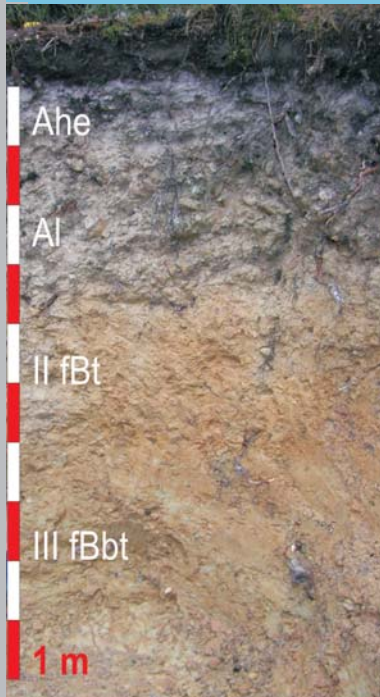
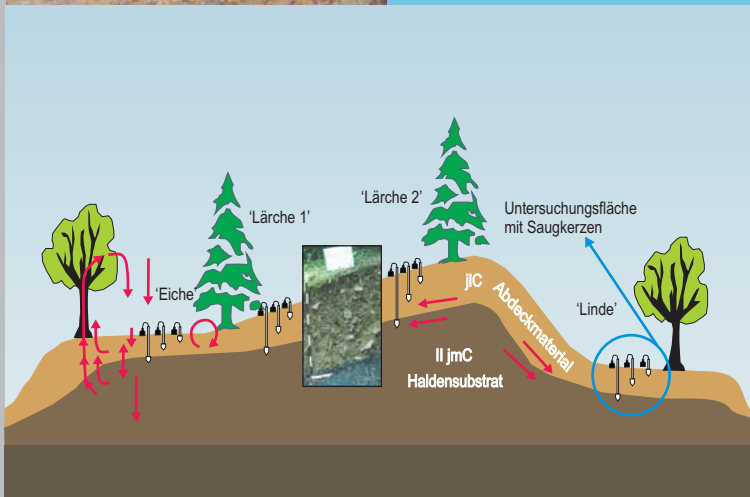


# Bodenkunde Landschaftsökologie Quartärforschung

Regensburger Beiträge zur



Standortvariabilität  
von Radiocäsium  
in Böden



Jörg VÖLKEL  
&  
Matthias LEOPOLD

2006

Band **10**

ISBN - 3-88246-303-1



**Regensburger Beiträge zur Bodenkunde, Landschaftsökologie und Quartärforschung**

Herausgegeben von JÖRG VÖLKELE

Band 10

VÖLKELE, JÖRG & MATTHIAS LEOPOLD

Standortvariabilität von Radiocäsium in Böden

2006

Diese Arbeit wurde im Jahr 2006 dem Bayerischen Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU) München als Abschlußbericht zum Projekt " Standortvariabilität von Radiocäsium in Böden" vorgelegt.

ISBN - 3-88246-303-1

Alle Rechte vorbehalten

Universität Regensburg  
Institut für Geographie  
- Bodenkunde -  
Univ.-Prof. Dr. rer.nat. Jörg Völkel



Prof. Dr. J. Völkel, Universität Regensburg, D-93040 Regensburg

Bayerisches Staatsministerium für Umwelt,  
Gesundheit und Verbraucherschutz (StMUGV)  
Postfach 810140

**D-81901 München**

**Universität Regensburg**  
Institut für Geographie  
Professor Dr.rer.nat. Jörg Völkel  
*Extraordinarius für Bodenkunde*

**Postadresse:**

AG Landschaftsökologie & Bodenkunde  
Institut für Geographie,  
D-93040 Regensburg

**Frachtadresse:**

Universitätsstraße 31,  
D-93053 Regensburg

Telefon: +49 (0)941 / 943-5031

Telefax: +49 (0)941 / 943-5032

Tel. Sekr.: +49 (0)941 / 943-5033

joerg.voelkel@geographie.uni-regensburg.de

Schlussbericht im Forschungsvorhaben

## **Standortvariabilität von Radiocäsium in Böden**

im Auftrag des

Bayerischen Staatsministeriums

für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (BayStMUGV)

München

Jörg Völkel & Matthias Leopold

unter Mitarbeit von Natalie Bernt und Bianca Thiel

gemäß Bewilligung Az. 96b-8803.03-2002/2 Dok 4

durchgeführt an der Universität Regensburg

AG Landschaftsökologie & Bodenkunde

Leiter: Univ.-Prof. Dr.rer.nat. Jörg Völkel

## Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung	7
2	Stand der Forschung	8
3	Voraussetzungen zur Durchführung der Arbeiten	14
4	Planung und Ablauf	14
5	Methoden	15
5.1	Geländemethoden	15
5.1.1	Bodenkundliche Profilaufnahme	15
5.1.2	Tachymetrische Gelände Vermessung	15
5.1.3	Geophysikalische Gelände Vermessung (Bodenradar)	16
5.2	Labormethoden	17
5.2.1	Physikochemische Standardwerte am Boden	17
5.3	Gammaskopimetrische Messung an Boden- und Pflanzenproben	19
5.3.1	Kalibration des Gammaskopimeters	19
5.3.2	Routinemessungen	20
6	Ergebnisse	20
6.1	Vorstellung der Untersuchungsgebiete auf Basis des Kriterienkatalogs	20
6.1.1	Garmisch-Partenkirchen	23
6.1.2	Mangfallgebirge	25
6.1.3	Bayerischer Wald	27
6.2	Eichschnitte	29
6.2.1	Eichschnitt in Garmisch-Partenkirchen	29
6.2.2	Eichschnitte im Mangfallgebirge	30
6.2.3	Eichschnitte im Bayerischen Wald	33
6.3	Vergleich der Eichschnitte aller Untersuchungsgebiete	36
6.4	Vergleich der Humusvariabilität in den Untersuchungsgebieten	38
6.5	Gebietsbelastung mit Radiocäsium unter Einbeziehung der Humusvariabilität	41
6.6	Vergleich der <sup>137</sup> Cs-Gebietsbelastung unter besonderer Berücksichtigung der Humusmächtigkeiten in den jeweiligen Untersuchungsgebieten	46
7	Diskussion der Ergebnisse	47
7.1	Relevanz der Ergebnisse für prognostische Modelle	47
7.2	Relevanz der Ergebnisse zur Bewertung von Studien anderer Arbeitsgruppen	49
7.2.1	Beprobungsmodalitäten im Feld	49
7.2.2	Beprobungszeitpunkt im Feld	51
7.2.3	Statistische Absicherung der Daten	52
8	Praxisrelevanz der Ergebnisse	55
8.1	Arbeitsgrundlage	60
8.2	Berücksichtigung vorhandener Normen und Arbeitsanweisungen	60
8.3	Räumliche Umsetzung - Kriterien zur Auswahl des Beprobungsgebietes	61
8.4	Mindestgröße des Beprobungsareals	62

---

8.5	Arealbezogene Bodenbeprobung	62
8.5.1	Verteilung der Beprobungspunkte auf der Fläche	63
8.5.2	Beschaffenheit und Eignung des einzelnen Beprobungspunktes	64
8.5.3	Gewinnung und feldbodenkundliche Beschreibung einzelner Bodenmonolithen	64
8.5.3.1	Ausstechen eines Bodenmonolithen	64
8.5.3.2	Feldbodenkundliche Aufnahme im Rahmen der radioökologischen Beprobung	66
8.5.4	Beprobungsschema zur Tiefenlage der Entnahmepunkte und Anzahl der Proben am Beprobungspunkt	69
8.5.5	Art der Probennahme zur laboranalytischen Bearbeitung (i.b. Gamma- spektrometrie)	71
8.6	Anzahl der Beprobungspunkte pro Beprobungsareal	73
8.7	Beprobungsschema unter Berücksichtigung von Humusmächtigkeiten in unterschiedlichen naturräumlichen Einheiten	73
8.8	Checkliste für Geräte und Hilfsmittel	75
8.9	Formblatt für die Beprobung im Feld	75
8.10	Literaturhinweise	76
9	Projektrelevante wissenschaftliche Publikationen	77
10	Zusammenfassung	78
11	Literatur	81
12	Datendokumentation	87

## Abbildungsverzeichnis

<i>Abb. 1 Lage der Untersuchungsgebiete Garmisch-Partenkirchen (1), Mangfallgebirge (2) und Bayerischer Wald (3) in montanen bis alpinen Höhenlagen (Kartengrundlage BayFORKLIM 1996).</i>	22
<i>Abb. 2 Topographische Übersicht zum Untersuchungsgebiet (grau hinterlegt) am Kreuzeckhang bei Garmisch-Partenkirchen.</i>	23
<i>Abb. 3 Lage der einzelnen Radarmesslinien, des Eichschnittes und der Referenzprofile im Untersuchungsgebiet Garmisch-Partenkirchen, dargestellt im digitalen Isohypsenmodell. Eichschnitt im Längsprofil.</i>	24
<i>Abb. 4 Lage der Untersuchungsareale Beiwand 1 und Beiwand 2 im Untersuchungsgebiet Mangfallgebirge (Ausschnitt aus der TK 25, Blatt Nr. 8338 Bayrischzell).</i>	25
<i>Abb. 5 Lage der einzelnen Radarmesslinien und des Eichschnittes im Untersuchungsareal Beiwand 1 im Mangfallgebirge, dargestellt im digitalen Isohypsenmodell.</i>	26
<i>Abb. 6 Lage der einzelnen Radarmesslinien und des Eichschnittes im Untersuchungsareal Beiwand 2 im Mangfallgebirge, dargestellt im digitalen Isohypsenmodell.</i>	26
<i>Abb. 7 Lagedarstellung der Untersuchungsareale Drähberg 1 und 2 im Untersuchungsgebiet Bayerischer Wald, Ausschnitt aus der TK 25, Blatt Nr. 6845 Bayerisch Eisenstein.</i>	27
<i>Abb. 8 Lage der einzelnen Radarmesslinien, des Eichschnittes und der Bodenmonolithen im Untersuchungsareal Drähberg 1 im Untersuchungsgebiet Bayerischer Wald, dargestellt im digitalen Isohypsenmodell.</i>	28
<i>Abb. 9 Lage der einzelnen Radarmesslinien, des Eichschnittes und der Bodenmonolithen im Untersuchungsareal Drähberg 2 im Untersuchungsgebiet Bayerischer Wald, dargestellt im digitalen Isohypsenmodell.</i>	28
<i>Abb. 10 Darstellung der Mächtigkeiten der einzelnen Auflage- und Mineralbodenhorizonte entlang des Eichschnittes im Untersuchungsgebiet Garmisch-Partenkirchen.</i>	29
<i>Abb. 11 Radargramm entlang der Eichlinie im Untersuchungsgebiet Garmisch-Partenkirchen (Filter: subtract mean dewow, correct max. phase, background removal, running average).</i>	30
<i>Abb. 12 Darstellung der Mächtigkeiten der einzelnen Auflagehorizonte entlang des Eichschnittes im Untersuchungsareal Beiwand 1 im Mangfallgebirge.</i>	30
<i>Abb. 13 Radargramm entlang der Eichlinie im Untersuchungsgebiet Mangfallgebirge, Areal Beiwand 1 (Filter: subtract mean dewow, correct max. phase, background removal, running average).</i>	31
<i>Abb. 14 Prozentuale Verteilung der Humusmächtigkeiten entlang des Eichschnittes im Untersuchungsareal Beiwand 1 im Mangfallgebirge ( n = 250 ).</i>	31
<i>Abb. 15 Darstellung der Mächtigkeiten der einzelnen Auflagehorizonte entlang des Eichschnittes im Untersuchungsareal Beiwand 2 im Mangfallgebirge.</i>	32
<i>Abb. 16 Radargramm entlang der Eichlinie im Untersuchungsgebiet Mangfallgebirge, Areal Beiwand 2 (Filter: subtract mean dewow, correct max. phase, background removal, running average).</i>	32
<i>Abb. 17 Prozentuale Verteilung der Humusmächtigkeiten entlang des Eichschnittes im Untersuchungsareal Beiwand 2 im Mangfallgebirge ( n = 250 ).</i>	33
<i>Abb. 18 Darstellung der Mächtigkeiten der einzelnen Auflagehorizonte entlang des Eichschnittes im Untersuchungsareal Drähberg 1 im Bayerischen Wald.</i>	33

---

<i>Abb. 19 Radargramm entlang der Eichlinie im Untersuchungsgebiet Bayerischer Wald, Areal Drähberg 1 (Filter: subtract mean dewow, correct max. phase, background removal, running average).</i>	34
<i>Abb. 20 Prozentuale Verteilung der Humusmächtigkeiten entlang des Eichschnittes im Untersuchungsareal Drähberg 1 im Bayerischen Wald ( n = 300 ).</i>	34
<i>Abb. 21 Darstellung der Mächtigkeiten der einzelnen Auflagehorizonte entlang des Eichschnittes im Untersuchungsareal Drähberg 2 im Bayerischen Wald.</i>	35
<i>Abb. 22 Radargramm entlang der Eichlinie im Untersuchungsgebiet Bayerischer Wald, Areal Drähberg 2 (Filter: subtract mean dewow, correct max. phase, background removal, running average).</i>	35
<i>Abb. 23 Prozentuale Verteilung der Humusmächtigkeiten entlang des Eichschnittes im Untersuchungsareal Drähberg 2 im Bayerischen Wald ( n = 300 ).</i>	36
<i>Abb. 24 Graphische Darstellung von Unterscheidungskriterien zur Abgrenzung der Humusauflagen inklusive Ah-Horizont vom liegenden B- bzw. C-Horizont.</i>	37
<i>Abb. 25 Darstellung zur Mächtigkeitsverteilung der humosen Horizonte in den einzelnen Untersuchungsgebieten (Boxplot mit 25 % Quartil, Median, 75 % Quartil sowie 5 %, 10 %, 90 % und 95 % Perzentil).</i>	39
<i>Abb. 26 aus: STREBL et al. (2000: 27).</i>	53
<i>Abb. 27 aus: LETTNER et al. (1994: 29).</i>	54
<i>Abb. 28 Flussdiagramm zum Ablauf der Bearbeitungsschritte</i>	58
<i>Abb. 29 Formblatt für die Beprobung radioaktiv kontaminierter Standorte in Waldökosystemen. Grau hinterlegte Nummerierungen sind Pflichtfelder.</i>	59
<i>Abb. 30 Verteilung von Beprobungspunkten in Beprobungsarealen unterschiedlicher Größe.</i>	63
<i>Abb. 31 Vereinfachtes Schema zur Auswahl des Beprobungspunktes.</i>	64
<i>Abb. 32 Schematischer Überblick zur Gewinnung, Präparation und Dokumentation eines Bodenmonolithen an einem einzelnen Beprobungspunkt.</i>	65
<i>Abb. 33 Flussdiagramm zum Ablauf einer Probennahme auf Basis einer Kombination von horizontbezogenen und metrisch gestützten Beprobungsverfahren.</i>	69
<i>Abb. 34 Beprobungsschema zur Tiefenlage der Entnahmepunkte und Anzahl der Proben am Beprobungspunkt.</i>	71

## Tabellenverzeichnis

<i>Tab. 1 Darstellung ausgewählter Einsatzgebiete des Bodenradars unter Gegenüberstellung verschiedener Antennenfrequenzen nach diversen Autoren.</i>	13
<i>Tab. 2 Zeitbezogenes Schema der Arbeitsschritte.</i>	14
<i>Tab. 3 Kriterienkatalog zur Auswahl eines Untersuchungsareals am Beispiel der Landschaftseinheit Wettersteingebirge / Garmisch-Partenkirchen.</i>	21
<i>Tab. 4 Tabellarische Beschreibung der naturräumlichen Ausstattung der Untersuchungsareale Beiwand 1 und 2 im Mangfallgebirge.</i>	25
<i>Tab. 5 Tabellarische Beschreibung der naturräumlichen Ausstattung der Untersuchungsareale Drähberg 1 und Drähberg 2 im Bayerischen Wald.</i>	27
<i>Tab. 6 Darstellung der prozentualen Verteilung der Humusmächtigkeiten entlang der jeweiligen</i>	36
<i>Tab. 7 Prozentuale Verteilung der Humusmächtigkeiten und Ah-Horizonte (3 Klassen) in allen Untersuchungsgebieten bzw. -arealen.</i>	38
<i>Tab. 8 Zuordnung der Probenanzahl einzelner Mächtigkeitbereiche humoser Bodenhorizonte (organische Auflagen und Ah-Horizont) zu Höhenschichtenklassen.</i>	41
<i>Tab. 9 Durchschnittliche <sup>137</sup>Cs-Belastung der O-Horizonte im Untersuchungsgebiet Garmisch-Partenkirchen.</i>	42
<i>Tab. 10 Rohdichten zur Ermittlung volumenbezogener <sup>137</sup>Cs-Aktivitäten in humosen Horizonten von Waldböden (Nadelwald).</i>	43
<i>Tab. 11 Durchschnittliche <sup>137</sup>Cs-Belastung der organischen Auflagen im Untersuchungsgebiet Garmisch-Partenkirchen.</i>	44
<i>Tab. 12 <sup>137</sup>Cs-Belastung in beiden Humusmächtigkeitsklassen im Untersuchungsareal Drähberg 1 (n=14).</i>	46
<i>Tab. 13 <sup>137</sup>Cs-Belastung in beiden Humusmächtigkeitsklassen im Untersuchungsareal Drähberg 2 (n=14).</i>	46
<i>Tab. 14 <sup>137</sup>Cs-Belastung in allen Untersuchungsgebieten.</i>	47
<i>Tab. 15 <sup>137</sup>Cs-Belastung eines typischen Bodenprofils unter Forst im Bayerischen Wald.</i>	51
<i>Tab. 16 Schematische Übersicht zur Flächenverteilung in unterschiedlichen Höhenstufen und mit unterschiedlicher forstwirtschaftlicher Nutzungsstruktur.</i>	62
<i>Tab. 17 Näherungsweise Angaben zur erforderlichen Probenmenge (Trockengewicht) im Rahmen der laboranalytischen Bestimmung diverser chemischer und physikalischer Parameter.</i>	72
<i>Tab. 18 Verteilung der Probenanzahl in den jeweiligen Mächtigkeitklassen in Abhängigkeit von den Höhenschichtenklassen.</i>	74



Grundlage des Forschungsvorhabens ist das mit Schreiben vom 24.07.2002 seitens der Universität Regensburg vorgelegte Angebot, auf welches sich das Bewilligungs- und Zuweisungsschreiben des BayStMLU vom 12.06.2003 bezieht. Der hier vorgelegte Endbericht dokumentiert die von Juni 2003 bis Mai 2006 geleisteten Arbeiten. Bestandteil dieses Endberichtes ist die separat geführte Handlungsvorgabe zur Auswahl und Bodenbeprobung radioaktiv kontaminierter Standorte in Waldökosystemen des bayerischen Staatsgebietes. Die Handlungsvorgabe ist ein wesentliches Ergebnismodul des Gesamtvorhabens und stellt die Umsetzung des Forschungsteils in die Praxis dar.

## **1 Aufgabenstellung**

Ziel des Forschungsvorhabens ist es, Daten als belastbare Grundlage zur Erstellung einer Handlungsvorgabe zwecks Auswahl und Bodenbeprobung radioaktiv kontaminierter Standorte in Waldökosystemen des bayerischen Staatsgebietes zu erarbeiten.

Die Mächtigkeiten von Humusaufgaben, welche an allen Forststandorten ganz maßgeblich die Speicherung, das Maß von Mobilität sowie Immobilität, und damit die Bioverfügbarkeit von Radiocäsium steuern, ist in voneinander abweichenden Naturräumen und kulturlandschaftlich geprägten Arealen, wie sie das bayerische Staatsgebiet charakterisieren, großen Schwankungen unterworfen. Diese gilt es verlässlich zu erfassen. Einerseits kann die hohe Variabilität der Humusmächtigkeiten über eine entsprechend große Anzahl an Einzelproben erfasst werden. Die dafür benötigten Probenkontingente überschlagen allerdings rasch die Kapazitätsgrenzen, da Areale mit hoher Mächtigkeitsvariabilität der Auflagenhorizonte teils einige hundert Einzelproben bedingen. In der Praxis sind derart hohe Probenanzahlen nur schwer bis gar nicht zu bewältigen. Andererseits kann vorab eine theoretische Varianz der Auflagenmächtigkeit für bestimmte Naturräume erarbeitet werden, welche als Grundlage für eine zielgerichtete Beprobung zur Aufnahme eines Gebietsmonitorings dient. Diese Probenentnahme ist auf die zu erwartende Mächtigkeitsvarianz auszulegen, das heißt es müssen Vorgaben formuliert werden, welche gebietstypische Mächtigkeitsvarianzen der organischen Auflagehorizonte (Waldhumus) in Beziehung zur notwendigen Beprobungsdichte bzw. –anzahl setzen. Gelingt auf Basis der Feldforschungen die Formulierung entsprechend geprüfter Vorgaben, ergibt sich für die praktische Anwendung neben der erforderlichen Genauigkeit die erwünschte Zeiteffizienz im Rahmen der Umsetzung (Handlungsvorgabe). Zur Absicherung bedarf es allerdings zunächst eines umfangreichen Datenpools, exemplarisch erarbeitet an Modellregionen und –arealen, welche generalisierungsfähig unterschiedliche naturräumliche Einheiten hinterlegen.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens, dessen grundständige Ergebnisse die erforderliche Datenbasis zur Formulierung der nunmehr in anderen Gebieten ohne weitere Vorarbeiten einsetzbaren Handlungsvorgabe bilden, werden die Humusmächtigkeiten und ihre standortbedingten Varianzen mit Hilfe eines besonderen geophysikalischen Verfahrens, dem Ground Penetrating Radar (GPR, Bodenradar) erfasst. Der Einsatz des berührungs- und zerstörungsfrei arbeitenden Bodenradars mit schneller Messung, mit interpolierungsfähiger und dadurch flächenhafter Geländeaufnahme wurde im Rahmen der hier von uns durchzuführenden Grundlagenforschung erstmalig und sehr erfolgreich eingesetzt. Die kombiniert gewonnen geophysikalisch-bodengenetischen Ergebnisse liefern in Form eines exemplarisch hochauflösenden Datenpools wie erhofft die validierbare Basis zur klassifizierenden Bewertung der engräumigen Mächtigkeitsvarianzen radioökologisch hochwirksamer Humushorizonte in wechselnden natur- und kulturräumlichen Einheiten (vgl. Punkt 8). Die GPR-Anwendung setzt Expertenwissen voraus und bleibt ein Modul der hier zu leistenden Basisforschung. Eingesetzt zur Formulierung der Grundlagen und der Kriterien für die zu erstellende, streng praxisorientierten Handlungsvorgabe wurde sie zahllose Bohrungen und Sondierungspunkte ersetzend zielgerichtet und ausgesprochen gewinnbringend eingesetzt. Zur Umsetzung der Handlungsvorgabe wird sie freilich nicht benötigt (vgl. Punkt 8).

## **2 Stand der Forschung**

Auch 20 Jahre nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl sind Radionuklide aus dem Fallout, der über Mitteleuropa niederging, vor allem in Waldökosystemen nach wie vor in radioökologisch relevanter Menge präsent. Das gilt vor allem für das mit einer Halbwertszeit von 31,17 Jahren längerlebige Radiocäsiumisotop  $^{137}\text{Cs}$ . Neben kontinuierlichen Kontrollen der Umwelt wurden die unterschiedlichsten wissenschaftlichen Studien zur Verweildauer des Radionuklids in Böden, zum physikochemischen Verhalten des Radionuklids, zur Bioverfügbarkeit, zum Transfer Boden-Pflanze Pflanzen, zur Nahrungskette Pflanze-Tier (Mensch) und anderen Fragestellungen mehr durchgeführt, von denen hier aus unterschiedlichen europäischen Ländern nur einige Beispiele genannt werden wie in Belgien WAEGENEERS (2002), in Deutschland: BUNZL (2002), VÖLKELE (2002), in Frankreich REZZOUG et al. (2006), in Griechenland, ARAPIS & KARANDINOS (2004) in Italien SPEZZANO (2005), in Österreich BOSSEW et al. 1996, STREBL et al. 2000; LETTNER et al. 2006 und in Spanien BAEZA et al. (2005). Hintergrund eines größeren Teils vor allem der jüngeren Studien ist weniger die Bewältigung des boden- oder forstökologischen Problems, welches das tschernobylbürtige Radiocäsium nach wie vor darstellt. Vielmehr haben Forscher und Auftraggeber erkannt, dass sich hier ein hinsichtlich seiner Auswirkungen durchaus

bekannter und entsprechend eingegrenzter Modellfall etabliert hat, auf dessen Basis nicht zuletzt Szenarien und Handlungsvorgaben für einen möglichen neuerliches Ereignis mit nicht unerheblichen radioökologischen Auswirkungen erarbeitet werden können und müssen.

Sofern es um das sogenannte Verhalten von  $^{137}\text{Cs}$  in Ökosystemen geht, haben alle Arbeiten gemeinsam, dass den humosen Bodenhorizonten und insbesondere den meist viele Zentimeter mächtigen organischen Auflagehorizonten, dem Waldhumus, eine herausragende Bedeutung bei Fixierung, Speicherung und Bioverfügbarkeit von Radionukliden im allgemeinen und Radiocäsium (hier  $^{137}\text{Cs}$ , nur noch sehr untergeordnet  $^{134}\text{Cs}$ ) zukommt. Die Funktion der Humusaufgaben als Senken und Quellen sowohl für Nähr- als auch für Schadstoffe ist in der Boden- und Forstökologie seit jeher bekannt. Was auf der Seite der Schadstoffe insbesondere für das aus der Verbrennung von Kraftstoffen und industriellen Feuerungsanlagen stammende Blei bekannt war, welches mit den Niederschlägen bis weit in industrieferne Regionen vertragen und dort in den Humusaufgaben fixiert wurde, wurde aus radioökologischer Sicht auf besonders nachhaltige Art und Weise über die vom Reaktorunfall von Tschernobyl aus dem Frühjahr des Jahres 1986 freigesetzten, vergleichsweise langlebigen Radionuklide  $^{134}\text{Cs}$  und  $^{137}\text{Cs}$  klargestellt (u.a. VÖLKELE 2003).

Für Bayern und andere Gebiete Mitteleuropas belegen in Form jüngerer Studien unter anderem belegen BUNZLE (2002), KRUSE-IRMER (2002), VÖLKELE (2002) oder LETTNER et al. (2006), dass die organischen Auflagehorizonte in Forsten den Großteil des seinerzeit über nasse und trockene Deposition eingetragenen Radiocäsiums speichern (vgl. hierzu auch BOSSEW et al. 1996, 2004, BOSSEW 1997, STREBLE et al. 2000). Auch die im Internet aufrufbaren Daten der Cäsiumbelastung bayerischer Umweltproben (siehe Kap. 6.5) weist die organischen Auflagen als die nach wie vor am höchsten belasteten Bodenhorizonte aus. Radioökologisch sind die in jedem Wald flächendeckend vorhandenen Humusaufgaben daher von herausragender Bedeutung. Ihre physikochemischen Eigenschaften wechseln indes nicht nur mit der jeweiligen Humusform (Rohhumus, Moder, Mull) sondern vor allem auch mit deren Mächtigkeit. Denn selbst bei identischer Humusform treten aus radioökologischer Sicht von Standort zu Standort erhebliche Modifikationen auf, die bereits allein von der Mächtigkeit der organischen Auflagehorizonte gesteuert werden. Diese wiederum unterliegen den jeweiligen natur- bzw. kulturräumlichen Gegebenheiten und Standortbedingungen, ein in der Forstbodenkunde und der Standortlehre seit jeher bekannter Grundsatz (u.a. REHFUESS 1990). Auch ist bekannt, dass mit zunehmender Mächtigkeit der Humusaufgaben ein erhöhtes Speichervermögen an  $^{137}\text{Cs}$  einhergeht (ANDOLINA & GUILLITTE 1990; VÖLKELE 1997, 2002; KRUSE-IRMER 2002; KRUSE-IRMER &

GIANI 2003). Abgesehen von geringen Verlagerungstendenzen in tiefere Mineralbodenhorizonte, deren Ursachen, aber nicht deren Wirkung konträr diskutiert werden (BUNZL 1997, 2002; SCHILLING 1997; VÖLKELE 2002), sind die Beschaffenheit und die Mächtigkeit der Humusaufgaben die dominanten Faktoren der langfristigen Speicherung und hochgradigen Bioverfügbarkeit von Radiocäsium.

Die Variationen bezüglich der Entwicklung und Mächtigkeit der Humusaufgaben in Waldböden werden von unterschiedlichen Parametern gesteuert. Es wirken vor allem die Vegetations- bzw. die Nutzungsform (Bestockung) in Verbindung mit der Nutzungsgeschichte, nicht zuletzt aber das liegende mineralogische Ausgangssubstrat und die daraus hervorgehenden mineralischen Bodenhorizonte als Wurzelraum, Wasser- und Nährstoffresiduum. Zudem besitzt das Relief in allen Maßstabsformen einen bedeutenden Einfluss auf die Ausbildung der Humusform, unter anderem mit bestands- und geländeklimatologischen Folgeerscheinungen wie divergierendem Niederschlag, Temperatur der bodennahen Luftschichten und oberflächennahem Bodenwassergehalt (u.a. SHAAP et al. 1997). Derartige Einflüsse des Reliefs wirken sich auf die radioökologisch bedeutsamen Humusaufgaben vor allem in Gebirgslagen aus, so in den mittleren und hohen Lage der Mittelgebirge wie auch im Hochgebirge. Klassisch ist diesbezüglich bereits die Arbeit von BOCHTER (1984) aus den Bayerischen Alpen (Nordalpen), der die Bedeutung der mächtigen Humusaufgaben für die forstliche und bodenökologische Standortkunde in naturnahen Bergwäldern des Berchtesgadener Gebirgsraums untersuchte. Für das Zentralalpin sind die Studien zur Variabilität der Humusmächtigkeiten von BEDNORZ et al. (2000) zu nennen. GULDER & KÖLBEL (1993) beziehen diesen Aspekt in die Waldbodeninventur Bayerns ein. Ausserhalb Mitteleuropas kann stellvertretend für eine Vielzahl an Untersuchungen aus der borealen Nadelwaldzone der kühlgemäßigten Breiten auf die Arbeiten von LISKI (1995) verwiesen werden. Aber auch aus den mitteleuropäischen Tieflandbereichen liegen, erwachsen aus aktuellen landschaftsökologischen Problemstellungen und Forschungsansätzen wie etwa der großdimensionierten Rekultivierung landschaftsprägender Tagebauflächen in den Braunkohlenrevieren Mittel- und Ostdeutschlands, Studien zur Variation und Verbreitung des Aufgabehumus vor (u.a. BENS et al. 2006). Sie zeigen auf, dass die Landschaftsforschung, fokussiert auf die Varianz der für den Landschaftshaushalt bedeutsamen Humusaufgaben, kein Phänomen allein der Mittel- und Hochgebirge darstellt.

Die Humusmächtigkeit ist ein im Rahmen von Geländekampagnen zur Flächenbeprobung relativ leicht zu bestimmendes Parameter. Methodisch sehen sich alle Feldstudien zur Darstellung der Humusform und der Mächtigkeit der organischen Aufgaben unabhängig von ihrem räumlichen Fokus und der engeren Fragestellung allerdings mit sehr grundlegenden Problemen konfrontiert. Denn je höher die Variabilität der Humusaufgaben ist, um so mehr

Proben sind erforderlich, um statistisch abgesicherte Ergebnisse zu erhalten (vgl. u.a. BEDNORZ et al. 2000, WALTHERT et al. 2002). Zwar weisen die Humusaufgaben in einigen Landschaftstypen wie den Flachländern bezüglich der Humusmächtigkeiten meist eine deutlich geringere Variabilität auf, als dies in montanen bzw. subalpinen Forstökosystemen der Fall ist (BOCHTER 1984, GULDER & KÖLBEL 1993, BEYER 1996). Um die Gebiete auszuweisen, welche aktuell und möglichenfalls in der Zukunft im Falle eines radioökologischen Ereignisses umfassenderen Ausmaßes besonders sensibel und aufnahmefähig für längerlebige Radionuklide sind, sind aber sämtliche bislang vorgestellten Herangehensweisen unzureichend. Zwar existieren Methoden, die dazu dienen, verlässlich die Radionuklidbelastung aus Proben eines beliebigen Untersuchungsplots zu bestimmen. Eine exakte Vorgabe zur Auswahl von Beprobungs-, Monitoring- oder Testgebieten innerhalb der stets heterogenen und vielfältig gestalteten mitteleuropäischen Kulturlandschaft (oder andernorts) sowie eine Normierung zur Beprobung des Bodens aber fehlen. Das wird eindrucksvoll von dem jüngst vorgelegten Report der *International Commission on Radiation Units and Measurements* (ICRU 2006) unterstrichen, der zwar generelle Beprobungskonzepte und –prinzipien vorstellt und deren Stärken und Schwächen diskutiert, ohne jedoch detailliertere, normierende Vorgaben zur Vorgehensweise im Rahmen der Geländearbeit und Bodenbeprobung zu formulieren. Wie bedeutend im Rahmen radioökologischer Problematik und Fragestellungen Kenntnisse der Variation der Böden im Raum sind, belegen die von NYHAN et al. (1983), HIGHLY (1994) und MCGEE et al. (1995) gegebenen Beispiele zur Cäsiumverteilung in Böden, denen zufolge je nach Probenmenge und Probentiefe die Messergebnisse extrem variieren. Der Aspekt der radioökologischen Gebietscharakterisierung, welche notwendigerweise ganz ursächlich die Mächtigkeitsverteilung der humosen Auflagehorizonte in entsprechenden natur- bzw. kulturlandschaftlichen Einheiten und Arealen beachten muss, bleibt indes aussen vor. Hier setzt das Forschungsvorhaben unmittelbar an und legt als Endergebnis eine auf den Freistaat Bayern zugeschnittene, aber durchaus auf andere Regionen übertragbare Handlungsvorgabe vor.

Auf die besondere Bedeutung der in diesem Zusammenhang erstmaligen Anwendung des Bodenradars (Ground Penetrating Radar, GPR) als einer zerstörungsfrei arbeitenden, geophysikalischen Methode wurde bereits hingewiesen. Sie wird ausschließlich in Vorbereitung der Handlungsvorgabe eingesetzt und dient vor allem der flächenhaften Interpolation von Punktbefunden, die über Profile oder Eichschnitte erarbeitet werden. Es handelt sich um ein elektromagnetisches Impulsreflexionsverfahren (EMR) (vgl. u.a. REYNOLDS 1997), das in der bodenkundlichen Forschung entgegen seiner deutschen Bezeichnung trotz vieljähriger Präsenz des Verfahrens in der Lagerstättenprospektion erst

---

seit kürzerem bekannt ist. Hochauflösende Antennen und die Fortentwicklung der EDV-gestützten Auswerteverfahren haben seinen Einsatzbereiche entscheidend erweitert (vgl. Tab. 1). Sein Einsatz im Rahmen bodenkundlicher Fragestellungen ist jedoch nach wie vor auf vergleichsweise wenige Studien beschränkt, welche sich überwiegend mit der Horizontdifferenzierung im mineralischen Unterboden beschäftigen (COLLINS & DOOLITTLE 1987, TRUMAN et al. 1988, COLLINS 1992, DOOLITTLE & ASMUSSEN 1992, DOOLITTLE & COLLINS 1995, ZIEKUR 2000). Auch wurde versucht, die Wurzelsysteme in Forstökosystemen zu erfassen (BUTNOR et al. 2003). In Deutschland gibt es nur wenige Arbeitsgruppen, die das Bodenradar erfolgreich in der Erforschung der Pedosphäre (Böden) und des oberflächennahen Untergrundes (Grundwasser, Hangwasserabfluss, Hochflut-Zwischenspeicher etc.) einsetzen. Die führende Kompetenz der Regensburger Arbeitsgruppe brachte den Einsatz des Bodenradars in die Humusforschung aus radioökologischer Sicht. Für die zukünftige Umsetzung der als Ergebnis des berichtspflichtigen Forschungsvorhabens ebenfalls vorgelegten, rein praxisorientierten Handlungsvorgabe ist der Einsatz speziellerer Analytik oder Messverfahren wie dem des Bodenradars indes nicht erforderlich (s.o.).

Tab. 1 Darstellung ausgewählter Einsatzgebiete des Bodenradars unter Gegenüberstellung verschiedener Antennenfrequenzen nach diversen Autoren.

Anwendungsgebiete	Antennen-Frequenz
Permafrostmerkmale	> 400 MHz <sup>2)</sup>
Sedimentologie, Geomorphologie, Geologie, Hydrologie	je nach Fragestellung: 10 – 1000 MHz <sup>3)</sup>
Bestimmung von Moormächtigkeiten	80 <sup>4)</sup> – 500 MHz <sup>5)</sup>
Kali- und Salzbergbau	40 <sup>1)</sup> – 120 MHz <sup>3)</sup>
Ortung von Altlasten und Leitungen	50 – 900 MHz <sup>6), 7)</sup>
Beurteilung des Straßenbelags	ca. 900 MHz <sup>7)</sup>
Archäologie (Detektion von Objekten)	200 MHz – 1,5 GHz <sup>8)</sup>
Detektion von Landminen	900 MHz <sup>9)</sup> – 2 GHz <sup>10)</sup>
Detektion von Wurzeln	400 MHz und 1,5 GHz <sup>11)</sup>
Auffinden menschlicher Überreste	200 <sup>12)</sup> – 900 MHz <sup>13)</sup>

<sup>1)</sup> MILITZER & WEBER (1985)

<sup>2)</sup> HINKEL et al. (2001)

<sup>3)</sup> BLINDOW (1994)

<sup>4)</sup> COLLINS et al. (1986)

<sup>5)</sup> HÄNNINEN (1992)

<sup>6)</sup> KNÖDEL et al. (2005)

<sup>7)</sup> REYNOLDS (1997)

<sup>8)</sup> Von der OSTEN (2003)

<sup>9)</sup> MILLER et al. (2002)

<sup>10)</sup> BRUSCHINI et al. (1998)

<sup>11)</sup> BUTNOR et al. (2003)

<sup>12)</sup> UNTERBERGER (1992)

<sup>13)</sup> HAMMON et al. (2000)

### 3 Voraussetzungen zur Durchführung der Arbeiten

Zur Durchführung des Untersuchungsauftrags wird aus methodisch-apparativer Sicht sowohl ein bodenökologisch ausgerichtetes Labor als auch die erforderliche geophysikalische Ausrüstung benötigt. Im Laboratorium müssen die entsprechenden Aufschlusstechniken, Elementanalytik und ein gammaspektrometrischer Messplatz vorhanden sein. Zur Durchführung der geophysikalischen Untersuchungen wird ein Bodenradarsystem mit hochfrequenten Antennensystemen und automatisierter Messauslösung benötigt. Mindestens zwei Antennentypen (500 MHz, 800 MHz und höher) müssen zur Verfügung stehen. Darüber hinaus müssen die Bearbeiter umfangreiche Sachkenntnisse auf dem Gebiet der bodenkundlichen Ansprache von Bodenaufschlüssen nach bodenkundlicher Kartieranleitung (AG Boden 2005), der standortkundlichen und naturräumlichen Gliederung sowie der landschaftsökologischen Bewertung besitzen. Hinzu kommen vertiefte Kenntnisse in der Geländeanwendung und der Interpretation von geophysikalischen Verfahren, hier dem des Ground Penetrating Radar (GPR). In der Kombination von bodenkundlichem Sachverstand und geophysikalischer Dateninterpretation liegt der Schlüssel zur Lösung der Thematik dieses Untersuchungsvorhabens.

### 4 Planung und Ablauf

Planung und Ablauf der Arbeiten erfolgen in Umsetzung des dem Bewilligungsbescheid zugrundeliegenden Angebotes. Soweit Modifikationen erfolgten, wurden diese bereits in den Zwischenberichten der Jahre 2004 und 2005 erläutert. Tab. 2 stellt ein Zeitschema zum Ablauf der Arbeiten vor.

Tab. 2 Zeitbezogenes Schema der Arbeitsschritte.

Untersuchungsgebiet	Geländearbeiten	Entwicklung der geophysikalischen Methodik und Interpretation	Laborarbeiten	Ergebnisauswertung	Synthese und Zusammenstellung des Endberichts
Garmisch-Partenkirchen	06/2003 – 06/2004	10/2003 – 12/2004	08/2003 – 06/2005	10/2003 – 02/2006	02/2006 – 05/2006
Mangfallgebirge	06/2004 – 06/2005	10/2004 – 10/2005	10/2004 – 06/2005	10/2004 – 02/2006	02/2006 – 05/2006
Bayerischer Wald	06/2005 – 10/2005	10/2005 – 02/2006	08/2005 – 02/2006	8/2005 – 02/2006	02/2006 – 05/2006



Die Arbeitsgruppe zur Durchführung des Forschungsvorhabens wird geleitet vom Extraordinarius für Bodenkunde und Leiter der AG für Landschaftsökologie und Bodenkunde an der Universität Regensburg, Prof. Dr. Jörg VÖLKE, und seinem wissenschaftlichen Assistenten, Dr. Matthias LEOPOLD. Der Arbeitsgruppe gehören weiterhin die beiden wissenschaftlichen Angestellten Dipl.-Geogr. Natalie BERNT und Dipl.-Geol. Kerstin HÜRKAMP sowie die Diplomandinnen cand. geo. Bianca THIEL und Susanne SACHUNSKY an. Die Gelände- und Laborarbeiten wurden ferner von studentischen Hilfskräften unterstützt.

## **5 Methoden**

### 5.1 Geländemethoden

#### 5.1.1 Bodenkundliche Profilaufnahme

Die bodenkundliche Profilaufnahme erfolgt auf Basis der bodenkundlichen Kartieranleitung (AG BODEN 2005). Um ein von Relief, Bestockung und oberflächennahem Untergrund her gleichartiges Gebiet bezüglich der Mächtigkeitsvariabilität der Humusaufgaben generalisierungsfähig zu charakterisieren, wird in den Untersuchungsarealen jeweils ein 30 m langer Eichschnitt in Form eines Gräbchens angelegt. In Abständen von nur 10 cm werden entlang des Schnittes die Humusmächtigkeit, die Horizontdifferenzierung und die Humusform bestimmt, desweiteren die mineralischen Oberbodenhorizonte (z.B. Ah) sowie die Unterbodenhorizonte (z.B. Bv) bodentypologisch zugeordnet und ihre jeweiligen Mächtigkeiten ermittelt.

#### 5.1.2 Tachymetrische Geländevermessung

Zur Berechnung der Humusmächtigkeiten mittels geophysikalischer Verfahren wird ein möglichst hoch auflösendes Geländemodell zur Darstellung der Geländeoberkante (GOK) als Bezugsbasis der Messungen benötigt. Hierzu ist die hochauflösende tachymetrische Vermessung des jeweiligen Untersuchungsareals erforderlich. Sie erfolgt mittels eines Lasertachymeters LC 600 von Leica und der Feldsoftware LISCAD 3.12. Diese Daten bilden die Grundlage für das digitale Geländemodell (DGM), dessen Einsatz zur räumlichen Visualisierung und Auswertung Standard ist. Neben der dafür erforderlichen Geländevermessung unter Aufnahme von jeweils ca. 200-400 Messpunkten auf 30 x 30 m Fläche werden auch Verlauf und Lage sämtlicher Radarlinien, der Eichgräben sowie der Zusatzprofile vermessen und dokumentiert.

### 5.1.3 Geophysikalische Geländevermessung (Bodenradar)

Die Auflösung des EMR-basierten Verfahrens (s.o.) ist von der Frequenz der verwendeten Antennen abhängig, mit deren Höhe sie proportional steigt. SHERIFF & GELDART (1982) geben das Auflösungsvermögen mit einem Viertel bzw. der Hälfte der verwendeten Wellenlänge ( $\lambda$ ) an, wobei höhere Auflösungen niedrigere Eindringtiefen bedingen. Um Reflexionen auszulösen und unterschiedliche Materialien bzw. Lagerungsphänomene (Dichte, Wassergehalt etc.) voneinander zu unterscheiden, müssen bestimmte physikalische Bedingungen erfüllt sein. Zum einen ist ein hinreichender Kontrast bezüglich der jeweiligen relativen Dielektrizitätszahl ( $\epsilon_r$ ) zwischen zwei Medien erforderlich. Zum anderen müssen die Grenzflächen möglicher Reflektoren einen ausreichend großen Mindestabstand voneinander aufweisen (MILLITZER & WEBER 1985). Mit steigender Differenz der jeweiligen Dielektrizitätszahlen und höherer Messfrequenz nimmt das Auflösungsvermögen zu, denn Grenzflächen können nur dann aufgelöst werden, wenn der zeitliche Abstand der Reflexionen größer ist als die Dauer des Sendeimpulses.

Im Rahmen dieser Studie wird das bistatische Antennensystem Ramac der Fa. Malå Geosciences mit einer Sendefrequenz von 800 MHz und einer Abschirmung verwendet. Der Abstand der Antennen ist auf 14 cm fixiert. Das Abschirmgehäuse lässt die elektromagnetischen Wellen weitgehend in den Untergrund abstrahlen, was unerwünschte Störungen infolge Reflexionen an oberirdischen Objekten wie Bäumen oder Felsen vermeidet (vgl. CONYERS & GOODMAN 1997). Eine Kontrolleinheit (Ramac CUII) steuert über Glasfaserkabel die Aussendung und den Empfang der Wellen, wandelt die lichtoptischen Signale in digitale Daten um und gibt diese *online* an einen Laptop weiter. Die Messeinheit wird entlang einer definierten, präzise verorteten Linie bewegt, im Falle dieser Studie einer Eichlinie, an der die Radardaten über Aufgrabung der Humusaufgaben abgeglichen werden. Sieben weitere, parallel laufende Radarlinien kommen hinzu. Ein an der Antenne installiertes Messrad löst im kontinuierlichen Modus alle 2 cm einen Messimpuls aus, welcher vierfach wiederholt wird (*stacking* 4). Reflexionen werden mit einer *sampling rate* von 0,102 ns über ein Zeitfenster von 30 ns registriert. Das Nyquist-Shannansche Abtasttheorem  $f_{\text{abtast}} > 2 \cdot f_{\text{max}}$  fordert unter Berücksichtigung dieser Konstellation eine *sampling rate* von mindestens 0,139 ns, wobei  $f_{\text{max}}$  ca. 1,5 mal der *center frequency* von 800 MHz entspricht.

Die Datenbearbeitung erfolgt mit der Software ReflexW 3.5 von SANDMEIER (2004). Folgende Filtermethoden werden verwendet:

- *subtract-mean dewow* (*time window 2 ns* setzt die jeweiligen *traces* auf eine Mittel-  
linie),
- *static correction* (*correct max. phase* zur Parallelsetzung der Luftwelle),
- *background removal* (eine über das gesamte Radarbild gemittelte *average trace*, die  
von jeder einzelnen *trace* abgezogen wird),
- *running average* (*average traces [8]* zur Glättung des Bildes).

Mittels graphischer Überlagerung der Messergebnisse zum Aufbau und zur Mächtigkeit der organischen Auflagen, die aus der feldbodenkundlichen Aufnahme entlang des Eichschnitts stammen, und der Radargramme selbst, werden Reflexionsmuster und Kriterien bestimmt, welche eine Abgrenzung von organischen und mineralogenen Horizonten im Radargramm erlauben. Diese Kriterien werden auf die weiteren Radarlinien übertragen, die im jeweiligen Untersuchungsareal parallel zum Eichschnitt verlaufen. Aus der Summe der Ergebnisse wird die prozentuale Verteilung der Humusmächtigkeiten und ihre Varianzen errechnet.

## 5.2 Labormethoden

### 5.2.1 Physikochemische Standardwerte am Boden

Es werden Parameter ausgewählt, welche den Nährstoffhaushalt der Böden maßgeblich kennzeichnen, welcher wiederum einen hohen Einfluss auf die Bioverfügbarkeit von Radiocäsium besitzt. Von sämtlichen Bodenproben aus dem Bereich der organischen Auflagehorizonte und der mineralischen Ober- und Unterbodenhorizonte werden im Labor der pH-Wert, der Gehalt an organischem Kohlenstoff ( $C_{org}$ ) und an organischer Substanz, der Gehalt an Gesamtstickstoff ( $N_{ges}$ ) sowie die effektive Kationenaustauschkapazität ( $KAK_{eff}$ ) erfasst. Eine ausführliche Beschreibung dieser Methoden findet sich in leicht erreichbarer Form bei VÖLKEL (1995a), weshalb hier nur in Kurzform die wichtigsten Aufschluss- und Messparameter dargestellt werden.

#### pH-Wert

10 g Feinboden bzw. 1 g Auflagenmaterial mit 25 ml 0,01 mol/l  $CaCl_2$  verrühren, potentiometrische Messung mit einer Glaselektrode und einem pH-Meter (Fa. WTW, Typ 521) nach 30 min und 24 h.

### Organischer Kohlenstoff / organische Substanz

0,05 - 1 g Einwaage, Aufschluss mit Kaliumdichromat in schwefelsaurer Lösung und anschließende kolorimetrische Erfassung des Dichromat-Anteils am UV-VIS-Spektralphotometer (Lambda 2, Fa. Perkin Elmer), der je nach  $C_{\text{org}}$ -Gehalt zum Cr III reduziert wurde. Aus dem so erfassten organischen Kohlenstoffgehalt wird der Massenanteil an organischer Substanz errechnet. Nach SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL (2002) variiert der Kohlenstoffgehalt der organischen Substanz innerhalb einzelner Substanzklassen stark und liegt im Durchschnitt bei 50 %. In manchen Untersuchungen wird deshalb darauf verzichtet, den Kohlenstoffgehalt in Anteile an organischer Substanz umzurechnen. Der vorliegende Bericht orientiert sich diesbezüglich an den Vorgaben der AG BODEN (2005), wonach die organische Substanz näherungsweise aus dem organischen Kohlenstoffgehalt berechnet werden kann, indem mit dem Faktor 1,72 multipliziert wird.

### Gesamtstickstoff

Die Gesamtgehalte an Stickstoff resultieren aus der Messung nach dem Prinzip der katalytischen Rohrverbrennung unter Sauerstoffzufuhr und hohen Temperaturen mit einem vario EL III der Fa. Elementar. Die Proben werden zuvor in Achatbechern in einer Kugelmühle (Pulverisette 5, Fa. Fritsch) gemahlen. 10-30 mg der Probe (je nach Gehalt an organischer Substanz) werden in Zinnschiffchen zur Doppelbestimmung zweifach eingewogen. Die Verbrennung der Proben erfolgt in reinem Sauerstoff bei 950°C. Die dabei entstehenden Gase  $N_2$  und  $CO_2$  werden in speziellen Adsorptionssäulen fixiert. Ein Wärmeleitfähigkeitsdetektor erfasst die Wärme des Trägergases Helium und integriert daraus die Elementgehalte. Für die Präzision der Daten werden täglich Messungen an Sulfanilsäure vorgeschaltet, aus denen der Korrekturfaktor berechnet wird.

Stickstoff ist ein für die Pflanzen essentieller Nährstoff, dessen Verfügbarkeit nur einer sehr geringen Schwankungsbreite unterliegen darf (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002). Das C/N-Verhältnis lässt wie die Kationenaustauschkapazität Schlussfolgerungen auf die Humusqualität zu (AG BODEN 2005) und ist damit auch gerade hinsichtlich der vorliegenden Fragestellung von Bedeutung.

### Effektive Kationenaustauschkapazität

Die Kationenaustauschkapazität charakterisiert das Aziditätsmilieu eines Bodens sehr viel genauer als der pH-Wert und beschreibt insbesondere die Puffereigenschaften des Bodens. Gerade bei radioökologischen Fragestellungen stellt die Kationenaustauschkapazität eine sehr wichtige Größe dar, weil Art und Ausmaß des Kationenbelages der Austauschsysteme im Boden ganz maßgeblich die  $^{137}\text{Cs}$ -Belastung der Pflanzen beeinflussen (VÖLKELE 1997, 2002).

Zur Analyse werden 2,5 g L-Material, 5 g Of- bzw. Oh-Material oder 10 g mineralisches Bodenmaterial eingewogen, mit 100 ml  $\text{NH}_4\text{Cl}$  (1 mol/l) 1 Stunde überkopfgeschüttelt, filtriert, mit 1 ml  $\text{CsCl-LaCl}$ -Puffer vermischt und mittels Atomabsorptionsspektrometrie in der Flamme (AAS, Typ Solar 939, Fa. ATI Unicam) gemessen.

### 5.3 Gammaspektrometrische Messung an Boden- und Pflanzenproben

Für die gammaspektrometrischen Messungen steht ein Reinst-Germanium-Detektorsystem Series-95 der Fa. Canberra Packard mit Vielkanalanalysator zur Verfügung. Verwendet wird das Softwarepaket Genie2k. Weitere Angaben zur Vorbereitung und Neuinstallation des gammaspektrometrischen Messplatzes finden sich im ersten Zwischenbericht zu diesem Forschungsvorhaben. Für den Abschlussbericht genügen vorstehende Informationen.

#### 5.3.1 Kalibration des Gammaspektrometers

Für die Kalibration wird eine Referenzlösung der Firma AEA Technology QSA GmbH vom Typ QCYB410 verwendet. Diese Mischlösung enthält acht künstliche Radionuklide (Barium-133, Cobalt-57, Cer-139, Strontium-85, Cäsium-137, Mangan-54, Yttrium-88, Zink-65), die eine Mehrpunktkalibrierung ermöglichen.

