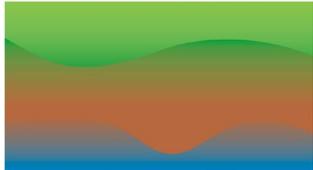


Kenngrößen des Bodenwasserhaushaltes ausgewählter Substrate der BZE II

Abschlussbericht

Bremen und Finsterwalde, September 2008

DR. HEINKELE



BODENCONSULT

Am Dobben 126

28203 Bremen

Tel.: ++49-421-4608501

e-mail: heinkele@bodenconsult.de

Gegenstand des Vorhabens: Erhebung von Kenngrößen des Bodenwasserhaushaltes ausgewählter Substrate der BZE II zur Gewinnung bundeseigener bodenphysikalischer Datensätze für Test- und Entwicklungszwecke

Auftraggeber: Bundesrepublik Deutschland, vertreten durch das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, vertreten durch die Bundesforschungsanstalt für Forst und Holzwirtschaft, Leuschnerstraße 91, 21031 Hamburg

Erfüllungsort, Empfänger: Johann Heinrich von Thünen-Institut, Institut für Waldökologie und Waldinventuren, Alfred-Möller-Straße 1, 16225 Eberswalde

Fachliche Betreuung: Dr. S. Schobel, Johann Heinrich von Thünen-Institut, Institut für Waldökologie und Waldinventuren, Alfred-Möller-Straße 1, 16225 Eberswalde

Auftragnehmer: Dr. Heinkele Bodenconsult, Am Dobben 126, 28203 Bremen (Projektkoordination, Geländearbeiten, Datenauswertung, Berichterstattung)

Unterauftragnehmer: Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften, Brauhausweg 2, 03828 Finsterwalde (bodenphysikalische Laboruntersuchungen)

Bearbeiter: Dr. Thomas Heinkele (Koordination, Geländearbeiten, Datenauswertung, Berichterstattung)
Jens Rose, Andrea Krämer und Wiebke Grewe (Mitwirkung bei Geländearbeiten, Datenauswertung)
Klaus Sawinski, Ramona Wilks und Antje Lindner (bodenphysikalische Laboruntersuchungen)

Bearbeitungszeitraum: März bis September 2008

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1 Veranlassung und Zielsetzung	1
1.2 Untersuchungsgegenstand und -umfang	1
2. Untersuchungsmethoden	1
2.1 Geländeuntersuchungen	1
2.1.1 Feldbodenkundliche Standortcharakterisierung.....	1
2.1.2 Bodenprobennahme.....	1
2.2 Laboruntersuchungen	3
2.2.1 Probenvorbereitung	3
2.2.2 Textur	4
2.2.3 Gesättigte Wasserleitfähigkeit.....	4
2.2.4 Bestimmung der Trockenrohddichte.....	4
2.2.5 Bestimmung der Wasserretentionskurve (pF-Kurve)	4
1. Untersuchungsergebnisse	6
3.1 Geländeuntersuchungen	6
3.2 Bodenphysikalische Kennzeichnung.....	9
3.2.1 Korngrößenverteilung	9
3.2.2 kF-Werte.....	11
3.2.3 Trockenrohddichten	13
3.2.4 Porengrößenverteilung	14
3.2.5 Skelettgehalte in den Stechzylindern	19
2. Literaturverzeichnis.....	21

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1: Die Beprobung der Stechzylinder erfolgt auf einem ausreichend breiten, horizontalen Planum; das Foto zeigt die Stechzylinder unmittelbar vor der Beprobung im Tiefenbereich 10 – 30 cm am Standort 140006	2
Abbildung 2: präparierte und für den Abtransport vorbereitete Stechzylinder; Standort 140005.....	3
Abbildung 3: Apparatur zur Bestimmung der pF/WG-Beziehung	6

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1: zusammenfassende Ergebnisse der Geländeansprache und Beprobung	6
Tabelle 2: Korngrößenverteilungen der untersuchten Profile	9
Tabelle 3: Mittelwerte und Standardabweichungen der gesättigten Wasserleitfähigkeit	11
Tabelle 4: Mittelwerte und Standardabweichungen der Trockenrohddichte	13
Tabelle 5: Mittelwerte und Standardabweichungen der Porengrößenverteilung (Erläuterung siehe Text).....	16
Tabelle 6: Mittelwerte und Standardabweichungen der in den Stechzylindern vorliegenden Skelettgehalte sowie der Skelettgehalte der gestörten Probennahme.....	19

1. Einleitung

1.1 Veranlassung und Zielsetzung

Die zweite Bodenzustandserhebung im Wald erhebt als Stichprobeninventur den Zustand der Waldböden auf dem gesamten Gebiet der Bundesrepublik Deutschland anhand von ca. 1.900 Beprobungspunkten. Um eine Bewertung der Waldböden für den Stoff- und Wasserhaushalt ableiten zu können, sind Kenntnisse der den Bodenwasserhaushalt maßgeblich prägenden bodenphysikalischen Eigenschaften unerlässlich. Eine analytische Bestimmung bodenphysikalischer Kennwerte erfordert jedoch einen so hohen Untersuchungsaufwand im Gelände und Labor, dass entsprechende Untersuchungen im Rahmen der BZE II aufgrund begrenzter finanzieller und zeitlicher Ressourcen lediglich exemplarisch erfolgen können.

1.2 Untersuchungsgegenstand und -umfang

Im Rahmen der hier vorliegenden Untersuchungen wurden charakteristische Bodenausgangssubstrate bodenphysikalisch näher gekennzeichnet. Dazu sollten 30 BZE-Standorte, die über die gesamte Bundesrepublik verteilt sind in jeweils 2 Tiefenstufen (10 – 30 cm und 60 – 90 cm) beprobt und die Proben den in Kap. 2.2 dargestellten Untersuchungen unterzogen werden. Bei der Beprobung der beiden Tiefenbereiche sollten nach Möglichkeit unterschiedliche Substrate und Korngrößenverteilungen berücksichtigt werden.

