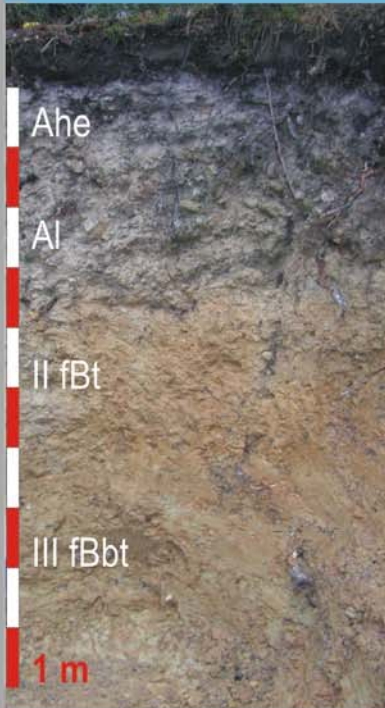
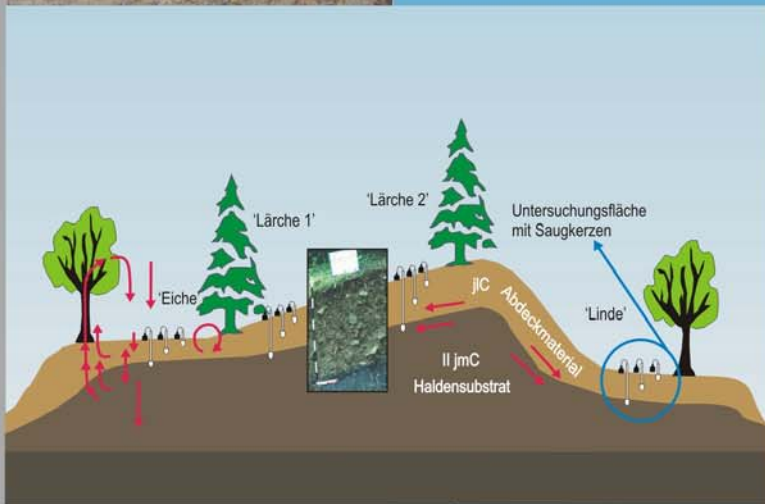


Bodenkunde Landschaftsökologie Quartärforschung

Regensburger Beiträge zur



**Bioverfügbarkeit von Radiocäsium
in unterschiedlichen naturräumlichen
Einheiten Bayerns**



Jörg VÖLKEL

2002

Band

1

ISBN - 3-88246-254-X



Regensburger Beiträge zur Bodenkunde, Landschaftsökologie und Quartärforschung

Herausgegeben von JÖRG VÖLKELE

Band 1

VÖLKELE, JÖRG

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium in unterschiedlichen naturräumlichen Einheiten Bayerns

2002

Diese Arbeit wurde im Jahr 2002 dem Bayerischen Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU) München als Abschlußbericht zum Projekt "Bioverfügbarkeit von Radiocäsium in unterschiedlichen naturräumlichen Einheiten Bayerns" vorgelegt.

ISBN - 3-88246-254-X

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 Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU)
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

Sekretariat: +49 (0)941 / 943-5033

e-mail: joerg.voelkel@geographie.uni-regensburg.de

Abschlußbericht im Forschungsvorhaben

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium in unterschiedlichen naturräumlichen Einheiten Bayerns

im Auftrag des

Bayerischen Staatsministeriums

für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU)

München

gemäß Bewilligungsschreiben vom 18.10.99, Az: 96d-8803.03-1999/3 Dok 1

durchgeführt an der Universität Regensburg, AG Landschaftsökologie und Bodenkunde

von Univ.-Prof. Dr.rer.nat. Jörg VÖLKELE

unter Mitarbeit von Dipl.-Geogr. Matthias LEOPOLD und Dipl.-Geogr. Barbara BRUCKMOSER

Regensburg, 9. Dezember 2002

Inhaltsverzeichnis

Universität Regensburg	1
Inhaltsverzeichnis	2
Abbildungsverzeichnis	5
1 Aufgabenstellung	6
2 Stand der Forschung	6
3 Voraussetzungen zur Durchführung der Arbeiten im Rahmen des Projektes	10
4 Planung und Ablauf der Arbeiten	10
5 Methoden	11
5.1 Bodenbeprobung	11
5.2 Pflanzenbeprobung	12
5.3 Physikochemische Standardwerte am Boden	12
5.4 Gammaskopimetrische Messung an Boden- und Pflanzenproben	15
5.4.1 Kalibration des Gammaskopimeters	15
5.4.2 Routinemessungen	16
5.5 Organische Substanz	16
5.5.1 Allgemeines	16
5.5.2 Zusammenfassung und Ausblick	17
5.5.3.1 Methode	18
5.5.3.2 Extraktionsversuche	18
5.5.4 Dichtentrennung	20
5.5.4.1 Prinzip und Methode	20
5.5.4.2 Vorgehensweise	22
5.5.4.3 Fraktionierungsversuche	24
5.5.4.4 Interpretation und Fazit	28
6 Ergebnisse	29
6.1 Darstellung der unterschiedlichen naturräumlichen Gegebenheiten der Untersuchungsgebiete (Auswahl von Naturraum und Standort)	29

6.1.1 Donau-Isar-Hügelland (hier: Regensburger Lößhügelland)	29
6.1.1.1 Naturraum.....	29
6.1.1.2 Standortauswahl.....	31
6.1.2 Würzburger Raum.....	32
6.1.2.1 Naturraum.....	32
6.1.2.2 Standortauswahl.....	34
6.1.3 Hinterer Bayerischer Wald	35
6.1.3.1 Naturraum.....	35
6.1.3.2 Standortauswahl.....	36
6.1.4 Bayerische Kalkalpen.....	37
6.1.4.1 Naturraum / Mangfallgebirge	37
6.1.4.2 Standortauswahl.....	38
6.1.4.3 Naturraum / Wettersteingebirge	39
6.1.4.4 Standortauswahl.....	40
6.2 Vergleichende Darstellung charakteristischer pedologischer Grundparameter der Untersuchungsgebiete.....	40
6.2.1 Aziditätsmilieu	40
6.2.3 Kationenaustauschkapazität	43
6.2.4 Zwischenrésumée	47
6.2.5 Bodeneigene Tonminerale	47
6.2.6 Zwischenrésumée	50
6.3 Vertikalverteilung von ¹³⁷ Cs in den Böden der unterschiedlichen Untersuchungs- gebiete 50	
6.3.1 Zwischenrésumée	52
6.4 Gravitative Fraktionierung der L- und O-Horizonte ausgewählter Profile	53
6.5 Verteilung von ¹³⁷ Cs in Tangelhumusauflagen der Bayerischen Kalkalpen	55
6.6 Darstellung der ¹³⁷ Cs-Verteilung im Höhenprofil von Garmisch-Partenkirchen	59
7 Zusammenfassende Diskussion der Ergebnisse	61
8 Praxisrelevanz der Ergebnisse und Zusammenfassung	63

9 Literatur66

10 Datenanhang

A.1 Profilbeschreibungen

A.2 ¹³⁷Cs-Werte

A.3 Bodenanalytik

Abbildungsverzeichnis

<i>Abb. 1a</i> Masse- und Aktivitätsanteile in den Fraktionen von 6845-E0/L, Of, Oh, 0-5 cm (1996).....	26
<i>Abb. 1b:</i> Masse- und Aktivitätsanteile der Fraktionen in den Proben 6845-E0/L, Of, Oh, 0-5 cm (1996).	27
<i>Abb. 2</i> Aktivitätsanteile in O-Horizonten.....	28
<i>Abb. 3</i> Lage der Untersuchungsgebiete: 1 Bayerischer Wald, 2 Muschelkalkrücken bei Würzburg, 3 Donau-Isar-Hügelland, 4 Garmisch-Partenkirchen, 5 Mangfallgebirge.	30
<i>Abb. 4</i> Gegenüberstellung der Kaliumversorgung und der Bioverfügbarkeit von ¹³⁷ Cs in den einzelnen Untersuchungsgebieten.	44
<i>Abb. 5</i> Die Belastung der Organischen Horizonte und Mineralboden Horizonte aller Untersuchungsgebiete im Überblick. (Boxplot mit Median, 10 %, 25 %, 50 % und 90 % Perzentil)	51
<i>Abb. 6</i> Verteilung der ¹³⁷ Cs-Belastung in gravitativ abgetrennte Klassen Profil 8338-6.....	53
<i>Abb. 7</i> Verteilung der ¹³⁷ Cs-Belastung in gravitativ abgetrennte Klassen Profil 8338-16.....	53
<i>Abb. 8</i> Verteilung der ¹³⁷ Cs-Belastung in gravitativ abgetrennte Klassen Profil 8532-2.....	54
<i>Abb. 9</i> Verteilung der ¹³⁷ Cs-Belastung in gravitativ abgetrennte Klassen Profil 7039-7b.....	54
<i>Abb. 10</i> Darstellung der ¹³⁷ Cs-Belastung in der Tangelhumusauflage aus Profil 8338-26 in Bayrischzell.	57
<i>Abb. 11</i> Darstellung der ¹³⁷ Cs-Belastung in der Tangelhumusauflage aus Profil 8532-6 in Garmisch- Partenkirchen	57
<i>Abb. 12</i> Darstellung der ¹³⁷ Cs-Belastung in der Tangelhumusauflage aus Profil 8532-7 in Garmisch- Partenkirchen	58
<i>Abb. 13</i> ¹³⁷ Cs Belastung organischer und mineralischer Bodenhorizonte in Abhängigkeit der Höhenlage.	60

Tabellenverzeichnis

<i>Tab. 1</i> Parameter der Extraktionsversuche.....	20
<i>Tab. 2</i> Fraktionierung eines rohumusartigen Moder-Profiles der Parzelle E0 auf der Testfläche E am Drähberg, Bayerisch Eisenstein.....	24
<i>Tab. 3</i> Untersuchungsgebiete im Hinteren Bayerischen Wald und in den Nördlichen Kalkalpen.	33
<i>Tab. 4</i> Untersuchungsgebiet Bayerische Kalkalpen / Garmisch-Partenkirchen.	33
<i>Tab. 5</i> Untersuchungsgebiete im Donau-Isar-Hügelland und auf den Muschelkalkhöhen im Würzburger Raum.	34
<i>Tab. 6</i> Geologisch-sedimentologische Grundeinheiten im Untersuchungsgebiet Garmisch- Partenkirchen.	39
<i>Tab. 7</i> Überblick zum Tonmineralbestand der Untersuchungsgebiete als potentieller Bindungspartner für ¹³⁷ Cs.	49
<i>Tab. 8</i> Vergleichende Darstellung der minimalen und maximalen ¹³⁷ Cs-Belastung verschiedener Bodenhorizonte und Pflanzen in den unterschiedlichen Untersuchungsarealen.	50

1 Aufgabenstellung

Ziel des Vorhabens ist es, die Bioverfügbarkeit des durch den Reaktorunfall von Tschernobyl freigesetzten Radiocäsiums in den Waldböden unterschiedlicher naturräumlicher Einheiten Bayerns in Abhängigkeit von den physikochemischen Eigenschaften der bodenbildenden Substrate (Ausgangsgesteine) unter besonderer Berücksichtigung der organischen Bodensubstanz darzustellen. Da der Einfluß unterschiedlicher Gesteine (Lithotypen) wiederum vor allem vom Relief und vom Regionalklima abhängig ist, gehen auch diese Parameter über die Auswahl unterschiedlicher naturräumlicher Einheiten in die Untersuchung ein. Ebenfalls berücksichtigt werden die Einflüsse der Bestockungsart. Die im Falle von radiologischen Ereignissen besonders depositionsgefährdeten Gebirgslagen bilden mit den beiden Untersuchungsräumen **Bayrischzell** und **Garmisch-Partenkirchen** unter insgesamt fünf für Bayern repräsentativen Lithotypen einen ersten Standortpool. Hinzu kommen zwei weitere für Bayern typische naturräumliche Einheiten der niederschlagsärmeren und sommerwarmen Schichtstufen- und Hügelländer in Form bewaldeter Muschelkalkrückten Unterfrankens im **Raum Würzburg** und des **Donau-Isar-Hügellandes im Raum Regensburg**. Desweiteren dient ein typischer Mittelgebirgsstandort im **Bayerischen Wald** mit grundlegend konträren geologischen Voraussetzungen (hier kristallines Grundgebirge) als Vergleichsgebiet. Die Bioverfügbarkeit von Radiocäsium wird auf den jeweiligen Standorten anhand direkter sowie indirekter Verfahren erarbeitet. Dazu zählen einerseits Extraktionsversuche bzw. Dichtentrennungen an der organischen Substanz unter Darstellung der Gehalte an Radiocäsium und teils antagonistisch wirkenden Makronährelementen wie Kalium. An standorttypischen Profilen werden über die röntgenographische Charakterisierung der Phyllosilikate der Tonfraktion (sog. Tonminerale) Bewertungen zu einer möglichen mittelfristigen Speicherkapazität des ^{137}Cs an mineralische Komponenten gegeben. Desweiteren werden über die Vertikalverteilung von Radiocäsium im Bodenprofil und die Gehalte in der auf dem Standort stockenden Vegetation die entsprechenden Transferfaktoren vor dem Hintergrund unter anderem der gesteinsbedingten standörtlichen Varianz dargestellt. Nicht zuletzt wird der Einfluß der für die jeweiligen Regionen spezifischen Humusart vor dem Hintergrund beleuchtet, inwieweit diese unmittelbar die Bioverfügbarkeit von Radiocäsium steuert.

2 Stand der Forschung

Der allgemeine Stand der Forschung die Problematik von Radionukliden aus dem Tschernobyl-Fallout in Zentraleuropa beziehungsweise in Bayern betreffen ist unter anderem in Form eines umfassenden Literaturverzeichnisses sowie unter Auswertung der eigenen Befunde in den Forschungsberichten der Arbeitsgruppe des Auftragnehmers Prof. Dr. J. Völkel an das Bayerische Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (BayStMLU) dargelegt (vgl.

VÖLKELE 1997 sowie VÖLKELE 1998a,b, 1999). Die vorgenannten Quellen erfassen den Stand des Wissens und der entsprechenden Methoden im Rahmen radioökologischer Untersuchungen am Boden in großer Breite. Neue Literatur grundlegender Art, welche die Verteilung und Mobilität von Radiocäsium in Waldökosystemen behandeln würde, ist uns nicht bekannt. Bezüglich der engeren Problematik im Rahmen des hier zum Bericht vorliegenden Auftrages ist die Arbeitsgruppe der Universität Regensburg um Prof. Dr. J. Völkel unserer Kenntnis nach derzeit die einzige, die sich mit Fragen der Verteilung, der Speicherung und Mobilität sowie der Bioverfügbarkeit von Radiocäsium wissenschaftlich auch im Sinne eines Arealvergleiches innerhalb Bayerns befaßt.

Internetrecherchen zeigen, daß das Thema einer nach wie vor gegebenen radioaktiven Belastung unter anderem von Pilzen, weiteren Waldfrüchten, Holz sowie von Wildfleisch weder in der Presse noch in der Öffentlichkeit bei Seite gelegt wurde. Das verdeutlichen zahlreiche Artikel. Dabei sind der absoluten Strahlenbelastung durch Radiocäsium aus dem Tschernobyl-Fallout noch vergleichsweise viele Publikationen gewidmet. Bezüglich der Verteilung und der Wirkungsmechanismen des Cäsiums im Ökosystem „Boden“ bestehen indes immer noch große Wissens- bzw. Publikationslücken. Teils sind die Informationen auch fehlerhaft beziehungsweise falsch. Wie oberflächlich das Wissen um Radionuklide in Böden allgemein und um das Tschernobyl-Cäsium im Besonderen ist, zeigt auch die jüngste Überarbeitung des allgemein anerkannten Lehrbuches der Bodenkunde (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 2002, 434ff.) und die dort angegebene Literatur. Die stets allgemein formulierten Aussagen zur Bioverfügbarkeit von Tschernobyl-bürtigem Radiocäsium (^{137}Cs) vermeiden jede Festlegung und lassen die vorhandene Problematik einer nach wie vor nicht zurückgehenden Cs-Belastung von Pflanzen und Tieren in Forstökosystemen bei durchaus sinkender Ortsdosisleistung gar nicht erkennen.

Exemplarisch werden im Folgenden einige weitere Arbeiten der vergangenen fünf Jahre bezüglich der Gültigkeit ihrer Ergebnisse diskutiert. Unter anderen beschreibt HECHT (1996) das Verhalten von Radiocäsium im Boden und führt an: „... bei pH-Werten von über 5,5 – also im schwach sauren bis alkalischen Milieu – wird Cäsium in ton- und humushaltigen Böden physikalisch so fest an die Humus- und Tonteilchen gebunden, daß es von den Wurzeln der meisten Pflanzenarten nicht mehr aufgenommen werden kann.“ Frühere Arbeiten im Auftrag des BayStMLU durch unsere Arbeitsgruppe mußten diese Aussage bereits in Zweifel ziehen und widerlegen. Wie nun auch die Ergebnisse im Rahmen des hier berichtspflichtigen BayStMLU-Untersuchungsauftrages zeigen werden, kann die Feststellung HECHTS insbesondere in den durchaus hoch belasteten Gebieten der nördlichen Kalkalpen beziehungsweise im Voralpenraum weder vom Prinzip her noch hinsichtlich einer Verallgemeinerungsfähigkeit aufrechterhalten werden. Auf die vom Aziditätsmilieu her sehr viel ungünstigeren Verhältnisse in den

meisten bayerischen Böden und unter anderem in Hochbelastungsgebieten wie denen im Bayerischen Wald bezieht sich die Feststellung HECHTS ja ohnehin nicht. Als Beispiel vorab dient eines unserer Profile aus dem Untersuchungsareal bei Bayrischzell (Profil- und Standort-Nr. 8338-10), welches mit pH-Werten von 5,1 bis 7,0 (L-, Of- und Mineralbodenhorizonte) deutlich über pH 5,5 liegt. Trotz des günstigen Bodenaziditätsmilieus wird an Moosen, die auf diesem Standort wachsen, aktuell eine Belastung von 2.437 Bq/kg (TG) gemessen. Das gilt auch für die Umgebung dieses Profils, in welcher das Aziditätsmilieu der Böden sogar im Alkalischen liegt und die Böden zudem ausgesprochen ton- und humusreich sind. Ohne an dieser Stelle des Berichtes weiterführende Untersuchungsergebnisse anzuführen, läßt sich die hohe Bioverfügbarkeit von Radiocäsium vor Ort trotz bester Voraussetzungen für eine vermeintlich Immobilisierung bereits über die radioökologisch bedenkliche Belastung der Krautschicht nachweisen.

In anderen Publikationen der jüngsten Zeit wird das Thema Boden ebenfalls sehr generalisierend abgehandelt. Meist mangelt es an den einfachsten bodenkundlichen Fachkenntnissen. Im Informationsbericht des Bundesamtes für Strahlenschutz (BFS 2001, vgl. <http://www.bfs.de/info/themen/st0102/st0102.htm>) wird immerhin zwischen Humus und Mineralboden unterschieden. Völlig unberücksichtigt bleibt jedoch, daß auch diese beiden ökologisch getrennten Bereiche mit ihren hochwirksamen physikochemischen Grenzschichten und deren Verläufen äußerst variabel aufgebaut sind und allein hinsichtlich ihrer horizontalen Verbreitung eine extreme Heterogenität aufweisen, welche ihre jeweiligen Eigenschaften erheblich variieren lassen. Auch wird ignoriert, daß der Boden ein System ist, welches hinsichtlich seiner physikochemischen Eigenschaften (z.B. pH-Wert, Kationenanteile, Wassergehalte etc.) jahreszeitlich erheblichen Schwankungen unterworfen ist. Die Aussage im vorgenannten BFS-Bericht (2001) „*Cäsium bleibt also in einen sehr wirkungsvollen Nährstoffkreislauf eingebunden und kann deshalb kaum in die mineralischen Bodenschichten abwandern, wo es, ähnlich wie auf landwirtschaftlichen Böden, durch Tonminerale fixiert werden könnte*“ trifft in letzter Konsequenz nur sehr bedingt zu. Denn völlig außer Acht gelassen wird die Wirkung der organischen Substanz und organomineralischer Komplexe im mineralischen Ober- und Unterboden (u.a. A- und B-Horizonte). Bereits das Beispiel der organomineralischen Komplexe mit Tonmineralen als den wichtigen mineralischen Bestandteilen zeigt aus der Sicht unserer Ergebnisse, daß die Art und damit korrelierend das Speicher- und Bindungsvermögen von Tonmineralen als Bestandteile der Tone in den untersuchten Arealen durchaus sehr unterschiedlich ist. Im Bereich des Donau-Isar-Hügelland hätte die im BFS-Bericht formulierte Aussage Gültigkeit. Die auf karbonatreichen Lössen entwickelten Parabraunerden weisen in ihrer Tonfraktion, welche in den tonangereicherten Bt-Horizonten Anteile von bis zu 40 % hat, bindungs- und reaktionsfreudige Illite sowie quellfähige Vermiculite und Smectite auf. In den alpinen Gebieten beispielsweise bei Bayrisch Zell hingegen liegt eine andere Tonmineraltypologie vor. Denn dort trifft man auf die typischen

Residualtone der karbonatischen Lösungsverwitterung als Bestandteile der Mineralbodenhorizonte. Trotz ebenfalls karbonatischer Ausgangsgesteine und entsprechend günstigen Redoxmilieus im Boden ist die Tonmineralart in Form von Chloriten und deren Wechsellagerungsmineralen für eine mittelfristige Bindung von Cäsiumionen ungleich schlechter geeignet. Das gilt im übrigen für die meisten Böden in den weitläufigen Waldlandschaften Bayerns und auch ganz Deutschlands.