Zur Kalibration werden 100 ml Referenzlösung mit 0,5 mol/l  $\text{HCl}$  auf 1000 ml verdünnt und für fünf unterschiedliche Geometrien abgemessen. Von der Gesamtmenge 1000 ml werden 20 ml, 50 ml und 100 ml in jeweils eine 100 ml-Weithals-Kautexflasche und 250 ml und 500 ml in jeweils einen Marinelli-Becher (Typ 130G) abgefüllt.

Die Qualitätskontrolle der Messungen erfolgt über Aktualisierung des Nulleffektes nach jeweils vier Wochen und in Form regelmäßiger Kontrollmessungen eines der fünf zur Verfügung stehenden Standards.

Die Identifikation der Nuklide erfolgt anhand der Photonen-Energien mit der jeweils höchsten Emissionswahrscheinlichkeit. Für  $^{137}\text{Cs}$  liegt diese bei 662 keV, für  $^{134}\text{Cs}$  bei

604 keV. Der Fehler der Messwerte wird automatisch in 1Sigma angegeben und liegt bei Messwerten > 50 Bq/kg und maximalen Messzeiten von 24 h nie über 5 %.

### 5.3.2 Routinemessungen

Die Messungen erfolgen am getrockneten und soweit wie möglich homogenisierten Probenmaterial, so dass sich die angegebenen Aktivitäten auf das Trockengewicht beziehen (vgl. VÖLKELE 2002).

## 6 Ergebnisse

### 6.1 Vorstellung der Untersuchungsgebiete auf Basis des Kriterienkatalogs

Die im Rahmen dieser Studie bearbeiteten Untersuchungsgebiete liegen in den LandschaftsgröÙeinheiten der Nördlichen Kalkalpen und der Mittelgebirge. Die räumliche Lage der GröÙeinheiten im bayerischen Staatsgebiet wird in Abb. 1 dargestellt. Die naturräumliche Ausstattung der drei ausgewählten Untersuchungsgebiete wurde bereits bei VÖLKELE (1997; 2002) detailliert beschrieben, weshalb hier nicht mehr näher darauf eingegangen wird. Der im ersten Zwischenbericht vorgestellte Kriterienkatalog zur Auswahl eines geeigneten Untersuchungsareals wurde in allen hier bearbeiteten Landschaftseinheiten (Garmisch-Partenkirchen, Mangfallgebirge, Bayerischer Wald) angewendet. Tab. 3 stellt ein Beispiel aus Garmisch-Partenkirchen dar, welches unter 14 möglichen Standorten letztlich Standort 12 als Untersuchungsareal auswählen ließ. Zu bewertende Eignungskriterien sind das Relief (a), der Bewuchs in der Baumschicht (b), der Unterwuchs in Form der Strauch- und Krautschicht (c), die forstliche Bewirtschaftungsform (d), die Bodenfeuchtigkeit (e) und die Humusaufgabe der Böden (f). Zur physikochemischen Charakterisierung der Böden in den jeweiligen Untersuchungsgebieten wurden umfangreiche Laboranalysen durchgeführt. Sie bauen auf den bereits aus früheren Studien von VÖLKELE (2002) erarbeiteten Daten auf und ergänzen diese in Form der in dieser Studie ausnahmslos arealbezogenen Beprobung. Der Abgleich der im hier berichtspflichtigen Forschungsvorhaben zu erhebenden Daten mit dem vorhandenen Datenpool ist eine wesentliche Grundlage für die Datenevaluierung.

Tab. 3 Kriterienkatalog zur Auswahl eines Untersuchungsareals am Beispiel der Landschaftseinheit Wettersteingebirge / Garmisch-Partenkirchen.

Standort	Fläche (m)	Gelände	Bewuchs	Unterwuchs	Bewirtschaft.	Feuchtigkeit	Humus (min)	Humus (max)	Streu
1	20 x 30	relativ eben	Fichte	dicht, u.a. Ahorn jung	1; 2; 4 (Strom);	relativ trocken	1- 2 cm, mächtiger Ah	10 cm	1- 2 cm
2	50 x 50	geringe Hangneigung, Grenze Steilhang (S)	Fichte (lichter)	mäßig dicht	1; 3	relativ trocken	3 cm	8 cm	1 - 3 cm
3	10 x 20	geringe Hangneigung,	Fichte (lichter)	mäßig dicht	1; 5	relativ trocken	4 cm	15 cm	1 - 2 cm
4	10 x 10	mittlere Hangneigung Grenze Steilhang	Fichte (alt)	licht	2;	relativ trocken	10 cm	15 cm	
5	mind. 20 x 20	geringe Hangneigung,	Fichte (Buche)	sehr dicht	2; 4; 5	sehr feucht *	2 - 10 cm	20 - 30 cm	
6	20 x 20	geringe Hangneigung,	Fichte	mäßig dicht	2; 3; 5	stellenweise feucht *	3 cm	12 cm	
7	mind. 10 x 10	rel. eben, leicht buckelig	Fichte (dicht)	sehr dicht	(3)	mäßig feucht *	3 cm	12 cm	
8	mind. 20 x 20	rel. eben	Fichte	dicht,	7	sehr feucht *	5 cm	20 cm	
9	max 10 breit	geringe Hangneigung,	Buche	rel. licht	5; 7;	mäßig feucht *	10 cm	20 cm	bis 5 cm
10	50 x 50	geringe Hangneigung,	Fichte	sehr dicht	2; 3; 5	stellenweise feucht *	1 cm	20 cm (und >)	2 - 4 cm
11	mind. 10 x 10	stufig -> Stufen rel. eben	v.a. Fichte	dicht	2; 3	feucht (unten)*	7 cm	15 cm	2 - 4 cm
						trocken (oben)			
12	mind. 20 x 20	reliefiert, buckelig	Fichte (alt)	licht	1, 3	trocken	12 cm	20 cm	2 - 5 cm
13			Fichte	dicht	1; 3	meist trocken	1 cm	15 cm	1 - 4 cm
						stellenweise feucht *	mächtiger Ah		
14	-> mittlere bis große Felsbrocken		Fichte, stellenweise Buchen (mit Jungbuchen im Unterwuchs, sehr dicht)						

1 = alte, mit Moos überwachsene Baumstümpfe

2 = Windwurf

3 = morsche Stämme und Äste

4 = Nähe anthropogen veränderten Flächen (z.B. Forstwege, Stromhäuser, Bergbahnen, ...)

5 = Bachlauf, Moor

6 = "frisch" geschittene Baumstümpfe

7 = neben Waldbeobachtungsfläche

8 = Fahrwegrinnen

\* = nach Starkregen (1 Tag zuvor)

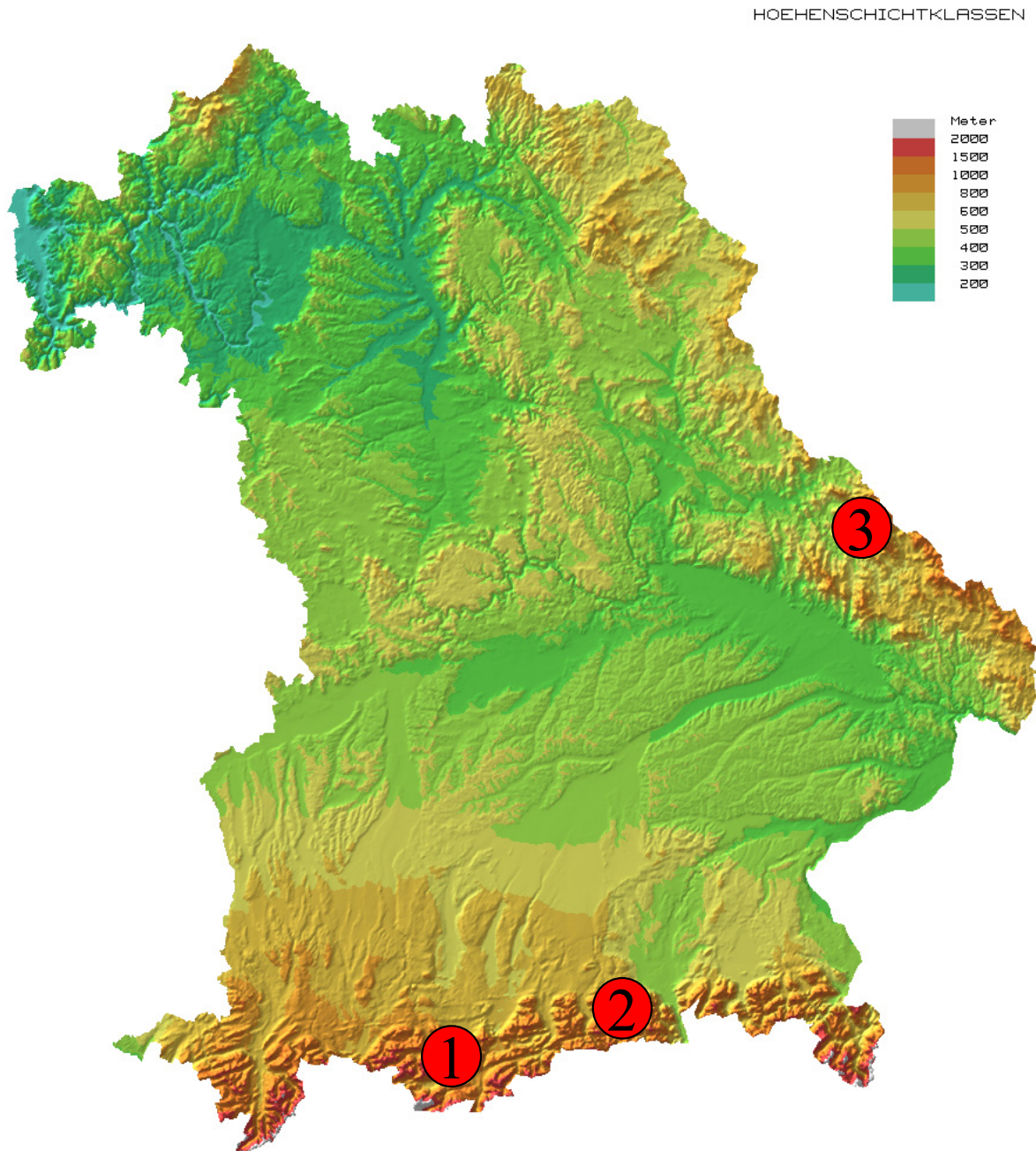


Abb. 1 Lage der Untersuchungsgebiete Garmisch-Partenkirchen (1), Mangfallgebirge (2) und Bayerischer Wald (3) in montanen bis alpinen Höhenlagen (Kartengrundlage BayFORKLIM 1996).



### 6.1.1 Garmisch-Partenkirchen

Das Untersuchungsgebiet Garmisch-Partenkirchen liegt auf Blatt 8532/8632 Garmisch-Partenkirchen der TK 1:25.000 in ca. 1.260 m NN im Bereich der hochmontanen Stufe nach WALENTOWSKI & GULDER (2001) (vgl. Abb. 2). Es ist durch einen relativ homogenen Fichtenaltwuchs mit geringem Unterwuchs gekennzeichnet. Das Relief zeigt sich eben bis schwach geneigt und trägt standorttypisch zum Teil größere Gesteinsblöcke.

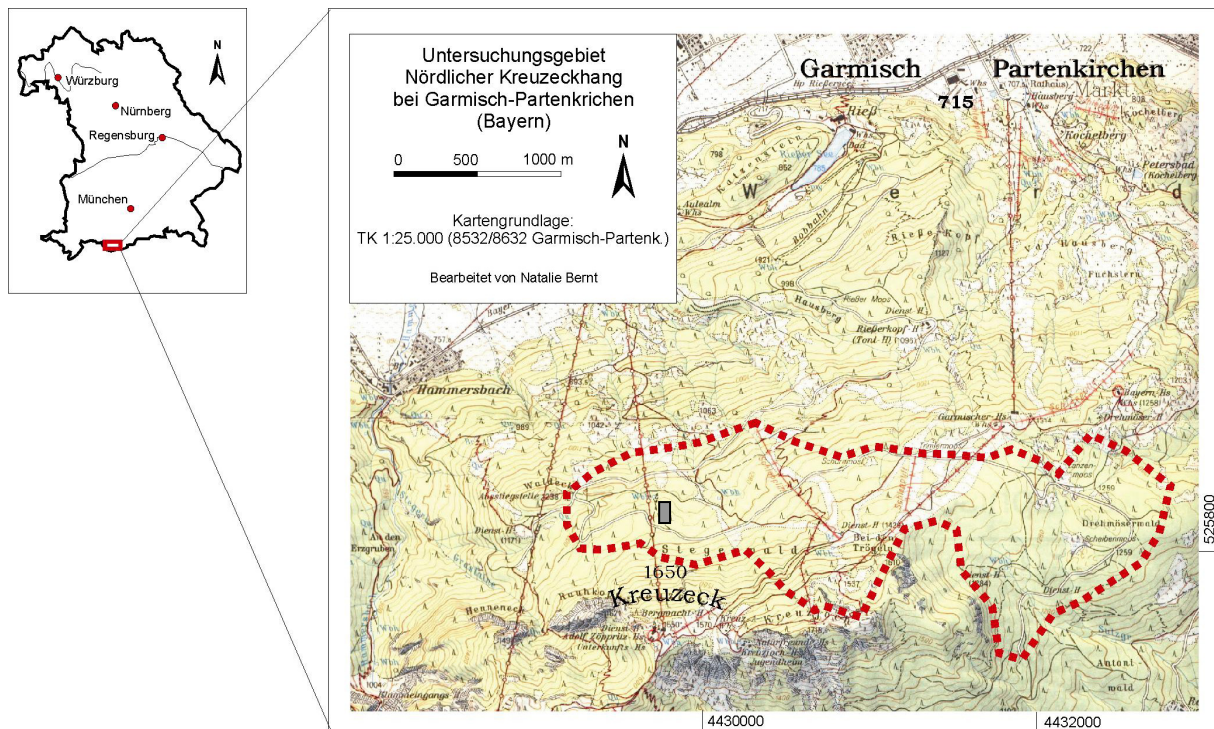


Abb. 2 Topographische Übersicht zum Untersuchungsgebiet (grau hinterlegt) am Kreuzeckhang bei Garmisch-Partenkirchen.

Im Untersuchungsgebiet Garmisch-Partenkirchen wurden insgesamt acht Radarlinien, ein Eichgraben und zwei Profilgruben angelegt, deren Lage Abb. 3 zu entnehmen ist. Der großmaßstäbige Isohypsenplan ist Ergebnis der projekteigenen tachymetrischen Aufnahme. Seine Erstellung ist erforderlich, um die hochpräzise Auswertung der Radarlinien hinsichtlich der Lage der Geländeoberkante und der Bestimmung der einzelnen Bodenhorizontmächtigkeiten zu ermöglichen.

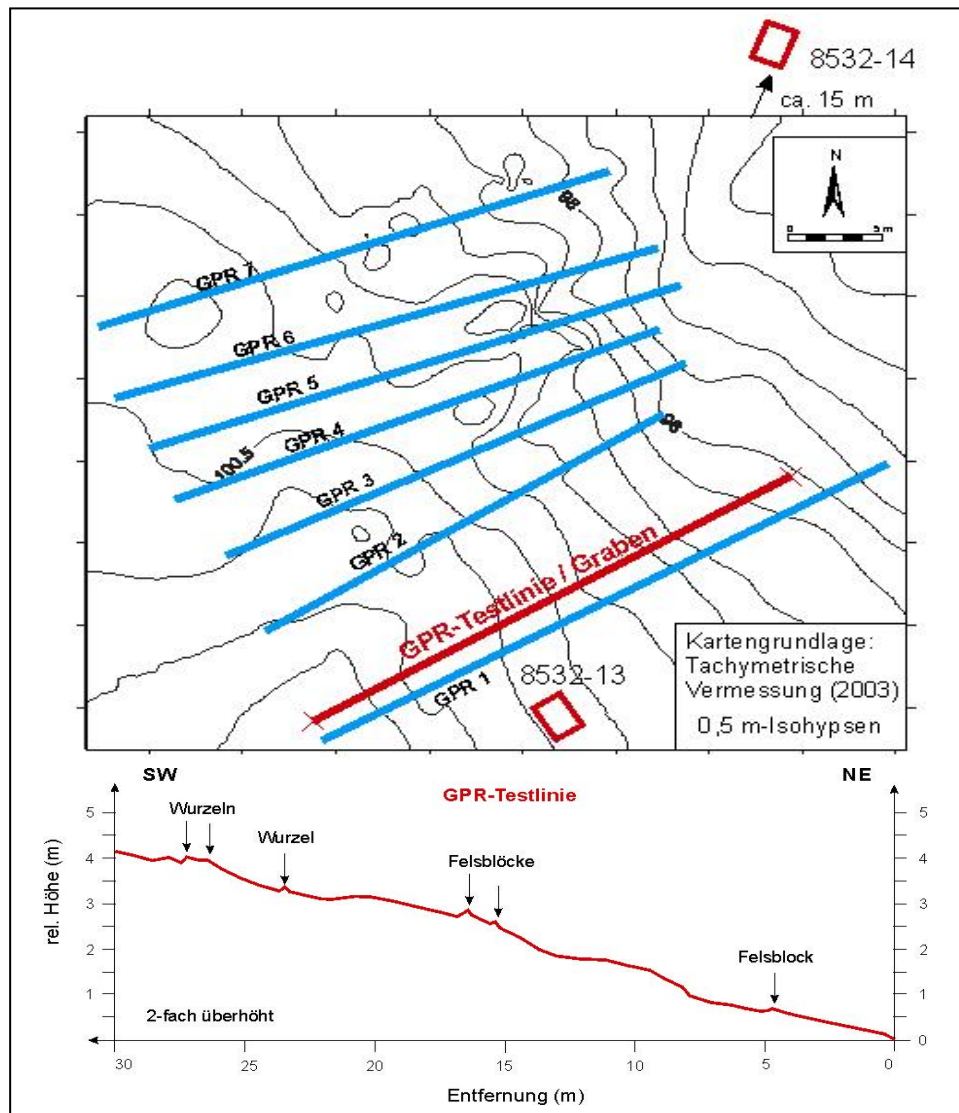


Abb. 3 Lage der einzelnen Radarmesslinien, des Eichschnittes und der Referenzprofile im Untersuchungsgebiet Garmisch-Partenkirchen, dargestellt im digitalen Isohypsenmodell. Eichschnitt im Längsprofil.

### 6.1.2 Mangfallgebirge

Unter Anwendung des in Tab. 3 dargelegten Kriterienkatalogs kommt es im Mangfallgebirge zur Ausgliederung zweier benachbarter Testareale, Beiwand 1 und Beiwand 2. Deren naturräumliche Grundausstattung wird in Tab. 4, ihre geographische Lage in Abb. 4 dargestellt.

Tab. 4 Tabellarische Beschreibung der naturräumlichen Ausstattung der Untersuchungsareale Beiwand 1 und 2 im Mangfallgebirge.

Untersuchungsgebiet	Bayerische Kalkalpen	
TK 25	8338 Bayrischzell	
Untersuchungsfläche	Beiwand 1	Beiwand 2
Arealgröße	25 x 25 m	25 x 25 m
Höhe [m NN]	840	800
Exposition	NW	NW
Hangbereich	Ober-/Mittelhang	Unterhang
Hangneigung	30°	Hangverflachung, ca.2°
NN [mm/a]	>1.500	>1.500
Substrat	Hauptdolomit	Hauptdolomit
Bestockung	Buche, vereinzelt Fichte und Ahorn	Fichte, vereinzelt Kiefer, Buche und Ahorn

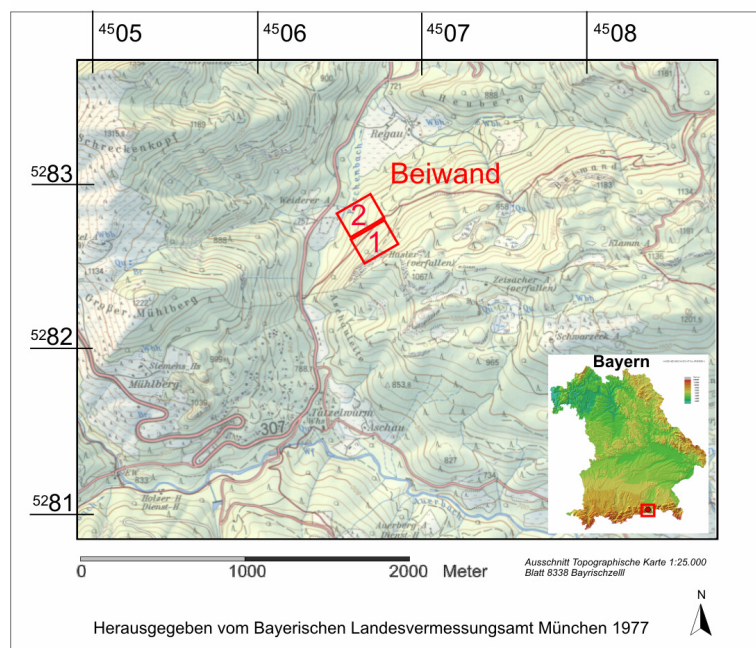


Abb. 4 Lage der Untersuchungsareale Beiwand 1 und Beiwand 2 im Untersuchungsgebiet Mangfallgebirge (Ausschnitt aus der TK 25, Blatt Nr. 8338 Bayrischzell).

Die digitalen Geländemodelle in Abb. 5 und 6, die ebenfalls auf Basis der tachymetrischen Vermessungsdaten zu erstellen waren, zeigen die Lage der Radarlinien und der jeweiligen Eichschnitte in den Untersuchungsarealen Beiwand 1 und Beiwand 2.

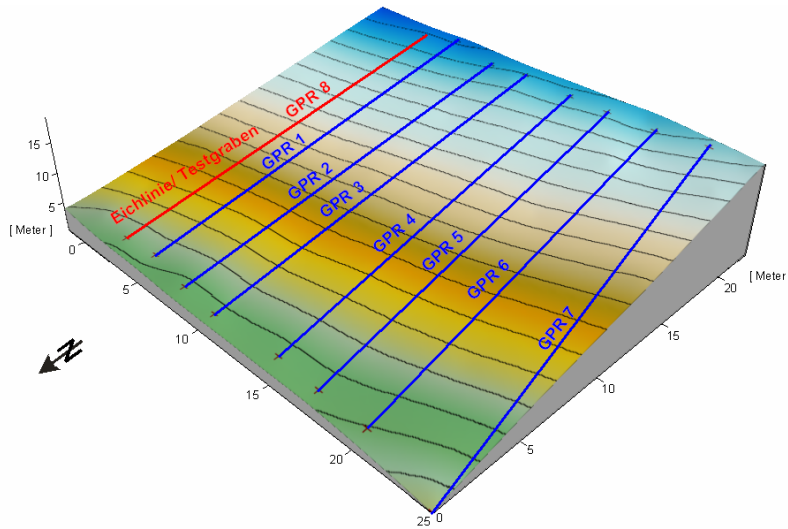


Abb. 5 Lage der einzelnen Radarmesslinien und des Eichschnittes im Untersuchungsareal Beiwand 1 im Mangfallgebirge, dargestellt im digitalen Isohypsenmodell.

Kartengrundlage  
Tachymetrische Vermessung (2004)  
1 m-Isohypsen

— Eichlinie/ Testgraben  
— Radarmesslinie

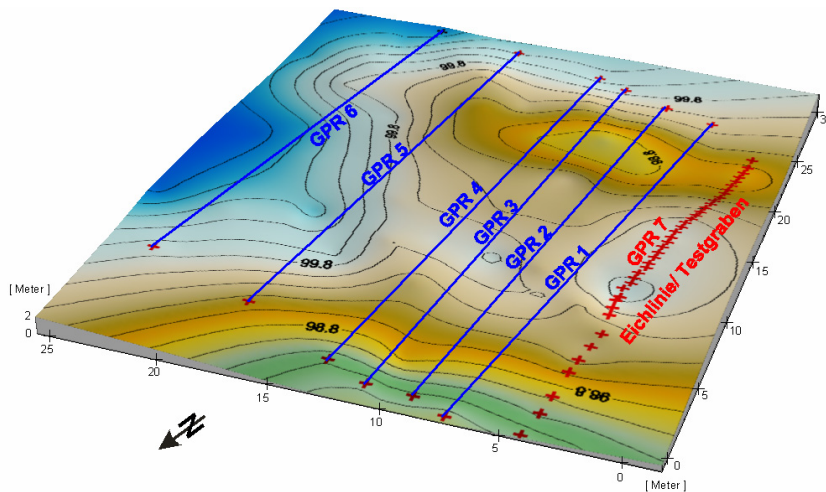


Abb. 6 Lage der einzelnen Radarmesslinien und des Eichschnittes im Untersuchungsareal Beiwand 2 im Mangfallgebirge, dargestellt im digitalen Isohypsenmodell.

Kartengrundlage  
Tachymetrische Vermessung (2004)  
0,2 m-Isohypsen

— Eichlinie/ Testgraben  
— Radarmesslinie

### 6.1.3 Bayerischer Wald

Wie im zweiten Zwischenbericht vom 06/2005 dargelegt, erfolgte die Auswahl der Testareale im Untersuchungsgebiet Bayerischen Wald nahe der ehemaligen Testflächen der Vorgängerprojekte am Drähberg bei Bayerisch Eisenstein (u.a. VÖLKE 1997). Aufwendige Untersuchungen zur Grundcharakterisierung der physikochemischen Parameter der Böden konnten daher auch hier weitgehend vermieden und die Daten früheren Arbeiten übernommen werden. Die naturräumliche Ausstattung der Testgebiete wird in Tab. 5, die räumliche Lage in Abb. 7 dargestellt.

Tab. 5 Tabellarische Beschreibung der naturräumlichen Ausstattung der Untersuchungsareale Drähberg 1 und Drähberg 2 im Bayerischen Wald.

Untersuchungsgebiet	<b>Hinterer Bayerischer Wald</b>	
TK 25	6845 Bayerisch Eisenstein	
Untersuchungsfläche	Drähberg 1	Drähberg 2
Arealgröße	30 x 30 m	30 x 30 m
Höhe [m NN]	850	870
Exposition	E	E
Hangbereich	Ober-/Mittelhang	Ober-/Mittelhang
Hangneigung	10°	15°
NN [mm/a]	1.100-1.300	1.100-1.300
Substrat	Gneise	Gneise
Bestockung	Fichte	Buche

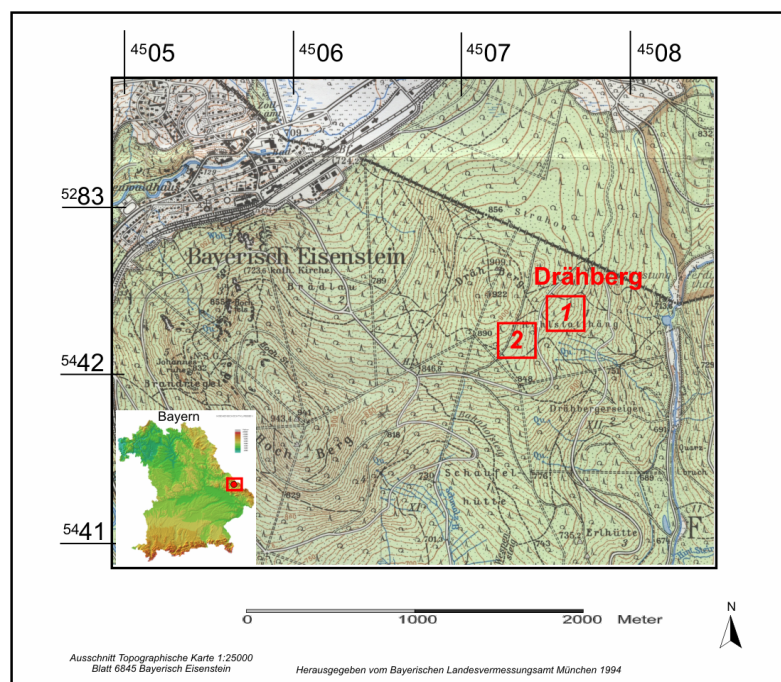
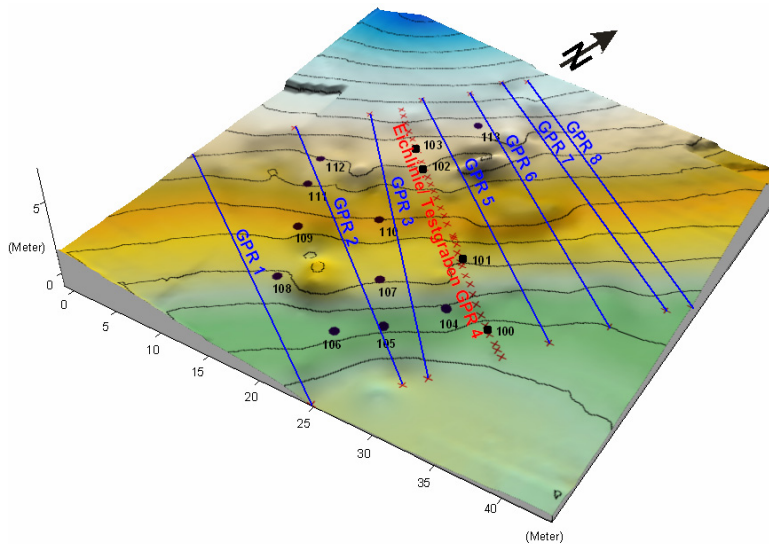


Abb. 7 Lagedarstellung der Untersuchungsareale Drähberg 1 und 2 im Untersuchungsgebiet Bayerischer Wald, Ausschnitt aus der TK 25, Blatt Nr. 6845 Bayerisch Eisenstein.

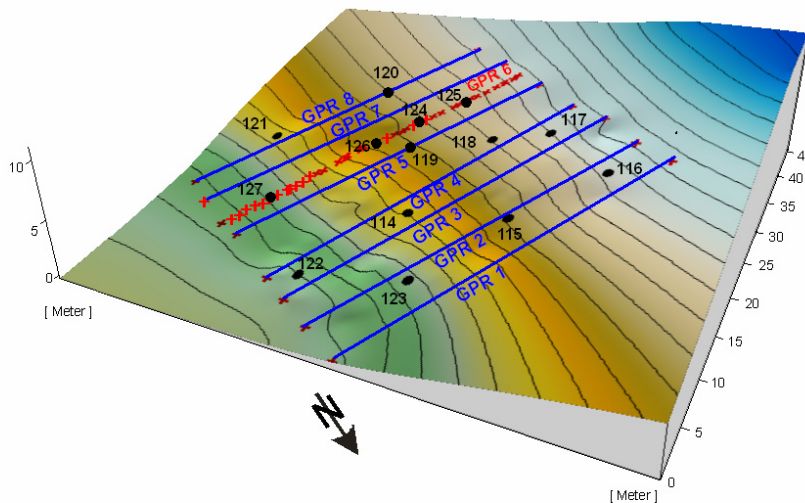
Die digitalen Geländemodelle (Abb. 8, Abb. 9) zeigen die Lage der Radarlinien und der jeweiligen Eichschnitte in den Untersuchungsarealen Drähberg 1 und Drähberg 2 im Untersuchungsgebiet Bayerischer Wald bei Bayerisch Eisenstein.



Kartengrundlage  
Tachymetrische Vermessung (2005)  
0,5 m-Isohypsen

+++ Eichlinie/ Testgraben  
— Radarmesslinie  
● Bodenmonolith

Abb. 8 Lage der einzelnen Radarmesslinien, des Eichschnittes und der Bodenmonolithen im Untersuchungsareal Drähberg 1 im Untersuchungsgebiet Bayerischer Wald, dargestellt im digitalen Isohypsenmodell.



Kartengrundlage  
Tachymetrische Vermessung (2005)  
0,5 m-Isohypsen

+++ Eichlinie/ Testgraben  
— Radarmesslinie  
● Bodenmonolith

Abb. 9 Lage der einzelnen Radarmesslinien, des Eichschnittes und der Bodenmonolithen im Untersuchungsareal Drähberg 2 im Untersuchungsgebiet Bayerischer Wald, dargestellt im digitalen Isohypsenmodell.

## 6.2 Eichschnitte

Um ein von Relief, Bestockung und oberflächennahem Untergrund her gleichartiges Gebiet bezüglich der Mächtigkeitsvariabilität der Humusauflagen generalisierungsfähig zu charakterisieren, wird auf allen Testarealen (vgl. Kap. 2) jeweils ein 30 m langer Eichschnitt in Form eines Gräbchens angelegt. In 10 cm-Abständen werden entlang des Schnittes die Humusmächtigkeit, die Horizontdifferenzierung und die Humusform bestimmt, desweiteren die mineralischen Oberbodenhorizonte (z.B. Ah) sowie die Unterbodenhorizonte (z.B. Bv) bodentypologisch zugeordnet und ihre jeweiligen Mächtigkeiten in Anlehnung an AG BODEN (2005) ermittelt. Die Lage der einzelnen Eichschnitte ist jeweils identisch mit der Lage einer der zuvor aufgemessenen Radarlinien. Die graphische Umsetzung der bodenkundlichen Aufnahme der Eichschnitte für die jeweiligen Testareale wird in den nachfolgenden Abbildungen dargestellt. Da den Eichschnitten eine Datenbank zugeordnet ist, können statistische Berechnungen zur Verteilung der Humusmächtigkeiten und der Mineralbodenhorizonte durchgeführt werden.

### 6.2.1 Eichschnitt in Garmisch-Partenkirchen

Entlang des 30 m langen Grabens wurden alle 10 cm die Horizontgrenzen metrisch und bodentypologisch aufgenommen. Eine graphische Umsetzung der Daten von 0 – 25 m findet sich in Abb. 10. Eindrucksvoll wird die extrem hohe Heterogenität sichtbar, die es bei der Planung und der Durchführung von Monitoringprogrammen zu berücksichtigen gilt. Das entsprechende Radargramm zeigt Abb. 11.

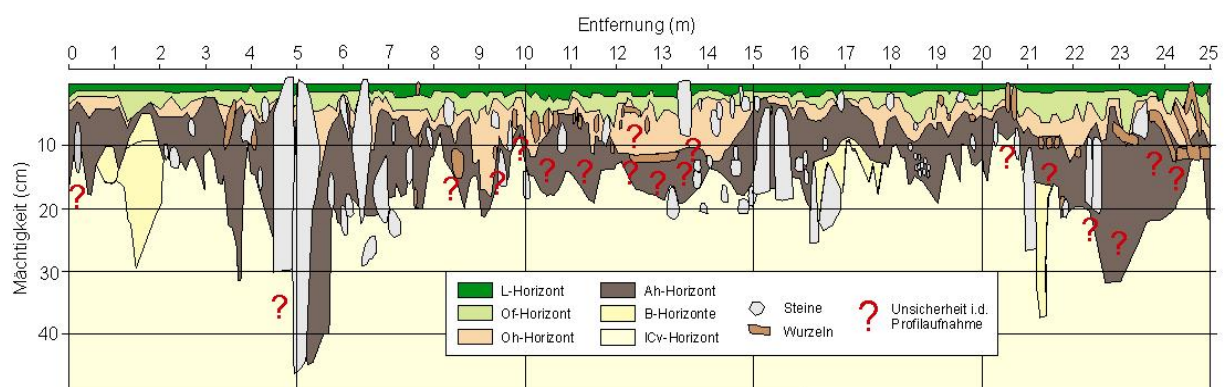


Abb. 10 Darstellung der Mächtigkeiten der einzelnen Auflage- und Mineralbodenhorizonte entlang des Eichschnitts im Untersuchungsgebiet Garmisch-Partenkirchen.

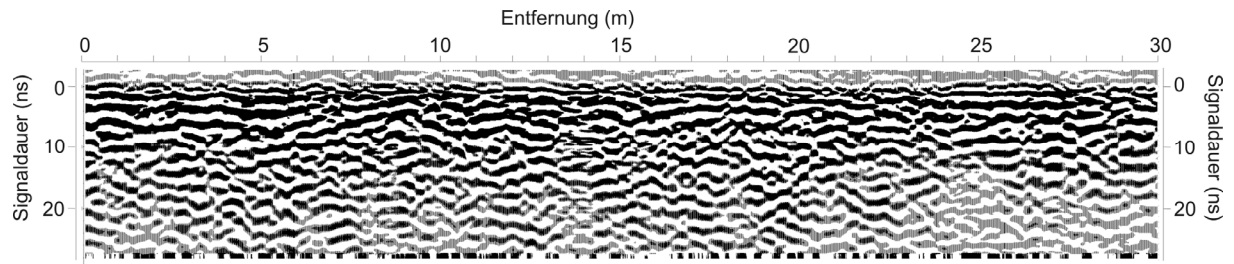


Abb. 11 Radargramm entlang der Eichlinie im Untersuchungsgebiet Garmisch-Partenkirchen (Filter: subtract mean dewow, correct max. phase, background removal, running average).

### 6.2.2 Eichschnitte im Mangfallgebirge

In beiden Untersuchungsarealen (Beiwand 1; Beiwand 2) wurde zur Eichung der Radarprospektion auch hier ein Gräbchen entlang einer der vor der Störung in Form der Bodenbeprobung aufgenommenen Radarlinien gegraben und feldbodenkundlich beschrieben. Die graphischen Auswertungen der Schnitte und die jeweils zugehörigen Radargramme sind in den Abb. 12, 13, 15, und 16 dargestellt. Analog zum Untersuchungsgebiet in Garmisch-Partenkirchen sind die teils sehr großen Mächtigkeitsunterschiede auf engster Distanz auffallend. Die prozentuale Verteilung der Humusmächtigkeiten beider Areale wird in den Abb. 14 und 17 dargestellt.

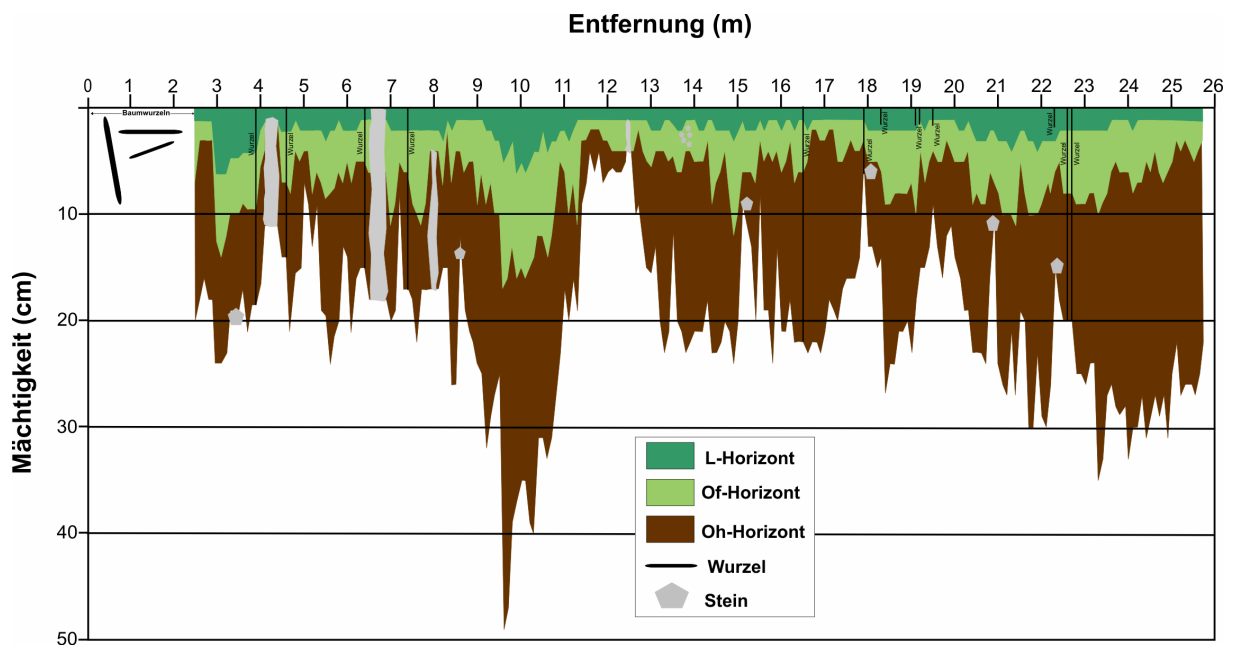


Abb. 12 Darstellung der Mächtigkeiten der einzelnen Auflagehorizonte entlang des Eichschnittes im Untersuchungsareal Beiwand 1 im Mangfallgebirge.



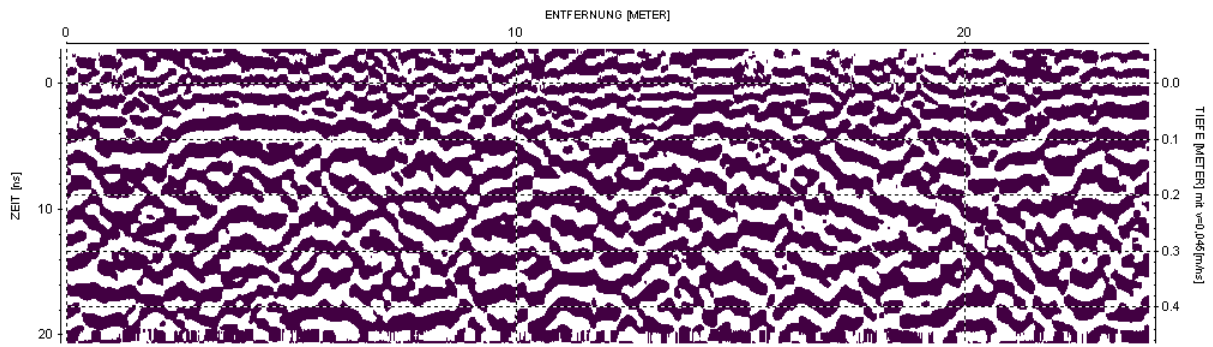


Abb. 13 Radargramm entlang der Eichlinie im Untersuchungsgebiet Mangfallgebirge, Areal Beiwand 1 (Filter: subtract mean dewow, correct max. phase, background removal, running average).

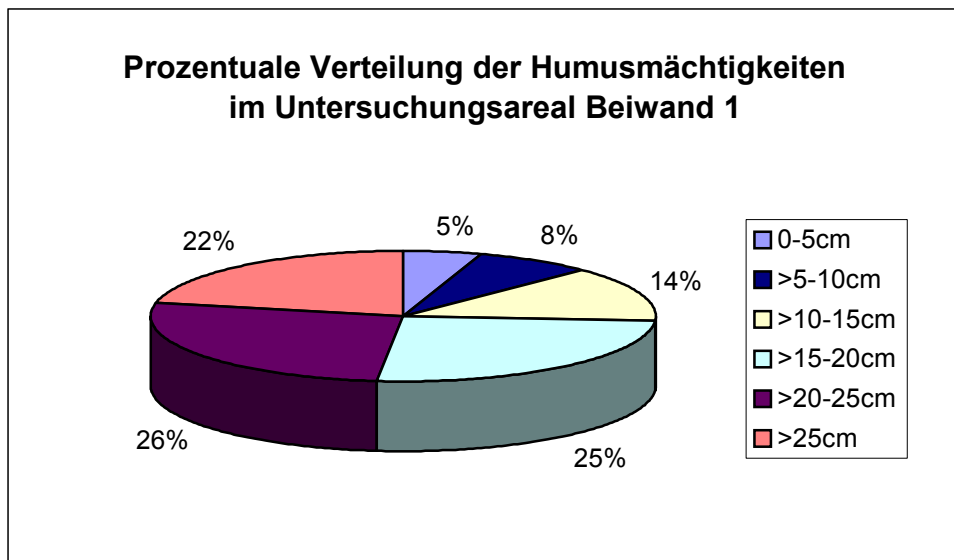


Abb. 14 Prozentuale Verteilung der Humusmächtigkeiten entlang des Eichschnittes im Untersuchungsareal Beiwand 1 im Mangfallgebirge ( n = 250 ).

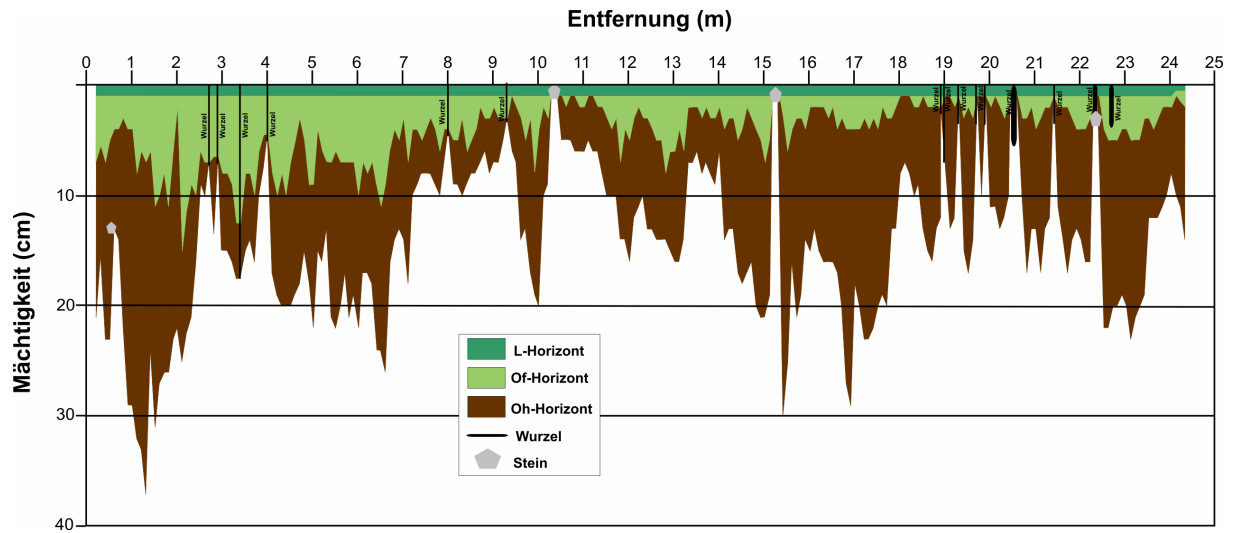


Abb. 15 Darstellung der Mächtigkeiten der einzelnen Auflagehorizonte entlang des Eichschnittes im Untersuchungsareal Beiwand 2 im Mangfallgebirge.

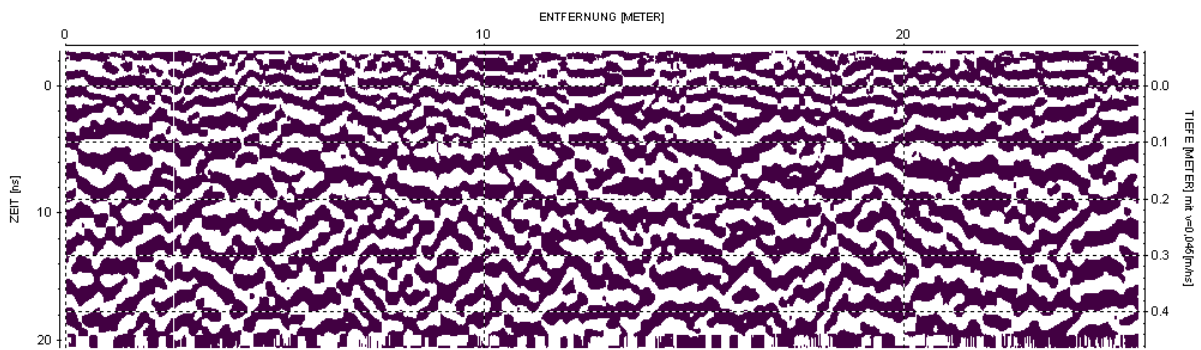


Abb. 16 Radargramm entlang der Eichlinie im Untersuchungsgebiet Mangfallgebirge, Areal Beiwand 2 (Filter: subtract mean dewow, correct max. phase, background removal, running average).

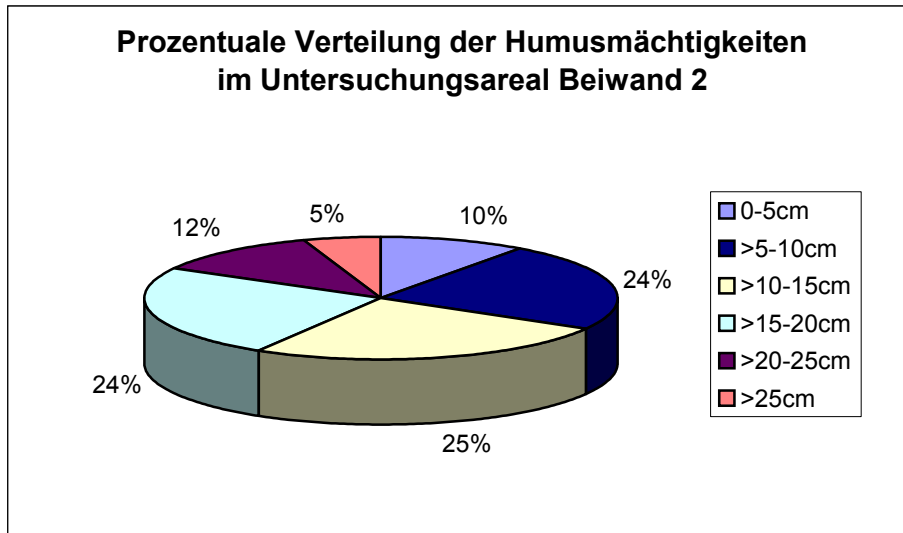


Abb. 17 Prozentuale Verteilung der Humusmächtigkeiten entlang des Eichschnittes im Untersuchungsareal Beiwand 2 im Mangfallgebirge (  $n = 250$  ).

### 6.2.3 Eichschnitte im Bayerischen Wald

Nachstehend werden die Eichschnitte der Untersuchungsareale Drähberg 1 und Drähberg 2 im Bayerischen Wald abgebildet. Dargestellt sind wiederum die Verteilung der Humusmächtigkeiten entlang der Eichlinie, das zugehörige Radargramm sowie ein Diagramm zur prozentualen Verteilung der Mächtigkeiten der organischen Auflagen (vgl. Abb. 18 – 23).

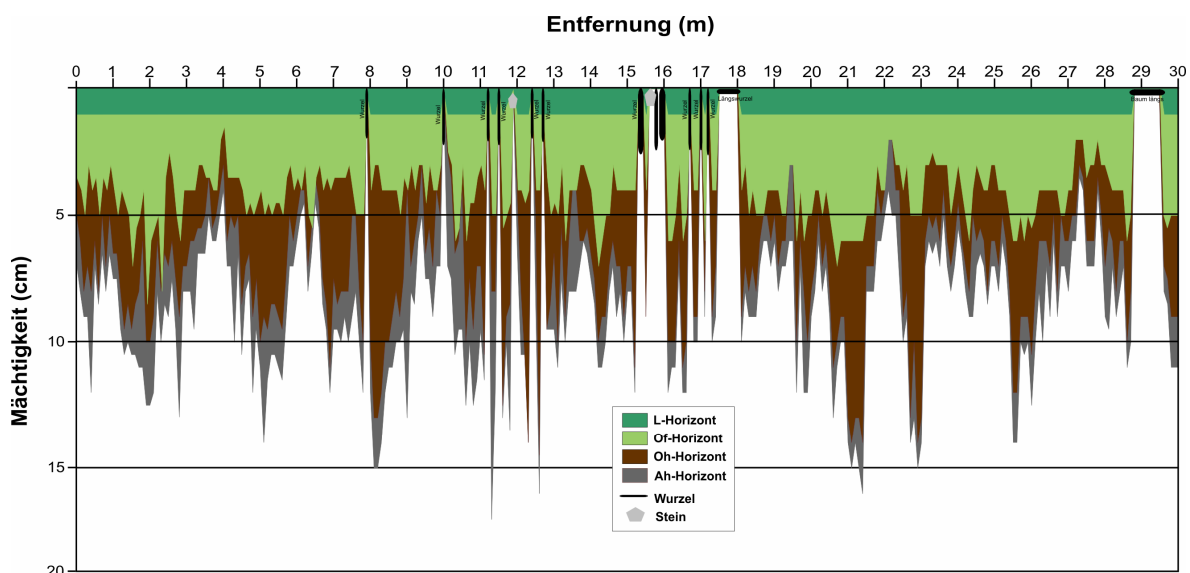


Abb. 18 Darstellung der Mächtigkeiten der einzelnen Auflagehorizonte entlang des Eichschnittes im Untersuchungsareal Drähberg 1 im Bayerischen Wald.

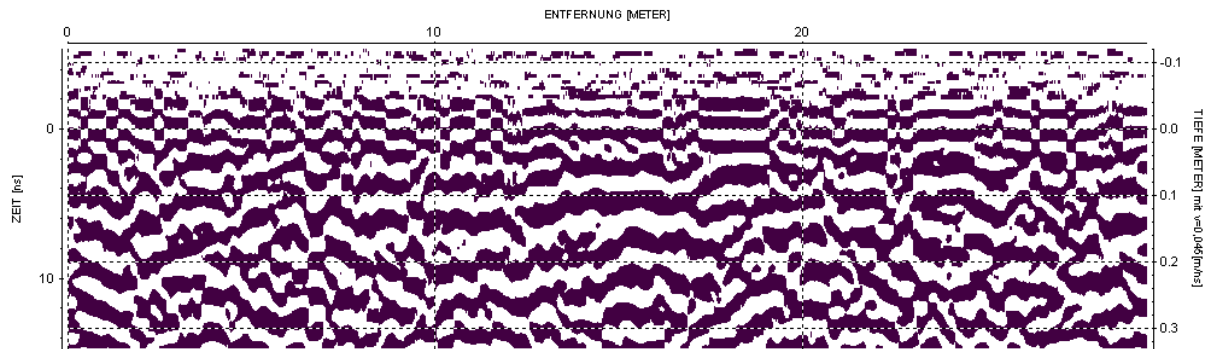


Abb. 19 Radargramm entlang der Eichlinie im Untersuchungsgebiet Bayerischer Wald, Areal Drähberg 1 (Filter: subtract mean dewow, correct max. phase, background removal, running average).