Bei der Geländearbeit wurden die Kap. 2.1.1 genannten Merkmale feldbodenkundlich aufgenommen.

2. Untersuchungsmethoden

2.1 Geländeuntersuchungen

2.1.1 Feldbodenkundliche Standortcharakterisierung

Die feldbodenkundliche Ansprache erfolgte an Bodenprofilgruben. Die folgenden Parameter wurden gekennzeichnet:

- Horizontierung und Schichtung des Bodens, Bodenart mit der Fingerprobe, Schätzung des Grobbodenanteils nach „Arbeitsanleitung für die bundesweite Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II)“ (BMELV, 2007)
- Bodenausgangssubstrate nach Tab. IV-23 der „Arbeitsanleitung für die bundesweite Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II)“ (BMELV, 2007)
- Fotodokumentation des Profils nach Kap. IV – 1.3 der „Arbeitsanleitung für die bundesweite Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II)“ (BMELV, 2007)

2.1.2 Bodenprobennahme

Für die Bestimmung der Saugspannung - Wassergehaltsbeziehung und die Bestimmung der gesättigten Wasserleitfähigkeit wurden in jeder Beprobungstiefe jeweils 6 Stechzylinder mit 100 cm³ Inhalt entnommen, pro Profil entsprechend 24 Stechzylinder. Für die Entnahme die-

ser ungestörten Proben wurden im rechten Winkel zur Profilwand in den entsprechenden Entnahmetiefen horizontale Flächen präpariert, auf denen die Stechzylinder mittels Schlaghaube und Hammer eingetrieben wurden (siehe Foto der Abbildung 1).



Abbildung 1: Die Beprobung der Stechzylinder erfolgt auf einem ausreichend breiten, horizontalen Planum; das Foto zeigt die Stechzylinder unmittelbar vor der Beprobung im Tiefenbereich 10 – 30 cm am Standort 140006

Anschließend wurden die Stechzylinder vorsichtig mit Schaufel und Spachtel herauspräpariert und mit einem Messer an der Ober- und Unterseite jeweils exakt abgeschnitten (siehe Foto der Abbildung 2). Bei Beschädigung einer Probe durch Grobwurzeln oder Grobskelett (i.d.R. Partikel > 20 mm) wurde die Beprobung des entsprechenden Stechzylinders wiederholt. Auffälligkeiten bei der Probennahme (z.B. das Auftreten von Grobporen, Wurzelbahnen etc.) wurden vermerkt. Der Probentransport erfolgte in dicht verschlossenen Stechzylindern, die zur Minimierung von Erschütterungen auf dicken Schaumstoffmatten gelagert wurden.

In den Beprobungstiefen der Stechzylinderbeprobung wurden zusätzlich gestörte Proben zur Bestimmung der Korngrößenverteilung entnommen.



Abbildung 2: präparierte und für den Abtransport vorbereitete Stechzylinder; Standort 140005

2.2 Laboruntersuchungen

2.2.1 Probenvorbereitung

Die Probenvorbereitung erfolgte im Wesentlichen nach der DIN ISO 11464. Dabei wurden folgende Schritte durchgeführt:

Nach Abschnitt 5.5.2 der DIN wurden die Proben einzeln manuell homogenisiert, wobei die klumpigen Anteile von Hand zerkleinert wurden. Anschließend erfolgte die manuelle Teilung jeder Probe (Viertelung). Ein Viertel wurde kühl und feucht aufbewahrt, um später die Bestimmung des Wassergehaltes bei einer Saugspannung von pF 4,2 durchzuführen.

Der Rest der Probe wurde getrocknet. Dabei kamen zwei Verfahren zur Anwendung. Die Trocknung der sandigen Proben erfolgte nach Abschnitt 5.3.3 (Ofentrocknung bei 40°C) und die Trocknung der bindigen Proben nach Abschnitt 5.3.4 (Gefriertrocknung bis ca. -45°C, Vakuum) auf einer Anlage der Firma Edwards. Die trockenen Proben wurden gewogen. Im Anschluss wurde der Skelettanteil mit Korngrößen über 2mm vom Feinboden mittels Siebung abgetrennt (die Siebe unterliegen der Prüfmittelüberwachung). Zur weiteren Teilung der Proben wurde ein Riffelteiler eingesetzt. Die so vorbereiteten Proben wurden in PE-Flaschen abgefüllt.

2.2.2 Textur

Die Texturanalyse erfolgt nach der DIN 19683-2. Diese DIN-Vorschrift beinhaltet eine kombinierte Schlämm- und Siebanalyse nach Zerstörung der organischen Substanz durch Zugabe von Wasserstoffperoxid. Um die Gewichtsverluste durch die Zerstörung der organischen Substanz bei der Berechnung auszugleichen wurden die Restfeuchte und der Glühverlust separat bestimmt. In Abweichung von der DIN erfolgte die Bestimmung der Anteile der Grobschluff-Fraktion durch Nasssiegung. Zur Qualitätssicherung wurde in regelmäßigen Abständen ein Laborstandard analysiert und alle Texturbestimmungen erfolgten mittels unabhängiger Doppelbestimmung. Die Siebe unterliegen der Prüfmittelüberwachung. Zur Siebung wurde die Maschine VE 1000 der Firma Retsch eingesetzt.

Zusätzlich erfolgte bei karbonathaltigen Proben eine Karbonatzerstörung mittels Salzsäure. Die Salzsäure wurde dann durch Waschen und Zentrifugieren entfernt, bis der Überstand eine Leitfähigkeit $< 400\mu\text{S}/\text{cm}$ erreicht hatte. Dieses Verfahren ist im „Handbuch Forstliche Analytik“ unter A 2.5 beschrieben.

