eignungsgruppe aufgebracht worden. In einigen Fällen führte allerdings bereits ein geringfügiger Unterschied im Grobbodenanteil zwischen Auftragsmaterial und Unterboden zu der Einstufung in verschiedene Eignungsgruppen (Standorte A, M). Bei den übrigen Standorten sind die Grobbodenanteile gering.

In mehreren Auffüllungsprofilen oder an der Oberfläche sind **bodenfremde Bestandteile** gefunden worden. Betroffen davon sind die Standorte D, E, K und L. Die bodenfremden Bestandteile machen jedoch in den meisten Fällen nur geringe Volumenanteile aus. Bedenklich sind vor allem der Unterboden von Standort E (Tankstellenaushub) und die ab einer Tiefe von etwa 40 cm anstehenden Bauschuttmassen bei Standort L.

Zusammenfassend ergibt die **Beurteilung der Materialeignung** gemäß DIN 19731 (Tabelle 2), dass bei fast zwei Drittel der Standorte (Standorte A, B, D, E, I, L, M und N) eine Eignung des aufgetragenen Bodenmaterials nicht gegeben ist (s. Tab. 4.2.4-1). In den überwiegenden Fällen ist dies durch die Grobbodenanteile bedingt. Bei Standort E ist die Materialeignung aufgrund der chemischen Beschaffenheit eines Unterbodenhorizontes nicht gegeben.

Bei Standort F wird der Auftrag von grobbodenarmen tonigen Boden über sehr skelettreichen sandigen Lehm in Hinsicht auf die Materialeignung insgesamt positiv (zulässig) gewertet.

Die **Gefügebildung** zeigt sowohl zwischen den Standorten als auch zwischen einzelnen Horizonten ein unterschiedliches Bild. Viele Horizonte besitzen ein dichtes kohärentes Gefüge (Standorte B, C, D, F). Dies tritt vor allem dann auf, wenn Rohlöß aufgebracht und dabei nicht zu stark verdichtet wurde. Ein günstiges Gefüge

weisen vor allem die Standorte auf, bei denen das humose Oberbodenmaterial (wieder-) aufgetragen wurde (Standorte F, H, L, N). Stark verdichtete Horizonte bilden ein plattiges Gefüge aus (Standort A, E, I, M).

Eine **Bodenartenschichtung** ist in vielen Auftragsböden zu finden. Diese kann innerhalb mehrerer Auftragshorizonte (Standorte B, E, F, I, L) oder im Übergang der Auftragshorizonte zum alten Bodenprofil (Standorte H, K, M, N) vorhanden sein. Da geschichtete Profile längerfristig oftmals Staunässe entwickeln bzw. die Durchwurzelbarkeit beeinträchtigen können, wurde eine vorgefundene Bodenartenschichtung negativ bewertet.

Die **Rohdichte trocken** erreicht in vielen Horizonten hohe Werte. Bei einigen Standorten müssen alle Auftragshorizonte als mehr oder weniger verdichtet angesprochen werden (Standort A, B, C, I, K). Bei anderen Standorten ergibt sich ein weniger einheitliches Bild (Standort D: Oberboden locker, sonst stark verdichtet, Standort F: Oberboden dicht gelagert, die Y-Horizonte darunter etwas weniger). Nur an zwei Standorten sind die Lagerungsdichten der Auftragshorizonte als gering einzustufen, nämlich bei Standort G, einem geringmächtigen in den Ap-Horizont eingearbeiteten Bodenauftrag und bei Standort H. Diese Auffüllung wurde fachtechnisch begleitet.

Sehr ähnliche Ergebnisse liefert die Betrachtung des **Gesamtporenvolumens**, das sich weitgehend gleichgerichtet zu den Meßwerten der Lagerungsdichte verhält. Unter der Annahme, dass Porenvolumina < 40 Vol. % verdichtete Horizonte kennzeichnen, muß fast die Hälfte (13 von 29) aller beprobten Auffüllungshorizonte als verdichtet angesehen werden.

Sieben der 13 Horizonte sind Unterbodenhorizonte, d.h. sie sind nicht oder nur mit relativ großem Aufwand meliorierbar. Bei den übrigen sechs Oberbodenhorizonten stammen die Verdichtungserscheinungen offensichtlich aus einer nicht fachgerechten Art der Folgebewirtschaft-

tung, die keine Rücksicht auf die mangelnde Stabilität der Böden genommen hat.

Die **Luftkapazität** eines Bodens (synonym für den Anteil der weiten Grobporen) ist für viele Pflanzen von entscheidender Bedeutung, da eine geringe Luftkapazität das Pflanzenwachstum hemmt. KUNTZE et al. (1988) nennen für Flachwurzler wie Gräser optimale Luftkapazitätswerte von 6 - 10 Vol. %, für Weizen 10 - 15 Vol. % und für Hackfrüchte 15 - 25 Vol. %.

Hohe Luftkapazitätswerte werden nur bei den Standorten G, H und L in der ganzen Auffüllungstiefe erreicht. Die Standorte D, I und M besitzen im Oberboden eine hohe Luftkapazität, in den Unterbodenhorizonten nimmt sie stark ab. Einige Standorte weisen im ganzen Auftragsprofil nur eine geringe Luftkapazität (< 4 Vol%) auf (Standort B, C, F). Da die Luftkapazität eng mit den anderen physikalischen Parametern verbunden ist, ergibt sich damit insgesamt ein ähnliches Bild wie bei der Betrachtung der Lagerungsdichte und des Gesamtporenvolumens.

Die **nutzbare Feldkapazität** ist als Kenngröße für den Standortvergleich nur bedingt geeignet. Mehrere Faktoren wie Bodenart und Lagerungsdichte bestimmen diese Kenngröße. Verdichtungen können die nutzbare Feldkapazität sogar erhöhen. Die nutzbare Feldkapazität ist jedoch ein wichtiger Parameter zur Beschreibung der Ertragsfähigkeit von Böden.

Ein Teil der Auftragshorizonte weist nur geringe nutzbare Feldkapazitäten auf (Standort B, F, H, I, K). Nur wenige Standorte erreichen die für Schluffe und Lehme typischen, sehr hohen nutzbaren Feldkapazitäten (Standort C, L, M, N).

Die **gesättigte Wasserleitfähigkeit** erscheint in allen Profilen höher, als es die anderen physikalischen Parameter erwarten lassen. Dies deutet darauf hin, dass die durch die extreme Trockenheit vor der Probenahme verursachte Schrumpfung der Bodenmatrix auch nicht durch Aufsättigung der Stechringe vor der Analyse des kf-Wertes kompensiert werden konnte.

Daher ist die bekannte enge Beziehung von Lagerungsdichte, Gesamtporenvolumen, Luftkapazität und Wasserleitfähigkeit nicht im üblichen Maße gegeben. Hinzu kommt, dass die in gewachsenen Böden üblichen engen Korrelationen in den umgelagerten, durch Schüttung und Planierung geprägten Böden oftmals nicht gegeben sind (vgl. AGBA 1995, HAUBOLD-ROSAR 1994).

Die **pH-Werte** sind durch das carbonathaltige Auffüllungsmaterial bei den meisten Standorten hoch. Eine Ausnahme stellt Standort G dar, bei dem Oberbodenmaterial aus einem Rückhaltebecken eingearbeitet wurde und Standort L, bei dem der alte carbonatfreie Oberboden nach der Bauschuttauffüllung wieder aufgetragen wurde.

Die **Humusgehalte** variieren in Abhängigkeit vom Auftragsmaterial. Die Standorte, die mit humusfreiem Unterbodenmaterial aufgeschüttet wurden, besitzen nach der Auffüllung sehr geringe Humusgehalte (A, C, E, I, K, M). Bei Aufbringung der ursprünglichen Oberböden oder der Vermischung des alten Oberbodens mit Auftragsmaterial liegt der Humusgehalt in einer ähnlichen Größenordnung wie bei den Böden der Referenzstandorte. Bei unterschiedlicher Nutzung von Referenz- und Auftragsboden wurden zur Einstufung Durchschnittswerte aus der Literatur herangezogen. Der Humusgehalt lag durchweg im üblichen Bereich von Böden mit Ackernutzung (B, D, F, L, N).

Durch die Einmischung humosen Materials bei Standort G dürfte dessen Humusgehalt im Vergleich zum Ausgangszustand angestiegen sein. Dies ist allerdings im direkten Vergleich mit dem Referenzboden nicht erkennbar. Der Referenzstandort wird im Gegensatz zur Auffüllung (Acker) als Weide genutzt und weist daher einen höheren Humusgehalt auf.

Bei Standort I hat vermutlich die mehrjährige Weidenutzung schon zu einer Humusakkumulation im Oberboden geführt.

Die **Schwermetallgehalte** sind in den untersuchten Oberböden durchweg als gering einzu-

stufen. Eine Kontamination durch bodenfremde Stoffe kann bei allen untersuchten Standorten ausgeschlossen werden. Fast immer liegen die Werte unterhalb der 70%-Vorsorgewerte sowie der Hintergrundwerte. Die Geländeauffüllungen A, D, G und K weisen teilweise geringfügige Überschreitungen des 70%-Vorsorgewertes für Cr auf, am Standort B wurde bei Cu der Grenzwert überschritten. Da die Untersuchungsergebnisse der Referenzböden meist Cr-Gehalte auf dem selben Niveau aufweisen, kann zumindest nicht von einer Verschlechterung der Schadstoffsituation ausgegangen werden.

Zusammenfassung

Die vergleichende Betrachtung der Auftragshorizonte (Tab. 4.2.3-1) zeigt, dass durch den Bodenauftrag insbesondere in Hinsicht auf die bodenphysikalischen Eigenschaften überwiegend ungünstige Verhältnisse geschaffen wurden.

Die größten Probleme können zusammengefaßt folgendermaßen benannt werden:

- mangelnde Materialeignung,
- Bodenverdichtungen und dadurch verursachte negative Auswirkungen auf den Bodenluft- und Bodenwasserhaushalt,
- Gefügeschäden,
- geringe Humusgehalte und damit verbunden geringe Gefügestabilität und Tragfähigkeit.

Tab. 4.2.4-1: Vergleich der Auftragsböden in Bezug auf eine nachhaltige Sicherung oder Verschlechterung der Bodenfunktionen gegenüber den Referenzböden

Standort	Materialeignung	Physiologische Gründigkeit	Bodeneigenschaften								Bodenfunktionen			Gesamtbewertung	
			Infiltrationskapazität	Rt	Lk	Kf	rFK	GPV	pH	Humusgehalt	Ertragsfähigkeit	Filter-/Pufferfunktion	Ausgleichsfunktion im Wasserhaushalt		
A	— ^(*)	—	—	—	○	○	—	—	—	—	○	—	↔	↔	○
B	—	○	○	—	—	—	○	—	—	—	○	—	↔	↔	○
C	++	++	—	—	—	—	—	++	—	—	○	—	↑	↑	■
D	—	—	—	—	—	○	—	—	—	—	++	—	↔	↔	○
E	— ^(**)	○	○	○	○	○	○	○	—	—	++	—	↔	↔	○
F	++	++	—	○	○	○	○	○	○	○	++	—	↑	↑	■
G	++	++	○	○	++	○	○	○	○	○	○	—	↑	↑	■
H	++	++	○	○	○	++	++	++	—	—	++	—	↔	↑	■
I	—	—	○	—	○	○	○	—	—	—	○	—	↔	↔	○
K	++	○	—	—	—	—	○	○	—	—	—	—	↔	↔	○
L	—	—	○	—	○	○	—	—	—	—	—	—	↔	↔	○
M	— ^(*)	— ^(***)	—	—	○	—	—	++	○	○	++	—	↔	↔	○
N	—	++	○	○	—	—	—	++	○	○	++	—	↔	↑	○

Anmerkungen:

- (*) negative Bewertung, jedoch nur geringe absolute Unterschiede im Grobbodenanteil
- (**) negative Bewertung, da Kombination aufgrund chemischer Beschaffenheit nicht zulässig
- (***) negative Bewertung, da aufgrund der Lage in der Aue die Verlässungsgefahr besteht und nachfolgend weitere Verdichtungen zu erwarten sind
- ++ , ↑ Verbesserung der Eigenschaft in Bezug auf die geprüfte Referenz
- = Keine Veränderung der Eigenschaft in Bezug auf die geprüfte Referenz
- , ↔ Verschlechterung der Eigenschaft in Bezug auf die geprüfte Referenz
- Grundsatz Verschlechterungsverbot und nachhaltige Sicherung von Bodenfunktionen sowie Materialeignung wird eingehalten
- Grundsatz Verschlechterungsverbot und nachhaltige Sicherung von Bodenfunktionen sowie Materialeignung wird nicht eingehalten

Tab. 4.2.3-1 (Fortsetzung): Beurteilung der Eigenschaften und Kennwerte aller Auftragshorizonte

Standort	Feidbodenkundliche Eigenschaften				Bodenphysikalische Kennwerte					Bodenchemische Kennwerte			
	Bodenart	Grobodenaanteil	Beimengungen	Gefüge	Bodenartenschichtung	Rt	GPV	Lk	nFk	Kf	pH	Humusgehalt	Schadstoffe
G	Ls2	+	+	0	+	+	+	0	0	+	-	+	0
H	Tu3	+	+	+	-	+	+	+	-	+	+	+	+
	Tu3	+	+	0	-	+	+	+	-	+	+	+	+
I	Tu4	+	-	-	-	0	0	+	-	+	+	-	+
	Lts	-	+	-	-	-	-	0	-	0	+	-	+
K	Ut3	+	-	0	-	-	-	0	-	-	+	-	0
L	Lu	+	-	+	-	+	+	0	+	+	-	+	+
	Sl4	-	-	+	-	0	0	0	+	+	-	+	+
	lu/gX	-	-	-	-	+	0	0	+	+	-	+	+
M	Ut3	-	+	-	-	0	+	+	+	+	0	-	+
	Ut3	-	0	-	-	0	0	0	0	0	0	-	+
N	Slu	-	+	+	-	0	+	0	+	0	+	+	+
	Slu	-	+	0	-	0	0	-	0	-	+	+	+

Anmerkungen: In der Bewertung der Auftragshorizonte entspricht + positiven, 0 mittleren und - negativen Standortseigenschaften gemäß der oben angeführten Klassifizierung.

4.2.4 Vergleich Auftragsboden – Referenzboden

Wie bereits in Kap. 4.2 dargestellt, soll durch den Vergleich der Auftragsböden mit den entsprechenden Referenzböden bewertet werden, ob

1. die Besorgnis des Entstehens schädlicher Bodenveränderungen nicht hervorgerufen wird (gemäß §7 Satz2 BBodSchG und §9 BBodSchV) und ob

2. mindestens eine der natürlichen Bodenfunktionen (vgl. §2 Abs.2 Nr.1 BBodSchG) oder die Nutzungsfunktion als Standort für die land- und forstwirtschaftliche Nutzung (vgl. §2 Abs.2 Nr.3b BBodSchG) und insbesondere die Ertragsfähigkeit der Böden nachhaltig gesichert oder wiederhergestellt wurde.