Eine Arbeitsgruppe der Baden-Württembergischen Fachhochschule Ravensburg-Weingarten hat sich in den letzten Jahren interessanterweise verstärkt mit dem Verhalten von Radiocäsium in Seen beschäftigt (vgl. z.B. KLEMT et al. 2001). In diesem Zusammenhang werden randlich auch Studien zur Verteilung und zum Transfer von Radiocäsium in Fichtenforsten Baden-Württembergs bekannt gemacht. Was zunächst nach einer guten Vergleichsmöglichkeit unserer Ergebnisse aussieht, erweist sich indes als weitgehend unbrauchbar. Grund ist die unzureichende Klassifikation und Charakterisierung der organischen Auflagenhorizonte und der Mineralbodenhorizonte. Schneller Zugriff auf die Ergebnisse der FH Ravensburg-Weingarten ist möglich unter <http://www.fh-weingarten.de/iaf/projekte/stra/bio.htm>. Dort ist ein Diagramm abgebildet, welches die typische Vertikalverteilung von Radiocäsium in einem Fichtenforst zeigen soll (vgl. in Publikationsform auch DRISSNER et al. 1998: 22). Die Mineralbodenhorizonte (hier B1 und B2 genannt) sind der Studie zufolge bis in eine Tiefenstufe von etwa 8 cm erstaunlicherweise stärker belastet als der humusreiche Oh-Horizont der organischen Auflage darüber und sogar um ein Vielfaches höher belastet als der Of-Horizont, der verallgemeinerungsfähig stets der höchstbelastete Horizont aller Bodenprofile ist (vgl. u.a. VÖLKELE 1997: 13, Abb.1 sowie die internationale Literatur). Nach DRISSNER et al. (1998: 22) sind sogar in einer Tiefenstufe des Mineralbodens von 11,1 cm noch höhere Cäsiumwerte vorhanden als in den Oh-Horizonten. Dies widerspricht auch der von den Autoren selbst publizierten Feststellung „*In these spruce stands the maxima of the caesium activity concentration are in the Oh or Ah horizons...*“ (DRISSNER et al. 1998: 28). Generell werden hier offensichtlich ganz grundlegende Kenntnisse zum Aufbau von organischer wie auch mineralischer Bodenhorizonte nicht beachtet. Die Studie stützt sich wohl zu Teilen auf die Ansprache der Bodenhorizonte auf Basis von Standortkarten des Forstes (DRISSNER et al. 1998: 27), welche aber für eine exakte Einzelbeschreibung zu ungenau sind. Eine eigenständige Profilaufnahme unter feldbodenkundlicher Kompetenz fand wohl nicht statt. So werden die Humusarten Moder und Mull, die sich im Gelände sehr deutlich anhand eines vorhandenen oder eben nicht entwickelten Oh-Horizontes unterscheiden lassen, parallel gebraucht (DRISSNER et al. 1998: table 2). In Tabelle 3 nach DRISSNER et al. (1998: 27) wird Mull sogar als typische Humusform für Fichtenforste ausgewiesen. Nun ist es aber bodenkundliches Allgemeinwissen, daß in Fichtenforsten generell Moder die typische Humusform ist, aus bodenökologischer Sicht eine sehr viel ungünstigere (vgl. z.B. SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 2002: 452f.). Die hier diskutierte Studie ist in letzter Konsequenz wertlos und zeigt, daß eine

fachgerechte Beschreibung der Auflagehorizonte und der Mineralbodenhorizonte von grundlegender Bedeutung für das Verständnis und die Interpretation der Cäsiumverteilung im vierdimensionalen Naturkörper Boden ist.

Aus der Sicht von Wissens- und Forschungslücken auf radioökologischem Gebiet ist dieser Umstand von ganz allgemeiner Bedeutung. Jedes Monitoring, jede Trendstatistik, jede Prognose zur Bioverfügbarkeit steht und fällt mit der korrekten bodenkundlichen Standortaufnahme und mit den Methoden, welche die Punktinformation aussagetreu in die Fläche umzusetzen vermögen. Hierzu besteht bei unserer Arbeitsgruppe besondere Kompetenz, die wir über das berichtspflichtige Projekt hinaus gerne in Form einer Handlungsvorgabe für Ämter, Behörden u.d.m. ausarbeiten würden. Der Stand der Forschung zeigt, daß diesbezüglich nichts Entsprechendes vorgelegt und bekannt ist. Im Falle eines neuerlichen, nicht unerheblichen radiologischen Ereignisses wird man wieder vor Problemen stehen, die mangels Handlungsvorgabe für ausführende Stellen nur unvollständig oder sogar falsch bewertet werden könnten.

3 Voraussetzungen zur Durchführung der Arbeiten im Rahmen des Projektes

Zur Umsetzung des Untersuchungsauftrages ist aus methodisch-apparativer Sicht auf ein bodenökologisch vollständig ausgerichtetes Laboratorium mit Aufschlußtechnik, Elementanalytik und nicht zuletzt Gammaskpektrometrischem Meßplatz zurückzugreifen. Notwendig sind vor allem aber auch umfangreiche Sachkenntnisse auf dem Gebiet der Landschaftsökologie, der naturräumlichen Gliederung, der Lithologie und Gebietsvarianz der Lithotypen sowie insbesondere der Bodenkunde und der Bodengenese erforderlich. Der vierdimensionale Naturkörper ‚Boden‘ ist aus der Sicht der Fragestellung als ein System zu begreifen, welches von Standort zu Standort bezüglich seines Aufbaus und der es charakterisierenden physiko-chemischen Eigenschaften, Prozesse und Auswirkungen wechselt und letztlich auch innerhalb eines Standortes selbst von hoher Heterogenität und Variabilität gekennzeichnet ist (vgl. Punkt 2). Im Verständnis der jeweiligen Pedosysteme vor Ort liegt der Schlüssel zur Lösung der Thematik dieses Untersuchungsvorhabens.

4 Planung und Ablauf der Arbeiten

Ablauf und Planung der Arbeiten folgen dem Förderungsantrag (Punkt 3.3 ‚Arbeitsprogramm‘ des Antrags vom 28.09.99). Notwendige Modifikationen wurden bereits im Zwischenbericht vom 18.09.2001 dargelegt. Hierauf hebt der Abschlußbericht entsprechend ab.

5 Methoden

5.1 Bodenbeprobung

Ziel des Vorhabens ist es unter anderem, Standorte unterschiedlicher naturräumlicher Ausstattung bezüglich der Cäsiumverfügbarkeit miteinander zu vergleichen. Unter Berücksichtigung pedologischer und vegetationskundlicher Varietäten an den jeweiligen Untersuchungsstandorten ergeben sich insgesamt 17 zu beprobende Einzelstandorte (vgl. Tab. 3, 4). Um eine statistische Absicherung zu gewährleisten, müssen an den 17 Einzelstandorten jeweils Mehrfachbeprobungen durchgeführt werden. Nur so läßt sich der klein(st)räumigen Varianz bezüglich der Cäsiumaktivitäten begegnen und Fehlaussagen vermeiden. Frühere Studien haben gezeigt, daß eine Dreifachbeprobung ausreichend ist (VÖLKELE 1995b, 1998b). Denn nicht zuletzt vor dem Hintergrund der anfallenden Probenmengen unter anderem im Rahmen der aufwendigen Fraktionierungsversuche an der organischen Substanz der Auflagehorizonte ist auf eine möglichst pragmatische Vorgehensweise bezüglich der Bodenbeprobung zu achten. Weiterführende Ansätze zur Auflagenbeprobung in Gebieten, in denen eine extrem heterogene Verteilung zu erwarten ist (bspw. Alpine Regionen), werden im Ausblick dieses Berichtes auszugswise wiedergegeben (Kap. 8).

Die Bodenbeprobung hat im Rahmen der gegebenen Fragestellung stets im Zwischenstamm-bereich zu erfolgen, wo der Einfluß von individuellem Kronenbau, Kronenschluß, Stammabflußeffekten etc. minimiert ist. Es werden Bodenmonolithen in doppelter Spatenbreite ausgestochen, feldbodenkundlich auf Basis der gängigen Kartieranleitungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft und der Geologischen Landesämter aufgenommen und beprobt (vgl. AG BODEN 1994, AK BODENSYSTEMATIK 1998). Im Falle der organischen Auflagehorizonte werden vorhandene L-, Of- und Oh-Horizonte getrennt beprobt. Vor allem im Falle der Humusform Moder von mit Nährstoffen schlecht versorgten Böden (u.a. Bayerischer Wald, Untersuchungsgebiet Drähberg) ist eine Getrennterfassung und Beprobung vorgenannter Auflagehorizonte meist problemlos möglich und zwingend notwendig. Auf gut nährstoffversorgten Böden des Würzburger Raumes dagegen besteht die organische Auflage unter Laubwald aufgrund der schnellen Remineralisation der Streu vielfach nur aus einem geringmächtigen L-Horizont. In den beiden Untersuchungsgebieten in den Nördlichen Kalkalpen (Bayrischzell; Garmisch-Partenkirchen) sind auf ebenfalls karbonathaltigen Ausgangsgesteinen hingegen meist mächtige organische Auflagen entwickelt. Gründe dafür sind vor allem die relativ hohen Niederschläge, welche einen Abbau der organischen Substanz verzögern. Sind die Auflagen in diesen alpinen Regionen in Form besonders mächtiger O-Horizonte als sogenannter Tangelhumus ausgebildet, werden diese engmaschig mehrfach beprobt (z.B. Of1; Of2; Of3; Oh1; Oh2; Oh3....etc.). Horizontgrenzen werden grundsätzlich niemals überschlagen. Die Beprobungsab-

stände richten sich nach Ausbildung und Mächtigkeit der Horizonte (vor allem im Falle der Of-Horizonte) betragen im Falle mächtiger Oh-Horizonte in der Regel 5 cm.

Die mineralischen Ober- und Unterbodenhorizonte werden grundsätzlich in metrischen Tiefenstufen (0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm) beprobt. Dabei entspricht in den meisten Fällen die Untergrenze der Tiefenstufe 0-5 cm auch der Untergrenze des Oberbodenhorizontes (A-Horizont). In den Nördlichen Kalkalpen und im Würzburger Raum kann aufgrund der sehr geringen Entwicklungstiefen der Böden zum Teil nur die Tiefenstufe 0-5 cm und gegebenenfalls noch die Tiefenstufe 5-10 cm beprobt werden.

Das Probenmaterial wird im Labor bei 40 °C in Umlufttrockenschränken getrocknet, die Bodenaggregate im Porzellanmörser zerstoßen und durch ein 2 mm-Sieb gegeben, um das Skelett in Form von Steinen vom Feinboden zu trennen. Sämtliche Laboranalysen werden an Probenaliquoten des Feinbodens < 2 mm vorgenommen. Das organische Material wird für die Analytik in einem Mixer so weit wie möglich homogenisiert. Das komplette Probenmaterial inklusive der Pflanzenproben (s.u.) wird in Form einer Probenbank archiviert, um auch zu einem späteren Zeitpunkt darauf zurückgreifen zu können.

5.2 Pflanzenbeprobung

Die Pflanzenbeprobung erfolgte wie die Bodenbeprobung auf allen zu untersuchenden Standorten im Sommer. Vor allem im Zuge von Trenduntersuchungen ist es wichtig, stets den vergleichbaren Zeitpunkt der Vegetationsperiode zur Probenahme zu wählen. Im 5 m-Umkreis der beprobten Bodenmonolithen wurden Pflanzenorgane der Baum-, Kraut- und Mooschicht beprobt. Wie in vorangegangenen Untersuchungsvorhaben auch wurden von den Pflanzen der Krautschicht die oberirdischen Pflanzenorgane beprobt, die Moose vollständig von der mineralischen Unterlage abgehoben und von anhängendem Bodenmaterial gesäubert. Laboranalytisch werden die Pflanzenproben lediglich gammastrahlungsmessend vermessen.

5.3 Physikochemische Standardwerte am Boden

Es werden Parameter ausgewählt, welche den Nährstoffhaushalt der Böden maßgeblich kennzeichnen. Von sämtlichen Bodenproben aus dem Bereich der organischen Auflagehorizonte und der mineralischen Ober- und Unterbodenhorizonte werden im Labor erfaßt 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}). Eine ausführliche Beschreibung dieser Methoden, ausgenommen der Bestimmung der organischen Substanz

mittels Glühverlust, findet sich in leicht erreichbarer Form bei VÖLKELE (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

Bei der Bestimmung des organischen Kohlenstoffgehaltes beziehungsweise der organischen Substanz werden die Proben der organischen Auflagenhorizonte und die der mineralischen Bodenhorizonte unterschiedlich behandelt.

Die Erfahrung zeigt, daß bei Gehalten $> 20\%$ organischer Substanz die für Bodenproben routinemäßig angewandte Methode der sogenannten nassen Veraschung zu geringe Gehalte liefert. Deshalb wurden bereits im Vorfeld dieses Untersuchungsvorhabens Testreihen an Torfkernen durchgeführt. Ergebnis dieser Testreihen ist, daß der Aufschluß über die nasse Veraschung um so vollständiger abläuft, je weniger Einwaage vorgelegt wird. Die Werte der beiden unterschiedlichen Analysenverfahren sind vergleichbar, wenn die Einwaage für die nasse Veraschung auf 0,1 g reduziert wird. Da aber die übliche Einwaage von 0,2 g für organisches Material aus Gründen der Reproduzierbarkeit nicht weiter reduziert werden soll, wird von den Proben der organischen Auflagehorizonte der Glührückstand bestimmt, an den mineralischen Bodenproben wird die nasse Veraschung durchgeführt. Es wird nicht routinemäßig von allen Proben der Glührückstand erfaßt, da diese Methode zum einen wesentlich zeitintensiver ist als die nasse Veraschung und zum anderen die direkte Vergleichbarkeit mit bisher erfaßten Daten der Arbeitsgruppe gegeben sein soll.

Nasse Veraschung

0,2 - 1 g Einwaage, Aufschluß mit Kaliumdichromat in schwefelsaurer Lösung und anschließende kolorimetrische Erfassung des Dichromat-Anteils am UV-VIS-Spektralphotometer (λ_{215} , Fa. Perkin Elmer), der je nach C_{org} -Gehalt zum Cr III reduziert wurde. Aus dem so erfaßten organischen Kohlenstoffgehalt wird der Massenanteil an organischer Substanz errechnet. Nach SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL (1998) 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

organische Substanz umzurechnen. Der vorliegende Bericht orientiert sich hinsichtlich dieser Problematik an den Vorgaben der AG BODEN (1994), wonach die organische Substanz näherungsweise aus dem organischen Kohlenstoffgehalt berechnet werden kann, indem mit dem Faktor 1,72 multipliziert wird.

Glührückstand

Der Glührückstand wird nach GÖRRES (1991) bestimmt. 0,2 g Probenmaterial werden im Trockenschrank bei 105 °C zur Gewichtskonstanz getrocknet, gewogen und anschließend im Muffelofen 0,5 h bei 250 °C und weitere 5 h bei 600 °C geglüht sowie nach der Abkühlung im Exsikkator nochmals gewogen. Der Glührückstand errechnet sich als Anteil vom Trockenmaterial (105 °C), der Massenanteil an organischer Substanz als 100 minus Glührückstand (%). Für die Berechnung des Gehaltes an organischem Kohlenstoff wird der Faktor 2 verwendet, wie von der AG BODEN (1994) für Proben organischer Auflagehorizonte empfohlen.

Gesamtstickstoff

Stickstoff ist ein für die Pflanzen essentieller Nährstoff, dessen Verfügbarkeit nur einer sehr geringen Schwankungsbreite unterliegen darf (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1998). Das C/N-Verhältnis läßt wie die Kationenaustauschkapazität Schlußfolgerungen hinsichtlich der Humusqualität zu (AG BODEN 1994) und ist damit auch gerade hinsichtlich der vorliegenden Fragestellung von Bedeutung.

Analyse: Aufschluß nach Kjeldahl, titrimetrische Bestimmung (weiteres u.a. bei VÖLKEL 1995a sowie in den entsprechenden Handbüchern bodenkundlicher Analytik).

Effektive Kationenaustauschkapazität

Die Kationenaustauschkapazität dient neben dem pH-Wert als Zeiger für das Aziditätsmilieu und im speziellen als Maßstab für die Puffereigenschaften des Bodens. Gerade bei radioökologischen Fragestellungen stellt die Kationenaustauschkapazität eine sehr wichtige Größe dar, da Art und Ausmaß des Kationenbelages der Austauschersysteme im Boden ganz maßgeblich die ¹³⁷Cs-Belastung der Pflanzen beeinflussen (VÖLKELE 1997).

Zur Analyse werden 2,5 g L-Material, 5 g Of- bzw. Oh-Material oder 10 g mineralisches Bodenmaterial eingewogen, mit 100 ml NH₄Cl (1 mol/l) 1 Stunde überkopf geschüttelt, filtriert, mit 1 ml CsCl-LaCl-Puffer vermischt und mittels Atomabsorptionsspektrometrie in der Flamme (AAS, Typ Solar 939, Fa. ATI Unicam) gemessen.

5.4 Gammaskpektrometrische Messung an Boden- und Pflanzenproben

Für die gammaskpektrometrischen 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 gammaskpektrometrischen Meßplatzes finden sich im ersten Zwischenbericht zu diesem Forschungsvorhaben. Für den Abschlußbericht genügen vorstehende Informationen.

5.4.1 Kalibration des Gammaskpektrometers

Für die Kalibration wird eine Referenzlösung der Firma AEA Technology QSA GmbH vom Typ QCYB410 verwendet. Diese Mischlösung enthält 8 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 Original-Referenzlösung mit 0,5 mol/l HCl auf 1000 ml verdünnt. Für fünf unterschiedliche Geometrien wird die Kalibration vorgenommen. Von den 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 durch Aktualisierung des Nulleffektes alle vier Wochen und durch regelmäßige Kontrollmessung eines der fünf zur Verfügung stehenden Standards.

Die Identifikation der Nuklide erfolgt anhand der Photonen-Energien mit der jeweils höchsten Emissionswahrscheinlichkeit. Für ¹³⁷Cäsium liegt diese bei 662 keV, für ¹³⁴Cäsium 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 %.

5.4.2 Routinemessungen

Die Messungen erfolgen am getrockneten, so weit als möglich homogenisierten Probenmaterial, so daß sich die angegebenen Aktivitäten auf das Trockengewicht beziehen (vgl. VÖLKELE 1995b).

5.5 Organische Substanz

5.5.1 Allgemeines

Die abgestorbene pflanzliche und tierische organische Substanz wird je nach Zersetzungsgrad in Streustoffe (Nichthuminstoffe) und Huminstoffe unterteilt. Die Streustoffe haben noch keine beziehungsweise kaum eine Umwandlung erfahren, und setzen sich vorwiegend aus leicht abbaubaren Substanzen zusammen (Lipide, Proteine, Polysaccharide, Lignin) (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1998). Huminstoffe dagegen sind bereits stark umgewandelt, hochmolekular und schwer abbaubar. Die Umsatzrate im Boden ist also geringer als die der Streustoffe. Die Horizonte der organischen Auflagen (L, Of, Oh) setzen sich in Abhängigkeit von der Tiefenstufe zu unterschiedlichen Teilen aus (Rest-)Streustoffen und Huminstoffen zusammen. Nach unten hin nimmt der Anteil an Streustoffen zugunsten der Huminstoffe ab.

Huminstoffe sind äußerst komplexe organische Verbindungen, deren Struktur nicht vollständig geklärt werden kann. Die Wahrscheinlichkeit, zwei identische Huminstoffmoleküle zu finden, geht gegen Null (ZIECHMANN 1996). Es existiert somit auch keine allgemeingültige Strukturformel wie zum Beispiel bei Salzen. Von der Struktur eines Huminstoffmoleküls sind lediglich bestimmte Merkmale erfaßbar, wie der Anteil konkreter funktioneller Gruppen. Für den Säurecharakter und die Fähigkeit zur Komplexbindung der Huminstoffe sind deren funktionelle Gruppen, in erster Linie Carboxylgruppen, phenolische und alkoholische Hydroxyl-, Methoxyl- und NH₂-Gruppen, verantwortlich (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1998).

Diese Komplexbindungsfähigkeit ist ein Grund dafür, dass die organischen Auflagen in Waldökosystemen enorme Schadstoffsinken darstellen. Auch die höchsten ¹³⁷Cäsium-Aktivitäten der Böden in Forstökosystemen finden sich mehr als 10 Jahre nach dem Tschernobyl-Fallout nach wie vor in den Fermentations- und Humifizierungshorizonten (Of, Oh) der organischen Auflagen (u.a. VÖLKELE 1997). Detailliertere Untersuchungen zum Verbleib des Radiocäsium innerhalb der jeweiligen Horizonte liegen jedoch bisher nicht vor. Dazu stehen völlig unterschiedliche methodische Ansätze zur Verfügung.

Zunächst wird hier eine Zusammenfassung der Ergebnisse vorausgeschickt, um anschließend die durchgeführten Extraktions- und Fraktionierungsversuche darzustellen.

5.5.2 Zusammenfassung und Ausblick

Ziel aufwendiger Extraktions- bzw. Fraktionierungsverfahren an der organischen Substanz ist es, das Radiocäsium konkreter zu lokalisieren, um detailliertere Rückschlüsse auf den Kreislauf und die Bioverfügbarkeit vornehmen zu können. Dazu stehen verschiedenste, in der Fachliteratur beschriebene, inhaltliche und damit auch methodische Ansätze zur Verfügung.

Abgesehen davon, dass unterschiedlichste Extraktions- und Fraktionierungsverfahren jeweils für spezielle Zielsetzungen entwickelt wurden, sind im Rahmen dieser Untersuchung an ein derartiges Verfahren zusätzliche Anforderungen zu stellen. In den Extrakten und Fraktionen muß die Bestimmung des ^{137}Cs möglich sein. Da vor allem in den weniger belasteten Untersuchungsgebieten im Würzburger Raum und im Niederbayerischen Lößhügelland mit sehr niedrigen ^{137}Cs -Aktivitäten zu rechnen ist, müssen relativ große Mengen Probenmaterial, das heißt etwa 10 g, eingesetzt werden können. Aus demselben Grund sollte die Anzahl der Fraktionen beschränkt und die Extraktionsausbeute hoch sein.