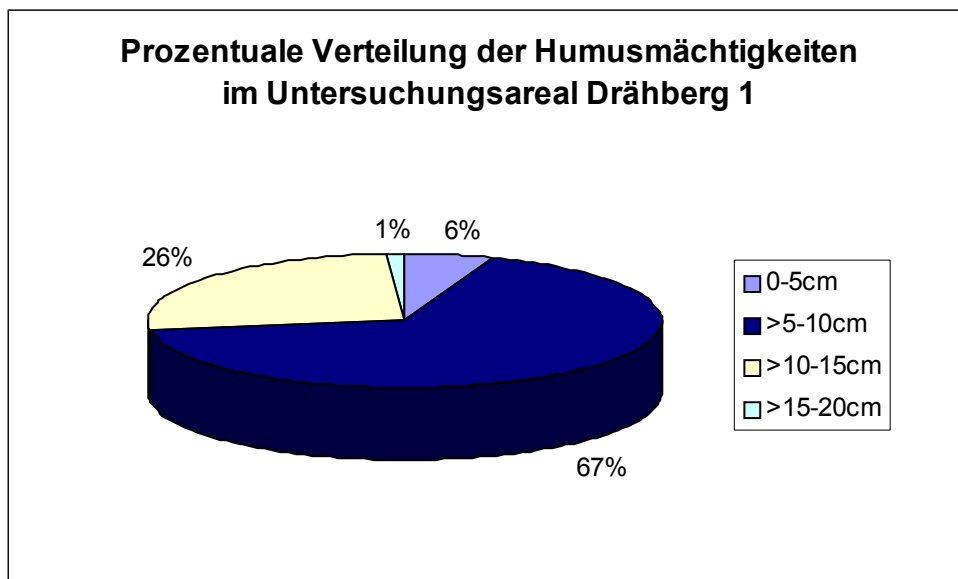


Abb. 20 Prozentuale Verteilung der Humusmächigkeiten entlang des Eichschnittes im Untersuchungsareal Drähberg 1 im Bayerischen Wald (  $n = 300$  ).

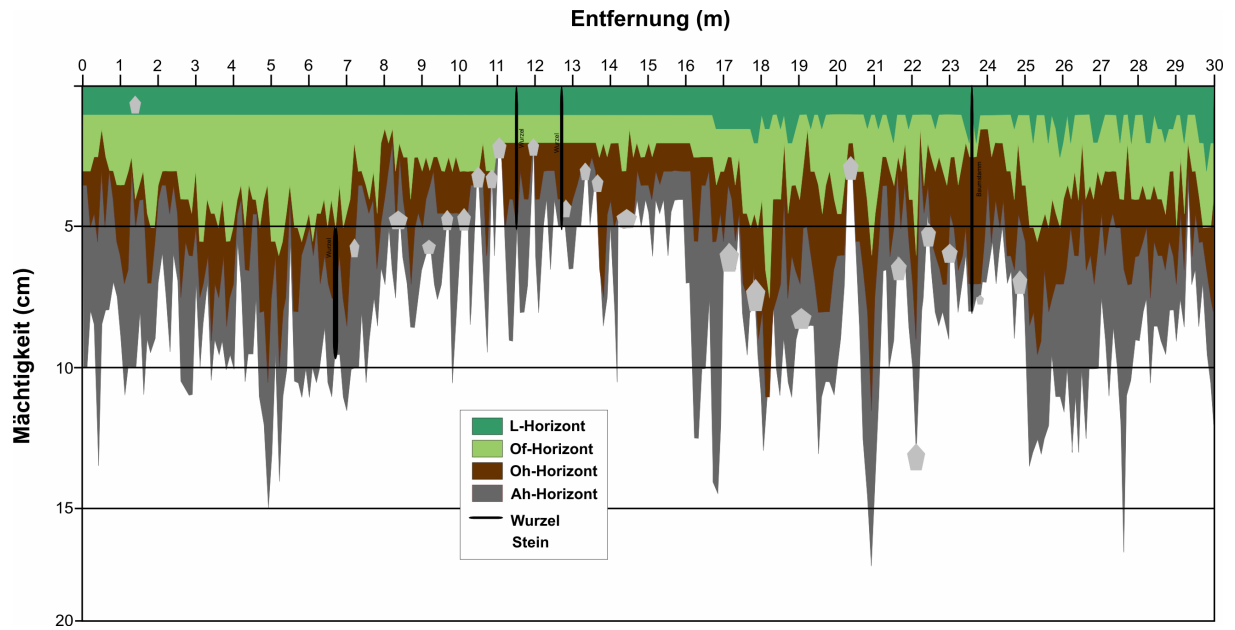


Abb. 21 Darstellung der Mächtigkeiten der einzelnen Auflagehorizonte entlang des Eichschnittes im Untersuchungsareal Drähberg 2 im Bayerischen Wald.

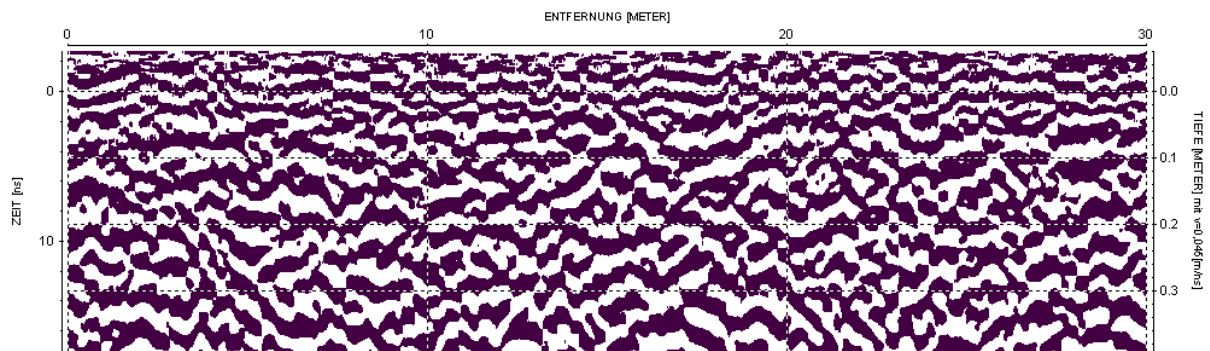


Abb. 22 Radargramm entlang der Eichlinie im Untersuchungsgebiet Bayerischer Wald, Areal Drähberg 2 (Filter: subtract mean dewow, correct max. phase, background removal, running average).

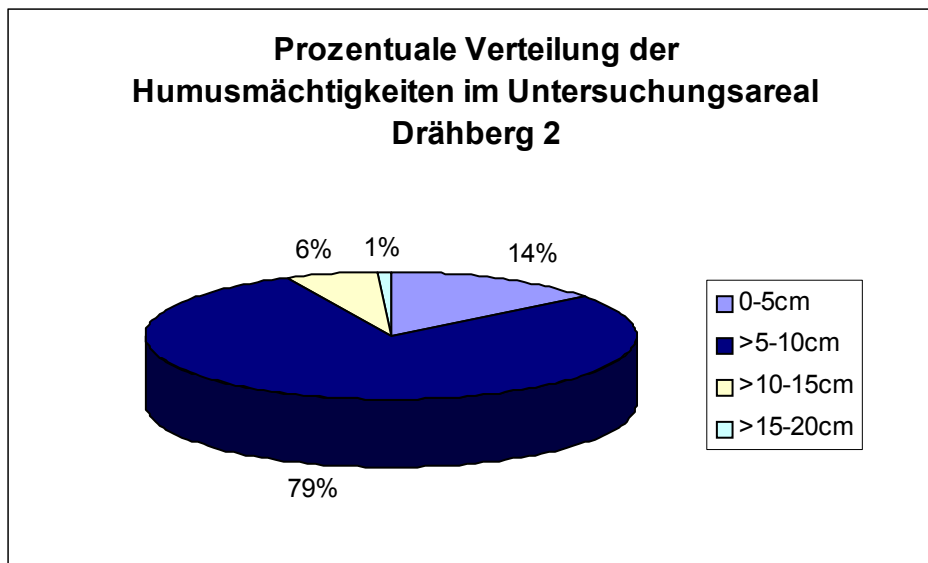


Abb. 23 Prozentuale Verteilung der Humusmächtigkeiten entlang des Eichschnittes im Untersuchungsareal Drähberg 2 im Bayerischen Wald ( n = 300 ).

### 6.3 Vergleich der Eichschnitte aller Untersuchungsgebiete

Tab. 6 zeigt einen Überblick der Humusvariabilität entlang der Eichschnitte in den unterschiedlichen Untersuchungsgebieten. Deutlich ist die Heterogenität innerhalb der einzelnen Schnitte zu erkennen, wie sie über die drei Untersuchungsgebiete hinweg besteht. Zu diskutieren ist, inwieweit die Eichschnitte jeweils die Heterogenität des Testareals erfassen, dem sie zugeordnet sind. Hierzu werden die Radarlinien ausgewertet und zusätzlich mit den feldbodenkundlich erhobenen Daten des Eichschnitts verglichen.

Tab. 6 Darstellung der prozentualen Verteilung der Humusmächtigkeiten entlang der jeweiligen Eichschnitte in allen Untersuchungsgebieten bzw. -arealen (5 cm-Klassen).

Humusmächtigkeit (%) / Untersuchungsareal	0 – 5 cm	5 – 10 cm	10 – 15 cm	15 – 20 cm	20 – 25 cm	> 25 cm
Garmisch-Partenkirchen	31	55	14	--	--	--
Beiwand 1	5	8	14	25	26	22
Beiwand 2	10	24	25	24	12	5
Drähberg 1	6	67	26	1	--	--
Drähberg 2	14	79	6	1	--	--

### 6.3 Auswertung der Radargramme

Die gefilterten Radargramme werden optisch hinsichtlich definierter Reflexionsmuster ausgewertet, welche organischen Auflagehorizonten bzw. Mineralbodenhorizonten entsprechen. Die Methode ermöglicht die Differenzierung von Humushorizonten inklusive dem Ah-Horizont auf der einen und der liegenden Mineralbodenhorizonte auf der anderen Seite (vgl. zweiter Zwischenbericht von 2005). Das ist die Grundlage für die Mächtigkeitsbestimmung und die Varianzerfassung der Humushorizonte. Die dafür erforderlichen Kriterien wurden im Rahmen dieses Forschungsvorhabens entwickelt, was zur Definition von Reflexionsmustern führt (Abb. 24). Nachstehende Kriterien gehen ein:

- Reflexionslinien enden oder beginnen unter- bzw. oberhalb einer linearen, kontinuierlichen Struktur,
- Reflexionslinien stoßen von unten direkt auf die unterste von mehreren übereinanderliegenden, kontinuierlichen Reflexionen,
- Reflexionslinien stoßen von oben direkt auf die oberste von mehreren übereinanderliegenden, kontinuierlichen Reflexionen,
- Trogförmige Reflexionsverläufe stoßen von unten direkt auf die unterste von mehreren übereinanderliegenden, kontinuierlichen Reflexionen,
- Kontinuierliche lineare Reflexionen überlagern diskontinuierlich verstreute Reflexionen mit variierenden Richtungen und Neigungen, welche von zahlreichen Diffraktionshyperbeln durchsetzt werden.

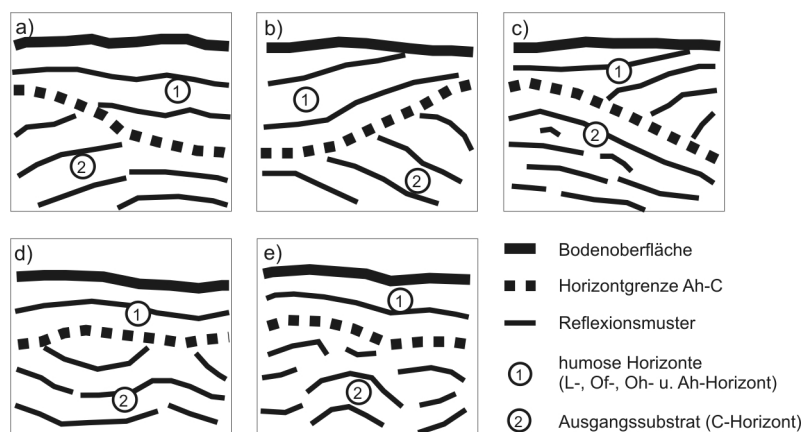


Abb. 24 Graphische Darstellung von Unterscheidungskriterien zur Abgrenzung der Humusauflagen inklusive Ah-Horizont vom liegenden B- bzw. C-Horizont.

Der Kriterienkatalog wurde auf alle Radargramme, die in den drei Untersuchungsgebieten aufgenommen wurden, angewendet. Als erste und wichtigste Grenzlinie wird die Untergrenze des humosen Ah-Horizontes mit den darüberliegenden organischen Auflagehorizonten zum liegenden Mineralboden im Radargramm festgelegt. Das geschieht in Horizontaldistanzen von 10 cm. Die Daten werden für eine statische Verrechnung gespeichert (Datenbank). Es erschließt sich ein Datenpool von minimal 1.700 Einzelwerten je Untersuchungsareal, eine Anzahl, die mit herkömmlichen Sondierungsmöglichkeiten nicht zu erreichen ist. Die Daten der jeweiligen Untersuchungsareale wurden in 10 cm-Klassen eingeteilt und in Tab. 7 gegenübergestellt. Aus der prozentualen Verteilung resultiert die erforderliche Anzahl an Beprobungspunkten (siehe Handlungsvorgabe).

Tab. 7 Prozentuale Verteilung der Humusmächtigkeiten und Ah-Horizonte (3 Klassen) in allen Untersuchungsgebieten bzw. -arealen.

Untersuchungsgebiete	Garmisch-Partenkirchen	Mangfallgebirge		Bayerischer Wald	
		Beiwand 1	Beiwand 2	Drähberg 1	Drähberg 2
Anzahl der Messpunkte [n]	n = 1.727	n = 1.953	n = 1.702	n = 2.023	n = 2.051
Klasse	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
< 10 cm	11,00	16,90	19,57	67,72	88,10
10 - 20 cm	74,00	75,01	78,32	32,28	11,90
> 20 cm	15,00	8,09	2,12	0,00	0,00

#### 6.4 Vergleich der Humusvariabilität in den Untersuchungsgebieten

Die Ergebnisse zur Verteilung der Mächtigkeit organischer Auflagen und des Ah-Horizontes sind in Abb. 25 zusammengefasst. Die Auswertung basiert auf einem Datenpool von insgesamt n = 10.853 Einzelwerten. Aufgrund der sehr hohen Anzahl n an Messungen kann davon ausgegangen werden, dass die Erfassung der Mächtigkeitsvarianzen der humosen Horizonte in voller Breite erfolgt ist. Bislang liegen keine vergleichbaren Untersuchungen vor, die auf einen derart umfangreichen Datenpool zurückgreifen können, der wie in dieser Form unterschiedliche naturräumliche Einheiten, variierende Reliefeinheiten, Höhenlagen sowie lithologische und bodentypologische Einheiten einbezieht.

Abb. 25 verdeutlicht die erheblichen gebietsspezifischen Varianzen der Mächtigkeiten humoser Horizonte. Das unterstreicht eindrucksvoll die Richtigkeit des Ansatzes, der von gebietstypischen Verteilungsschemata ausgeht und diese der zu formulierenden Handlungsvorgabe zugrunde legt. Während sich für Garmisch-Partenkirchen der Median bei



einer Auflagenstärke von 15,7 cm errechnet, liegt dieser Wert im Mangfallgebirge bei 13,6 cm bzw. 12,6 cm und erreicht im Bayerischen Wald lediglich Werte zwischen 9,8 cm und 8,3 cm. Auch das 95 %-Perzentil (d.h., 95 % aller gemessenen Werte) liegt im Untersuchungsgebiet Garmisch-Partenkirchen erst bei 25 cm Tiefe, in den Arealen im Mangfallgebirge bei 19 cm bzw. 22 cm. Hingegen liegen im Untersuchungsgebiet Bayerischer Wald 95 % aller gemessenen Mächtigkeiten der humosen Horizonte unter 14 cm. Die humosen Horizonte sind hier gebietstypisch geringmächtiger entwickelt. Aufgrund der oben genannten landschaftstypischen Faktoren wie Niederschlagsverteilung, Höhenlage, bodenbildende Substrate etc. ergeben sich für die Nördlichen Kalkalpen größere Humusmächtigkeiten. Mit steigender Höhenlage der jeweiligen Untersuchungsgebiete nimmt die Standardabweichung der Humusmächtigkeiten und des Ah-Horizontes erheblich zu. Sie beträgt in den Arealen Drähberg 1 und Drähberg 2 (Bayerischer Wald) 1,7 bzw. 2,4 cm, in den Arealen Beiwand 1 und Beiwand 2 (Mangfallgebirge) 4,6 bzw. 3,6 cm und im Untersuchungsareal Stegerwald (Garmisch-Partenkirchen) 4,6 cm.

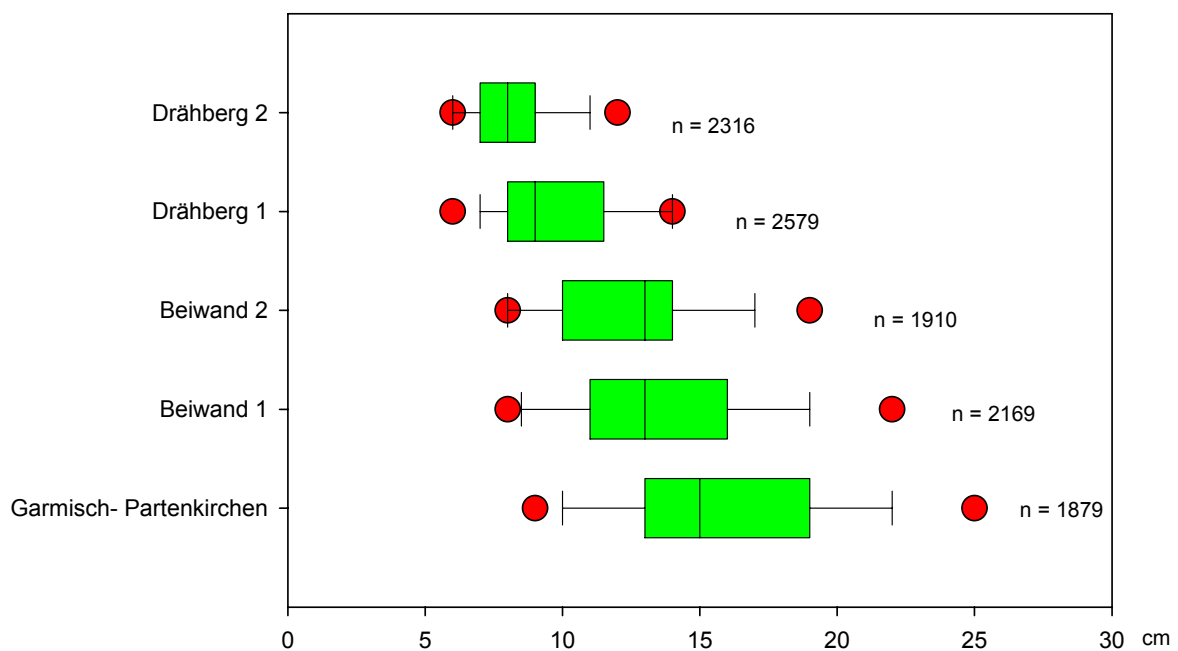


Abb. 25 Darstellung zur Mächtigkeitsverteilung der humosen Horizonte in den einzelnen Untersuchungsgebieten (Boxplot mit 25 % Quartil, Median, 75 % Quartil sowie 5 %, 10 %, 90 % und 95 % Perzentil).

Verallgemeinernd gilt, dass mit der Höhenlage sowohl die Gesamtmächtigkeiten als auch die Streuungen der Mächtigkeiten humoser Horizonte zunehmen. Ersteres war zu erwarten (z.B. VÖLKEL 2002) und konnte hier metrisch präzisiert werden. Letzteres war nicht unbedingt zu

erwarten, wird hier klar aufgezeigt und ist im Rahmen der Handlungsvorgabe entsprechend zu berücksichtigen. Ziel ist es, die erforderliche Anzahl an Stichproben zu bestimmen sowie ein Beprobungsschema im Sinne eines Beprobungsverteilungsschlüssels zu entwerfen (vgl. Tab. 8), um im Rahmen von Monitoring-Programmen pragmatisch, kosten- und zeiteffizient vorgehen zu können. Die Handlungsvorgabe setzt das entsprechend um (siehe Punkt 8).

Da die Mächtigkeit und deren Varianz von humoser Waldbodenhorizonte übergeordnet einem hypsometrischen Gradienten folgen, ist die Ausweisung von Höhenschichtenklassen ein probates Mittel zur Orientierung für Anwender der Handlungsvorgabe. Jeder gewählte Standort ist auf seine absolute Höhe (m NN) hin zu erfassen. Dies geschieht entweder über die Punktzuordnung entsprechender Höheninformationen aus amtlichen Topographischen Kartenwerken (Maßstab 1:25.000 oder größer), falls nicht anders zu bewerkstelligen auch über satellitengestützte GPS-Systeme. Aus Gründen der Praktikabilität ist es sinnvoll, die Schwellenwerte der Höhenschichtenklassen bei 500 m NN und bei 1.000 m NN nicht als starre Grenzwerte zu betrachten, da bereits die Exposition eines Standortes auf identischer Höhe erhebliche Gunst- oder Ungunstfaktoren und damit Unterschiede hinsichtlich der Mächtigkeit und der Varianzbreite der Humusaufgaben bewirkt. Daher wird ein Pufferbereich von +/- 150 m Metern Höhe zwischen den einzelnen Klassen ausgewiesen, um diese sowie andere standörtliche Variationen zu kompensieren. Potentielle Beprobungsareale, die sich bezüglich ihrer absoluten Höhenlage in einem solchen Pufferbereich befinden (350–650 m NN bzw. 850 – 1.150 m NN), sind Übergangsgebiete zwischen den Höhenschichtenklassen. Ihnen kann aufgrund der standörtlichen Gegebenheiten, die jeder Beprobenden aufgrund seiner Ausbildung bzw. seines Berufes vor Ort erkennen wird (Mitarbeiter Forst- und Landwirtschaftlicher Behörden, Geographen, Geoökologen, Bodenkundler etc.) entweder die darüberliegende oder die darunterliegende Klasse zugeordnet werden. Tab. 8 legt die Anzahl der Beprobungspunkte fest, welche sich auf die in den jeweiligen Untersuchungsarealen errechneten Verteilungen stützen (vgl. Tab. 7).

Tab. 8 Zuordnung der Probenanzahl einzelner Mächtigkeitbereiche humoser Bodenhorizonte (organische Auflagen und Ah-Horizont) zu Höhengschichtenklassen.

Höhenschichten- klasse (m NN)	Mächtigkeit Humusauflage und Ah-Horizont 0 – 10 cm	Mächtigkeit Humusauflage und Ah-Horizont 10 – 20 cm	Mächtigkeit Humusauflage und Ah-Horizont > 20 cm	Summe Beprobungspunkte
I (< 500)	10	-	-	10
II (500 – 1.000)	7	3	-	10
III (> 1.000)	2	6	2	10

Auf Basis der Zuordnung eines Standortes zur jeweiligen Höhengschichtenklasse werden solange Stichproben gezogen, bis die Verteilung der Gesamtmächtigkeiten humoser Horizonte aus Tab. 8 erreicht ist, höchstens jedoch 20. Ist nach 20 Stichproben die Verteilung immer noch nicht erfüllt, sind drei Möglichkeiten gegeben:

1. Das Gebiet befindet sich im Pufferbereich zwischen zwei Höhengschichtenklassen. Es kann in die jeweils andere Höhengschichtenklasse ausgewichen werden (s.o.).
2. Innerhalb einer Höhengschichtenklasse kann eine Mächtigkeitsschicht um maximal einen Wert verschoben werden.
3. Das Gebiet ist für diesen Landschaftsausschnitt nicht repräsentativ. Gegebenfalls muss ein anderer Standort gesucht werden.

#### 6.5 Gebietsbelastung mit Radiocäsium unter Einbeziehung der Humusvariabilität

Die Korrelation von  $^{137}\text{Cs}$ -Konzentration und Gehalten an organischer Substanz in Waldböden ist ein feststehender Grundsatz und gilt überall in Natur- bzw. Kulturlandschaften (u.a. STREBL et al. 2000, REZZOUG et al. 2006). Das belegen auch die Messwerte bayerischer Umweltproben, im Internet abrufbar unter

[http://inters.bayern.de/umweltproben/php/ergebnisliste.php?zeile=30&countries=09&probe=04&herk=Inland;Ausland&Von=10.05.2004&Bis=10.05.2006&ord1=PROBEENTNAHME\\_BEG\\_INN&dir1=DESC&ord2=RBZ\\_NAME&dir2=ASC&ord3=LKR\\_NAME&dir3=ASC&ord4=TEXT&dir4=ASC&format=HTML](http://inters.bayern.de/umweltproben/php/ergebnisliste.php?zeile=30&countries=09&probe=04&herk=Inland;Ausland&Von=10.05.2004&Bis=10.05.2006&ord1=PROBEENTNAHME_BEG_INN&dir1=DESC&ord2=RBZ_NAME&dir2=ASC&ord3=LKR_NAME&dir3=ASC&ord4=TEXT&dir4=ASC&format=HTML).

Diese Messwerte weisen auch 20 Jahre nach dem Depositionsereignis aufgrund des Reaktorunfalls von Tschernobyl die organischen Auflagen als die am höchsten belasteten

Bodenhorizonte aus. Da neben der Humusform (Mull, Moder, Rohhumus) vor allem die Mächtigkeit der Auflagenhorizonte über deren radioökologische Bedeutung entscheidet, ist die Kenntnis der Gesamtmächtigkeit und der räumlichen Verteilung der humosen Horizonte der Schlüssel zur räumlichen Differenzierung der gegebenen bzw. der potentiellen Gesamtbelastung eines Gebietes.

Die Anzahl aller in dieser Studie ermittelten Mächtigkeitsangaben humoser Bodenhorizonte beträgt  $n = 10.853$ . Auf dieser Basis lassen sich verlässliche, gleichwohl immer noch genäherte Aussagen zur Cäsiumbelastung einzelner Bodenhorizonte bzw. Horizontgruppen (humose Auflagen und Oberbodenhorizonte versus minerogene Unterbodenhorizonte) auf der einen Seite und zur Gebietsbelastung und deren Variabilität auf der anderen Seite formulieren. Gebietsbezogene Angaben werden unter Einbezug der unterschiedlichen Lagerungsdichten und Mächtigkeiten der jeweiligen Horizontgruppen möglich. Voraussetzung dafür ist die Beprobung von Bodenmonolithen auf Basis eines streng horizontbezogenen Beprobungsschemas (siehe auch Handlungsvorgabe, Punkt 8). Unterschieden werden innerhalb der Auflagenhorizonte die Mächtigkeitsklassen 0 - 10 cm; 10 - 20 cm; > 20 cm (vgl. Tab. 9). Minerogene Unterbodenhorizonte können wegen ihrer regelhaft geringeren Belastung zur Ermittlung der Gebietsbelastung grundsätzlich außer Acht gelassen werden. Die prozentuale räumliche Verteilung der einzelnen Klassen ist über die Radaraufnahmen als Flächengröße bekannt. Auf dieser Basis wird die durchschnittliche Gesamtbelastung der drei Mächtigkeitsklassen auf das gesamte Untersuchungsgebiet hochgerechnet. Man erhält eine gemittelte Gebietsbelastung, welche die naturraumspezifische Heterogenität der Humusauflagenmächtigkeiten mit einbezieht.

Tab. 9 Durchschnittliche  $^{137}\text{Cs}$ -Belastung der O-Horizonte im Untersuchungsgebiet Garmisch-Partenkirchen.

	Flächenanteil	Durchschnittliche $^{137}\text{Cs}$ -Aktivitäten ( $\text{Bq kg}^{-1}$ ) im	
		Of-Horizont	Oh-Horizont
Klasse 1 (< 10 cm)	11%	1387,75	1788,33
Klasse 2 (10 - 20 cm)	74%	1331,00	1452,86
Klasse 3 (> 20 cm)	15%	1331,82	865,51

Sowohl die Mächtigkeiten einzelner Horizonte als auch die Gesamtmächtigkeiten der beprobten Bodenprofile variieren untereinander teils erheblich, was die Vergleichbarkeit erschwert. Die Cs-Messergebnisse müssen daher in volumenbezogene Einheiten ( $\text{Bq}/\text{cm}^3$ ) umgerechnet werden, um eine flächenhafte Gesamtbelastung zu errechnen ( $\text{Bq}/\text{cm}^2$ ). Da im Gelände am Bodenmonolithen horizontbezogen beprobt wurde, müssen für volumenbasierte Berechnungen die Rohdichten der einzelnen Horizonte bekannt sein. Dazu werden gemittelte Werte herangezogen. RUMBERGER et al. (2004) errechnen mittlere Trockenrohdsichten für L-Horizonte ( $0,09 \text{ g cm}^{-3}$ ), Of-Horizonte ( $0,11 \text{ g cm}^{-3}$ ), Oh-Horizonte ( $0,20\text{-}0,37 \text{ g cm}^{-3}$ ) und mineralische Oberböden ( $0,9\text{-}1,65 \text{ g cm}^{-3}$ ). Das UMWELTMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG (1995) gibt als Ergebnis zahlreicher Messungen an Bodendauerbeobachtungsflächen ebenfalls Orientierungswerte für die Trockenrohdsichte verschiedener Horizonte an. Demzufolge beträgt die Rohdsichte im Falle der L-Horizonte  $0,1 \text{ g cm}^{-3}$ , der Of-Horizonte  $0,2 \text{ g cm}^{-3}$ , der Oh-Horizonte  $0,4 \text{ g cm}^{-3}$  und der Ah-Horizonte  $0,9\text{-}1,3 \text{ g cm}^{-3}$ . REHFUESS (1990) ermittelt für Ah-Horizonte basenreicher Parabraunerden unter Fichtenbestockung eine Rohdsichte von  $1,1 \text{ g cm}^{-3}$ . Auch an der Universität Hohenheim (Digitaler Bodenatlas, [www.uni-hohenheim.de](http://www.uni-hohenheim.de)) wird für verschiedene Standorttypen die Rohdsichte der Böden gemessen (s.d.). Auf Basis vorstehender Angaben werden im Rahmen der hier vorgelegten Studie die in Tab. 10 dargestellten Werte zur Rohdsichte unterschiedlicher Bodenhorizonte herangezogen, um massebezogene Belastungswerte ( $\text{Bq}/\text{kg}$ ) in volumenbezogene und anschließend in flächenbezogene Belastungswerte umzurechnen.

Tab. 10 Rohdichten zur Ermittlung volumenbezogener  $^{137}\text{Cs}$ -Aktivitäten in humosen Horizonten von Waldböden (Nadelwald).

	Rohdsichte ( $\text{g cm}^{-3}$ )
L-Horizont	0,1
Of-Horizont	0,2
Oh-Horizont	0,35
Ah-Horizont	1,0

Mit Hilfe der Rohdichten wird beispielhaft in Tab. 11 für das Untersuchungsgebiet Garmisch-Partenkirchen für jedes beprobte Profil entsprechend seiner Klassenzugehörigkeit die durchschnittliche  $^{137}\text{Cs}$ -Aktivität berechnet und statistisch aufbereitet.

Tab. 11 Durchschnittliche  $^{137}\text{Cs}$ -Belastung der organischen Auflagen im Untersuchungsgebiet Garmisch-Partenkirchen.

	$^{137}\text{Cs}$ -Aktivitäten der org. Auflagen Bq cm <sup>-2</sup>		
	Minimum	Maximum	Durchschnitt
Klasse 1	0,79	2,78	1,91
Klasse 2	0,54	3,37	1,84
Klasse 3	0,61	4,61	2,54

Die Durchschnittswerte erreichen in der Klasse 1 (Humusmächtigkeit und Ah-Horizont 0 - 10 cm) 1,91 Bq/cm<sup>2</sup>, in der Klasse 2 (>10 - 20 cm) 1,84 Bq/cm<sup>2</sup> und in der Klasse 3 (> 20 cm) 2,54 Bq/cm<sup>2</sup>. Die Werte verdeutlichen zweifelsfrei, dass in mächtiger entwickelten Humusaufgaben durchschnittlich mehr Radiocäsium gebunden ist, als dies in den geringermächtigen Auflagen der Fall ist. Bezogen auf das Untersuchungsareal in Garmisch-Partenkirchen ergeben sich Gesamtbelastungen von 19,1 kBq/m<sup>2</sup> in 11% aller Fälle (99 m<sup>2</sup>), von 18,4 kBq/m<sup>2</sup> in 74 % aller Fälle (666 m<sup>2</sup>) und von 25,4 kBq/m<sup>2</sup> in 15 % der Fälle (135 m<sup>2</sup>). Summiert auf das gesamte Untersuchungsareal (900 m<sup>2</sup>) dort vor Ort ergibt sich eine durchschnittliche Gebietsbelastung von 19,5 kBq/m<sup>2</sup>. Ohne Einbezug der Humusmächtigkeitsklassen würde sich unter einfacher Mittelung der einzelnen Beprobungspunkte (n = 33) eine durchschnittliche Belastung von 21,9 kBq/m<sup>2</sup> errechnen.

Auf Basis der Daten aus dem Untersuchungsareal bei Garmisch-Partenkirchen wurden Stichprobentests durchgeführt (vgl. Anhang). Gefragt wurde, ob eine auf Mächtigkeitsklassen der Humusaufgaben ausgerichtete Probennahme, wie sie in der Handlungsvorgabe gefordert wird, zu einer Ergebnisverbesserung beitragen kann. In 10 Testversuchen wurden mit Hilfe von Zufallszahlen jeweils 10 Stichproben aus dem Gesamtdatenpool zur Cäsiumbelastung (n = 33) herausgezogen. Während der ersten fünf Testsversuche wurden die zufällig ausgewählten Stichproben so gewählt, dass sie den Verteilungsschlüssel zur Mächtigkeit der humosen Horizonte einhalten (siehe Tab. 8). Da das Untersuchungsareal in Garmisch-Partenkirchen auf einer Höhe von > 1.000 m NN liegt, wurden der Tab. 8 folgend zwei Proben aus der Klasse 1 (0-10 cm), sechs Proben aus der Klasse 2 (>10 – 20 cm) und zwei Proben aus der Klasse 3 (>20 cm) gezogen. Aus den jeweiligen Einzelwerten errechnet sich im Zuge der ersten fünf Testversuche eine Gesamtbelastung von 17,7 – 20,1 kBq/m<sup>2</sup>. Davon abweichend wurden im Falle der zweiten fünf Testversuchen die Stichproben zufällig gezogen, das heißt ohne Berücksichtigung der in Tab. 8 formulierten Vorgaben. Auf dieser

Basis errechnet sich bezüglich der Gebietsgesamtbelastung eine entsprechend weitere Spanne von 15,9 - 23,1 kBq/m<sup>2</sup>. Legt man den Wert von 19,5 kBq/m<sup>2</sup> als Ausgangswert zugrunde, der auf n = 33 basiert (s.o.), so liegen die Schwankungen bezüglich der Gesamtbelastung des Areals unter Beachtung der Verteilungskriterien in Tab. 8 bei maximal +0,58 und -1,81 kBq/m<sup>2</sup>. Dies entspricht einer maximal 9 %igen Abweichung (siehe Anhang). Hingegen ergeben sich auf Basis der zweiten fünf Testversuche Abweichungen von nahezu 20 %. Diese Versuche zeigen auf, dass Stichprobennahmen, welche die natürlich vorgegebene Verteilung von Humusmächtigkeiten weitgehend berücksichtigen (vgl. Tab. 8), eine geringere Streuung der Gesamtbelastungswerte eines Untersuchungsareals aufweisen. Unter radioökologischen Gesichtspunkten ist ein derartiges Vorgehen zur Flächenbeprobung besonders wichtig, da so die natürlichen Schwankungen der Humusauflagen in Waldökosystemen mit einbezogen und keine einfachen Mittelungen vorgenommen werden. Die Aussagekraft wird entsprechend erhöht, ohne dass die Stichprobenanzahl und somit der Arbeitsaufwand erhöht werden müssen.

## 6.6 Vergleich der $^{137}\text{Cs}$ -Gebietsbelastung unter besonderer Berücksichtigung der Humusmächtigkeiten in den jeweiligen Untersuchungsgebieten

Im Bayerischen Wald sind sowohl die Gesamtmächtigkeiten, als auch die Varianzen der Humusauflagen geringer als in den anderen Untersuchungsgebieten, weshalb gamma-spektrometrische Messwerte nur für die Klassen 0 - 10 cm und 10 - 20 cm vorliegen (Tab. 12 und Tab. 13). Dabei verteilen sich die  $^{137}\text{Cs}$ -Gesamtbelastungen in beiden Arealen nicht homogen. Organische Horizonte im Untersuchungsareal Drähberg 1, die mächtiger als 10 cm sind, sind im Durchschnitt mit  $72,3 \text{ kBq/m}^2$  belastet, während für die Mächtigkeitsklasse  $< 10 \text{ cm}$   $^{137}\text{Cs}$ -Belastungen von  $25,2 \text{ kBq/m}^2$  errechnet werden (Tab. 12). Im Untersuchungsareal Drähberg 2 werden  $13,9 \text{ kBq/m}^2$  in der Klasse  $< 10 \text{ cm}$  und  $47,3 \text{ kBq/m}^2$  in der Klasse  $> 10 \text{ cm}$  ermittelt (Tab. 13). Auch an diesen Standorten zeigt sich, dass die potentielle Bioverfügbarkeit von  $^{137}\text{Cs}$  in den mächtigeren Humusauflagen größer ist als in den geringer mächtigen. Letztere sind vermehrt von Turbationsprozessen beeinflusst, was zu einem Austrag an Radiocäsium führen kann, während die mächtigeren Humusauflagen davon weniger beeinflussbar sind. Unter Einbezug der Halbwertszeit von  $^{137}\text{Cs}$  müssen die Maximalwerte von  $72,3 \text{ kBq/m}^2$  (Mächtigkeitsklasse  $> 10 - 20 \text{ cm}$ ) 20 Jahre nach dem Depositionsereignis immer noch als sehr hoch bewertet werden.

Tab. 12  $^{137}\text{Cs}$ -Belastung in beiden Humusmächtigkeitsklassen im Untersuchungsareal Drähberg 1 ( $n=14$ ).

Klasse	Flächenanteil	Bq/m <sup>2</sup>	kBq/m <sup>2</sup>
0 - 10 cm	68%	25.200	25,2
> 10 - 20 cm	32%	72.300	72,3

Tab. 13  $^{137}\text{Cs}$ -Belastung in beiden Humusmächtigkeitsklassen im Untersuchungsareal Drähberg 2 ( $n=14$ ).

Klasse	Flächenanteil	Bq/m <sup>2</sup>	kBq/m <sup>2</sup>
0 - 10 cm	88%	13.900	13,9
> 10 - 20 cm	12%	47.300	47,3



In den Untersuchungsarealen im Mangfallgebirge wurden je Untersuchungseinheit jeweils vier Bodenprofile horizontbezogen beprobt und gammaspektrometrisch vermessen. Für die jeweiligen Einzelprofile berechnen sich je nach Mächtigkeit der Humusauflagen Werte zwischen 16 kBq/m<sup>2</sup> und 23 kBq/m<sup>2</sup>.

Die Gegenüberstellung der Cs-Gesamtbelastungen in den drei unterschiedlichen Untersuchungsgebieten ergibt für sämtliche Untersuchungsareale in den zwei Untersuchungsgebieten in den nördlichen Kalkalpen eine Gebietsbelastung von 16 -23 kBq/m<sup>2</sup>, während die Untersuchungsareale im Bayerischen Wald bis zu 40 kBq/m<sup>2</sup> aufweisen (Tab. 14).

Tab. 14 <sup>137</sup>Cs-Belastung in allen Untersuchungsgebieten.

Garmisch-Partenkirchen	Mangfallgebirge	Bayerischer Wald
19,5 kBq/m <sup>2</sup>	16,0 kBq/m <sup>2</sup> – 23,0 kBq/m <sup>2</sup>	17,9 kBq/m <sup>2</sup> – 40,2 kBq/m <sup>2</sup>

## 7 Diskussion der Ergebnisse

Nachfolgendes Kapitel diskutiert die in Kap. 6 vorgestellten Ergebnisse im Hinblick auf ihre Bedeutung für prognostische Modelle (Kap. 7.1), für die Bewertung von Studien anderer Arbeitsgruppen (Kap. 7.2) sowie für die Gestaltung und Umsetzung zukünftiger Monitoringprogramme auf überregionaler Ebene (Kap. 7.3)

### 7.1 Relevanz der Ergebnisse für prognostische Modelle

Das Bestreben jeglicher, auf Geländedaten beruhender Monitoringprogramme ist die Übernahme der erhobenen Daten in prognostische Modelle. Zur Modellierung der Radioaktivität in der Umwelt wird von SCOTT (2003) ein umfangreiches Werk mit einem eigenen Kapitel zu Modellierung von Radiocäsium in Waldökosystemen (SHAW et al. 2003) vorgelegt. Ergebnisse und Aussagekraft solcher Modelle sind allerdings von durchaus unterschiedlicher und voneinander abweichender Qualität, obwohl die Möglichkeiten, Transferraten und Verteilungen von <sup>137</sup>Cs in Bodenhorizonten über Modelle zu beschreiben, grundsätzlich weit fortgeschritten sind. In einer ebenfalls sehr beachtenswerten Studie haben SHAW et al. (2005) neun verschiedene Modelle einem Test unterzogen. Zum Einsatz kamen die Modelle FORESTLAND, FOA, RODOS, FORM, FORSUN, FORESTPATH, ECORAD-C,

FINNFOOD und RIFE1 (vgl. SHAW et al. 2005). Weiterführende Details zur Struktur und zur Anwendung der unterschiedlichen Modelle finden sich im Abschlussbericht der IAEA BIOMASS Forest Working Group (IAEA 2002). Alle Modelle rechnen mit ein und denselben Parametern, um an einem definierten Ort, Rudnya Povcha in der Ukraine, Vorhersagen zur Anreicherung und Verteilung von  $^{137}\text{Cs}$  in verschiedenen Bodenhorizonten zu treffen. Als Ergebnis ernüchternd und für das hier berichtspflichtige Vorhaben bedeutungsvoll ist die Tatsache, dass lediglich ein Modell (FORESTLAND) in der Lage ist, die Radionuklidkonzentrationen in organischen Auflagen und im Ah-Horizont einigermaßen realistisch darzustellen. Andere Modelle, wie FORESTPATH, erzielten zwar zufriedenstellende Ergebnisse im Falle der humosen Auflagen, konnten jedoch den Ah-Horizont nicht darstellen oder umgekehrt. Die meisten Modelle errechneten für die vertikale Verteilung der Radionuklide in den Waldböden unrealistische Werte (vgl. Tab. 2 in SHAW 2005: 293). Die größten Unsicherheiten der Modellierungen traten in den Of- und den Oh-Horizonten auf. SHAW et al. (2005: 294) weisen ausdrücklich darauf hin, dass die schlechte Modellierbarkeit der vertikalen Verteilung und Verlagerung von  $^{137}\text{Cs}$  in Waldböden ausgesprochen bedeutungsvoll ist, da bis heute die höchsten Belastungen an  $^{137}\text{Cs}$  Radionukliden in diesen beiden oberflächennahen Horizonten auftreten (vgl. MELIN et al. 1994, VÖLKELE 2002).

Weiterhin gilt es zu berücksichtigen, dass die angesprochenen Modellierungsversuche lediglich eine zweidimensionale Betrachtungsweise des Systems Waldboden zugrundelegen. Die in Kap. 6 dargestellten Ergebnisse verdeutlichen hingegen, dass die Mächtigkeiten der Humusaufgaben innerhalb eines Standortes erheblich und auf kürzeste Distanz schwanken. Eine derartige Heterogenität der Humusaufgaben wird von den bekannten Modellen derzeit nicht berücksichtigt. Zudem stellt sich die Frage, ob diese Modelle grundsätzlich in der Lage sind, mit heterogenen Parametern wie der Humusmächtigkeit zu rechnen. Umso wichtiger sind daher die Ergebnisse dieser Studie, die erstmals die Möglichkeit bieten, die Heterogenität der Humusmächtigkeiten metrisch zu fassen und diese errechneten Verteilungen in einem realen naturräumlichen Kontext zu klassifizieren. Es bietet sich im Weiteren die Möglichkeit, Modelle zum Wirkungspfad des Radiocäsiums in Waldböden naturnäher und damit realistischer aufzubauen. Die Kontakte zu entsprechenden Institutionen, nicht zuletzt dem Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit (GSF, Neuherberg) wurden bereits hergestellt. Das Interesse, das deutsche IMIS (Integriertes Mess- und Informationssystem) mit einem Modul Waldboden zu erweitern erscheint groß; die Durchführbarkeit wird von den Kollegen am GSF positiv bewertet.

## 7.2 Relevanz der Ergebnisse zur Bewertung von Studien anderer Arbeitsgruppen

Wie wichtig die erarbeiteten und in Kap. 6 dargestellten Ergebnisse in Kombination mit den Ergebnissen des Vorgängerprojektes sind (VÖLKELEL 2002), zeigt sich insbesondere in der Diskussion mit Ergebnissen anderer Arbeitsgruppen im Zuge vergleichbarer Fragestellungen zur Präsenz und Bioverfügbarkeit von Radionukliden in Böden. Diskutiert werden in diesem Kapitel insbesondere die Beprobungsmodalitäten im Feld, der Beprobungszeitpunkt und die Bedeutung der Ergebnisse für noch nicht existente Monitoringprogramme auf überregionaler Ebene.

### 7.2.1 Beprobungsmodalitäten im Feld

Aufgrund der dort ebenfalls erhöhten Gebietsbelastungen, zurückzuführen auf den Reaktorunfall von Tschernobyl, wurden in Österreich umfangreiche Arbeiten zur Radionuklidbelastung von Böden unterschiedlicher, meist jedoch landwirtschaftlicher Nutzung durchgeführt (u.a. STREBLEL et al. 2002, BOSSEW et al. 2004, STEMMER et al. 2005). Die Studie von BOSSEW et al. (1996) thematisiert übergreifend die Radionuklidbelastung der Böden Österreichs, STREBLEL et al. (2000) heben auch auf Waldökosysteme ab. In diesen Studien wird sowohl die flächenhafte Kontamination dokumentiert als auch die  $^{137}\text{Cs}$ -Belastung diverser Pflanzenarten und Wildtiere gegenübergestellt, teilweise in Form von Zeitreihen. Die Ergebnisse belegen im Einklang mit auch andernorts erhobenen Studien, dass auch 1995 noch über 95% des  $^{137}\text{Cs}$  in den Böden der Wälder Österreichs gespeichert sind (STREBLEL et al. 2000: 61, vgl. dazu VÖLKELEL & SENFT 1992, VÖLKELEL 2002). Allerdings liegen den oben genannten Arbeiten keine Regelwerke zum Beprobungszeitpunkt, -ort und/oder zur Beprobungsart zugrunde. Vielmehr wurden zum Teil sogar Mischproben mehrerer Bohrkerns dazu verwendet, kleinräumige Schwankungen zu glätten und wegzumitteln (BOSSEW et al. 1996). Die Mineralbodenhorizonte wurden unabhängig von ihrer jeweiligen Mächtigkeit zu metrisch begrenzten Mischproben vereinigt (BOSSEW et al. 1996: 6, STREBLEL et al. 2000: 18). Diese Vorgehensweise ist indes zweifelsohne mit erheblichen Nachteilen behaftet und steht notwendigerweise nicht im Einklang mit den Anforderungen an die Bodenbeprobung und Ermittlung einer Gebietsbelastung, wie sie die hier im Auftrag neuartig vorgelegte Handlungsvorgabe formuliert (vgl. Kap. 8). Wie wichtig allerdings eine streng horizontbezogene und nicht rein metrisch basierte Beprobung nicht nur die organischen Auflagen betreffend sondern auch im Bereich der Mineralbodenhorizonte ist, soll die nachstehend geführte Diskussion mit den von STREBLEL (2000: 27, bzw. Abb. 26) vorgelegten Ergebnissen und Befunden zeigen.

In einer Zeitreihe wird anhand von Werten aus Bodenprofilen aus dem Weinsberger Wald die  $^{137}\text{Cs}$ -Belastung dargestellt, aufgeteilt in eine sogenannte Auflageschicht und in metrisch unterteilte Mineralbodenhorizonte. Aus den Ergebnissen interpretieren die Autoren die Belegbarkeit eines „*deutlichen Trends zur Tiefenverlagerung von Radiocäsium*“ (STREBL et al. 2000: 27), eine Aussage von großer Reichweite und Bedeutung. Denn wie bekannt besteht das radioökologische Problem in (Wald-)Böden auch zwei Dekaden nach der Gebietskontamination nur deshalb, weil die Radionuklide (hier  $^{137}\text{Cs}$ ) nach wie vor in hohem Maße in den bodenökologisch relevanten Humushorizonten vorhanden sind und im Falle einer nennenswerten Tiefenverlagerung sich das Problem der hohen Bioverfügbarkeit mithin spürbar abmildern müsste. Indes lässt sich aufzeigen, dass es sich bei dem vermeintlichen Trend zur Tiefenverlagerung von Radiocäsium sozusagen um ein Artefakt handelt, nämlich eine – mit Verlaub – unsachgemäße Beprobung im Gelände. Ein Fehler also, dem die hier vorgelegte Handlungsvorgabe wirkungsvoll entgegentritt und der im Falle ihrer Umsetzung nicht mehr geschehen kann.

Die von STREBL et al. (2000) zum Einsatz gebrachte Beprobungstechnik geht davon aus, dass in allen beprobten Bodenprofilen ein symmetrischer Horizontaufbau vorhanden ist (vgl. dazu auch Kap. 6, Verlauf von Horizontgrenzen). Zudem variiert die Spanne der von STREBL et al. (2000) auf einem rein metrisch basierten Beprobungsschema basierenden Probennahme der jeweiligen Einzelprobe innerhalb des ersten Mineralbodenhorizonts zwischen 5 und 10 cm. Aufgrund des abrupten Wechsels an organischer Bodensubstanz zeigen Ah-Horizonte indes hohe  $^{137}\text{Cs}$ -Gehalte, B-Horizonte weitaus geringere. Wird die Grenze wie in diesem Fall überschlagen, also Mischproben genommen, entstehen falsche Verteilungsschemata, die je nach Art der Probennahme unter Gegenüberstellung der Beprobungsergebnisse mehrerer Jahre in Form einer Zeitreihe durchaus eine zunehmende  $^{137}\text{Cs}$ -Tiefenverteilung suggerieren können. Dies gilt ebenso für Beprobungsfehler im Bereich der organischen Auflagen. Ein Beispiel auf Basis eigener Daten soll die Auswirkungen einer horizontübergreifenden Beprobung zur besseren Verständlichkeit darlegen (Tab. 15).

Zur Anwendung kommt hier, wie bekannt, ein strikt horizontbezogenes Beprobungsverfahren, im Falle größerer Horizontmächtigkeiten innerhalb derselben metrisch basiert, aber niemals die Horizontgrenzen überschlagend. Auf die für Waldböden typische geringe Mächtigkeit des bodenökologisch bedeutungsvollen Ah-Horizontes von nur 0,5 cm im hier diskutierten Beispiel wird mit Nachdruck hingewiesen. Der geringmächtige Ah-Horizont (0,5 cm) hat Gehalte an organischer Substanz von 18,5 % und weist eine Radionuklidbelastung in Höhe von 1.675 Bq/kg auf. Der direkt anschließende, liegende Bv-Horizont ist insgesamt mehrere Dezimeter mächtig und wurde daher innerhalb des Horizontes mit metrisch basierten Beprobungsgrenzen unterteilt. Die ersten 5 cm des

Bv-Horizontes weisen direkt unterhalb des Ah-Horizontes nurmehr eine  $^{137}\text{Cs}$ -Belastung von 235,5 Bq/kg auf. Auch hier erweist sich der Ah-Horizont als die bekannt effektive radioökologische Barriere. Eine metrisch basierte, die Horizontgrenze überschlagende Beprobung (STREBL et al. 2000) ignoriert nicht nur diese Trennung, sondern sie weist dem Ah- Horizont bzw. dem Bv-Horizont falsche Werte zu. Wird derselbe Standort in den Folgejahren nur wenige Dezimeter entfernt von der vorjährigen Stelle beprobt, was bei Feldarbeiten gar nicht anders zu bewerkstelligen ist, dann kann im Falle einer nur geringfügig kräftigeren Ausbildung des Ah-Horizontes von insgesamt ca. 5 cm Mächtigkeit der Eindruck entstehen, die  $^{137}\text{Cs}$ -Gehalte hätten im Ah-Horizont zwischenzeitlich zugenommen. War der Ah-Horizont bei einer früheren Beprobung in der dargestellten Form mächtiger und stellt sich bei späterer Beprobung geringmächtiger dar, dann entsteht der umgekehrte Eindruck einer Tiefenverlagerung von  $^{137}\text{Cs}$  unter Verlusten im Bereich des Ah-Horizontes.