Die für den Vergleich zugrundegelegte Bewertungsmethodik ist in Kap. 4.2.2 angeführt. Neben der nachfolgenden standortbezogenen Einzelbewertung werden in Tab. 4.2.4-1 die jeweiligen Beurteilungen in einer Übersicht zusammengestellt.

Für einige charakteristische Bodenprofile sind die entsprechenden Bodenkennwerte zusätzlich graphisch dargestellt.

Standort A Weingarten

Die Ertragsfähigkeit des Standortes ist durch die Auffüllung gegenüber dem Referenzboden verschlechtert worden, weil sowohl die Auftragshorizonte als auch der alte Oberboden Verdichtungen aufweisen. Die meisten bodenphysikalischen Kennwerte und die Gefügeausbildung sind daher deutlich schlechter als im Referenzprofil. Aufgrund der hohen Lagerungsdichte, der geringen Luftkapazität, des plattigen Bodengefüges und des eingeschränkten Gesamtporenvolumens kann sich der fAp-Horizont zum Stauhorizont entwickeln, so dass die abgeleitete physiologische Gründigkeit lediglich 50 cm beträgt.

Die Ausgleichsfunktion des Bodens im Wasserkreislauf ist durch den Bodenauftrag deutlich verschlechtert worden. Das Bodenprofil weist durch die verdichtungsbedingte Reduzierung der physiologischen Gründigkeit ebenso wie durch das geringere Gesamtporenvolumen eine Verringerung des Wasserspeicherraums auf. Daneben bewirkt die wesentlich geringere Infiltrationskapazität im Vergleich zur Referenzfläche einen höheren Oberflächenabfluß.

Die Filter- und Pufferfunktion ist aufgrund der geringeren Gründigkeit und des geringeren Humusgehaltes verschlechtert worden, wenngleich beide Standorte freies Carbonat enthalten, so dass die Säurepufferung ausreichend und die Schwermetallmobilität unverändert bleiben.

Der geringe Humusgehalt des Auftragsstandortes ist ebenfalls unter einem weiteren Gesichtspunkt negativ zu beurteilen: Aufgrund der verminderten bodenbiologischen Aktivität wird die natürliche Regenerationsfähigkeit der Lößböden eingeschränkt und die auffüllungsbedingten Beeinträchtigungen langfristig erhalten bleiben.

Insgesamt kann aus dem Vergleich der beiden Böden geschlossen werden, dass sämtliche hier betrachteten Bodenfunktionen eine Verschlechterung erfahren haben.

Laut den vorgelegten Unterlagen wies der Standort mehr als 60 Bodenpunkte in der Reichsbodenschätzung auf. Auf der Grundlage der Bewertung nach Reichsbodenschätzung hätte dieser Standort als Verbotfläche nach §12, Abs.8 BBodSchV ausgewiesen werden können. Nach Heft 28 (UMWELTMINISTERIUM 1994 b) kann bereits ab 60 Bodenpunkten von einer hoher Leistungsfähigkeit in bezug auf die Erfüllung der natürlichen Funktionen (§2, Abs.2 Nr.1 BBodSchG) ausgegangen werden.

Dass derartige Standorte hingegen leicht verschlechtert werden können, wird hier exemplarisch bestätigt.

Tab. 4.2.4-1: Vergleich der Auftragsböden in Bezug auf eine nachhaltige Sicherung oder Verschlechterung der Bodenfunktionen gegenüber den Referenzböden

Standort	Materialeignung	Physiologische Grundfähigkeit	Bodeneigenschaften							Bodenfunktionen			Gesamtbewertung		
			Infiltrationskapazität	Ri	Lk	Kf	nFK	GPV	pH	Humusgehalt	Ertragsfähigkeit	Filter-/Pufferfunktion		Ausgleichsfunktion im Wasserhaushalt	
A	— ^(*)	—	—	○	○	○	—	—	—	○	—	⊗	⊗	⊗	□
B	—	○	○	—	—	—	—	—	—	—	—	⊗	⊗	⊗	□
C	++	++	—	—	—	—	++	—	—	—	—	↑	↑	↑	■
D	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	⊗	⊗	⊗	□
E	— ^(*)	○	○	○	○	○	—	—	—	—	—	⊗	⊗	⊗	□
F	++	++	—	○	○	○	○	○	○	○	++	↑	↑	↑	■
G	++	++	○	○	++	○	○	○	○	○	—	↑	↑	↑	■
H	++	++	○	○	○	++	++	++	++	++	—	↑	↑	↑	■
I	—	—	○	—	—	—	—	—	—	—	—	⊗	⊗	⊗	□
K	++	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—	⊗	⊗	⊗	□
L	—	—	○	—	—	—	—	—	—	—	—	⊗	⊗	⊗	□
M	— ^(*)	— ^(**)	—	—	—	—	—	++	○	○	++	⊗	⊗	⊗	□
N	—	++	○	○	—	—	—	—	—	—	—	⊗	↑	⊗	□

Anmerkungen:
 (*) negative Bewertung, jedoch nur geringe absolute Unterschiede im Grobbodenanteil
 (**) negative Bewertung, da Kombination aufgrund chemischer Beschaffenheit nicht zulässig
 (***) negative Bewertung, da aufgrund der Lage in der Aue die Vermäsurungsgefahr besteht und nachfolgend weitere Verdichtungen zu erwarten sind
 ++, ⊕ Verbesserung der Eigenschaft in Bezug auf die geprüfte Referenz
 ○ = Keine Veränderung der Eigenschaft in Bezug auf die geprüfte Referenz
 —, ⊖ Verschlechterung der Eigenschaft in Bezug auf die geprüfte Referenz
 Grundrietz Verschlechterungsverbot und nachhaltige Sicherung von Bodenfunktionen sowie Materialeignung wird eingehalten
 Grundrietz Verschlechterungsverbot und nachhaltige Sicherung von Bodenfunktionen sowie Materialeignung wird nicht eingehalten
 □ Gesamtbewertung

Standort B Vaihingen-Aurich

Die Ertragsfähigkeit des Standortes ist gegenüber der Referenzfläche nicht nachhaltig gesichert worden. Während die oberen zwei Auftragshorizonte zumindest bezüglich der Materialqualität als geeignet angesprochen werden können, bestehen die beiden unteren Auftragshorizonte aus ungeeignetem, tonigem Material. Darüber hinaus wird die hierdurch entstandene Bodenartenschichtung ebenfalls negativ bewertet.

Die physiologische Gründigkeit konnte wegen massiver Bodenverdichtungen nicht erhöht werden. Alle Auftragshorizonte weisen sehr schlechte bodenphysikalische Eigenschaften in bezug auf die Porengrößenverteilung und die Wasserdurchlässigkeit auf (s. Abb. 4.2.4-2).

Eine wertgebende Wirkung im Hinblick auf die Filter- und Pufferfunktion wurde nicht erzielt. Der Tongehalt hat im Vergleich zur Referenz zugenommen, der Humusgehalt jedoch abgenommen. Die Filterstrecke und die Bodenreaktion sind unverändert geblieben.

Aufgrund der starken Verdichtung, die vermutlich durch mehrmaliges Befahren der Fläche bei der Materialaufbringung und bei der Einebnung hervorgerufen wurde sowie durch die umlagerungsbedingte Zerstörung des sekundären Porensystems ist die Wasserdurchlässigkeit wesentlich herabgesetzt. Die Bodenfunktion "Ausgleichskörper im Wasserhaushalt" wurde daher ebenfalls beeinträchtigt.

Mit dem Bodenauftrag ist somit eine Verschlechterung in bezug auf zwei Bodenfunktionen und keine wertgebende Wirkung im Sinne einer nachhaltigen Sicherung von Bodenfunktionen erreicht worden.

Standort C Kraichtal

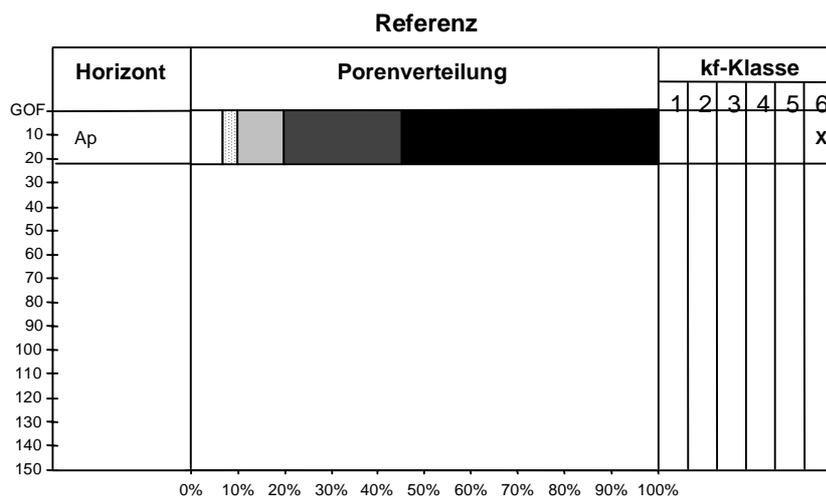
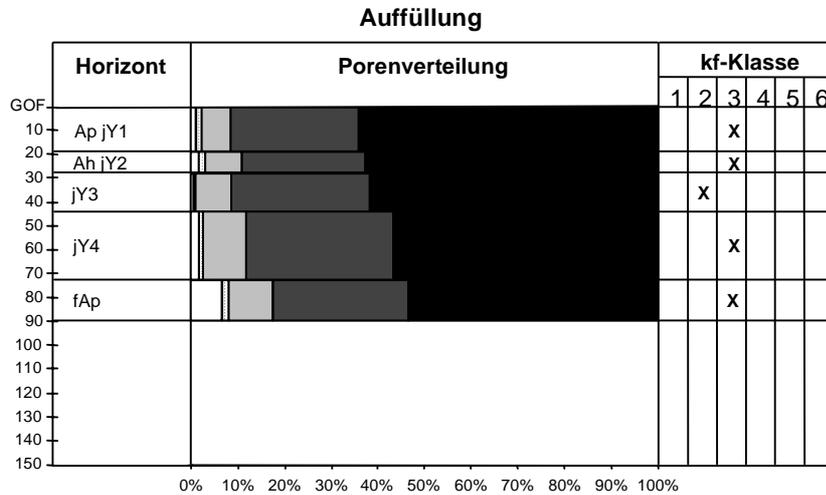
Die Ertragsfähigkeit des Auftragsbodens ist durch die Maßnahme in gewissem Umfang gesichert worden. Zwar besitzt das Profil innerhalb der Auftragshorizonte eine höhere Lagerungsdichte, eine schlechtere Luftkapazität und Wasserleitfähigkeit als der Referenzboden, doch wurde die Mächtigkeit des durchwurzelbaren Raumes und die nutzbare Feldkapazität im Wurzelraum gesteigert.

Die im Gelände beobachteten Erosionserscheinungen sind allerdings als Hinweis auf eine schlechte Aggregation und geringe Gefügestabilität zu werten.

Die Filter- und Pufferfunktion ist durch die größere Bodenmächtigkeit verbessert worden, wenngleich der Humusgehalt abgenommen und der Tongehalt, Carbonatanteil und die Bodenreaktion gleichgeblieben sind.

Im Hinblick auf die Bodenfunktion "Ausgleichskörper im Wasserkreislauf" ist trotz der schlechteren bodenphysikalischen Eigenschaften der Auftragshorizonte insgesamt aufgrund der größeren Bodenmächtigkeit eine geringfügige wertgebende Wirkung festzustellen.

Als Ergebnis der Bewertung kann festgehalten werden, dass aufgrund der erhöhten Gründigkeit die Leistungsfähigkeit der betrachteten Bodenfunktionen nachhaltig gesichert wurde. Allerdings ist das mögliche Potenzial einer Bodenverbesserung aufgrund einer ungeeigneten Durchführung der Auffüllmaßnahme nicht genutzt worden. Zum Ausdruck kommt dies durch die gegenüber dem Referenzboden schlechteren bodenphysikalischen Eigenschaften.



- weite Grobporen (>50 µm)
- enge Grobporen (50-10 µm)
- Mittelporen (10-0,2 µm)
- Feinporen (<0,2 µm)
- Festsubstanz

Abb. 4.2.4-2: Porenverteilung und Wasserleitfähigkeit im Auftrags- und Referenzboden von Standort B

Standort D Sinsheim

Die Ertragsfähigkeit ist durch den Bodenauftrag deutlich verschlechtert worden. Unterhalb des locker gelagerten jYAp-Horizontes treten stark verdichtete Unterbodenhorizonte mit zum Teil größeren Grobbodenanteilen und bodenfremden Bestandteilen auf. Die physikalischen Bodeneigenschaften sind durch die bei der Auffüllung hervorgerufenen Verdichtungen deutlich verschlechtert worden. Die abgeleitete physiologische Gründigkeit reicht lediglich bis zur Untergrenze des jYAp-Horizontes bei 20 cm Tiefe.

Die Filter- und Pufferfunktion ist durch den Auftrag carbonathaltigen Materials verbessert worden. Positiv ist auch der relativ hohe Humusgehalt des wiederverwendeten Oberbodens zu bewerten. Negativ zu bewerten für die Funktion als Filter und Puffer ist die Verwendung von Bodenmaterial mit Fremd Beimengungen sowie die Bodenverdichtung, die letztendlich nur ein geringmächtiges Bodenprofil und damit nur eine verkürzte Filterstrecke entstehen lassen. Insgesamt ist in bezug auf die betrachtete Bodenfunktion keine wertgebende Wirkung und damit nachhaltige Sicherung erzielt worden.

Mehrere Faktoren beeinträchtigen die Funktion "Ausgleichskörper im Wasserhaushalt": Die durch unsachgemäßen Bodenauftrag entstandene Verdichtung, das gegenüber dem schlechten Ausgangszustand reduzierte Ge-

samtporenvolumen und das geringe Infiltrationsvermögen.

Der dichte und von seiner Porenverteilung her sehr ungünstige jY2-Horizont bewirkt eine physiologische Flachgründigkeit, so dass nur der Oberboden der Auffüllung als Speicherkörper zur Verfügung steht (Abb. 4.2.4-3).

Als Gesamtergebnis kann festgestellt werden, dass in Hinsicht auf die Bodenfunktionen mit Ausnahme der Filter- und Pufferleistung eine Verschlechterung zu verzeichnen ist. Eine nachhaltige Sicherung des Filter- und Puffervermögens ist jedoch auch nicht erreicht worden.