2.2.3 Gesättigte Wasserleitfähigkeit

Durch die ungestörte Bodenprobe (100 ccm Stechring) wird bei gleichbleibender hydraulischer Druckhöhendifferenz Wasser gesaugt und die Durchflussmenge pro 30 min bestimmt. Dieses Vorgehen entspricht dem Verfahren nach DIN 19683-9, Punkt 5.3.2.

Die Stechzylinderproben wurden entsprechend der DIN vorbereitet (mit Gaze verschlossen, mit Wasser gesättigt und vorsichtig leicht überstaut). Die stationäre Strömung in der Anlage entspricht der Abbildung A2 (DIN 19683-9 Seite 5 – Fließrichtung vertikal aufwärts). Die Stechringe wurden grundsätzlich mit der Schneidkante nach oben eingesetzt, so dass der Wasserfluss der Sickerichtung entsprach. Die hydraulische Druckhöhendifferenz wurde mittels Mariotte'scher Flasche konstant gehalten.

2.2.4 Bestimmung der Trockenrohddichte

Die Bestimmung der Trockenrohddichte erfolgte nach der DIN ISO 11272 (Ersatz für DIN 19683-12). Dazu wurden die Stechringe aus der Bestimmung der Wasserretentionskurve benutzt. Die Ringe wurden bei 105°C im Wärmeschrank getrocknet und anschließend das Gesamtgewicht und das dazugehörige Leergewicht der Probe bestimmt.

2.2.5 Bestimmung der Wasserretentionskurve (pF-Kurve)

Zusammenfassung

Die Bestimmung erfolgte nach der DIN ISO 11272. Nasse Volumenproben (Stechringe 100 ccm) werden stufenweise entwässert. Der jeweilige Wasserverlust wird nach Einstellung des Gleichgewichtes durch Wägung ermittelt. Dabei wurde für die Entwässerung im Bereich pF 0

bis pF 1,8 ein Sandsaugtisch der Firma Eijkelkamp verwendet. Im Bereich von pF 2,0 bis 2,8 wurden der Druckplattenextraktor und keramische Platten der Firma Eijkelkamp eingesetzt (siehe DIN 11272, Abbildungen Bild 2, A1 und A2). Das gleiche Verfahrensprinzip wurde bei der Bestimmung des Wassergehaltes bei einer Saugspannung von pF 4,2 angewendet. Hierzu wurden allerdings keine Strukturproben, sondern homogenisierte feldfrische Proben verwendet.

Bestimmung der Wassergehalte bis pF 1,8

Die Vorgehensweise entsprach dem Abschnitt 5 der DIN ISO 11272.

Die Stechringproben wurden kapillar gesättigt (sehr große Poren sind dann nicht mit Wasser gefüllt). Nach entsprechender Zeit (abhängig vom Feuchtigkeitszustand der Proben) wurde der Unterdruck im Sandbad auf pF 0 eingestellt. Die Stechringe wurden dann nach ca. 5 weiteren Tagen gewogen. Mittels hängender Wassersäule wurde dann die nächste Saugspannung eingestellt. Der Wasserverlust wurde durch Wägung ermittelt. Ist die Wasserabgabe innerhalb von 24 h geringer als 0,2 ml je Probe, so kann davon ausgegangen werden, dass sich das neue Gleichgewicht eingestellt hat. Durch weiteres Absenken des Ausgleichgefäßes wurde die Bestimmung fortgesetzt. Nach Erreichen des Gleichgewichts bei der Stufe pF 1,8 und Wägung wird die Bestimmung im Druckplattenextraktor fortgesetzt.

Bestimmung der pF-Werte bis pF 3,0

Die Vorgehensweise entspricht dem Abschnitt 7 der DIN ISO 11272.

Hierzu wurden die Stechringproben aus der Bestimmung vom Sandsaugtisch weiter genutzt. Die Ermittlung der Wassergehalte nach Gleichgewichtseinstellung erfolgte wiederum mittels Wägung. Nach Einstellung des Gleichgewichts der letzten Druckstufe wurden die Stechringe bei 105°C getrocknet, die Gesamtprobe gewogen und anschließend das Leergewicht der Stechringe ermittelt. Durch Zurückrechnen der abgegebenen Wassermengen erhält man die Wassergehalte bei den entsprechenden Saugspannungen. Aus der abschließenden Wägung der trockenen Probe ergibt sich die Trockenrohddichte der ungestörten Stechringprobe.

Bestimmung des Wassergehaltes bei pF 4,2

Zur Bestimmung des Wassergehaltes bei einer Saugspannung von pF 4,2 wurden die homogenisierten feldfrischen Proben genutzt (vgl. Probenvorbereitung). Die Proben wurde in flache Ringe (max. 10 mm hoch) gefüllt, mit Wasser ca. 24 h überstaut und dann in den Druckplattenextraktor gebracht. Nach 5 Tagen (bis der Wasserablauf zum Erliegen gekommen ist) wurde die verbliebene Wassermenge durch Trocknung bei 105 °C bestimmt. Die Berechnung der Volumenprozent erfolgte durch Multiplikation der Wassermengen (Gew.-%) mit dem Mittelwert der Trockenrohddichte der entsprechenden Stechringproben.

Bestimmung des Skelettgehaltes der Stechringe

Nach der Trocknung und Wägung der Stechringproben am Ende der Ermittlung der pF-WG-Beziehung wurden die Proben aus den Stechringen entfernt und vollständig auf ein Analysensieb mit der Maschenweite 2 mm aufgebracht. Die Trennung des Skeletts erfolgte dann mittels nasser manueller Handsiebung. Die Teilchen >2 mm wurden bei 105°C im Wärmeschrank getrocknet und ihre Masse anschließend mittels Wägung ermittelt.