Tab. 15  $^{137}\text{Cs}$ -Belastung eines typischen Bodenprofils unter Forst im Bayerischen Wald.

**Profil 6845-103**  
**Bodenanalytische Standardwerte**

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Skelett Gew. %	pH (CaCl <sub>2</sub> )	Munsell Farbe	C %	org.S %	N %	C/N	$^{137}\text{Cs}$ Bq/kg
1	L	+1	0,0	3,39	-	47,9	82,4	1,14	42	198,7
2	Of	+3	0,0	2,97	-	43,2	74,3	1,71	25	2047
3	Oh	+4	0,0	3,02	-	19,0	32,7	0,99	19	2792
4	Ah	0-0,5	13,5	3,07	7,5 YR 3/2	10,8	18,5	0,54	20	1675
5	Bv	0,5+	17,4	3,45	7,5 YR 4/6	5,0	8,7	0,24	21	235,5

### 7.2.2 Beprobungszeitpunkt im Feld

Die von BOSSEW (1997) vorgelegte Studie stellt eine Zeitreihe vor, welche das Tiefenwanderungsverhalten von Radiocäsium ( $^{134}\text{Cs}$ ) in Waldböden als generalisierungsfähiges Resultat begründet (hinterlegt und interpretatorisch weiterbearbeitet in Abb. 6 bei STREBL et al. 2000: 27). Problematisch bei dieser Ergebnisbeurteilung erscheint allerdings in diesem Fall zudem der Beprobungszeitpunkt, welcher im Laufe der Jahre mehrmals variiert, und zwar über einen Großteil der Vegetationsperiode hinweg bis zu ihrem Ende, von Juli bis November. Im Falle solcher Zeitreihenstudien sind die Grundparameter im Sinne einer klaren Versuchsanordnung indes strikt einzuhalten. Böden als vierdimensionale

Naturkörper unterliegen im Jahresgang starken Schwankungen beispielsweise bezüglich des Bodenwassergehaltes, der bodenbiologischen Aktivität, des Aziditätsmilieus (pH-Werte), der Nährstoffverfügbarkeit (Cs-Antagonisten) und vielem anderen mehr (vgl. u.a. SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002). Daher muss ein Boden im Zuge einer Zeitreihenbeprobung vor dem hier diskutierten Hintergrund die Vegetationsperiode betreffend stets zum gleichen Zeitpunkt beprobt werden. Für Forstökosysteme ist diese Vorgehensweise zwingend erforderlich, da der jährliche biotische Umsatz des Bestandesabfalls (Detritus) und die gesamte Bodenchemie in Wald- bzw. Forstböden der mittleren Breiten eine klare Abhängigkeit vom Jahresgang besitzen.

### 7.2.3 Statistische Absicherung der Daten

Auch bezüglich einer statistischen Absicherung der Daten muss die Aussage der Autorengruppe STREBL et al. (2000: 26), derzufolge *„der deutliche Trend der Tiefenverlagerung von Radiocäsium erkennbar [ist und] die Flächenkontamination der Auflageschicht über die Jahre von 87 % (1988) auf weniger als 60 % in den Jahren 1991 und später ab[nimmt]“*, mit den Ergebnissen des hier berichtspflichtigen Forschungsvorhabens diskutiert werden. Aufmerken lässt auch die Tatsache, dass von den Autoren für das Jahr 1995 eine rückläufige Tendenz, also ein Umkehrung der Effekte, beschrieben wird. Das ist indes bereits bodengenetisch nicht zu erklären. Es gilt zu diskutieren, ob die beschriebenen Verlagerungstendenzen neben den bereits aufgezeigten Schwächen hinsichtlich der Beprobungsmodalitäten (vgl. 7.2.1) auf weiteren Ursachen beruhen. Betrachtet man die Anzahl der entnommenen und vermessenen Bodenproben (siehe Abb. 26), so wird deutlich, dass sich die Anzahl der Beprobungspunkte auf  $n = 1$  (1988, 1991),  $n = 2$  (1989) und  $n = 4$  (1993, 1994) beläuft (STREBL et al. 2000: 27). Nicht nur im Hinblick auf die bekannten Varianzen, welche die Humusmächtigkeiten innerhalb eines jeden Untersuchungsareales notwendigerweise aufweisen (vgl. Kap. 6), ist die dort zugrunde gelegte Anzahl an Standorten und Proben auch aus statistischer Sicht völlig unzureichend für die gesicherte Formulierung einer allgemein wirkenden Tiefenverlagerung von Radionukliden. Hinzu kommt, dass diese aus wissenschaftlicher Sicht vagen Thesen planungspolitisch von hoher Relevanz sind. Daher sollte grundsätzlich mit einem ausreichend großen Datenpool und damit einhergehender statistischer Absicherung gearbeitet werden. Das hier berichtspflichtige Forschungsvorhaben verwendet einen Datenpool von  $n = 10.853$  zur Ermittlung von Humusmächtigkeiten und  $n = 202$  Bodenproben zur Ermittlung der  $^{137}\text{Cs}$ -Belastung einzelner Bodenhorizonte (vgl. Kap. 6).

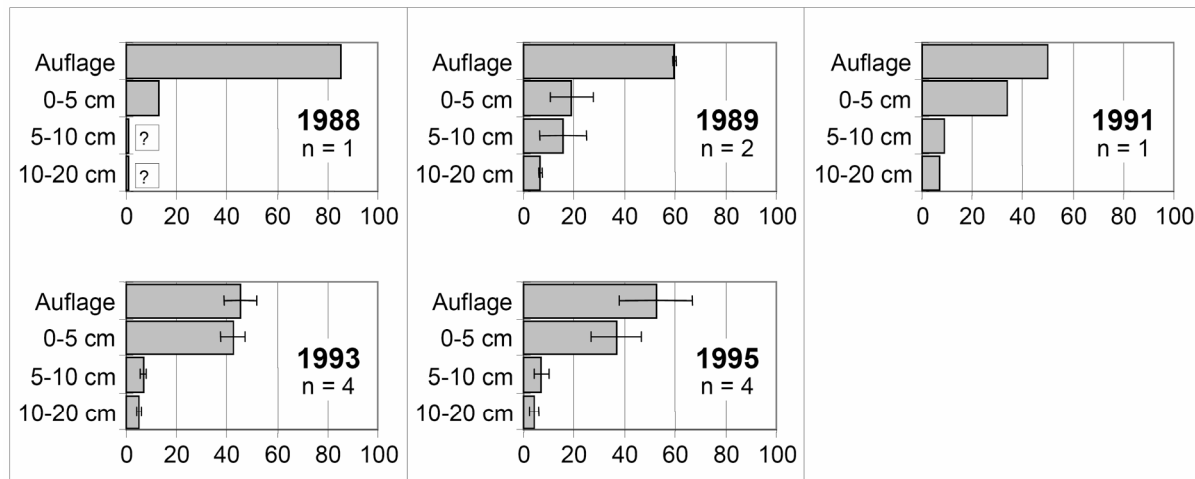


Abb. 7: Zeitliche Entwicklung der Vertikalverteilung von  $^{137}\text{Cs}$  (Prozentwerte) in Waldbodenprofilen Standorte WS2 und WS9 (Mittelwerte  $\pm$  Standardabweichung)

Abb. 26 aus: STREBL et al. (2000: 27).

### 7.3 Relevanz der Ergebnisse für zukünftige Monitoringprogramme auf überregionaler Ebene

LETTNER et al. (1994) beschreiben verschiedene Methoden zur Beprobung (Stechzylinder, Bodenmonolith), wobei unterschiedliche Arealgrößen bearbeitet und die Daten mit Hilfe statistischer Analysen verglichen werden. Demzufolge sind zwischen einer Probennahme mittels genormter Stechzylinder und einer Probennahme an Bodenmonolithen (dieser Bericht) im Falle der Radiocäsiumgehalte zunächst keine signifikanten Unterschiede im Falle kleinflächiger Untersuchungsareale festzustellen (LETTNER et al. 1994: 26). Ab einer Flächengröße von 100 x 100 m treten der Studie zufolge jedoch Unterschiede auf, welche die Autoren ihren eigenen Aussagen nach nicht erklären können. Auch hierin ist die Wirkung der Flächenheterogenität und Mächtigkeitsschankung der jeweiligen Bodenhorizonte zu sehen. Im Falle der Stechzylinderbeprobung werden diese Grenzen zwischen den einzelnen Horizonten notwendigerweise überschlagen. Insofern ist die von LETTNER et al. (1994: 29) vorgelegte Ergebnisinterpretation für die Datenerhebung und das Design zukünftiger Monitoring-Programme von entscheidender Bedeutung. Die Autoren stellen fest, dass sich in Arealgrößen von > 10 km Kantenlänge der Variationskoeffizient eines Datenpools zur Radionuklidbelastung deutlich erhöht (vgl. Abb. 27) und machen dafür primär naturräumliche Unterschiede verantwortlich. Die Autoren bestätigen so, dass bei Monitoring-Programmen auf Landesebene (z.B. Bayerisches Staatsgebiet) stets auf ein Unterteilungsschema für die Festlegung von Beprobungsarealen zurückzugreifen ist, welches landschaftsökologischen Kriterien genügen muss und insbesondere das Relief, die bodenbildenden Substrate, die Vegetation und die mesoklimatologischen Unterschiede berücksichtigt.

Diese Grundvoraussetzungen und Ansätze berücksichtigt wiederum die von VÖLKELE et al. (2002) vorgelegte Studie zur Bioverfügbarkeit von  $^{137}\text{Cs}$  in unterschiedlichen naturräumlichen Einheiten Bayerns, denn sie geht genau von diesen aus. Neuere Studien von LETTNER et al. 2006 belegen zudem eine höhenzonale Abhängigkeit der Cäsiumkonzentrationen und -transferraten in Boden und Pflanzen in Österreich, wobei insbesondere ab einer Höhenlage über 1.200 m NN die Konzentrationen ansteigen. Da die Untersuchungen primär auf landwirtschaftlich genutzten Flächen stattfanden, sind die Ergebnisse allerdings nicht unmittelbar auf unsere Arbeiten übertragbar. Interessant erscheint aber die Tatsache, dass auch in landwirtschaftlichen Arealen die Transferraten und die Verweildauer der Radionuklide (hier  $^{137}\text{Cs}$ ) in den organischen Auflagehorizonten von der absoluten Höhelage und damit indirekt von den Begleitfaktoren Temperatur, Niederschlag, Dauer der Vegetationsperiode und Bodenparameter beeinflusst werden (LETTNER et al. 2006: 29). Die in Kap. 8 dieses Berichtes vorgelegte Handlungsvorgabe zur Beprobung kontaminierter Standorte berücksichtigt explizit solche naturräumlichen Unterschiede, und zwar einerseits über die Größe des auszuwählenden Untersuchungsareals und die Verteilung der Beprobungspunkte sowie andererseits über die Höhenschichtenklassen als differenzierende Merkmale.

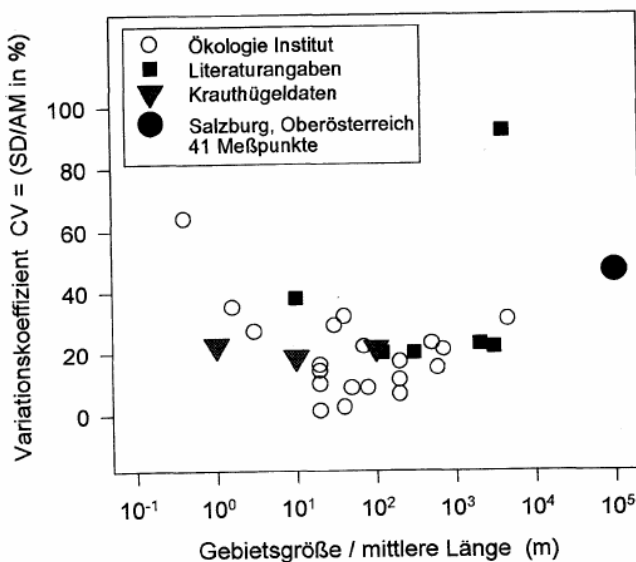


Abb.9.: Abhängigkeit des Variationskoeffizienten CV von der Größe des untersuchten Gebietes (mittlerer Durchmesser). Literaturangaben von BACHHUBER et al., 1987; GUSTAFSON et al., 1987; HENRICH et al., 1988; NYHAN et al., 1987; PADOVANI et al., 1990; SIMOPOULOS, 1989.

Abb. 27 aus: LETTNER et al. (1994: 29).



## 8 Praxisrelevanz der Ergebnisse

Erstmals werden mit Vorlage der aus dem hier berichtspflichtigen Forschungsvorhaben resultierenden Handlungsanweisung (s.d.) von der Auswahl eines Untersuchungsareals, über die Festlegung der Beprobungspunkte in Art, Verteilung und Anzahl bis hin zum Beprobungsvorgang verbindlich einsetzbare Vorgaben formuliert. Im Falle der behördlicherseits vorzugebenden Nutzenanwendung und konsequenten Umsetzung dieser Handlungsvorgabe wird erstmalig eine Vergleichbarkeit von Daten gewährleistet, die unterschiedlichen Gebieten entstammen und zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Sinne zukünftiger Jahresreihen erhoben wurden. Das ist sowohl für den vorsorgenden Bodenschutz als auch im Zuge von Überwachungsbehebungen ist ein wichtiger und unseres Erachtens längst fälliger Schritt als Basis für ein objektives und validierbares Monitoring wie hier der Radionuklidbelastung natur- und kulturräumlicher Einheiten. Bislang liegen diesbezüglich keinerlei DIN-ISO Normen oder SOP's (Standardarbeitsanweisungen) der Bayerischen Landesämter oder anderer Bundes- oder Landesbehörden vor, welche die vorgenannte Problematik gezielt aufgreifen. Die mit Hilfe und unter Umsetzung der *Handlungsvorgabe zur Auswahl von Beprobungsflächen und zur Probennahme in radioaktiv kontaminierten Waldökosystemen des Bayerischen Staatsgebietes* zukünftig erarbeiteten Daten können unter Anpassung der entsprechenden Analysetools zudem zügig in bestehende Monitoring-Programme wie IMIS oder ECOSYS einfließen.

Die im hier berichtspflichtigen Untersuchungsvorhaben entwickelte Handlungsvorgabe bezieht die Befunde entsprechender Vorläuferprojekte des BayStMLU vollinhaltlich ein (Publikationen dazu von VÖLKEL & SENFT 1992; VÖLKEL & IGL 1995, VÖLKEL 1997, 1999, 2002, 2003).

Ein weiterer Schritt ist die Evaluierung und präzise Festlegung entsprechender Beprobungsareale in den unterschiedlichen natur- und kulturräumlichen Einheiten Bayerns, um die Handlungsvorgabe im Falle eines radiologischen Ereignisses unverzüglich zum Einsatz bringen zu können. Eine einmalige Vorabbeprobung und Ermittlung der aktuell gegebenen Gebietsbelastung dieser zukünftigen Beprobungsareale wäre aus der Sicht der Praxis sehr anzuraten.

---

## **Handlungsvorgabe**

### **zur Auswahl von Beprobungsflächen und zur Probennahme**

### **in radioaktiv kontaminierten Waldökosystemen**

### **des Bayerischen Staatsgebietes**

8.1	<i>Arbeitsgrundlage</i>	60
8.2	<i>Berücksichtigung vorhandener Normen und Arbeitsanweisungen</i>	60
8.3	<i>Räumliche Umsetzung - Kriterien zur Auswahl des Beprobungsgebietes</i>	61
8.4	<i>Mindestgröße des Beprobungsareals</i>	62
8.5	<i>Arealbezogene Bodenbeprobung</i>	62
8.5.1	<i>Verteilung der Beprobungspunkte auf der Fläche</i>	63
8.5.2	<i>Beschaffenheit und Eignung des einzelnen Beprobungspunktes</i>	64
8.5.3	<i>Gewinnung und feldbodenkundliche Beschreibung einzelner Bodenmonolithen</i>	64
8.5.3.1	<i>Ausstechen eines Bodenmonolithen</i>	64
8.5.3.2	<i>Feldbodenkundliche Aufnahme im Rahmen der radioökologischen Beprobung</i>	66
8.5.3.2.1	<i>Humushorizonte</i>	66
8.5.3.2.2	<i>Mineralbodenhorizonte</i>	67
8.5.4	<i>Beprobungsschema zur Tiefenlage der Entnahmepunkte und Anzahl der Proben am Beprobungspunkt</i>	69
8.5.5	<i>Art der Probennahme zur laboranalytischen Bearbeitung (i.b. Gammaskpektrometrie)</i>	71
8.6	<i>Anzahl der Beprobungspunkte pro Beprobungsareal</i>	73
8.7	<i>Beprobungsschema unter Berücksichtigung von Humusmächtigkeiten in unterschiedlichen naturräumlichen Einheiten</i>	73
8.8	<i>Checkliste für Geräte und Hilfsmittel</i>	75
8.9	<i>Formblatt für die Beprobung im Feld</i>	75
8.10	<i>Literaturhinweise</i>	76

## Einleitung und Übersicht

Die Handlungsvorgabe dient als neuartige Richtlinie zur Bodenbeprobung radioaktiv kontaminierter Standorte in Waldökosystemen des bayerischen Staatsgebietes. Sie gewährleistet eine gleichartige und damit vergleichbare Bestimmung der Belastung natur- und kulturlandschaftlich unterschiedlicher Regionen und bildet die Grundlage für Prognosemodelle. Ergebnisse aus der Umsetzung der Handlungsvorgabe können unter Modifikation der Analysetools schnell als Datensätze in das deutsche IMIS bzw. ECOSYS-Modell und das europäische Modell RODOS einfließen, welche vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) betrieben werden.

Die Handlungsvorgabe berücksichtigt insbesondere die Schwierigkeiten der Bodenbeprobung in Waldökosystemen, ist aber in vollem Umfang auch auf Siedlungsflächen sowie auf Acker- und Grünlandstandorten anwendbar, die bezüglich der Oberflächenbeschaffenheit und des Bodenaufbaus weitaus weniger komplex sind.

Die Vorgabe ist in zwei Teile gegliedert.

**Teil I** beinhaltet die Kriterien zur Auswahl des Beprobungsgebietes und der Beprobungspunkte. Dabei werden die Mindestgröße eines Beprobungsareals, die Verteilung der Beprobungspunkte und deren Abstand zueinander sowie die Anforderungen, denen ein Beprobungspunkt zu entsprechen hat, detailliert festgelegt (vgl. Abb. 28).

**Teil II** greift die Modalitäten der Beprobung eines einzelnen Beprobungspunktes auf und legt entsprechende Kriterien fest. Dabei werden die Probengewinnung, die Präparation und Bodenprofilbeschreibung sowie die Mindestanzahl benötigter Beprobungspunkte unter Berücksichtigung der Humusvariabilität im Detail beschrieben. Vorgaben zur Beprobung einzelner Bodenhorizonte schließen die Handlungsvorgabe ab (vgl. Abb. 28).

Hinweise für die Umsetzung in der Praxis werden in den jeweiligen Abschnitten präzise beschrieben. Alle Angaben sind im Gelände in ein dafür entwickeltes Formblatt zu übertragen, welches den Anforderungen zur Datenerfassung für gängige Prognosemodelle (IMIS, ECOSYS) gerecht wird (vgl. Abb.29).

Das Flussdiagramm in Abb. 1 gibt einen Überblick zum Aufbau der Handlungsvorgabe und der jeweiligen Bearbeitungsschritte. Erläuterungen und detaillierte Angaben finden sich im Text.

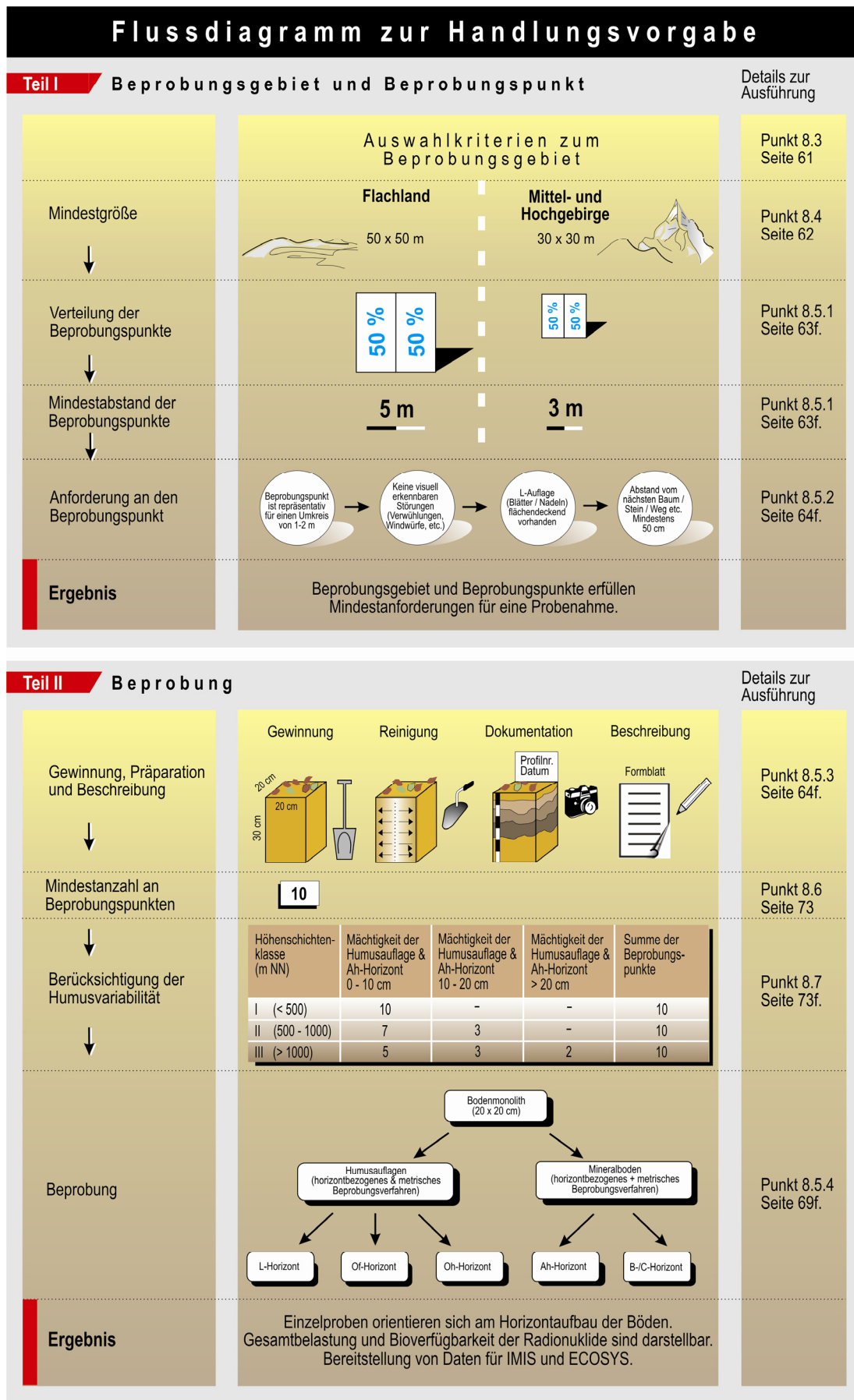


Abb. 28 Flussdiagramm zum Ablauf der Bearbeitungsschritte


Formblatt im Rahmen der Handlungsvorgabe zur Auswahl von Beprobungsflächen und zur Probenahme in radioaktiv kontaminierten Waldökosystemen des bayerischen Staatsgebietes					
Allgemeindaten					
Projektname		Bearbeiter		Datum	
1		2		3	
Untersuchungsareal					
Naturraum	TK Nr.:	Lage (Gauß-Krüger)		Arealname	Größe in m
4	5	6		7	8
HW:		RW:		30 x 30 <input type="checkbox"/>	
				50 x 50 <input type="checkbox"/>	
Beprobungspkt. Nr.:	Lage im Untersuchungsplot	Höhe m NN	Geologie	Wetterbedingungen	
9	10	11	12	13	
					
Vegetation / Bestockung					
Laubwald (> 90 %)	Nadelwald (> 90 %)	Mischwald	Verhältnis Nadelwald / Laubwald	Beschreibungen zum Unterwuchs	
ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>	ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>	ja: <input type="checkbox"/> nein: <input type="checkbox"/>	17	18	
14	15	16			
Angaben zum Bodenprofil					
	Tiefe / Höhe über GOK in cm	Merkmale	Sonstiges	Probe Nr.	Probentiefe in cm
L-Horizont	19	20	21	22	23
Of-Horizont	24	25	26	27	28
Oh-Horizont	29	30	31	32	33
A-Horizont	34	35	36	37	38
B-Horizont	39	40	41	42	43
Höhenschichtenklasse		Mächtigkeit L + O + Ah Horizont 0 - 10 cm / 10 - 20 cm / > 20 cm	Bemerkungen zur Probenahme		
I (< 500 m NN)		44			
II (500 - 1000 m NN)		45			
III (> 1000 m NN)		46	47		

Abb. 29 Formblatt für die Beprobung radioaktiv kontaminierter Standorte in Waldökosystemen. Grau hinterlegte Nummerierungen sind Pflichtfelder.

## 8.1 Arbeitsgrundlage

Die Handlungsvorgabe ist Bestandteil des Abschlussberichtes im Untersuchungsvorhaben „Standortvariabilität von Radiocäsium in Böden“, Az. 96b-8803.03-2002/2 Dok 4, BayStMLU München, 12.06.2003.

Die Handlungsvorgabe vereinheitlicht die Auswahl und Größe eines potentiellen Untersuchungsareals im Forst sowie die Art der Bodenbeprobung und deren Ausführung, insbesondere auch bezüglich der Mindestanzahl zu entnehmender Bodenproben unter Berücksichtigung landschaftsspezifischer Heterogenität der Böden und vor allem der Humusaufgaben. Organische Auflagehorizonte finden sich in jedem Waldökosystem und sind aus boden- sowie radioökologischer Sicht von herausragender Bedeutung für das Verhalten von Radionukliden allgemein und insbesondere für die Bioverfügbarkeit längerlebiger Radionuklide wie  $^{134}\text{Cs}$  und  $^{137}\text{Cs}$ . Mit dieser Handlungsvorgabe wird aufgrund der vereinheitlichten Methodik erstmals eine Vergleichsgrundlage zur radioökologischen Bewertung unterschiedlicher natur- und kulturlandschaftlicher Standorte in Bayern geschaffen. Die Vorgabe bildet die Grundlage jedweder Datenerfassung zur Statuserhebung einer möglichen radioaktiven Kontamination des naturräumlich ausgesprochen heterogenen bayerischen Staatsgebietes, sowohl im Sinne eines gegenwärtigen Ist-Zustandes als auch im Falle eines potentiellen Ereignisfalls mit nicht unerheblichen radiologischen Folgen und eines daran gekoppelten Zeitreihenmonitorings.

## 8.2 Berücksichtigung vorhandener Normen und Arbeitsanweisungen

Die Handlungsvorgabe wurde unter Berücksichtigung der Standardarbeitsanweisungen-SOP, Code SOP13801\_A Nr. 138 zur „*Entnahme von Bodenproben für die organische und anorganische Analytik im Rahmen der Probenentnahme von natürlichen, naturnahen und Kulturstandorten*“ des Bayerischen Geologischen Landesamtes München (2003) sowie unter Beachtung der DIN ISO 10381-4 als „*Anleitung für das Vorgehen bei der Untersuchung von natürlichen, naturnahen und Kulturstandorten*“ erstellt. Keine dieser Arbeitsanweisungen ersetzt indes die hier formulierte Handlungsvorgabe, weder gänzlich noch zu Teilen, da die radioökologisch in hohem Maße bedeutsamen Humushorizonte in den vorgenannten Anweisungen nicht hinreichend berücksichtigt werden.

### 8.3 Räumliche Umsetzung - Kriterien zur Auswahl des Beprobungsgebietes

Die Handlungsvorgabe zur Bodenbeprobung ist in allen Natur- und Kulturlandschaften des bayerischen Staatsgebietes bzw. Mitteleuropas anwendbar. Im Rahmen der Aufgaben zur Überwachung der Radioaktivität der Umwelt und im Sinne einer schnellen Umsetzung sollte sie jedoch in dafür vorab bereits festgelegten Arealen zum Einsatz kommen, welche grundlegenden Anforderungen vor allem hinsichtlich der Flächenrepräsentanz des ausgewählten Beprobungsgebietes und der Generalisierungsfähigkeit der Messdaten genügen. Im Hinblick auf einen potentiellen Ereignisfall müssen diese Areale auf Basis der Handlungsvorgabe vorab bereits radioökologisch erfasst und die gebietsspezifischen Messwerte in einer Datenbank gespeichert sein. Es werden nachstehend Vorgaben formuliert, wie die Beprobungsflächen beschaffen sein müssen, um die Handlungsvorgabe erfolgreich umzusetzen.

Der Kriterienkatalog zur Auswahl von Untersuchungsflächen und zur Gebietsrepräsentanz in Waldökosystemen lautet wie folgt:

- Bezug zur jeweiligen naturräumlichen Einheit, vor allem hinsichtlich einer charakteristischen Reliefform (Unterscheidung i.b. von Hochgebirgs-, Mittelgebirgs- und Flachlandarealen);
- Beachtung einer landschaftsrepräsentativen Flächenvielfalt;
- Flächenhomogenität innerhalb eines gleichartigen, großflächigeren Waldbestandes (1-2 ha);
- geringe Einflussnahme auf die Oberflächenbeschaffenheit in Form von Durchforstungsmaßnahmen während der letzten 20 Jahre;
- arealtypische Bestockungsform auf der einzelnen Fläche;
- gute Zugänglichkeit der Flächen.

Relief und Bestockung steuern maßgeblich die Ausprägung der aus radioökologischer Sicht bedeutungsvollen humosen Auflagehorizonte in Waldökosystemen. Insbesondere in Gebieten mit erhöhter Varianz der das Relief prägenden Parameter, wie das vor allem im Mittelgebirge und im Hochgebirge der Fall ist, ist darauf zu achten, dass die Beprobungsgebiete zur Umsetzung der Handlungsvorgabe im Rahmen eines radioökologischen Monitorings sowohl in flacheren als auch in steileren Hanglagen verortet werden. Die Bestockungsform miteinbeziehend ist eine naturräumliche Einheit in Gebirgslagen dementsprechend von vier Beprobungsflächen zu charakterisieren (vgl. Tab. 16).

Tab. 16 Schematische Übersicht zur Flächenverteilung in unterschiedlichen Höhenstufen und mit unterschiedlicher forstwirtschaftlicher Nutzungsstruktur.

Vegetation u. Reliefform	Mittel- u. Hochgebirge (> 500 m NN)	Flachland (< 500 m NN)
Laubwald / flach	✓	✓
Laubwald / steil	✓	--
Nadelwald / flach	✓	✓
Nadelwald / steil	✓	--

#### 8.4 Mindestgröße des Beprobungsareals

Die Arealgröße wird von der Beschaffenheit der Landschaft bestimmt, die ihrerseits je nach Ausprägung die Mächtigkeitsheterogenität der zu beprobenden Humusauflagen in Waldökosystemen beeinflusst. Bereits in den Hochlagen der Mittelgebirge ist eine große Mächtigkeitsheterogenität auf kleinen Flächen typisch und als solche in einer Untersuchungsfläche abzubilden, während in tieferen Lagen und in den Flachländern die naturgegebene, von den Bodeneigenschaften und der Bestockung bedingte Flächenheterogenität der Humusauflagen in der erforderlichen Genauigkeit erst bei Erfassung etwas größerer Arealdimensionen darstellbar ist. In Mittel- und Hochgebirgslagen (> 500 m NN) reichen Flächengrößen von 30 x 30 m aus. Flachlandareale sollten 50 m Kantenlänge aufweisen.

#### 8.5 Arealbezogene Bodenbeprobung

Die arealbezogene Bodenbeprobung hat im Einzelnen zu beachten:

- Flächenrepräsentanz des Einzelstandortes (s.o.),
- Verteilung der Beprobungspunkte auf der Fläche,
- Beschaffenheit und Eignung des einzelnen Beprobungspunktes,
- Gewinnung und feldbodenkundliche Beschreibung einzelner Bodenmonolithen,
- Beprobungsschema zur Tiefenlage der Entnahmepunkte und Anzahl der Proben am Beprobungspunkt,
- Art der Probennahme zur laboranalytischen Bearbeitung (i.b. Gammasspektrometrie),
- Anzahl der Beprobungspunkte.



### 8.5.1 Verteilung der Beprobungspunkte auf der Fläche

Die Lageverteilung der einzelnen Beprobungspunkte auf einer gegebenen Beprobungsfläche ist möglichst gleichmäßig vorzunehmen. Allerdings ist ein metrisch normiertes Raster in einem Forst- bzw. Waldökosystem bereits aufgrund der mehr oder weniger dichten Bestockung nur unter entsprechenden Modifikationen durchführbar. Die Bodenbeprobung hat in den Zwischenstammgebieten zu erfolgen, das heißt in ca. 0,5 m Abstand von den Stämmen, im Falle ausgeprägter Wurzelaschen an Althölzern in 1,5 m Abstand. Der Arealgröße entsprechend sind Mindestabstände zwischen den einzelnen Beprobungspunkten zu beachten, die aus der jeweiligen Flächengröße resultieren (Abb. 30). Punktkonzentrationen sind zu vermeiden.

- (1) Im Falle von 30 x 30 m großen Untersuchungsarealen beträgt der Mindestabstand zwischen den einzelnen Probenpunkten 3 m,
- (2) im Falle von 50 x 50 m großen Untersuchungsarealen 5 m,
- (3) ca. 50 % der Beprobungspunkte sollen auf eine Hälfte des Untersuchungsareals verteilt sein.

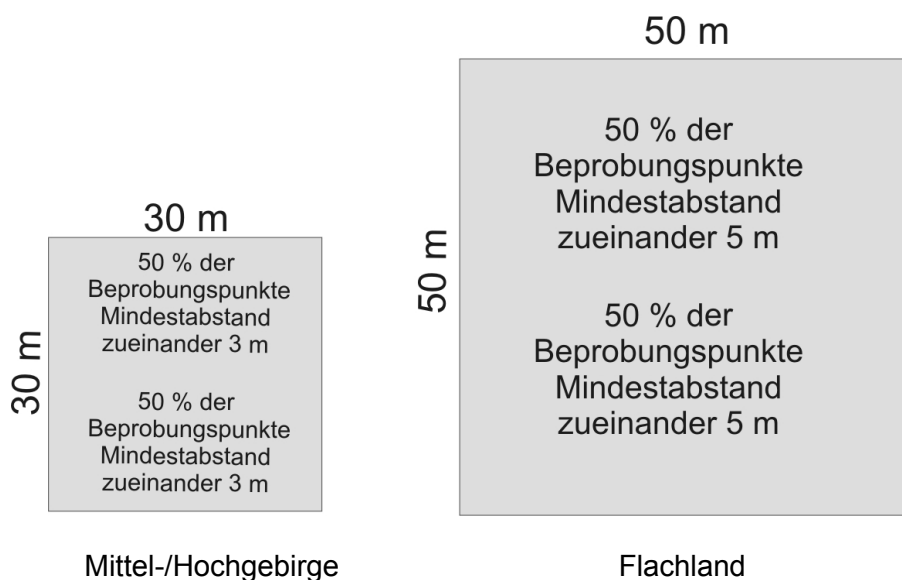


Abb. 30 Verteilung von Beprobungspunkten in Beprobungsarealen unterschiedlicher Größe.

### 8.5.2 Beschaffenheit und Eignung des einzelnen Beprobungspunktes

Die Eignung eines einzelnen Beprobungspunktes wird von nachstehenden Kriterien bestimmt, die entsprechend zu überprüfen sind (vgl. Abb. 31):

- (1) Der Beprobungspunkt sollte seine direkte Umgebung (1-2 m) innerhalb des Beprobungsareals repräsentieren und frei von größeren Abweichungen sein.
- (2) Störungen im Aufbau der humosen Auflagehorizonte und der mineralischen Oberböden i.b. infolge des sog. Plätzens durch Rotwild, Stellen mit erkennbarer Wühltätigkeit von Schwarzwild, Windwurfbereiche u.d.m. sind von der Beprobung auszuklammern.
- (3) Die L-Auflage (Blätter, Nadeln etc.) muss im direkten Umfeld (1-2 m) flächendeckend vorhanden sein. Schneeschurfstellen etc. sind auszuklammern.
- (4) Baumtaschen im Stammbereich (i.b. Stammabfluss), natürliche Geländerinnen, Fahrspuren etc. konzentrieren Niederschlagswasser, was zu lokal begrenzten Effekten der (Schad)Stoffanreicherung führt. Der einzelne Beprobungspunkt muss daher mindestens 50 cm vom Stammablauf von Bäumen, Wurzeltaschen an Althölzern und vergleichbaren Störungen vorgenannter Art entfernt sein.

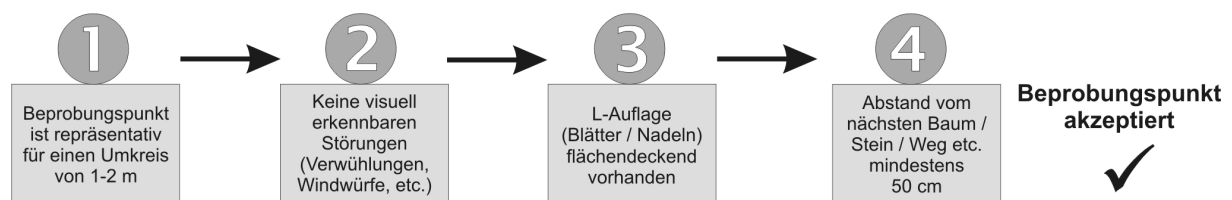


Abb. 31 Vereinfachtes Schema zur Auswahl des Beprobungspunktes.

### 8.5.3 Gewinnung und feldbodenkundliche Beschreibung einzelner Bodenmonolithen

#### 8.5.3.1 Ausstechen eines Bodenmonolithen

Feldbodenkundliche Aufnahme und Beprobung erfolgen im Rahmen dieser Handlungsvorgabe grundsätzlich an Bodenmonolithen, die im Gelände mit dem Spaten ausgestochen werden. Stechsondierungen, der Einsatz von Kammerbohrern etc. ist nicht möglich. Die schmalen Querschnitte liefern zu ungenaue Ergebnisse und werden daher nicht zugelassen. Bodenmonolithen sind sehr einfach mit Hilfe eines Edelstahlspatens am jeweiligen Beprobungspunkt auszuheben. Sie liefern der Blattbreite des Spatens

entsprechend einen quadratischen, geschlossenen Block von 20 x 20 cm Kantenlänge, ausgestochen auf eine Tiefe von 30 cm. Diese Monolithen haben den Vorteil, dass feldbodenkundliche Beschreibung und Aufnahme sowie die Beprobung für die laboranalytische Bearbeitung, i.B. die radiometrische Vermessung, jeweils am selben Objekt durchgeführt werden. Auch kommt es nicht zu Verwürgungen bzw. zur Verschleppung von Bodenmaterial über Horizont- oder Schichtgrenzen hinweg. Der vergleichsweise große Bodenmonolith bietet eine sehr gute Übersicht, was insbesondere zur Differenzierung geringmächtiger Bodenhorizonte und zur klaren Ansprache und Beachtung von Horizontgrenzen (z.B. Ah-Horizonte) von größter Wichtigkeit ist und die zu fordernde Reproduzierbarkeit aller zu erhebenden Befunde gewährleistet.

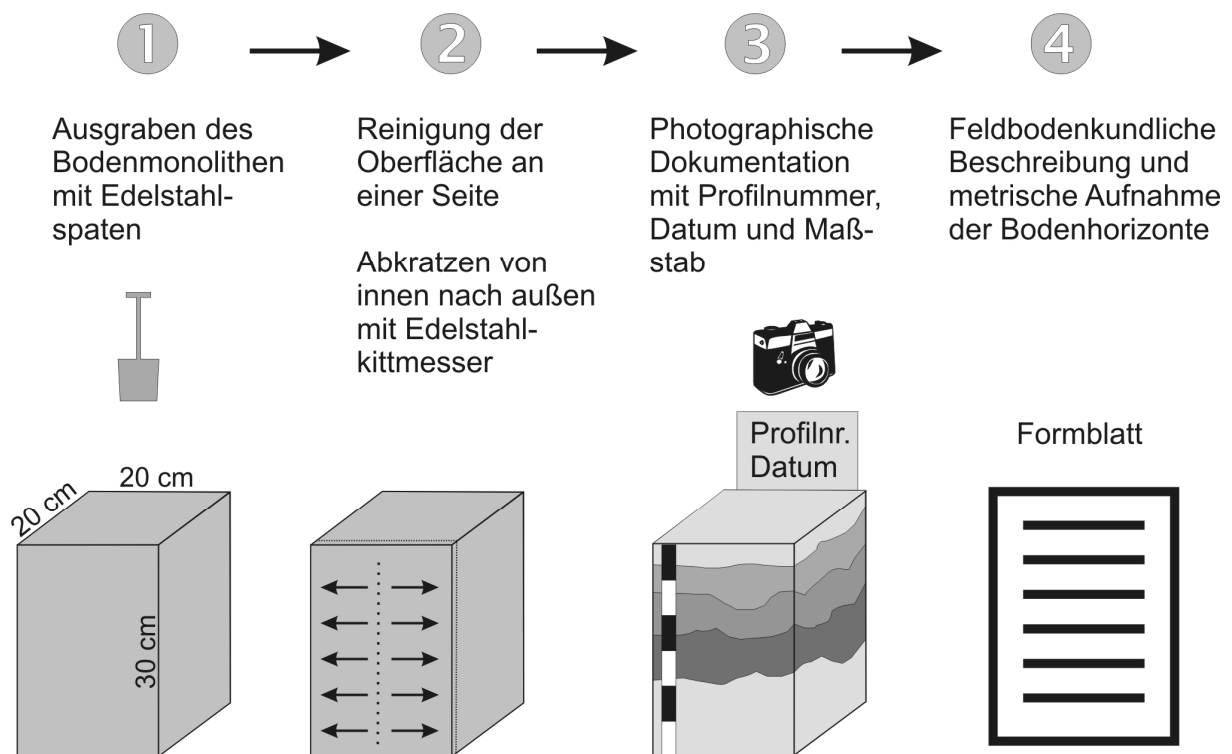


Abb. 32 Schematischer Überblick zur Gewinnung, Präparation und Dokumentation eines Bodenmonolithen an einem einzelnen Beprobungspunkt.

Der feldfrische Bodenmonolith wird an den Außenseiten mit Hilfe eines handelsüblichen Stahlkittmessers o.ä. gesäubert, indem ca. 0,5 – 1 cm Material vorsichtig abgeschabt werden. Vermischungen und Verwürgungserscheinungen zwischen einzelnen Bodenhorizonten, die vom Spateneinstich bedingt sein können, werden so beseitigt. An der präparierten Oberfläche erfolgt zunächst die photographische Dokumentation unter Anlegen

eines Maßbandes oder Meterstabes (sog. Zollstock). Es folgt die feldbodenkundliche Beschreibung und abschließend die Bodenbeprobung (jeweilige Verfahren dazu s.u., zum Ablauf vgl. Schema in Abb. 32).

Die Beschreibung der Bodenhorizonte am Bodenmonolithen erfolgt wie in den deutschen Boden- und Geowissenschaften sowie den Geologischen Diensten der Länder und des Bundes üblich anhand der Bodenkundlichen Kartieranleitung KA5 (AG Boden 2005, Hrsg. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, BGR, Hannover). Das deutsche bodenkundliche Klassifikationsschema beruht auf der genetischen Ansprache der Böden, was sich in der konventionellen Festlegung und profiltypischen Vergabe der Horizontsymbole ausdrückt (vgl. AG Boden 2005 sowie Lehrbücher der Bodenkunde, u.a. SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2003<sup>15</sup>). Grundsätzlich setzt die erforderliche Einteilung und Zuordnung des Bodenmonolithen zu bestimmten Bodenhorizonten vom Bearbeiter und Probennehmer eine gewisse Erfahrung in der feldbodenkundlichen Ansprache voraus.

### **8.5.3.2 Feldbodenkundliche Aufnahme im Rahmen der radioökologischen Beprobung**

Als erster, wesentlicher Arbeitsschritt wird die Differenzierung des Bodenmonolithen in die organischen Auflagehorizonte (sog. Humushorizonte, i.d.R. L-, Of-, Oh-Horizonte) und in die darunter liegende Mineralbodenhorizonte (i.d.R. A-Horizonte, B-Horizonte, ggf. C-Horizonte) vorgenommen.

#### **8.5.3.2.1 Humushorizonte**

Die organischen Auflagen (sog. Humushorizonte) von Waldböden sind im Rahmen des Stoffumsatzes, der Nährstoffspeicherung, der Schadstofffilterung, des Erosionsschutzes, der Niederschlagsperkolations u.v.a.m. von herausragender (boden)ökologischer Bedeutung. Da sie auch aus radioökologischer Sicht Senken und Quellen für künstlich freigesetzte Radionuklide sind (i.b. <sup>137</sup>Cs aus dem Tschernobyl-Fallout), kommt ihnen im Rahmen dieser Handlungsvorgabe höchste Bedeutung zu.

Konventionell werden drei Horizonttypen ausgegliedert, welche die organischen Auflagen bilden (vgl. SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2003<sup>15</sup>, AG Boden KA5 2005).

**L-Horizont** (englisch, l = litter) bezeichnet den obersten Streuhorizont. Er enthält die abgestorbenen Pflanzenreste u.a. des jährlichen Laub- bzw. Nadelfalls (sog. Bestandsabfall

oder Detritus). Nadeln oder Laubblätter sind als solche noch ohne Einschränkung erkennbar, d.h. sie sind nicht oder wenig zersetzt und klassifizierbar. Die weiterführenden diagnostischen Merkmale, entsprechend unterteilt für Laub- und Nadelstreu, können der bodenkundlichen Kartieranleitung (AG Boden 2005: 301) entnommen werden.

Der **O**-Horizont (o = organisch) besitzt laut Definition stets > 30 % Masse an organischer Substanz und wird unterteilt in den Of-Horizont und den Oh-Horizont.

**Of** (f = fermentiert) steht für den Fermentationsbereich des O-Horizontes. Er geht aus dem L-Horizont durch zeitliche Fortentwicklung hervor und unterlagert notwendigerweise denselben. Infolge Fermentation (Stoffwechselform der Gärung) und Vermoderung hat bereits eine weitgehende Zersetzung des organischen Detritus stattgefunden. Zwar sind noch Strukturen pflanzlicher Gewebe erkennbar, allerdings bereits mit organischer Feinsubstanz vermenget. Pilzhyphen und Feinwurzeln finden sich gehäuft im Of-Horizont. Die diagnostischen Merkmale, unterteilt in Laub- und Nadelstreu, finden sich ebenfalls in der bodenkundlichen Kartieranleitung (AG Boden 2005: 301f.).

**Oh** (h = humos) ist das Kürzel für den Humifizierungshorizont, in welchem die im Of-Horizont abgebaute, remineralisierte organische Substanz in Form von dunkel gefärbter Feinsubstanz angereichert ist. Pflanzliche Strukturen sind in diesem stark zersetzten Material nicht mehr zu erkennen. Die Zersetzung durch das Edaphon (lebende Bodenorganismen) hat ein weit fortgeschrittenes Stadium erreicht. Makroskopisch nicht erkennbar kommt es in diesem Horizont bereits wieder zum Neuaufbau höhermolekularer Strukturen (zur Feldansprache vgl. AG Boden 2005: 302).

#### 8.5.3.2.2 Mineralbodenhorizonte

Mineralbodenhorizont ist eine Sammelbezeichnung für Bodenhorizonte, in denen der Anteil an mineralischer Bodensubstanz über 30 % liegt. Das gilt in der Regel für alle Bodenhorizonte unterhalb der organischen Auflagehorizonte. Der Mineralboden wird in den meisten Fällen und insbesondere im Bereich der typischen braunen Waldböden (Klasse der Braunerden) in den terrestrischen Oberboden (**A**-Horizonte), den in aller Regel verbrauchten Unterboden (**B**-Horizonte) und in die Untergrundhorizonte (**C**-Horizonte) aufgeteilt. Die entsprechenden Beschreibungen und Charakteristika finden sich in der Bodenkundlichen Kartieranleitung (AG Boden 2005), auf deren Basis die Mineralbodenhorizonte im Rahmen der Ansprache des jeweiligen Bodenmonolithen und dessen Beprobung fachgerecht und eindeutig zu differenzieren sind. Die für die Handlungsvorgabe in aller Regel relevanten

Mineralbodenhorizonte werden nachstehend kurz vorgestellt. Auf staunassen oder grundwasserbeeinflussten Standorten treten die S-Horizonte bzw. G-Horizonte an die Stelle der B-Horizonte (vgl. AG Boden 2005).

Ein in Waldböden häufiger und für die Bindung radioaktiver Stoffe an humose Substanzen überaus wichtiger Horizont ist der **Ah-Horizont** (h = humos). Die Anreicherung von Humus bis zu 30 Masse-% und die markante dunkle Färbung (grau-schwarz) sind seine wichtigsten Gliederungskriterien. Die Trennung vom direkt darüber entwickelten Oh-Horizont (s.o.) ist für jede bodenökologische Beprobung von grundlegender Bedeutung. Die Grenze darf im Rahmen einer Probenahme niemals überschlagen werden. Folgerichtig ist eine metrische Aufteilung der Proben nur dann möglich, wenn sie die Horizontgrenzen erkennt und als strikte Beprobungsgrenzen beachtet.

Rein metrisch basierte Beprobungsschemata versagen, sofern sie die Grenzen zwischen Oh-, Ah-, Bv- oder anderen Horizonten missachten und überschlagen. Denn diese sind häufig hochaktive physikochemische und biologische Barrieren.

Im Anschluss an die feldbodenkundliche Festlegung von Horizontgrenzen und Horizonttypen am jeweiligen Bodenmonolithen wird im Gelände eine kurze Beschreibung standortbezogener, sowohl diagnostischer als auch genetischer Bodenmerkmale vorgenommen. Die einfachen Einteilungskriterien sind anschaulich in der amtlichen Kartieranleitung (AG Boden 2005) dargestellt, worauf im Rahmen dieser Handlungsvorgabe in Form von Querverweisen mit genauer Angabe der Seitenzahlen Bezug genommen wird.

Wichtig ist die Feldansprache von:

- Feinboden ( AG Boden 2005: 141),
- Grobboden (AG Boden 2005: 148),
- Farbe (AG Boden 2005: 108),
- geschätztem Humusgehalt (AG Boden 2005: 110),
- Hydromorphiemerkmalen (AG Boden 2005: 112),
- Karbonatgehalt (AG Boden 2005: 168),
- Durchwurzelungsintensität (AG Boden 2005: 129),
- Ausformung/Verlauf der Horizontuntergrenzen (AG Boden 2005: 80).

### 8.5.4 Beprobungsschema zur Tiefenlage der Entnahmepunkte und Anzahl der Proben am Beprobungspunkt

Zur Beprobung des Bodenmonolithen kommt ein kombiniert bodenhorizontbezogenes und metrisches Beprobungsschema zum Einsatz (vgl. Abb. 33). Grundvoraussetzung ist, dass im Falle jeder Einzelprobe Horizontgrenzen immer auch Beprobungsgrenzen sind und keinesfalls übergangen werden dürfen.

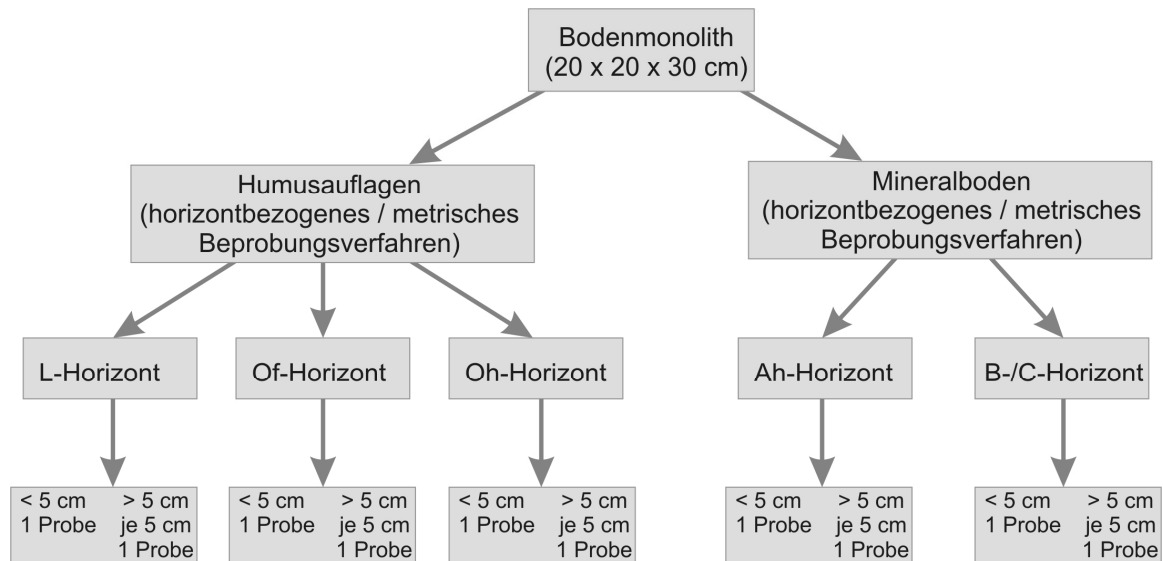


Abb. 33 Flussdiagramm zum Ablauf einer Probennahme auf Basis einer Kombination von horizontbezogenen und metrisch gestützten Beprobungsverfahren.