Die Qualität des Ausgangsbodens am vorliegenden Standort wird in der Reichsbodenschätzung mit über 60 Bodenpunkten bewertet. Bei dieser Bodenqualität hätte auch dieser Standort als Verbotfläche nach §12, Abs.8 BBodSchV ausgewiesen werden können. Nach Heft 28 (UMWELTMINISTERIUM 1994b) kann bereits ab 60 Bodenpunkten von einer hoher Leistungsfähigkeit in bezug auf die Erfüllung der natürlichen Funktionen (§2, Abs.2 Nr.1 BBodSchG) ausgegangen werden.

Anstelle der Aufbringung von Bodenmaterial hätte eine fachgerechte Tieflockerungsmaßnahme mit anschließender bodenschonender Erstabwirtschafterung zu der angestrebten Sicherung oder Verbesserung der Ertragsleistung geführt.

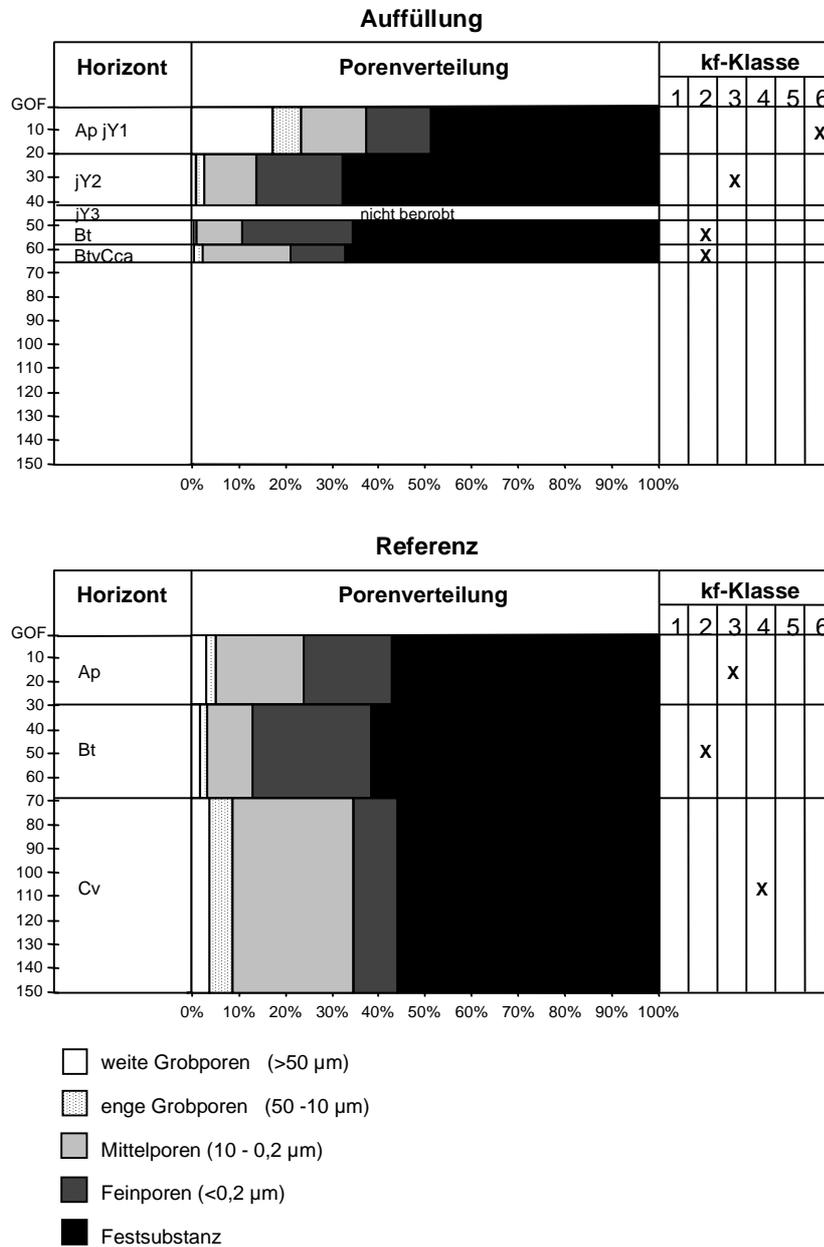


Abb. 4.2.4-3: Porenverteilung und Wasserleitfähigkeit im Auftrags- und Referenzboden von Standort D

Standort E Karlsbad

Der Bodenauftrag ist aufgrund der Flachgründigkeit des Bodenprofils sinnvoll gewesen. Eine positive Wirkung wurde durch die Art der Ausführung und aufgrund des verwendeten Materials jedoch nicht erreicht. Der neu aufgebrachte Bodenkörper ist stark verdichtet. Der Humusgehalt ist vergleichsweise gering. Hinzu kommt, dass der Y3-Horizont mit Schadstoffen kontaminiert ist. Positiv zu bewerten ist die relativ hohe Luftkapazität in den Auftragshorizonten und die gute Wasserleitfähigkeit unterhalb des Ap-Horizontes, die trotz der Dichtlagerung des Bodens gegeben ist. Aufgrund der physikalischen Eigenschaften wäre die abgeleitete physiologische Gründigkeit bis zu einem Meter Tiefe möglich. Durch die Begrenzung aufgrund des Y3-Horizontes hat sich die Gründigkeit im Vergleich zu vorher allerdings nur sehr geringfügig verbessert (10 cm). In bezug auf die Ertragsfähigkeit haben sich die Verhältnisse daher verschlechtert.

In Hinsicht auf die Ausgleichsfunktion im Wasserhaushalt steht einer Verschlechterung der physikalischen Eigenschaften, die geringfügige Erhöhung der Gründigkeit gegenüber. Die Infiltrationskapazität ist gleich geblieben. Insgesamt ist damit ebenfalls eine Verschlechterung anzunehmen.

Die Filter- und Pufferfunktion gegenüber Schadstoffen wird durch den Bodenauftrag nicht verbessert. Zwar wird die Filterstrecke durch den Bodenauftrag erhöht und mit dem vorhandenen Carbonatanteil ebenfalls die Pufferkapazität. Allerdings konnte aufgrund organoleptischer Ansprache festgestellt werden, dass offensichtlich erhöhte Gehalte an organischen Schadstoffen im Y3-Horizont vorliegen. Die Herkunft des Bodenmaterials (Tankstellenaushubs) bestätigt diesen Befund. Die Untersuchung auf Schwermetalle in dem betreffenden Y3-Horizont ergaben eine Überschreitung der entsprechenden Hintergrundwerte. Bei der Bewertung dieser Analyse ist jedoch zu berücksichtigen, dass es sich bei der untersuchten Probe um eine Mischprobe des gesamten Auftragsmaterials handelt,

so dass die ermittelten Werte für den belasteten Horizont wesentlich höher liegen können. Des Weiteren ist der Humusgehalt im Auftragsboden geringer.

Insgesamt lässt sich feststellen, dass eine Auffüllung aufgrund der Flachgründigkeit des Bodens erwägbare war. Allerdings führt die sehr schlechte Ausführung des Bodenauftrages und das Einbringen von schadstoffhaltigem Bodenmaterial nicht zu der potenziell möglichen Verbesserung der Bodeneigenschaften sondern bewirkte vielmehr eine Verschlechterung.

Standort F Renningen

Die Ertragsfähigkeit ist durch den Bodenauftrag nachhaltig gesichert und verbessert worden. Dies ist im wesentlichen auf das mächtigere Bodenprofil der Auffüllung zurückzuführen, da sich die im Referenzprofil vorhandenen schlechten bodenphysikalischen Eigenschaften auch in der Auffüllung wiederfinden.

Beide Profile sind dicht gelagert und besitzen einen relativ schlechten Wasser- und Lufthaushalt. Sowohl in den einzelnen Auftragshorizonten als auch zum Unterboden hin gibt es Bodenartenunterschiede, die zu einer Schichtung führen.

Die Bearbeitbarkeit ist aufgrund des geringeren Grobbodenanteils im Boden verbessert worden.

Die Mächtigkeit des Bodenauftrages und das aufgebrachte carbonat- und feinbodenreiche Material wirkt sich auch positiv auf das Leistungsvermögen im Hinblick auf die Filter- und Pufferfunktion aus. Durch die Aufbringung des alten Oberbodens wurde der Humusgehalt in etwa konstant gehalten. Die Bodenreaktion bleibt unverändert.

Für die Bodenfunktion "Ausgleichskörper im Wasserhaushalt" gilt sinngemäß das gleiche wie für die Ertragsfähigkeit. Die Bewertung gegenüber dem Referenzzustand ist aufgrund höherer Gründigkeit positiv, obwohl sich der ungünstige

Bodenwasserhaushalt nicht wesentlich geändert hat. Die Einbringung des tonigen Materials im jY2-Horizont mit 60 % Ton kann zu einem schwach ausgeprägten Stauhorizont führen. Die Infiltrationskapazität hat gegenüber dem Ausgangszustand abgenommen.

In der Gesamtbewertung kann eine gewisse positive Wirkung auf die Bodenfunktionen festgestellt werden. Bei fachgerechter technischer Ausführung wäre eine deutlichere Sicherung bzw. Verbesserung im Leistungsvermögen erreichbar gewesen.

Standort G Spraitbach

An diesem Untersuchungsstandort wurde ein geringmächtiger Bodenauftrag mit Baggergut aus dem Absetzsediment eines Regenrückhaltebeckens in den Oberboden eines Braunerde-Pseudogleyes eingearbeitet. Daher sind die Bodeneigenschaften insgesamt nicht in dem Maße verändert worden wie an den übrigen Untersuchungsstandorten.

Die Ertragsfähigkeit wurde durch die Geländeauffüllung und die damit verbundene Vergrößerung des durchwurzelbaren Raumes verbessert.

Der Grobbodenanteil hat sich gegenüber der Ausgangssituation verringert. Die nach dem Auftrag erfolgte Lockerung mittels eines Aufreißers erfaßte auch den SwBv-Horizont, so dass sich die physikalischen Bodeneigenschaften des Unterbodens verbessert haben (Abb. 4.2.4-4). Bis in eine Tiefe von etwas über 40 cm ist die Porengrößenverteilung als gut zu bewerten.

Bezüglich der Puffer- und Filterfunktion wurde durch den Eintrag von humosem Feinbodenmaterial und der Verlängerung der Filterstrecke ebenfalls eine Verbesserung erzielt.

Gleiches gilt auch für die Bewertung der Funktion "Ausgleichskörper im Wasserhaushalt", da einige bodenphysikalische Eigenschaften bis in den zweiten Horizont verbessert und der Wasserspeicherraum insgesamt vergrößert wurde. Das Infiltrationsvermögen bleibt unverändert.

Insgesamt kann diese geringmächtige Aufbringung von Bodenmaterial als gelungene Maßnahme angesehen werden. Durch die Art der Aufbringung und der Verwendung von geeignetem Material sind keine ungünstigen Bodeneigenschaften entstanden.

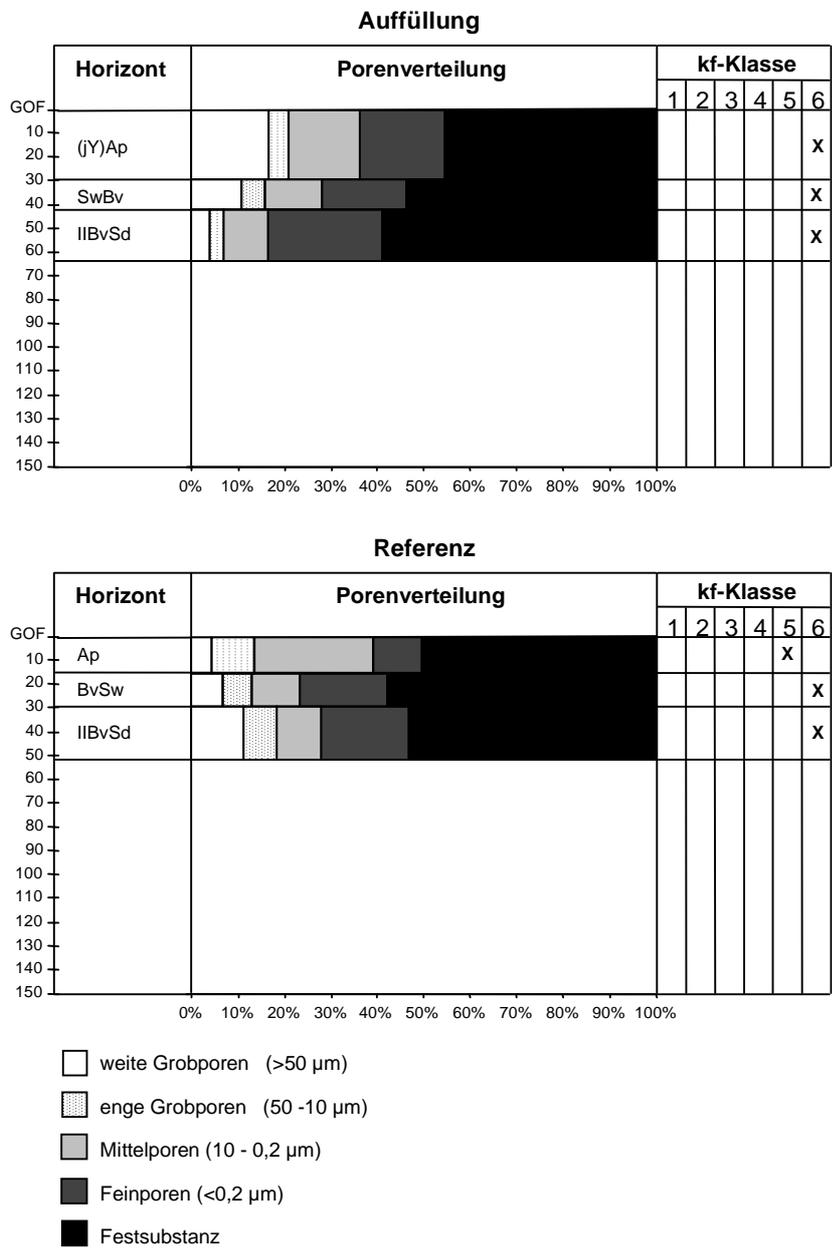


Abb. 4.2.4-4: Porenverteilung und Wasserleitfähigkeit im Auftrags- und Referenzboden von Standort G

Standort H Korntal

Durch die Aufbringung von besonders geeignetem Bodenmaterial konnte die Mächtigkeit des durchwurzelbaren Raumes vergrößert werden. Insgesamt wurde eine deutlich positive Wirkung auf die Ertragsfähigkeit des Bodens erreicht. Eingeschränkt wird diese Bewertung durch die ausgeprägte Schichtung (fAp-Horizont), die als Wurzelbarriere wirken kann. Die Rohdichte dieses Horizontes ist zwar nicht sehr hoch, jedoch vermögen viele Kulturpflanzen solche ausgeprägten Schichtungen nicht zu überwinden oder aber sie wurzeln nur entlang der Makroaggregatoberflächen (Prismen, große Polyeder). Staunässe ist aufgrund der Morphologie nicht zu erwarten, da das Bodenwasser hangabwärts abziehen kann.