Die zunächst favorisierte Extraktion mit organischen Lösungsmitteln in Kombination mit der klassischen Huminstoffextraktion wurde nach Vorversuchen nicht weiter durchgeführt, da zum einen die Extraktionsausbeuten äußerst niedrig sind und zum anderen in den Extrakten kaum ^{137}Cs nachgewiesen werden kann. Wären in den Extrakten nahezu die ^{137}Cs -Aktivitäten der Originalprobe nachzuweisen gewesen, dann hätte natürlich die Extraktionsausbeute wiederum keine Rolle gespielt.

Methodische Ansätze wie Extraktion mit superkritischen Flüssigkeiten und Gasen (ANDOLINA & GUILITTE 1990, SPITELLER 1986), Erfassung des austauschbaren ^{137}Cs im Sinne der Kationenaustauschkapazität (ANDOLINA & GUILITTE 1990, eigene Testreihen an Of-, Oh-Proben von 1994 der Testfläche D (Drähberg-Nord), vgl. VÖLKELE 1997), Thermogravimetrie (BACHMANN 1988, HEMPFLING 1988, SIEWERT 1999) oder sukzessive Oxidation (MÜLLER 1992, STÖFFLER 1997) der organischen Substanz mußten nach eingehendem Literaturstudium und auch aufgrund eigener, schon in früheren Jahren erhobener Versuche verworfen werden. Für jede dieser Möglichkeiten trifft eines der drei oben genannten Ausschlußkriterien zu.

Zur Fraktionierung der organischen Substanz wird schließlich eine Dichtentrennung nach BEUDERT (1988) vorgenommen und die gewonnenen Fraktionen gammaspektrometrisch vermessen. Durch die Dichtentrennung werden die unzersetzte Streu, Gewebebruchstücke und organomineralische Aggregate, Ton-Humus-Komplexe und mineralische Bestandteile des jeweiligen Horizontes voneinander getrennt. Die Bearbeitung eines Auflagenprofils der Dauerbeobachtungsflächen am Drähberg bei Bayerisch Eisenstein (VÖLKELE 1997) zeigt, dass die

Bearbeitung der Profile aller Untersuchungsgebiete aufgrund der Variabilitäten der organischen Auflagen und derjenigen der Mineralböden grundsätzlich als sinnvoll erscheint.

5.5.3 Extraktion mit organischen Lösemitteln kombiniert mit klassischer Huminstoffextraktion

5.5.3.1 Methode

Ziel der Methode der **Lösungsmittlextraktion** ist es, durch schonende Extraktion mit polaren und unpolaren, kaum reaktiven Lösungsmitteln möglichst unveränderte Huminstoffe zu gewinnen und dabei eine geringe Ausbeute in Kauf zu nehmen (u. a. MALTZ 1989). Von Interesse ist dies vor allem zur Qualifizierung der extrahierten Stoffgruppen. Während der Extraktionsabfolge wird mit jedem Schritt ein Lösungsmittel höherer Polarität gewählt. Dabei werden vor allem Dipol-Dipol-Wechselwirkungen angegriffen, sodass die chemischen Veränderungen der extrahierten Substanzen möglichst gering gehalten werden.

Bei der klassischen **Huminstoffextraktion** mit alkalischen Lösungen werden die drei Hauptfraktionen der Huminstoffe - Humine, Huminsäuren und Fulvosäuren - gewonnen, wobei die Ausbeute bis zu 80 % des organischen Kohlenstoffs betragen kann (HAIDER 1996). Per definitionem bilden die Fraktion der Humine diejenigen Stoffe, die in verdünnter Natronlauge nicht löslich sind. Huminsäuren sind in verdünnter Natronlauge löslich und lassen sich bei einer pH-Absenkung auf kleiner 1 ausfällen, die Fulvosäuren bleiben dabei in Lösung. Humin- und vor allem Fulvosäuren können Metallionen komplexieren (HAIDER 1996), weshalb die Erfassung dieser Fraktionen und der darin enthaltenen ¹³⁷Cäsium-Aktivitäten von Interesse ist. Die Fixierung von Cäsium an Huminstoffe in Form von Cs-Huminstoff-Komplexen hat ZIECHMANN (1996) in einem Modellversuch nachgewiesen.

BEYER et al. (1993) und GRUNDMANN (1990) beschreiben Extraktionsabfolgen, in denen die Extraktion mit Lösungsmitteln mit der klassischen Huminstoffextraktion kombiniert wird. In einem ersten Schritt werden mit unpolaren beziehungsweise schwach polaren Lösungsmitteln maskierende Stoffgruppen wie Fette und Wachse entfernt. In einem weiteren Schritt wird dann die klassische Huminstoffextraktion durchgeführt. Diese Kombination wurde für Tests ausgewählt, um deren Eignung im Rahmen der vorliegenden Fragestellung festzustellen.

5.5.3.2 Extraktionsversuche

Die Lösungsmittlextraktionen werden statt in der klassischen Soxhlet-Apparatur im Soxtherm (Modell S 306 A der Fa. Gerhardt) durchgeführt. Da sich im Soxtherm das Probenmaterial nicht von Anfang an in der Dampfphase des Lösungsmittels befindet, sondern zunächst direkt in das Lösungsmittel eintaucht und erst in einer zweiten Phase durch automatische Lösungsmittel-

absenkungen in der Dampfphase über dem flüssigen Lösungsmittel weiter extrahiert wird, können Extraktionszeiten enorm reduziert werden. Bei bis zu 24 Stunden Extraktionszeit (GRUNDMANN 1990) im klassischen Soxhlet bedeutet die Reduktion um etwa 80 % eine deutliche Zeitersparnis. Eine Alkohol-Toluol-Mischung dient als Lösungsmittelgemisch. Sowohl BEYER (1993) als auch GRUNDMANN (1990) verwenden Benzol statt Toluol, da aber Benzol stark gesundheitsschädlich ist, wird auf Toluol ausgewichen. Toluol ist bezüglich der in diesem Zusammenhang wichtigen Parameter Dielektrizitätskonstante (ϵ) und Dipolmoment (μ) mit Benzol vergleichbar ($\epsilon_{\text{Toluol}} = 2,38$, $\epsilon_{\text{Benzol}} = 2,27$, $\mu_{\text{Toluol}} = 0,31$, $\mu_{\text{Benzol}} = 0$) (RIDDICK et al. 1986).

Die NaOH-Extraktionen werden entweder in der Hitze (KRETZSCHMAR 1996) am Soxtherm oder am Überkopfschüttler (MALTZ 1989, GRUNDMANN 1990) durchgeführt.

In Tab. 1 sind die Parameter der durchgeführten Tests aufgeführt. Alle Tests werden am Material der Beprobung von 1996 der ungedüngten Dauerbeobachtungsfläche mit Buchenbestand am Drähberg bei Bayerisch Eisenstein (6845-E0/Cs0) durchgeführt. Vorab wurde diese Probe mit 7.101 Bq/kg neuerlich gammaspektrometrisch vermessen. Alle Extrakte wurden in 100 ml-Kautexflaschen überführt, mit dem entsprechenden Lösungsmittel beziehungsweise mit destilliertem Wasser (NaOH-Extrakte) auf 100 ml aufgefüllt und anschließend gammaspektrometrisch vermessen.

Test 1: Je zwei Extraktionen werden parallel in Zellstoffhülsen, in fein- und grobporigen Glasfritten durchgeführt. In der Regel werden für Soxhlet-Extraktionen Zellstoffhülsen verwendet. Aus den Glasfritten könnte dagegen das Restmaterial vollständiger wiedergewonnen werden. Während der Extraktion ist dabei aber ungelöstes Feinmaterial durch die Poren der Fritten in den Extrakt gelangt. Alle folgenden Tests müssen deshalb mit Zellstoffhülsen durchgeführt werden.

Test 2: Zunächst wird wie bei Test 1 die Lösungsmittlextraktion durchgeführt. Von 6 Parallel-extraktionen mit einer Methanol-Toluol-Mischung (1:1) kann in keinem der Extrakte eine ^{137}Cs -Belastung erfaßt werden. Der Rückstand der Lösungsmittel-Extraktion wird nach vollständiger Trocknung 1 h in 0,5 mol/l Natronlauge gekocht. In diesem Extrakt befindet sich die Huminsäure- und Fulvosäurefraktion (u. a. GRUNDMANN 1990). Auf eine weitere Trennung der beiden Fraktionen durch Fällen der Huminsäurefraktion mit Salzsäure wurde verzichtet, um die Wiederfindungsrate des Radiocäsium in den Fraktionen zu erhöhen. Tatsächlich konnte jedoch auch in diesen Extrakten kein Radiocäsium detektiert werden.

Anzahl	$m_{6845-E0/Cs0}$ [g]	$V_{\text{Lösungsmittel}}$ [ml]	Kochzeit / Extraktionszeit [h]	NaOH-Extraktion (0,5 mol/l)		
				Art	V_{NaOH} [ml]	Dauer [h]

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

Test 1	6	5	120	3 / 1,5	-	-	-
Test 2	6	5	120	3 / 1,5	Soxhlett	100	1
Test 3	3	5	-	-	Soxtherm	2 x 100	2 x 1
Test 4	3	5	-	-	Überkopfschüttler	100, 75	2 x 6

Tab. 1: Parameter der Extraktionsversuche.

Test 3: Wie in Test 2 wird die Natronlauge-Extraktion durchgeführt, allerdings ohne vorhergehende Lösungsmittel-Extraktion. Darüberhinaus werden die Fraktionen Fulvosäuren und Huminsäuren durch Fällen der Huminsäure-Fraktion bei pH 1 getrennt. Die gammaspektrometrische Vermessung ergibt wie in Test 1 und 2 keine meßbare ^{137}Cs -Aktivität, obwohl in diesen Fraktionen die potentiellen Bindungspartner für komplexe Verbindungen vorliegen.

Test 4: Um in einem abschließenden Test auszuschließen, dass während der Kochphasen (sowohl mit dem Lösungsmittelgemisch, als auch mit Natronlauge) das Radiocäsium in der jeweils vorliegenden Verbindung verdampft und nicht wieder zurückkondensiert, wird wie in Test 3 auf die Lösungsmittel-Extraktion verzichtet und die Natronlauge-Extraktion bei Zimmertemperatur durchgeführt. Je 6 Stunden wird mit 100 ml und mit 75 ml Natronlauge am Überkopfschüttler geschüttelt. Anschließend werden wie in Test 3 Fulvo- und Huminsäure-Fraktion getrennt. Auch nach der 'kalten' Natronlauge-Behandlung konnte in den Fraktionen kein Radiocäsium nachgewiesen werden.

In keinem der Extrakte sind meßbare ^{137}Cs -Aktivitäten vorhanden, so dass dieses Extraktionsverfahren nicht weiter verfolgt wird.

5.5.4 Dichtentrennung

5.5.4.1 Prinzip und Methode

Die Methode der Dichtefraktionierung ist in der Bodenkunde im allgemeinen nichts Neues, wurde allerdings bislang nur an Mineralböden angewandt. Eine in der geowissenschaftlichen Sedimentanalytik bekannte Anwendung ist die Isolierung von Schwermineralen mit Bromoform oder Natriumpolywolframat als Dichtelösung für organische Auflagehorizonte hat BEUDERT (1988) als erster einen Dichtentrennungsgang beschrieben und konnte Pflanzenreste von organischer Feinsubstanz und den mineralischen Anteilen trennen. Frische Streu hat dabei die geringste Dichte. Mit zunehmender Humifizierung nimmt der Aschegehalt und damit auch die Dichte der organischen Substanz zu (BRUCKERT 1982). Die pflanzlichen Makoreste können von

der Feinsubstanz bei einer Dichte von 1,4 (Rohhumus) bzw. 1,6 g/cm³ (Mull und Moder) abgetrennt werden. Eine weitere Auftrennung erfolgt bei Dichten von 2,0 und 2,4 g/cm³.

Mikromorphologie der Fraktionen eines Mull-Profiles (BEUDERT 1988: S. 38f.):

Fraktion < 1,6 g/cm ³	im L und LAh Pflanzenreste (Bruchstücke von Blättern und Zweigen, vereinzelt Pilzhyphen), im Ah auch Wurzelreste und Pilzfilamente
1,6 - 2,0 g/cm ³	Gewebebruchstücke, einzelne Pilzfilamente, Losungen, organo-mineralische Aggregate
2,0 - 2,4 g/cm ³	Aggregate aus Ton-Humus-Komplexen (intensive Durchmischung der organischen Substanz mit mineralischen Bestandteilen im Regenwurm-darm)
> 2,4 g/cm ³	mineralische Bestandteile, nahezu frei von organischer Substanz

Mikromorphologie der Fraktionen eines Moder-Profiles (BEUDERT 1988: S. 39f.):

Fraktion < 1,6 g/cm ³	Pflanzenreste wie beim Mull
1,6 - 2,0 g/cm ³	organische Feinsubstanz (Losungen der Bodentiere, organo-mineralische Mikroaggregate)
2,0 - 2,4 g/cm ³	mineralische Komponente, nur noch unbedeutende Mengen organo-mineralischer Aggregate

Mikromorphologie der Fraktionen eines Rohhumus-Profiles (BEUDERT 1988: S. 40f.):

Fraktion < 1,4 g/cm ³	Reste der Pflanzenorgane (Pilzfilamente, Reste oberirdischer Pflanzenorgane, teilweise Wurzelreste)
1,4 - 2,0 g/cm ³	organische Feinsubstanz (Losungen der Bodentiere und Lösungsreste, schwarz gefärbte Gewebereste, organo-mineralische Mikroaggregate)
2,0 - 2,4 g/cm ³	organo-mineralische Komplexe
> 2,4 g/cm ³	mineralische Komponenten

Mull, Moder und Rohhumus im Vergleich

Charakteristisch für die Humusform **Mull** ist eine schnelle Zersetzung der Streu. Übrig bleiben vor allem schlecht abbaubare, ligninreiche Gewebereste, die im Regenwurmdarm mit mineralischen Komponenten vermischt werden. Durch die Verlagerung von Abbauprodukten, pflanzlichen und mikrobiellen organischen Polymeren in den Mineralboden wird die organische Substanz durch Calciumcarbonat vor weiterem Abbau geschützt. Die Humifizierung wird also in einem frühen Stadium blockiert.

Im Gegensatz dazu findet im **Rohhumus**-Profil eine geringe Streuzersetzung statt. Sogar in den A-Horizonten finden sich noch größere Mengen an Geweberesten. Die Pflanzenreste werden zum Beispiel durch Weissfäulepilze ständig verändert. Aufgrund einer fortschreitenden Humifizierung vor allem des Lignins der organischen Substanz reichert sich das stark veränderte, huminstoffähnliche Restlignin im Mineralboden an. Bei einer Verlagerung der wasserlöslichen Substanzen werden diese nicht schon im A-Horizont, sondern wegen günstigerer Nährstoffverhältnisse erst in den B-Horizonten gefällt (zum Beispiel der Bh-Horizont eines Podsols).

Der **Moder** nimmt eine Mittelstellung ein. Ähnlich wie beim Rohhumus liegen im A-Horizont noch größere Mengen Pflanzenreste vor. Bodentiere, außer Regenwürmern, spielen eine wichtige Rolle. Durch die Oberflächenvergrößerung in den Losungen wird der Abbau der Streu im Gegensatz zum Rohhumus beschleunigt.

In der Reihenfolge **Mull - Moder - Rohhumus** nimmt durch

- die jeweilige biologische Aktivität der Standorte und
 - die Fähigkeit des Oberbodens Abbauprodukte etc. zu binden zu,
- demnach auch
- die Humifizierung und Anreicherung pflanzlicher Biopolymere zu,
 - die Bildung und Stabilisierung mikrobieller Produkte jedoch ab.

5.5.4.2 Vorgehensweise

Die Dichtefraktionierung erfolgt in Anlehnung an BEUDERT (1988). Es werden, wenn möglich, vier Fraktionen unterschiedlicher Dichte erfaßt. Die Dichtelösungen werden aus Ethanol ($\rho = 0,79 \text{ g/cm}^3$, Fa. J. T. Baker) und Bromtrichlormethan (CBrCl_3 , $\rho = 2,01 \text{ g/cm}^3$, Merck Nr. 801986) bzw. Bromoform (CHBr_3 , $\rho = 2,89 \text{ g/cm}^3$, Merck Nr. 101944) nach nachstehender Formel hergestellt. Es werden allerdings keine Volumina abgemessen, sondern die errechneten Volumenanteile über die Dichte in die Massen umgerechnet und auf 0,1 mg genau eingewogen.

$$\text{Vol.-%}_{\text{Ethanol}} = (100 * \rho_{\text{CBrCl}_3 \text{ bzw. CHBr}_3} - 100 * \rho_x) / (\rho_{\text{CBrCl}_3 \text{ bzw. CHBr}_3} - \rho_{\text{Ethanol}}) \text{ mit } \rho_x = \text{benötigte Dichte}$$

BEUDERT (1988) verwendet als erste Dichtelösung eine Ethanol-Bromtrichlormethan-Mischung (Dichte 1,4 bzw. 1,6 g/cm³). Da die Auflagenproben äußerst voluminös sind, wird hier zunächst destilliertes Wasser als Dichtelösung verwendet, um vorab die Pflanzenreste mit einer Dichte < 1 g/cm³ abzutrennen. Es werden 4 g Auflagenmaterial in 500 ml-Zentrifugenbecher eingewogen und mit 300 ml destilliertem Wasser aufgeschlämmt, 60 s mit Ultraschall (Sonopuls HD 60, Bandelin) behandelt und zentrifugiert (3000 Umdrehungen/min., 20 min. in Heraeus Varifuge F). Zur Erleichterung des Abdekantierens und Filtrierens wird der Zentrifugenbecher ca. 2 cm tief in eine Ethanol-Trockeneis-Mischung getaucht, um den Bodensatz durch Einfrieren zu fixieren. Dieser Vorgang wird so oft wiederholt, bis kein Material < 1 g/cm³ mehr obenauf schwimmt. Den Rückstand im Filter läßt man zunächst an der Luft bei Raumtemperatur und anschliessend über Nacht bei 40 °C trocknen.

Das Material > 1g/cm³ wird in bromoformbeständige, verschraubbare Zentrifugenbecher überführt und nacheinander mit den Dichtelösungen 1,4 bzw. 1,6 g/cm³, 2,0 g/cm³ und gegebenenfalls 2,4 g/cm³ behandelt (30 sec Ultraschall, zentrifugieren bei 4800 Umdrehungen/min, 20 min in Heraeus Varifuge 20 RS mit Festwinkelrotor HFA 21.94, Bodensatz einfrieren, Überstand abdekantieren und filtrieren). Die jeweiligen Rückstände im Filter werden vor dem Trocknen mit ca. 20 ml Ethanol gewaschen, um die toxischen bromhaltigen Kohlenwasserstoffe zu entfernen.

Vor der Behandlung mit der jeweils nächsten Dichtelösung muß das Material trocken sein, um auf keinen Fall die Dichte der verwendeten Lösung durch Mischen mit Restflüssigkeit zu verfälschen. Dadurch wird das Verfahren äußerst zeitaufwendig. An einem Arbeitstag kann immer nur eine Fraktion gewonnen werden; gelegentlich dauert es auch zwei Tage, bis die Restlösung im Zentrifugenbecher abgedampft und das Material trocken ist. Die Fraktionierung einer Probe dauert demnach mindestens 3 Arbeitstage, wobei für die Gewinnung einer Fraktion auch mehrere Stunden benötigt werden, da der Trennungsvorgang wiederholt werden muss, bis kein jeweils leichteres Material mehr obenauf schwimmt.

Die getrockneten Fraktionen werden gewogen und in 100 ml Kautexflaschen zur gamma-spektrometrischen Analyse abgefüllt. Die Fraktion < 1 g/cm³ und 1 g/cm³ - 1,4 (1,6) g/cm³ werden zu einer Fraktion vereint. Um das Mindestvolumen von 20 ml für die Messung am Gammaskpektrometer zu erhalten, werden die Fraktionen mit Quarzsand (Merck Nr. 7536) aufgefüllt und gründlich vermischt.

5.5.4.3 Fraktionierungsversuche

Für Fraktionierungsversuche wurde Material vom Drähberg bei Bayerisch Eisenstein aus einem StMLU-Untersuchungsvorhaben 'Modelle zur Cäsiumfixierung in Böden radioaktiv hoch kontaminierter Gebiete Ostbayerns' verwendet (VÖLKEL 1997). Benutzt wurden Proben von 1996, die auf der Testfläche E entnommen wurden. Am Drähberg werden in den organischen Auflagehorizonten nach wie vor sehr hohe Radiocäsiumaktivitäten gemessen. Für die Wiederfindung des ^{137}Cs in den Teilfraktionen ist dies von Vorteil.

Die Fraktionierung erfolgt an den mit ca. 7.000 Bq/kg TS hoch belasteten Fermentierungs- und Humifizierungshorizonten der Testfläche E. Zusätzlich wird von der Parzelle E0, d. h. der ungedüngten Parzelle, ein Tiefenverlauf der Belastung der Fraktionen dargestellt, indem die organische Substanz aller Auflagenhorizonte und die oberste Tiefenstufe (0-5 cm) des Mineralbodens fraktioniert werden.

Auf der Testfläche E handelt es sich bei der Humusform zumeist um einen rohumusartigen Moder (VÖLKEL 1997, vgl. auch Untersuchungsfläche Drähberg-Jungbuche in diesem Bericht in Form der neuerlichen Beprobung im Umfeld der Testfläche vom Sommer 2000, s.u.). Für die Fraktionierung wurde deshalb zur Abtrennung der leichtesten Fraktion eine Grenzdichte von $1,4 \text{ g/cm}^3$ gewählt, wie sie BEUDERT (1988) für Rohhumus-Profile vorschlägt.