Abbildung 3: Apparatur zur Bestimmung der pF/WG-Beziehung

3. Untersuchungsergebnisse

3.1 Geländeuntersuchungen

Die Ergebnisse der Geländearbeiten (Profilsprachen, Probennahme) sind in der Tabelle 1 in allgemeiner, zusammenfassender Form dokumentiert. Einzelergebnisse werden in den Tabellen „Tab-MGH.xls“, „Tab-MBP.xls“, „Tab-Profil-gesamt.xls“ berichtet (siehe beigefügte CD-Rom)

Tabelle 1: zusammenfassende Ergebnisse der Geländeansprache und Beprobung

Standort (BFH- Nummer)	Bodenart (Fingerprobe)		Ausgangsgestein	Bodentyp	Besonderheiten, Bemerkungen zur Probenahme
	obere Beprobungstiefe	untere Beprobungstiefe			
30002	Ut4	Tu2	Lösslehm über Verwitterungslehm	BB-LL	vertikale Makroporen bei allen Proben
30024	Ut3	Lu	Lösslehm- Sandstein- Fließerde	SS	
30055	Ut4	Lu	Lösslehm- Fließerde	LL-BB	vertikale Makroporen

Standort (BFH- Nummer)	Bodenart (Fingerprobe)		Ausgangsgestein	Bodentyp	Besonderheiten, Bemerkungen zur Probenahme
	obere Beprobungstiefe	untere Beprobungstiefe			
30131	Sl2	Tt	Geschiebedecksand über marinem Ton	SS-PP	
30164	Uu	Ut3	Lösslehm	p2LL-SS	
30504	mSfs	mSfs	Dünensand	PP-YU	
30622	Uls	Uls	Geschiebedecksand	BB	vertikale Makroporen in 10- 30 cm
50045	Ut3	Lu	Löss über Lösslehm- Fließerde	p2LL-SS	vertikale Makroporen bis 30 cm
50051	Sl4	Lts	Geschiebedecklehm	SS	vertikale Makroporen und Grobwurzeln
50077	Ltu	Lt3	Geschiebelehm über Kalkmergel	BB-SS	alle Proben stark durchwurzelt, zahlreiche Grobwurzeln und Makroporen, Proben wassergesättigt, annähernd plastisch, stark schmierend
50177	Lu	Tu4	Lösslehm- Fließerde	SS	Wurzelbahnen und Makroporen, alle Proben bei Entnahme annähernd pastös, Beprobung > 50 cm wegen Wassersättigung nicht sinnvoll
50127	Ut3	Ut4	Lösslehm	SS-LL	bis 30 cm stark durchwurzelt
50134	Lu	Tu4	Lösslehm- Fließerde über Kalkstein	SS-BB	vertikale Makroporen, Beprobung > 40 cm aufgrund hoher Steingehalte nicht möglich, ersatzweise 32- 37 cm beprobt
70005	Ut4	Tt	Lösslehm- Fließerde	BB-SS	
70006	Ut2	Ut4	Lösslehm- Ton-schiefer- Fließerde	SS-BB	
70015	Ut3	Tu4	Tuff- Lösslehm- Fließerde	BB	stark durchwurzelt, vertikale Makroporen
70050	Ut3	Tu4	Lösslehm- Sandstein- Fließerde	BB-SS	untere Probenahme wegen hoher Skelettgehalte schwierig
70070	Lu	Tu3	Lösslehm- Sandstein- Fließerde	BB-SS	Substrat bei der Beprobung wassergesättigt
70078	Lu	Ut3	Lösslehm- Sandstein- Fließerde	SS-BB	

Standort (BFH- Nummer)	Bodenart (Fingerprobe)		Ausgangsgestein	Bodentyp	Besonderheiten, Bemerkungen zur Probenahme
	obere Beprobungstiefe	untere Beprobungstiefe			
70098	Ut4	Tu3	Lösslehm	BB	
140005	Ls3	Lt2	Geschiebedecklehm	SS	vertikale Makroporen
140006	fS	fS	Schmelzwassersand	PP-rGG	Grobwurzeln und vertikale Makroporen bis 30 cm
140007	Sl4	Ls3	Geschiebedecksand über Geschiebelehm	p2SS	
140054	Ut2	Ut3	Lösslehm	p2SS	vertikale Makroporen und Grobwurzeln bis 30 cm, Beprobung > 45 cm nicht sinnvoll, da wassergesättigt, ersatzweise 40-45 cm beprobt
140056	Ut4	Ut4	Lösslehm	BB-SS	
140067	Ut2	Ls3	Lösslehm über Geschiebelehm	SS	bis 30 cm vertikale Makroporen und zahlreiche Grobwurzeln, in der unteren Beprobungstiefe sind die Skelettgehalte stark schwankend und für eine ungestörte Probennahme kritisch hoch
140102	fSms		Flussablagerungen	p2GG	GW 37 in cm anstehend, Material ab 30 cm pastös, daher keine Probenahme der unteren Beprobungstiefe
140254	Uls	mSgs	Geschiebedecksand über Schmelzwassersand	BB	Grobwurzeln, vertikale Makroporen und stark schwankende Humusgehalte bis 30 cm, ab 45 cm zahlreiche Flecken mit Sl4
150022	Ut2	Ut4	Löss	LL	bis 30 cm Grobwurzeln und vertikale Makroporen
150023	Ut4	Tu4	Lösslehm-Tonschiefer-Fließerde	LL	vertikale Makroporen und Grobwurzeln bis 30 cm

3.2 Bodenphysikalische Kennzeichnung

3.2.1 Korngrößenverteilung

Die Korngrößenverteilungen der untersuchten Profile sind in zusammenfassender Form (Skelettgehalt, Summe Sand, Summe Schluff, Ton sowie Bodenart) in der Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Korngrößenverteilungen der untersuchten Profile