Das Leistungsvermögen in bezug auf die Filter- und Pufferfunktion ist durch den Auftrag des Bodenmaterials nicht erhöht worden. Zwar hat die Solummächtigkeit zugenommen, jedoch hat innerhalb der Kontrollsektion (max. 1 m) der

Tongehalt und im Vergleich zur Referenz auch der Humusgehalt abgenommen.

Die Ausgleichsfunktion im Wasserhaushalt ist hingegen verbessert worden, da die Auftragshorizonte über günstige bodenphysikalische Eigenschaften verfügen. Vor allem durch den hohen Grobporenanteil ist die uneingeschränkte Wasserversickerung gewährleistet. Die nutzbare Feldkapazität in den Auftragshorizonten hat sich gegenüber dem früheren Zustand (Referenz) nicht verbessert, bezogen auf das gesamte Profil hat diese jedoch aufgrund des vergrößerten durchwurzelbaren Raumes wesentlich zugenommen (Abb. 4.2.4-5).

Die Ausführung der Auffüllungsmaßnahme wurde fachtechnisch durch einen Gutachter begleitet.

Insgesamt ist diese Geländeauffüllung ein Beispiel dafür, dass bei einer guten fachtechnischen Betreuung und entsprechend ausgewähltem Ausgangsmaterial eine positive Wirkung und damit nachhaltige Sicherung der Bodenfunktionen möglich ist.

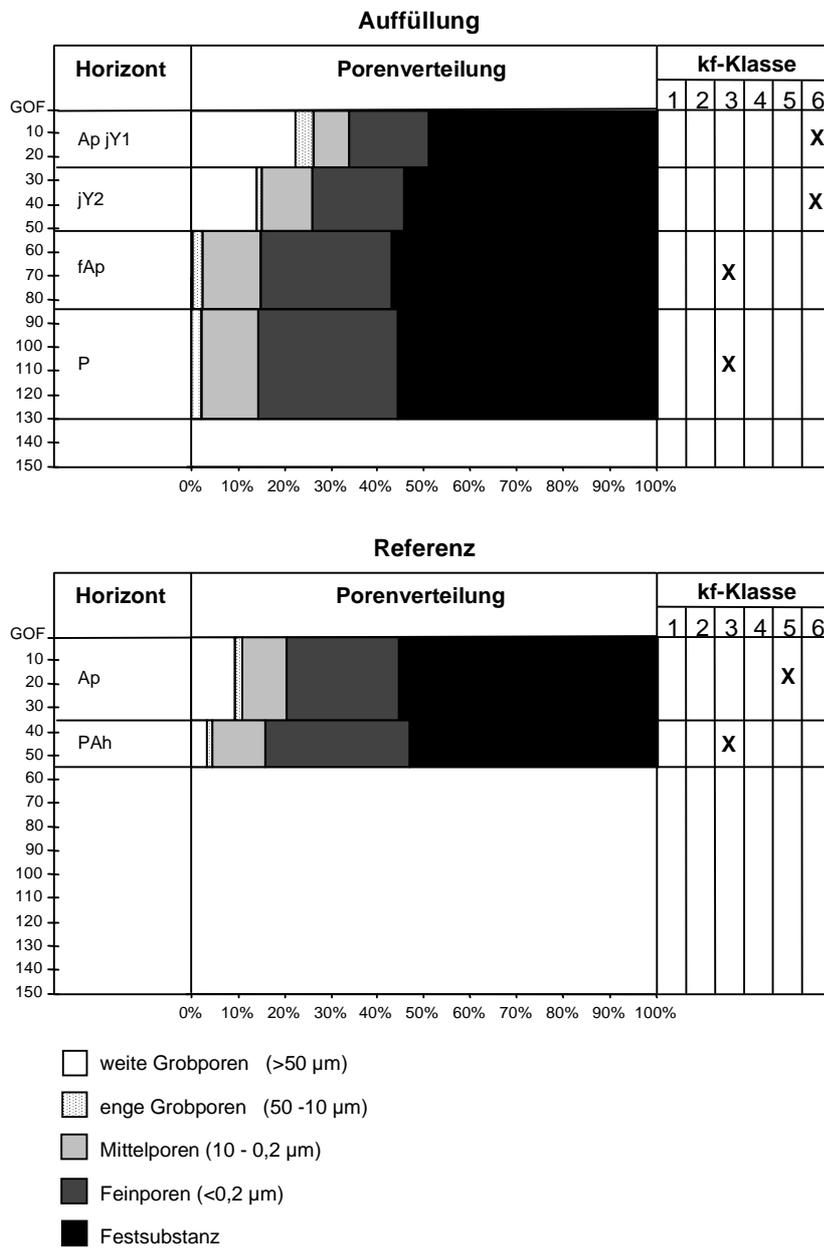


Abb. 4.2.4-5: Porenverteilung und Wasserleitfähigkeit im Auftrags- und Referenzboden von Standort H

Standort I Tamm

Die Ertragsfähigkeit ist durch das eingebrachte grobbodenhaltige Keupermaterial im Unterboden der Auffüllung deutlich verringert worden. Nachteilig wirkt sich des weiteren die Bodenverdichtung sowie die deutliche Schichtung infolge eines Bodenartenwechsels aus. Aufgrund des schlechten Wasser- und Lufthaushaltes des Keupermaterials reicht die physiologische Gründigkeit nur an die Untergrenze des jY1Ap-Horizontes.

Die Filter- und Pufferfunktion hat sich durch den verdichteten Unterboden, der als Stauhorizont die Kontrollsektion einschränkt, verschlechtert. Der Humusgehalt hat ebenfalls abgenommen. Lediglich der eingebrachte Carbonatanteil wirkt sich positiv aus.

Für die Bodenfunktion "Ausgleichskörper im Wasserhaushalt" führen die schlechten bodenphysikalischen Eigenschaften der Auftragshorizonte ebenfalls zu einer negativen Bewertung.

Nach Reichsbodenschätzung wies der Standort mehr als 60 Bodenpunkte auf. Bei dieser Bodenqualität hätte auch dieser Standort als Verbotfläche nach §12 Abs.8 BBodSchV ausgewiesen werden können. Nach Heft 28 (UMWELTMINISTERIUM 1994 b) kann bereits ab 60 Bodenpunkten von einer hohen Leistungsfähigkeit in bezug auf die Erfüllung der natürlichen Funktionen (§2 Abs.2 Nr.1 BBodSchG) ausgegangen werden.

Als Grund für die Auffüllung gab der Landwirt Vernässungsprobleme im Oberboden an. Durch eine Tieflockerung mit anschließender bodenschonender Ersteinsaat hätte tatsächlich eine Bodenmelioration bewirkt werden können.

Standort K Mundelsheim

Die Ertragsfähigkeit des Auftragsbodens hat sich verschlechtert, da alle bodenphysikalischen Parameter deutlich ungünstigere Eigenschaften

aufweisen als das Referenzprofil. Der Auftrags-horizont ist stark verdichtet. Eine tiefe Lockerung bis in die nicht verdichteten alten Bodenhorizonte hinein wird angesichts der Neubepflanzung des Standortes mit Weinreben in den nächsten Jahren nicht flächenhaft möglich sein.

Die Filter- und Pufferfunktion hat sich durch das Aufbringen bodenfremder Bestandteile, dem relativ hohen Grobbodenanteil in der Auffüllung und dem geringen Humusgehalt des Materials ebenfalls verschlechtert.

Die starke Verdichtung des Auftragsmaterials und die damit einhergehenden negativen bodenphysikalischen Eigenschaften haben ebenfalls die Ausgleichsfunktion des Bodens im Wasserhaushalt deutlich beeinträchtigt. Im Vergleich zum Referenzstandort ist das Infiltrationsvermögen erheblich reduziert. Hinzu kommt noch, dass zwischen dem relativ tonarmen Auftragsmaterial (Tongehalt 14,1 %) und dem ehemaligen Oberboden (Tongehalt 33,8 %) eine deutliche Bodenartenschichtung auftritt.

Insgesamt betrachtet muss auch aufgrund der mangelhaften technischen Ausführung der Maßnahme eine deutliche Bodenverschlechterung diagnostiziert werden.

Standort L Gutach

Ziel der Auffüllungsmaßnahme war laut den Antragsunterlagen eine Verbesserung der maschinellen Befahrbarkeit. Die Mächtigkeit und Art des aufgebrachten Materials lässt diese Maßnahme allerdings eher als eine Erdaushub- und Bauschuttdeponie mit nachfolgender Rekultivierung erscheinen.

Zwar besitzen die beiden oberen Auftragshorizonte im Vergleich zu anderen Auffüllungen gute bodenphysikalische Eigenschaften. Doch der darunter liegende mächtige Bauschuttkörper führt zu einer deutlichen Standortverschlechterung.

Insbesondere die Solumtiefe und damit die physiologische Gründigkeit haben im Vergleich zum Ausgangszustand erheblich abgenommen. Dadurch hat sich die Leistungsfähigkeit des Bodens in bezug auf die betrachteten Bodenfunktionen in negativer Hinsicht wesentlich verändert. Mit der Maßnahme wurde lediglich eine Bewirtschaftungserleichterung in Form einer verbesserten maschinellen Befahrbarkeit erreicht.

Eine Verbesserung der Standortseigenschaften wäre durch den zusätzlichen Auftrag von kulturfähigem Unterbodenmaterial über dem Deponekörper möglich gewesen.

Standort M Friesenheim

Die Auftragshorizonte weisen zwar mittlere bodenphysikalische Eigenschaften auf, erreichen jedoch nicht das Niveau des Referenzstandortes.

Aufgrund der sehr trockenen Verhältnisse während der Bodenaufnahme konnte anhand der Geländebefunde nicht eindeutig geklärt werden, inwieweit eine Vernässungsgefahr für das Auftragsmaterial gegeben ist. Die Erfahrung aus anderen Auffüllungsmaßnahmen auf vernässten Standorten zeigt allerdings, dass das Problem i. d. R. durch den Auftrag von Schluff (Löß) oder Lehm auf grundvernässte Standorte nicht behoben werden kann, da das Auftragsmaterial selbst vernässen wird (vgl. Heft 10, UMWELT-MINISTERIUM 1994 a).

Insofern ist durch den Bodenauftrag zwar eine Erhöhung der Profilmächtigkeit bewirkt worden. Es ist allerdings anzunehmen, dass die physiologische Gründigkeit, sobald der Standort wieder bearbeitet wird, reduziert wird. Die Ertragsfähigkeit des Bodens wird daher im Vergleich zum Ausgangszustand weiter eingeschränkt, da die Empfindlichkeit des Bodens gegenüber einer landwirtschaftlichen Bewirtschaftung erhöht wurde.

Der Humusgehalt des aufgebrachten Materials ist sehr gering, so dass der Boden auch in die-

ser Hinsicht längerfristig nur eine geringe Tragfähigkeit und Stabilität besitzen wird. Die zukünftige Gefügeentwicklung wird aufgrund des geringen Tongehaltes im aufgebrachten Rohlöss nur beschränkt stattfinden.

Die Ertragsfähigkeit des Auffüllstandortes hat sich daher insgesamt verschlechtert.

Wegen des geringeren Ton- und Humusgehaltes hat sich das Filter- und Puffervermögen des Auftragsbodens, trotz des Carbonatanteils und der schwach alkalischen Bodenreaktion im Auftragsmaterial, insgesamt vermindert.

Die Ausgleichsfunktion des Standortes im Wasserhaushalt ist durch die Auffüllmaßnahme ebenso verschlechtert worden. Während das Wasserspeichervermögen sich erhöht hat, ist die Wasserdurchlässigkeit und die Infiltrationskapazität im Vergleich zum Ausgangszustand ungünstiger geworden.

Standort N Rheinau

Die Ertragsfähigkeit des Standortes konnte insgesamt gesehen mit der Auffüllungsmaßnahme nicht nachhaltig gesichert werden, da keine wertgebende Wirkung zu verzeichnen ist. Der durchwurzelbare Raum wurde zwar vergrößert, aber die sonstigen bodenphysikalischen Eigenschaften haben sich zum Teil verschlechtert. Der niedrige Humusgehalt und der höhere Grobbodenanteil sind ebenfalls negativ zu bewerten.

Laut Klassifizierung nach Bodenkundlicher Kartieranleitung (AG BODEN 1994) ist bei gleichem Grundwasserflurabstand der kapillare Aufstieg bei der Bodenart schluffig-lehmiger Sand ähnlich zu bewerten wie der bei Schluffen. Insofern besteht auch bei diesem Boden eine gewisse Gefahr der Wiedervernässung im Zuge der Bewirtschaftung (siehe Standort M). Diese ist allerdings aufgrund der niedrigeren Verdichtungsempfindlichkeit als nicht sehr hoch einzustufen. Daher ist davon auszugehen, dass sich die Durchwurzelbarkeit der Geländeauffüllung im

Vergleich zum Ausgangszustand langfristig gesehen noch etwas erhöhen kann.

Die Filter- und Pufferfunktion wurde durch die erweiterte Filterstrecke, den Auftrag carbonatreichen Materials und die günstigere Bodenreaktion verbessert, wenn auch die Verbesserung aufgrund des geringen Ton- und des niedrigeren Humusgehaltes im Auffüllmaterial nicht sehr deutlich ist.

Die Bodenfunktion "Ausgleichskörper im Wasserhaushalt" ist etwas verschlechtert worden. Der Auftragsboden besitzt zwar eine höhere

nutzbare Feldkapazität, jedoch sind die Lagerungsdichte, die Luftkapazität und vor allem die Wasserdurchlässigkeit schlechter geworden. Insbesondere der verdichtete jY2-Horizont verhindert eine Verbesserung dieser Bodenfunktion. Die Infiltrationskapazität ist gleich geblieben.

In der Gesamtbewertung kann festgestellt werden, dass durch den Bodenauftrag zwar keine Verschlechterung eingetreten ist, aber auch keine nachhaltige Sicherung der betrachteten Bodenfunktionen erreicht wurde.

4.2.5 Gesamtbetrachtung und Diskussion

Der Vergleich der Auftragsböden mit den Referenzböden ergibt, dass lediglich in 4 von 13 untersuchten Fällen die angestrebte nachhaltige Sicherung der Bodenfunktionen bzw. eine Bodenmelioration erreicht wurde (vgl. Tab.4.2.4-1). Ausschließlich in diesen Fällen (Standorte C, F, G und H) wird dem Grundsatz des Verschlechterungsverbot und der nachhaltigen Sicherung mindestens einer Bodenfunktion bei gleichzeitiger Materialeignung des Auffüllmaterials entsprochen.