Wie im Flussdiagramm ersichtlich (Abb. 33), werden die Humusauflagen und die Mineralbodenhorizonte getrennt und in unterschiedlichen Arbeitsschritten beprobt. Die Beprobung setzt immer mit den Auflagehorizonten L, Of, Oh (sofern entwickelt) ein und geht dann zu den darunter liegenden Mineralbodenhorizonten über.

Die Beprobungskriterien (vgl. Abb. 34) werden dabei wie folgt abgearbeitet:

- (1) Jeder im Bodenmonolithen nachweisbare bzw. vorhandene Horizont wird hinsichtlich seiner absoluten Tiefenlage im Monolithen und seiner individuellen Mächtigkeit in Schrittweiten von 0,5 cm feldbodenkundlich aufgenommen, das heißt im Formblatt vermerkt.
- (2) Die Geländeoberkante (GOK) wird, den amtlichen Kartierschlüsseln folgend, nicht mit der Obergrenze der organischen Auflagehorizonte gleichgesetzt sondern mit der Obergrenze des Mineralbodens (meist Ah-Horizont), welche die 0 cm-Marke darstellt (Tiefenlage = 0 cm). Die jeweilige Stärke der darüber liegenden Humusaufgaben bzw. die individuelle Mächtigkeit der einzelnen Horizonte wird für jeden Horizont gesondert mit vorangestelltem Pluszeichen (+) angegeben (z.B. Oh-Horiz. +1 cm, Of1-Horiz. +2,5 cm, Of2-Horiz. +4,5 cm, L-Horiz. +6,0 cm). Mineralbodenhorizonte werden den Konventionen folgend fortlaufend metrisch von oben nach unten aufgemessen, die Angaben zur Tiefenlage nunmehr aufsummiert (vgl. AG Boden 2005), z.B. Ah-Horiz. 0-0,5 cm, Bhv-Horiz. 0,5-5 cm, Bv-Horiz. 5-45 cm, usw. (vgl. Abb. 34).
- (3) Ohne die zuvor festgelegten Horizontgrenzen zu überschlagen, werden die Bodenhorizonte in 5 cm-Schritten beprobt. Das bedeutet, eine Bodenprobe kann, wenn der Horizont geringmächtiger entwickelt ist, metrisch eine geringere Vertikaldistanz als die maximal möglichen Beprobungsschritte von 5 cm aufweisen. Mächtigere Horizonte hingegen werden in 5 cm-Schritten mehrfach beprobt.
- (4) Die Probennahme im Mineralboden, das heißt ab der Geländeoberkante unterhalb der organischen Auflagehorizonte, beschränkt sich in etwa auf die oberen 15 cm. Diese Vorgabe folgend werden im Bereich des Mineralbodens maximal vier Bodenproben entnommen (z.B. Ah 0 - 0,5 cm, Bv 0,5 – 5,5 cm / 5,5 -10,5 cm / 10,5 - 15,5 cm).
- (5) Im Sinne einer stets horizontbezogenen Beprobung ist notwendigenfalls von den vorgegebenen Beprobungsweiten in 5 cm-Schritten abzuweichen, z.B. wenn ein Bodenhorizont als solcher oder aber seine nach metrischer Aufteilung unterste Probe geringmächtiger als 5 cm ist. In einem solchen Fall wird der Bodenhorizont nur ein Mal, folgerichtig über eine geringermächtige Probe dargestellt. Oder aber die unterste Probe wird der darüberliegenden, zum selben Horizont gehörigen hinzugeschlagen, dieser Beprobungsbereich entsprechend hälftig geteilt und in bekannter Schrittweite beprobt. Entsprechende Vermerke gehen mit Hilfe des Aufnahmebogen ins Probenprotokoll und in die Kurzbeschreibung des Beprobungspunktes (Abb. 33).



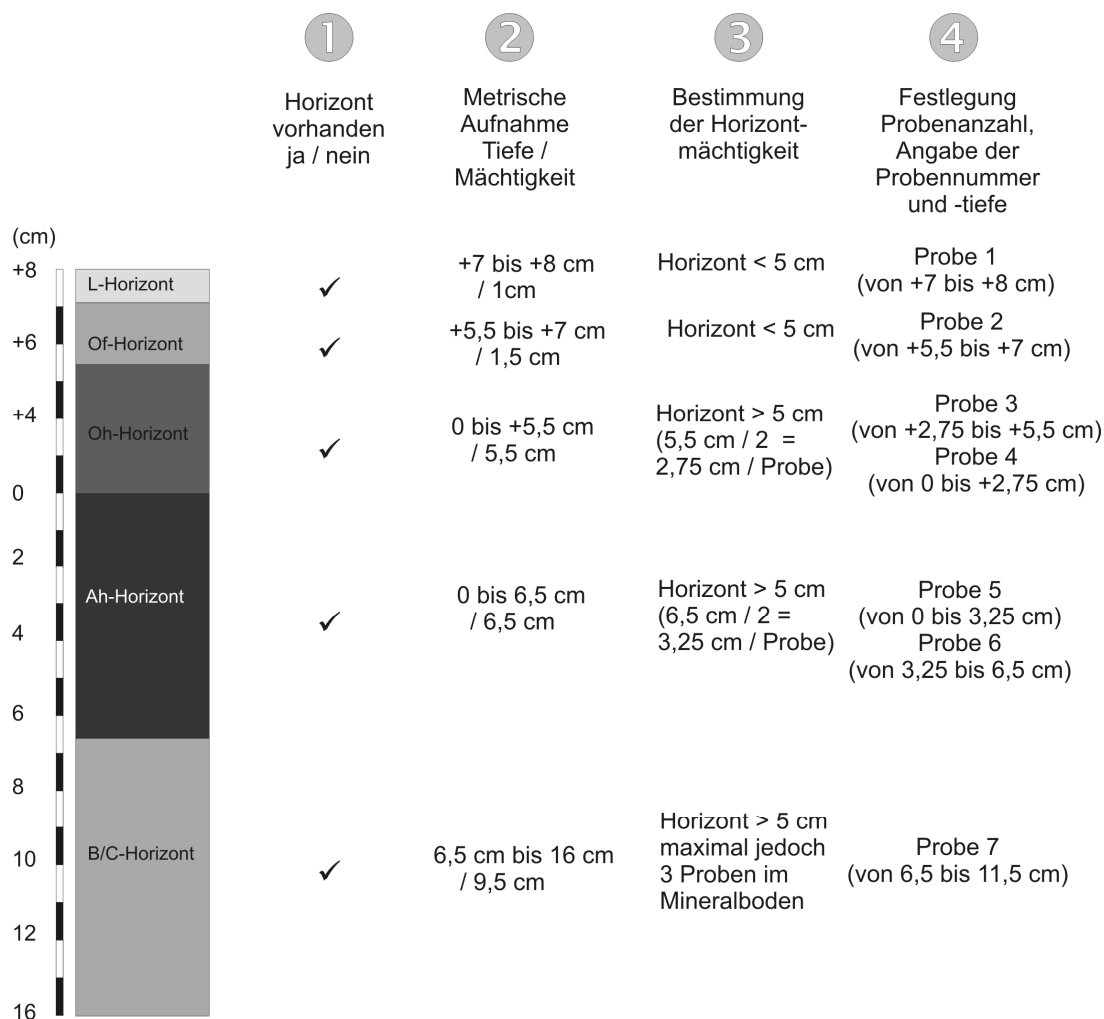


Abb. 34 Beprobungsschema zur Tiefenlage der Entnahmepunkte und Anzahl der Proben am Beprobungspunkt.

### 8.5.5 Art der Probennahme zur laboranalytischen Bearbeitung (i.b. Gamma-spektrometrie)

Die Probennahme erfolgt grundsätzlich an feldfrischen, im Gelände präparierten Bodenmonolithen (s.o.). Es reicht aus, die Bodenproben ohne Volumenbezug als Mischproben zu entnehmen, unter Wahrung der Horizontgrenzen und unter Beachtung der im Probenprotokoll zuvor festgelegten Beprobungsweiten. Zuerst werden die Auflagenhorizonte beprobt, da diese leicht zerfallen. Die Beprobung setzt mit dem L-Horizont ein und schreitet über den Of-Horizont bis zum Oh-Horizont fort. Anschließend wird der Bodenmonolith von seinen humosen Auflagenhorizonten befreit. Den im Rahmen der feldbodenkundlichen Kurzbeschreibung des jeweiligen Bodenmonolithen festgelegten Tiefenstufen folgend wird die Beprobung des Mineralbodens am verbleibenden Teil des Monolithen vorgenommen.

Für die Beprobung sind geeignete Werkzeuge in Form von Edelstahlkittmessern oder Edelstahlkellen bereitzuhalten. Nach jeder Probennahme sind die Werkzeuge gründlich von anhaftenden Bodenbestandteilen zu reinigen, um eine Verschleppung von horizont- bzw. probenfremdem Material auszuschließen. Die einzelnen Proben werden als Mischproben entnommen, decken also die vorgegebene Beprobungsspanne innerhalb eines Horizontes, gegebenenfalls die gesamte Horizontmächtigkeit ab. Die Proben werden in zuvor beschriftete Polyethylenbeutel gegeben. Auf den Beuteln werden vorab beidseitig Profilnummer, Probennummer, Tiefenangabe und Datum vermerkt und nach Befüllung verschlossen (Draht, Clips). Die Verwendung handelsüblicher Gefrierbeutel hat sich bewährt. Das Material sollte nicht zu dünnwandig gewählt werden, um Transportschäden zu vermeiden.

Die jeweilige Probenmenge richtet sich nach dem angestrebten Umfang der vorgesehenen Analytik. Sollen über die gammaspektrometrische Vermessung der Bodenproben hinaus bodenchemische (z.B. pH, KAK) und bodenphysikalische Kenndaten (z.B. Korngröße) erhoben werden, ist die Probenmenge zu erhöhen. Tab. 2 gibt entsprechende Richtwerte. Grundsätzlich gilt, Genauigkeit bei der Beprobung geht vor Menge. Ein nur 0,5 cm mächtiger Ah-Horizont kann bei präziser, horizontbezogener Beprobung nicht alle möglichenfalls wünschenswert erscheinenden Analysen erlauben. Wichtig ist, die für die gammaspektrometrische Vermessung notwendige Minimalmenge zu gewinnen (Tab. 17).

*Tab. 17 Näherungsweise Angaben zur erforderlichen Probenmenge (Trockengewicht) im Rahmen der laboranalytischen Bestimmung diverser chemischer und physikalischer Parameter.*

Horizont	Gamma- spektrometrie (g)	pH- Wert (g)	Kationen- austauschkapazität (g)	Korngrößen- analyse (g)	Tonmineral- analyse (g)	Gesamtmenge der trockenen Probe (g)
L	20	5	10	--	--	35
Of	30	5	10	--	--	45
Oh	30	5	10	--	--	45
A	60	10	10	--	20	100
B	60	10	10	20	20	120

Um Wiederholungsmessungen oder gegebenenfalls Zusatzmessungen durchführen zu können, in Einzelfällen die Proben in eine Probenbank zu überführen o.d.m., wird empfohlen, soweit möglich das Zwei- bis Dreifache der angegebenen Minimalmenge an Bodenmaterial zu entnehmen.

Sollte der L-Horizont auf dem Bodenmonolithen selbst nicht die zur Beprobung erforderliche Menge liefern, so kann für diesen Horizont weiteres Material in einem Umkreis von etwa 50 cm vom Beprobungspunkt gesammelt werden. In Laubwäldern ist das die Regel.

### **8.6 Anzahl der Beprobungspunkte pro Beprobungsareal**

Die Anzahl an Beprobungspunkten auf einer Beprobungsfläche wird auf zehn Einzelpunkte festgelegt. Zur Verteilung siehe Punkt 8.5.1 dieser Handlungsvorgabe.

### **8.7 Beprobungsschema unter Berücksichtigung von Humusmächtigkeiten in unterschiedlichen naturräumlichen Einheiten**

In den Hochlagen der Mittelgebirge und im Hochgebirge treten hinsichtlich der Humusauflagen und des jeweiligen Ah-Horizontes erhebliche Varianzen auf, die im Rahmen einer repräsentativen Bodenbeprobung in radioaktiv kontaminierten Waldökosystemen als solche erfasst und berücksichtigt werden müssen. Die Handlungsvorgabe kann hierzu nur näherungsweise Vorgaben bzw. Hinweise formulieren. Die Mächtigkeit der Humusauflagen wird von verschiedensten bodenbildenden Faktoren externer und interner Art gesteuert. Sie sind in hohem Maße abhängig von der Inklination, der Exposition, dem Mikrorelief, der Beschaffenheit des oberflächennahen Untergrundes als dem Substrat der Bodenbildung, der Bestockung und den Niederschlägen. Da die Mächtigkeitsvarianzen von Humusauflagen und Ah-Horizonten insbesondere einen hypsometrischen Gradienten nachzeichnen, dienen Höhenschichtenklassen als einfaches und in der Praxis schnell umsetzbares Kriterium. In Summation der jeweiligen Einflüsse wurden zur leichteren Umsetzung im Rahmen der Handlungsvorgabe drei Höhenschichtenklassen ausgewiesen, innerhalb derer sich die Mächtigkeiten der humosen Auflagen und die Entwicklungstiefe der humosen A-Horizonte üblicherweise in charakteristischer Form ändern (vgl. Forschungsbericht). Dabei ist ein Überlappungsbereich von  $\pm 150$  Höhenmetern zwischen den einzelnen Klassen sinnvoll.

- (1) bis 500 m NN (Pufferbereich 350 – 650 m NN),  
 (2) bis 1000 m NN (Pufferbereich 850 – 1150 m NN),  
 (3) über 1000 m NN.

Die Anzahl der Beprobungspunkte (10) bleibt in allen Höhengschichtenklassen gleich. Es ist darauf zu achten, dass die Beprobungspunkte den Anforderungen in Tab. 18 gerecht werden, welche eine Punktverteilung der Probennahme bei unterschiedlichen Mächtigkeiten der Humusauflagen und der Ah-Horizonte nach Höhenstufen regelt.

*Tab. 18 Verteilung der Probenanzahl in den jeweiligen Mächtigkeitsklassen in Abhängigkeit von den Höhengschichtenklassen.*

Höhenschichten- klasse (m NN)	Mächtigkeit von Humusauflage und Ah-Horizont 0 – 10 cm	Mächtigkeit von Humusauflage und Ah-Horizont 10 – 20 cm	Mächtigkeit von Humusauflage und Ah-Horizont > 20 cm	Summe der Beprobungspunkte
I (< 500)	10	-	-	10
II (500 – 1000)	7	3	-	10
III (> 1000)	2	6	2	10

Nach der Ermittlung der Höhengschichtenklasse am jeweiligen Standort, was in der Regel mit Hilfe der TK 25 erfolgt, werden solange Stichproben gezogen, bis der Schlüssel erfüllt ist, höchstens jedoch 20. Ist nach 20 Stichproben der Schlüssel immer noch nicht erfüllt, gibt es drei Möglichkeiten:

1. Das Gebiet befindet sich im Pufferbereich zwischen zwei Höhengschichtenklassen (z.B. zwischen 350 m NN und 650 m NN oder zwischen 850 m NN und 1150 m NN). Es kann in die jeweils andere Höhengschichtenklasse ausgewichen werden.
2. Innerhalb einer Höhengschichtenklasse kann eine Mächtigkeitsklasse um maximal einen Wert verschoben werden.
3. Das Gebiet ist für diesen Landschaftsausschnitt nicht repräsentativ. Gegebenfalls muss ein anderer Standort gesucht werden.

## 8.8 Checkliste für Geräte und Hilfsmittel

Es werden folgende Arbeitsgeräte und Hilfsmittel benötigt:

- 2 x Maßband (50 m)
- Meterstab
- Edelstahlspaten
- Edelstahlkittmesser
- Edelstahlkelle
- PE-Probenbeutel (3 l Fassungsvermögen, sogenannte Gefrierbeutel)
- Drahtbinder oder Clipse (zum Verschluss der PE-Probenbeutel)
- Topographische Karte des Untersuchungsgebietes (TK 25)
- Bodenkundliche Kartieranleitung (AG Boden 2005)
- Formblatt für die Beprobung im Feld (siehe Punkt 9)
- Neigungsmesser
- Kompass
- ggf. handportables Global Positioning System GPS
- Schreibbrett / Schreibutensilien
- ggf. Laptop zur direkten Eingabe der Profil- und Probenbeschreibung
- (Digital)Kamera zur photographischen Dokumentation

## 8.9 Formblatt für die Beprobung im Feld

Das Formblatt (Abb. 29) dient der Datenaufnahme und gewährleistet die Vergleichbarkeit der Erhebungen auf Basis einzelner Untersuchungsstandorte. Das Formblatt kann manuell im Gelände oder aber auch in digitaler Form über ein Notebook (PC) im Gelände ausgefüllt werden. Auf die Notwendigkeit der Datensicherung z.B. in Form doppelter Speicherung bereits im Gelände auf einen USB-Datastick wird mit Nachdruck hingewiesen. Die jeweiligen Beschriftungsfelder auf dem Formblatt sind nummeriert. Die Angaben sind dadurch einfach und mit eindeutiger Zuordnung in zu erstellende Datenbanksysteme zu integrieren. Felder mit grau hinterlegten Nummerierungen sind Pflichtfelder (insgesamt 21) im Sinne der Handlungsvorgabe zur Erfassung einer gegebenen radioökologischen Situation vor Ort. Idealerweise sollten aber auch alle anderen Merkmalsfelder im Gelände ausgefüllt werden. Notizen, die im Rahmen der feldbodenkundlichen Arbeiten und der weiteren Geländeaufnahme möglichenfalls auf Zusatzblätter geschrieben werden, können über das Feldnummerierungssystem ebenfalls eindeutig zugeordnet werden. Verwechslungen wird damit vorgebeugt.

Ferner wird dringend empfohlen, zur Unterstützung und sachgerechten Profilbeschreibung stets die Bodenkundliche Kartieranleitung KA 5 (AG Boden 2005) mitzuführen und in Zweifelsfällen heranzuziehen.

### **8.10 Literaturhinweise**

AG Boden (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung. 5. Auflage, 483 S.

DIN ISO 10381-4 (Anleitung für das Vorgehen bei der Untersuchung von natürlichen, naturnahen und Kulturstandorten).

SOP13801\_A Nr. 138, Qualitätssicherungshandbuch der Prüfstellen in Marktredwitz, Standardarbeitsanweisungen-SOP von 2003, Bayerischen Geologisches Landesamt.

## 9 Projektrelevante wissenschaftliche Publikationen

Die neu erarbeiteten Ergebnisse wurden bereits während der Projektlaufzeit in Fachkollegenkreisen präsentiert und diskutiert, um neue Impulse aufzunehmen und eventuelle Anregungen für Modifikationen rechtzeitig umsetzen zu können. Daher wurden gezielt wissenschaftliche Tagungen und Konferenzen besucht. Tagungsbeiträge in Auswahl:

BERNT, N., LEOPOLD, M. & VÖLKEL, J. (2005) Heterogenität und Variabilität von Humusaufgaben an submontanen und montanen Standorten Bayerns. - Tagungsband zur Jahrestagung des AK Bodengeographie in Schneverdingen, 15.

VÖLKEL, J., LEOPOLD, M. & BERNT, N. (2005): Tschernobyl  $^{137}\text{CS}/^{134}\text{Cs}$  in Bavaria, Southern Germany - a comparison of different areas and a new method of a 3-D quantification. - Proceedings of the GfÖ, **35**: 395.

LEOPOLD, M. & VÖLKEL, J. (2004): Tschernobyl  $^{137}\text{CS}/^{134}\text{Cs}$  in Bavaria, Southern Germany - a comparison of different areas and a new method of a 3-D quantification using Ground Penetrating Radar. - Book of Abstracts of the EUROSIL 2004, Freiburg Germany, 283.

## 10 Zusammenfassung

Weder auf Länder- noch auf Bundesebene gibt es bislang eine Vorgabe oder Verordnung, welche die Beprobung radioaktiv belasteter Böden regelt. Das gilt auch für die vom BMU (2006) jüngst aktualisierten Verfahren zur gammaspektrometrischen Bestimmung von Radionukliden in Bodenproben (BMU 1992). Diese Richtlinie regelt die Emissions- und Immissionsüberwachung kerntechnischer Anlagen. Auf die Problematik der Probenentnahme insbesondere im Falle von Waldböden wird mit Nachdruck hingewiesen, auch darauf, dass Bodenkundler in die Beprobung einzubeziehen seien. Die Bedeutung der Humusaufgaben in Waldböden wird ebenfalls benannt. Dennoch werden die Auflagehorizonte bei der Beprobung nicht getrennt und der darunterliegende Mineralboden mit dem Bohrstock beprobt, was das Überschlagen von Horizontgrenzen kaum verhindern kann. Die Methode ist daher geeignet, Proben zur Bestimmung einer potentiellen Gesamtbelastung im Boden zu liefern. Verlagerungstrends etc. sind aus diesen Messergebnissen jedoch keinesfalls ableitbar. Dieser schwere Mangel führt bis heute zu erheblichen Fehlinterpretationen bezüglich der aktuellen Bioverfügbarkeit von im Boden vorhandenen Radionukliden bis hin zu Falschaussagen hinsichtlich ihrer zukünftigen Entwicklung zum Beispiel in Form einer möglichen Auswaschung aus der Wurzelzone der Böden. So haben staatliche Untersuchungen in Nachbarländern (u.a. Österreich) prognostiziert, das tschernobylbürtige Radiocäsium ( $^{137}\text{Cs}$ ) unterläge einer nachweisbaren Tiefenverlagerung, eine Aussage, die weitreichende Folgen für die Beurteilung einer gegebenen oder zukünftigen Gefahrensituation hat. Allein, diese Schlußfolgerungen waren falsch. Das Gegenteil ist der Fall, Radiocäsium ist in allen nicht gepflügten Böden trotz langsam abnehmender Ortsdosisleistung (HWZ 31,17 Jahre) auch 20 Jahre nach Tschernobyl vielfach in ebenso hohem Maße bioverfügbar und damit geeignet, in die Nahrungskette bis zum Menschen überzutreten, wie es etwa vor 10 oder 15 Jahren der Fall war. Vereinzelt sind die Werte sogar angestiegen. Ursache der falschen Prognosen waren stets unsachgerechte Bodenbeprobungen, welche Veränderungen der Radionuklidbelastung der Böden vortäuschten, die nicht gegeben waren.

Vor allem vor dem Hintergrund einer möglichen zukünftigen Belastung von Böden in Siedlungsgebieten (Gärten, Grünanlagen, etc.), in Agrargebieten (Ackerstandorte, Grünlandstandorte, Brachen etc.) sowie in den weitflächigen Wäldern u.a. des Bayerischen Staatsgebietes ist eine sachgerechte Bodenbeprobung aufgrund einer verbindlich umzusetzenden Handlungsvorgabe Grundvoraussetzung für die Bewertung der gegebenen Situation und für die prognostische Beurteilung im jeweiligen Ereignisfall. Mit der hier vorgelegten *Handlungsvorgabe zur Auswahl von Beprobungsflächen und zur Probennahme*



*in radioaktiv kontaminierten Waldökosystemen des Bayerischen Staatsgebietes* wird bundesweit erstmals eine verbindliche und in der Praxis leicht umzusetzende Richtlinie geschaffen, die es erlaubt, eine gegebene radioökologische Situation wie die andauernde Belastung der bayerischen Forsten mit tschernobylbürtigem Radiocäsium ( $^{137}\text{Cs}$ ) sachgerecht zu bewerten, dafür die notwendigen Beprobungsflächen landesweit festzulegen und im Falle eines möglichen radioökologischen Ereignisses schnell und gebietsrepräsentativ die Situation im Bayerischen Staatsgebiet in allen kulturlandschaftlichen Teilbereichen (Siedlungs-, Agrar- und Forststandorte) zu erfassen und zu bewerten.

Im Falle eines neuerlichen Ereignisfalls mit nicht unerheblichen radioökologischen Auswirkungen sind es zunächst die Siedlungs- und Agrarflächen, welche die vordergründigste Problematik aus der Sicht der Gesundheitsgefährdung für die Bevölkerung aufweisen werden. Die hier vorgelegte Handlungsvorgabe ist auf diesen Flächen vollinhaltlich umsetzbar. Die Gegebenheiten sind im Vergleich zu den Waldböden dort etwas einfacher, gleichwohl hinsichtlich der sachgerechten Bodenbeprobung bis heute nicht verbindlich geregelt. Diesem Mangel hilft die hier vorgelegte Handlungsvorgabe zur Bodenbeprobung grundlegend ab. Aus der Sicht der tschernobylbedingten radioökologischen Situation sind es noch 20 Jahre nach dem Reaktorunfall in der Ukraine die Waldböden, welche die meisten Probleme verursachen. Waldböden zu beproben ist ungleich schwieriger als im Falle der Böden anderer kulturlandschaftlicher Nutzungsformen wie Siedlungs- und Agrarflächen. Als ein Hauptproblem wurde die sachgerechte Beprobung der in Wäldern flächendeckend entwickelten Humusaufgaben erkannt. Der Waldhumus ist die primäre Nährstoffquelle für alle Pflanzen, sowohl in der Kraut- als auch in der Strauch- und Baumschicht. Weil Cäsium (Cs) dem Hauptnährstoff-Element Kalium (K) chemisch analog ist, nimmt in Wäldern bei der natürlicherweise gegebenen Unterversorgung mit Kalium jede Pflanze Cäsium als vermeintliches Hauptnährelement auf und baut es ein. Daher nimmt auch die über die Halbwertszeit (HWZ) etwas abnehmende Ortsdosisleistung zum Beispiel des Radiocäsiums ( $^{137}\text{Cs}$ , HWZ = 31,17 Jahre) aus dem Tschernobylfallout noch auf lange Sicht keinen mindernden Einfluß auf die Bioverfügbarkeit des Radionuklids und seine stetige hohe Präsenz in Waldpflanzen und im Wild, die in vielen Gebieten Ost- und Südbayerns nach wie vor weit über den Maßnahmewerten liegt.

Die Verteilung des Waldhumus (organische Auflagen, Auflagehorizonte) ist in keinem Wald gleichmäßig und sie unterliegt charakteristischen Veränderungen mit dem Wechsel naturräumlicher Einheiten (Flachland, Mittelgebirge, Hochgebirge usw.). Für den Freistaat Bayern ist die naturräumliche Vielfalt ebenso charakteristisch wie der hohe Anteil an Agrar- und vor allem auch Waldflächen. Die Mächtigkeit der organischen Auflagen (Waldhumus) steuert die Speicherung von Radionukliden (nicht nur das zur Zeit verfügbare Radiocäsium) und deren Bioverfügbarkeit, das heißt deren Übertritt in die Nahrungskette. Ein Anliegen des

hier abgeschlossenen Forschungsvorhabens war es, die Bedeutung der Mächtigkeitsschwankungen von Waldhumus als flächenhaft wirkender Faktor der Verfügbarkeit von Radionukliden herauszuarbeiten und die natürliche Varianz unter Berücksichtigung der erwähnten regelhaften Veränderlichkeiten mit dem Wechsel naturräumlicher Einheiten aus der Sicht einer sachgerechten Bodenbeprobung in den jeweiligen Gebieten zu erfassen. Im Sinne einer absoluten Neuerung wurde zur Ermittlung der Mächtigkeitsvarianzen erstmals ein zerstörungsfreies Verfahren eingesetzt und erprobt, das sogenannte Bodenradar (Ground Penetrating Radar GPR). Der Einsatz des Bodenradars ersetzte nicht nur die vielen Eingriffe in die Böden der jeweiligen Testgebiete. Er ermöglichte eine flächenhafte Interpolation und die Darstellung kleinräumiger Wechsel der Humusmächtigkeiten, wie das bisher noch nicht gegeben war. Das Bodenradar schuf eine Grundvoraussetzung für die allgemeinverbindliche Formulierung der Handlungsvorgabe auf der Basis der hochpräzisen Erfassung der Flächenvariabilität der Humusverteilung in Wäldern und Waldböden. Die Handlungsvorgabe basiert auf diesen wichtigen Ergebnissen, kommt aber selbst ohne den Einsatz der hochentwickelten Technologie zur Prospektion des oberflächennahen Untergrundes aus.

Die Handlungsvorgabe zur Bodenbeprobung stellt eine grundlegende Überarbeitung aller im Freistaat Bayern oder auf Bundesebene behördlicherseits bekannt gemachter Beprobungsverfahren dar. Mit den Ergebnissen, welche das hier berichtspflichtige Untersuchungsvorhaben gezeitigt hat, wurden die Grundlagen für eine einheitliche, damit gebiets- und flächenrepräsentative Bodenbeprobung in Waldökosystemen als den am schwierigsten darzustellenden und zu beprobenden potentiellen Kontaminationsflächen des Bayerischen Staatsgebietes geschaffen, die vollinhaltlich auf alle anderen Bodenflächen wie etwa im Bereich von Siedlungs-, Acker- und Gründlandstandorten anwendbar ist. Die komplexe wissenschaftliche Hinterlegung der einfach strukturierten und in der Praxis leicht umzusetzenden Handlungsvorgabe ist ein besonderes Prädikat und sichert zukünftige Maßnahmen ab. Die Festlegung entsprechender Beprobungs- und Monitoringflächen im Bayerischen Staatsgebiet und deren einfache, aber notwendige Charakterisierung hinsichtlich des radioökologischen Ist-Zustandes steht indes aus.

## 11 Literatur

AG BODEN (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung - Herausgegeben von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe sowie den Geologischen Landesämtern in der Bundesrepublik Deutschland. 5. verbesserte Auflage, 392 S.

ANDOLINA, J. & GUILLITTE, O. (1990). Radiocaesium availability and retention sites in forest humus. - DESMET, G., NASSIMBENI, P. & BELLI, M. (Hrsg.): Proceedings of the workshop of Transfer of Radionuclides in natural and semi-natural environments, Elsevier Applied Science. S. 135 - 142.

ARAPIS, G.D. & KARANDINOS, M.G. (2004): Migration of <sup>137</sup>Cs in the soil of sloping semi-natural ecosystems in Northern Greece. - *Journal of Environmental Radioactivity* **77**: 133-142.

BAYFORKLIM (Bayerischer Klimaforschungsverbund) (1996): Klimaatlas von Bayern. - München, 48 S.

BAEZA, A., GUILLEN, J. & BERNEDO, J.M. (2005): Soil-fungi transfer coefficients: Importance of the location of mycelium in soil and of the differential availability of radionuclides in soil fractions. - *Journal of Environmental Radioactivity* **81**: 89-106.

BEDNORZ, F., REICHSTEIN, M., BROLL, G., HOLTMEIER, F.-K. & URFER, W. (2000): Humus forms in the forest-alpine tundra ecotone at Stillberg (Dischmatal, Switzerland): Spatial Heterogeneity and Classification. *Arctic, Antarctic and Alpine Research* **32**: 21-29.

BENS, O., BUZKO, U., SIEBER, S., & HÜTTL, F. (2006): Spatial variability of O layer thickness and humusforms under different pine-beech forest transformation stages in NE Germany. - *J. Plant Nutr. Soil Sci.* **169**: 1-11.

BEYER, L. (1996): Humusformen und -typen. - BLUME, H.-P. (Hrsg.): *Handbuch der Bodenkunde*. Landsberg am Lech: 1-20.

BLINDOW, N. (1994): Elektromagnetische Reflexionsverfahren: Grundlagen, Meßtechnik und Anwendung. - DEUTSCHE GEOPHYSIKALISCHE GESELLSCHAFT (Hrsg.): *Nichtseismische Verfahren in der Angewandten Geophysik*. Vortragszusammenfassung, Münster: 41 - 64.

BMU BUNDESMINISTERIUM f. UMWELT, NATURSCHUTZ und REAKTORSICHERHEIT (1992/2006): *Messanleitung für die Überwachung der Radioaktivität in der Umwelt und zur Erfassung radioaktiver Emissionen aus kerntechnischen Anlagen*. Stand 1.3.2006, Loseblattsammlung 2 Ordner.

BOCHTER, R. (1984): Böden naturnaher Bergwaldstandorte auf carbonatreichen Substraten. - *Nationalpark Berchtesgaden, Forschungsberichte Nr. 6*, 212 S.

BOSSEW, P., DITTO, M., FALKNER, T., HENRICH, E., KIENZL, K. & RAPPELSBERGER, U. (1996): Cäsiumbelastung der Böden Österreichs. Monographien des Bundesministeriums für Umwelt in Österreich, Band **60**, Wien, 93 S. mit Abb.

BOSSEW, P. (1997): Migration von Radionukliden in ungestörten Böden. Endbericht über den Forschungsauftrag „Verhalten von Radionukliden im Boden“ des Bundesministeriums für Wissenschaften und Verkehr, Wien, 128 S.

BOSSEW, P., GASTBERGER, M., GOHLA, H., HOFER, P. & HUBMER, A. (2004): Vertical distribution of radionuclides in soil of a grassland site in Chernobyl exclusion zone. - *Journal of Environmental Radioactivity* **73**: 87-99.

BRUSCHINI, C., GROS, B., GUERNE, F., PIECE, P.-Y. & CARMONA, O. (1998): Ground penetrating Radar and imaging metal detector for antipersonnel mine detection. – *Journal of Applied Geophysics* **40**: 59 - 71.

BUNZL, K. (1997): Radionuklide. – BLUME, H.-P. (Hrsg.): *Handbuch der Bodenkunde*. 18 S.

Bunzl, K. (2002): Transport of fallout radiocesium in the soil by bioturbation: a random walk model and application to a forest soil with a high abundance of earthworms. – *The Science of Total Environment* **293**: 191-200.

BUTNOR, J.R., DOOLITTLE, J.A., JOHNSEN, K.H., SAMUELSON, L., STOKES, T. & KRESS, L. (2003): Utility of Ground-Penetrating Radar as a root biomass survey tool in forest system. – *Soil Science Society of American Journal* **67**: 1607 - 1615.

COLLINS, M.E. (1992): Soil Taxonomy: A useful Guide for the application of Ground Penetrating Radar. – HÄNNINEN, P. & AUTIO, S. (Hrsg.): *Fourth International Conference on G.P.R., Proceedings*: 125 - 132.

COLLINS, M.E. & DOOLITTLE, J.A.: (1987): Using Ground-Penetrating Radar to study soil microvariability. – *Soil Science Society of American Journal* **51**: 491 - 493.

COLLINS, M.E., SCHELLENTRAGER, G.W., DOOLITTLE, J.A. & SHIH, S.F. (1986): Using Ground-Penetrating Radar to study changes in Soil Map Unit Composition in selected Histosols. – *Soil Science Society of American Journal* **50**: 408 – 412.

CONYERS, L.B & GOODMAN, D. (1997): *Ground-penetrating radar: An introduction for archaeologists*, 238 S.

DOOLITTLE, J.A. & ASMUSSEN, L.E. (1992): Ten Years of application of Ground Penetrating Radar by the United States Department of Agriculture. – HÄNNINEN, P. & AUTIO, S. (Hrsg.): *Fourth International Conference on G.P.R.* S. 139 - 147.

DOOLITTLE, J.A. & COLLINS, M.E. (1995): Use of soil information to determine application of ground penetrating radar. – *Journal of Applied Geophysics* **33**: 101 - 108.

GULDER, H.-J. & KÖLBEL, M. (1993): Waldbodeninventur in Bayern. Forstliche Forschungsberichte München Nr. 132. Freising, 243 S.

HAMMON, W.S., MCMEECHAN, G.A. & ZENG, X. (2000): Forensic GPR: finite-difference simulations of responses from buried human remains. – *Journal of Applied Geophysics* **45**: 171 - 186.

HÄNNINEN, P. (1992): Application of ground penetrating radar and radio wave moisture probe techniques to peatland investigations. – *Geological Survey of Finland, Bulletin 361*, Helsinki: 1-71.

HIGHLY, K.A. (1994): Vertical movement of Aktinide-contaminates Soil Particles. Ph.D. Dissertation (Colorado State University, Fort Collins).

HINKEL, K.M., DOOLITTLE, J.A., BOCKHEIM, J.G., NELSON, F.E., PAETZOLD, R., KIMBLE, J.M & TRAVIS, R. (2001): Detection of subsurface permafrost features with ground-penetrating radar, Barrow, Alaska. – *Permafrost and Periglacial Process* **12** : 179 - 190.

IAEA (2002): Modelling the migration and accumulation of radionuclides in forest ecosystems. - Report of the Forest Working Group of BIOMASS Theme 3. International Atomic Energy, Vienna, IAEA-BIOMASS-1, 127 S.

ICRU (2006): Sampling for Radionuclides in the environment. – *Journal of the ICRU*, **6/1**, 93 S.

KNÖDEL, K., KRUMMEL, H. & LANGE, G. (2005): Geophysik, Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten – Geophysik, **3**, Berlin u.a., Springer, 1063 S.

KRUSE-IRMER, S. (2002): Assoziation von Cs<sup>137</sup> mit geobiochemischen Bodenphasen. Diss. 171 S.

KRUSE-IRMER, S. & GIANI, L. (2003): Vertical distribution and bioavailability of Cs-137 in organic and mineral soils. - *J. Plant Nutr. Soil Sci.* **16**: 635 – 641.

LETTNER, H., BOSSEW, P. & HUBMER, A.K. (1994): Kontamination durch radioaktiven Fallout im Bundesland Salzburg und in angrenzenden Teilen von Oberösterreich. - Report des Bundesministeriums für Umwelt in Österreich, UBA-94-101, Wien, 63 S..

LETTNER, H., GRIESEBNER, A., PEER, T., HUBMER, A.K. & PINTARIC, M. (2006): Altitude dependent <sup>137</sup>Cs concentrations in different plant species in alpine agricultural areas. - *Journal of Environmental Radioactivity* **86**: 12-30.

- LISKI, J. (1995): Variation in soil organic carbon and thickness of soil horizons within a boreal forest stand - effect of trees and implications for sampling. – *Silva Fennica* **29**: 255-266.
- MCGEE, E.J., KEATINGE, M.J., SYNOTT, H.J. & COLGAN, P.A. (1995): The variability in fallout content of soils and plants and the design of optimum field sampling strategies. - *Health Phys.* **68**: 320-327.
- MELIN, J., WALLBERG, L. & SUOMELA, J. (1994): Distribution and retention of caesium and strontium in Swedish boreal ecosystems. - *Science of the Total Environment* **157**: 93-105.
- MILITZER, H. & WEBER, F. (1985) (Hrsg.): *Angewandte Geophysik – Geoelektrik, Geothermik, Radiometrie, Aerogeophysik*, Bd. **2**, 371 S.
- MILLER, T.W., BORCHERS, B., HENDRICKX, J.M.H., HONG, S., LENSEN, H.A., SCHWERING, P.B.W. & RHEBERGEN, J.B. (2002): Effect of soil moisture on landmine detection using Ground Penetration Radar. - *Detection and Remediation Technologies for mines and minelike targets VII*. – *SPIE Proceedings*, **4742**: 281 - 290.
- NYHAN, J.W., WHITE, G.C., SCHOFIELD, T.G. & TRUJILLO, G. (1983): An evaluation of soil sampling for <sup>137</sup>Cs using various field-sampling volumes. – *Health Phys.* **4**: 541-552.
- REHFUESS, K. (1990): *Waldböden. Entwicklung, Eigenschaften und Nutzung*. – Pareys Studentexte 29, Hamburg und Berlin.
- REYNOLDS, J.M. (1997): *An introduction to applied and environmental geophysics*. Chichester u.a., Wiley, 796 S.
- REZZOUG, S., MICHEL, H., FERNEX, F., BARCI-FUNEL, G. & BARCI, V. (2006): Evaluation of 137 Cs fallout from the Chernobyl accident in a forest soil and its impact on alpine Lake sediments, Mercantour Massif, S.E. France. – *Journal of Environmental Radioactivity* **85**: 369-379
- RUMBERGER, M.D., MÜNZENBERGER, B., BENS, O., EHRIG, F., LENTZSCH, P. & HÜTTL, R.F. (2004): Changes in diversity and storage funktion of ectomycorrhiza and soil organoprofile dynamics after introduction of beech into Scots pine forests. - *Plant and soil*, Vol. **26**:111 - 126.
- SANDMEIER, K.J. (2003): *ReflexW*, Version 3.0. 349 S.
- SCHEFFER, F. & SCHACHTSCHABEL, P. (2002): *Lehrbuch der Bodenkunde - 15. Auflage* -. Heidelberg, Berlin, Spektrum Akademischer Verlag.
- Schilling, B. (1997): *Untersuchungen zum Verhalten radioaktiver Stoffe auf Monitoringflächen im Zeitraum 1990-94*. - BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (Hrsg.): *Boden-Monitoring*. GLA Fachberichte **14**: 25 - 47.

SCOTT, E.M. (2003): Modelling radioactivity in the environment. – Elsevire, Amsterdam 427 S.

SHAAP, M., BOUTEN, W. & VERSTRATEN, J. (1997): Forest floor water contents in a Douglas fir stand. – J. Plant and Soil **213**: 169-178.

SHAW, G., AVILA, R., FESENKOV, S., DVORNIK, A., & ZHUCHENKO, T. (2003): Modelling the behaviour of radiocaesium in forest ecosystems. SCOTT, E.M. (ed.): Modelling radioactivity in the environment (Chapter **11**).

SHAW, G., VENTER, A., AVILA, C., BERGMAN, R., BULGAKOV, A., CALMON, P., FESENKO, A., FRISSEL, M., GOOR, F., KONOPLEV, A., LINKOV, I., MAMIKHIN, S., MOBERG, L., ORLOV, A., RANTAVAARA, A., SPIRIDONOV, S. & THIRY, Y. (2005): Radionuklide migration in forest ecosystems – results of a model validation study. - Journal of Environmental Radioactivity **84**: 285-296.

SHERIFF, R.E. & GELDART, L.P. (1982): Exploration seismology Volume 1: History, Theory and Data Aquisition. Cambridge University Press, New York, New York.

SPEZZANO, P. (2005): Distribution of pre- and post-Chernobyl radiocaesium with particle size fractions of soils. - Journal of Environmental Radioactivity **83**: 117-127.

STEMMER, M., HROTMATKA, A., LETTNER, H. & STREBL, F. (2005): Radiocesium storage in soil microbial biomass of undisturbed alpine meadow soils and its relation to <sup>137</sup>Cs soil-plant transfer. - Journal of Environmental Radioactivity **79**: 107-118.

STREBL, F., BOSSEW, P., KIENZL, K. & HIESL, E. (2000): Radionuklide in Waldökosystemen. Monographien des Bundesministeriums für Umwelt in Österreich, Band **59**, Wien, 73 S.

STREBL, F., RINGER, W. & GERZABECK, M.H. (2002): Radiocaesium contamination of meadow vegetation – time dependent variability and influence of soil characteristics at grassland sites in Austria. - Journal of Environmental Radioactivity **58**: 143-161.

TRUMAN, C.D., PERKINS, H.F., ASMUSSEN, L.E. & ALLISON, H.D. (1988): Using ground-penetrating radar to investigate variability in selected soil properties. – Journal of Soil and Water Conservation **43**: 341 - 345.

UMWELTMINISTERIUM BADEN-WÜRTTEMBERG (1995): Bewertung von Böden nach ihrer Leistungsfähigkeit. – Leitfaden für Planung und Gestattungsverfahren, Heft **31**, 34 S. + Anhang.

UNTERBERGER, R.R. (1992): Ground Penetrating Radar finds disturbed earth over burials. – HÄNNINEN, P. & AUTIO, S. (Hrsg.): Fourth International Conference on G.P.R.: Proceedings: 351 - 357.

- VÖLKEL, J. & SENFT, B. (1992): Radioaktive Kontamination der Böden im Bayerischen Wald im Raum Zwiesel - Bayerisch Eisenstein. - HONIKEL, K.O. & HECHT, H. (Hrsg.): Bundesanstalt für Fleischforschung: 3 - 18.
- VÖLKEL, J. & IGL, M. (1995): Vertikale Verteilung von Radiocäsium in Böden des Bayerischen Waldes und der nördlichen Kalkalpen acht Jahre nach Tschernobyl. - Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft **76**: 469 - 472.
- VÖLKEL, J. (1997): Modelle zur Cäsiumfixierung in Böden radioaktiv höher kontaminierter Gebiete Ostbayerns. – Abschlußbericht, Bayer. STMLU, 60 S. und Anhang.
- VÖLKEL, J. (1999): Untersuchung zur Bioverfügbarkeit mineralischer Streumittel in Abhängigkeit unterschiedlicher Applikationsformen zur Reduktion der Radiocäsiumaufnahme durch Pflanzen in Forstökosystemen im Falle von Ereignissen mit möglichen, nicht unerheblichen Auswirkungen. 50 S. + Anhang.
- VÖLKEL, J. (2002): Bioverfügbarkeit von Radiocäsium in unterschiedlichen naturräumlichen Einheiten Bayerns. - VÖLKEL, J. (Hrsg.): Regensburger Beiträge zur Bodenkunde, Landschaftsökologie und Quartärforschung, Bd 1.
- VÖLKEL, J. (2003): Bodenbelastung durch Radionuklide. - Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland, Bd. **2**: Relief, Boden und Wasser: 112-113.
- VON DER OSTEN, H. (2003): Geophysikalische Prospektion archäologischer Denkmale unter besonderer Berücksichtigung der kombinierten Anwendung geoelektrischer und geomagnetischer Kartierung, sowie der Verfahren der elektromagnetischen Induktion und des Bodenradars. Aachen, Shaker.
- WAEGENEERS, N. (2002): Soil processes affecting the bioavailability of radiocaesium. PhD Thesis, Katholieke Universiteit Leuven, Belgium.
- WALENTOWSKI, H. & GULDER, H.-J. (2001): Vom Weißmoos-Kiefernwald bis zur Traubenkirschen-Erlen/Eschenwäldern. – BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR WALD- UND FORSTWIRTSCHAFT (Hrsg.): LWF Aktuell **31**: 23 – 27.
- WALTHERT, L.; LÜSCHER, P.; LUSTER, J.; PETER, B., 2002: Langfristige Waldökosystemforschung LWF. Kernprojekt Bodenmatrix. Aufnahmeanleitung zur ersten Erhebung 1994–1999.
- ZIEKUR, R. (2000): Georadar in der Bodenkunde. – Geologisches Jahrbuch E **52**: 9 – 34.