BFH- Nummer	Beprobungs- tiefe (cm)	Skelettgehalt (%)	Summe Sand (%)	Summe Schluff (%)	Summe Ton (%)	Bodenart
30002	17 – 22	<0,1	2	76	22	Ut4
30002	60 - 65	<0,1	2	46	52	Tu2
30024	17 – 22	1,4	9	75	16	Ut3
30024	62 - 67	14,3	14	60	26	Lu
30055	17 – 22	11,1	7	78	15	Ut3
30055	67 - 72	5,4	7	75	18	Ut4
30131	17 – 22	2,7	74	21	5	Sl2
30131	70 – 75	1,2	19	46	35	Lt3
30164	17 – 22	<0,1	6	85	9	Ut2
30164	75 – 80	<0,1	9	81	10	Ut2
30504	17 – 22	<0,1	95	3	2	mSfs
30504	72 – 77	<0,1	99	0	1	mSfs
30622	17 – 22	1,7	25	67	8	Ut2
30622	67 – 72	2,4	19	72	9	Ut2
50045	17 – 22	0,4	8	72	20	Ut4
50045	60 – 65	<0,1	21	42	37	Lt3
50051	17 – 22	0,3	56	30	14	Sl4
50051	62 - 67	<0,1	33	25	42	Lts
50077	15 – 20	<0,1	21	37	42	Lt3
50077	30 - 35	<0,1	19	27	54	Tl
50117	10 – 15	0,4	4	84	12	Ut3
50117	42 – 47	0,2	4	79	17	Ut4
50127	18 – 23	<0,1	4	82	14	Ut3
50127	72 - 77	<0,1	4	81	15	Ut3
50134	15 - 20	<0,1	4	74	22	Ut4
50134	32 – 37	0,1	11	77	12	Ut3

BFH- Nummer	Beprobungs- tiefe (cm)	Skelettgehalt (%)	Summe Sand (%)	Summe Schluff (%)	Summe Ton (%)	Bodenart
70005	17 – 22	9,2	9	52	39	Tu3
70005	60 – 65	0,2	15	53	32	Tu3
70006	17 – 22	34,6	23	45	32	Lt2
70006	60 – 65	18,2	27	47	26	Lt2
70015	17 -22	2,3	19	63	18	Lu
70015	80 – 85	0,6	6	76	18	Ut4
70050	17 – 22	17,6	14	54	32	Tu3
70050	50 – 55	19,8	17	55	28	Lu
70070	15 – 20	7,5	16	62	22	Lu
70070	62 – 67	4,2	9	49	42	Lt3
70078	15 – 20	19,9	26	50	24	Lu
70078	62 – 67	12,2	27	48	25	Lt2
70098	10 – 15	1	7	50	43	Tu3
70098	68 – 73	3,1	14	51	35	Tu3
140005	15 – 20	3,2	55	16	29	Lts
140005	60 – 65	3,0	50	14	36	Ts3
140006	17 – 22	<0,1	95	3	2	mSfs
140006	70 – 75	<0,1	99	0	1	mSfs
140007	20 – 25	18	63	23	14	Sl4
140007	62 - 67	10,8	61	17	22	Ls4
140054	10 – 15	0,2	5	79	16	Ut3
140054	40 – 45	0,1	1	76	23	Ut4
140056	22 – 27	3,9	19	59	22	Lu
140056	65 - 70	2,7	20	58	22	Lu
140067	17 – 22	5,6	27	63	10	Uls
140067	62 – 67	11,1	36	40	24	Ls2
140102	10 – 15	0,2	97	1	2	mSfs
140254	25 – 30	9,8	36	52	12	Uls
140254	72 – 77	9,1	75	13	12	Sl4
150022	20 – 25	<0,1	1	88	11	Ut2
150022	72 – 77	<0,1	1	72	27	Tu4
150023	17 – 22	2,8	5	81	14	Ut3
150023	72 - 77	4,6	8	67	25	Tu4

3.2.2 kF-Werte

Die Mittelwerte sowie Standardabweichungen der gesättigten Wasserleitfähigkeit (kF-Wert) der jeweils sechs Einzelproben eines jeden Profils und beprobten Tiefenbereiches sind in der Tabelle 3 zusammengefasst.

Tabelle 3: Mittelwerte und Standardabweichungen der gesättigten Wasserleitfähigkeit

BFH- Nummer	Beprobungs- tiefe (cm)	Mittelwert der gesättigten Wasserleitfähigkeit (cm/d)	Standardabweichung der gesättigten Wasserleitfähigkeit (cm/d)
30002	17 – 22	131	125
30002	60 - 65	819	1625
30024	17 – 22	2	1
30024	62 - 67	36	53
30055	17 – 22	659	396
30055	67 - 72	4	2
30131	17 – 22	11	3
30131	70 – 75	47	79
30164	17 – 22	4,8	3
30164	75 – 80	11	3
30504	17 – 22	1335	122
30504	72 – 77	659	396
30622	17 – 22	325	315
30622	67 – 72	222	332
50045	17 – 22	37	58
50045	60 – 65	96	69
50051	17 – 22	22	22
50051	62 - 67	2	1
50077	15 – 20	21	28
50077	30 - 35	1478	2804
50117	10 – 15	313	385
50117	42 – 47	1063	567
50127	18 – 23	103	213
50127	72 - 77	139	129
50134	15 - 20	312	420
50134	32 – 37	134	157
70005	17 – 22	22	27
70005	60 – 65	694	463

BFH- Nummer	Beprobungs- tiefe (cm)	Mittelwert der gesättigten Wasserleitfähigkeit (cm/d)	Standardabweichung der gesättigten Wasserleitfähigkeit (cm/d)
70006	17 – 22	99	157
70006	60 – 65	1527	869
70015	17 -22	469	633
70015	80 – 85	931	493
70050	17 – 22	301	259
70050	50 – 55	17	8
70070	15 – 20	141	227
70070	62 – 67	855	959
70078	15 – 20	653	1541
70078	62 – 67	1476	732
70098	10 – 15	24	38
70098	68 – 73	1069	1460
140005	15 – 20	246	525
140005	60 – 65	2783	1178
140006	17 – 22	1635	240
140006	70 – 75	441	421
140007	20 – 25	92	101
140007	62 - 67	23	10
140054	10 – 15	18	32
140054	40 – 45	1927	4474
140056	22 – 27	26	43
140056	65 - 70	160	176
140067	17 – 22	129	170
140067	62 – 67	400	386
140102	10 – 15	1053	2078
140254	25 – 30	102	90
140254	72 – 77	339	576
150022	20 – 25	22	30
150022	72 – 77	2656	4888
150023	17 – 22	438	677
150023	72 - 77	131	125

3.2.3 Trockenrohdichten

Die Mittelwerte sowie Standardabweichungen der Trockenrohdichten (TRD) der jeweils sechs Einzelproben eines jeden Profils und beprobten Tiefenbereiches sind in der Tabelle 4 zusammengefasst.