Profil	Probe	Fraktion	Masse-%	Aktivität-%*
6845-E0	L	< 1,4 g/cm ³	96,0	75,5
		1,4 - 2,0 g/cm ³	2,8	17,8
		2,0 - 2,4 g/cm ³	0,1	4,2
		> 2,4 g/cm ³	1,1	2,5
	Of	< 1,4 g/cm ³	43,9	22,2
		1,4 - 2,0 g/cm ³	22,5	60,4
		2,0 - 2,4 g/cm ³	2,1	5,1
		> 2,4 g/cm ³	31,5	12,3
	Oh	< 1,4 g/cm ³	7,8	2,7
		1,4 - 2,0 g/cm ³	29,8	72,3
		2,0 - 2,4 g/cm ³	8,2	10,7
		> 2,4 g/cm ³	54,2	14,3
	0-5 cm	< 1,4 g/cm ³	1,1	1,0
		1,4 - 2,0 g/cm ³	23,6	53,5
		2,0 - 2,4 g/cm ³	25,0	36,6
		> 2,4 g/cm ³	50,3	8,9

*ergibt sich aus Masse [g] * A [Bq/kg] / 1000

Tab. 2: Fraktionierung eines rohumusartigen Moder-Profiles der Parzelle E0 auf der Testfläche E am Drähberg, Bayerisch Eisenstein.

Die Abb. 1 und 2 stellen die Masse- und Aktivitätsanteile der Fraktionen in den Proben 6845-E0/L, Of, Oh, 0-5 cm dar. Bei der Auswertung muß beachtet werden, dass keine absoluten, sondern relative Werte angegeben werden. Die Belastung mit Radiocäsium nimmt im Untersuchungsgebiet Drähberg regelhaft vom L- zu den O-Horizonten zu, um zum mineralischen Oberboden hin wieder sprunghaft abzunehmen.

In Abb. 1b ist horizontspezifisch die prozentuale Verteilung der Masse und der Aktivität auf die einzelnen Dichtefraktionen dargestellt. Der **L**-Horizont besteht erwartungsgemäß zu mehr als 90 % aus Material $< 1,4 \text{ g/cm}^3$. Die vom ^{137}Cs herrührende Aktivität steckt dagegen nur zu 75,5 % in der leichtesten Fraktion. Bereits 17,8 % der Aktivität finden sich in der Fraktion $1,4\text{-}2,0 \text{ g/cm}^3$. Zum **Of**-Horizont hin verschiebt sich die Massenbilanz vor allem zugunsten der Fraktion $1,4\text{-}2,0 \text{ g/cm}^3$ und der schweren Fraktion ($> 2,4 \text{ g/cm}^3$). In der Aktivitätsbilanz ist dagegen nur in der Fraktion $1,4\text{-}2,0 \text{ g/cm}^3$ eine deutliche Zunahme bis 60,4 % zu verzeichnen. Die Dominanz des Radiocäsiums in der Fraktion $1,4\text{-}2,0 \text{ g/cm}^3$ verstärkt sich zum **Oh**-Horizont weiterhin. Bezüglich der Massenanteile lassen sich die größten Zunahmen dagegen in der schweren Fraktion verzeichnen. Dieser Zunahme entspricht eine deutliche Abnahme in der leichten Fraktion. In der obersten Tiefenstufe des Mineralbodens von **0-5 cm** spielt die leichte Fraktion keine Rolle mehr. Die mineralischen Anteile bilden die Hälfte der Masse, die andere Hälfte verteilt sich in etwa je zur Hälfte auf die beiden anderen Fraktionen. Die Aktivität dagegen steckt zu etwa 90 % in den Fraktionen der organischen Feinsubstanz, wobei der Anteil in der Fraktion $1,4\text{-}2,0 \text{ g/cm}^3$ überwiegt.

Der Massen-Anteil der **schweren Fraktion**, die vor allem aus mineralischen Bestandteilen besteht, nimmt nach unten hin stetig zu, wobei sich die darin enthaltene Radioaktivität mit der Tiefe nicht entsprechend ändert, sondern nur zwischen 2,5 und 14,3 % schwankt (Abb. 1). Entsprechend nimmt der Anteil der **leichten Fraktion** ($< 1,4 \text{ g/cm}^3$) von oben nach unten stetig ab und macht in der Tiefenstufe 0-5 cm nur noch 1,1 % aus. Auch die Aktivität folgt hier jedoch derselben Tendenz. Die Fraktion **$1,4\text{-}2,0 \text{ g/cm}^3$** ist im L-Horizont eine unbedeutende Größe, steigt dann aber bereits im Of-Horizont bezüglich Masse und Aktivität sprunghaft an, um dann bis in die Tiefenstufe 0-5 cm gleichmäßig auf hohem Niveau zu verbleiben. Die Fraktion **$2,0\text{-}2,4 \text{ g/cm}^3$** spielt mit 8,2 % Massen-Anteil und 10,7 % Aktivitätsanteil erst ab dem Oh-Horizont eine Rolle und steigt dann in der Tiefenstufe 0-5 cm auf 25,0 bzw. 36,6 % an.

In Abb. 2 sind Aktivitätsanteile unterschiedlicher O(h)-Horizonte dargestellt. Mit dieser Testreihe soll gezeigt werden, dass Einzelergebnisse reproduzierbar und die Ergebnisse der O(h)-Horizonte verschiedener Profile vergleichbar sind.

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

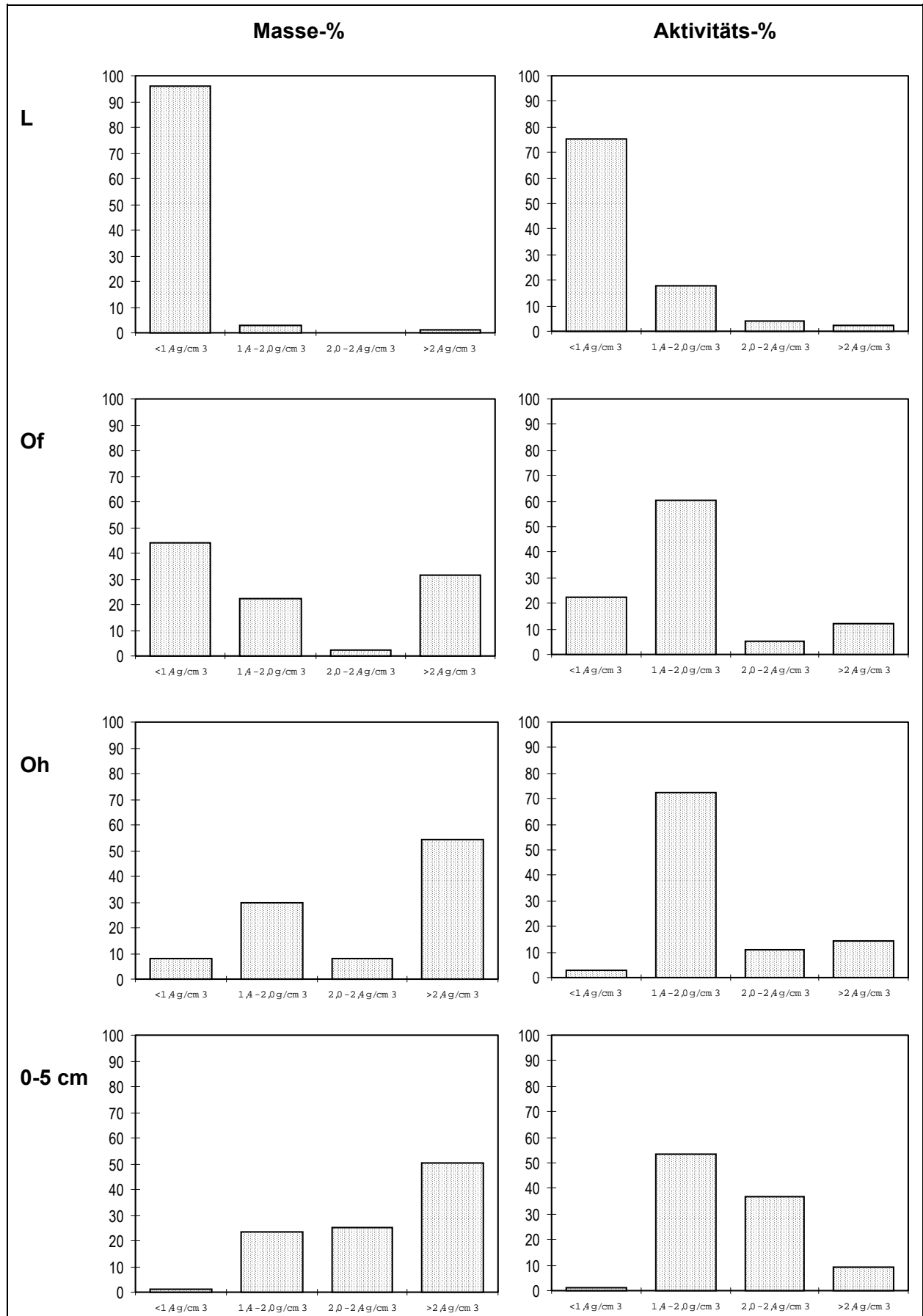


Abb. 1a Masse- und Aktivitätsanteile in den Fraktionen von 6845-E0/L, Of, Oh, 0-5 cm (1996).

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

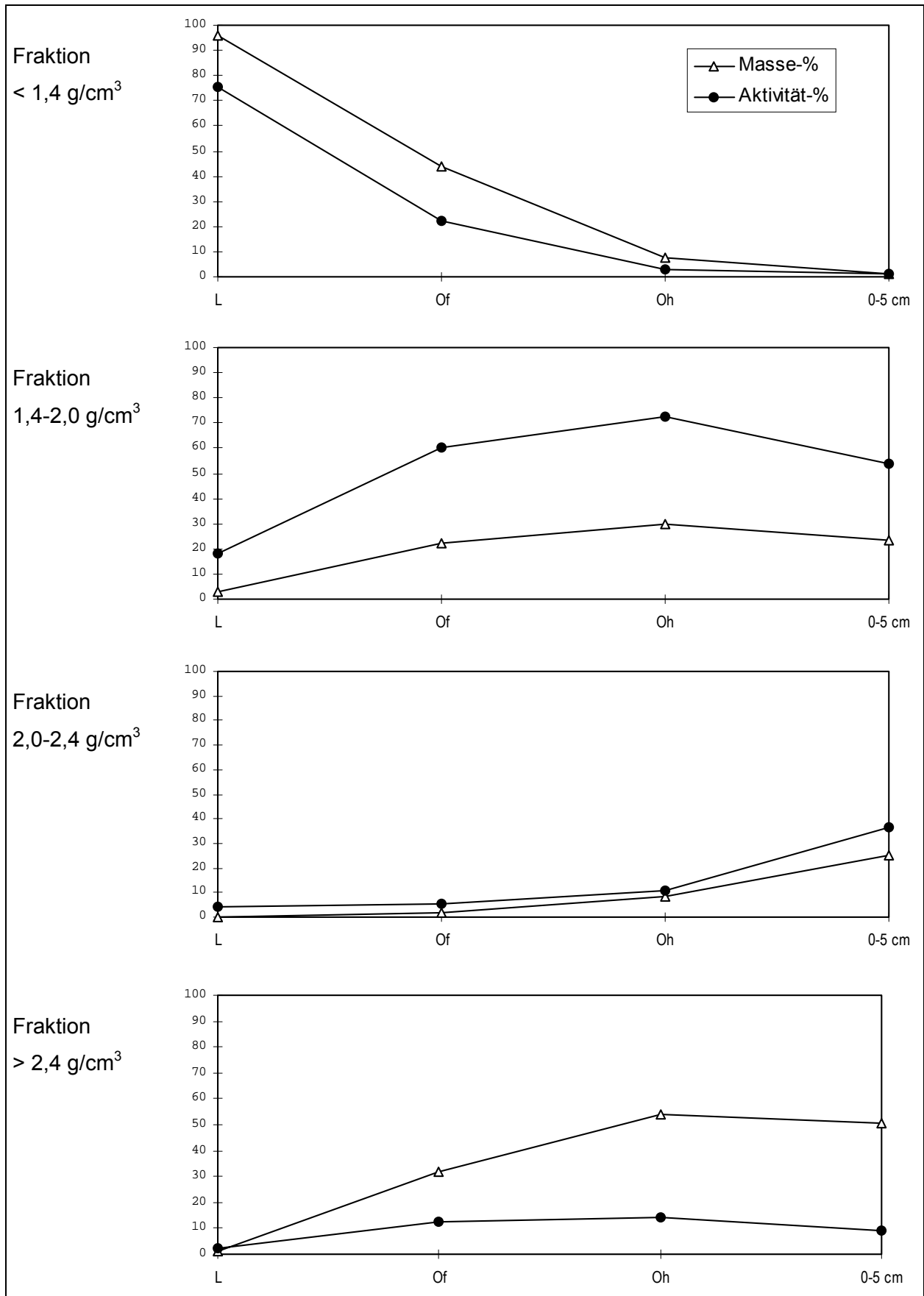
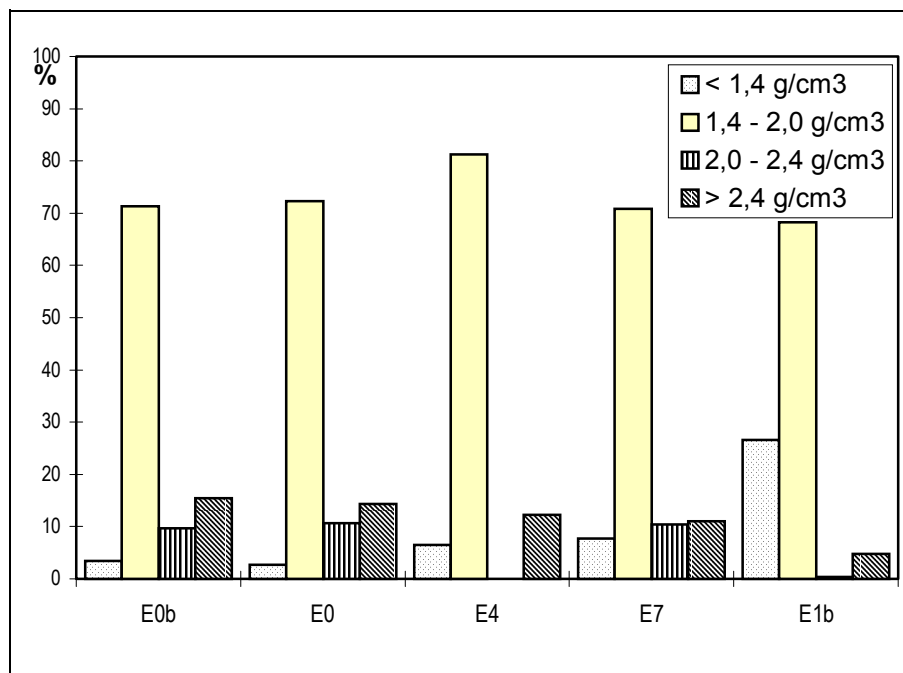


Abb. 1b: Masse- und Aktivitätsanteile der Fraktionen in den Proben 6845-E0/L, Of, Oh, 0-5 cm (1996).



Der Vergleich mehrerer O-Horizonte zeigt, dass vergleichbare Daten gewonnen werden. Eine Parallelfractionierung der Probe CsOh von der Testfläche E0 (E0b und E0) zeigt, dass die Ergebnisse sogar sehr gut übereinstimmen.

Abb. 2 Aktivitätsanteile in O-Horizonten.

5.5.4.4 Interpretation und Fazit

Obwohl ab dem Of-Horizont die schweren, mineralischen Komponenten bezüglich der Masse schon eine erhebliche Rolle spielen, sind nur geringe Anteile des Radiocäsiums daran gebunden. [Hinsichtlich der Masse ist zu beachten, dass der großen Masse ein sehr geringes Volumen gegenüber steht - bei organischer Substanz verhält es sich umgekehrt.] Dies dokumentiert die starke Affinität des Cäsiums für die organische Substanz. Ferner stellt sich trotz allem die Frage nach den anorganischen Bindungspartnern für Radiocäsium. Radiocäsium wird reversibel in die Zwischenschichten der Tonminerale eingebaut und spezifisch oder unspezifisch an Tonminerale adsorbiert (LIVENS et al. 1996). Die Intensität der Bindung ist von der Art der Tonminerale abhängig. In den Oberböden des Bayerischen Waldes stellt VÖLKE (1995a) eine versauerungsbedingte Transformation der Tonminerale fest. Es ist vor allem in den A(e)h-Horizonten bereits das Stadium der Dechloritisierung, die die irreversible Zerstörung der Tonminerale einleitet, erreicht. Diese Silikate zeichnen sich allerdings noch durch die Kontraktionsfähigkeit der 14Å-Minerale im Kalium-Präparat aus, was bedeutet, dass eine Cäsiumfixierung ebenfalls noch möglich sein müsste. Eine Fixierung an Phyllosilikate in nicht pflanzenverfügbarer Form ist allerdings nicht zu erwarten. Im Rahmen der Streumittelbeaufschlagung der Dauerbeobachtungsflächen stellte VÖLKE (1997) fest, dass das mineralische Streumittel 'Calcigel', ein Bentonit und damit ein dreischichtiges, quellfähiges Phyllosilikat, nicht in der Lage war, das Radiocäsium dauerhaft der Nahrungskette zu entziehen.

Die geringe Belastung der L-Horizonte findet sich bei einem Massenanteil von > 95 % der leichten Fraktion auch in dieser Fraktion. In den hochbelasteten Of- und Oh-Horizonten steckt der Hauptanteil der tschernobylbürtigen Radioaktivität dagegen in der bereits mikrobiell und mechanisch veränderten organischen Feinsubstanz, obwohl diese Fraktion nicht zwingend auch den Hauptteil der Masse ausmacht. Als effiziente Bindungspartner dienen vor allem Huminstoffe und Ton-Humus-Komplexe (u. a. ZIECHMANN 1996).

Äußerst interessant erscheint auch in diesem Zusammenhang ein Vergleich der Untersuchungsgebiete. Günstige ökologische Bedingungen fördern beispielsweise im Regensburger Raum die Zersetzung der Streu, so dass Fermentierungs- und Humifizierungshorizonte (Rohhumus, Tangelhumus), die bei ungünstigeren ökologischen Bedingungen die höchsten Belastungen aufweisen, hier häufig völlig fehlen.

6 Ergebnisse

6.1 Darstellung der unterschiedlichen naturräumlichen Gegebenheiten der Untersuchungsgebiete (Auswahl von Naturraum und Standort)

Im Rahmen des Projektes werden Untersuchungsgebiete unterschiedlicher naturräumlicher Einheiten Bayerns ausgewählt, die sich im wesentlichen hinsichtlich der klimatischen Gegebenheiten, des Ausgangsgesteins der Bodenbildung (Substrat), der Bestockung und des Bodentyps und damit auch der Humusform unterscheiden. Die Grundparameter der einzelnen Untersuchungsgebiete werden in den nachfolgenden Tabellen im Überblick dargestellt.

6.1.1 Donau-Isar-Hügelland (hier: Regensburger Lößhügelland)

6.1.1.1 Naturraum

Das Arbeitsgebiet liegt im Donau-Isar-Hügelland (MEYNEN et al. 1953-1962), das zusammen mit dem östlich angrenzenden Dunggau in der naturräumlichen Großgliederung noch dem Alpenvorland zugeordnet wird.

Den geologischen Untergrund bilden tertiäre Sedimente (Molasse), die als Verwitterungsschutt der Alpen in das nördliche Vorlandbecken transportiert wurden. Es handelt sich dabei um Schotter, (Feldspat-)Sande, Tone und Mergel (vgl. BGLA 1996). Während der quartärzeitlichen Kaltzeiten und zuletzt im Würm erfolgte eine großflächige Lößbedeckung, so dass die Bodenentwicklung regelhaft nicht in tertiären, sondern in quartären Sedimenten ablief. Da sich während der Quartärzeit kaltaride Lößsedimentation und warmfeuchte Bodenbildung (sog. Interglaziale bzw. -stadiale) abwechselten, ist eine Differenzierung des Quartärs anhand von

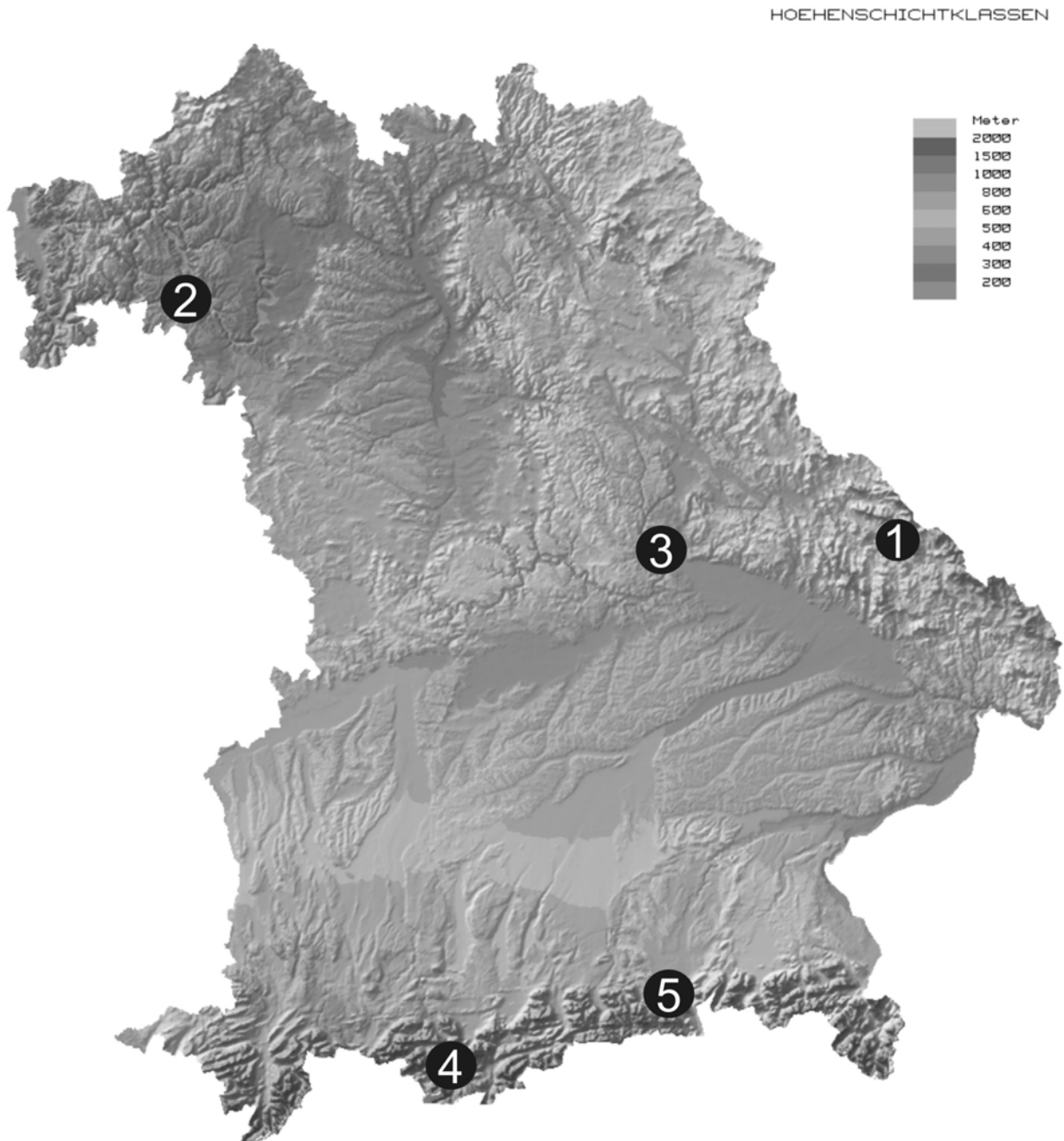


Abb. 3 Lage der Untersuchungsgebiete: 1 Bayerischer Wald, 2 Muschelkalkkrücken bei Würzburg, 3 Donau-Isar-Hügelland, 4 Garmisch-Partenkirchen, 5 Mangfallgebirge.