## Profilbeschreibungen der Standardprofile in Garmisch-Partenkirchen

**Profil-Nr.: 8532-13**

**Ortsangabe:** Stegerwald  
**Lage:** R: 4429810 H: 5258170 **Aufnahmedatum:** 10.06.03  
**Aufschlußart:** Schürfgrube **Witterung:** trocken, sonnig  
**Geologie:** karbonathaltiges Material eines Felssturzes über Raibler Schichten **Höhe über NN:** ~1265 m NN  
**Vegetation:** Fichte mit Unterwuchs Moos, Waldklee, Farne u.a. **Exposition:** NEE  
**Reliefposition:** Hanglage **Inklination:** ~ 5 – 7°  
 :  
**Humusform:** Feinhumusreicher typischer Moder  
**Bodentyp:** Rendzinen mit Übergang zur Braunderde-Rendzina  
**Anmerkung:** zwischen Ah und Cv ist stellenweise ein graubrauner Bv ausgebildet, evtl. alter Baumwurf (wurde in Profilbeschreibung nicht aufgenommen) **Bearbeiter:** Bernt, Leopold

Tiefe in cm	Horizont	Beschreibung	Probe	Tiefe (cm)
+ 8 - 9	L	Nadeln und kleine Äste	1	
+ 5 - 8	Of	1-2 Lagen, kaum zersetzte Nadeln, verbacken	2	
+ 0 - 5	Oh	sehr stark durchwurzelt, stark krümelig, schwarzbraun, c1, Grenze diffus, Übergang zu Ah Dichte nimmt nach unten zu, oben z.T. <1, unten bis 1,5	3	
0-10	Ah	Krümelig, nach unten leicht subpolyedrisch, stark bis mittel durchwurzelt, stark bis sehr stark h., dunkelbraun bis leicht grünlich, c2, carbonatarm, Grenze zum Cv scharf, Zungen – bzw. Taschenform	4	
	ICv	stark carbonathaltig, kantig, nicht sortiert, ~ 50% 2-3cm, ~30% 10cm, ~10% >10cm, viel Residualton, sehr schwache Durchwurzlung, feucht, h0	5	

**Profil-Nr.: 8532-14**

**Ortsangabe:** Stegerwald  
**Lage:** R: 4429765 H: 5258200 **Aufnahmedatum:** 10.06.03  
**Aufschlußart:** Schürfgrube **Witterung:** trocken, sonnig  
**Geologie:** karbonathaltiges Material eines Felssturzes über Raibler Schichten **Höhe über NN:** ~1260 m NN  
**Vegetation:** Fichte mit Unterwuchs Moos, Waldklee, u.a. **Exposition:** NE  
**Reliefposition:** Hanglage **Inklination:** ~ 4°  
:  
**Humusform:** Feinhumusreicher typischer Moder  
**Bodentyp:** Rendzinen mit Übergang zur Braunderde-Rendzina **Bearbeiter:** Bernt

Tiefe (cm)	Horizont	Beschreibung	Probe	Tiefe (cm)
+19 - 20	L	Nadelstreu, kleine Ästchen	1	+ 19 - 20
+15 - 19	Of	1-2 Lagen, Nadelförna verfilzt, schwach bis mittel durchwurzelt, lässt sich gut vom Oh abheben, Grenze gut erkennbar, Dichte <1	2	+ 15 - 19
+1 - 15	Oh 1	schwarzbraun, stark bis sehr stark durchwurzelt, sehr feucht,	3	+ 8 - 15
	Oh 2	Krümelfüge, Dichte 1 - 1,25 nach unten zunehmend bis 1,25 - 1,5, Pilze im oberen Bereich des Oh, viele Pilzhyphen	4	+ 1 - 8
15 - 16,5	Ah	Lu, (sehr) carbonatarm, (mittel-)braun bis dunkelbraun, Kalkgestein und Residualton, (sehr) stark humos, feucht bis stark feucht	5	
16,5 - 18	Ah + Bv	Krümel - Subpolyedergefüge	6	
18 - 60+	Cv	sehr carbonatreich, sehr starkes, anhaltendes Rauschen, Residualton, z.T. mit Humuseinschlüssen	7	

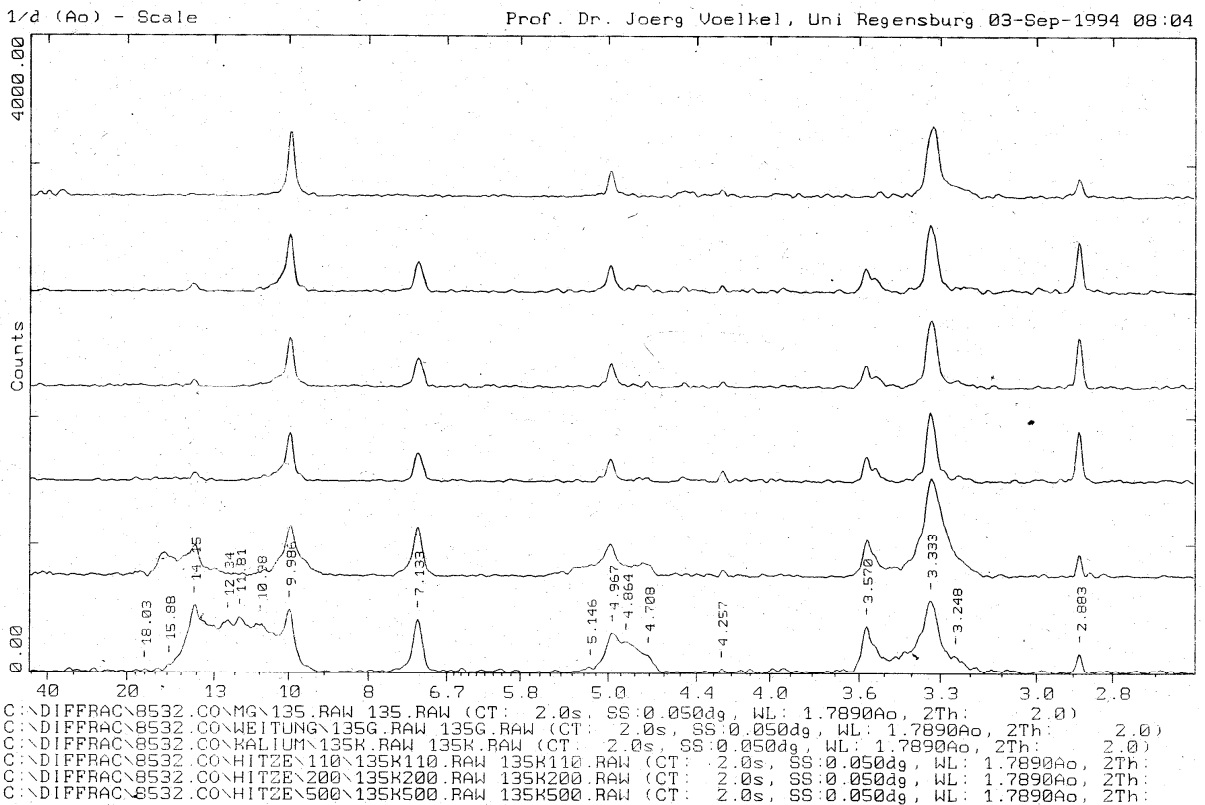
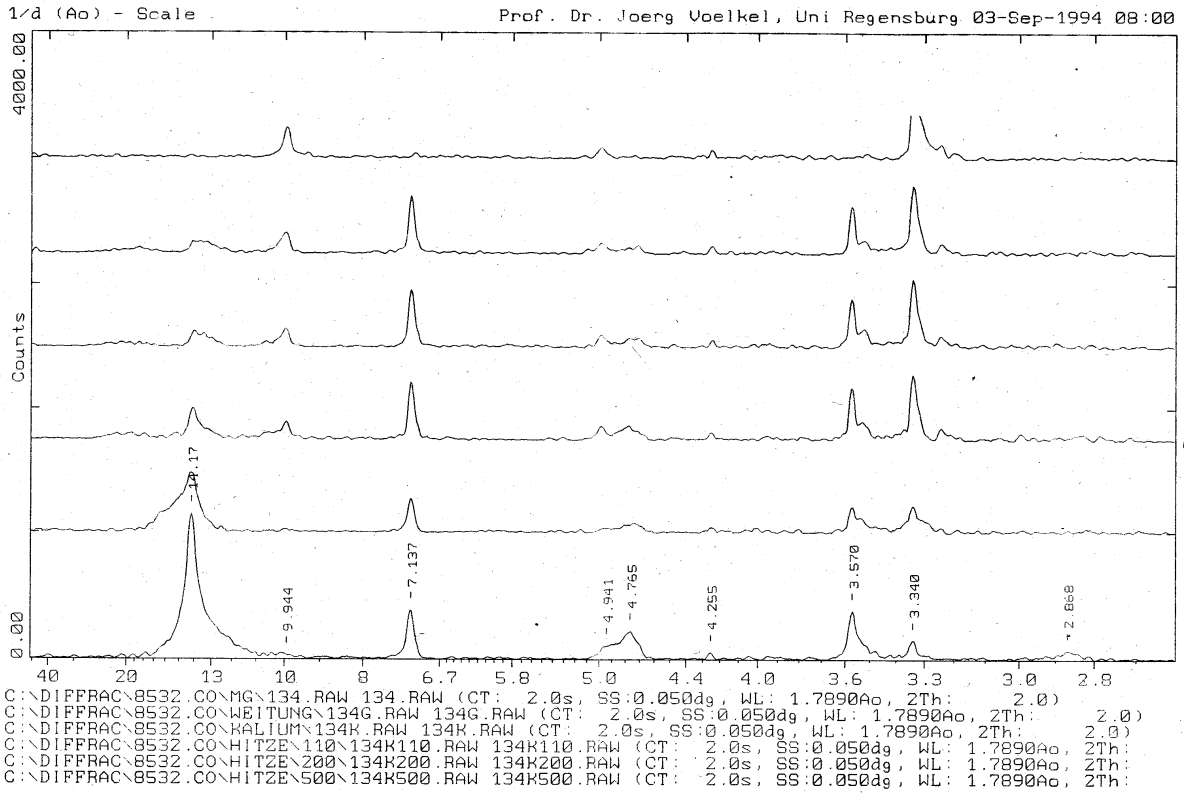


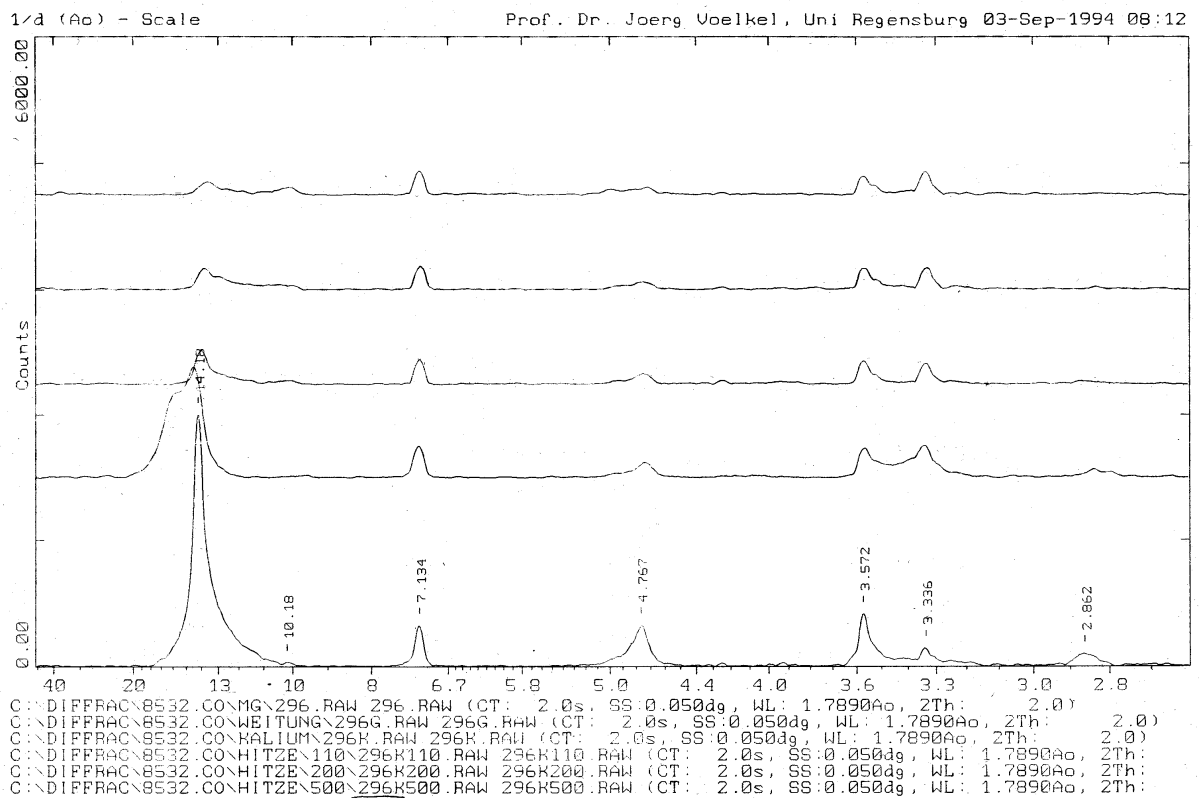
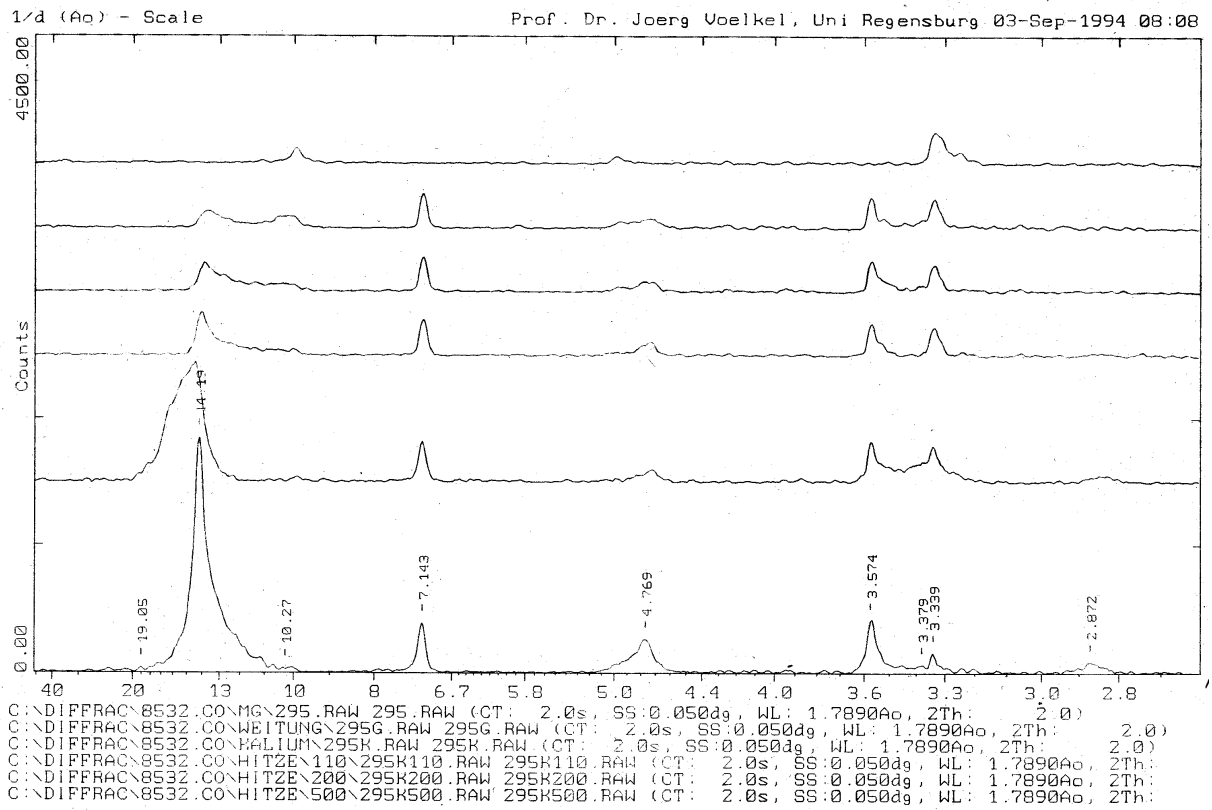
**Profil-Nr.: 8532-29**

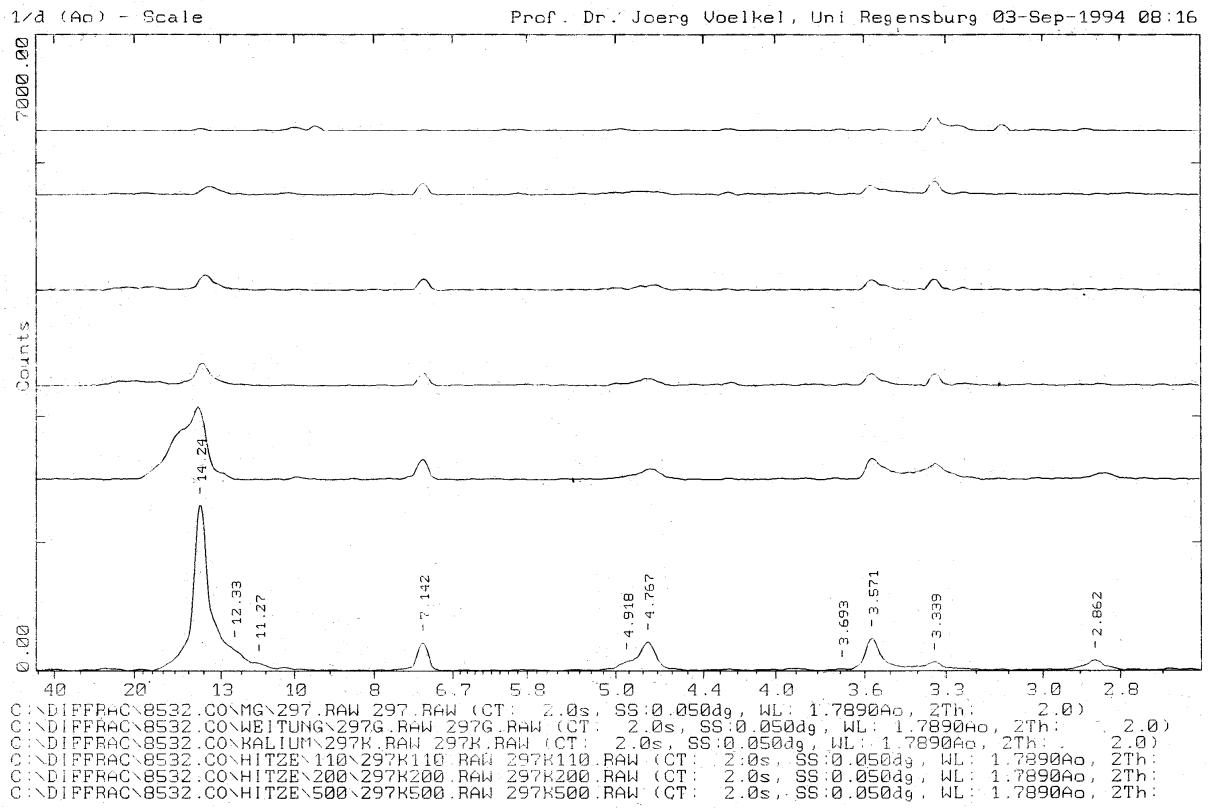
**Ortsangabe:** Stegerwald  
**Lage:** R: 4429805 H: 5258180 **Aufnahmedatum:** 13.06.03  
**Aufschlußart:** Graben (bei Meter 1,5) **Witterung:** trocken, wolkig (Nachtregen)  
**Geologie:** karbonathaltiges Material eines Felssturzes über Raibler Schichten **Höhe über NN:** ~1262 m NN  
**Vegetation:** Fichte mit Unterwuchs Moos, Waldklee, u.a. **Exposition:** NEE  
**Reliefposition:** Hanglage **Inklination:** ~ 6°  
:  
**Humusform:** Feinhumusarmer typischer Moder  
**Bodentyp:** Rendzinen mit Übergang zur Braunderde-Rendzina **Bearbeiter:** Bernt

Tiefe in cm	Horizont	Beschreibung	Probe	Tiefe (cm)
+3-4	L	Fichtennadeln, kleine Ästchen, vermoderte Buchenblätter	1	
+1-3	Of	wie obern, mittelstark zersetzt	2	
+0-1	Oh		3	
0-2	Ah	sehr kleine Pflanzenreste, sehr stark durchwurzelt, Krümelgefüge, dunkelbraun, h5	4	
2-10	Ahl	sehr stark durchwurzelt, deutlich brauner, sehr geringer Anteil an sehr kleinen Pflanzenresten, Krümelgefüge, h3	5	
10-36+	Bht	polyedrisch, mittlere Durchwurzelung, Aggregate stark humosem Belag. Tonkutane sichtbar, jedoch ausgeprägt, deutliche Lößkomponente, Wurmlosungsgänge, Pilzhyphen, extrem angewitterte Skelette am basalen Teil, h nach unten weniger, Tonkutane nach unten ausgeprägt. Cv wird nicht erreicht.	6 7	10 – 23 23 - 36

Diffraktogramme der RDA-Analyse im Untersuchungsgebiet Garmisch-Partenkirchen







## Laboranalytik im Untersuchungsgebiet

## Mangfallgebirge

## Untersuchungsareal Beiwand 1

Profil: 8338-100

Probe	Horizont	Mächtigkeit [cm]	Bodenanalytische Standardkenngrößen						<sup>137</sup> Cs
			pH [CaCl <sub>2</sub> ]	CaCO <sub>3</sub> [%]	C [%]	org. Substanz [%]	N [%]	C/N	[Bq/kg]
1	L	4	5,49		45,68	91,36	1,322	34,55	28,47
2	Of	12	5,73		46,02	92,04	1,512	30,44	126,10
3	Oh1	10	4,22		44,61	89,22	2,266	19,69	179,10
4	Oh2	10	4,44		45,35	90,7	1,817	24,96	211,70
5	Oh3	11	5,14	10,37	38,62		1,145	33,75	67,50

Profil: 8338-101

Probe	Horizont	Mächtigkeit [cm]	Bodenanalytische Standardkenngrößen						<sup>137</sup> Cs
			pH [CaCl <sub>2</sub> ]	CaCO <sub>3</sub> [%]	C [%]	org. Substanz [%]	N [%]	C/N	[Bq/kg]
1	L	1	5,88		47,22	94,44	1,528	30,92	63,96
2	Of	1	5,64		44,62	89,24	2,185	20,42	557,30
3	Oh	4	7,00	31,34	19,72		1,007	19,59	272,50

Profil: 8338-102

Probe	Horizont	Mächtigkeit [cm]	Bodenanalytische Standardkenngrößen						<sup>137</sup> Cs
			pH [CaCl <sub>2</sub> ]	CaCO <sub>3</sub> [%]	C [%]	org. Substanz [%]	N [%]	C/N	[Bq/kg]
1	L	1	5,53		46,11	92,22	0,936	49,27	55,29
2	Of	2	5,71		42,87	85,74	1,691	25,35	293,70
3	Oh	5	6,64	9,04	24,98		1,466	17,04	250,60

Profil: 8338-103

Probe	Horizont	Mächtigkeit [cm]	Bodenanalytische Standardkenngrößen						<sup>137</sup> Cs
			pH [CaCl <sub>2</sub> ]	CaCO <sub>3</sub> [%]	C [%]	org. Substanz [%]	N [%]	C/N	[Bq/kg]
1	L	2	5,42		47,93	95,86	1,211	39,57	70,59
2	Of	8	5,56		45,42	90,84	1,799	25,25	514,10
3	Oh1	20	6,08	14,69	22,11		1,288	17,16	84,16
4	Oh2	5	7,10	22,43	17,94		1,055	17	27,10

Pflanzenproben

Probe	Horizont	Mächtigkeit [cm]	Bodenanalytische Standardkenngrößen						<sup>137</sup> Cs
			pH [CaCl <sub>2</sub> ]	CaCO <sub>3</sub> [%]	C [%]	org. Substanz [%]	N [%]	C/N	[Bq/kg]
1	Gras		6,52		40,50		1,317	30,75	423,80
2	Farn		5,85		45,31		2,164	20,97	609,50
3	Blätter junger Buchen		5,80		46,10		1,916	24,06	225,40
4	Moose				44,24		1,808	24,46	288,80

## Profil 8338-100

Datum: 13.10.04

## Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	K		N a		M g		C a		A l		F e		M n		KAK (mmol)	Basen- sättigung
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
8338-100/1	L	0-4	1.84	3.62	0.29	0.57	23.07	45.52	25.39	50.08	0.00	0.00	0.01	0.02	0.10	0.19	50.69	99.78
8338-100/2	Of	4-16	0.80	1.95	0.17	0.41	13.18	32.05	26.93	65.51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.08	41.11	99.92
8338-100/3	Oh1	16-26	0.38	0.93	0.18	0.44	13.40	33.11	26.53	65.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	40.49	100.00
8338-100/4	Oh2	26-36	0.22	0.31	0.02	0.03	37.70	52.50	33.87	47.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	71.82	100.00
8338-100/5	Oh3	36-47	0.16	0.18	0.09	0.10	28.08	32.26	58.67	67.42	0.00	0.00	0.01	0.01	0.03	0.03	87.02	99.96

## Profil 8338-101

Datum: 13.10.04

## Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	K		N a		M g		C a		A l		F e		M n		KAK (mmol)	Basen- sättigung
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
8338-101/1	L	0-1	1.73	3.44	0.21	0.43	28.35	56.42	19.94	39.68	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.04	50.26	99.96
8338-101/2	Of	1-2	0.89	1.41	0.11	0.17	27.56	43.66	34.49	54.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.08	0.12	63.12	99.88
8338-101/3	Oh	2-6	0.20	0.41	0.03	0.05	27.62	55.95	21.51	43.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	49.35	100.00

## Profil 8338-102

Datum: 13.10.04

## Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	K		N a		M g		C a		A l		F e		M n		KAK (mmol)	Basen- sättigung
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
8338-102/1	L	0-1	2.56	5.04	0.46	0.90	25.59	50.24	22.32	48.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	50.93	100.00
8338-102/2	Of	1-3	0.79	1.30	0.30	0.49	11.15	18.47	47.99	79.49	0.00	0.00	0.02	0.02	0.13	0.21	60.37	99.76
8338-102/3	Oh	3-8	0.41	0.76	0.22	0.42	23.72	44.66	28.76	54.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	53.11	100.00

## Profil 8338-103

Datum: 13.10.04

## Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	K		N a		M g		C a		A l		F e		M n		KAK (mmol)	Basen- sättigung
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
8338-103/1	L	0-2	1.39	3.17	0.15	0.35	14.47	33.11	27.69	63.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	43.69	100.00
8338-103/2	Of	2-10	0.79	1.48	0.29	0.55	11.53	21.42	41.06	76.26	0.00	0.00	0.01	0.02	0.15	0.28	53.83	99.71
8338-103/3	Oh1	10-30	0.25	0.28	0.16	0.18	37.26	41.82	51.42	57.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	89.09	99.99
8338-103/4	Oh2	30-35	0.22	0.27	0.08	0.10	25.51	31.14	56.11	68.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	81.92	100.00

## Pflanzenproben

Datum: 13.10.04

## Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	K		N a		M g		C a		A l		F e		M n		KAK (mmol)	Basen- sättigung
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
8338 Beiwa 1 Gras	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8338 Beiwa 1 Farn	-	-	86.37	63.33	0.09	0.07	30.52	22.38	19.40	14.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	136.38	100.01
8338 Beiwa 1 Bl. j. Bu	-	-	24.29	35.49	0.52	0.75	27.24	39.79	16.37	23.91	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.06	68.46	99.94
8338 Beiwa 1 Moose	-	-	1.52	2.84	1.09	2.04	24.24	45.46	26.48	49.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	53.33	100.00

<sup>137</sup>Cs-Werte im Untersuchungsareal Beiwand 1

Nr.	Probe	Geometrie (ml)	Probemenge (g)	Probeentnahme (Datum)	Messung (Datum)	Live-Time (s)	Aktivität <sup>137</sup> Cs Bq/kg
1	8338-100/1 L	kautex50weit	26,88	13.10.04	09.12.04	86400	28,47
2	8338-100/2 Of	kautex100weit	34,97	13.10.04	29.11.04	86400	126,10
3	8338-100/3 Oh1	kautex50weit	28,25	13.10.04	10.12.04	58823	179,10
4	8338-100/4 Oh2	kautex20weit	9,05	13.10.04	20.12.04	86400	211,7
5	8338-100/5 Oh3	kautex50weit	19,90	13.10.04	12.12.04	86400	67,50
6	8338-101/1L	kautex50weit	13,40	13.10.04	28.01.05	86400	63,96
7	8338-101/2 Of	kautex100weit	24,70	13.10.04	24.01.05	33769,8	557,30
8	8338-101/3 Oh	kautex50weit	37,16	13.10.04	25.01.05	28071,1	272,50
9	8338-102/1 L	kautex20weit	4,25	13.10.04	21.01.05	86400	55,29
10	8338-102/2Of	kautex50weit	12,27	13.10.04	13.12.04	83301,6	293,70
11	8338-102/3 Oh	kautex100weit	70,16	13.10.04	12.01.05	17306,1	250,60
12	8338-103/1 L	kautex50weit	14,63	13.10.04	14.12.04	86400	70,59
13	8338-103/2 Of	kautex100weit	20,81	13.10.04	25.11.04	40694,1	514,10
14	8338-103/3 Oh1	kautex100weit	64,39	13.10.04	23.11.04	70975,9	84,16
15	8338-103/4 Oh2	kautex50weit	41,87	13.10.04	08.12.04	86400	27,10
16	8338 Beiwa 1 Gras	kautex20weit	2,65	13.10.04	21.02.05	86400	423,80
17	8338 Beiwa 1 Farn	kautex100weit	25,18	13.10.04	18.02.05	34364,8	609,50
18	8338 Beiwa 1 Blätter junge Buchen	kautex100weit	15,35	13.10.04	17.02.05	86400	225,40
19	8338 Beiwa 1 Moose	kautex50weit	2,30	13.10.04	22.02.05	86400	288,80

## Untersuchungsareal Beiwand 2

Profil: 8338-104

Probe	Horizont	Mächtigkeit [cm]	Bodenanalytische Standardkenngrößen					<sup>137</sup> Cs	
			pH [CaCl <sub>2</sub> ]	CaCO <sub>3</sub> [%]	C [%]	org. Substanz [%]	N [%]	C/N	[Bq/kg]
1	L	2	4,90		48,50	97,00	0,873	55,55	203,30
2	Of	5	4,98		47,50	95,00	1,872	26,01	350,20
3	Oh1	8	4,63		36,09	72,18	1,747	20,66	294,40
4	Oh2	5	4,14		34,80	69,60	1,696	20,52	315,90
5	Oh3	5	4,87		20,47	40,94	1,160	17,64	192,60
6	Oh4	5	5,48		19,85	39,70	1,096	18,11	148,90

Profil: 8338-105

Probe	Horizont	Mächtigkeit [cm]	Bodenanalytische Standardkenngrößen					<sup>137</sup> Cs	
			pH [CaCl <sub>2</sub> ]	CaCO <sub>3</sub> [%]	C [%]	org. Substanz [%]	N [%]	C/N	[Bq/kg]
1	L	1	4,94		48,37	96,74	0,897	54,29	248,80
2	Of	3	6,16		43,42	86,84	1,83	23,73	645,20
3	Oh	6	6,50	9,14	20,77		1,331	15,60	456,30

Profil: 8338-106

Probe	Horizont	Mächtigkeit [cm]	Bodenanalytische Standardkenngrößen					<sup>137</sup> Cs	
			pH [CaCl <sub>2</sub> ]	CaCO <sub>3</sub> [%]	C [%]	org. Substanz [%]	N [%]	C/N	[Bq/kg]
1	L	1	5,14		47,21	94,42	1,000	47,22	54,05
2	Of	2	5,17		40,74	81,48	1,871	21,80	743,20
3	Oh	5	6,44	2,58	20,02		1,252	16,00	1033,00

Profil: 8338-107

Probe	Horizont	Mächtigkeit [cm]	Bodenanalytische Standardkenngrößen					<sup>137</sup> Cs	
			pH [CaCl <sub>2</sub> ]	CaCO <sub>3</sub> [%]	C [%]	org. Substanz [%]	N [%]	C/N	[Bq/kg]
1	L	1	4,92		48,08	80,16	0,778	61,88	48,81
2	Of	3	4,82		47,31	94,62	1,801	26,26	416,70
3	Oh1	5	4,61		27,95	55,9	1,542	18,12	387,50
4	Oh2	5	5,24		21,10	42,2	1,248	16,89	326,10
5	Oh3	4	6,66		18,75	37,5	1,302	14,41	99,83

Pflanzenproben

Probe	Horizont	Mächtigkeit [cm]	Bodenanalytische Standardkenngrößen					<sup>137</sup> Cs	
			pH [CaCl <sub>2</sub> ]	CaCO <sub>3</sub> [%]	C [%]	org. Substanz [%]	N [%]	C/N	[Bq/kg]
1	Gras		6,48		44,36		1,597	27,77	369,00
2	Junge Fichten		4,75		48,36		1,601	30,21	419,00
3	Junge Buche		5,53		47,84		2,265	21,12	192,10
4	Moose				44,68		1,979	22,58	617,70





<sup>137</sup>Cs-Werte im Untersuchungsareal Beiwand 2

Nr.	Probe	Geometrie (ml)	Probemenge (g)	Probeentnahme (Datum)	Messung (Datum)	Live-Time (s)	Aktivität <sup>137</sup> Cs Bq/kg
20	8338-104/1 L	kautex50weit	17,88	14.10.04	16.12.04	83144,7	203,30
21	8338-104/2 Of	kautex100weit	20,09	14.10.04	10.01.05	44522,6	350,20
22	8338-104/3 Oh1	kautex100weit	40,64	14.10.04	11.01.05	26331,4	294,40
23	8338-104/4 Oh2	kautex100weit	62,37	14.10.04	24.01.05	24107,7	315,90
24	8338-104/5 Oh3	kautex50weit	30,09	14.10.04	07.02.05	51835,7	192,60
25	8338-104/6 Oh4	kautex50weit	32,30	14.10.04	08.02.05	61461,4	148,90
26	8338-105/1 L	kautex50weit	18,45	14.10.04	21.01.05	68789,9	248,80
27	8338-105/2 Of	kautex50weit	11,38	14.10.04	13.01.05	44850,1	645,20
28	8338-105/3 Oh	kautex50weit	37,22	14.10.04	26.01.05	18275,1	456,30
29	8338-106/1 L	kautex50weit	12,92	14.10.04	17.12.04	35509,8	54,05
30	8338-106/2 Of	kautex50weit	12,14	14.10.04	15.12.04	33464,1	743,20
31	8338-106/3 Oh	kautex50weit	31,97	14.10.04	17.12.04	9138,6	1033,00
32	8338-107/1 L	kautex50weit	11,63	14.10.04	26.01.05	86400	48,81
33	8338-107/2 Of	kautex100weit	36,86	14.10.04	01.02.05	30423,1	416,70
34	8338-107/3 Oh1	kautex50weit	26,6	14.10.04	19.01.05	29530,8	387,50
35	8338-107/4 Oh2	kautex50weit	20,44	14.10.04	27.01.05	46091,1	326,10
36	8338-107/5 Oh3	kautex20weit	18,10	14.10.04	02.02.05	86400	99,83
37	8338 Beiwa 2 Gras	kautex50weit	5,34	14.10.04	11.02.05	86400	369,00
38	8338 Beiwa 2 Junge Fichten	kautex20weit	5,04	14.10.04	10.02.05	86400	419,0
39	8338 Beiwa 2 Junge Buche	kautex100weit	14,79	14.10.04	09.02.05	86400	192,10
40	8338 Beiwa 2 Moose	kautex20weit	2,89	14.10.04	16.02.05	86400	617,70

## Laboranalytik im Untersuchungsgebiet Bayerischer Wald, Untersuchungsareale Drähberg 1 und 2

**Profil 6845-100**  
**Bodenanalytische Standardwerte**

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Skelett Gew.%	pH (CaCl <sub>2</sub> )	Munsell Farbe	C %	org.S %	N %	C/N	<sup>137</sup> Cs Bq/kg
1	L	+1	0,0	3,18	-	47,3	81,3	0,96	49	375,7
2	Of	+0,5	0,0	2,88	-	26,8	46,1	1,12	24	2152
3	Oh	+1,5	0,0	2,86	-	15,6	26,9	0,73	21	1886
4	Ah+Oh	0-1	8,2	2,99	10 YR 3/3	12,8	21,9	0,62	21	-
5	Bv	1-5	8,6	3,46	7,5 YR 4/6	4,3	7,4	0,22	20	132,2

**Profil 6845-101**  
**Bodenanalytische Standardwerte**

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Skelett Gew.%	pH (CaCl <sub>2</sub> )	Munsell Farbe	C %	org.S %	N %	C/N	<sup>137</sup> Cs Bq/kg
1	L	+1	0,0	3,10	-	47,6	81,8	1,27	37	241,9
2	Of	+3	0,0	2,93	-	32,9	56,6	1,30	25	1794
3	Oh 1	+5	0,0	2,80	-	19,6	33,7	0,97	20	2196
4	Oh 2	+5	0,0	2,92	-	14,3	24,6	0,66	22	901,6
5	Ah	0-1,5	5,0	3,14	10 YR 2/3	10,2	17,5	0,49	21	565,8
6	Bv	1,5+	23,0	3,31	7,5 YR 4/4	5,3	9,2	0,28	19	328,9

**Profil 6845-102**  
**Bodenanalytische Standardwerte**

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Skelett Gew.%	pH (CaCl <sub>2</sub> )	Munsell Farbe	C %	org.S %	N %	C/N	<sup>137</sup> Cs Bq/kg
1	L	+1	0,0	3,19	-	47,3	81,4	1,04	46	175
2	Of	+4	0,0	3,14	-	35,9	61,7	1,53	23	2182
3	Oh 1	+4	0,0	2,78	-	25,8	44,4	1,30	20	2890
4	Oh2	+4	0,0	2,75	-	24,2	41,7	0,93	26	1519
5	Ah+Bv	0-1	15,8	3,48	7,5 YR 3/2	12,5	21,4	0,64	20	925,5
6	Bv	1+	17,4	3,71	7,5 YR 4/6	3,9	6,7	0,16	24	99,76

**Profil 6845-103**  
**Bodenanalytische Standardwerte**

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Skelett Gew.%	pH (CaCl <sub>2</sub> )	Munsell Farbe	C %	org.S %	N %	C/N	<sup>137</sup> Cs Bq/kg
1	L	+1	0,0	3,39	-	47,9	82,4	1,14	42	198,7
2	Of	+3	0,0	2,97	-	43,2	74,3	1,71	25	2047
3	Oh	+4	0,0	3,02	-	19,0	32,7	0,99	19	2792
4	Ah	0-0,5	13,5	3,07	7,5 YR 3/2	10,8	18,5	0,54	20	1675
5	Bv	0,5+	17,4	3,45	7,5 YR 4/6	5,0	8,7	0,24	21	235,5

## Profil 6845-104

## Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	Korngrößen Gew. %								Boden- art	pH (CaCl <sub>2</sub> )	Munsell Farbe	C %	org.S %	N %	C/N	<sup>137</sup> Cs Bq/kg		
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U									T	
1	L	+1	0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,29	-	48,1	82,7	1,02	47	233,4	
2	Of	+3	0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,12	-	40,3	69,3	1,65	24	1698	
3	Oh	+3	0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,86	-	15,3	26,3	0,71	22	1800	
k.P.	Ah	0-1	k.P.	k.P.	k.P.	k.P.	k.P.	k.P.	k.P.	k.P.	k.P.	k.P.	k.P.	k.P.	k.P.	k.P.	k.P.	k.P.	k.P.	k.P.	k.P.
4	AhBv	1-5	11,8	17,8	22,8	14,6	55,2	6,5	10,8	9,1	26,4	18,5	Ls4	3,37	7,5 YR 4/4	5,2	8,9	0,28	19	393,63	
5	Bv	5-10	15,3	18,8	23,6	13,7	56,1	8,4	9,6	8,2	26,2	17,7	Ls4	3,54	7,5 YR 4/4	4,4	7,6	0,25	18	207,3	
6	Bv	10-15	17,0	20,6	23,6	15,4	59,6	8,0	8,8	6,9	23,7	16,8	Sl4	3,86	10 YR 4/6	2,8	4,8	0,16	18	56,79	

## Profil 6845-105

## Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	Korngrößen Gew. %								Boden- art	pH (CaCl <sub>2</sub> )	Munsell Farbe	C %	org.S %	N %	C/N	<sup>137</sup> Cs Bq/kg	
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U									T
1	L	+1	0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,20	-	47,3	81,4	1,25	38	237,8
2	Of 1	+1	0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,87	-	35,9	61,7	1,53	23	1168
3	Of 2	+2	0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,52	-	42,0	72,2	1,58	27	2285
4	Oh	+3	0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,47	-	16,9	29,1	0,75	23	1175
5	Ah	0-3	19,3	14,4	21,9	14,2	50,5	8,0	11,8	8,9	28,7	20,9	Ls4	2,96	7,5 YR 2/3	10,3	17,7	0,43	24	789,1
6	Bv	3-8	21,7	18,4	22,7	14,9	56,0	8,6	9,1	7,5	25,2	18,8	Ls4	3,33	7,5 YR 4/6	4,4	7,6	0,18	24	125
7	Bv	8-13	46,3	17,0	22,8	18,1	57,9	6,8	9,9	7,5	24,2	17,9	Ls4	3,70	7,5 YR 4/6	3,4	5,8	0,16	21	33,58

## Profil 6845-106

## Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	pH (CaCl <sub>2</sub> )	Munsell Farbe	C %	org.S %	N %	C/N	<sup>137</sup> Cs Bq/kg
1	L	+1	0,0	3,28	-	47,7	82,0	1,02	47	187,7
2	Of 1	+2	0,0	2,10	-	45,2	77,7	1,77	26	864,1
3	Of 2	+2	0,0	2,65	-	45,4	78,2	1,97	23	2142
4	Oh	+2	0,0	2,38	-	34,0	58,5	1,80	19	282,2

## Profil 6845-107

## Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	pH (CaCl <sub>2</sub> )	Munsell Farbe	C %	org.S %	N %	C/N	<sup>137</sup> Cs Bq/kg
1	L	+1	0	3,34	-	47,4	81,6	0,92	52	251,9
2	Of	+3	0	2,62	-	42,4	72,9	1,61	26	1789
3	Oh	+3	0	2,73	-	19,5	33,6	0,91	22	1084

**Profil 6845-108****Bodenanalytische Standardwerte**

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	pH (CaCl <sub>2</sub> )	Munsell Farbe	C %	org.S %	N %	C/N	<sup>137</sup> Cs Bq/kg
1	L	+1	0,0	3,32	-	46,8	80,5	1,34	35	271,1
2	Of	+1	0,0	2,81	-	27,7	47,6	1,44	19	2296
3	Oh	+0,5	0,0	3,14	-	17,2	29,6	0,98	18	814,3

**Profil 6845-109****Bodenanalytische Standardwerte**

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	pH (CaCl <sub>2</sub> )	Munsell Farbe	C %	org.S %	N %	C/N	<sup>137</sup> Cs Bq/kg
1	L	+1	0,0	3,04	-	47,4	81,5	1,12	42	273,6
2	Of 1	+2	0,0	2,85	-	42,7	73,4	1,66	26	1436
3	Of 2	+4	0,0	2,51	-	38,0	65,3	1,50	25	1760
4	Oh	+3	0,0	2,44	-	39,5	67,9	1,93	20	1507

**Profil 6845-110****Bodenanalytische Standardwerte**

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	pH (CaCl <sub>2</sub> )	Munsell Farbe	C %	org.S %	N %	C/N	<sup>137</sup> CS Bq/kg
1	L	+1	0,0	3,17	-	46,9	80,7	1,15	41	210,4
2	Of	+1	0,0	2,84	-	34,6	59,4	1,43	24	2270
3	Oh	+2	0,0	2,91	-	19,9	34,2	0,99	20	2744

**Profil 6845-111****Bodenanalytische Standardwerte**

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	pH (CaCl <sub>2</sub> )	Munsell Farbe	C %	org.S %	N %	C/N	<sup>137</sup> Cs Bq/kg
1	L	+1	0,0	2,29	-	47,4	81,5	1,19	40	200,5
2	Of 1	+1	0,0	3,01	-	46,1	79,3	1,77	26	1250
3	Of 2	+2	0,0	2,29	-	39,2	67,5	1,67	23	2235
4	Oh	+3	0,0	2,88	-	16,3	28,0	0,85	19	1665

**Profil 6845-112****Bodenanalytische Standardwerte**

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	pH (CaCl <sub>2</sub> )	Munsell Farbe	C %	org.S %	N %	C/N	<sup>137</sup> Cs Bq/kg
1	L	+1	0,0	3,29	-	46,4	79,8	1,23	38	174,2
2	Of	+3	0,0	2,62	-	43,7	75,1	1,91	23	2963
3	Oh	+2	0,0	2,91	-	22,1	38,0	1,22	18	1301

## Profil 6845-113

## Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %										Boden- art	pH (CaCl <sub>2</sub> )	Munsell Farbe	C %	org.S %	N %	C/N	<sup>137</sup> Cs Bq/kg		
				gS	mS	fs	S	gU	mU	fU	U	T											
1	L	+1	0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,43	-	47,6	81,9	1,21	39	199,7	
2	Of 1	+2	0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,89	-	46,6	80,2	1,83	25	1041	
3	Of 2	+2	0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,70	-	36,6	63,0	1,71	21	1291	
4	Oh	+2	0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,71	-	19,0	32,7	0,87	22	2367	
k.P.	Ah	0-1	k.P.	k.P.	k.P.	k.P.	k.P.	k.P.	k.P.	k.P.	k.P.	k.P.	k.P.	k.P.	k.P.	k.P.	k.P.	k.P.	k.P.	k.P.	k.P.	k.P.	k.P.
5	Bv	1-6	24,2	16,0	0,0	10,9	46,3	7,4	11,7	10,0	29,1	24,6	24,6	24,6	Ls4	3,54	7,5 YR 4/6	4,4	7,6	0,19	23	419,7	
6	Bv	6-11	18,8	16,5	17,7	11,2	45,5	6,5	11,8	9,0	27,4	27,2	27,2	27,2	Lts	4,02	7,5 YR 5/8	2,9	5,0	0,13	22	228,7	
7	Bv	11-16	14,2	16,9	17,2	11,6	45,7	9,1	12,6	9,6	31,3	23,0	23,0	23,0	Ls3	2,29	7,5 YR 5/8	2,9	5,0	0,13	22	29,83	

## Profil 6845-114

## Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %										Boden- art	pH (CaCl <sub>2</sub> )	Munsell Farbe	C %	org.S %	N %	C/N	<sup>137</sup> Cs Bq/kg	
				gS	mS	fs	S	gU	mU	fU	U	T										
1	L	+1	0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,15	-	45,1	77,5	1,90	24	88,53
2	Of	+0,5	0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,31	-	41,9	72,1	2,16	19	1117
3	Oh	+1	0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,11	-	33,6	57,8	1,92	18	2399
4	Ah	0-2	19,5	16,3	19,3	12,8	48,5	6,3	13,1	13,2	32,7	18,9	18,9	18,9	Ls3	3,08	10 YR 2/2	9,8	16,9	0,55	18	1261
5	Bv	2-5	35,1	18,5	21,0	13,6	53,1	7,1	13,4	11,2	31,8	15,2	15,2	15,2	Sl4	3,29	10 YR 3/4	6,3	10,8	0,38	16	302,2
6	Bv	5-10	58,0	19,4	22,3	12,3	53,9	8,2	10,6	10,8	29,6	16,4	16,4	16,4	Sl4	3,39	10 YR 3/4	4,9	8,4	0,31	16	255,3

## Profil 6845-115

## Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	pH (CaCl <sub>2</sub> )	Munsell Farbe	C %	org.S %	N %	C/N	<sup>137</sup> Cs Bq/kg
1	L	+1	0,0	4,06	-	46,5	79,9	1,48	31	95,97
2	Of	+0,5	0,0	3,02	-	30,6	52,6	1,66	18	1818
3	Oh	+0,5	0,0	3,11	-	24,1	41,5	1,32	18	2177
4	Ah	0-4	10,9	3,12	10 YR 2/2	9,2	15,8	0,55	17	1146
5	Bv	4-9	15,5	3,56	10 YR 3/4	0,2	0,0	0,28	1	-

## Profil 6845-116

## Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %										Boden- art	pH (CaCl <sub>2</sub> )	Munsell Farbe	C %	org.S %	N %	C/N	<sup>137</sup> Cs Bq/kg	
				gS	mS	fs	S	gU	mU	fU	U	T										
1	L	+1	0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,20	-	46,1	79,3	1,40	33	63,56
2	Of	+1	0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,30	-	39,9	68,6	1,91	21	2652
3	Oh	+0,5	0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,17	-	15,7	27,0	0,95	17	3825
4	Ah	0-5	32,2	12,6	18,7	12,9	44,1	9,9	12,8	12,6	35,4	20,5	20,5	20,5	Ls3	3,39	10 YR 2/3	7,5	13,0	0,44	17	-
5	Ah+Bv	5-10	19,9	14,8	18,1	12,7	45,5	9,5	12,7	10,7	32,8	21,7	21,7	21,7	Ls3	3,74	10 YR 4/6	3,8	6,5	0,22	17	-
6	Bv	10-16	53,5	13,4	20,1	11,7	45,2	9,4	12,9	9,4	31,7	23,0	23,0	23,0	Ls3	3,96	10 YR 5/8	2,5	4,3	0,15	17	-
7	Bv	16-22	30,8	16,5	20,5	13,0	50,1	9,1	12,2	8,3	29,6	20,4	20,4	20,4	Ls4	4,23	10 YR 5/8	1,6	2,7	0,10	16	-

## Profil 6845-117

## Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %								Boden- art	pH (CaCl <sub>2</sub> )	Munsell Farbe	C %	org.S %	N %	C/N	<sup>137</sup> Cs Bq/kg		
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U									T	
1	L	+1	0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,18	-	46,9	80,7	1,31	36	58,8	
2	Of	+1	0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,21	-	39,0	67,0	2,06	19	3314	
3	Oh	+1	0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,08	-	23,1	39,6	1,17	20	2613	
4	Ah	0-4	24,0	14,5	17,3	11,0	42,8	8,2	15,8	13,3	37,4	19,8	19,8	Ls3	3,10	10 YR 2/3	1,9	3,3	0,60	3	-
5	Bv	4-10	26,4	16,3	16,0	9,9	42,2	7,6	14,1	13,7	35,5	22,4	22,4	Ls3	3,36	10 YR 3/4	6,7	11,6	0,40	17	-
6	Bv	10-16	11,1	15,0	16,1	9,9	41,0	8,6	14,4	14,4	37,4	21,6	21,6	Ls3	3,54	10 YR 3/4	5,6	9,6	0,35	16	-

## Profil 6845-118

## Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	pH (CaCl <sub>2</sub> )	Munsell Farbe	C %	org.S %	N %	C/N	<sup>137</sup> Cs Bq/kg
1	L	+1	0,0	4,15	-	45,8	78,8	1,73	27	93,06
2	Of	+0,5	0,0	3,45	-	19,4	33,4	1,08	18	3236
3	Ah	0-4	27,8	3,54	10 YR 2/3	6,9	11,8	4,69	1	-
4	Ah-Bv	4-9	27,1	3,77	10 YR 4/6	4,3	7,4	0,30	14	-

## Profil 6845-119

## Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	pH (CaCl <sub>2</sub> )	Munsell Farbe	C %	org.S %	N %	C/N	<sup>137</sup> Cs Bq/kg
1	L	+1	0,0	4,32	-	45,8	78,8	1,60	29	94,35
2	Of	+1	0,0	3,33	-	37,6	64,7	1,91	20	2860
3	Oh	+0,5	0,0	3,01	-	15,2	26,1	0,97	16	4294
4	Ah	0-4	11,0	3,22	10 YR 2/3	9,2	15,8	0,54	17	-
5	Bv	4-8	17,4	3,43	7,5 YR 4/6	5,1	8,8	0,33	16	-

## Profil 6845-120

## Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	pH (CaCl <sub>2</sub> )	Munsell Farbe	C %	org.S %	N %	C/N	<sup>137</sup> Cs Bq/kg
1	L	+1	0,0	4,18	-	45,9	78,9	1,67	27	57,83
2	Of	+2	0,0	3,56	-	35,6	61,3	1,84	19	1770
3	Oh	+2	0,0	3,19	-	19,7	33,9	1,02	19	4145
4	Ah	0-4	21,3	3,50	10 YR 2/3	7,1	12,3	0,42	17	-
5	Bv	4-8	10,4	3,70	10 YR 3/3	5,8	10,0	0,37	16	-

## Profil 6845-121

## Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Skelett Gew.%	pH (CaCl <sub>2</sub> )	Munsell Farbe	C %	org.S %	N %	C/N	<sup>137</sup> Cs Bq/kg
1	L	+1	0,0	4,02	-	45,0	77,4	1,82	25	118,5
2	Of	+1	0,0	3,35	-	26,0	44,8	1,50	17	1997
3	Oh	+1	0,0	3,35	-	13,0	22,3	1,91	7	2286
4	Ah	0-3	13,0	3,37	7,5 YR 3/2	6,7	11,5	0,43	16	-
5	Bv	3-8	10,1	3,64	10 YR 4/6	4,4	7,5	0,30	14	-

## Profil 6845-122

## Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Skelett Gew.%	K o r n g r ö ß e n G e w. %										Boden- art	pH (CaCl <sub>2</sub> )	Munsell Farbe	C %	org.S %	N %	C/N	<sup>137</sup> Cs Bq/kg		
				gS	mS	fs	S	gU	mU	fU	U	T											
1	L	1	0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,68	-	41,9	72,0	1,53	27	110,5
2	Of	1	0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,52	-	28,7	49,3	1,71	17	3309	
3	Oh	1	0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,15	-	17,6	30,3	1,08	16	3929	
4	Ah	0-3	16,1	15,6	18,8	13,5	47,9	8,4	14,7	10,9	33,9	18,2	18,2	Ls3	3,21	10 YR 3/4	8,2	14,0	0,53	15	-		
5	Bv	3-8	26,2	17,4	21,6	11,6	50,6	6,8	11,9	10,5	29,3	20,1	20,1	Ls4	3,55	10 YR 4/4	4,5	7,8	0,28	16	-		

## Profil 6845-123

## Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Skelett Gew.%	pH (CaCl <sub>2</sub> )	Munsell Farbe	C %	org.S %	N %	C/N	<sup>137</sup> Cs Bq/kg
1	L	+1	0,0	4,02	-	46,3	79,6	1,61	29	72,67
2	Of	+1	0,0	3,35	-	29,7	51,1	1,49	20	3216
3	Ah	0-1	18,4	3,20	10 YR 3/4	7,5	12,9	0,48	16	2116
4	Bv	1-3	8,2	3,49	10 YR 4/6	3,8	6,6	0,26	15	156,6

## Profil 6845-124

## Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Skelett Gew.%	pH (CaCl <sub>2</sub> )	Munsell Farbe	C %	org.S %	N %	C/N	<sup>137</sup> Cs Bq/kg
1	L	+1	0,0	3,99	-	44,5	76,5	1,35	33	59,99
2	Of	+5	0,0	3,92	-	44,9	77,3	1,87	24	401,3
3	Oh	+5,5	0,0	3,04	-	30,6	52,6	1,09	28	2624
4	Ah	0-5,5	17,7	3,05	10 YR 3/4	15,3	26,3	0,63	24	1947
5	Bv	5,5+	20,7	3,76	10 YR 5/6	4,7	8,0	0,29	16	-

## Profil 6845-125

## Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Skelett Gew.%	pH (CaCl <sub>2</sub> )	Munsell Farbe	C %	org.S %	N %	C/N	<sup>137</sup> Cs Bq/kg
1	L	+2	0,0	4,27	-	44,8	77,1	1,35	33	90,81
2	Of	+3	0,0	3,92	-	43,2	74,4	1,80	24	203,3
3	Oh	+3,5	0,0	3,01	-	29,6	50,9	1,63	18	4938
4	Ah	0-2	22,5	3,01	10 YR 3/2	15,6	26,9	0,89	18	-



## Profil 6845-126

## Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	pH (CaCl <sub>2</sub> )	Munsell Farbe	C %	org.S %	N %	C/N	<sup>137</sup> Cs Bq/kg
1	L	+1	0,0	3,91	-	46,6	80,2	1,52	31	90,09
2	Of	+1	0,0	3,93	-	42,8	73,7	1,83	23	654,8
3	Oh	+1	0,0	2,99	-	22,1	38,1	1,17	19	4950
4	Ah	0-1	19,4	3,13	10 YR 2/3	11,3	19,4	0,63	18	-
5	Bv	1+	33,4	3,49	7,5 YR 4/6	3,4	5,9	0,21	17	-

## Profil 6845-127

## Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	pH (CaCl <sub>2</sub> )	Munsell Farbe	C %	org.S %	N %	C/N	<sup>137</sup> Cs Bq/kg
1	L	+1	0,0	3,86	-	23,9	41,0	0,96	25	80,42
2	Of	+4	0,0	3,73	-	25,3	43,6	1,17	22	465,3
3	Oh	+3	0,0	3,23	-	13,5	23,2	0,78	17	2212
4	Ah	0-3	32,6	3,38	10 YR 3/4	5,9	10,2	0,38	15	387,7
5	Bv	3+	18,1	3,85	10 YR 4/6	2,9	5,0	0,18	16	16,53

## Profil 6845-100

Datum: 16.8.05, 29.8.05

## Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	K		N a		M g		C a		A l		F e		M n		KAK (mmol)	Basen- sättigung
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
1	L	+1	1,38	13,08	0,06	0,53	1,12	10,57	6,51	61,61	0,00	0,00	0,00	0,00	1,50	14,20	10,56	85,80
2	Of	+0,5	0,80	9,27	0,03	0,40	0,92	10,65	2,45	28,16	3,53	40,58	0,54	6,24	0,41	4,71	8,69	48,47
3	Oh	+1,5	0,36	6,12	0,00	0,00	0,19	3,27	0,82	14,12	4,00	68,93	0,35	6,11	0,08	1,45	5,81	23,52
4	Ah+Oh	0-1	0,27	3,23	2,12	25,31	0,00	0,00	0,17	2,01	5,41	64,76	0,39	4,69	0,00	0,00	8,36	30,55
5	Bv	1-6	0,08	1,25	0,00	0,00	0,02	0,25	0,00	0,04	5,90	98,04	0,02	0,41	0,00	0,00	6,02	1,55

## Profil 6845-101

Datum: 16.8.05, 29.8.05

## Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	K		N a		M g		C a		A l		F e		M n		KAK (mmol)	Basen- sättigung
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
1	L	+1	1,48	13,02	0,00	0,00	1,08	9,48	7,33	64,26	0,00	0,00	0,00	0,00	1,51	13,25	11,41	86,75
2	Of	+3	0,90	9,74	0,07	0,79	0,95	10,36	5,43	59,04	0,82	8,91	0,05	0,55	0,97	10,61	9,19	79,93
3	Oh1	+5	0,47	6,69	0,00	0,02	0,14	1,95	1,05	14,98	4,49	63,74	0,80	11,38	0,09	1,24	7,04	23,65
4	Oh2	+5	0,30	4,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,84	85,80	0,66	9,77	0,00	0,00	6,80	4,44
5	Ah	0-1,5	0,13	1,51	0,00	0,00	0,07	0,81	0,00	0,00	7,81	91,19	0,56	6,49	0,00	0,00	8,57	2,31
6	Bv	1,5 +	0,11	1,24	0,00	0,00	0,04	0,44	0,04	0,43	8,02	94,33	0,30	3,57	0,00	0,00	8,50	2,10

## Profil 6845-102

Datum: 16.8.05, 29.8.05

## Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	K		N a		M g		C a		A l		F e		M n		KAK (mmol)	Basen- sättigung
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
1	L	+1	1,28	11,46	0,00	0,00	0,74	6,65	7,33	65,53	0,00	0,00	0,00	0,00	1,83	16,36	11,18	83,64
2	Of	+4	0,87	9,96	0,07	0,83	1,11	12,60	4,69	53,47	1,09	12,37	0,09	0,99	0,86	9,77	8,78	76,87
3	Oh1	+4	0,64	10,80	0,03	0,59	0,16	2,80	0,46	7,79	4,40	74,83	0,15	2,46	0,04	0,72	5,89	21,98
4	Oh2	+4	0,30	3,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,60	94,11	0,18	2,23	0,00	0,00	8,08	3,66
5	Ah+Bv	0-1	0,20	1,81	0,01	0,10	0,05	0,44	0,02	0,17	10,50	93,86	0,20	1,80	0,20	1,82	11,18	2,52
6	Bv	1 +	0,04	0,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,87	98,55	0,04	0,72	0,00	0,00	5,96	0,73