Bei Standort C ist die Verbesserung der Bodenfunktionen geringfügig, während sie bei den Standorten F, G und H deutlicher in Erscheinung tritt.

In allen anderen Fällen ist mit der durchgeführten Auffüllmaßnahme eine Bodenverschlechterung verbunden, die sich durch die Verminderung der Leistungsfähigkeit mindestens einer, in der Regel jedoch bei allen drei untersuchten Bodenfunktionen ausdrückt.

Im folgenden werden die beim Vergleich Auffüllung - Referenzboden erzielten Ergebnisse zusammengefaßt und mit den Erfahrungen vergleichbarer Untersuchungen verglichen und diskutiert.

Während zum Thema „Rekultivierung von Rohstoffabbaustätten“ umfangreiche Literatur vorhanden ist, kommt den zumeist geringmächtigen Geländeauffüllungen auf bestehende und intakte Böden erst in den letzten Jahren eine größere Bedeutung zu. Da die Erkenntnisse bei der Rekultivierung in Teilen durchaus auf die Verhältnisse bei Geländeauffüllungen übertragbar sind, wird auch die Rekultivierungsliteratur mit in die Diskussion eingebunden.

Materialeignung

Das bei den untersuchten Geländeauffüllungen eingesetzte Bodenmaterial erwies sich in bezug auf die Feinbodenart und den Grobbodenanteil überwiegend als ungeeignet (DIN 19731). Dies hängt zum Teil damit zusammen, dass in den

Auftragsböden unterschiedliche Materialien schichtweise eingebaut wurden, so dass zwar einzelne Horizonte als geeignet anzusehen sind, nicht jedoch die gesamte Geländeauffüllung. Auch führte in einigen Fällen bereits ein geringer absoluter Anstieg des Grobbodenanteils zur Zurückstufung in eine niedrigere Eignungsgruppe. In bezug auf die Qualität des anstehenden Bodens mußte das aufgebrauchte Bodenmaterial somit als ungeeignet bewertet werden.

Ähnliche Befunde ergab eine Untersuchung von zehn ausgewählten Geländeauffüllungen im Schweizer Kanton Zürich (AGBA 1995). Im dort eingesetzten Auffüllmaterial waren durchweg hohe bis sehr hohe Grobbodenanteile (teilweise bis 50 Vol.%) enthalten, während hingegen bei der Textur des Feinbodens das Auffüllmaterial überwiegend gute Qualitäten aufwies (Lehme, sandige Lehme). Im Rahmen einer Studie über den Vergleich rekultivierter (rückgebaute) Straßenflächen mit den Böden benachbarter Acker- und Grünlandstandorte an vier Standorten im Regierungsbezirk Karlsruhe (SOLUM 1996) wurde festgestellt, dass alle Oberböden geeignete Auftragsmaterialien aufwiesen, während in einem Fall in den Unterboden ein eingeschränkt geeigneter lehmiger Ton eingebracht wurde. Alle rekultivierten Oberböden in dieser Studie wiesen jedoch bodenfremde Bestandteile auf.

Zu berücksichtigen ist weiterhin, dass in der vorliegenden Untersuchung bei einem Teil der Böden ausgeprägte Bodenartenunterschiede zwischen einzelnen Horizonten auftreten. Solche Schichtwechsel wirken sich nachteilig auf den Bodenwasserhaushalt aus, da an den Übergängen die Wassersickerung unterbrochen wird (sogenannter „Kapillarsprung“) und es zu einem nachteiligem Wasserstau kommen kann. Der Bodenauftrag in mehreren Schichten ist auch deshalb von Nachteil, da zwar viele Kulturpflanzen in dichten Böden wurzeln können, diese aber empfindlich auf Dichteunterschiede zwischen einzelnen Horizonten im Wurzelbild reagieren (HAUBOLD-ROSAR 1994).

Die Einteilung der Bodenarten in die drei Eignungsgruppen gemäß DIN 19731 bzw. Heft 28 (UMWELTMINISTERIUM 1994b) berücksichtigt in erster Linie, dass Schluff- und Lehmböden für die landwirtschaftliche Nutzung die besten Eigenschaften besitzen. Allerdings sollte hierbei die bekannte Verdichtungsanfälligkeit schluffreicher Böden beachtet werden. Bei der Bodenumlagerung verlieren Schluffböden viele ihrer positiven Eigenschaften, vor allem wenn der Bodenauftrag fachtechnisch nicht optimal erfolgt. Insofern weisen Schluffböden ein hohes Maß an Umlagerungsempfindlichkeit auf.

Physiologische Gründigkeit

An einigen Standorten waren vor der Aufbringung des Bodenmaterials flachgründige und teilweise grobbodenhaltige Böden vorkommend (Standorte B, C, E und F). Doch selbst bei diesem ungünstigen Ausgangszustand konnte aufgrund mangelhafter Ausführung der Auffüllung nur bei den Standorten C und F eine positive Wirkung durch Vergrößerung des Wurzelraums im Sinne einer nachhaltigen Sicherung der Bodenfunktionen erreicht werden.

In der Abb. 4.2.4-6 ist die, aus den bodenphysikalischen Kennwerten ermittelte physiologische Gründigkeit dargestellt. Der Abbildung ist zu entnehmen, dass trotz der Auffüllmaßnahme in einigen Fällen der durchwurzelbare Raum der Auftragsböden abgenommen hat, weil unterhalb des jYap-Horizontes liegende Schichten aufgrund ihrer hohen Verdichtung kaum durchwurzelbar sind.

Feldbodenkundliche Befunde

Viele der untersuchten Horizonte besitzen nach der Umlagerung ein dichtes kohärentes Gefüge. Nur im Oberboden ist teilweise Subpolyedergefüge oder auch Krümelgefüge anzutreffen. Dies ist zumeist dann der Fall, wenn humoses Material oder der ehemalige Oberboden als oberste Bodenschicht aufgebracht wurde. Viele Unterböden und einige Oberböden besitzen plattige Gefügeformen. Dies deutet auf mechanische Belastung durch Befahren oder Bearbeiten in zu feuchtem Bodenzustand hin.

SOLUM (1996) und AGBA (1995) wiesen auch in wesentlich älteren Geländeauffüllungen häufig ein Kohärentgefüge nach. Im Rahmen einer Studie über das Verhalten von Böden bei Rekultivierungsmaßnahmen (ADAM 1993) wurde der Rekultivierungserfolg mittels einfacher feldbodenkundlicher Ansprachemethoden (Vernässungserscheinungen, Aufwuchsbonitierung) festgestellt. Dabei zeigte sich, dass Verdichtungs- und Vernässungsschäden vorwiegend bei Rekultivierungen mit bindigem Bodenmaterial auftraten. In diesen Fällen konnten - auch an älteren Rekultivierungen - ausgeprägte kohärente und plattige Gefügeformen in den Unterböden festgestellt werden.

Insbesondere in tonarmen Schluffböden, die über eine geringe Quellungs- und Schrumpfdynamik verfügen, bleiben einmal erzeugte Gefügeformen lange erhalten. Dies bedeutet, dass eine erfolgte Gefügedegradation vor allem im Unterboden irreversibel ist. Dicht gelagertes kohärentes Gefüge erfuhr auch nach 30 Jahren in schluffreichen Bodenaufträgen des Rheinischen Braunkohlereviere keine Veränderungen (BECHER 1982, SCHRÖDER 1988, JURIS 1991, SCHNEIDER 1994).

Bodenphysikalische Eigenschaften

Das maßgebliche Problem der Auftragsböden stellen die verursachten Bodenverdichtungen und der damit einhergehende schlechte Wasser- und Lufthaushalt im Boden dar. In den meisten Fällen hat die schlechte Bewertung der nach der Aufbringung vorgefundenen bodenphysikalischen Bedingungen zu einer insgesamt negativen Bewertung des Bodenauftrags geführt.

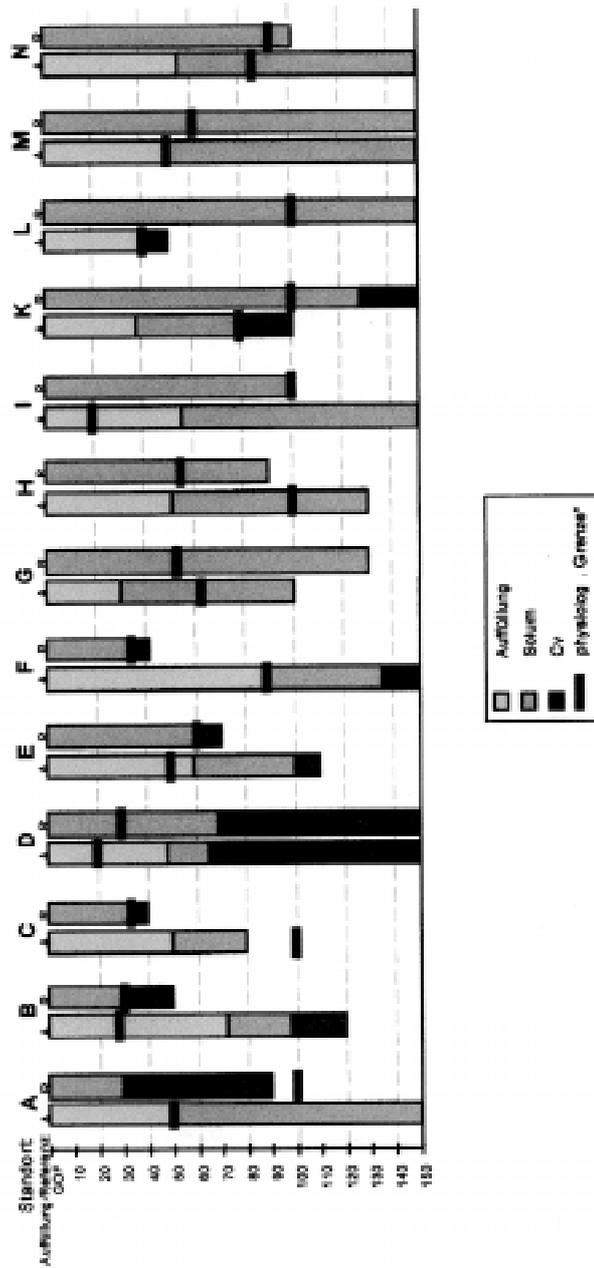


Abb. 4.2.4-6: Die physiologische Gründigkeit der Auftragsböden im Vergleich zu den Referenzstandorten.

In vielen Unterbodenhorizonten konnten zum Teil extreme Bodenverdichtungen nachgewiesen werden. Unterbodenverdichtungen sind i. d. R. persistent und können selten erfolgreich melioriert werden (SCHRÖDER 1988, SCHNEIDER 1994, HAUBOLD-ROSAR 1994).

Des Weiteren sind auch einige Oberböden als sehr dicht einzustufen.

Abb. 4.2.4-7 zeigt, dass in den weitaus überwiegenden Fällen die Ober- und Unterböden der Auffüllungen zum Teil deutlich dichter waren als die Referenzstandorte. (Anmerkung zur Tabelle: Einige Unterböden der Referenzstandorte konnten wegen hohem Grobbodenanteil nicht beprobt werden, hingegen wurden einige Auffüllungen mehrfach beprobt).

In allen Böden ist der Wasser- und Lufthaushalt eng mit der Lagerungsdichte verknüpft. Je höher die Lagerungsdichte, desto weniger Porenraum steht zur Verfügung. Mit beginnender Verdichtung ist insbesondere eine Abnahme der weiten Grobporen zu verzeichnen, erst bei starker Verdichtung nehmen auch die engen Grobporen (50 - 10 μm) und weiten Mittelporen (10 - 3 μm) ab. Daher kann die nutzbare Feldkapazität durch Bodenverdichtungen sogar ansteigen.

Die genannten Faktoren führen dazu, dass die Infiltration des Niederschlagswassers in den Boden und die Versickerung im Bodenprofil behindert wird. Über längere Zeiträume bilden sich daher unter humiden Klimabedingungen Stauhorizonte als Folge der Bodenverdichtungen aus. Diese Prozesse können jedoch in den sehr jungen Auftragsböden noch nicht erkannt werden, sondern müssen aus der feldbodenkundlichen Aufnahme und den ermittelten Analysendaten prognostiziert werden (abgeleitete physiologische Gründigkeit).

In Böden können zwei unterschiedliche Porensysteme infiltrationswirksam sein. Auf der einen Seite das durch die Größe und Lage der Bodenteilchen bedingte Primärporengefüge, ferner das durch Quellung/Schrumpfung, Frostwirkung und biogene Tätigkeit hervorgerufene Sekun-

därporengefüge. Vor allem das Sekundärporengefüge ist in bindigen Böden verantwortlich für die Versickerung, da die Porenkontinuität hoch und die Größe der Porendurchmesser bedeutend ist. Allerdings ist das Sekundärporensystem leicht zerstörbar (BLUME 1992).

Die gemessenen Infiltrationsraten der untersuchten Böden lagen auf sehr hohem Niveau, obwohl die nachgewiesenen Verdichtungsercheinungen ein umgekehrtes Bild erwarten lassen. Die Ursache für dieses abweichende Verhalten ist bei den Bodenverhältnissen während der Infiltrationsmessungen zu suchen. Aufgrund langanhaltender Trockenheit befanden sich die Böden in einem ausgeprägter Schrumpfungszustand.

Auch die Wasserleitfähigkeit (k_f) der untersuchten Bodenhorizonte lag bei den Geländeauffüllungen gleichfalls überraschend hoch und ergab oft keine Beziehung zur Luftkapazität, die den Anteil der Poren $> 50 \mu\text{m}$ angibt. Eine schlechte Zuverlässigkeit der Ergebnisse von Wasserdurchlässigkeitsmessungen wurde auch in anderen Untersuchungen beobachtet (AGBA 1995). Sie wird zurückgeführt auf unregelmäßige Vorkommen größerer Hohlräume und eine mangelnde Gefügebildung in den Auftragsböden. Zu einem vergleichbaren Ergebnis gelangt HAUBOLD-ROSAR (1994) bei der Bewertung der k_f -Werte rekultivierter Böden des Rheinischen Braunkohlereviers.