Paläoböden, wie sie zum Beispiel STRUNK (1990) an einem Profil im Hagelstadter Forst für das hier gewählte Untersuchungsgebiet vorgenommen hat, möglich.

Der verbreitetste Bodentyp auf Lößstandorten ist die Parabraunerde, die sich allerdings infolge der menschlichen Rodungs- und Ackertätigkeiten nur unter Wald erhalten hat. Bei ackerbau-licher Nutzung sind Parabraunerden leicht erodierbar, so dass auf landwirtschaftlich genutzten

Flächen heute der ehemalige Bt-Horizont oder sogar schon das carbonathaltige Substrat bearbeitet wird (vgl. dazu u.a. AUERSWALD 1993). Bezüglich der Rekonstruktion des Ausmaßes von Bodenerosion an Lößstandorten in vor- und frühgeschichtlicher Zeit wird auf die eigenen Arbeiten im Umfeld der Keltischen Viereckschanze von Poign verwiesen (VÖLKELE et al. 1998). Sie veranschaulichen für den Bayerischen Raum erstmalig, wie stark die Landschaft bereits zur Zeitenwende und später im Mittelalter vom Menschen beansprucht war. Bewertungen der heute ablaufenden Bodenerosion relativieren sich vor diesem Hintergrund erheblich, ein durchaus politisches Element!

Das Klima des Untersuchungsgebietes ist mit Jahresschwankungen der Lufttemperatur von 20,4 °C verhältnismäßig kontinental (EIMERN 1975). Im Bezugszeitraum 1961-1990 (sog. klimatische Normalperiode über drei Dekaden) lag das mittlere tägliche Temperaturmittel in Regensburg als der dem Untersuchungsgebiet nächstgelegenen Wetterstation des Deutschen Wetterdienste (DWD) bei 8,2 °C. Die mittlere jährliche Niederschlagshöhe betrug 641,8 mm (MÜLLER-WESTERMEIER 1996). Gegen Südosten steigt der Niederschlag etwas an (EIMERN 1975). Der stärker generalisierten Karte in BAYFORKLIM (1996) sind 650-750 mm mittlerer jährlicher Niederschlag zu entnehmen.

6.1.1.2 Standortauswahl

Als Untersuchungsareale bieten sich Flächen an, deren Standortsituation der AG Völkel durch frühere Forschungsarbeiten zum Versauerungsgrad von Waldböden bereits eingehend bekannt ist. Etwa 20 km südöstlich von Regensburg liegt der Hagelstadter Forst auf Blatt 7039, Mintraching der Topographischen Karte 1:25.000, der zu den Besitzungen des Fürstlichen Hauses Thurn und Taxis gehört. An zwei Parabraunerdestandorten, die sich hinsichtlich der Bestockung (Fichte - Buche) unterscheiden, hat VÖLKELE (u.a. 1995a) Vergleiche bezüglich der unterschiedlichen Nährstoffversorgung und der versauerungsbedingten Transformation der Tonminerale angestellt.

Da die letzte Beprobung dieser Standorte bereits im Jahre 1992 stattfand, wurde an dem ausgewählten Fichten- und Buchenstandort (Tab. 3a) jeweils ein Profil aufgenommen, um die aktuelle Situation bezüglich Aziditätsmilieu, Nährstoffversorgung und vor allem auch hinsichtlich der Belastung mit Radiocäsium im Vorfeld zu klären.

Auf beiden Standorten ist eine Parabraunerde ausgebildet. Unterschiede, die nur durch die darauf stockende Vegetation bedingt sein können, sind sowohl im mineralischen Oberboden als auch innerhalb der organischen Auflagen erkennbar. Der Streuabbau geht auf dem ökologisch günstigeren Laubwaldstandort (Hagelstadt I) schneller vor sich, ein Oh-Horizont fehlt völlig. Die entsprechende Humusform ist der Mull. Auf dem Fichtenstandort (Hagelstadt II) ist dagegen ein

Moder ausgebildet. Die ungünstigeren Bedingungen spiegeln sich auch in der Podsolierungstendenz im Oberboden wider.

Die geplanten Fraktionierungsversuche an der organischen Substanz setzen voraus, dass die ausgewählten Standorte eine radioaktive Kontamination mit ^{137}Cs aufweisen. Im Profil Hagelstadt I liegt das Maximum der ^{137}Cs -Belastung mit 409 Bq/kg im A-Horizont, im Profil Hagelstadt II mit 1593 Bq/kg im Oh-Horizont. Die vergleichsweise hohe Belastung des Fichtenstandorts (Hagelstadt II) fällt dabei besonders auf.

Die Daten zur Nährstoffversorgung und zum Aziditätsmilieu werden in Kap. 6.2 im direkten Vergleich mit den weiteren Untersuchungsgebieten gesondert besprochen.

6.1.2 Würzburger Raum

6.1.2.1 Naturraum

Würzburg selbst liegt zwar im Mittleren Maintal, das als schmales Band als gesonderte naturräumliche Einheit betrachtet wird, andererseits aber auch relativ zentral innerhalb der Mainfränkischen Platten (MENSCHING & WAGNER 1963, MÜLLER 1996). Begrenzt werden die Mainfränkischen Platten im Westen und Norden durch Spessart und Rhön, im Westen durch Haßberge, Steigerwald und Frankenhöhe. Zusammen mit den sich nach Südwesten anschließenden Neckar- und Taubergäuplatten bilden die Mainfränkischen Platten eine der großen Einheiten des Südwestdeutschen Schichtstufenlandes. Die Arbeitsgebiete liegen nördlich und nordwestlich von Würzburg innerhalb der sogenannten Wern-Lauer-Platte und der Marktheidenfelder Platte, zwei Teillandschaften der Mainfränkischen Platten (MÜLLER 1996).

Den geologischen Untergrund bilden im westlichen Teil der Muschelkalk und im östlichen Teil der Keuper, die Grenze zwischen beiden verläuft von NNE nach SSW (Geologische Karte von Bayern 1:500.000). Durch Lößaufwehungen während der pleistozänen Kaltzeiten steht auch hier (vgl. Donau-Isar-Hügelland) häufig nicht Muschelkalk oder Keuper an, und es ergeben sich äußerst kleinräumige Wechsel der geologischen Verhältnisse (GK25, 6125 Würzburg Nord).

In optimaler Ergänzung zur TK25 des Landesvermessungsamtes und zur GK25 des Geologischen Landesamtes ist das Blatt 6125 Würzburg Nord auch bodenkundlich kartiert (BK25, 6125 Würzburg Nord). Der häufige Wechsel im Untergrund bedingt ebenso häufige Wechsel der Bodentypen. Rohböden und Rendzinen an steilen Hängen und ehemals bearbeiteten Kuppen, Braunerden, Parabraunerden auf Lößstandorten, Rigosole an den durch Weinbau genutzten Hängen und deren Subtypen sind die vorherrschenden Bodentypen (BRUNNACKER 1958).

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

Untersuchungs- gebiet	Hinterer Bayerischer Wald		Bayerische Kalkalpen			
	TK 25	6845 Bayerisch Eisenstein		8338 Bayrischzell		
Untersuchungs- fläche	Drähberg- West	Drähberg- Jungbuche	BuDo	BuKa	FiDo	FiKa
Lage (RW, HW)	4589500, 5442625	4589375, 5442275	4506790, 5282725	4507610, 5218475	4507325, 5281560	4508025, 5281610
Höhe [m NN], Exposition	870, E	850, E	870, NW	840, S	860, SW	920, SSW
N [mm/a]	1.100 – 1.300	1.100 – 1.300	> 1.500	> 1.500	> 1.500	> 1.500
Substrat	Gneise	Gneise	Hauptdolomit	Plattenkalk	Hauptdolomit	Plattenkalk
Bestockung	Fichte	Buche	Buche	Buche	Fichte	Fichte
Bodentyp/ Humusform	podsolige Braunerde/ Moder	Braunerde/ Moder	Rendzina- Braunerde/ Moder	Rendzina/ Moder	Rendzina/ Moder	Rendzina/ Rohhumus

Tab. 3 Untersuchungsgebiete im Hinteren Bayerischen Wald und in den Nördlichen Kalkalpen.

Untersuchungs- gebiet	Bayerische Kalkalpen				
	TK 25	8532 Garmisch-Partenkirchen			
Untersuchungs- fläche	Osterfelder Kopf	Kreuzeck	Stegerwald	Waldeck	Degernlaine
Lage (RW, HW)	4428450, 5442625	4429850, 5257300	4429850, 5258445	4429650, 5258920	4425600, 5259550
Höhe [m NN], Expo- sition	2.040, E	1.580, N	1.250, N	1.000, N	800, N
N [mm/a]	> 1.800	1.500-1.800	1.500-1.800	1.500-1.800	1.300-1.500
Substrat	Wettersteinkalk			Plattenkalk	
		Hauptdolomit	Raibler- schichten	Partnach- schichten	Moräne / Raibler- schichten
Bestockung		Ahorn	Buche	Buche	Buche
	Latschen	Fichte	Fichte	Fichte	Fichte
Bodentyp	Felshumusböden	Felshumus- böden / Braunerden	Rendzina / Braunerde	Rendzina / Braunerde	Rendzina / Braunerde
Humusform	Tangelhumus	Tangelhumus, Moder	Moder, Mull- artiger Moder	Moder, Mullartiger Moder	Moder, Mullartiger Moder

Tab. 4 Untersuchungsgebiet Bayerische Kalkalpen / Garmisch-Partenkirchen.

Untersuchungsgebiet	Donau-Isar-Hügelland		Muschelkalkhöhen im Würzburger Raum			
TK 25	7039 Mintraching		6125 Würzburg Nord			
Untersuchungsfläche	Hagelstadt II	Hagelstadt I	Binsenberg	Edelmannswald	Kalkofen	Höfeldplatte
Lage (RW, HW)	4514575, 5418338	4514650, 5418375	3568304, 5527313	3563425, 5524875	3560725, 5523744	3560938/ 5526629
Höhe [m NN], Exposition	388, S	390, S	290, SE	310, E	277; SSW	300, NNW
N [mm/a]	650 - 750	650 - 750	550 - 650	550 - 650	550 - 650	550 - 650
Substrat	Löß	Löß	Löß	Löß	Muschelkalk	Muschelkalk
Bestockung	Fichte	Buche	Fichte	Eiche-Buche-Eberesche-Hainbuche	Schwarzkiefer	Eiche-Buche-Hainbuche
Bodentyp	Parabraunerde	Parabraunerde	Parabraunerde	Parabraunerde	Syrosem-Rendzina	Braunerde-Rendzina
Humusform	Moder	Mull	Mull	Mull	Mull	Mull

Tab. 5 Untersuchungsgebiete im Donau-Isar-Hügelland und auf den Muschelkalkhöhen im Würzburger Raum.

Im Gegensatz zu den geologischen Verhältnissen sind die klimatischen Verhältnisse der Mainfränkischen Platten relativ einheitlich (MÜLLER 1996). Es handelt sich um ein verhältnismäßig warmes und niederschlagsarmes Gebiet. Für die Klimaperiode 1961-1990 wird für die Wetterstation Würzburg eine mittlere Temperatur von 9,1 °C und eine mittlere jährliche Niederschlagshöhe von 602,2 mm angegeben (MÜLLER-WESTERMEIER 1996). MÜLLER (1996) gibt für die Mainfränkischen Platten allgemein 550-600 mm/a mittlere Niederschläge an. Gemäß der Angaben bei BAYFORKLIM (1996) sind 550-650 mm/a.

6.1.2.2 Standortauswahl

Im allgemeinen sollen die Untersuchungsflächen möglichst in der näheren Umgebung von Würzburg sein, denn mit wachsender Entfernung in Richtung Nordwesten, wo der Muschelkalk ansteht, nimmt auch die Höhe der jährlichen Niederschläge zu (BAYFORKLIM 1996). Um die Vergleichsmöglichkeit mit den ebenso relativ niederschlagsarmen Untersuchungsflächen im Donau-Isar-Hügelland zu gewährleisten, werden Parabraunerdestandorte in die Untersuchung aufgenommen. Desweiteren erlauben Rendzinenstandorte den Vergleich mit dem gleichen Bodentyp unter hydrologisch völlig unterschiedlichen Bedingungen in den Nördlichen Kalkalpen.

Anhand der bodenkundlichen Karte (BK25, 6125 Würzburg Nord) und geologischen Karte (GK25, 6125 Würzburg Nord) wurden zunächst geeignete Flächen ausgewählt und begangen,

um die auf den auszuwählenden Arealen tatsächlich vorkommende Bodentypen festzustellen, denn Karten sind naturgemäß bis zu einem gewissen Grade immer generalisiert. Ferner galt es, vor Ort jeweils möglichst reine Laub- und Nadelwaldstandorte auszumachen.

Unter Laubwald wird auf der Höfeldplatte südöstlich von Thüngersheim ein Rendzinaprofil beprobt (Profil 6125-4). Wie erwartet ist die organische Auflage mit 2 cm sehr geringmächtig und die entsprechende Humusform ein F-Mull. Als Rendzinenstandort (Profil 6125-7) unter Nadelwald wurde eine Fläche südlich von Erlabrunn, westlich des Mains am sogenannten Kalkofen ausgewählt (Tab. 3a). Die Fläche wurde mit österreichischer Schwarzkiefer aufgeforstet (BRUNNACKER 1958). Gute klimatische und bodenökologische Verhältnisse sorgen hier auch auf einem Nadelwaldstandort für einen schnellen Streuabbau, der sich in der Humusform Mull ausdrückt. Profilbeschreibung, bodenanalytische Standardwerte, Kationenaustauschkapazitäten und ^{137}Cs -Aktivitäten sind, ebenso für die im folgenden beschriebenen Profile 6125-5, -6, dem Anhang zu entnehmen.

Parabraunerden mit möglichst einheitlicher Bestockung finden sich unter Nadelwald am Binsenberg nordöstlich von Güntersleben und unter Laubwald im Edelmannswald nördlich von Veitshöchheim (Tab. 3a). Auch hier tritt an beiden Standorten die Humusform Mull auf. Unterschiedliche Auswirkungen der Bestockung auf das Bodenmilieu werden erst im Oberbodenhorizont deutlich. Der A-Horizont des Profils Binsenberg ist sauergebleicht und weist einen pH-Wert von 2,95 auf. Im A-Horizont des Profils Edelmannswald wurde dagegen ein pH-Wert von 5,6 festgestellt.

Die Belastung mit Radiocäsium ist im Würzburger Raum im allgemeinen noch wesentlich geringer als im Hügelland südlich von Regensburg (BAYER et al. 1996). Aber auch hier sind in den Profilen 6125-4, -5, -6 und -7 in den Auflagenhorizonten und den Oberbodenhorizonten meßbare, wenn auch sehr geringe ^{137}Cs -Aktivitäten vorhanden.

6.1.3 Hinterer Bayerischer Wald

6.1.3.1 Naturraum

Der Bayerische Wald bildet mit dem Oberpfälzer Wald den Süd- bzw. Südwestrand der Böhmisches Masse. Das für das Forschungsvorhaben herangezogene Untersuchungsgebiet liegt im Hinteren Bayerischen Wald, den die Regensenke und die Pfahlzone vom Vorderen Bayerischen Wald, die Cham-Further-Senke vom Oberpfälzer Wald und der bayerisch-böhmische Grenz-kamm vom Böhmerwald trennen.

Das Gebiet des Bayerischen Waldes ist Teil des Moldanubikums, in dem präkambrische Stoffbestände dominieren. Vorherrschende Gesteine sind Gneise (durch tektonische Vorgänge

metamorphisiert), Granite (Intrusionen während der variskischen Orogenese) und Quarz (Pfahlstörung) (BGLA 1996). Im Gebiet des Hochberg bei Bayerisch Eisenstein dominieren Cordierit-Sillimanit-Gneise (MADEL et al. 1968).

Wie in allen Mittelgebirgen sind periglaziale Deckschichten weitverbreitet und stellen somit das Substrat der Bodenbildung (VÖLKELE 1995a). Die periglazialen Deckschichten steuern entgegen der aus Unkenntnis teils noch verbreiteten Lehrmeinung äußerst nachhaltig die physikochemischen und damit alle ökologischen Bedingungen. In diesen Deckschichten haben sich hier vor Ort als typische Bodentypen die Braunerde mit den für das ostbayerische Kristallin wichtigsten Subtypen Basenarme Braunerde, Lockerbraunerde, Ranker-Braunerde und Podsolige Braunerde entwickelt (VÖLKELE 1995a).

Klimatisch liegt der Hintere Bayerische Wald im Einflußbereich von kontinentalem und ozeanischem Klima. Neben dem Niederschlagsmaximum im Sommer gibt es ein sekundäres Maximum im Winter (ELLING et al. 1987). Charakteristisch sind niedrige Jahresmitteltemperaturen, nächtliche Temperaturinversionen in den Tallagen, hohe Niederschlagsmengen und hohe Anteile an Schnee am Gesamtniederschlag. Vorherrschende Windrichtung ist West bis Südwest, wobei auch die kalten Ostwinde (sog. Böhmwind) typisch sind (ELLING et al. 1987). Die mittleren jährlichen Niederschläge geben ELLING et al. (1987) für die Höhenlagen bis 900 m im Nationalpark Bayerischer Wald (Stand 1987: noch ohne Erweiterungsgebiet in Richtung NW) mit 1100-1400 mm an, BAYFORKLIM (1996) ist ein Wert von 1100-1300 mm zu entnehmen.

6.1.3.2 Standortauswahl

In der Kategorie primär schlecht nährstoffversorgter Böden in einem Naturraum mit hohen jährlichen Niederschlagsmengen werden Standorte ausgewählt, die sich in der unmittelbaren Umgebung der o.g. Dauerbeobachtungsfläche der AG Völkel befinden (vgl. VÖLKELE 1997, 1999). Der Drähberg bei Bayerisch Eisenstein zählt zu den am höchsten belasteten Gebieten Deutschlands (BAYER et al. 1996, VÖLKELE 1997) und bietet sich nicht zuletzt deshalb als Untersuchungsgebiet an. Denn je höher die Cäsiumbelastung im Waldökosystem ist, umso größer sind Belastungsunterschiede in den einzelnen Kompartimenten des Ökosystems und desto höher ist auch die Wiederfindungsrate des Radiocäsium in einzelnen Teilfraktionen der organischen Substanz.

Sowohl auf dem buchenbestandenen als auch auf dem fichtenbestandenen Standort (in Umgebung der Untersuchungsfläche wurde der Mineralboden jeweils bis zur Tiefenstufe 10-15 cm beprobt. Dabei umfaßt die Tiefenstufe 0-5 cm den A(e)h-Horizont bzw. Ah-Horizont der podsoligen Braunerde (fichtenbestandenen) bzw. Braunerde (buchenbestandenen) und den obersten Bereich des Bv-Horizontes, da der A(e)h- bzw. Ah-Horizont nur maximal 4 cm mächtig ist.

Als Humusform liegt im Falle der Fichtenbestockung ein feinhumusarmer (Mächtigkeit des Oh-Horizontes 1 bis maximal 2 cm) rohhumusartiger Moder vor. Die Auflagenhorizonte L, Of und Oh wurden getrennt beprobt. Die ökologisch günstigeren Bedingungen des Buchenstandortes machen sich bereits in einer günstigeren Humusform, dem Mullartigen Moder bemerkbar. Der Oh-Horizont fehlt beziehungsweise er ist nur an einem von drei beprobten Standorten in einer Mächtigkeit von 1 cm vorhanden.