## Profil 6845-103

Datum: 16.8.05, 29.8.05, 31.8.05

## Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	K		N a		M g		C a		A l		F e		M n		KAK (mmol)	Basen- sättigung
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
1	L	+1	1,15	11,75	0,09	0,95	0,99	10,07	6,16	62,85	0,00	0,00	0,00	0,00	1,41	14,38	9,81	85,62
2	Of	+3	1,48	18,30	0,08	0,93	1,43	17,68	3,72	46,12	0,65	8,08	0,05	0,68	0,66	8,21	8,06	83,04
3	Oh	+4	0,49	9,18	0,00	0,00	0,04	0,78	0,15	2,71	4,16	77,48	0,53	9,86	0,00	0,00	5,37	12,66
4	Ah	0-0,5	0,23	2,95	0,00	0,00	0,04	0,50	0,00	0,00	7,06	89,42	0,56	7,13	0,00	0,00	7,89	3,45
5	Bv	0,5 +	0,06	0,78	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	7,00	97,48	0,12	1,73	0,00	0,00	7,18	0,79

## Profil 6845-104

Datum: 16.8.05, 29.8.05

## Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	K		N a		M g		C a		A l		F e		M n		KAK (mmol)	Basen- sättigung
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
1	L	+1	1,10	12,21	0,00	0,00	0,77	8,53	5,96	65,85	0,00	0,00	0,00	0,00	1,21	13,40	9,05	86,60
2	Of	+3	1,51	12,75	0,14	1,17	1,46	12,37	4,58	38,79	3,37	28,49	0,00	0,00	0,76	6,44	11,82	65,07
3	Oh	+3	0,35	7,30	0,00	0,04	0,00	0,00	0,03	0,70	4,10	86,63	0,25	5,34	0,00	0,00	4,74	8,03
4	AhBv	1-5	0,11	1,72	0,00	0,00	0,03	0,45	0,00	0,00	6,01	97,29	0,00	0,00	0,03	0,55	6,18	2,17
5	Bv	5-10	0,11	1,89	0,00	0,00	0,02	0,34	0,00	0,00	5,70	96,95	0,00	0,00	0,05	0,81	5,88	2,24
6	Bv	10-15	0,04	1,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,26	98,64	0,00	0,00	0,00	0,00	3,30	1,36

## Profil 6845-105

Datum: 22.8.05, 29.8.05

## Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	K		N a		M g		C a		A l		F e		M n		KAK (mmol)	Basen- sättigung
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
1	L	+1	1,14	13,13	0,00	0,00	1,30	14,91	5,37	61,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,90	10,33	8,71	89,67
2	Of1	+1	0,99	14,94	0,00	0,00	1,45	21,99	2,60	39,29	0,51	7,64	0,10	1,55	0,96	14,59	6,61	76,21
3	Of2	+2	0,78	7,28	0,00	0,00	1,70	15,92	5,68	53,15	1,56	14,61	0,30	2,80	0,67	6,24	10,68	76,35
4	Oh	+3	0,36	6,38	0,00	0,00	0,37	6,65	0,39	6,85	3,99	70,98	0,51	9,14	0,00	0,00	5,62	19,88
5	Ah	0-3	0,18	2,18	0,00	0,00	0,13	1,63	0,01	0,14	7,31	89,81	0,51	6,23	0,00	0,00	8,14	3,95
6	Bv	3-8	0,03	0,80	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	3,97	99,15	0,00	0,00	0,00	0,00	4,01	0,85
7	Bv	8-13	0,03	0,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,52	99,36	0,00	0,00	0,00	0,00	4,55	0,64

## Profil 6845-106

Datum: 22.8.05

## Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	K		N a		M g		C a		A l		F e		M n		KAK (mmol)	Basen- sättigung
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
1	L	+1	1,23	11,78	0,00	0,00	1,53	14,63	6,64	63,49	0,00	0,00	0,00	0,00	1,06	10,10	10,46	89,90
2	Of1	+2	1,36	22,21	0,00	0,00	1,38	22,47	2,54	41,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,85	13,82	6,12	86,18
3	Of2	+2	0,97	12,85	0,00	0,00	1,20	15,83	3,30	43,59	1,68	22,24	0,18	2,32	0,24	3,16	7,57	72,27
4	Oh	+2	0,71	8,62	0,00	0,00	0,54	6,57	0,24	2,95	6,43	78,31	0,29	3,55	0,00	0,00	8,22	18,14

## Profil 6845-107

Datum: 22.8.05

## Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	K		N a		M g		C a		A l		F e		M n		KAK (mmol)	Basen- sättigung
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
1	L	+1	0,92	10,10	0,00	0,00	1,20	13,16	6,11	67,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,88	9,65	9,10	90,35
2	Of	+3	0,95	8,97	0,00	0,00	1,68	15,88	6,28	59,44	0,72	6,84	0,14	1,33	0,79	7,52	10,56	84,30
3	Oh	+3	0,48	7,51	0,00	0,00	0,60	9,42	1,72	27,13	3,05	48,07	0,47	7,43	0,03	0,43	6,35	44,06

## Profil 6845-108

Datum: 22.8.05

## Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	K		N a		M g		C a		A l		F e		M n		KAK (mmol)	Basen- sättigung
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
1	L	+1	1,19	10,63	0,00	0,00	1,45	12,97	7,42	66,29	0,00	0,00	0,00	0,00	1,13	10,11	11,19	89,89
2	Of	+1	0,62	8,47	0,00	0,00	0,63	8,64	1,69	23,04	3,83	52,24	0,40	5,52	0,15	2,09	7,33	40,15
3	Oh	+0,5	0,43	7,88	0,00	0,00	0,34	6,27	0,01	0,24	4,20	77,12	0,46	8,49	0,00	0,00	5,45	14,39

## Profil 6845-109

Datum: 22.8.05

## Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	K		N a		M g		C a		A l		F e		M n		KAK (mmol)	Basen- sättigung
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
1	L	+1	1,09	9,37	0,00	0,00	2,87	24,76	6,54	56,40	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10	9,48	11,60	90,52
2	Of1	+2	1,10	11,49	0,00	0,00	1,34	14,01	5,68	59,36	0,73	7,62	0,14	1,48	0,58	6,04	9,57	84,86
3	Of2	+4	0,56	10,22	0,00	0,00	0,93	16,90	3,14	57,10	0,68	12,43	0,00	0,00	0,18	3,34	5,50	84,23
4	Oh	+3	0,76	10,07	0,00	0,00	0,69	9,16	0,68	8,97	4,98	66,05	0,43	5,75	0,00	0,00	7,54	28,20

## Profil 6845-110

Datum: 22.8.05

## Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	K		N a		M g		C a		A l		F e		M n		KAK (mmol)	Basen- sättigung
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
1	L	+1	0,95	11,17	0,00	0,00	1,39	16,27	5,24	61,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,96	11,18	8,54	88,82
2	Of	+1	0,66	10,27	0,00	0,00	0,78	12,09	3,06	47,59	1,32	20,53	0,27	4,20	0,34	5,33	6,42	69,94
3	Oh	+2	0,05	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,46	5,80	6,83	85,66	0,63	7,93	0,00	0,00	7,97	6,40

## Profil 6845-111

Datum: 23.8.05

## Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	K		N a		M g		C a		A l		F e		M n		KAK (mmol)	Basen- sättigung
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
1	L	+1	0,57	6,06	0,00	0,00	0,00	0,00	7,31	77,13	0,00	0,00	0,00	0,00	1,59	16,81	9,47	83,19
2	Of1	+1	0,46	5,18	0,06	0,68	0,31	3,49	6,90	77,35	0,16	1,77	0,00	0,00	1,03	11,55	8,92	86,69
3	Of2	+2	0,42	5,08	0,06	0,73	0,44	5,32	3,48	41,79	3,32	39,79	0,08	0,97	0,53	6,32	8,33	52,92
4	Oh	+3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,22	95,66	0,37	4,34	0,00	0,00	8,59	0,00

## Profil 6845-112

Datum: 23.8.05

## Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	K		N a		M g		C a		A l		F e		M n		KAK (mmol)	Basen- sättigung
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
1	L	+1	0,30	3,94	0,01	0,14	0,00	0,00	5,95	78,68	0,00	0,00	0,00	0,00	1,30	17,23	7,56	82,77
2	Of	+3	1,34	18,04	0,15	2,03	0,35	4,66	2,39	32,12	2,73	36,62	0,19	2,51	0,30	4,01	7,45	56,86
3	Oh	+2	0,25	3,73	0,04	0,57	0,00	0,00	0,05	0,71	6,29	92,26	0,19	2,73	0,00	0,00	6,82	5,01

## Profil 6845-113

Datum: 23.8.05, 29.8.05

## Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	K		N a		M g		C a		A l		F e		M n		KAK (mmol)	Basen- sättigung
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
1	L	+1	0,72	7,33	0,00	0,00	0,00	0,00	7,33	75,04	0,00	0,00	0,00	0,00	1,72	17,63	9,77	82,37
2	Of1	+2	1,75	20,93	0,14	1,71	0,27	3,18	5,32	63,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,90	10,69	8,38	89,31
3	Of2	+2	0,52	11,64	0,06	1,30	0,00	0,00	1,99	44,77	1,57	35,42	0,00	0,00	0,30	6,87	4,44	57,71
4	Oh	+2	0,18	2,11	0,02	0,24	0,00	0,00	0,07	0,82	7,49	89,74	0,59	7,08	0,00	0,00	8,35	3,18
5	Bv	1-6	0,04	0,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,02	99,12	0,00	0,00	0,00	0,00	5,07	0,88
6	Bv	6-11	0,02	0,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,41	99,46	0,00	0,00	0,00	0,00	3,42	0,54
7	Bv	11-16	0,01	0,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,06	99,62	0,00	0,00	0,00	0,00	2,06	0,38

## Profil 6845-114

Datum: 23.8.05, 29.8.05

## Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	K		N a		M g		C a		A l		F e		M n		KAK (mmol)	Basen- sättigung
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
1	L	+1	1,84	9,49	0,05	0,27	1,02	5,24	12,64	65,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,89	20,00	19,45	80,00
2	Of	+0,5	0,52	4,35	0,00	0,00	0,00	0,00	9,50	79,67	0,22	1,82	0,00	0,00	1,69	14,15	11,92	84,03
3	Oh	+1	0,11	1,18	0,00	0,00	0,31	3,23	4,86	50,17	3,73	38,50	0,37	3,78	0,30	3,14	9,68	54,59
4	Ah	0-2	0,20	3,14	0,00	0,00	0,26	4,01	0,20	3,13	5,39	84,05	0,29	4,59	0,07	1,08	6,41	10,28
5	Bv	2-5	0,20	3,13	0,00	0,00	0,12	1,90	0,03	0,48	5,63	90,15	0,11	1,77	0,16	2,57	6,24	5,51
6	Bv	5-10	0,17	2,44	0,00	0,00	0,05	0,76	0,04	0,54	6,39	94,27	0,02	0,34	0,11	1,66	6,78	3,74

## Profil 6845-115

Datum: 23.8.05, 29.8.05

## Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	K		N a		M g		C a		A l		F e		M n		KAK (mmol)	Basen- sättigung
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
1	L	+1	0,78	4,76	0,08	0,48	0,05	0,33	12,31	74,99	0,00	0,00	0,00	0,00	3,19	19,43	16,41	80,57
2	Of	+0,5	0,37	4,09	0,00	0,03	0,00	0,00	2,56	28,13	5,68	62,50	0,27	2,92	0,21	2,34	9,09	32,24
3	Oh	+0,5	0,26	3,14	0,08	0,96	0,00	0,00	0,74	8,92	6,78	81,64	0,44	5,33	0,00	0,00	8,30	13,02
4	Ah	0-4	0,26	2,84	0,00	0,00	0,25	2,73	0,12	1,32	8,04	88,68	0,39	4,33	0,01	0,09	9,06	6,90
5	Bv	4-9	0,10	1,44	0,00	0,00	0,06	0,81	0,00	0,01	6,73	97,29	0,00	0,00	0,03	0,45	6,92	2,26

## Profil 3845-116

Datum: 24.8.05, 30.8.05

## Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	K		N a		M g		C a		A l		F e		M n		KAK (mmol)	Basen- sättigung
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
1	L	+1	1,93	8,33	0,14	0,60	3,57	15,38	14,13	60,92	0,00	0,00	0,00	0,00	3,43	14,77	23,20	85,23
2	Of	+1	1,11	8,31	0,02	0,17	1,82	13,58	7,17	53,58	1,65	12,29	0,01	0,05	1,61	12,01	13,39	75,65
3	Oh	+0,5	0,72	7,94	0,05	0,53	0,53	5,93	0,61	6,76	6,67	73,94	0,18	1,98	0,26	2,93	9,02	21,16
4	Ah	0-5	0,23	2,75	0,00	0,00	0,16	1,90	0,08	0,94	7,29	86,64	0,00	0,00	0,65	7,77	8,41	5,59
5	Ah+Bv	5-10	0,10	1,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,32	5,75	95,08	0,00	0,00	0,18	2,93	6,05	1,99
6	Bv	10-16	0,05	1,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	4,07	98,05	0,00	0,00	0,02	0,58	4,15	1,37
7	Bv	16-22	0,03	1,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,33	98,72	0,00	0,00	0,00	0,00	2,36	1,28

## Profil 6845-117

Datum: 24.8.05, 30.8.05

## Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	K		N a		M g		C a		A l		F e		M n		KAK (mmol)	Basen- sättigung
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
1	L	+1	1,53	8,96	0,00	0,00	2,99	17,53	10,18	59,62	0,00	0,00	0,00	0,00	2,37	13,89	17,08	86,11
2	Of	+1	1,18	9,39	0,01	0,09	1,77	14,07	6,44	51,18	1,89	15,02	0,06	0,51	1,23	9,74	12,58	74,73
3	Oh	+1	0,50	5,17	0,00	0,00	0,59	6,15	1,20	12,42	6,90	71,64	0,27	2,80	0,17	1,82	9,63	23,74
4	Ah	0-4	0,30	3,58	0,00	0,00	0,32	3,77	0,34	4,01	7,03	83,44	0,31	3,68	0,13	1,52	8,43	11,36
5	Bv	4-10	0,20	2,84	0,00	0,00	0,09	1,33	0,06	0,81	6,34	91,93	0,06	0,80	0,16	2,30	6,90	4,97
6	Bv	10-16	0,14	1,91	0,00	0,00	0,06	0,84	0,07	0,90	6,92	94,82	0,00	0,00	0,11	1,53	7,29	3,65

## Profil 6845-118

Datum: 24.8.05, 30.8.05

## Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	K		N a		M g		C a		A l		F e		M n		KAK (mmol)	Basen- sättigung
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
1	L	+1	1,42	6,99	0,10	0,51	3,02	14,86	12,10	59,63	0,00	0,00	0,00	0,00	3,66	18,02	20,29	81,98
2	Of	+0,5	0,59	5,66	0,00	0,00	0,86	8,21	4,18	40,00	3,79	36,26	0,00	0,00	1,03	9,87	10,44	53,87
3	Ah	0-4	0,25	3,90	0,00	0,00	0,17	2,60	0,24	3,72	5,18	80,92	0,00	0,00	0,57	8,86	6,40	10,22
4	AhBv	4-9	0,11	2,25	0,00	0,00	0,03	0,54	0,01	0,19	4,54	95,42	0,00	0,00	0,08	1,59	4,75	2,98

## Profil 6845-119

Datum: 24.8.05, 30.8.05

## Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	K		N a		M g		C a		A l		F e		M n		KAK (mmol)	Basen- sättigung
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
1	L	+1	1,51	7,78	0,47	2,40	2,90	14,99	10,89	56,32	0,00	0,00	0,00	0,00	3,58	18,51	19,35	81,49
2	Of	+1	0,81	6,88	0,00	0,00	1,40	11,92	5,67	48,36	2,24	19,09	0,00	0,00	1,61	13,75	11,73	67,16
3	Oh	+0,5	0,53	5,96	0,00	0,00	0,52	5,82	0,89	10,05	6,52	73,50	0,27	3,09	0,14	1,59	8,87	21,83
4	Ah	0-4	0,21	3,45	0,00	0,00	0,15	2,51	0,09	1,51	5,32	86,48	0,12	2,03	0,25	4,02	6,15	7,47
5	Bv	4-8	0,13	2,20	0,00	0,00	0,03	0,52	0,00	0,00	5,39	94,65	0,04	0,71	0,11	1,93	5,69	2,72

## Profil 6845-120

Datum: 24.8.05, 30.8.05

## Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	K		N a		M g		C a		A l		F e		M n		KAK (mmol)	Basen- sättigung
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
1	L	+1	1,51	7,98	0,05	0,29	2,60	13,76	11,02	58,39	0,00	0,00	0,00	0,00	3,70	19,59	18,87	80,41
2	Of	+1	0,94	6,46	0,01	0,07	2,00	13,82	7,80	53,84	1,00	6,92	0,00	0,00	2,74	18,90	14,49	74,19
3	Oh	+0,5	0,46	4,39	0,00	0,00	0,55	5,27	1,57	15,17	7,22	69,54	0,09	0,87	0,50	4,77	10,38	24,82
4	Ah	0-4	0,20	2,90	0,00	0,00	0,11	1,56	0,11	1,62	5,80	82,95	0,00	0,00	0,77	10,97	6,99	6,08
5	Bv	4-8	0,17	3,31	0,00	0,00	0,06	1,12	0,00	0,00	4,66	89,16	0,00	0,00	0,33	6,41	5,22	4,42

## Profil 6845-121

Datum: 24.8.05, 30.8.05

## Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	K		N a		M g		C a		A l		F e		M n		KAK (mmol)	Basen- sättigung
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
1	L	+1	1,63	8,13	0,15	0,75	3,63	18,12	11,43	57,02	0,00	0,00	0,00	0,00	3,20	15,98	20,05	84,02
2	Of	+2	1,23	10,37	0,03	0,28	1,42	12,02	5,92	50,11	1,85	15,68	0,08	0,70	1,28	10,85	11,82	72,77
3	Oh	+2	0,43	5,30	0,00	0,00	0,30	3,77	1,03	12,82	5,86	72,77	0,30	3,68	0,13	1,66	8,06	21,89
4	Ah	0-4	0,24	4,54	0,00	0,00	0,13	2,43	0,11	2,06	4,57	85,89	0,10	1,94	0,17	3,13	5,32	9,03
5	Ah	4-8	0,13	2,72	0,00	0,00	0,01	0,27	0,00	0,02	4,45	95,01	0,00	0,09	0,09	1,89	4,68	3,00

## Profil 6845-122

Datum: 24.8.05, 30.8.05

## Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	K		N a		M g		C a		A l		F e		M n		KAK (mmol)	Basen- sättigung
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
1	L	+1	1,58	7,49	0,00	0,00	3,22	15,24	12,04	56,98	0,00	0,00	0,00	0,00	4,29	20,29	21,13	79,71
2	Of	+1	1,17	10,31	0,00	0,03	1,53	13,55	5,27	46,54	2,16	19,06	0,15	1,29	1,04	9,22	11,32	70,43
3	Oh	+1	0,57	6,35	0,00	0,00	0,49	5,44	0,60	6,67	6,82	75,70	0,52	5,75	0,01	0,09	9,01	18,47
4	Ah	0-3	0,28	3,87	0,00	0,00	0,19	2,62	0,01	0,16	6,42	88,24	0,34	4,68	0,03	0,42	7,28	6,65
5	Bv	3-8	0,13	2,15	0,00	0,00	0,04	0,72	0,04	0,70	5,80	95,10	0,00	0,00	0,08	1,33	6,10	3,57

## Profil 6845-123

Datum: 25.8.05, 30.8.05

## Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	K		N a		M g		C a		A l		F e		M n		KAK (mmol)	Basen-sättigung
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
1	L	+1	1,60	7,31	0,13	0,57	2,67	12,24	13,60	62,25	0,00	0,00	0,00	0,00	3,85	17,62	21,84	82,38
2	Of	+1	0,78	6,53	0,05	0,44	1,21	10,14	5,75	48,34	2,84	23,88	0,08	0,65	1,19	10,02	11,90	65,45
3	Ah	0-1	0,27	4,28	0,00	0,00	0,27	4,37	0,59	9,37	4,75	76,05	0,28	4,54	0,09	1,39	6,25	18,02
4	Bv	1-3	0,12	2,12	0,00	0,00	0,06	1,02	0,15	2,54	5,39	92,30	0,01	0,22	0,11	1,81	5,84	5,67

## Profil 6845-124

Datum: 25.8.05, 30.8.05, 31.8.05

## Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	K		N a		M g		C a		A l		F e		M n		KAK (mmol)	Basen-sättigung
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
1	L	+1	1,21	9,92	0,16	1,28	1,77	14,54	7,22	59,42	0,00	0,00	0,00	0,00	1,80	14,83	12,16	85,17
2	Of	+5	1,27	6,06	0,17	0,81	2,60	12,39	12,65	60,20	0,00	0,00	0,00	0,00	4,32	20,54	21,02	79,46
3	Oh	+5,5	0,70	5,25	0,08	0,62	0,94	7,03	2,70	20,26	8,41	63,06	0,00	0,00	0,50	3,77	13,33	33,16
4	Ah	0-5,5	0,30	3,07	0,00	0,00	0,39	4,04	0,50	5,16	8,01	82,17	0,08	0,86	0,46	4,70	9,75	12,26
5	Bv	5,5 +	0,04	0,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,17	4,87	99,01	0,00	0,00	0,00	0,00	4,92	0,99

## Profil 6845-125

Datum: 25.8.05, 31.8.05

## Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	K		N a		M g		C a		A l		F e		M n		KAK (mmol)	Basen-sättigung
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
1	L	+2	1,70	8,89	0,10	0,52	2,76	14,42	11,90	62,08	0,00	0,00	0,00	0,00	2,70	14,10	19,18	85,90
2	Of	+3	1,40	6,08	0,13	0,58	2,70	11,73	15,47	67,20	0,00	0,00	0,00	0,00	3,32	14,40	23,02	85,60
3	Oh	+3,5	0,80	8,06	0,04	0,37	1,02	10,29	3,48	35,13	3,90	39,37	0,23	2,29	0,44	4,49	9,91	53,85
4	Ah	0-2	0,33	4,59	0,00	0,00	0,23	3,15	0,55	7,60	5,80	79,75	0,35	4,85	0,00	0,06	7,28	15,34

## Profil 6845-126

Datum: 25.8.05, 31.8.05

## Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	K		N a		M g		C a		A l		F e		M n		KAK (mmol)	Basen-sättigung
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
1	L	+1	1,59	7,41	0,16	0,74	3,14	14,68	13,18	61,55	0,00	0,00	0,00	0,00	3,34	15,62	21,42	84,38
2	Of	+1	1,40	6,84	0,17	0,81	2,51	12,24	12,89	62,93	0,00	0,00	0,00	0,00	3,52	17,17	20,48	82,83
3	Oh	+1	0,49	6,17	0,08	1,05	0,61	7,71	2,32	29,11	3,86	48,52	0,24	3,03	0,35	4,40	7,96	44,05
4	Ah	0-1	0,18	2,77	0,00	0,00	0,08	1,24	0,39	6,14	5,72	89,38	0,00	0,00	0,03	0,48	6,40	10,14
5	Bv	1 +	0,09	1,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	6,12	97,68	0,00	0,00	0,05	0,75	6,26	1,57



## Profil 6845-127

Datum: 25.8.05, 31.8.05

## Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	K		N a		M g		C a		A l		F e		M n		KAK (mmol)	Basen- sättigung
			mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
1	L	+1	1,61	8,00	0,12	0,59	2,83	14,06	12,41	61,64	0,00	0,00	0,00	0,00	3,16	15,71	20,14	84,29
2	Of	+4	0,70	6,17	0,04	0,37	1,24	11,00	6,16	54,50	1,53	13,53	0,00	0,00	1,63	14,43	11,31	72,04
3	Oh	+3	0,48	5,13	0,02	0,18	0,40	4,30	1,27	13,56	6,72	71,58	0,32	3,46	0,17	1,79	9,39	23,17
4	Ah	0-3	0,13	2,17	0,00	0,00	0,01	0,13	0,03	0,57	5,75	94,13	0,00	0,00	0,18	3,00	6,11	2,87
5	Bv	3 +	0,03	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,88	98,49	0,00	0,00	0,01	0,41	2,92	1,10

## Profil 6845-100

Datum: 14.11.05

## Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan											
			Pyrophosphat			Oxalat			Dithionit			Gesamtgehalt		
			% Fe <sub>p</sub>	% Al <sub>p</sub>	% Mn <sub>p</sub>	% Fe <sub>o</sub>	% Al <sub>o</sub>	% Mn <sub>o</sub>	% Fe <sub>d</sub>	% Al <sub>d</sub>	% Mn <sub>d</sub>	% Fe	% Al	% Mn
100/4	Ah+Oh	0-1	0,51	0,17	0,000	0,17	0,00	0,000	0,59	0,03	0,000	1,27	0,21	0,000
100/5	Bv	1-6	0,51	0,18	0,000	0,55	0,10	0,002	0,79	0,12	0,000	1,85	0,40	0,002

## Profil 6845-101

Datum: 20.11.05

## Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan											
			Pyrophosphat			Oxalat			Dithionit			Gesamtgehalt		
			% Fe <sub>p</sub>	% Al <sub>p</sub>	% Mn <sub>p</sub>	% Fe <sub>o</sub>	% Al <sub>o</sub>	% Mn <sub>o</sub>	% Fe <sub>d</sub>	% Al <sub>d</sub>	% Mn <sub>d</sub>	% Fe	% Al	% Mn
101/5	Ah	0-1,5	0,51	0,16	0,000	0,20	0,01	0,000	0,75	0,08	0,000	1,47	0,25	0,000
101/6	Bv	1,5 +	0,50	0,15	0,000	0,47	0,06	0,000	1,03	0,23	0,000	1,99	0,44	0,000

## Profil 6845-102

Datum: 14.11.05

## Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan											
			Pyrophosphat			Oxalat			Dithionit			Gesamtgehalt		
			% Fe <sub>p</sub>	% Al <sub>p</sub>	% Mn <sub>p</sub>	% Fe <sub>o</sub>	% Al <sub>o</sub>	% Mn <sub>o</sub>	% Fe <sub>d</sub>	% Al <sub>d</sub>	% Mn <sub>d</sub>	% Fe	% Al	% Mn
102/5	Ah+Bv	0-1	0,39	0,90	0,019	0,21	0,24	0,013	0,68	0,07	0,000	1,29	1,22	0,032
102/6	Bv	1 +	0,27	0,28	0,000	0,45	0,14	0,000	0,81	0,19	0,000	1,53	0,62	0,000

Profil 6845-103

Datum: 14.11.05

## Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan											
			Pyrophosphat			Oxalat			Dithionit			Gesamtgehalt		
			% Fe <sub>p</sub>	% Al <sub>p</sub>	% Mn <sub>p</sub>	% Fe <sub>o</sub>	% Al <sub>o</sub>	% Mn <sub>o</sub>	% Fe <sub>d</sub>	% Al <sub>d</sub>	% Mn <sub>d</sub>	% Fe	% Al	% Mn
103/4	Ah	0-0,5	0,39	0,18	0,000	0,21	0,04	0,000	0,64	0,03	0,000	1,24	0,25	0,000
103/5	Bv	0,5 +	0,41	0,17	0,000	0,49	0,07	0,000	0,83	0,12	0,000	1,73	0,37	0,000

Profil 6845-104

Datum: 14.11.05

## Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan											
			Pyrophosphat			Oxalat			Dithionit			Gesamtgehalt		
			% Fe <sub>p</sub>	% Al <sub>p</sub>	% Mn <sub>p</sub>	% Fe <sub>o</sub>	% Al <sub>o</sub>	% Mn <sub>o</sub>	% Fe <sub>d</sub>	% Al <sub>d</sub>	% Mn <sub>d</sub>	% Fe	% Al	% Mn
104/4	AhBv	1-5	0,36	0,19	0,000	0,40	0,07	0,010	0,62	0,07	0,000	1,38	0,34	0,010
104/5	Bv	5-10	0,34	0,26	0,000	0,44	0,09	0,011	0,64	0,07	0,000	1,41	0,42	0,011
104/6	Bv	10-15	0,20	0,24	0,000	0,42	0,12	0,005	0,62	0,08	0,000	1,24	0,44	0,005

Profil 6845-105

Datum: 14.11.05

## Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan											
			Pyrophosphat			Oxalat			Dithionit			Gesamtgehalt		
			% Fe <sub>p</sub>	% Al <sub>p</sub>	% Mn <sub>p</sub>	% Fe <sub>o</sub>	% Al <sub>o</sub>	% Mn <sub>o</sub>	% Fe <sub>d</sub>	% Al <sub>d</sub>	% Mn <sub>d</sub>	% Fe	% Al	% Mn
105/5	Ah	0-3	0,43	0,19	0,000	0,20	0,03	0,000	0,58	0,07	0,000	1,21	0,29	0,000
105/6	Bv	3-8	0,35	0,19	0,000	0,53	0,08	0,000	0,73	0,14	0,000	1,62	0,41	0,000
105/7	Bv	8-13	0,24	0,27	0,000	0,42	0,13	0,000	0,72	0,17	0,000	1,38	0,57	0,000

## Profil 6845-113

Datum: 14.11.05

## Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan											
			Pyrophosphat			Oxalat			Dithionit			Gesamtgehalt		
			% Fe <sub>p</sub>	% Al <sub>p</sub>	% Mn <sub>p</sub>	% Fe <sub>o</sub>	% Al <sub>o</sub>	% Mn <sub>o</sub>	% Fe <sub>d</sub>	% Al <sub>d</sub>	% Mn <sub>d</sub>	% Fe	% Al	% Mn
113/5	Bv	1-6	0,46	0,31	0,000	0,61	0,14	0,001	1,14	0,26	0,000	2,21	0,70	0,001
113/6	Bv	6-11	0,28	0,26	0,000	0,67	0,19	0,011	1,43	0,38	0,004	2,38	0,83	0,014
113/7	Bv	11-16	0,17	0,36	0,000	0,69	0,26	0,043	1,39	0,42	0,004	2,26	1,04	0,047

## Profil 6845-114

Datum: 20.11.05

## Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan											
			Pyrophosphat			Oxalat			Dithionit			Gesamtgehalt		
			% Fe <sub>p</sub>	% Al <sub>p</sub>	% Mn <sub>p</sub>	% Fe <sub>o</sub>	% Al <sub>o</sub>	% Mn <sub>o</sub>	% Fe <sub>d</sub>	% Al <sub>d</sub>	% Mn <sub>d</sub>	% Fe	% Al	% Mn
4	Ah	0-2	0,34	0,10	0,000	0,10	0,00	0,000	0,67	0,04	0,000	1,11	0,14	0,000
5	Bv	2-5	0,34	0,07	0,000	0,25	0,02	0,002	0,77	0,04	0,000	1,36	0,14	0,002
6	Bv	5-10	0,23	0,08	0,000	0,30	0,03	0,005	0,83	0,06	0,000	1,36	0,18	0,005

## Profil 6845-115

Datum: 20.11.05

## Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan											
			Pyrophosphat			Oxalat			Dithionit			Gesamtgehalt		
			% Fe <sub>p</sub>	% Al <sub>p</sub>	% Mn <sub>p</sub>	% Fe <sub>o</sub>	% Al <sub>o</sub>	% Mn <sub>o</sub>	% Fe <sub>d</sub>	% Al <sub>d</sub>	% Mn <sub>d</sub>	% Fe	% Al	% Mn
4	Ah	0-4	0,41	0,18	0,000	0,15	0,07	0,006	0,67	0,05	0,000	1,23	0,29	0,006
5	Bv	4-9	0,30	0,21	0,000	0,38	0,06	0,046	0,81	0,13	0,000	1,49	0,40	0,046

## Profil 6845-116

Datum: 20.11.05

## Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan											
			Pyrophosphat			Oxalat			Dithionit			Gesamtgehalt		
			% Fe <sub>p</sub>	% Al <sub>p</sub>	% Mn <sub>p</sub>	% Fe <sub>o</sub>	% Al <sub>o</sub>	% Mn <sub>o</sub>	% Fe <sub>d</sub>	% Al <sub>d</sub>	% Mn <sub>d</sub>	% Fe	% Al	% Mn
4	Ah	0-5	0,37	0,18	0,050	0,33	0,05	0,038	0,83	0,10	0,000	1,53	0,33	0,088
5	Ah+Bv	5-10	0,24	0,19	0,008	0,43	0,02	0,022	0,89	0,17	0,000	1,56	0,38	0,030
6	Bv	10-16	0,19	0,22	0,000	0,47	0,14	0,009	1,03	0,36	0,000	1,69	0,72	0,009
7	Bv	16-22	0,05	0,25	0,000	0,34	0,23	0,006	1,02	0,30	0,000	1,41	0,79	0,006

Profil 6845-117

Datum: 20.11.05

## Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan											
			Pyrophosphat			Oxalat			Dithionit			Gesamtgehalt		
			% Fe <sub>p</sub>	% Al <sub>p</sub>	% Mn <sub>p</sub>	% Fe <sub>o</sub>	% Al <sub>o</sub>	% Mn <sub>o</sub>	% Fe <sub>d</sub>	% Al <sub>d</sub>	% Mn <sub>d</sub>	% Fe	% Al	% Mn
4	Ah	0-4	0,49	0,15	0,000	0,21	0,02	0,000	0,91	0,09	0,000	1,62	0,26	0,000
5	Bv	4-10	0,46	0,24	0,004	0,50	0,07	0,033	0,99	0,13	0,000	1,95	0,45	0,037
6	Bv	10-16	0,41	0,27	0,001	0,49	0,10	0,052	0,97	0,16	0,000	1,87	0,52	0,053

Profil 6845-118

Datum: 20.11.05

## Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan											
			Pyrophosphat			Oxalat			Dithionit			Gesamtgehalt		
			% Fe <sub>p</sub>	% Al <sub>p</sub>	% Mn <sub>p</sub>	% Fe <sub>o</sub>	% Al <sub>o</sub>	% Mn <sub>o</sub>	% Fe <sub>d</sub>	% Al <sub>d</sub>	% Mn <sub>d</sub>	% Fe	% Al	% Mn
3	Ah	0-4	0,34	0,15	0,045	0,39	0,05	0,055	0,92	0,12	0,000	1,65	0,32	0,100
4	AhBv	4-9	0,27	0,21	0,004	0,43	0,10	0,037	0,98	0,20	0,000	1,68	0,51	0,041

Profil 6845-119

Datum: 20.11.05

## Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan											
			Pyrophosphat			Oxalat			Dithionit			Gesamtgehalt		
			% Fe <sub>p</sub>	% Al <sub>p</sub>	% Mn <sub>p</sub>	% Fe <sub>o</sub>	% Al <sub>o</sub>	% Mn <sub>o</sub>	% Fe <sub>d</sub>	% Al <sub>d</sub>	% Mn <sub>d</sub>	% Fe	% Al	% Mn
4	Ah	0-4	0,41	0,20	0,004	0,26	0,04	0,003	0,92	0,11	0,000	1,59	0,34	0,007
5	Bv	4-8	0,40	0,17	0,000	0,55	0,08	0,014	1,10	0,13	0,000	2,05	0,38	0,014

Profil 6845-120

Datum: 20.11.05

## Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan											
			Pyrophosphat			Oxalat			Dithionit			Gesamtgehalt		
			% Fe <sub>p</sub>	% Al <sub>p</sub>	% Mn <sub>p</sub>	% Fe <sub>o</sub>	% Al <sub>o</sub>	% Mn <sub>o</sub>	% Fe <sub>d</sub>	% Al <sub>d</sub>	% Mn <sub>d</sub>	% Fe	% Al	% Mn
4	Ah	0-4	0,33	0,21	0,060	0,33	0,07	0,052	0,87	0,11	0,000	1,53	0,39	0,112
5	Bv	4-8	0,29	0,26	0,026	0,42	0,11	0,063	1,16	0,12	0,000	1,87	0,49	0,089

## Profil 6845-121

Datum: 20.11.05, 27.11.05

## Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan											
			Pyrophosphat			Oxalat			Dithionit			Gesamtgehalt		
			% Fe <sub>p</sub>	% Al <sub>p</sub>	% Mn <sub>p</sub>	% Fe <sub>o</sub>	% Al <sub>o</sub>	% Mn <sub>o</sub>	% Fe <sub>d</sub>	% Al <sub>d</sub>	% Mn <sub>d</sub>	% Fe	% Al	% Mn
4	Ah	0-4	0,40	0,18	0,003	0,25	0,04	0,005	1,14	0,08	0,000	1,78	0,30	0,008
5	Bv	4-9	0,38	0,18	0,013	0,41	0,08	0,026	0,94	0,15	0,000	1,73	0,41	0,038

## Profil 6845-122

Datum: 27.11.05

## Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan											
			Pyrophosphat			Oxalat			Dithionit			Gesamtgehalt		
			% Fe <sub>p</sub>	% Al <sub>p</sub>	% Mn <sub>p</sub>	% Fe <sub>o</sub>	% Al <sub>o</sub>	% Mn <sub>o</sub>	% Fe <sub>d</sub>	% Al <sub>d</sub>	% Mn <sub>d</sub>	% Fe	% Al	% Mn
4	Ah	0-3	0,55	0,21	0,000	0,33	0,03	0,000	0,91	0,09	0,000	1,78	0,32	0,000
5	Bv	3-8	0,44	0,21	0,005	0,44	0,05	0,013	0,90	0,14	0,000	1,78	0,40	0,018

## Profil 6845-123

Datum: 27.11.05

## Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan											
			Pyrophosphat			Oxalat			Dithionit			Gesamtgehalt		
			% Fe <sub>p</sub>	% Al <sub>p</sub>	% Mn <sub>p</sub>	% Fe <sub>o</sub>	% Al <sub>o</sub>	% Mn <sub>o</sub>	% Fe <sub>d</sub>	% Al <sub>d</sub>	% Mn <sub>d</sub>	% Fe	% Al	% Mn
3	Ah	0-1	0,38	0,13	0,000	0,23	0,01	0,000	0,70	0,04	0,000	1,32	0,17	0,000
4	Bv	1-3	0,40	0,18	0,001	0,37	0,03	0,020	0,79	0,12	0,000	1,57	0,32	0,021

## Profil 6845-124

Datum: 27.11.05

## Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan											
			Pyrophosphat			Oxalat			Dithionit			Gesamtgehalt		
			% Fe <sub>p</sub>	% Al <sub>p</sub>	% Mn <sub>p</sub>	% Fe <sub>o</sub>	% Al <sub>o</sub>	% Mn <sub>o</sub>	% Fe <sub>d</sub>	% Al <sub>d</sub>	% Mn <sub>d</sub>	% Fe	% Al	% Mn
4	Ah	0-5,5	0,43	0,21	0,022	0,20	0,01	0,000	0,76	0,08	0,000	1,39	0,30	0,022
5	Bv	5,5 +	0,31	0,27	0,000	0,43	0,08	0,021	1,04	0,20	0,000	1,78	0,55	0,021

Profil 6845-125

Datum: 27.11.05

## Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan											
			Pyrophosphat			Oxalat			Dithionit			Gesamtgehalt		
			% Fe <sub>p</sub>	% Al <sub>p</sub>	% Mn <sub>p</sub>	% Fe <sub>o</sub>	% Al <sub>o</sub>	% Mn <sub>o</sub>	% Fe <sub>d</sub>	% Al <sub>d</sub>	% Mn <sub>d</sub>	% Fe	% Al	% Mn
4	Ah	0-2	0,46	0,17	0,000	0,16	0,08	0,000	0,53	0,01	0,000	1,15	0,26	0,000

Profil 6845-126

Datum: 27.11.05

## Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan											
			Pyrophosphat			Oxalat			Dithionit			Gesamtgehalt		
			% Fe <sub>p</sub>	% Al <sub>p</sub>	% Mn <sub>p</sub>	% Fe <sub>o</sub>	% Al <sub>o</sub>	% Mn <sub>o</sub>	% Fe <sub>d</sub>	% Al <sub>d</sub>	% Mn <sub>d</sub>	% Fe	% Al	% Mn
4	Ah	0-1	0,40	0,20	0,000	0,13	0,01	0,000	0,66	0,05	0,000	1,20	0,25	0,000
5	Bv	1 +	0,45	0,23	0,006	0,53	0,08	0,023	1,11	0,18	0,000	2,10	0,49	0,029

Profil 6845-127

Datum: 27.11.05, 4.12.05

## Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Sequentielle Extraktion von pedogenem Eisen, Aluminium und Mangan											
			Pyrophosphat			Oxalat			Dithionit			Gesamtgehalt		
			% Fe <sub>p</sub>	% Al <sub>p</sub>	% Mn <sub>p</sub>	% Fe <sub>o</sub>	% Al <sub>o</sub>	% Mn <sub>o</sub>	% Fe <sub>d</sub>	% Al <sub>d</sub>	% Mn <sub>d</sub>	% Fe	% Al	% Mn
4	Ah	0-3	0,52	0,20	0,014	0,44	0,05	0,016	1,01	0,10	0,000	1,96	0,35	0,030
5	Bv	3 +	0,26	0,22	0,000	0,53	0,11	0,031	1,14	0,23	0,000	1,94	0,56	0,031

<sup>137</sup>Cs-Werte im Gebiet Drähberg 1

Probe-Nr.	Geometrie (ml)	Probemenge (g)	Probeentnahme (Datum)	Messung (Datum)	Live-Time (s)	Aktivität <sup>137</sup> Cs (Bq/kg)
100/1	kautex50weit	11,13	23.06.2005	21.07.2005	86400	375
100/2	kautex100weit	19,95	23.06.2005	25.07.2005	13407	2152
100/3	kautex50weit	29,51	23.06.2005	26.07.2005	8461	1886
100/5	kautex50weit	38,52	23.06.2005	19.12.2005	86400	132
101/1	kautex100weit	23,35	23.06.2005	01.08.2005	78759	242
101/2	kautex100weit	39,52	23.06.2005	29.08.2005	6845	1794
101/3	kautex100weit	57,45	23.06.2005	28.07.2005	3621	2196
101/4	kautex50weit	42,64	23.06.2005	29.07.2005	7761	902
101/5	kautex50weit	30,21	23.06.2005	15.11.2005	17895	566
101/6	kautex50weit	38,81	23.06.2005	15.11.2005	24279	329
102/1	kautex50weit	16,77	23.06.2005	05.08.2005	86400	175
102/2	kautex100weit	28,42	23.06.2005	25.08.2005	7882	2182
102/3	kautex100weit	53,21	23.06.2005	27.07.2005	3041	2890
102/4	kautex50weit	37,95	23.06.2005	31.08.2005	5459	1519
102/5	kautex20weit	13,36	23.06.2005	22.11.2005	17389	926
102/6	kautex50weit	45,30	23.06.2005	20.12.2005	86400	100
103/1	kautex100weit	28,01	23.06.2005	31.08.2005	86400	199
103/2	kautex100weit	27,76	23.06.2005	30.08.2005	8846	2047
103/3	kautex50weit	41,65	23.06.2005	08.09.2005	2671	2792
103/4	kautex20weit	11,97	23.06.2005	29.08.2005	11155	1675
103/5	kautex50weit	42,09	23.06.2005	24.12.2005	73027	236
104/1	kautex100weit	28,32	23.06.2005	05.09.2005	71767	233
104/2	kautex100weit	29,31	23.06.2005	08.09.2005	10154	1698
104/3	kautex50weit	35,41	23.06.2005	09.09.2005	4909	1800
104/4	kautex50weit	36,78	23.06.2005	28.12.2005	63716	394
104/5	kautex50weit	38,11	23.06.2005	02.01.2006	81587	207
104/6	kautex50weit	44,09	23.06.2005	05.01.2006	86400	57
105/1	kautex100weit	22,75	23.06.2005	06.09.2005	86400	238
105/2	kautex100weit	27,86	23.06.2005	29.09.2005	15460	1168
105/3	kautex100weit	34,97	23.06.2005	21.07.2005	11488	2285
105/4	kautex50weit	37,22	23.06.2005	02.08.2005	7016	1175
105/5	kautex50weit	29,40	23.06.2005	07.01.2006	29871	789
105/6	kautex50weit	39,84	23.06.2005	11.01.2006	86400	125
105/7	kautex50weit	42,61	23.06.2005	18.01.2006	86400	34
106/1	kautex100weit	25,52	23.06.2005	19.09.2005	86400	188
106/2	kautex100weit	20,08	23.06.2005	07.10.2005	26322	864
106/3	kautex100weit	31,94	23.06.2005	12.09.2005	7443	2142
106/4	kautex20weit	32,37	23.06.2005	21.10.2005	22925	282
107/1	kautex100weit	24,50	23.06.2005	06.10.2005	72382	252
107/2	kautex100weit	30,28	23.06.2005	25.10.2005	9930	1789
107/3	kautex100weit	59,92	23.06.2005	01.07.2005	10216	1084
108/1	kautex100weit	24,97	23.06.2005	24.10.2005	71698	271
108/2	kautex100weit	43,70	23.06.2005	09.11.2005	5147	2296
108/3	kautex100weit	69,92	23.06.2005	28.07.2005	7966	814
109/1	kautex100weit	21,55	23.06.2005	27.11.2005	85040	274
109/2	kautex100weit	26,50	23.06.2005	11.11.2005	14586	1436
109/3	kautex100weit	25,66	23.06.2005	20.07.2005	16407	1760
109/4	kautex50weit	21,38	23.06.2005	27.07.2005	8668	1507
110/1	kautex100weit	20,99	23.06.2005	21.10.2005	86400	210
110/2	kautex100weit	31,41	23.06.2005	21.10.2005	6861	2270
110/3	kautex100weit	50,36	23.06.2005	12.09.2005	3631	2744
111/1	kautex100weit	20,14	23.06.2005	21.10.2005	86400	201
111/2	kautex100weit	23,96	23.06.2005	17.10.2005	17970	1250
111/3	kautex100weit	27,07	23.06.2005	20.10.2005	10081	2235
111/4	kautex50weit	36,99	23.06.2005	19.10.2005	5940	1665
112/1	kautex100weit	24,91	23.06.2005	07.10.2005	48694	174
112/2	kautex100weit	29,29	23.06.2005	24.08.2005	5861	2963
112/3	kautex100weit	53,01	23.06.2005	22.08.2005	7190	1301
113/1	kautex100weit	27,63	23.06.2005	13.09.2005	84912	200
113/2	kautex100weit	32,37	23.06.2005	10.10.2005	14376	1041
113/3	kautex100weit	26,71	23.06.2005	27.10.2005	14487	1291
113/4	kautex50weit	37,50	23.06.2005	13.11.2005	3526	2367
113/5	kautex50weit	41,00	23.06.2005	21.01.2006	45953	420
113/6	kautex50weit	38,91	23.06.2005	24.01.2006	86400	229
113/7	kautex50weit	34,80	23.06.2005	28.01.2006	86400	30

<sup>137</sup>Cs-Werte im Gebiet Drähberg 2

Probe-Nr.	Geometrie (ml)	Probemenge (g)	Probenentnahme (Datum)	Messung (Datum)	Live-Time (s)	Aktivität <sup>137</sup> Cs (Bq/kg)
114/1	kautex100weit	24,95	31.06.2005	28.10.2005	86400	89
114/2	kautex20weit	12,13	31.06.2005	23.09.2005	16440	1117
114/3	kautex20weit	14,96	31.06.2005	14.09.2005	5728	2399
114/4	kautex100weit	72,91	31.06.2005	15.12.2005	11729	1261
114/5	kautex100weit	67,95	31.06.2005	10.03.2006	39213	302
114/6	kautex100weit	78,70	31.06.2005	13.03.2006	45673	255
115/1	kautex100weit	23,68	31.06.2005	09.11.2005	86400	96
115/2	kautex50weit	32,63	31.06.2005	02.08.2005	5412	1818
115/3	kautex50weit	31,47	31.06.2005	14.09.2005	4506	2177
115/4	kautex100weit	62,13	31.03.2005	14.03.2006	12266	1146
116/1	kautex100weit	25,95	31.06.2005	16.09.2005	86400	64
116/2	kautex100weit	38,07	31.06.2005	02.08.2005	4729	2652
116/3	kautex50weit	36,14	31.06.2005	04.08.2005	2292	3825
117/1	kautex100weit	30,58	31.06.2005	15.11.2005	86400	59
117/2	kautex100weit	47,07	31.06.2005	03.08.2005	3158	3314
117/3	kautex20weit	16,48	31.06.2005	17.11.2005	5241	2613
118/1	kautex100weit	19,73	31.06.2005	01.12.2005	86400	93
118/2	kautex50weit	36,95	31.06.2005	15.09.2005	2717	3236
119/1	kautex100weit	27,30	31.06.2005	09.12.2005	86400	94
119/2	kautex100weit	48,30	31.06.2005	27.09.2005	3663	2860
119/3	kautex100weit	71,74	31.06.2005	03.08.2005	1526	4294
120/1	kautex100weit	27,78	31.06.2005	01.11.2005	86400	58
120/2	kautex100weit	39,20	31.06.2005	05.12.2005	14016	1770
120/3	kautex100weit	73,20	31.06.2005	17.11.2005	1616	4145
121/1	kautex100weit	30,75	31.06.2005	15.12.2005	86400	119
121/2	kautex50weit	21,49	31.06.2005	26.07.2005	7092	1997
121/3	kautex50weit	37,64	31.06.2005	04.12.2005	8263	2286
122/1	kautex100weit	22,46	31.06.2005	14.07.2005	86400	111
122/2	kautex100weit	44,44	31.06.2005	26.09.2005	3210	3309
122/3	kautex50weit	38,65	31.06.2005	04.08.2005	2057	3929
123/1	kautex100weit	21,00	31.06.2005	06.03.2006	86400	73
123/2	kautex20weit	10,97	31.06.2005	18.07.2005	5227	3216
123/3	kautex20weit	26,50	31.06.2005	22.11.2005	4090	2116
123/4	kautex20weit	18,51	31.06.2005	22.11.2005	75676	157
124/1	kautex100weit	23,42	31.06.2005	07.03.2006	86400	60
124/2	kautex100weit	23,79	31.06.2005	06.12.2005	86400	401
124/3	kautex50weit	31,39	31.06.2005	15.09.2005	3736	2624
124/4	kautex50weit	30,01	31.06.2005	28.11.2005	11541	1947
125/1	kautex100weit	25,37	31.06.2005	08.03.2006	86400	91
125/2	kautex100weit	29,15	31.06.2005	27.09.2005	81215	203
125/3	kautex100weit	53,94	31.06.2005	06.12.2005	3586	4938
126/1	kautex100weit	18,51	31.06.2005	04.08.2005	86400	90
126/2	kautex100weit	25,17	31.06.2005	15.07.2005	22920	655
126/3	kautex100weit	63,45	31.06.2005	06.12.2005	3135	4950
127/1	kautex100weit	23,56	31.06.2005	19.07.2005	86400	80
127/2	kautex100weit	28,76	31.06.2005	08.12.2005	66584	465
127/3	kautex100weit	89,12	31.06.2005	03.08.2005	2383	2212
127/4	kautex20weit	21,19	31.06.2005	27.11.2005	27470	388
127/5	kautex100weit	80,19	31.06.2005	23.11.2005	86400	17

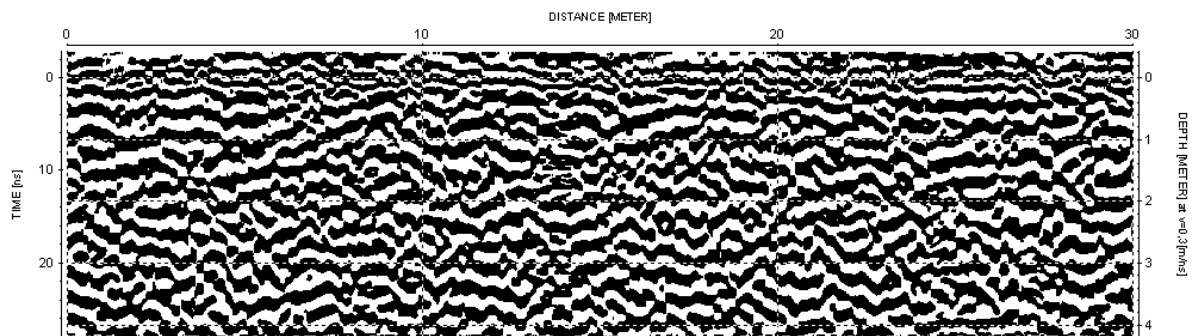


Nummer	Klasse	Bq/cm2	Zufallszahlen						Zufallszahlen nach Klassen verteilt (Klasse 1 *5 / Klasse 2 * 3 / Klasse 3 * 2)						
			1,5,7,10,11,1 3,20,22,23,25	5,6,7,8,9,11, 22,24,26,32	2,5,8,9,11,14 15,20,26,30	2,7,8,11,15,22 23,29,32	3,4,6,8,10,12,1 6,19,22,24		1,6,7,10,11,1 3,14,16,23,26	3,5,7,8,10,11,1 4,15,19,31	3,4,9,11,12,14 15,17,25,32	1,2,8,9,10,11,1 3,16,22,31	2,4,7,8,10,11,1 4,15,21,27		
1	Klasse 1	0,79	0,79							0,79				0,79	
2		1,66			1,66	1,66								1,66	1,66
3		2,76						2,76			2,76	2,76			
4		1,42						1,42				1,42			1,42
5		2,78	2,78		2,78	2,78					2,78				
6		2,05			2,05				2,05	2,05					
7	Klasse 2	1,73	1,73	1,73			1,73			1,73	1,73				1,73
8		1,45		1,45	1,45	1,45	1,45			1,45			1,45	1,45	1,45
9		0,54		0,54	0,54							0,54	0,54		
10		2,25	2,25					0,54	2,25	2,55			2,25	2,25	
11		1,66	1,66	1,66	1,66	1,66			1,66	1,66	2,25	1,66	1,66	1,66	
12		3,00						3,00			3,00				
13		2,22	2,22						2,22				2,22		
14		0,93			0,93				0,93	0,93	0,93				0,93
15		0,54			0,54	0,54					0,54	0,54			0,54
16		2,59						2,59	2,59					2,59	
17		3,37					3,37					3,37			
18	Klasse 3	2,60													
19		3,74						2,60			3,74				
20		2,21	2,21		2,21										
21		2,88													2,88
22		2,48	2,48	2,48			2,48	2,48					2,48		
23		2,92	2,92					2,92		2,92					
24		1,74		1,74				1,74							
25		0,61	0,61									0,61			
26		1,88		1,88	1,88				1,88						
27		3,24													3,24
28		2,06													
29		4,62					4,62								
30		2,27			2,27										
31		2,03									2,03			2,70	
32		2,70		2,70			2,70					2,70			
33		2,61													
			19,65	19,02	15,94	23,12	20,64		19,03	20,16	18,13	18,35	17,77		
		Bq/cm2	1,97	1,90	1,59	2,31	2,06		1,90	2,02	1,81	1,83	1,78		