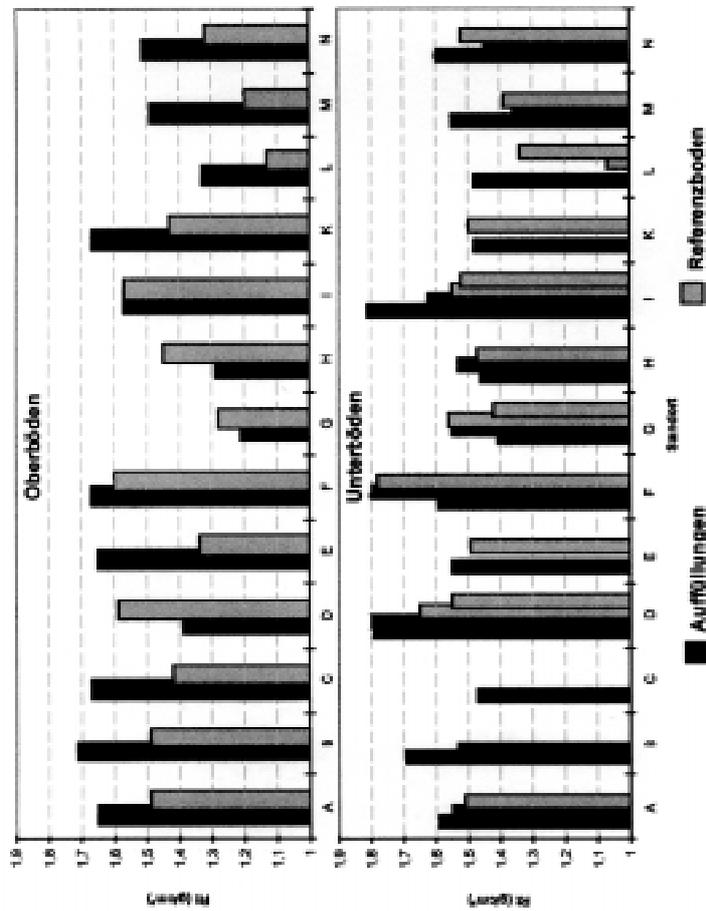


Abb. 4.2.4-7: Lagerungsdichten (Rt g/cm³) in den Ober- und Unterböden von Geländeauffüllungen im Vergleich zu Referenzböden

Bodenchemische Eigenschaften

Die Schwermetallgehalte in den Oberböden der Geländeauffüllungen lagen weitgehend unterhalb der Hintergrundwerte und der 70%-Vorsorgewerte. In vier Fällen wurden leichte Überschreitungen bei Chrom und an einem Standort bei Kupfer ermittelt. Da oftmals carbonathaltige Horizonte aufgetragen wurden, ist in den meisten Profilen die Pufferkapazität und die Festlegung von Schwermetallen als gut zu bewerten. Allerdings führt der hohe Carbonatanteil auch zu einer Festlegung von Spurenelementen, die eine pH-abhängige Löslichkeit aufweisen.

Die Gehalte an organischer Substanz sind in den Oberböden der untersuchten Geländeauffüllungen erwartungsgemäß niedrig, es sei denn, die ursprünglichen Oberbodenhorizonte wurden vor der Auffüllmaßnahme entfernt und anschließend als Oberböden wiederverwendet. Da die organische Substanz verkittend und gefügestabilisierend wirkt, ist eine zügige Anhebung auf den standortspezifischen Humusgehalt anzustreben. Geeignete Maßnahmen sind der Einsatz von Gründüngung und Stallmist sowie eine reduzierte Bodenbearbeitung.

Die niedrigen Humusgehalte wurden im Rahmen dieser Untersuchung nicht überbewertet, da die meisten Auftragsböden zum Untersuchungszeitpunkt erst ein Jahr alt waren und daher langfristig ein Anstieg des Humusspiegels zu erwarten ist.

Bodenfunktionen

Von den 13 untersuchten Geländeauffüllungen entsprachen lediglich vier Auftragsböden den Anforderungen des Bodenschutzes. In 9 von 13

Fällen ist dementsprechend zu besorgen, dass eine schädliche Bodenveränderung entstanden ist oder dass die nachhaltige Sicherung der Bodenfunktionen nicht erreicht wurde (vgl. Kap. 4.2).

SOLUM (1996) kommt ebenfalls zu dem Ergebnis, dass die von ihnen untersuchten Rekultivierungsböden im Erfüllungsgrad der Bodenfunktionen schlechter als die Ausgangsböden zu bewerten sind. Allerdings sind größere Abschläge vor allem auf eine verminderte Erfüllung der Bodenfunktionen "Standort für die natürliche Vegetation" und "landschaftsgeschichtliche Urkunde" zurückzuführen. Diese wurden in der vorliegenden Studie nicht betrachtet.

Des Weiteren weist die Studie auf die ungünstigeren bodenphysikalischen Eigenschaften der rekultivierten Standorte im Vergleich zu den Vergleichsstandorten hin. Ein großer Teil der beobachteten Defizite wird zurückgeführt auf die technische Ausführung der Rekultivierung.

ADAM (1993) begutachtet lediglich bei etwa 20 % der untersuchten Böden einen Rekultivierungserfolg.

AGBA (1995) kommen gleichfalls zu dem Ergebnis, dass nur in zwei von zehn Standorten von einer Verbesserung der Bodeneigenschaften gegenüber dem Ausgangszustand ausgegangen werden kann, während vier Standorte etwa gleiche Verhältnisse wie vor der Auffüllung und vier Standorte deutlich schlechtere aufweisen.

5 Fachtechnische Vorgaben und Qualität der Geländeauffüllungen

Bei der Gegenüberstellung von Genehmigungsstatus, Art und Umfang der erteilten Genehmigungsaufgaben, entsprechenden Vorgaben in den Regelwerken einerseits und dem Erfolg der durchgeführten Auffüllmaßnahmen andererseits ergibt sich folgendes Bild:

Drei der vier erfolgreich durchgeführten Auffüllungen sind vor Durchführung der Maßnahme von der zuständigen Behörde genehmigt und mit entsprechenden technischen Vorgaben versehen worden (Standorte C, F, G). Die vierte, positiv bewertete Auffüllung ist nachträglich genehmigt worden. Allerdings wurden nach Angaben des Eigentümers fachtechnische Vorgaben gemäß UMWELTMINISTERIUM (1994a) freiwillig eingehalten und die Durchführung der Maßnahme von einem Fachgutachter begleitet (Standort H).

Bei allen übrigen, nachträglich genehmigten bzw. ungenehmigten Auffüllungen ist keine Bodenverbesserung erzielt worden.

Allerdings gewährleistet der Genehmigungsstatus und die Erteilung von Auflagen allein noch keinen Erfolg der Maßnahme (s. Standorte B und D). Entscheidend ist die Art der tatsächlichen Durchführung der Auffüllmaßnahme sowie die Verwendung geeigneten Materials. Für die untersuchten Auffüllstandorte ist darüber hinaus zu berücksichtigen, dass die erteilten Auflagen in Art und Umfang stark voneinander abweichen (s. Kap. 3). Ebenfalls gab es Unterschiede in der Verbindlichkeit der festgesetzten Auflagen ("Soll-Vorgaben").

Die tatsächliche Durchführung der Maßnahme entspricht nicht in allen Punkten den technischen Vorgaben. Dies konnte zum einen durch Recherchen bei den Landwirten und ausführenden Baufirmen ermittelt und zum anderen durch entsprechende Geländebefunde bzw. Untersuchungsergebnisse belegt werden.

Den Recherchen zufolge wurden trockene Witterungsbedingungen als Voraussetzung nicht immer beachtet (Standorte B, D, F, L). So wurde das Material z.T. dann aufgebracht, wenn es zur Verfügung stand und nicht in Abhängigkeit von geeigneten Boden- und Witterungsverhältnissen. Das Material bei Standort F wurde bei nasser Witterung abgelagert, aber im trockenem Zustand einplaniert.

In manchen Fällen wurde von den Grundstückseigentümern Unzufriedenheit über das von den Baufirmen zur Verfügung gestellte Auftragsmaterial geäußert (z.B. hoher Grobbodenanteil oder unverwittertes Tonmaterial).

Häufigster Verstoß stellt das Befahren der Auftragsfläche mit Radfahrzeugen dar. Entgegen den Vorgaben wurde das Auffüllmaterial mit LKW auf die Fläche transportiert und dort von einem Radlader oder einer Planierraupe verteilt. In keinem Fall wurden Moorraupen (4 N/cm²) oder ein entsprechend leichtes Kleingerät eingesetzt. Ausnahmen sind Standort G (kleine Planierraupe) und Standort L. Bei Standort L wurde das Material mit dem Baggerlöffel eingeebnet. Bei beiden genannten Standorten konnten günstige Lagerungsverhältnisse im Auftragsmaterial festgestellt werden.

Die Erschliessung der Auffüllungsfläche über Baustraßen stellt die Ausnahme dar (Standorte F, G). Bei diesen Standorten wurde das Ziel der Maßnahme erreicht.

Die durchgeführten Lockerungsmaßnahmen beschränken sich ausschließlich auf den Oberboden und wurden i. d. R. mit dem Grubber oder Aufreißer vorgenommen. In einigen Fällen wurde gepflügt bzw. gefräst und geeggt. Bei Standort F wurde bis 80 cm tief gelockert. Bei Standort H wurde entsprechend der üblichen Bearbeitung mit einer Spatenmaschine gelockert.

Spezielle Ersteinsaaten (Luzerne, Senf, Klee) wurden mit wenigen Ausnahmen den Vorgaben entsprechend vorgenommen. Nach Angaben der Landwirte ist es beabsichtigt, diese jedoch ausschließlich auf das erste Jahr zu beschränken. Eine mehrjährige angepaßte Folgenutzung ist nicht vorgesehen. Bei den übrigen Standorten wurde als erste Folgekultur direkt mit der üblichen Fruchtfolge (z.B. Maisanbau bei Standort G und N) begonnen.

Die erhobenen Geländebefunde und Untersuchungsergebnisse weisen in den überwiegenden Fällen Beeinträchtigungen der Bodenverhältnisse nach, die auf die Nichtbeachtung fachtechnischer Vorgaben zurückzuführen sind. In erster Linie sind hierbei die auftragsbedingten Bodenverdichtungen im Ober- und Unterboden des Auffüllmaterials sowie in den überdeckten Bodenhorizonten zu nennen.

In bezug auf die Auffüllmächtigkeiten und den Erfolg der Maßnahme lassen sich keine eindeutigen Zusammenhänge ableiten. Der einzige geringmächtige Bodenauftrag (< 20 cm) bei Standort G hat ebenso wie die Auffüllung F mit einer Mächtigkeit von ca. 2 m die Anforderungen des Bodenschutzes erfüllt.

Allerdings ist in mehreren Fällen die zulässige Auftragsmächtigkeit gemäß erteilter Auflage überschritten worden. In diesen Fällen wurde der Oberboden zuvor nicht abgetragen und das Auffüllmaterial nicht mit diesem vermischt.

Über die Bedeutung von fachtechnischen Vorgaben im Rahmen der Genehmigung und der sich hieraus ergebenden rechtlichen Verpflichtung hinaus, ist für den Erfolg einer Auffüllung maßgeblich, ob die Bereitschaft des Betreibers zur optimalen Umsetzung der Maßnahme besteht. Exemplarisch wird dies bei Standort H deutlich.

6 Resümee

Die Untersuchung zeigt, dass Geländeauffüllungen verschiedener Standorte in Baden-Württemberg oftmals schwere Mängel aufweisen. In mehreren Fällen sind im Vergleich zum Ausgangszustand Bodenverschlechterungen zu verzeichnen. Die auf Grundlage des BBodSchG und der BBodSchV gestellten Anforderungen an Auffüllungsmaßnahmen werden in diesen Fällen nicht erfüllt.

Wesentliche Ursachen für die Bodenbeeinträchtigungen liegen in einer ungenügenden Materialeignung, den durch nicht fachgerechten Bodenauftrag und Folgebewirtschaftung bedingten Bodenverdichtungen und einer umlagerungsbedingten Gefügedegradation.

Bezüglich der bisherigen Auffüllungen und deren Qualität besteht eine Abhängigkeit vom Genehmigungsstatus. Ungenehmigte oder nachträglich genehmigte Auffüllungen ohne entsprechende fachtechnische Begleitung besitzen wesentlich ungünstigere Bodeneigenschaften als genehmigte Geländeauffüllungen.

Allerdings garantieren auch ausreichende fachtechnische Anforderungen an den Bodenauftrag allein noch keinen Erfolg. Entscheidend ist, dass die Geländeauffüllung tatsächlich gemäß den Vorgaben umgesetzt wird und auch eine Akzeptanz seitens der Landwirte für eine bodenschonende Folgebewirtschaftung besteht. Nur wenn alle diese Faktoren zusammenkommen, kann mit der Aufbringung von Bodenmaterial eine positive Wirkung erzielt werden.

Die bei den untersuchten Geländeauffüllungen erteilten fachtechnischen Auflagen unterscheiden sich in Art und Umfang sowie im Detaillierungsgrad. Unterschiede bei den Genehmigungsaufträgen tragen nicht zur Akzeptanz bei den Betroffenen bei sondern könnten eher den Abfalltourismus bei Bodenmaterial fördern. Mit den neuen Regelungen des Bundesbodenschutzgesetzes (§6) in Verbindung mit der Bun-

desbodenschutzverordnung (§12) sowie den fachtechnischen Vorgaben der DIN 19731 steht zukünftig ein einheitlicher Beurteilungsrahmen aus Bodenschutzsicht zur Verfügung. Darüber hinaus sind die Vorgaben des Gesetzes und der Verordnung unmittelbar an die betroffenen Bürger adressiert und haben somit eine stärkere Rechtswirkung als bisherige verwaltungsinterne Bewertungsrichtlinien.

Grundsätzlich ist aus den Untersuchungsergebnissen abzuleiten, dass bei leistungsschwachen Böden auch nicht fachgerecht durchgeführte Auffüllungsmaßnahmen noch eine positive Wirkung entfalten können. Mängel in der Ausführung machen sich weniger bemerkbar.

Bei guten Ausgangsbedingungen und bereits leistungsfähigen Böden kann hingegen durch das Aufbringen von Bodenmaterial nur schwer eine positive Wirkung erzielt werden, bei ihnen ist oftmals eine Verschlechterung zu beobachten.

Auch bei den in der Studie positiv beurteilten Auffüllungen ist nicht das gesamte Verbesserungspotenzial genutzt worden, weil der Bodenauftrag nicht gemäß den vorhandenen Richtlinien durchgeführt wurde und Defizite in der technischen Ausführung vorhanden waren.

Eine Begleitung und Überwachung zukünftiger Auffüllmaßnahmen durch Fachgutachter ist dringend zu empfehlen.

Das Wissen um die Belange des Bodenschutzes ist bei den Antragsstellern unzureichend, wie eine Befragung im Rahmen der vorliegenden Untersuchung ergab. Hier könnte mit geeigneten Broschüren und Informationsmaterial mehr Aufklärung bei den Akteuren von Auffüllungsvorhaben betrieben werden, um damit schon im Vorfeld einer Maßnahme mehr Akzeptanz für die Anforderungen des Bodenschutzes zu erreichen.