6.1.4 Bayerische Kalkalpen

6.1.4.1 Naturraum / Mangfallgebirge

Aufgrund der Zielsetzung des Forschungsvorhabens hat sich das Mangfallgebirge sowohl aus naturräumlichen als auch aus logistischen Gründen als geeigneter erwiesen als die zunächst ins Auge gefaßten Standorte im Lattengebirge.

Das Mangfallgebirge in den Nördlichen Kalkalpen ist Teil der Oberbayerischen Voralpen und liegt an der deutsch-österreichischen Grenze zwischen den Tälern von Isar und Inn (MEY-NEN et al. 1953-1962). Die nördliche Grenze am Alpenrand ist tektonischer Natur (zusammenfassend u.a. bei BGLA 1996).

Gipfelbildner sind die erosiv resistenteren Kalk- und Dolomitserien. Die Täler liegen dagegen zumeist in den mergelreichen Gesteinen (WOLFF 1985). Ein Hauptgestein und Hauptgipfelbildner des Bayerischen Alpenanteils ist der Hauptdolomit, der wegen seiner brecciösen Struktur auch Hauptschuttbildner ist (BGLA 1996). Aus dem oberen Hauptdolomit entwickelte sich durch zunehmende Einschaltung von Kalkbänken der im engeren Untersuchungsgebiet ebenso anstehende Plattenkalk (BGLA 1996).

GROTTENTHALER (1985) faßt die geologischen Einheiten auf Blatt 8338 Bayrischzell der GK25 in vier Gruppen von Bodenausgangsgesteinen zusammen: Karbonatgesteine mit geringem Tongehalt, kalkig-kieselige und sandige Schichtserien, mergelig-tonige Schichtserien und Lockersedimente des Quartär. Für die vorliegenden Untersuchungen werden nur Böden auf Karbonatgesteinen für den Vergleich mit den ebenso niederschlagsreichen aber nährstoffarmen Standorten im Hinteren Bayerischen Wald ausgewählt. Zumeist entwickeln sich die Böden nicht in den anstehenden Karbonatgesteinen, sondern in periglazialen Deckschichten, deren Bestandteil zum Teil auch zentralalpines Fremdmaterial in Form von Moränenmaterial oder glimmerreichen Lössen ist (vgl. u.a. ARTMANN & VÖLKELE 1999).

Die Bodenbildungen auf Karbonatgesteinen reichen vom Syrosem über die Rendzinen bis zu Terraefuscae (reliktische Kalkstein-Braunlehme), wobei letztere nur kleinflächig in erosionsgeschützten Geländepositionen vorkommen (GROTTENTHALER 1985). Braunerden entwickeln sich hingegen dort, wo Schuttdecken als Hangsedimente über dem Karbonatgestein liegen.

Für die Bayerischen Kalkalpen sind hohe jährliche Niederschlagsmengen mit einem ausgeprägten Sommermaximum und niedrige Jahresmitteltemperaturen charakteristisch, wobei beide Größen eine deutliche Abhängigkeit von der Höhenlage aufweisen (HENDL 1995). Die Station des Deutschen Wetterdienstes, die dem Untersuchungsgebiet (Höhe 840 - 920 m NN) am nächsten liegt, ist die Station Wendelstein. Diese liegt allerdings auf 1.832 m NN und kann deshalb mit einem mittleren jährliche Niederschlag von 1.713 mm (Bezugszeitraum 1961-1990, MÜLLER-WESTERMEIER 1996) keine verwendbaren Daten liefern. Für den Bezugszeitraum 1931-1960 gibt WROBEL (1985) für Bayrischzell auf 800 m NN einen mittleren jährlichen Niederschlag von 1.586 mm an. In diesem Rahmen bewegen sich die Niederschlagsraten für das Untersuchungsgebiet.

6.1.4.2 Standortauswahl

Wie im Gebiet um Bayerisch Eisenstein im Hinteren Bayerischen Wald wurden auch im Mangfallgebirge die Böden durch den Tschernobyl-Fallout mit großen Mengen $^{137}\text{Cäsium}$ radioaktiv kontaminiert, weshalb der Raum für radioökologische Untersuchungen besonders geeignet ist.

Die Standortauswahl gestaltete sich hier allerdings am schwierigsten. Im Gegensatz zum Würzburger Raum liegen keine amtlichen bodenkundlichen Kartierungen vor. Auf eigene Arbeiten im Rahmen anderer Untersuchungen konnte ebenfalls nicht zurückgegriffen werden. Nicht zuletzt ist das Gelände im allgemeinen unzugänglicher als in den übrigen Untersuchungsgebieten und auch nur zum Teil befahrbar.

Im Untersuchungsgebiet sollen unserer Zielsetzung folgend Kalk- und Dolomit-, Nadel- und Laubwaldstandorte räumlich möglichst nahe beieinander liegen. Eine generelle Schwierigkeit ist, dass kaum reine Laubwaldbestände vorkommen. Im Gebiet des südlichen Schortenkopfgipfels, wo Wettersteinkalk und Hauptdolomit benachbart vorkommen, und am Wildbarren (Plattenkalk und Hauptdolomit) konnten keine reinen Laubwaldstandorte ausgemacht werden. Die in die Untersuchung eingehenden Profile liegen zwischen Tatzelwurm und Wildbarren. Es handelt sich durchweg um Rendzinen über anstehendem Hauptdolomit oder Plattenkalk (Tab. 3a). Bei der Standortauswahl wurde darauf geachtet, dass Lössanteile, die bereits im Felde leicht am Glimmergehalt zu erkennen sind, im Feinmaterial auszuschliessen sind. Periglaziale Deckschichten, die das Anstehende bedecken, sind auch hier ubiquitär verbreitet. An den einzelnen Standorten wurde entsprechend darauf geachtet, dass das Material, welches die periglaziale Deckschicht aufbaut, hinsichtlich seiner Lithologie auch dem Anstehenden entspricht. Zur Unterscheidung zwischen Kalk- und Dolomitstandorten ist im Gelände der Test mit 10 %iger Salzsäure ausreichend. Kalziumkarbonatgestein (Kalk) reagiert sofort mit Salzsäure, während die Reaktion mit Dolomit als Magnesiumkarbonat wesentlich verzögert ist. Moder oder

Rohhumus sind die hier verbreiteten Humusformen. Obwohl die Böden gut nährstoffversorgt sind, ist unter den kühl-feuchten Bedingungen keine ökologisch günstigere Humusform zu erwarten.

6.1.4.3 Naturraum / Wettersteingebirge

Das Wettersteingebirge südlich von Garmisch-Partenkirchen ist Teil der Nördlichen Kalkhochalpen (MEYNEN et al. 1953-1962) und bildet mit seinem Hauptkamm die Südgrenze der Bundesrepublik Deutschland. Sie ist identisch mit der tektonisch angelegten Überschiebungsgrenze der Lechtal-Decke und der südlichen Inntal-Decke (zusammenfassend dargestellt u.a. bei BGLA 1996). FISCHER (1995) ordnet in seiner Dreiteilung der deutschen Alpenanteile dem Gebirge zwischen Lech und Saalach als Teilkomplex das Wettersteingebirge zu, welches mit der Zugspitze maximale Höhen von 2.962 m NN erreicht.

Eine aktuelle geologische Karte, die den Blättern Nr. 8535/8632 Garmisch-Partenkirchen der Topographischen Karte 1:25.000 (sog. Meßtischblattgröße) entsprechen würde, existiert nicht. Daher wird auf Informationen der benachbarten Kartenblätter Nr. 8532/8633 Mittenwald sowie auf kleinmaßstäbigere geologische Karten zurückgegriffen. Als Ausgangssubstrate der Bodenbildung stehen im Untersuchungsgebiet vier Hauptlithotypen an, nachstehend gegliedert in hypsometrischer Abfolge und in die im Rahmen der Untersuchung angelegten Höhenstufenprofile.

Die Heterogenität der Ausgangsgesteine wird von quartären Lockersedimentdecken wie Moränenablagerungen, periglazialen Deckschichten (vgl. ARTMANN & VÖLKELE 1999) sowie von (Gebirgs-)Löß beeinflusst, so dass im Einzelfall der Standortauswahl der zu beprobenden Bodenprofile eine zeitaufwendige Übersichtskartierung des oberflächennahen Untergrundes im Gelände vorangestellt mußte.

Wettersteinkalk (TRIAS / Ladin – Karn)	Kalkstein lokal mit Blei- und Zinkerzen; bereichsweise Dolomitstein
Raiblerschichten bis Carditaschichten (TRIAS / Karn)	Ton-, Schluff-, Mergel- und Sandstein, teilweise dolomitisiert; Rauhwacken und Gipsgesteine
Hauptdolomit (TRIAS)	Dolomitstein, lokal als Ton- und Schluffstein, Bitumenmergel, Konglomerate, Kalkstein.
Partnachsichten (TRIAS / Ladin)	Ton-, Schluff-, Mergel- und Kalkstein

Tab. 6 Geologisch-sedimentologische Grundeinheiten im Untersuchungsgebiet Garmisch-Partenkirchen. Das Spektrum der zu erwartenden und teilweise auch vorgefundenen Bodentypen auf diesen meist karbonatreichen Ausgangsgesteinen reicht von initialen O/C-Böden (Felshumusböden;

Skeletthumusböden) über die Ai/C-Böden (Syroseme) hin zu Ah/C-Böden in Form von Rendzinen und Pararendzinen. Die hier verbreiteten Subtypen der Tangelrendzinen mit ihren mächtigen organischen Auflagen gehen ebenfalls in die Untersuchungen ein. Ferner sind alle Übergangsstadien der Ah/C-Böden zu Braunerden vertreten. Im Falle lößhaltiger Ausgangssubstrate in Form entsprechender jungquartärer Sedimente sind Braunerden auch in den Hochlagen von über 2.000 m NN verbreitet (Bereich Osterfelderkopf).

Die Jahresniederschläge variieren der Höhenlage entsprechend. Nach HENDL (1995) ist der Raum dem perhumiden Klima zuzuordnen. Ein klimatisch bedingtes Wasserdefizit, welches sich auf die Ausbildung der organischen Auflagen und auf die Pedogenese auswirken könnte, tritt zu keiner Jahreszeit auf. Die Niederschlagsmaxima im Untersuchungsgebiet reichen von 1.364 mm/a im abgeschirmten Längstalbereich bei Garmisch-Partenkirchen bis 2.003 mm/a auf der Zugspitze (30 jährige klimatische Normalperiode, Zeitraum von 1961-1990, Daten aus MÜLLER-WESTERMEYER 1996). Diesen Niederschlags- und Klimagradienten folgt unser Höhenprofil im Verbund mit dem Wechsel der Lithotypen und der bodenbildenden Substrate (s.o.).

6.1.4.4 Standortauswahl

Die Auswahl der Einzelstandorte war aufgrund der Heterogenität und der unzulänglichen Datenlage zur Boden- und Substratverbreitung (s.o.) nicht einfach. Auf eigene Vorarbeiten konnte nicht zurückgegriffen werden. Insgesamt wurden fünf Untersuchungsteilräume ausgewählt (Osterfelderkopf, Kreuzeck, Stegerwald, Waldeck und Degernlaine).

Die einzelnen Ausgangsgesteine wurden im Gelände hinsichtlich ihrer Karbonatgehalte (Dolomit / Kalk) klassifiziert. Treten periglaziale Deckschichten beziehungsweise Moränenmaterial als Ausgangssubstrate auf, so wurde darauf geachtet, dass das schichtbildende Material hinsichtlich der Lithologie dem Anstehenden entspricht. Vor allem bei Moränenmaterial ist aufgrund der möglichen großen Transportweiten besondere Vorsicht geboten. Als Humusformen treten weitverbreitet Rohhumus oder Moder auf, auf Laubwaldstandorten vereinzelt auch Übergänge zu Mull. In den Hochlagen finden sich häufiger auch reine Tangelhumusauflagen.

6.2 Vergleichende Darstellung charakteristischer pedologischer Grundparameter der Untersuchungsgebiete

6.2.1 Aziditätsmilieu

Wie erwartet unterscheiden sich die einzelnen Untersuchungsgebiete hinsichtlich ihrer pedochemischen Grundparameter erheblich. So liegen in den sauren, basenarmen Böden des kristallinen **Bayerischen Waldes** die pH-Milieus der organischen O-Horizonte zwischen minimal pH 2,9 und maximal pH 3,7. Ein signifikanter Unterschied zwischen Buchen- und Fichten-

Bestockung besteht nicht. Das Aziditätsmilieu der pflanzenversorgenden Auflagehorizonte wird hier also weniger von der Bestockungsart als vom oberflächennahen Untergrund gesteuert.

Ganz anders sieht die Situation in den Nördlichen Kalkalpen bei **Bayrischzell** aus. Dort weisen die organischen Auflagen unter Fichtenbeständen ähnlich saure Milieus auf wie im kristallinen Bayerischen Wald (pH 2,7 – pH 3,8), und zwar unabhängig von den in den Bayerischen Kalkalpen gegebenen geologischen Wechsellagen und Heterogenitäten. Über alle Lithotypen hinweg steuert hier die Bestockungsart das Aziditätsmilieu der Auflagehorizonte. Entsprechend weisen die organischen O-Horizonte der unmittelbar benachbarten Buchenbestände bei identischen geologischen und klimatologischen Bedingungen ein deutlich besseres pH-Milieu auf, welches sich zwischen pH 4,5 und pH 6 bewegt. Das ist ein gewaltiger Unterschied, allein zurückzuführen auf die Bestockungsart. Allen Profilen gemeinsam ist ein markanter Sprung des pH-Wertes zum tiefergelegenen Mineralbodenhorizont auf neutrale bis basische Bereiche, die durch das karbonatische Ausgangsgestein hervorgerufen werden.

Im Untersuchungsareal von **Garmisch-Partenkirchen** ist das Aziditätsmilieu der nährstoffversorgenden und das Cäsium speichernden organischen Auflagen sehr heterogen ausgeprägt. Während die Tangelhumusaufgaben im Nordhang des Kreuzecks typischerweise Werte von pH 3,3 bis pH 4,5 erreichen, liegen die Werte am Osterfelderkopf bei gleichartiger Humusform wesentlich höher; sie liegen im Bereich von pH 4,6 und pH 6,2. Diese für Tangelhumusaufgaben hohen pH-Werte sind wahrscheinlich auf kontinuierlichen äolischen Stoffeintrag aus den umliegenden karbonatischen Schutthalden zurückzuführen. Kryoklastik zermürbt auf diesen Schutthalden das Gestein und setzt die Stäube frei, ein Aspekt, der bislang nicht beschrieben wurde. Die pH-Werte der organischen Auflagen der übrigen Standorte hier vor Ort sind bodenökologisch als durchweg gut zu bewerten. Die niedrigsten Werte liegen bei pH 4,8, während der überwiegende Teil der Profile sich unabhängig von der Bestockungsart im pH-Milieu pH 5,0 und pH 6,5 bewegt.

Das Aziditätsmilieu der unter vorgenannten organischen Auflagehorizonten folgenden Mineralbodenhorizonte ist im Garmisch-Partenkirchener Raum sehr viel stärkeren Schwankungen unterworfen, als dies im Vergleichsgebiet um Bayrischzell der Fall ist. Bilden Solifluktiondecken mit hohen äolischen Bestandteilen die minerogenen Substrate der Bodenbildung, so besteht ein markanter Abfall der pH-Werte auf pH 3,6 bis pH 3,8. Infolge der Entkarbonatisierung und Versauerung der ehemals karbonatischen Ausgangssubstrate entstanden auf diesen Lithotypen verbrauchte Bv-Horizonte. Da präkaltzeitliche Verwitterungsresiduen in den Hangbereichen des Hochgebirgsraums in aller Regel fehlen, liegen im Falle des Fehlens periglazialer Deckschichten und/oder glazigener Sedimente (Moränenmaterial, sog. Till) die organischen Auflagen an diesen Standorten direkt dem anstehenden Festgestein beziehungsweise dessen groben Klastika auf; die pH-Werte bewegen sich hier im neutralen Bereich.

Im Trockenareal der **Muschelkalkkrücken bei Würzburg** ist das pedochemische Milieu nicht primär von der Bestockung gesteuert. Vielmehr steuert hier der Bodentyp das pH-Milieu, welches sich bei den flachgründigen Syrosem-Rendzinen auch unter Kiefernbestockung um pH 4,7 bewegt. Stärker versauert sind die O-Horizonte der Areale mit Parabraunerden; hier fallen die pH-Werte sowohl unter Nadelwald- als auch unter Laubwaldbestockung auf Minima von pH 3,2 ab. Ein sprunghafter Anstieg in der pH-Tiefenfunktion von den organischen Auflagehorizonten zum liegenden mineralogenen Material ist nur im Falle der Rendzinen und Braunerde-Rendzinen gegeben. Die Parabraunerden hingegen sind wie überall im Bereich ihrer Ah- und Al-Horizonten stark versauert. Die gammaspektrometrischen Meßergebnisse liegen in diesem Naturraum den Tschernobyl-Fallout betreffend allerdings bereits im Rauschen, was jedoch die Erarbeitung der naturräumlichen Grundsätze aus radioökologischer Sicht bezüglich möglicher neuer Einträge infolge radiologischer Ereignisse nicht überflüssig macht.

Das niederbayerische **Lößhügelland bei Regensburg** weist als charakteristischen Bodentyp Parabraunerden auf, die bodentypologisch charakteristisch sowohl unter Fichtenbestockung als auch unter Laubwaldbestockung (zumeist Buche) über die 40-50 cm mächtigen mineralischen Oberböden (Ah- und Al-Horizonte) tiefgreifend versauert sind. Dennoch stellt sich das Aziditätsmilieu der organischen Auflagehorizonte weitaus besser dar, als es die Daten aus dem Oberbodenbereich erwarten lassen können. Über alle Bestockungsarten hinweg ermittelten wir pH-Werte von pH 4,8 bis pH 6,3, während die darunterliegenden Mineralbodenhorizonte aller Profile maximal pH 3,5 erreichen. Die Erklärung für das weitaus günstigere Aziditätsmilieu im Bereich der O-Horizonte ist ausschließlich im windbürtigen Eintrag von Düngemittel aus dem Bereich der stets unmittelbar benachbarten landwirtschaftlichen Nutzflächen zu suchen. Dass dennoch auch hier bestockungsabhängige Unterschiede bestehen, hat VÖLKE (1995a) im Rahmen einer Studie zur versauerungsbedingten Transformation von Tonmineralen herausgearbeitet. Mit Nachdruck ist festzuhalten, dass sich Waldgebiete in einem agrarisch so intensiv genutzten Raum wie dem niederbayerischen Lößhügelland (Dungau) in der Folge auch aus radioökologischer Sicht anders darstellen als quasinatürliche Waldstandorte der Mittel- und Hochgebirge.

6.2.2 Zwischenrésumé

Die Interpretationen des Aziditätsmilieu der untersuchten Gebiete und Standorte betreffend ist wiederholend festzuhalten, dass es sich dabei um einen der wichtigsten bodenökologischen Parameter handelt, der vor allem auch das Redoxverhalten der Böden mitsteuert und damit erheblichen Einfluß auf sämtliche Transformations- und Translokationsprozesse in den Bodenhorizonten nimmt. Das gilt in Sonderheit für das Radiocäsium resp. alle Radionuklide. Bereits das Aziditätsmilieu betreffend machen unsere Untersuchungsergebnisse in unterschiedlichen naturräumlichen Einheiten Bayerns unumstößlich klar, dass nicht nur zwischen den einzelnen,

naturräumlich voneinander abweichenden Einheiten eine hohe Heterogenität besteht. Vielmehr treten auch innerhalb der einzelnen Untersuchungsräume erhebliche Schwankungen auf, die bisher so nicht bekannt waren und im jeweiligen für den Naturraum charakteristischen Areal erfaßt und definiert werden müssen. Erst unter Kenntnis dieser Fakten ist aus radioökologischer Sicht das kurzfristige und vor allem langfristige Verhalten von Radionukliden allgemein und Radiocäsium im Besonderen bewertbar. Wie vor Jahren im Falle der Erarbeitung eines Atlases zur potentiellen Schwermetallverteilung und –belastung der Böden Bayerns und der Bundesrepublik Deutschland darf man nicht dem Fehler aufsitzen, über die Lithologie (hier: und über die Bestockung) eines Naturraumes auf ein daraus ableitbares, definiertes Aziditätsmilieu zurückzuschließen. Die Charakterisierung unterschiedlicher naturräumlicher Einheiten Bayerns aus radioökologischer Sicht erscheint im Hinblick gerade auch auf mögliche radiologische Ereignisse unausweichlich notwendig.