Tabelle 4: Mittelwerte und Standardabweichungen der Trockenrohdichte

BFH- Nummer	Beprobungs- tiefe (cm)	Mittelwert der Trockenroh- dichten ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	Standardabweichung der Trocken- rohdichten ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)
30002	17 – 22	1,44	0,04
30002	60 - 65	1,34	0,06
30024	17 – 22	1,61	0,05
30024	62 - 67	1,63	0,09
30055	17 – 22	1,26	0,09
30055	67 - 72	1,65	0,10
30131	17 – 22	1,60	0,07
30131	70 – 75	1,41	0,04
30164	17 – 22	1,32	0,09
30164	75 – 80	1,59	0,08
30504	17 – 22	1,35	0,07
30504	72 – 77	1,58	0,04
30622	17 – 22	1,10	0,06
30622	67 – 72	1,40	0,08
50045	17 – 22	1,40	0,08
50045	60 – 65	1,22	0,14
50051	17 – 22	1,57	0,02
50051	62 - 67	1,50	0,04
50077	15 – 20	1,04	0,04
50077	30 - 35	1,23	0,08
50117	10 – 15	1,37	0,08
50117	42 – 47	1,55	0,05
50127	18 – 23	1,15	0,05
50127	72 - 77	1,55	0,02
50134	15 - 20	1,42	0,04
50134	32 – 37	1,42	0,03
70005	17 – 22	1,47	0,07
70005	60 – 65	1,66	0,07
70006	17 – 22	1,24	0,06

BFH- Nummer	Beprobungs- tiefe (cm)	Mittelwert der Trockenroh- dichten ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	Standardabweichung der Trocken- rohdichten ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)
70006	60 – 65	1,46	0,03
70015	17 -22	0,86	0,07
70015	80 – 85	1,67	0,08
70050	17 – 22	1,28	0,09
70050	50 – 55	1,66	0,06
70070	15 – 20	1,36	0,08
70070	62 – 67	1,59	0,11
70078	15 – 20	1,25	0,07
70078	62 – 67	1,63	0,03
70098	10 – 15	1,28	0,09
70098	68 – 73	1,66	0,06
140005	15 – 20	1,51	0,05
140005	60 – 65	1,46	0,07
140006	17 – 22	1,47	0,05
140006	70 – 75	1,62	0,03
140007	20 – 25	1,84	0,07
140007	62 - 67	1,86	0,06
140054	10 – 15	1,53	0,08
140054	40 – 45	1,52	0,06
140056	22 – 27	1,10	0,04
140056	65 - 70	1,59	0,06
140067	17 – 22	1,41	0,05
140067	62 – 67	1,83	0,06
140102	10 – 15	1,70	0,04
140254	25 – 30	1,47	0,09
140254	72 – 77	1,78	0,10
150022	20 – 25	1,33	0,05
150022	72 – 77	1,56	0,04
150023	17 – 22	1,32	0,10
150023	72 - 77	1,61	0,05

3.2.4 Porengrößenverteilung

Die Mittelwerte (MW) sowie Standardabweichungen (STD) der Porenvolumen, differenziert für Gesamtporenvolumen (GPV), weite Grobporen (wGP), enge Grobporen (eGP), Mittelpo-

ren (MP) und Feinporen (FP) der jeweils sechs Einzelproben eines jeden Profils und beprobten Tiefenbereiches sind in der Tabelle 5 zusammengefasst.

Tabelle 5: Mittelwerte und Standardabweichungen der Porengrößenverteilung (Erläuterung siehe Text)

BFH- Nummer	Beprobungs- tiefe (cm)	MW GPV (%)	STD GPV (%)	MW wGP (%)	STD wGP (%)	MW eGP (%)	STD eGP (%)	MW MP (%)	STD MP (%)	MW FP (%)	STD FP (%)
30002	17 – 22	43,2	1,2	5,34	0,66	4,00	0,80	14,60	1,00	19,20	0,50
30002	60 - 65	51,1	2,3	3,79	1,16	1,69	0,37	10,61	3,56	34,96	1,50
30024	17 – 22	38,9	1,1	3,22	0,25	3,12	0,35	19,25	1,46	13,30	0,39
30024	62 - 67	38,8	1,9	3,80	1,09	2,07	0,28	8,72	1,28	24,24	1,31
30055	17 – 22	46,3	1,8	10,96	1,91	5,10	0,94	18,67	2,32	11,59	0,79
30055	67 - 72	37,6	2,0	3,57	0,86	2,47	0,42	16,53	2,15	15,06	0,94
30131	17 – 22	33,5	3,8	11,88	1,48	5,79	1,01	10,73	2,65	5,10	0,22
30131	70 – 75	45,3	1,1	2,80	0,51	4,32	0,43	10,06	1,61	28,13	0,79
30164	17 – 22	47,9	1,7	9,74	2,00	13,12	2,25	14,50	1,89	10,52	0,72
30164	75 – 80	40,2	1,9	3,67	0,53	4,17	0,54	20,94	2,36	11,39	0,59
30504	17 – 22	41,9	1,7	28,03	3,11	3,76	1,82	6,39	2,75	3,69	0,19
30504	72 – 77	30,8	2,7	25,64	2,48	1,75	0,66	2,37	0,39	1,00	0,03
30622	17 – 22	56,0	1,1	16,13	2,38	10,47	0,70	19,84	2,06	9,55	0,54
30622	67 – 72	44,1	4,7	9,25	1,12	7,42	1,08	16,13	5,04	11,34	0,77
50045	17 – 22	43,4	1,4	6,26	2,89	4,62	0,41	15,84	1,32	16,68	0,97
50045	60 – 65	49,0	3,8	5,95	1,85	4,49	1,43	14,59	4,45	23,95	2,81
50051	17 – 22	37,3	1,6	7,38	2,11	5,89	0,38	11,93	0,60	12,08	0,18
50051	62 - 67	43,5	1,2	3,66	0,88	2,34	0,13	8,13	0,96	29,41	0,85
50077	15 – 20	60,4	0,8	4,61	0,69	6,10	1,04	16,17	1,37	33,52	1,30
50077	30 - 35	55,7	2,2	2,76	0,61	5,52	0,78	16,68	3,17	30,73	1,95