7 Literaturverzeichnis

ADAM, P. (1993): Studie über das Verhalten der Böden bei Rekultivierungsmaßnahmen.- Studie im Auftrag des Ministeriums für Umwelt Baden-Württemberg, unveröffentlicht.

AGBA (1995): Bestandesaufnahme von bodenphysikalischen Kenngrößen bei Geländeauffüllungen. - Studie im Auftrag der kantonalen Fachstelle Bodenschutz, Kanton Zürich

AG BODENKUNDE (1982): Bodenkundliche Kartieranleitung.- 3. Auflage, Hannover

AG BODEN (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung.- 4. Auflage, Hannover

BECHER, H. H. (1982): Einfluß von Rekultivierungsmaßnahmen auf Gefügeeigenschaften.- Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch., Bd. 34

BLUME; H.-P. (1992): Handbuch des Bodenschutzes.- 2. Aufl., Landsberg

CZERATZKI, W. (1972): Die Ansprüche der Pflanzen an den physikalischen Bodenzustand.- Landbauforschung Völkenrode, 22, S. 29 - 36

DEUTSCHER WETTERDIENST (1953): Klima-Atlas von Baden Württemberg, Bad Kissingen

DIN 197315 /1998) Verwertung von Bodenmaterial, Beuth Verlag, Berlin.

DVWK (1980): Bodenkundliche Grunduntersuchungen im Felde zur Ermittlung von Kennwerten meliorationsbedürftiger Standorte.- Teil I: Grundansprache der Böden, Heft 115, Hamburg, Berlin

DVWK (1986): Bodenkundliche Grunduntersuchungen im Felde zur Ermittlung meliorationsbedürftiger Standorte.- Teil III: Anwendung der Kennwerte für die Melioration, Heft 117, Hamburg, Berlin

DVWK (1997): Bodenphysikalische Untersuchung über Ursachen und Auswirkungen von Bodenverdichtungen.- Materialien 1/97, Bonn

GEOLOGISCHES LANDESAMT BADEN WÜRTTEMBERG (1995): Symbolschlüssel Bodenkunde.- Informationen 5/95, Freiburg

HARTGE, K.H. & R. HORN (1989): Die physikalische Untersuchung von Böden. Stuttgart.

HAUBOLD-ROSAR, M. (1994): Bodenphysikalische und -mechanische Eigenschaften landwirtschaftlich rekultivierter Böden aus Löß und Geschiebemergel/-lehm sowie Möglichkeiten ihrer Melioration.- Dissertation Trier (auch: Shaker Verlag, Berichte aus der Geowissenschaft, Aachen 1996)

JURIS, B. (1991): Die bodenchemischen und – biologischen Eigenschaften sowie Entwicklung der forstlich rekultivierten Böden im Rheinischen Braunkohlenrevier. Unverö. Diplomarbeit, Trier.

KOHL, R., C.-G. BANNICK & H. MEYER-STEINBRENNER (1997): Anforderungen an die Verwertung von kultivierbarem Bodenmaterial. Empfehlungen zu Technischen Regeln aus der Arbeit der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz. - In: Rosenkranz et. al.(Hrsg.): Handbuch Bodenschutz , 24. Lfg. IX/97

KRETZSCHMAR, R. (1994): Kulturtechnisch-bodenkundliches Praktikum. Ausgewählte Labor- und Feldmethoden.- 8. Aufl., Kiel

KUNTZE, H., G. ROESCHMANN & G. SCHWERDTFEGER (1988): Bodenkunde.- 4. Auflage, Stuttgart

SCHEFFER, F. & P. SCHACHTSCHABEL (1992): Lehrbuch der Bodenkunde.- 13. Auflage, Stuttgart

SCHNEIDER, R. (1992): Gefügeentwicklung in Neulandböden aus Löß und Hafenschlick und deren Auswirkung auf bodenphysikalische und -mechanische Parameter.- Dissertation Trier (auch: Shaker Verlag, Berichte aus der Geowissenschaft, Aachen 1994)

SCHRÖDER, D. (1988): Bodenschonende Rekultivierung von Lößböden in Braunkohletagebauen.- In: Rosenkranz et. al. (Hrsg.): Bodenschutz.- Abschnitt 7230, Berlin)

SOLUM (1996): Bodenkundliche Untersuchungen an rekultivierten Straßenbauabschnitten.- Studie des Regierungspräsidiums Karlsruhe, Referat Bodenschutz, unveröffentlicht.

UMWELTMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG (1994a): Erhaltung fruchtbaren und kulturfähigen Bodens bei Flächeninanspruchnahmen.- Reihe Luft Boden Abfall, Heft 10, 3. Aufl. Stuttgart.

UMWELTMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG (1994b): Leitfaden zum Schutz der Böden beim Auftrag von kultivierbarem Bodenaushub.- Reihe Luft Boden Abfall, Heft 28

UMWELTMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG (1995): Bewertung von Böden nach ihrer Leistungsfähigkeit.- Reihe Luft Boden Abfall, Heft 31

A N H A N G



Klimadaten

Photodokumentation

Anlage 1

Klimadaten zu den Untersuchungsstandorten

(Angaben aus Klimaatlas Baden-Württemberg, Bad Kissingen, 1953)

Bezeichnung	Standort	Niederschlag (mm/Jahr)	Temperatur (°C/Jahr)	Temperatur (°C/Mai-Juli)
A	Weingarten	700	9	16
B	Vaihingen-Aurich	650	9	16
C	Kraichtal	700	9	16
D	Sinsheim	750	9	15
E	Karlsbad	850	9	15
F	Renningen	650	8	14
G	Spraitbach	950	7	14
H	Korntal	650	8	15
I	Tamm	650	9	16
K	Mundelsheim	650	9	16
L	Gutach	1100	8	14
M	Friesenheim	750	9	16
N	Rheinau	850	9	16

Anlage 2
Photodokumentation

"Bodenschutz"
ISSN 0949-0256

Titel	Band	Jahr der Herausgabe	Preis (falls lieferbar)
Bodendauerbeobachtung in Baden-Württemberg Untersuchungen ausgewählter organischer Schadstoffe und mikrobiologische Charakterisierung der Standorte	1	1999	15,00 DM
Ermittlung atmosphärischer Stoffeinträge in den Boden Nutzung neuer Sammel- und Nachweisverfahren - Verbundvorhaben Ergebnisse 1998	2	1999	24,00 DM
Bodenaushub ist mehr als Abfall	3	1999	24,00 DM

Standort A Weingarten

Auffüllfläche

Nutzung: Wiese / Brache

Relief: Oberhang, unstete Wölbung

Neigung/Exposition: 5° S

Bodentyp: Auftragsboden aus Rohlöß über Braunderde



(Ap)jY1 (0-25cm)

Ut4; x2 (Bauschutt, Ziegelbruchstücke, Kalkkonkretionen); koh, pla; gelbbraun; h1; C4-5; Ld4; Durchwurzelung 2

jY2 (26-49 cm)

Ut4;x2 (Bauschutt); pla, koh; gelbbraun; h1; C4-5; Ld4; Durchwurzelung 2

fAp (50-75 cm)

Ut4;x1 (Ziegelbruchstücke); pla, prr; braunschwarz; h3; C0; Ld3; Durchwurzelung 0

Bv1 (76-100 cm)

Lu; x1; pol, sub; braun; h1; C0; Ld4; Durchwurzelung 0

Bv2 (101-140 cm)

Ut4; x1; pol, sub; braun; h1; C0; Ld3; Durchwurzelung 0

Referenzboden

Nutzung: Acker

Relief: Oberhang, gestreckt

Neigung/Exposition: 5° SW

Bodentyp: Pararendzina



Lu; x1; krü; dunkelbraun; h2; C4-5; Ld3; Durchwurzelung 4

lcCv (30-80 cm)

Uu; x1 (Kalkmycel); koh; hellbraun; h0; C5; Ld2-3; Durchwurzelung 2

llcCv (>80 cm)

Su-Uu; x4; ein; rötlich; h0; C5; Ld2-3; Durchwurzelung 0

Ap (0-30 cm)

Standort B Vaihingen-Aurich

Auffüllfläche

Nutzung: Acker
Relief: Mittelhang, gestreckt
Neigung/Exposition: 5° W
Bodentyp: Auftragsboden aus schluffig-tonigen Substraten über
(Rendzina-) Braunerde



Ap (0-19 cm)
Tu4; x2; frK; dunkelbraun; h2; C3;
Ld4-5; Durchwurzelung 3

AhjY2 (20-28 cm)
Ut4;x1; frK; dunkelbraun; h3;
C1; Ld4-5; Durchwurzelung 3

jY3 (29-43 cm)
Tu2; x2; koh; rötlich; h0;
C3; Ld4-5; Durchwurzelung 0

jY4 (44-72 cm)
Tu3; x1; koh; graugelb; h0;
C0; Ld4-5; Durchwurzelung 0

fAp (73-90 cm)
Tu3; x3; sub; dunkelbraun; h3;
C4; Ld3-4; Durchwurzelung 0;
enthält Klärschlamm

Bv (91-98 cm)
Lt3; x4; pol; braun; h1; C4; Ld4;
Durchwurzelung 0

cCv (>98 cm)
Lt3; x5; braun; h0; C5;

Referenzboden

Nutzung: Acker
Relief: Unterhang, gestreckt
Neigung/Exposition: 4° W
Bodentyp: (Rendzina-) Braunerde



Ap (0-21 cm)
Tu3; x3; krü; sub; dunkelbraun;
h3; C4; Ld3; Durchwurzelung 3

Bv (22-32 cm)
Lt3; x4; pol; braun; h1; C4;
Ld3; Durchwurzelung 2

cCv (>32 cm)
Lt3; x4-5; braun; h0; C5; Ld3;
Durchwurzelung 0

Standort C Kraichtal-Menzingen

Auffüllfläche

Nutzung: Acker
Relief: Terrassenfläche, unstete Wölbung
Neigung/Exposition: ca. 8° S - SW
Bodentyp: Auftragsboden aus Löß über Pararendzina



ApY1 (0-25 cm)
Ut3; x1; koh; gelbbraun;
Rostfleckung; h1; C5; Ld3-4;
Durchwurzelung 4

jY2 (26-50 cm)
Ut3;x1; koh; gelbbraun;
Rsofleckung; h0; C5; Ld2-3;
Durchwurzelung 3-4

fAp (51-72 cm)
Ut3; x2; krü, sub; dunkelbraun; h3;
C0; Ld2-3;
Durchwurzelung 3

Cv (>72 cm)
Ut3; x4; rötlichbraun; h0; C1;
Ld3; Durchwurzelung 0

Referenzboden

Nutzung: Weinbergsbrache
Relief: Unterhang, konkave Wölbung
Neigung/Exposition: 12° S
Bodentyp: Rigosol



Ut3; x2; krü; dunkelbraun; h3; C3;
Ld2; Durchwurzelung 4

R (11-35 cm)
Ut3; x4; sub; braun; h1; C2;
Ld2-3; Durchwurzelung 2-3

ICv (>32 cm)
Ls3; x5-6; braun; h0; C0;
Durchwurzelung 0

RAh (0-10 cm)

Standort D Sinsheim-Rohrbach

Auffüllfläche

Nutzung: Brache
Relief: Oberhang, konkave Wölbung
Neigung/Exposition: 5° OSO
Bodentyp: Auftragsboden aus Löß über (erodierter) Parabraunerde



ApiY1 (0-20 cm)

Ut3; x2; sub, pla; dunkelbraun;
h2; C4; Ld2; Durchwurzelung 3

jY2 (21-41 cm)

Ut4; x2; koh, klu; dunkelbraun;
h0; C3-4; Ld4-5;
Durchwurzelung 0

jY3 (42-48 cm)

Ut4; x4; koh; dunkelgrau; h3;
C3-4; Ld4-5; Durchwurzelung 0

Bt (49-58 cm)

Tu4; x1; pol, pla; braun; h0;
C1; Ld4; Durchwurzelung 0

BtCca (59-65 cm)

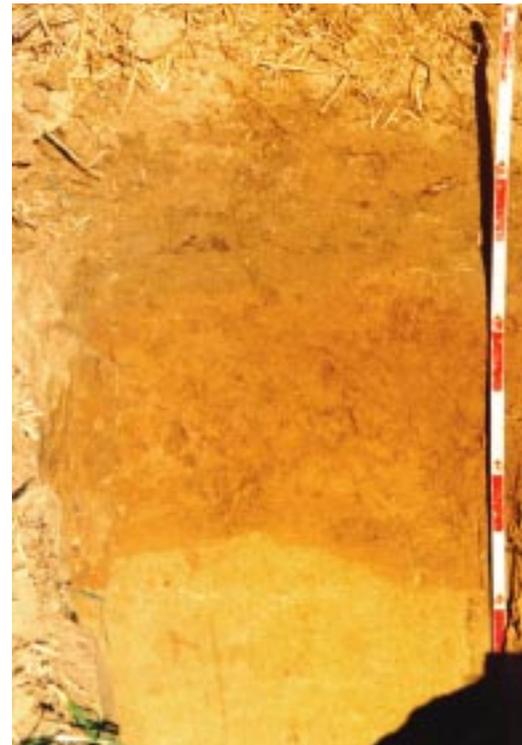
Ut3; x1; pol; gelbbraun; h0; C4;
Ld4; Durchwurzelung 0

Cca (66-150+ cm)

Ut3; x1; gelbbraun; h0; C4-5;
Ld3; Durchwurzelung 0

Referenzboden

Nutzung: Acker
Relief: Oberhang, gestreckt
Neigung/Exposition: 4° OSO
Bodentyp: erodierte Parabraunerde



Ut3; x1; sub; dunkelbraun; h2;
C0; Ld3; Durchwurzelung 3-4

Bt (31-69 cm)

Ut3; x1; pol; braun;
Rostfleckung 1; h0; C0; Ld3-4 ;
Durchwurzelung 2-3

Cv (70-150 cm)

Ut2; x1; koh; gelbbraun; h0; C4;
Durchwurzelung 0

Ap (0-30 cm)

Standort E Karlsbad-Ittersbach

Auffüllfläche

Nutzung: Acker (Gründüngung)
Relief: Mittelhang, unstete Wölbung
Neigung/Exposition: 8° OSO
Bodentyp: Auftragsboden über geringmächtiger Parabraunerde-
Braunerde



ApjY1 (0-25 cm)
Ul3; x2 (Bauschutt, Ziegelbruchstücke); koh, pla; gelbbraun; h1; C1; Ld3-4; Durchwurzelung 3

Y2 (26-49 cm)
Ul3; x2 ; (inhomogenes Material); pla; gelbbraun mamoriert; Rostfleckung; h0; C2 (z.T.C4); Ld3-4; Durchwurzelung 2 (nur entlang Aggregatoberflächen)