6.2.3 Kationenaustauschkapazität

Das Aziditätsmilieu, dargestellt mittels des pH-Wertes, ist eine bekannte und schnell erhebbare Größe im Rahmen bodenökologischer Untersuchungen. Genauerem Aufschluß über die Verhältnisse bezüglich des Ionenbesatzes und einer möglichen Ionenkonkurrenz im Falle radiologischer Ereignisse gibt jedoch nur die Erhebung des Kationenbesatzes der Bodentauscher. Bekannt ist, das im Bodenmilieu vor allem Kalium ein Gegenspieler im Zuge der Pflanzenverfügbarkeit von Radiocäsium ist, wie Cäsium wiederum bei Kaliummangel die potentiellen Bindungsplätze von Kalium einnimmt und von den Pflanzen als vermeintliches Makronährelement aufgenommen wird. Die Ergebnisse dieser Studie zeigen nachdrücklich, dass auch die effektive Kationenaustauschkapazität sowohl bezüglich der Kaliumsättigung als auch in ihrer Gesamtsumme eine hohe Heterogenität zwischen den einzelnen Untersuchungsräumen aber auch innerhalb derselben aufweist. Ursache sind zuvorderst die von Standort zu Standort unterschiedlich entwickelten organischen Auflagen (siehe oben). Die organischen Auflagehorizonte stellen in aller Regel die Hauptversorgungshorizonte der Waldvegetation dar, von der Krautschicht bis hin zu den Gehölzpflanzen. Abb. 4 zeigt die Anteile des Kaliums an der effektiven Kationenaustauschkapazität (KAK eff.) in den einzelnen Untersuchungsgebieten für die Auflagehorizonte in Gegenüberstellung der ^{137}Cs -Werte beprobter lebender Pflanzenteile. Die vorgenannte Heterogenität in Form erheblicher Schwankungen der austauschbaren Kaliumanteile wird bereits vor dem Hintergrund durchgängig karbonatischer Ausgangssubstrate

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

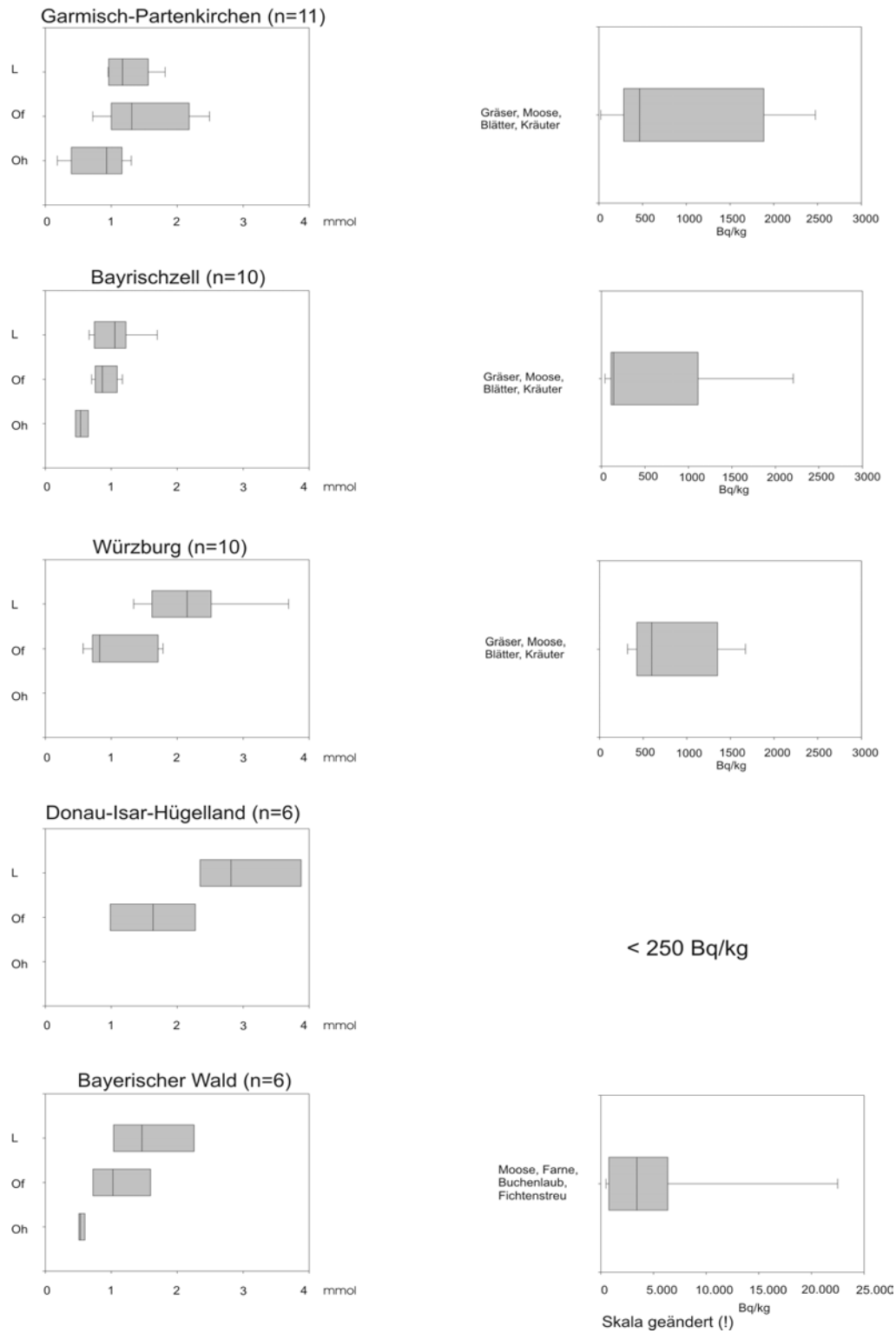


Abb. 4 Gegenüberstellung der Kaliumversorgung und der Bioverfügbarkeit von ^{137}Cs in den einzelnen Untersuchungsgebieten.

Verfügen

in allen Untersuchungsgebieten bis auf den kristallinen Bayerischen Wald offenkundig. Karbonatreiche Lithotypen hätten eine gleichförmigere Kaliumversorgung auf gehobenem Niveau über die Untersuchungsgebiete hinweg erwarten lassen.

Die Daten zeigen, dass die höchsten Werte im **Lößhügelland bei Regensburg** (repräsentativ für das gesamte Donau-Isar-Hügelland) ermittelt werden. Über 50 % der L-Horizonte (oberster organischer Auflagehorizont, Streu) weisen austauschbare Kalium-Ionen von mehr als 3 mmol/100g auf. Im Of-Horizont (mittlerer organischer Auflagehorizont, Fermentationshorizont) gehen die Werte bei konstantem prozentualen Gesamtanteil auf 1,8 mmol/100g zurück. Bei stark versauerten, kaliumarmen Mineralbodenhorizonten im Bereich der ca. 40 cm mächtigen Al-Horizonte unterhalb der kaliumreichen Auflagehorizonte belegt dieses Verteilungsmuster die Richtigkeit der unter Kap. 6.2.1 geäußerten Vermutung, dass hier vor Ort der intensive Kunstdüngereinsatz auf den umgebenden landwirtschaftlichen Nutzflächen das Aziditätsmilieu und die Nährstoffversorgung der Forsten nachhaltig beeinflusst. Oh-Horizonte sind aufgrund guten biotischen Umsatzes auf den Lößparabraunerden dieses Naturraumes in aller Regel gar nicht oder nur initial entwickelt. In der Graphik werden sie daher nicht dargestellt. Unter dem Einfluß einer hohen Kaliumverfügbarkeit ist die Bioverfügbarkeit von Radiocäsium im Lößhügelland zur Zeit vergleichsweise gering. Die Daten der Pflanzenbeprobung ergeben eine Cs-Belastung von lediglich 30 – 252 Bq/kg, obwohl in den Proben der Of-Horizonte weitaus höhere Werte ermittelt werden, in Einzelfällen von über 1.800 Bq/kg.

Auf den **Muschelkalkrücken im Würzburger Raum** erreicht die Versorgung mit austauschbarem Kalium in den Streuauflagen der Waldböden (L-Horizonte) Mittelwerte von 2,1 mmol/100g mit Maximalwerten bis nahe 4 mmol/100g. Die Kaliumsättigung geht in den Of-Horizonten deutlich zurück und liegt bei einem Median von lediglich 0,9 mmol/100g. Die schlechte Kaliumversorgung insbesondere im Bereich der Of-Horizonte führt im Untersuchungsgebiet der Muschelkalkrücken um Würzburg trotz vergleichsweise sehr geringer Ortsdosisleistung dennoch zu einer nennenswerten Bioverfügbarkeit von Radiocäsium. Das drückt sich vor allem in den Cs-Werten von Kräutern und Gräsern aus (Abb. 4). Bei Maximalwerten von 1.761 Bq/kg kommt der Median immerhin noch bei 600 Bq/kg zu liegen. Der Vergleich mit den Daten aus dem Regensburger Lößhügelland zeigt, dass die schlechtere Kaliumversorgung der Of-Horizonte von Forsten im Würzburger Raum bei insgesamt weitaus niedrigerer Gebietsbelastung dennoch zu einer vergleichsweise deutlich höheren Bioverfügbarkeit des Radiocäsiums führt. Hinzu kommt, dass die Versorgungswurzeln auf den flachgründigen Standorten keine besser entwickelten Mineralbodenhorizonte zur Verfügung haben und sich auf den, wenn auch vergleichsweise gering belasteten Hauptverbreitungshorizont des Radiocäsiums beschränken müssen. Auf bestehende Heterogenitäten innerhalb der Standorte wird hingewiesen. Sie wer-

den im Zuge dieser auf Generalisierungsfähigkeit ausgelegten Interpretation durch die Beprobungsmodalitäten aufgefangen, gleichwohl auch über diesen Modus erst erkannt (s.o.).

Besonders markante Unterschiede bezüglich der Kaliumversorgung weisen die einzelnen Standorte in den Bayerischen Kalkalpen auf. Für die organogenen Auflagen im Untersuchungsgebiet **Bayrischzell** wurden die geringsten Kaliumgehalte aller Standorte im Zuge dieser Studie ermittelt. Selbst in den L-Horizonten liegt dort der Median lediglich bei 1,0 mmol/100g, um im Oh-Horizont auf 0,5 mmol/100g zurückzugehen. Die Ursache der Kaliumverarmung der Auflagehorizonte ist im Ausgangsgestein zu suchen, also im Lithotyp dieser naturräumlichen Einheit. Denn die hier anstehenden karbonatischen Sedimentgesteine weisen in ihren Verwitterungsresiduen kaum kaliumhaltige Minerale auf, woraus je nach Reinheit der Karbonatgesteine (90 – 99 %) geringe Kaliumgehalte resultieren. Diese geringen Kaliumgehalte gehen im Zuge der Verwitterung bereits zu großen Teilen verloren. Denn der Prozeß der Entkarbonatisierung und damit verbundenen Auswaschung der Karbonate ist der erste Schritt bei jeder physikochemischen Gesteins- und Mineralzersetzung. Auf den ersten Blick erstaunlich sind vor diesem Hintergrund die Daten zur Cs-Belastung der Vegetation hier vor Ort im Vergleich mit den Daten aus dem Würzburger Raum. Denn bei einer weitaus höheren Ortsdosisleistung im Untersuchungsgebiet Bayrischzell ist die gemittelte Cs-Belastung der Vegetation sehr gering, trotz der wie belegt schlechten Kaliumversorgung. Hier kommt ein anderer Umstand zum Tragen. Die im Würzburger Raum auf den Muschelkalkhöhen sehr flachgründigen Böden zwingen die Vegetation, sich ganz überwiegend aus den Auflagehorizonten mit Nährstoffen zu versorgen. Hier vor Ort aber sind die Böden tiefgründig entwickelt, da feinmaterialreiche Solifluktsdecken (Fließerden) als Substrate der Bodenbildung zur Verfügung stehen. Im Vergleich ist ableitbar, dass Standorte auf sehr flachgründigen Böden wie auf den Erosionsarealen der Würzburger Muschelkalkhöhen prädestiniert sind für eine langanhaltend hohe Bioverfügbarkeit von Radiocäsium.

Im Untersuchungsraum **Garmisch-Partenkirchen** ist die Kaliumsättigung der Auflagen etwas besser als im Untersuchungsareal um Bayrischzell. Der Median liegt in allen Humushorizonten > 1 mmol/100g, mit Maximalwerten von > 2 mmol/100g in den L- und Of-Horizonten. Die Bioverfügbarkeit von Radiocäsium ist auf den einzelnen Standorte sehr variabel. Abhängigkeiten von der Höhenlage und damit verbundenen von den jährlichen Niederschlagsmengen oder auch von unterschiedlichen geologischen Ausgangssubstraten ist nicht zu erkennen. Dennoch ist die Bioverfügbarkeit gegenüber den Standorten in Bayrischzell erhöht, was sich einerseits über einen Median um 500 Bq/kg sowie über wiederholt erhöhte Einzelwerte von > 2.500 Bq/kg ausdrückt.

Im kristallinen **Bayerischen Wald** weisen die Streuaufgaben insbesondere der Buchenstandorte noch eine mäßige Versorgung mit austauschbarem Kalium auf, die bereits in den Of-Horizonten

auf Werte < 2 mmol/100g und in den Oh-Horizonten auf Werte < 1 mmol/100g zurückgehen. Im Bayerischen Wald sind aber bei insgesamt nach wie vor vergleichsweise hoher Ortsdosisleistung gerade diese für den biotischen Umsatz wichtigen Fermentierungs- und Humifizierungshorizonte (Of/Oh) nach wie vor die am höchsten belasteten Bodenhorizonte. Aufgrund kräftigerer entwickelter Oh-Horizonte resultiert folgerichtig eine nach wie sehr hohe Bioverfügbarkeit des Radiocäsiums (hier: ^{137}Cs , vgl. Abb. 4). Die Vegetation ist im Hinteren Bayerischen Wald nach wie vor vergleichsweise sehr hoch belastet. Ursache sind eine vergleichsweise niedrige Kaliumversorgung in den Auflagehorizonten, mächtiger entwickelte Of- und Oh-Horizonte und stark saure sowie kaliumverarmte Mineralböden.

6.2.4 Zwischenrésumé

Als Fazit des naturräumlichen Vergleichs auf der hier gegebenen Datenbasis läßt sich derzeit formulieren. Während in den Untersuchungsarealen des Donau-Isar-Hügellandes, des Würzburger Raumes und auch des Bayerischen Waldes der bereits vielfach beschriebene Zusammenhang zwischen Kaliumsättigung und ^{137}Cs -Bioverfügbarkeit bestätigt wird, trifft das für die Untersuchungsgebiete in den Bayerischen Kalkalpen in dieser Form nicht zu. In den montanen Stufen des Kalkalpins scheint in weitaus höherem Maße als bisher bekannt die kleinräumige Variabilität und Heterogenität der organischen Auflagen der Waldböden trotz einer generell ebenfalls vergleichsweise hohen Ortsdosisleistung die Bioverfügbarkeit des Radiocäsiums entscheidend zu beeinflussen, so daß ohne genauere Kenntnis der Variabilität der Humusaufgaben gebietsbezogen keine verallgemeinerungsfähige Aussage zu treffen ist. Für die Prognose der Wirkungen vor Ort beziehungsweise für praktische Behandlung eines möglichen radiologischen Problemfalls ist das diese naturräumliche Einheiten betreffend von herausragender Bedeutung.

6.2.5 Bodeneigene Tonminerale

Der Tonmineralbestand in den Mineralbodenhorizonten ist als möglicher Bindungspartner verlagerter Radiocäsiumionen ein wichtiger Parameter für Prognosen der Bioverfügbarkeit und Mobilität von ^{137}Cs in den einzelnen Untersuchungsräumen. So ist beeinflußt neben der hohen negativen Schichtladung der Tonminerale auch die Art der Minerale eine potentielle Bindung von Radiocäsium. Vereinfachend läßt sich bezüglich der silikatischen Schichtminerale (Phyllosilikate) der Tonfraktion (Feinboden $< 2 \mu\text{m}$) eine Unterteilung in Zweischicht- und Dreischichtminerale vornehmen. Die Dreischichtminerale weisen zu Teilen variable Schichtabstände auf (1,4 nm-Minerale wie Vermikulite und Smekтите). Sie können quellen und mittels dieser Eigenschaft neben Kationen auch Radiocäsium in ihre sogenannten Zwischenschichten einbauen. Illite quellen zwar nicht. Aufgrund hoher negativer Ladungsüberschüsse können aber auch sie in bedeutendem Maße Kationen binden. Zudem treten Illite (1,0 nm-Minerale) im Boden kaum unverwittert auf und zeigen randliche Aufweitungen ($> 1,0$ nm). Diese sogenannten Über-

gangminerale sind für die Bodenökologie auch von besonderer Bedeutung. Zweischichtminerale wie Kaolinite und Halloysite besitzen diese Eigenschaft grundsätzlich nicht. Sie stehen damit weder für eine kurzfristige noch für eine mittelfristige Fixierung von ^{137}Cs bei einer Tiefenverlagerung zur Verfügung. Das gilt auch für alle Dreischichtminerale, die im sauren Bodenmilieu bei sehr hohem Aluminiumüberschuß in der Bodenlösung Al-Hydroxy-Polymere in ihre potentiell quellfähigen Zwischenschichten eingelagert haben (sogenannten sekundäre Chloritisierung, weil die Minerale röntgenographisch dem Primärmineral Chlorit gleichen). Zwar ist der Vorgang reversibel, findet aber aufgrund des gegebenen Versauerungsmilieus in der Natur nicht statt. Auch diese Minerale fallen für eine Cs-Fixierung ebenso wie für eine Nährstofffixierung vollständig aus. Dieser ökologisch sehr nachteilige Effekt ist unter anderem in den Böden des Bayerischen Waldes in fast allen Unterbodenhorizonten gegeben, was allgemein bekannt ist (vgl. u.a. VÖLKELE 1995a). Seine radioökologische Bedeutung ist hervorzuheben.

Im Zuge dieser Studie wurden an ausgewählten Standorten ebenfalls bodeneigene Tonminerale analysiert (zur Methode vgl. VÖLKELE 1995a). Dabei konnten für die einzelnen Untersuchungsgebiete entscheidende Unterschiede herausgearbeitet werden. Tab. 7 faßt die Ergebnisse zusammen. Im Untersuchungsgebiet **Donau-Isar-Hügelland** sind aus tonmineralogischer Sicht uneingeschränkt sehr gute Voraussetzungen für eine mittelfristige Einbindung von Radiocäsium gegeben. Die mächtigen mineralischen Oberböden der Parabraunerden (Al-Horizonte) sind trotz saurer Bodenmilieus im Bereich der Tonfraktion kaum chloritisiert. Hohe Anteile an 1,4 nm-Mineralen sowie hydratisierten 1,0 nm-Mineralen sind die Voraussetzungen für eine potentiell gute Bindungsfähigkeit von Radiocäsium im Falle dessen Tiefenverlagerung aus den organischen Auflagehorizonten.

Das Untersuchungsareal im **Raum Würzburg** ist aus der Sicht der tonmineralogischen Befunde zweigeteilt. Während auf den Lößstandorten (vgl. Tab. 5) wie zu erwarten ganz ähnliche Gegebenheiten wie im Donau-Isar-Hügelland vorliegen, sind die Bedingungen auf den Muschelkalkkrücken weitaus schlechter. Hier ist die relative Anzahl an 1,4 nm-Mineralen substratbedingt weitaus geringer als auf den Lößstandorten.

Im Untersuchungsareal **Garmisch-Partenkirchen** sind in lößdominanten Profilen (z.B. Profil 8532-8) aufweitbare 1,4 nm-Mineralen nachweisbar. Bei geringerer Löß(lehm)beeinflussung geht dieser stark zurück. Es überwiegen nicht quellfähige und im K-Präparat kontraktionsbehinderte (sekundäre) Chlorite das tonmineralogische Spektrum. Die potentielle Bindungsfähigkeit von Radiocäsium im Mineralboden schwankt dementsprechend von Standort zu Standort stark und ist vom Substrat der Bodenbildung abhängig. Um die Verteilungsvariabilität sowohl in der bestehenden Form als auch prognostisch darzustellen, kann hier vor Ort nur eine kleinräumigere Boden- bzw. Substratkartierung weiterhelfen.

Im Untersuchungsgebiet **Bayrischzell** wiederum ist der Anteil aufweitbarer 1,4 nm-Minerale ganz generell sehr gering. Das tonmineralogische Spektrum der Waldböden unseres Untersuchungsgebietes wird überwiegend von nicht aufweitbaren (Boden)Chloriten beherrscht. Eine potentielle mittelfristige Bindung von ¹³⁷Cs ist hier vor Ort grundsätzlich kaum gegeben und damit weitaus schlechter, als in den bisher vorgestellten Untersuchungsgebieten.

Im **Bayerischen Wald** ist die Situation grundsätzlich bedingt vom primär sauren und nährstoffarmen Lithotyp (v.a. Gneise im Hinteren Bayerischen Wald), der in Verbund mit einer sehr progredienten Bodenversauerung zu einer hohen Aluminiumverfügbarkeit in den verbraunten B-Horizonten (Bv) geführt hat. Trotz hoher Anteile an 1,4 nm-Mineralen ist der sekundäre Chloritisierungsgrad sehr hoch, was die bodenökologische Gunst aus der Sicht einer potentiellen Cs-Fixierung stark mindert. In den geringmächtigen Oberböden (Aeh-Horizonte) treten durchaus quellfähige 1,4 nm-Minerale auf.

Untersuchungsgebiet	1,4 nm Dreischichtminerale					Zweischichtminerale
	Aufweitbare 1,4 nm Minerale			1,0 nm Minerale (z.B. Illit)	Nicht weitbare 1,4 nm Minerale	Kaolinit Halloysit
	Mg-Präparat	K-Präparat Kontraktion auf 1,0 nm	Weitung	K-Präparat Mg-Präparat	K-Präparat	K-Präparat Mg-Präparat
Donau-Isar-Hügelland	Ja 1,4 nm Basisabstand	Ja	Ja auf 1,6-1,8 nm	Ja, teilweise hydratisiert	Geringer Anteil	Ja
Würzburg	Ja 1,4 nm Basisabstand	Ja	Lediglich teilweise auf 1,8 nm	Ja, teilweise hydratisiert	Geringer Anteil	Ja
Bayerischer Wald	Ja 1,4 nm Basisabstand	Ja	Teilweise über 2,0 nm	Ja, teilweise hydratisiert	Hoher Anteil	Ja
Garmisch-Partenkirchen	Ja 1,4 nm Basisabstand	Teilweise	n.b.	Ja, teilweise hydratisiert	Teilweise hoher Anteil	Ja
Bayrischzell	Ja 1,4 nm Basisabstand	Ja	Gering	Nein	sehr hoher Anteil	Ja

Tab. 7 Überblick zum Tonmineralbestand der Untersuchungsgebiete als potentieller Bindungspartner für ¹³⁷Cs.