BFH- Nummer	Beprobungs- tiefe (cm)	MW GPV (%)	STD GPV (%)	MW wGP (%)	STD wGP (%)	MW eGP (%)	STD eGP (%)	MW MP (%)	STD MP (%)	MW FP (%)	STD FP (%)
50117	10 – 15	47,1	2,5	2,67	0,63	6,33	1,41	27,60	3,85	10,52	0,59
50117	42 – 47	40,8	0,5	4,06	0,38	5,88	0,77	13,68	1,20	17,20	0,51
50127	18 – 23	53,7	1,8	13,10	2,77	9,65	1,52	18,35	1,55	12,63	0,58
50127	72 - 77	41,7	0,4	4,39	0,40	5,56	0,45	15,81	0,71	15,98	0,20
50134	15 - 20	43,9	1,4	8,44	0,99	7,00	1,10	14,70	1,40	13,17	0,38
50134	32 – 37	44,1	0,9	6,01	1,01	2,68	0,12	3,55	1,36	31,89	0,57
70005	17 – 22	47,2	1,7	5,59	1,98	3,16	0,94	8,16	1,77	30,28	1,41
70005	60 – 65	40,3	1,7	4,08	1,41	2,17	0,17	7,94	2,27	26,10	1,07
70006	17 – 22	52,0	2,0	11,99	1,26	6,07	1,23	15,09	1,09	18,83	0,87
70006	60 – 65	45,0	2,5	5,86	0,53	3,66	0,54	15,38	2,64	20,06	0,48
70015	17 -22	61,3	2,1	22,63	3,40	9,65	1,79	13,46	0,94	15,59	1,34
70015	80 – 85	40,6	1,5	3,67	0,54	2,16	0,19	16,19	2,31	18,56	0,85
70050	17 – 22	50,5	2,1	12,53	2,81	4,72	0,36	15,48	1,15	17,72	1,24
70050	50 – 55	42,3	1,2	5,49	0,88	2,17	0,21	15,34	0,89	19,25	0,72
70070	15 – 20	45,5	1,7	6,10	2,36	6,53	0,97	10,92	1,51	21,97	1,31
70070	62 – 67	41,1	2,4	3,09	0,96	3,22	0,82	6,73	2,80	28,10	1,88
70078	15 – 20	50,8	2,2	13,25	2,58	6,10	0,56	16,54	1,38	14,91	0,81
70078	62 – 67	38,4	1,5	4,63	1,14	1,80	0,23	11,09	2,17	20,88	0,44
70098	10 – 15	47,3	1,4	12,29	2,07	3,45	0,60	8,51	1,70	23,06	1,54
70098	68 – 73	40,0	2,4	4,23	1,07	3,90	0,46	7,20	2,74	24,63	0,88
140005	15 – 20	45,2	1,7	5,92	0,79	4,39	0,23	8,88	2,01	26,24	1,00

BFH- Nummer	Beprobungs- tiefe (cm)	MW GPV (%)	STD GPV (%)	MW wGP (%)	STD wGP (%)	MW eGP (%)	STD eGP (%)	MW MP (%)	STD MP (%)	MW FP (%)	STD FP (%)
140005	60 – 65	49,8	3,3	4,09	0,34	3,64	7,93	9,74	7,59	31,75	1,45
140006	17 – 22	44,5	1,9	34,93	2,81	3,95	0,24	0,87	0,61	4,86	0,21
140006	70 – 75	39,0	1,0	34,17	0,94	2,38	0,16	1,07	0,19	1,45	0,03
140007	20 – 25	27,0	1,5	5,95	1,75	3,76	0,83	2,52	0,93	14,75	0,55
140007	62 - 67	29,2	2,0	3,83	0,99	3,32	0,74	5,34	3,11	15,95	0,50
140054	10 – 15	41,1	2,2	2,91	0,98	3,88	0,94	18,64	1,24	15,63	0,81
140054	40 – 45	42,9	2,4	2,74	0,83	3,93	0,83	13,97	2,28	22,93	0,90
140056	22 – 27	55,4	1,5	12,61	2,49	8,22	0,78	14,39	0,99	20,16	0,70
140056	65 - 70	38,7	1,5	3,44	0,35	3,23	1,03	15,84	0,89	15,91	0,34
140067	17 – 22	40,4	2,3	10,06	0,48	8,43	1,44	14,87	0,65	7,33	0,26
140067	62 – 67	32,8	1,4	4,08	0,94	2,24	0,22	7,95	2,54	18,81	0,62
140102	10 – 15	35,8	1,6	24,30	3,97	4,61	1,06	5,45	3,56	2,04	0,05
140254	25 – 30	41,7	4,1	11,93	3,13	5,58	0,69	13,33	2,79	10,41	0,63
140254	72 – 77	29,7	2,0	10,59	3,45	5,43	2,01	4,98	2,52	8,73	0,50
150022	20 – 25	40,9	0,7	7,34	0,76	5,83	0,82	19,23	0,60	8,54	0,34
150022	72 – 77	40,9	0,5	3,09	0,77	4,33	0,45	15,35	0,86	18,12	0,41
150023	17 – 22	47,8	2,5	6,89	3,05	7,00	1,77	22,74	9,64	11,22	0,83
150023	72 - 77	38,4	1,8	3,15	2,04	2,41	1,03	11,23	4,61	20,97	0,59