Y3 (50-59 cm)
Sl3; x2; ein; braunschwarz; organoleptischer Eindruck; h1; C3; Ld3; Durchwurzelung 0

fAp (60-81 cm)
Ul4; x2; sub; dunkelbraun; h2-3; C0; Ld3; Durchwurzelung 0

Bvt (82-100 cm)
Ul3; x2; sub; braun; h0; C0; Ld3; Durchwurzelung 0

IIcV (>100 cm)
S; x4-5; ein; rötlich; h0; C0; Ld3; Durchwurzelung 0

Referenzboden

Nutzung: Wiese
Relief: Mittelhang, gestreckt
Neigung/Exposition: 8° SO
Bodentyp: Parabraunerde aus Löß



Ap (0-22 cm)
Ul3; x2; krü, sub; dunkelbraun; h3; C0; Ld2; Durchwurzelung 4

Bvt (23-60 cm)
Ul4; x2-3; sub; braun; h0; C0; Ld3 ; Durchwurzelung 3

IIcV (>60 cm)
S; x4-5; ein; rötlich; h0; C0; Durchwurzelung 0

Standort F Renningen

Auffüllfläche

Nutzung: Acker
Relief: Unterhang, konvexe Wölbung
Neigung/Exposition: 6° O
Bodentyp: Auftragsboden aus tonigem Substrat (mit Lößüberdeckung) über Braunerde



Ap (0-25 cm)
Lu; x2; krü, sub; dunkelbraun;
h2; C2-3; Ld4;

jY1 (26-65 cm)
Tu3; x2 ; koh; gelbbraun;
h0; C4; Ld4;

jY2 (66-90 cm)
Tu2; x2; koh; gelb, dunkelgrau;
h0; C4; Ld4

IIbVcV (91-135 cm)
Ls; x4-5; pol; rötlichbraun; h0;
C1; Ld5

Cv (>135 cm)
Ls2; x3; pol; rötlich; h0; Ld5

Referenzboden

Nutzung: Acker
Relief: Unterhang, gestreckt
Neigung/Exposition: 4° SO
Bodentyp: Braunerde



Lt3; x2; krü, sub; dunkelbraun;
h2; C2-3; Ld4;

IIbV (21-33 cm)
Lt2; x2-3; pol; (rötlich-)braun;
h0; C0; Ld4-5

BvCv (>33 cm)
Lt2; x3-4; (pol), pla; rötlich; h0;
C1

Ap (0-20 cm)

Standort G Spraitbach

Auffüllfläche

Nutzung: Acker
Relief: Oberhang, gestreckt
Neigung/Exposition: 3° S
Bodentyp: Braunerde-Pseudogley



(jY)Ap (0-30 cm)
Ls2; x2; krü, koh; braun,
(schwarzbraun); h3; C0; Ld2
(Aushubbrocken:Ld3);
Durchwurzelung 4

SwBv (31-42 cm)
Slu; x2; sub; braun;
Rostfleckung 1; h1; C0; Ld3;
Durchwurzelung 3

IIbVsD (43-63 cm)
Lt2; x2; pol; gelb-rot-braun
marmoriert; Rostfleckung 4;
Bleichung 2; h0; C0; Ld4;
Durchwurzelung 3

Sd (>63 cm)
Lt3; x2-3; pol; rötlichgrau
marmoriert; Rostfleckung 4;
Bleichung 4; h0; C0; Ld4;
Durchwurzelung 2

Referenzboden

Nutzung: Grünland
Relief: Oberhang, gestreckt
Neigung/Exposition: 3° S
Bodentyp: Braunerde-Pseudogley



Su4; x2; krü, sub; dunkelbraun,
h3; C0; Ld2;
Durchwurzelung 4

BvSw (16-30 cm)
Ls; x2-3; sub; braun;
Rostfleckung 2; h0; C0; Ld3-4;
Durchwurzelung 3

IIbVsD (31-52 cm)
Lt3; x2-3; sub, pol; gelb-braun
marmoriert; Rostfleckung 2;
Bleichung 2; h0; C0; Ld3;
Durchwurzelung 2

Sd (53-130 cm)
Lt3; x3; pol; graubraun
marmoriert; Rostfleckung 2;
Bleichung 3-4; h0; C0; Ld3-4;
Durchwurzelung 0

Ap (0-15 cm)

Standort H Korntal

Auffüllfläche

Nutzung: Acker
Relief: Oberhang, konvexe Wölbung
Neigung/Exposition: 8° S
Bodentyp: Auftragsboden aus Lößlehm über vertisolartigem Pelosol



Ap_iY1 (0-25 cm)
Tu3; x1-2; krü, sub; gelbbraun;
h2; C3-4; Ld2-3;
Durchwurzelung 4

Y2 (26-51 cm)
Tu3; x1; sub; gelbbraun;
h2; C4; Ld3;
Durchwurzelung 4

fAp (52-83 cm)
Tu2; x1; pri, pol; schwarzgrau;
h2-3; C4; Ld4-5;
Durchwurzelung 3 (nur entlang
Aggregatoberflächen)

P (84-130 cm)
Tt; x2; pri, pol; dunkelgrau; h1; C0;
Ld5; Durchwurzelung 0

Referenzboden

Nutzung: Acker
Relief: Oberhang, konvexe Wölbung
Neigung/Exposition: 6° S
Bodentyp: vertisolartiger Pelosol



Tu3; x1; pri, pol; Trockenrisse;
schwärzlich, Rostfleckung 1;
h2-3; C3-4; Ld3;
Durchwurzelung 3

PAh (36-55 cm)
Tt; x1 ; pri, pol; schwarzgrau;
h3; C0; Ld5;
Durchwurzelung 2

P (56-90 cm)
Tt; x1; pri, pol; dunkelgrau;
Rostfleckung 3; h0; C0; Ld5;
Durchwurzelung 0

Ap (0-35 cm)

Standort I Tamm

Auffüllfläche

Nutzung: Pferdekoppel

Relief: ehemals Muldenlage; Ebene am Unterhang

Neigung/Exposition: -

Bodentyp: Auftragsboden aus Löß und Keupermaterial über erodierter Parabraunerde



Ap_iY1 (0-20 cm)

Tu4; x1; pla, sub; dunkelbraun;
h1; C4; Ld3-4;
Durchwurzelung 4

Y2 (21-55 cm)

Lts; x4 (kleine Mergelstücke);
pla; grau, z.T. rötlich; h0; C4;
Ld5; Durchwurzelung 2 (entlang
von Trockenrissen)

fAp (56-80 cm)

Ut4; x1; koh, (sub); dunkelbraun;
h2; C0; Ld3-4;
Durchwurzelung 0

Bt1 (81-122 cm)

Tu2; x1; pol; braun; h0; C4; Ld4;
Durchwurzelung 0

Bt2 (123-150 cm)

Tu2; x1; pol; braun; h0; C4; Ld4;
Durchwurzelung 0

Referenzboden

Nutzung: Pferdekoppel

Relief: Unterhang, gestreckt

Neigung/Exposition: 3° ONO

Bodentyp: Parabraunerde



Ap (0-20 cm)

Tu4; x1; krü,sub;dunkelbraun;
h1-2; C0; Ld3-4;
Durchwurzelung 4

Al (21-32 cm)

Tu4; x1;sub, koh; gelblich braun;
h0; C0; Ld3-4;
Durchwurzelung 4

Bt1 (33-60 cm)

Tu2; x1; pol; braun;
Rostfleckung 2; h0; C0; Ld3-4;
Durchwurzelung 2

Bt2Sd (>60 cm)

Tu2; x1; pol; braun;
Rostfleckung 3; h0; C4; Ld4;
Durchwurzelung 0

Standort K Mundelsheim

Auffüllfläche

Nutzung: Weinberg

Relief: Mittelhang, gestreckt

Neigung/Exposition: 8° SO

Bodentyp: Auftragsboden aus Löß über Rigosol



Ap_iY (0-37 cm)

Uu; x3; koh; gelblich braun;
h2; C4-5; Ld3;
Durchwurzelung 0

fR₁ (38-52 cm)

Tu3; x3 (Karbonatgestein,
z.T. große Blöcke); sub;
braun; h2; C3-4; Ld3-4;
Durchwurzelung 0

fR₂ (53-80 cm)

Tu3; x1-2; sub; braun;
h2; C3-4; Ld3-4;
Durchwurzelung 0

IIC_v (81-100 cm)

Lt2; x4-5; koh; gelblich braun;
h0; C4; Durchwurzelung 0

Referenzboden

Nutzung: Weinberg

Relief: Mittelhang, gestreckt

Neigung/Exposition: 8° SO

Bodentyp: Braunerde



Tu3; x1; krü,sub; dunkelbraun;
h3; C2; Ld3;
Durchwurzelung 4

B_v1 (36-70 cm)

Tu3; x1;sub; braun;
Rostfleckung 1; h0; C2;
Ld3; Durchwurzelung 4

B_v2 (71-127 cm)

Tu3; x1; sub, pol; braun;
h0; C2; Ld3-4;
Durchwurzelung 2

C_v (>127 cm)

Ut3; x1; koh; gelblich braun;
h0; C4; Ld3;
Durchwurzelung 0

Ap (0-35 cm)

Standort L Gutach

Auffüllfläche

Nutzung: Grünland
Relief: Muldenförmiges Hangtäälchen
Neigung/Exposition: 4° NO
Bodentyp: Auftragsboden aus lößartigem Material über Bauschutt



Ah (0-8 cm)

Lu; x2; krü; dunkelbraun;
h3; C0; Ld2-3;
Durchwurzelung 4

Y1 (38-52 cm)

Sl4; x3 (Bauschutt, Ziegel,
im Feinmaterial Konkretionen);
sub; braun; Rostfleckung 1;
h1; C0; Ld3;
Durchwurzelung 3

Y2 (53-80 cm)

Lu; x5; C0; Ld4;
Durchwurzelung 2

Referenzboden

Nutzung: Weide
Relief: Mittelhang, unstete Wölbung
Neigung/Exposition: 11° SO
Bodentyp: Im Unterboden vergleyter Hangpseudogley



Ul3; x1; krü,sub; dunkelbraun;
h3-4; C0; Ld1;
Durchwurzelung 4

BvSg (16-26 cm)

Ul3; x1;sub; braun;
Rostfleckung 2; h0; C0;
Ld1; Durchwurzelung 3-4

Sg2 (27-80 cm)

Lu; x1; sub; gräulich;
Rostfleckung 3; Bleichung 4;
h0; C0; Ld2;
Durchwurzelung 3

Go (81-150 cm)

Lu; x1; koh; grau;
Rostfleckung 4; Bleichung 4;
h0; C0; Ld2-3;
Durchwurzelung 2

Ap (0-15 cm)

Standort M Friesenheim

Auffüllfläche

Nutzung: Brache
Relief: Auenlage
Neigung/Exposition: -
Bodentyp: Auftragsboden aus Löss über Auengley (ev. reliktsch)



ApY1 (0-30 cm)
Ut3; x2; sub, pla; gelbbraun; h1;
C4; Ld3; Durchwurzelung 4

Y2 (31-50 cm)
Ut3; x2; pla; bräunlich; h1;
Rostfleckung 2; Bleichung 1;
C4; Ld3; Durchwurzelung 3

fAp (51-72 cm)
Tu3; x1; pol, pri; graubraun;
Rostfleckung 2; h2-3; C0; Ld3;
Durchwurzelung 2

MGo1 (73-110 cm)
Tu3; x1 ; pol, sub; grau; h0;
Rostfleckung 3; Bleichung 4;
C0; Ld4; Durchwurzelung 0

MGo2 (111-148 cm)
Us1; x1 ; sub; hellgrau;
Rostfleckung 3; Bleichung 4;
h0; C4-5; Ld4;
Durchwurzelung 0

MGr (>148 cm)
x5-6 ; Bleichung 6

Referenzboden

Nutzung: Grünland
Relief: Auenlage
Neigung/Exposition: -
Bodentyp: Brauner Auengley (ev. reliktsch)



Tu3; x1; pol; dunkelbraun;
Rostfleckung 2; h3-4; C0;
Ld3; Durchwurzelung 4

MGo (26-60 cm)
Tu3; x1; pol, pri; graubraun;
Rostfleckung 3; Bleichung 3;
h0; C0; Ld3;
Durchwurzelung 3

Go (61-105 cm)
Us; x1; koh; grau;
Rostfleckung 4; Bleichung 4;
h0; C4-5; Ld3;
Durchwurzelung 0

Gr (106-150 cm)
Us; x1; koh; grau;
Rostfleckung 2; Bleichung 6;
h0; C4-5; Ld3;
Durchwurzelung 0

Ap (0-25 cm)

Standort N Rheinau-Memprechtshofen

Auffüllfläche

Nutzung: Acker
Relief: Auenlage
Neigung/Exposition: -
Bodentyp: Auftragsboden aus Löß über Auengley (ev. reliktsch)



jY1Ap (0-32 cm)
Slu; x2; sub; braun; h2; C4; Ld3;
Durchwurzelung 4

jY2 (33-54 cm)
Slu; x2; Koh, sub; braun; h2;
Rostfleckung 1; Bleichung 1;
C4; Ld3; Durchwurzelung 2-3

fAp (55-60 cm)
Ls2; x1-2; sub; graubraun; h2
Rostfleckung 3; Bleichung 1-2;
C1-2; Ld3; Durchwurzelung 2

MGo (61-83 cm)
Tu3; x2 ;koh; dunkelgrau; h1;
Rostfleckung 2; Bleichung 1;
C0; Ld3; Durchwurzelung 0

Go (84-102 cm)
Lt2; x2 ; koh; hellgrau; h1;
Rostfleckung 4; Bleichung 4;
C0; Ld4; Durchwurzelung 0

Gro (103-132 cm)
Lt2; x2; koh; grau; h1; C0; Ld4;
Rostfleckung 4; Bleichung 4

Gr (>132 cm)
S; x4; ein; grau; h4; C0; Ld3;
Rostfleckung 2; Bleichung 6

Referenzboden

Nutzung: Acker (Grünbrache)
Relief: Auenlage
Neigung/Exposition: -
Bodentyp: Auengley (ev. reliktsch)



Ap (0-25 cm)
Lus; x1; sub; dunkelbraun;
Rostfleckung 1; h3; C0;
Ld3; Durchwurzelung 4

MGo (26-56 cm)
Lt3; x1;pol; hellgrau;
Rostfleckung 4; Bleichung 4;
h0; C0; Ld4;
Durchwurzelung 3

Go2 (57-91 cm)
Lt3; x2; pol; grau;
Rostfleckung 4; Bleichung 4;
h0; C0; Ld4;
Durchwurzelung 2

Gor (>92 cm)
Sl; x3-4; koh; grau;
Rostfleckung 2; Bleichung 4;
h0; C0; Ld3;
Durchwurzelung 0