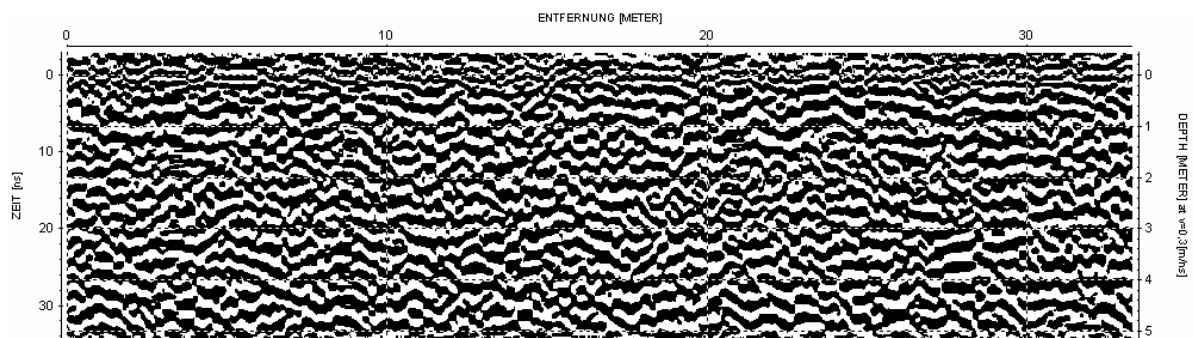
Auszug aus den Versuchsreihen mit zufällig verteilten Stichproben / Untersuchungsgebiet Garmisch-Partenkirchen

## Radargramme des Untersuchungsareals Garmisch-Partenkirchen

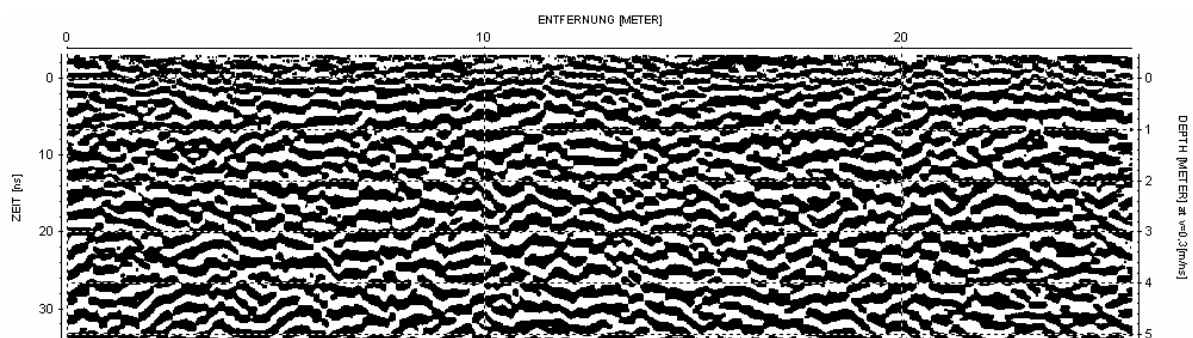
## GPR-Testlinie



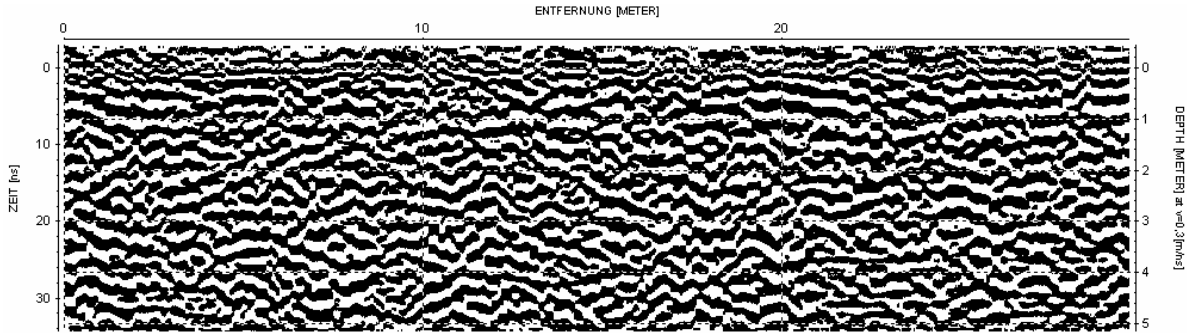
## GPR-Linie 1



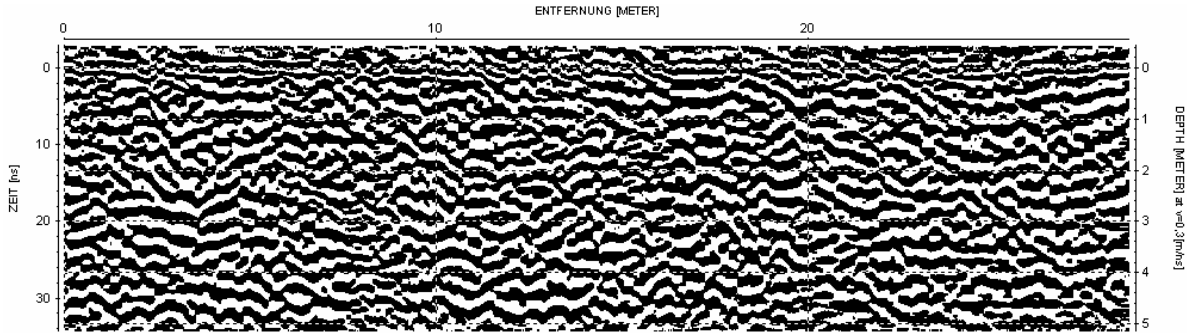
## GPR-Linie 2



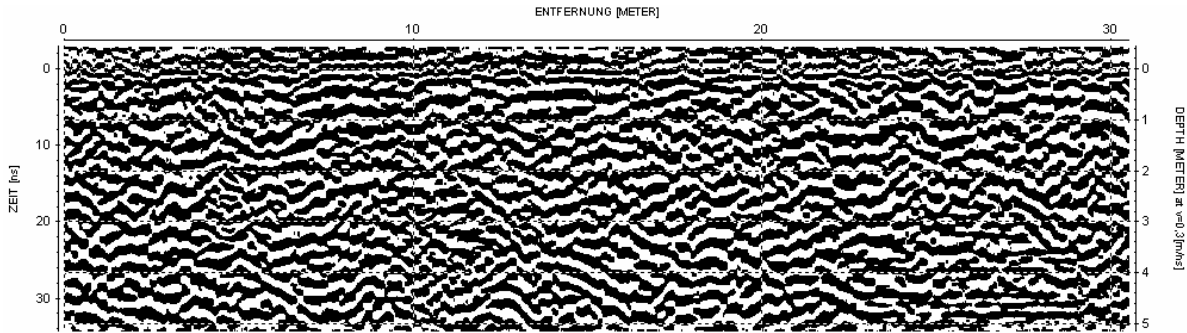
GPR-Linie 3



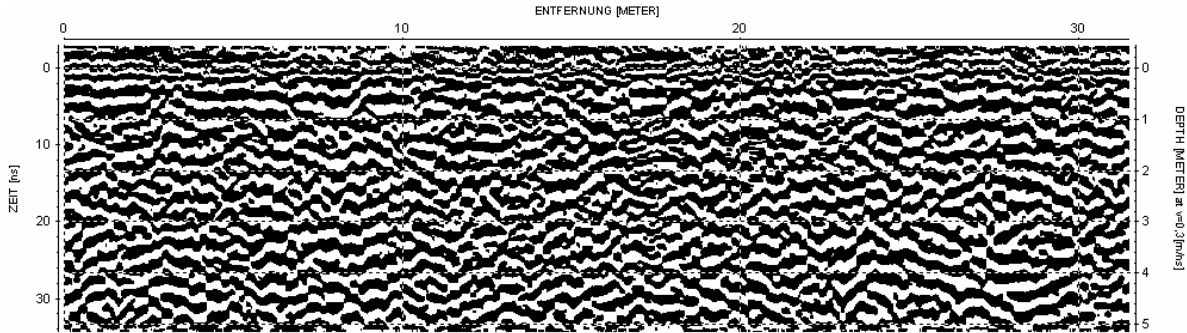
GPR-Linie 4



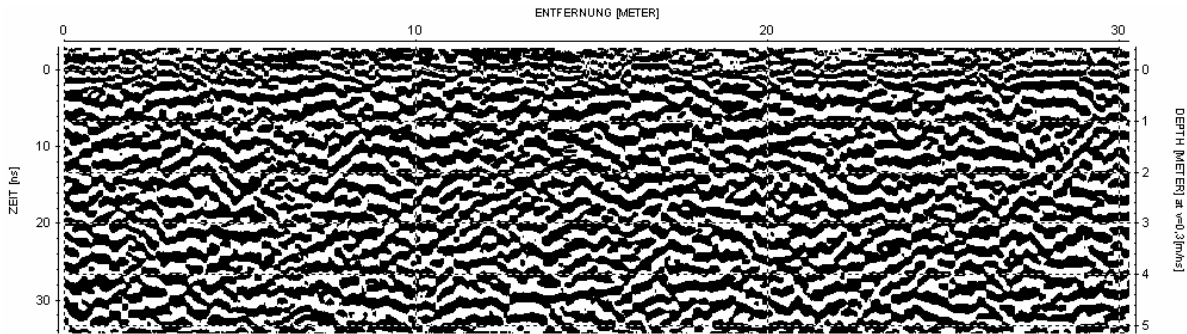
GPR-Linie 5



GPR-Linie 6

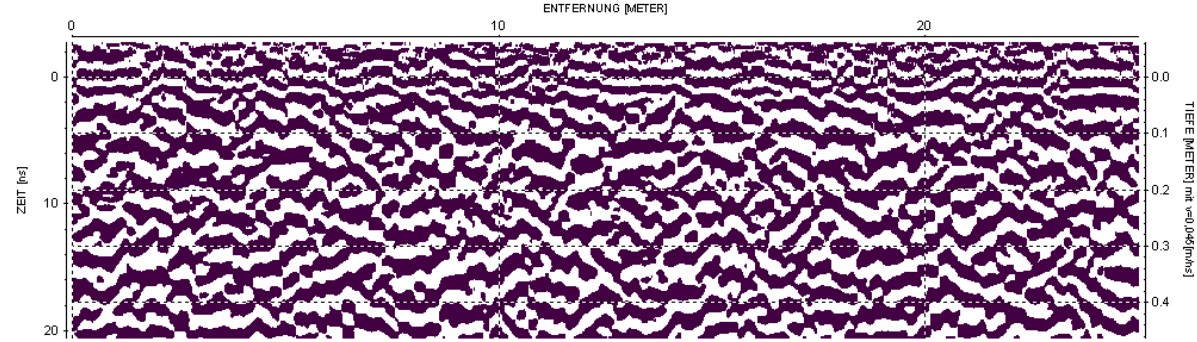


GPR-Linie 7

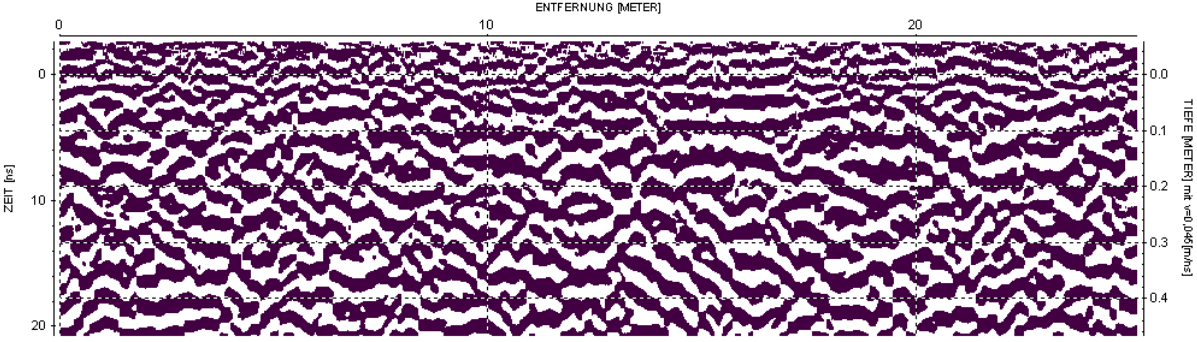


Radargramme des Untersuchungsareals Beiwand 1 im Mangfallgebirge

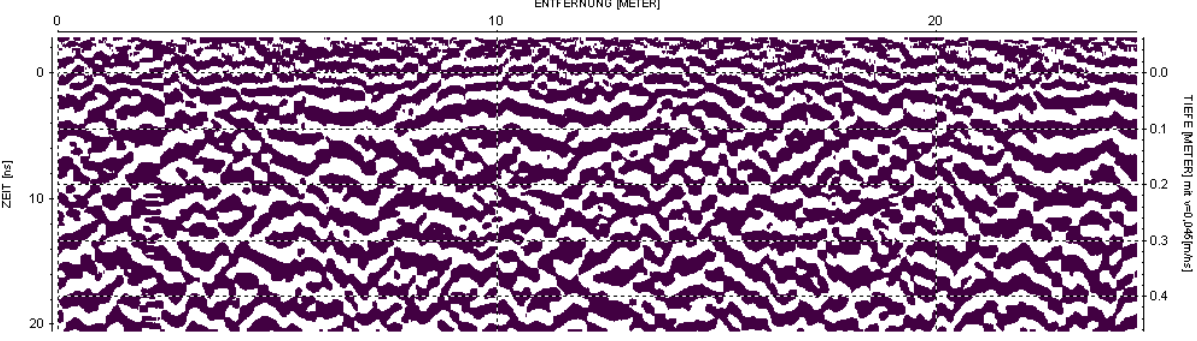
GPR-Linie 1



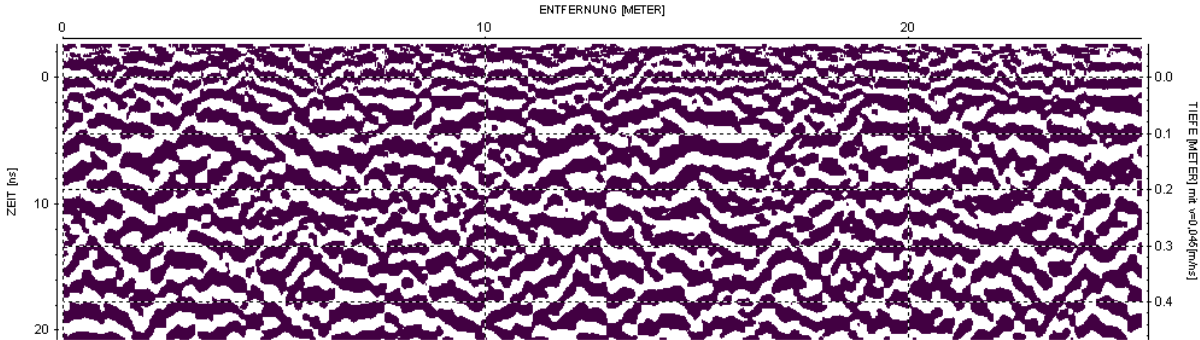
GPR-Linie 2



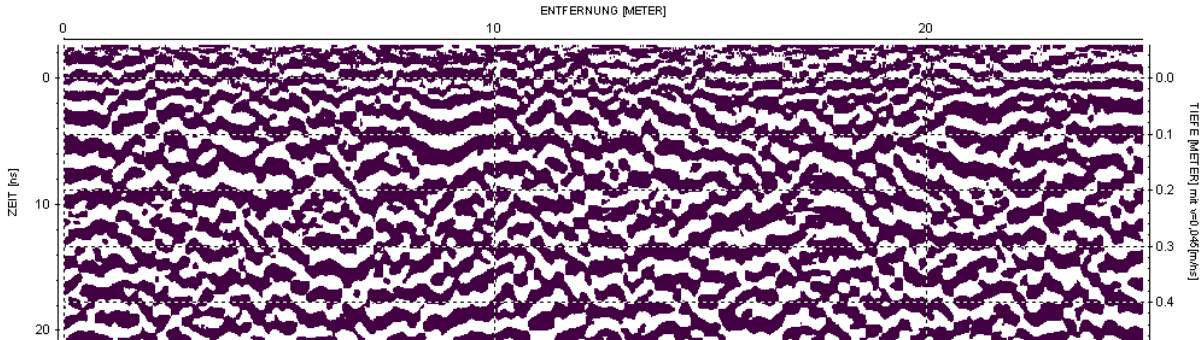
GPR-Linie 3



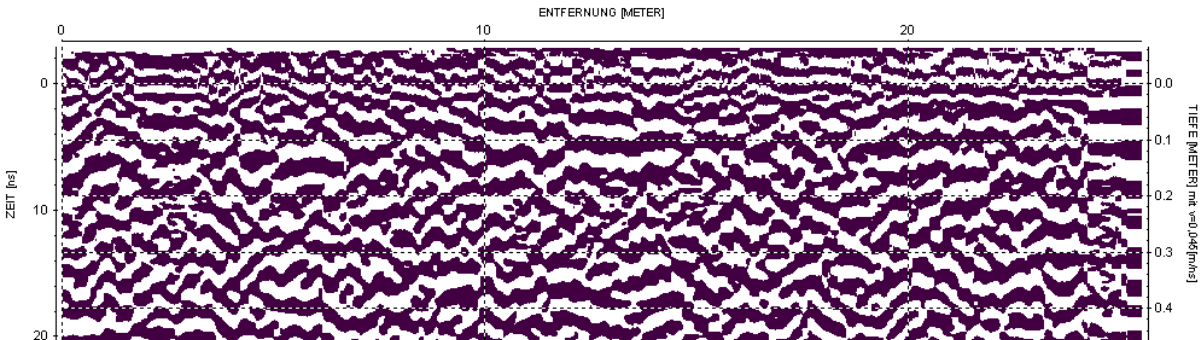
GPR-Linie 4



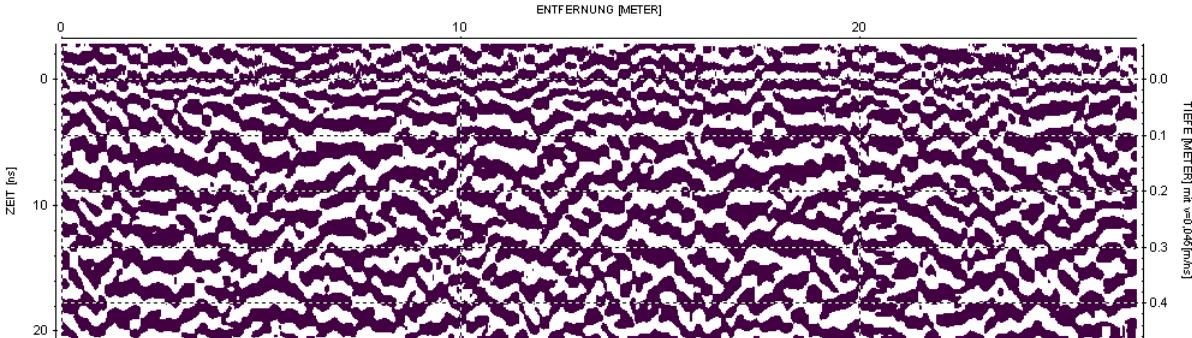
GPR-Linie 5



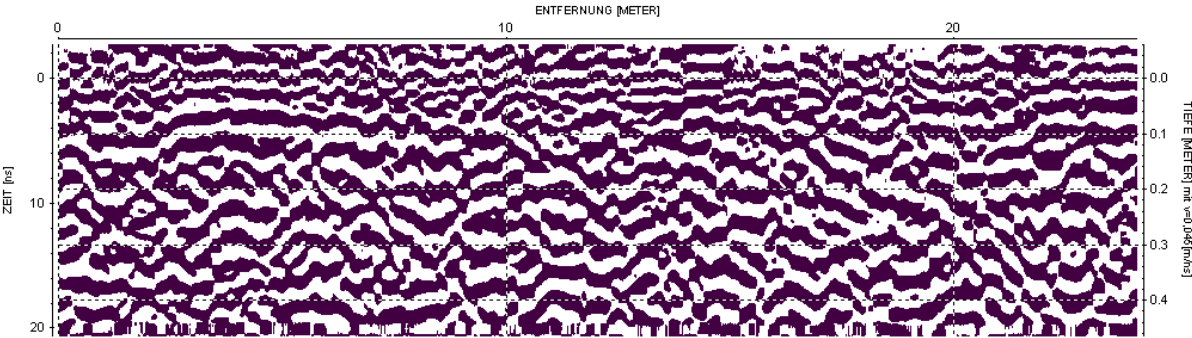
GPR-Linie 6



GPR-Linie 7

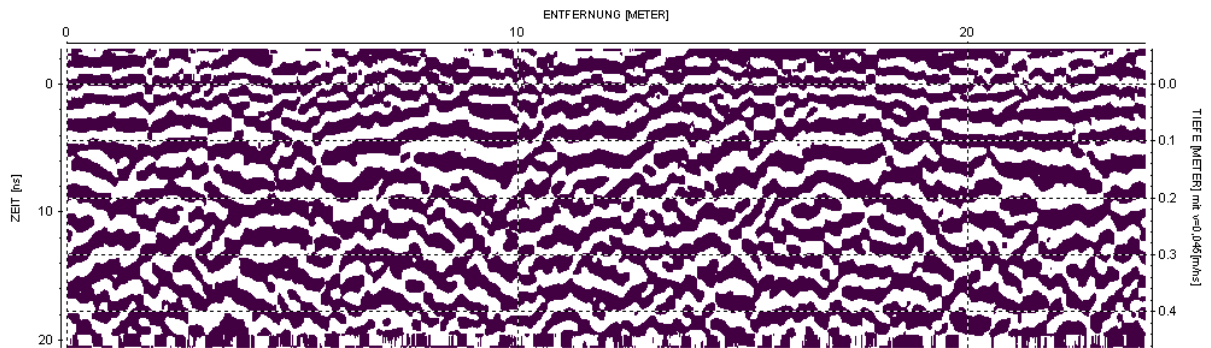


GPR-Linie 8 (Eichlinie)

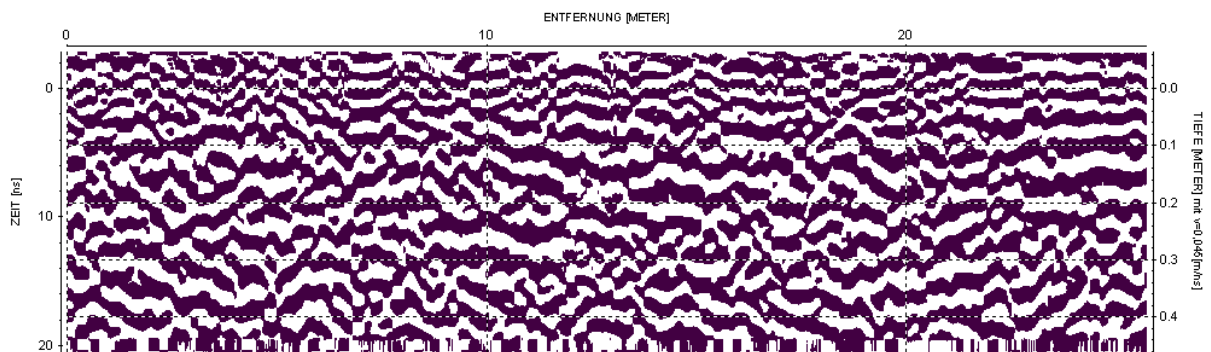


## Radargramme des Untersuchungsareals Beiwand 2 im Mangfallgebirge

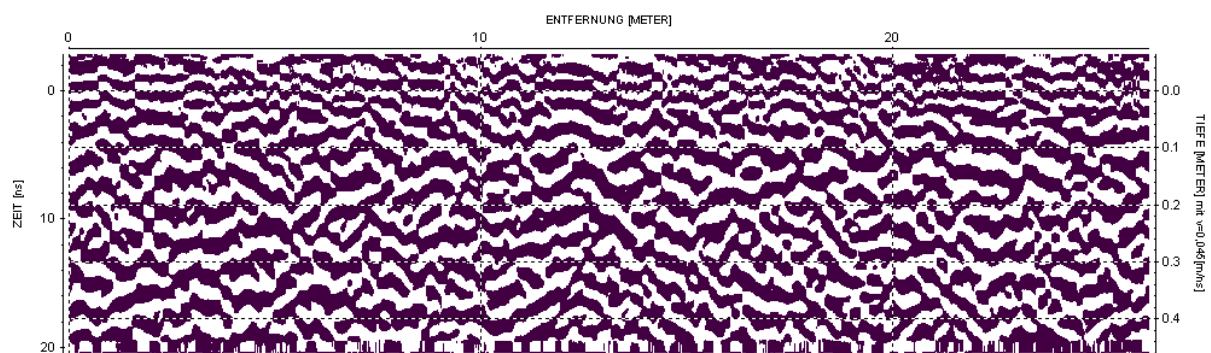
GPR-Linie 1



GPR-Linie 2

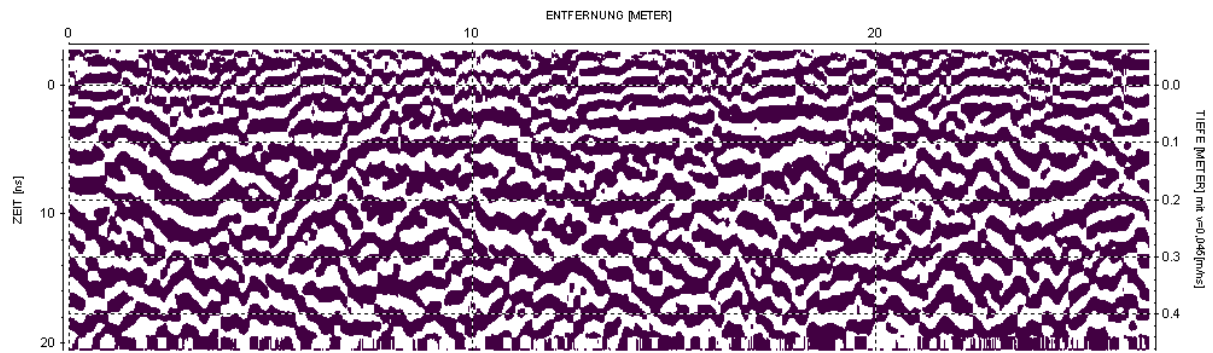


GPR-Linie 3

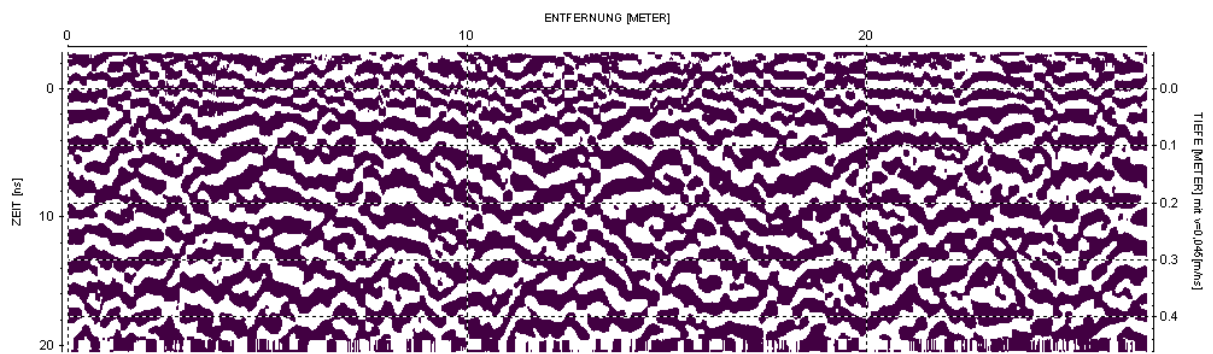




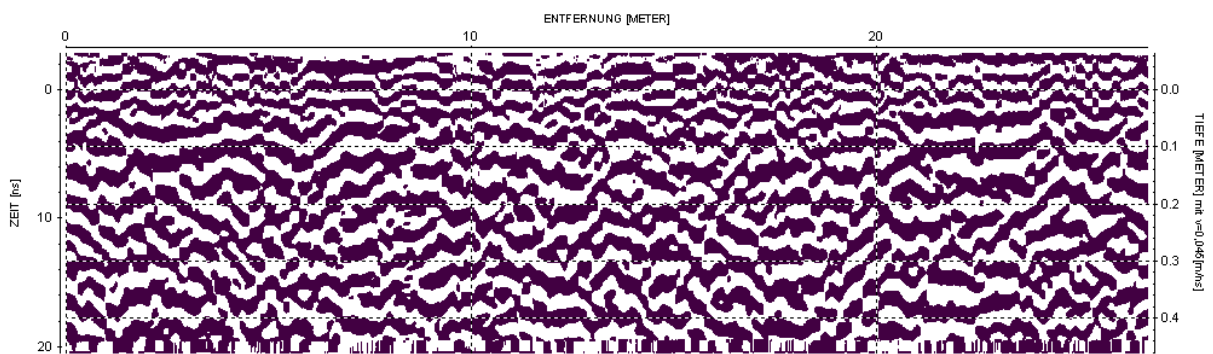
GPR-Linie 4



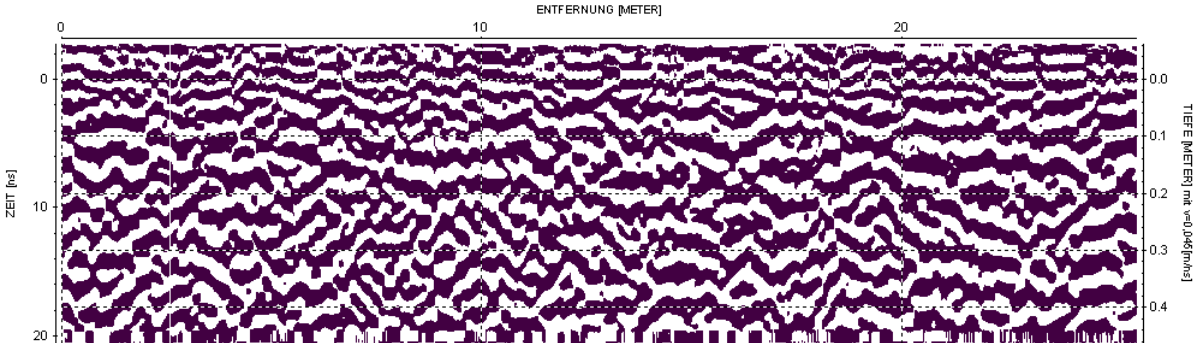
GPR-Linie 5



GPR-Linie 6

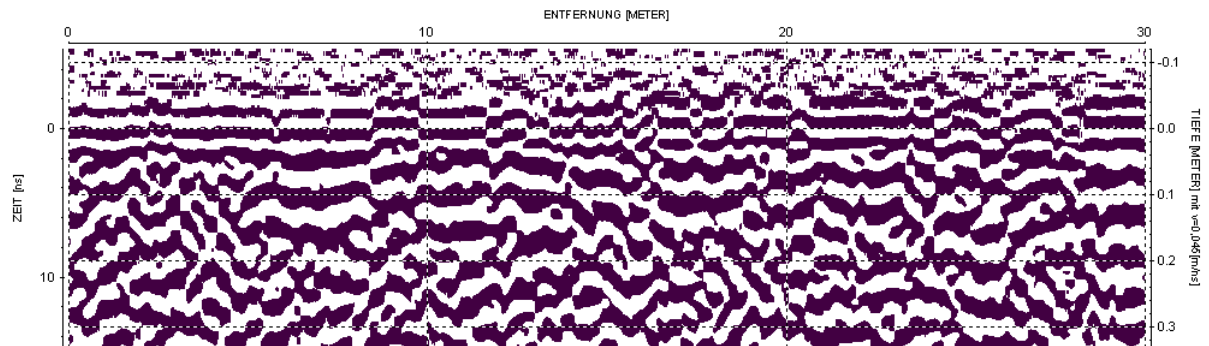


GPR-Linie 7 (Eichlinie)

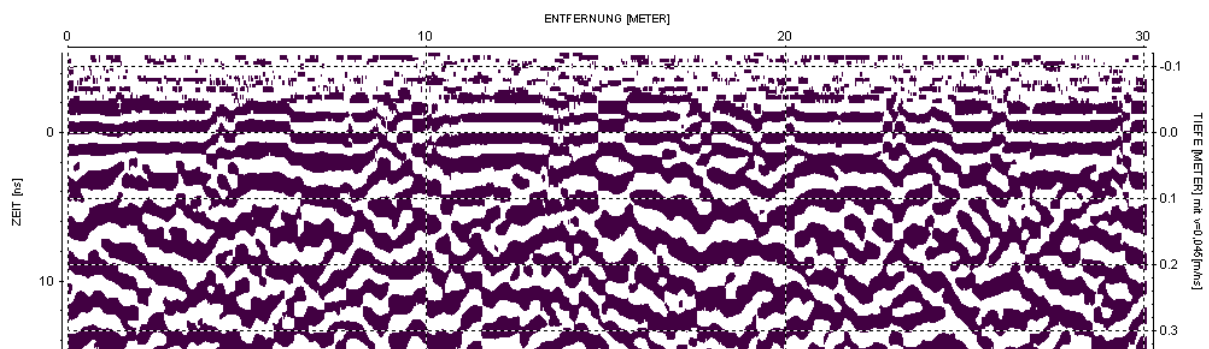


## Radargramme des Untersuchungsareals Drähberg 1 im Bayerischen Wald

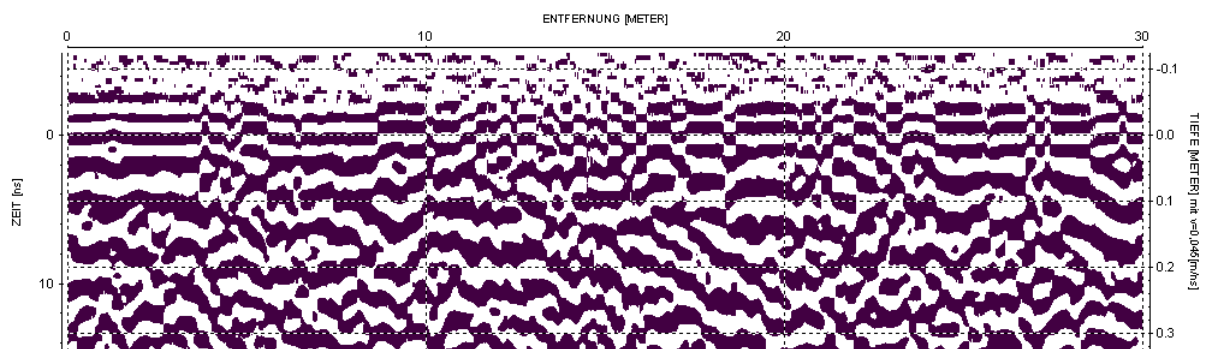
GPR-Linie 1



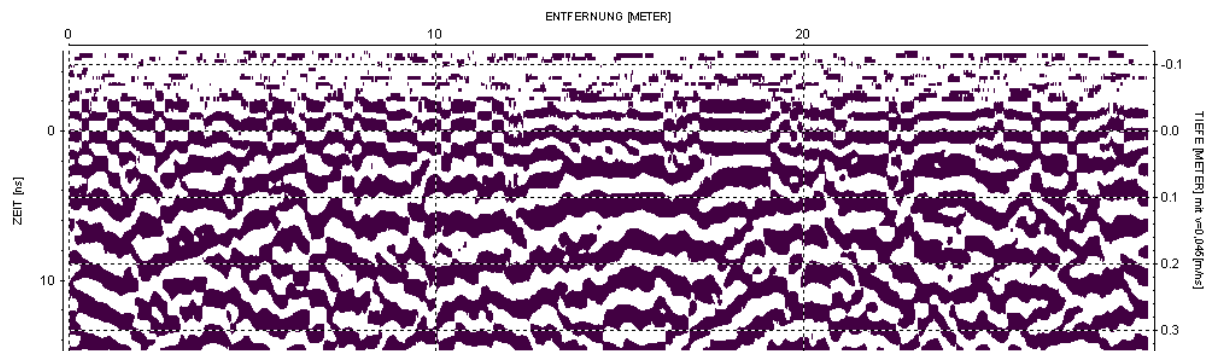
GPR-Linie 2



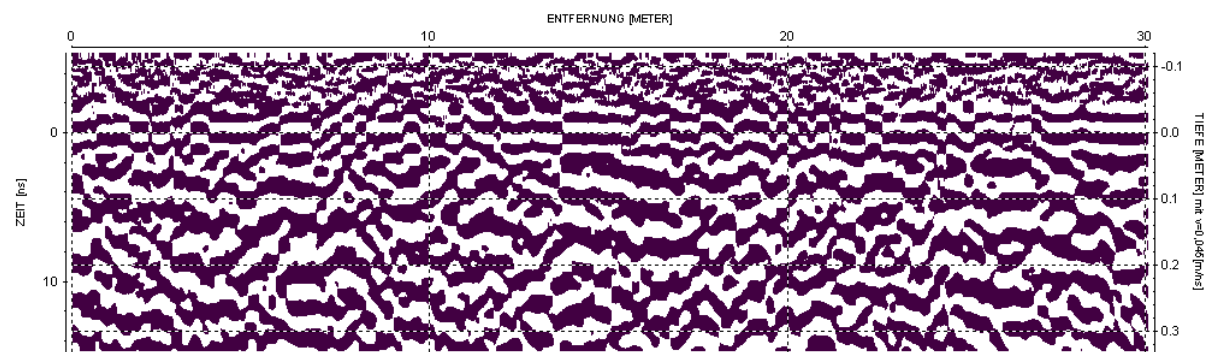
GPR-Linie 3



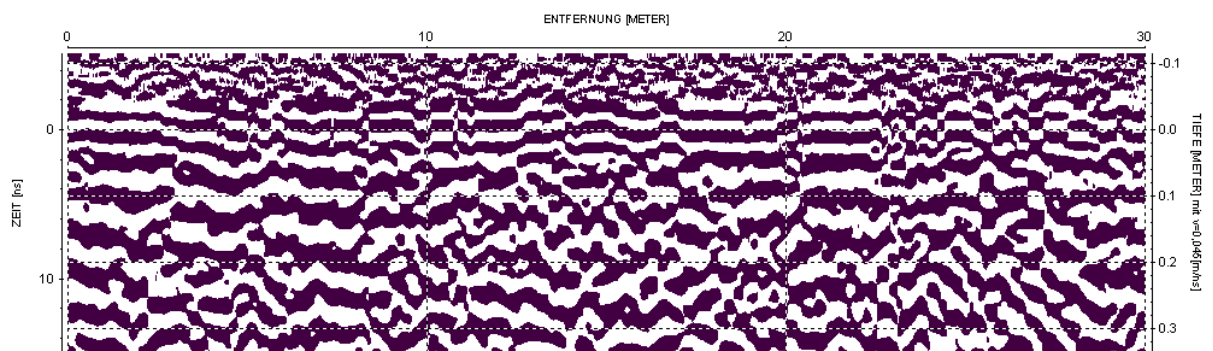
## GPR-Linie 4 (Eichlinie)



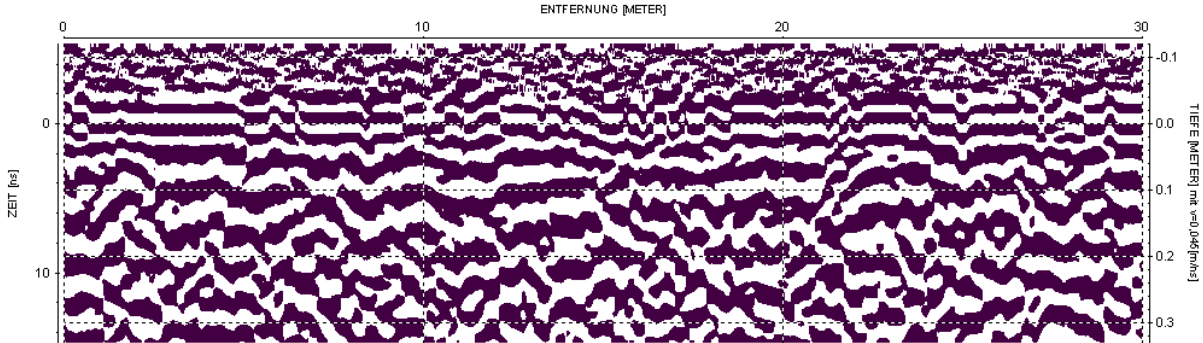
## GPR-Linie 5



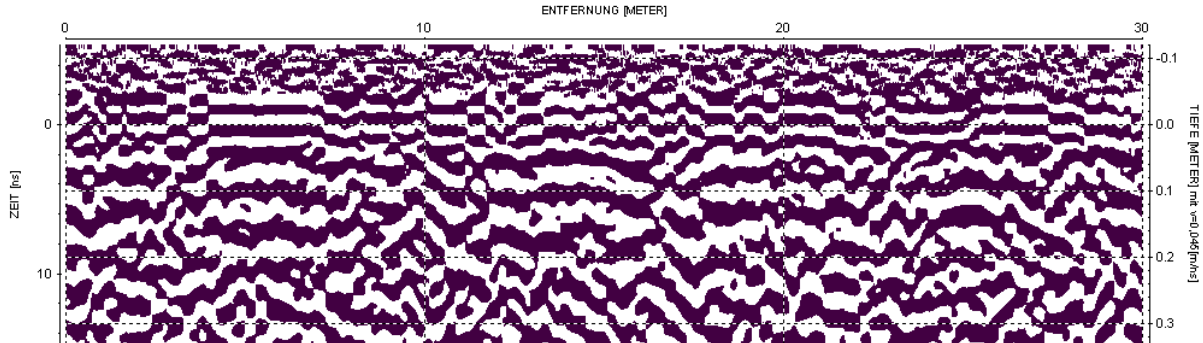
## GPR-Linie 6



GPR-Linie 7

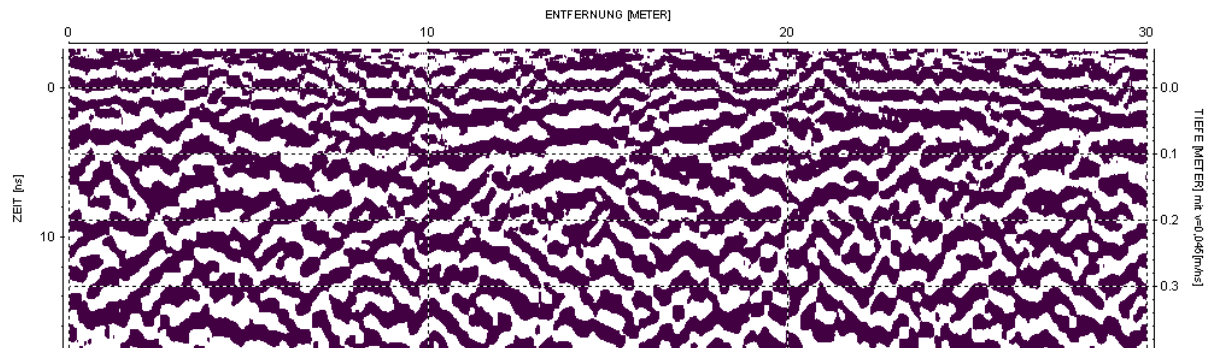


GPR-Linie 8

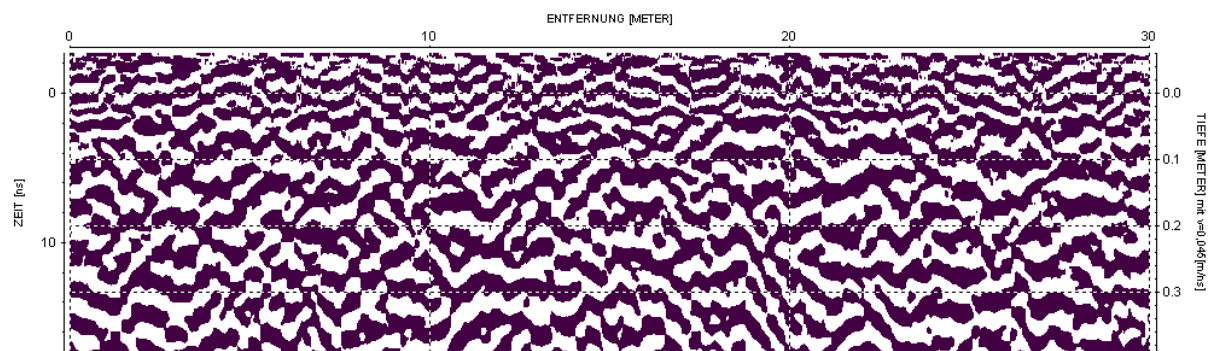


## Radargramme des Untersuchungsareals Drähberg 2 im Bayerischen Wald

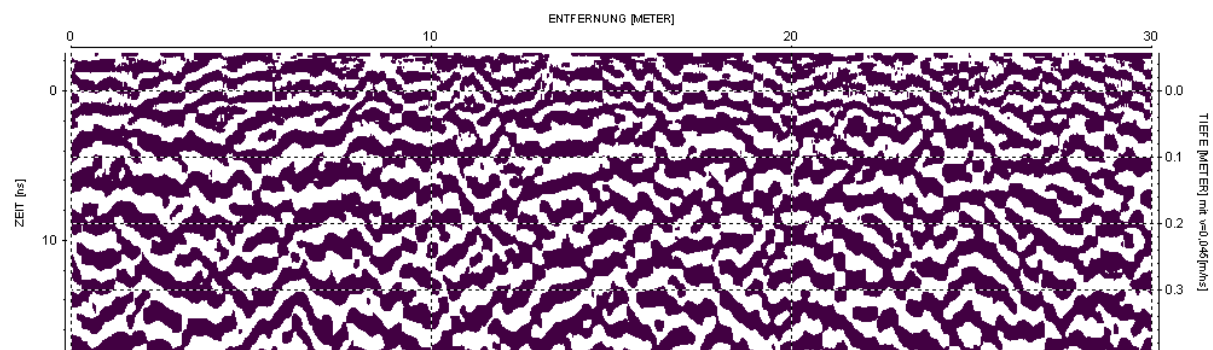
GPR-Linie 1



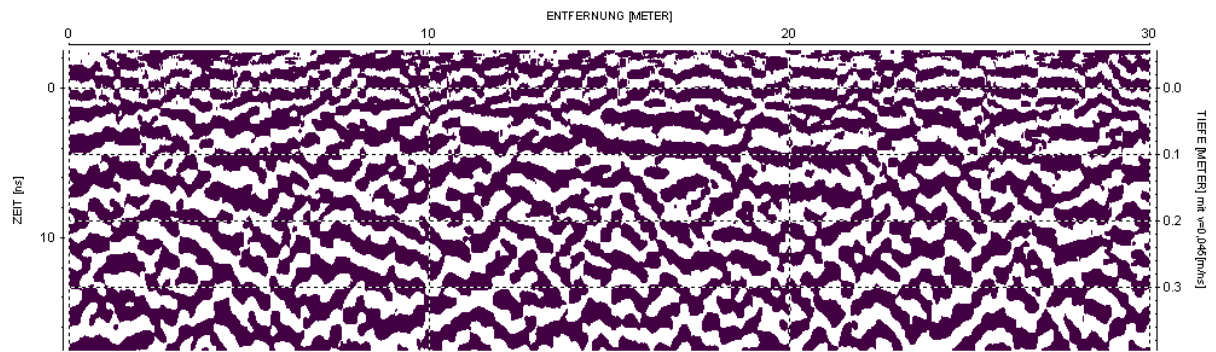
GPR-Linie 2



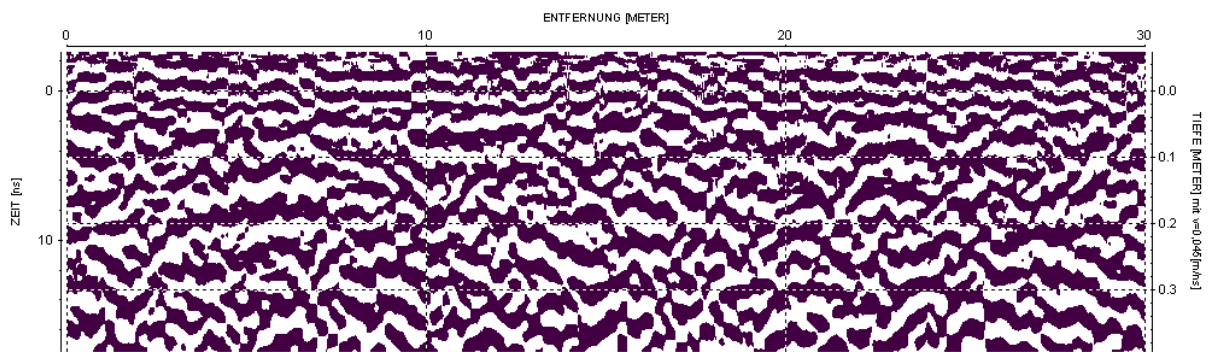
GPR-Linie 3



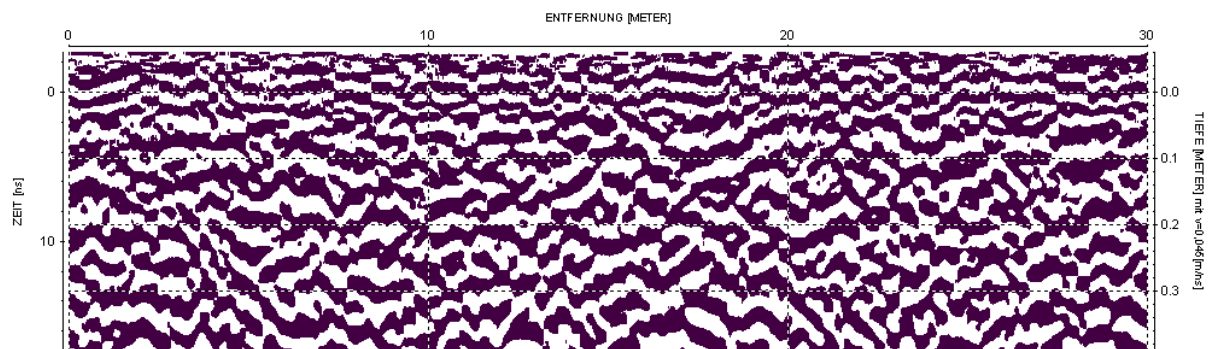
## GPR-Linie 4



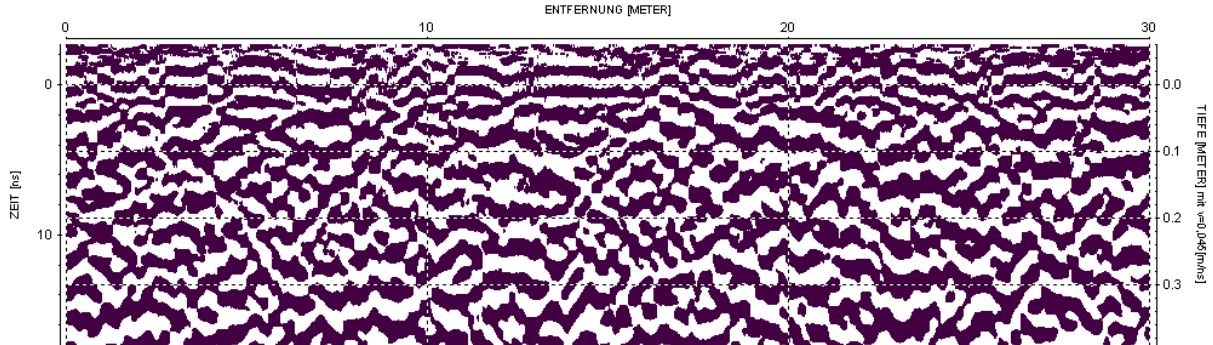
## GPR-Linie 5



## GPR-Linie 6 (Eichlinie)



GPR-Linie 7



GPR-Linie 8