3.2.5 Skelettgehalte in den Stechzylindern

Die Mittelwerte sowie Standardabweichungen der in den jeweils sechs Stechzylindern eines jeden Profils und beprobten Tiefenbereiches gemessenen Skelettgehalte sind in der Tabelle 6 zusammengefasst. Vergleichend dazu werden die im Rahmen der Korngrößenanalyse aus den gestörten Proben ermittelten Skelettgehalte (siehe Tabelle 2) gegenüber gestellt.

Tabelle 6: Mittelwerte und Standardabweichungen der in den Stechzylindern vorliegenden Skelettgehalte sowie der Skelettgehalte der gestörten Probennahme

BFH- Nummer	Beprobungs- tiefe (cm)	Mittelwert Skelettgehalt aus Stechzylinderbeprobung (Gew.-%)	Standardabweichung Skelettgehalt aus Stech- zylinderbeprobung (Gew.-%)	Skelettgehalt aus gestörter Probennahme (Gew.-%)
30002	17 – 22	0,0	0,0	<0,1
30002	60 - 65	0,0	0,0	<0,1
30024	17 – 22	2,5	1,2	1,4
30024	62 - 67	8,1	4,5	14,3
30055	17 – 22	9,4	2,2	11,1
30055	67 - 72	8,6	9,3	5,4
30131	17 – 22	1,6	0,9	2,7
30131	70 – 75	0,0	0,0	1,2
30164	17 – 22	0,0	0,0	<0,1
30164	75 – 80	0,0	0,0	<0,1
30504	17 – 22	0,0	0,0	<0,1
30504	72 – 77	0,0	0,0	<0,1
30622	17 – 22	2,1	2,3	1,7
30622	67 – 72	3,0	5,6	2,4
50045	17 – 22	0,1	0,1	0,4
50045	60 – 65	0,4	0,8	<0,1
50051	17 – 22	0,1	0,2	0,3
50051	62 - 67	0,0	0,0	<0,1
50077	15 – 20	0,2	0,1	<0,1
50077	30 - 35	1,5	2,0	<0,1
50117	10 – 15	0,6	0,2	0,4
50117	42 – 47	0,5	0,2	0,2
50127	18 – 23	0,0	0,0	<0,1
50127	72 - 77	0,0	0,0	<0,1
50134	15 - 20	0,0	0,0	<0,1

BFH- Nummer	Beprobungs- tiefe (cm)	Mittelwert Skelettgehalt aus Stechzylinderbepr- obung (Gew.-%)	Standardabweichung Skelettgehalt aus Stech- zylinderbeprobung (Gew.-%)	Skelettgehalt aus gestörter Probennahme (Gew.-%)
50134	32 – 37	0,0	0,0	0,1
70005	17 – 22	12,8	10,8	9,2
70005	60 – 65	9,2	6,9	0,2
70006	17 – 22	10,9	2,0	34,6
70006	60 – 65	14,6	3,9	18,2
70015	17 -22	3,3	0,8	2,3
70015	80 – 85	0,4	0,3	0,6
70050	17 – 22	19,1	6,0	17,6
70050	50 – 55	10,8	3,6	19,8
70070	15 – 20	5,8	1,0	7,5
70070	62 – 67	4,0	2,1	4,2
70078	15 – 20	14,3	3,2	19,9
70078	62 – 67	13,7	3,3	12,2
70098	10 – 15	0,8	0,5	1,0
70098	68 – 73	4,4	4,0	3,1
140005	15 – 20	4,2	1,1	3,2
140005	60 – 65	3,1	0,8	3,0
140006	17 – 22	0,2	0,0	<0,1
140006	70 – 75	0,0	0,0	<0,1
140007	20 – 25	20,2	2,1	18,0
140007	62 - 67	9,5	4,4	10,8
140054	10 – 15	0,9	0,6	0,2
140054	40 – 45	0,0	0,0	0,1
140056	22 – 27	4,2	0,7	3,9
140056	65 - 70	4,3	1,1	2,7
140067	17 – 22	6,7	2,7	5,6
140067	62 – 67	6,9	3,3	11,1
140102	10 – 15	0,2	0,1	0,2
140254	25 – 30	4,1	3,2	9,8
140254	72 – 77	8,1	2,5	9,1
150022	20 – 25	0,0	0,0	<0,1
150022	72 – 77	0,0	0,0	<0,1
150023	17 – 22	1,8	4,1	2,8
150023	72 - 77	6,4	3,3	4,6

1. Literaturverzeichnis

- Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV)
(Herausgeber). 2007. Arbeitsanleitung für die zweite bundesweite
Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II).
- DIN ISO 11464 Bodenbeschaffenheit: Probenvorbehandlung für physikalisch-chemische
Untersuchungen
- DIN 19683-2 Bodenuntersuchungen im Landwirtschaftlichen Wasserbau : Bestimmung der
Korngrößenzusammensetzung nach Vorbehandlung mit Natriumpyrophosphat
- DIN 19683-9 Bodenuntersuchungen im Landwirtschaftlichen Wasserbau : Bestimmung der
Wasserdurchlässigkeit in wassergesättigten Stechzylinderproben
- DIN ISO 11272 Bodenbeschaffenheit: Bestimmung der Trockenrohddichte
- DIN ISO 11274 Bodenbeschaffenheit : Bestimmung des Wasserrückhaltevermögens
(Laborverfahren)
- Gutachterausschuss forstliche Analytik (Herausgeber) . 2006. Handbuch Forstliche Analytik