6.2.6 Zwischenrésumé

Auch die Analyse der Tonmineralbestände zeigt, wie Gunst und Ungunst aus radioökologischer Sicht a) zwischen den einzelnen Untersuchungsgebieten in generalisierungsfähiger Form schwankt, b) die Standorte innerhalb eines Areals bzw. einer naturräumlichen Einheit aber auch sehr starken Schwankungen unterworfen sein können. In den Untersuchungsgebieten Donau-Isar-Hügelland, Würzburg und Garmisch-Partenkirchen sind trotz schwankender relativer Anteile potentiell aufweitbare 1,4 nm-Mineraie zur mittelfristigen Bindung von ^{137}Cs vorhanden. Sehr eingeschränkt gilt das auch für den Bayerischen Wald. Im Untersuchungsgebiet Bayrischzell hingegen ist eine potentielle Bindung von Radiocäsium in aufweitbare 1,4 nm-Mineraie nicht gegeben.

6.3 Vertikalverteilung von ^{137}Cs in den Böden der unterschiedlichen Untersuchungsgebiete

Die Minimalwerte und die Maximalwerte der abgemessenen Proben werden in Tab. 8 unter Vergleich der einzelnen Untersuchungsräume getrennt dargestellt für die organischen Auflagen, die Mineralbodenhorizonte sowie für die Pflanzenproben.

Nach wie vor sind die Profile des Untersuchungsgebietes **Bayerischer Wald** am höchsten belastet. Die organischen Auflagehorizonte der Böden weisen Spitzenwerte von bis zu 4.750 Bq/kg, die darunterliegenden mineralischen Horizonte bis zu 1.850 Bq/kg auf. Die Cs-Bioverfügbarkeit ist hoch, jedoch sehr variabel. Die im letzten Jahr gemessenen Maximalwerte erreichen bei Farnen nach wie vor bis zu 23.000 Bq/kg.

Untersuchungsgebiet	^{137}Cs -Belastung in den organischen Auflagen (Bq/kg min-max)	^{137}Cs -Belastung in den mineralischen Bodenhorizonten (Bq/kg min-max)	^{137}Cs -Belastung in der darauf stockenden Vegetation (Bq/kg min-max)
Bayerischer Wald	150 – 4.750	90 – 1.850	50 – 23.000
Lößhügelland / Regensburg	30 – 1.850	70 – 500	< 250
Würzburger Raum	10 – 680	10 - 110	0 – 1761
Garmisch-Partenkirchen	50 – 2.750	10 - 410	20 – 2.740
Bayrischzell	60 - 2.600	50 - 650	40 – 1.800

Tab. 8 Vergleichende Darstellung der minimalen und maximalen ^{137}Cs -Belastung verschiedener Bodenhorizonte und Pflanzen in den unterschiedlichen Untersuchungsarealen.

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

Auf die generell geringe Belastung des Untersuchungsraumes in Würzburg wurde bereits im Zwischenbericht 2001 hingewiesen. Mit 10 – 680 Bq/kg in den organischen Auflagehorizonten und 10 – 110 Bq/kg im Mineralboden bewegen sich die gemessenen Werte innerhalb der Schwankungsbreiten geogener Hintergrundwerte. Dennoch zeigen Einzelproben, daß die Bioverfügbarkeit von ^{137}Cs trotz geringer Ortsdosisleistung hoch ist und Werte in den Pflanzen von bis zu 1.761 Bq/kg aufweisen kann. Dieser Wert liegt ein vielfaches über dem vergleichbaren Maximalwert im Donau-Isar-Hügelland.

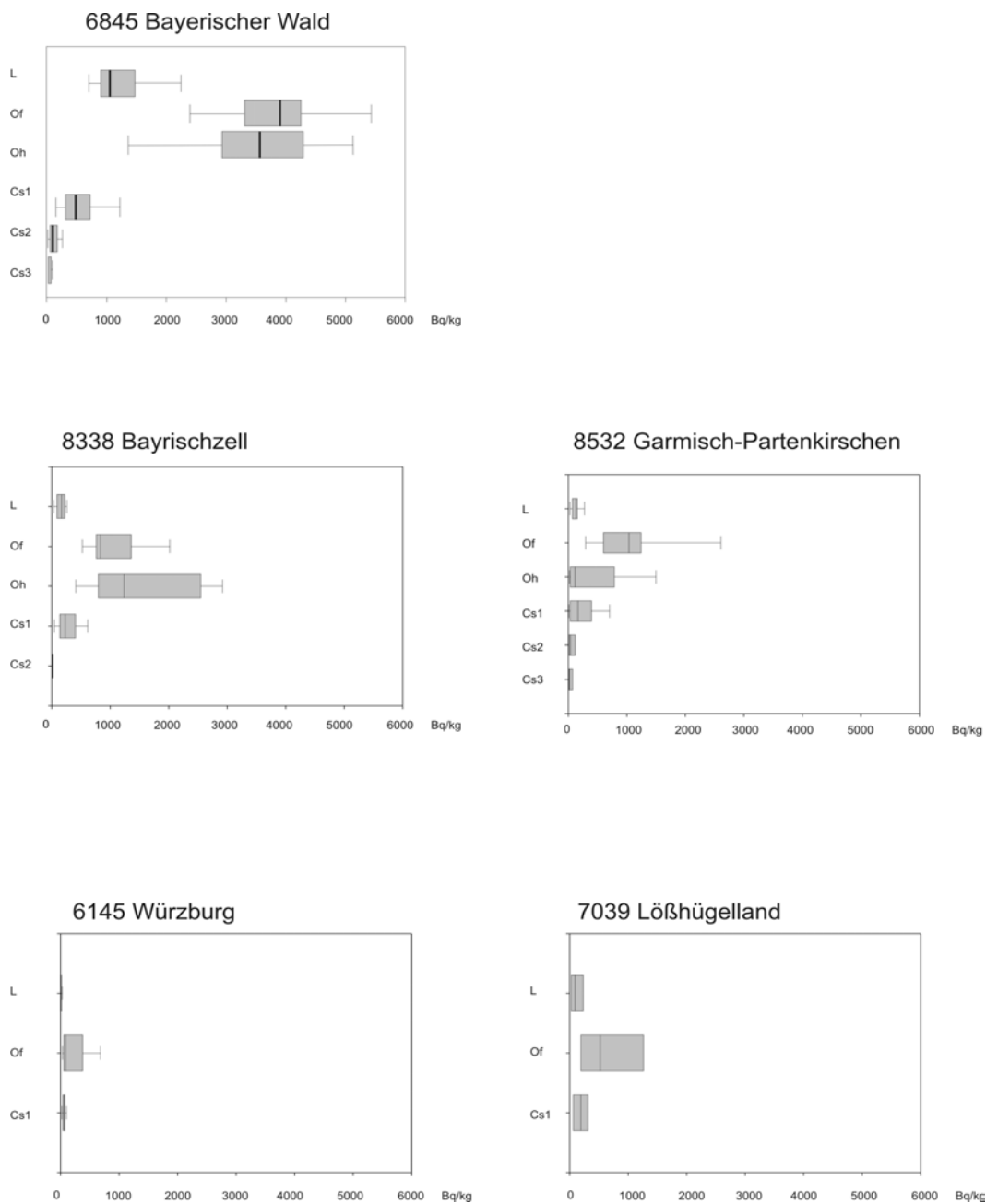


Abb. 5 Die Belastung der Organischen Horizonte und Mineralboden Horizonte aller Untersuchungsgebiete im Überblick. (Boxplot mit Median, 10 %, 25 %, 50 % und 90 % Perzentil)

Das Donau-Isar-Hügelland vertreten über das **Regensburger Lößhügelland** weist heute ebenfalls nurmehr eine sehr geringe, im Vergleich mit dem Würzburger Raum jedoch höhere Ortsdosisleistung auf. Im Bereich der organischen Auflagehorizonte treten Radiocäsiumgehalte von bis zu 1.850 Bq/kg auf. Die Werte für die Mineralbodenhorizonte erreichen maximal 500 Bq/kg. Die ^{137}Cs -Gehalte der Pflanzen sind sehr gering und übersteigen im Probenpool den Wert von 250 Bq/kg nicht. Eine signifikante Tiefenverlagerungstendenz innerhalb der Böden ist wie auch andernorts nicht zu belegen.

Die Untersuchungsgebiete in den Bayerischen Kalkalpen zeigen vergleichbare Gesamtbelastungen. Sie erreichen in den organischen Auflagehorizonten Maxima von 2.750 Bq/kg im Raum Garmisch-Partenkirchen und von 2.600 Bq/kg im Untersuchungsareal von Bayrischzell. Im Mineralboden gehen die Maximalwerte auf 410 Bq/Kg bzw. 650 Bq/kg zurück, wobei nur die Tiefenstufe 0-5 cm nennenswerte Belastungen aufweist. Das stimmt mit den unter anderem aus dem Bayerischen Wald bekannten Verteilungsmustern überein. Allerdings kommt im Kalkalpin ein Phänomen hinzu, daß es in dieser Form andernorts nicht gibt, die mächtigen Humusaufgaben der Böden in Form von Tangelhumusaufgaben. Der organischen Auflagehorizonte der Waldböden kommt in allen naturräumlichen Einheiten Bayerns höchste Bedeutung für die Bindung und die Bioverfügbarkeit von Radiocäsium zu.

6.3.1 Zwischenrésumé

Stellt man die einzelnen Untersuchungsgebiete bezüglich der Tiefenverteilungen von ^{137}Cs aller beprobten Bodenhorizonte gegenüber, so lassen sich auf Basis dieser Studie generalisierungsfähig folgende Aussagen treffen:

- Die organischen Auflagehorizonte bayerischer Waldböden sind über alle naturräumlichen Einheiten hinweg auch 15 Jahre nach der Kontamination deutlich höher mit Radiocäsium (^{137}Cs) belastet als die darunterliegenden Mineralbodenhorizonte.
- Innerhalb der Auflagehorizonte der Waldböden sind die Streuaufgaben in Form der L-Horizonte wesentlich geringer belastet als darunter liegenden Fermentierungs- und Humifizierungshorizonte (Of- und Oh-Horizonte).
- Eine statistisch nachweisbare Verlagerung von ^{137}Cs in tiefere Bodenhorizonte ist in sämtlichen untersuchten Gebieten und naturräumlichen Einheiten Bayerns nach wie vor nicht gegeben.
- Alle Prognosemodelle, die von einer Tiefenverlagerung des Tschernbobyli-bürtigen Radiocäsiums in den dort angegebenen Zeiträumen ausgehen, sind falsch.

6.4 Gravitative Fraktionierung der L- und O-Horizonte ausgewählter Profile

Die Ergebnisse der gravitativen Fraktionierung der L- und O-Horizonte ausgewählter Profile sind in den Abb. 6-9 zusammengefasst. Da die Dichtentrennungen sich als extrem zeitaufwendig erwiesen und die Anzahl der untersuchten Profile daher begrenzt ist, wurde auf eine vergleichende Interpretation zwischen den einzelnen Untersuchungsgebieten verzichtet. Die gravitative Trennung des organischen Materials zeigt im **L-Horizont** eine eindeutige Affinität des

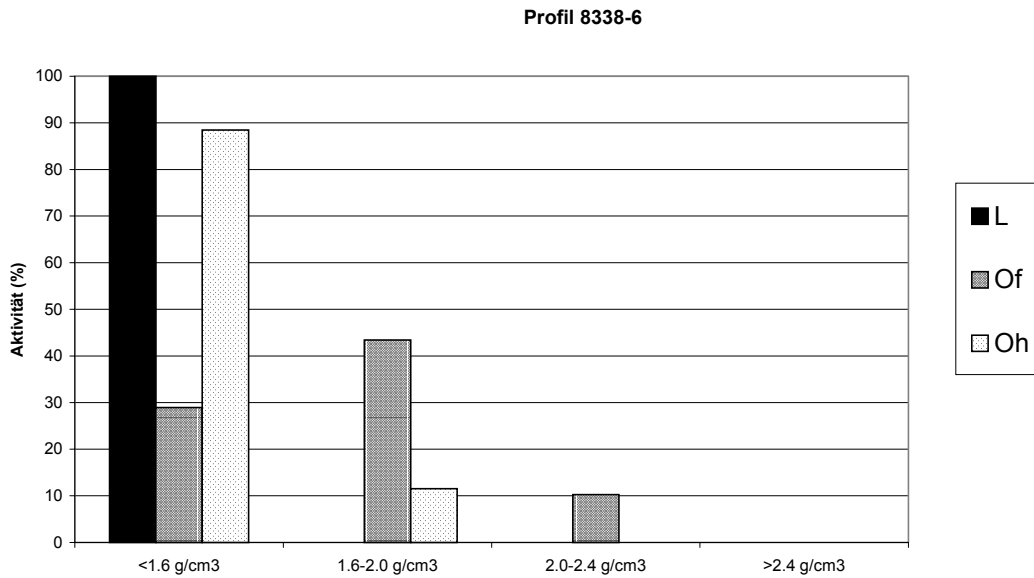


Abb. 6 Verteilung der ¹³⁷Cs-Belastung in gravitativ abgetrennte Klassen Profil 8338-6.

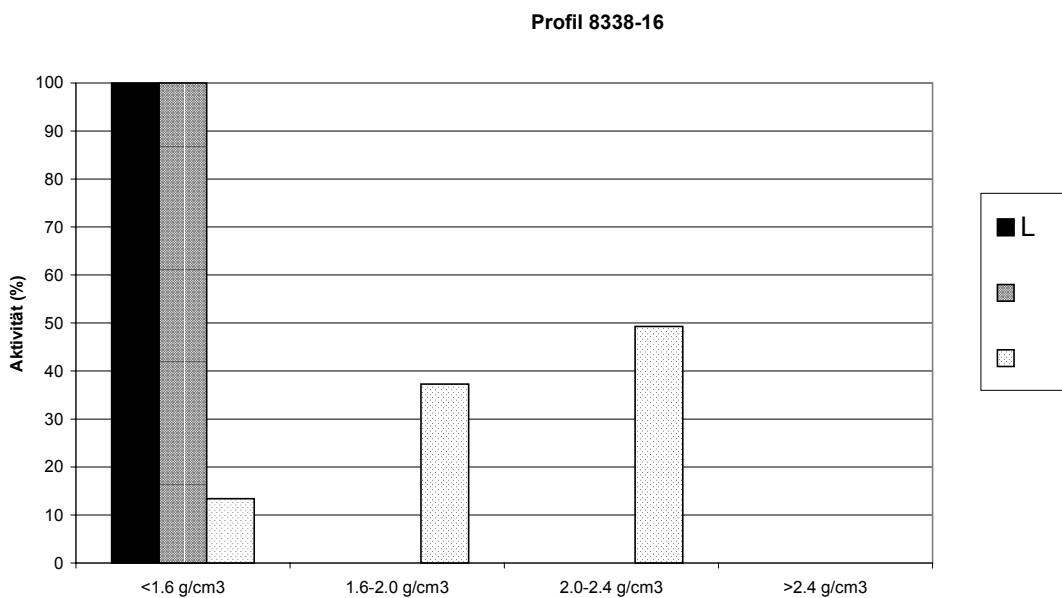


Abb. 7 Verteilung der ¹³⁷Cs-Belastung in gravitativ abgetrennte Klassen Profil 8338-16.

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

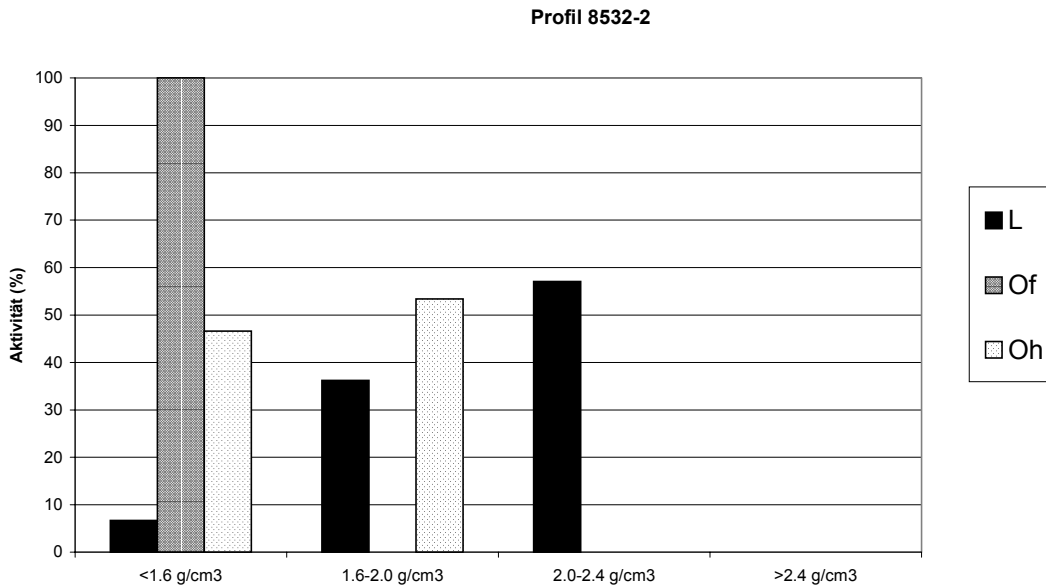


Abb. 8 Verteilung der ¹³⁷Cs-Belastung in gravitativ abgetrennte Klassen Profil 8532-2.

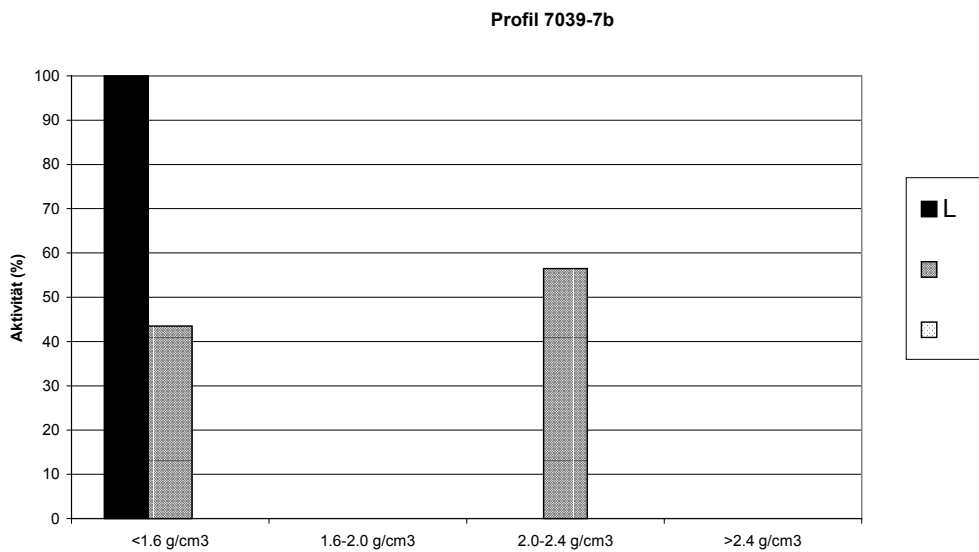


Abb. 9 Verteilung der ¹³⁷Cs-Belastung in gravitativ abgetrennte Klassen Profil 7039-7b.

des Radiocäsiums zu den leichteren Bestandteilen der Humusfraktion. Bis auf Profil 8532-2 sind in allen analysierten Profilen 100 % der Aktivität an die Fraktion < 1,6 g/cm³ gebunden. Die Abweichungen, die ausschließlich im Falle der Daten von Profil 8532-2 auftreten, sind höchstwahrscheinlich auf einen Beprobungsfehler im Feld zurückzuführen und werden daher nicht

interpretiert. Generell sind für den L-Horizont keine signifikanten Unterschiede zwischen den Laub- (8338-6) und den Nadelwaldstandorten (8338-16, 8532-2, 7039-7b) belegbar.

Das Verteilungsmuster der Cs-Verteilung im Zuge der gravitativen Fraktionierung der organischen Substanz der **Of-Horizonte** ist indes heterogen. So können in zwei Profilen (8338-16, 8532-2) 100 % der Aktivität in der Fraktion $< 1,6 \text{ g/cm}^3$ nachgewiesen werden, während in den beiden anderen Profilen eine Tendenz zu Gunsten der schwereren Fraktion besteht. Ein ähnlicher Zusammenhang besteht in den Profilen 8532-2 und 8338-16. Auch dort wird eine Zunahme der Aktivität zu den schwereren Bestandteilen der Humusfraktion ($1,6\text{-}2,0 \text{ g/cm}^3$ bzw. $2,0\text{-}2,4 \text{ g/cm}^3$) belegt. Da aber die schwerste Fraktion ($> 2,4 \text{ g/cm}^3$) nicht daran beteiligt ist, ist nicht mit einer Bindung an rein mineralische Komponenten zu rechnen. Vielmehr scheint sich darin die verstärkte Aggregatbildung der organischen Substanz im Zuge der Humifizierung auszudrücken.

6.5 Verteilung von ^{137}Cs in Tangelhumusauflagen der Bayerischen Kalkalpen

Tangelhumusauflagen sind bis zu 1 m mächtige organogene Auflagenhorizonte, die sich vorzugsweise in den montanen Bergwäldern und der feucht-kühlen subalpinen Zwergstrauchzone entwickeln. Sie sind das Resultat unzureichenden Streuabbaus aufgrund hoher Niederschläge, niedriger Temperaturen und daher einer vergleichsweise geringen Aktivität des Edaphons (Bodenlebewelt). Weil klar ist, daß sich Radionuklide und hier vor allem das Cäsium in den organischen Auflagehorizonten festsetzen, dennoch aber pflanzenverfügbar sind, stellen Tangelhumusauflagen eine ideale Versuchsanordnung zur Untersuchung grundsätzlicher Fragestellungen zu diesem Problemfeld dar. Ein Übertritt des Radiocäsiums aus den organischen Auflagehorizonten in den mineralischen Ober- und Unterboden findet nicht statt. Wie verhält es sich aber mit der Cs-Verteilung innerhalb der organischen Auflagehorizonte?

Im Zuge dieser Studie soll die Analyse dreier Profile mit Tangelhumusauflagen die Frage klären, ob ^{137}Cs ohne aktive Bioturbation innerhalb der organischen Auflagehorizonte generell einem verlagerungsbedingten Tiefengradienten folgt, sprich im Boden überhaupt aus der Sicht der Tiefenverlagerung mobil ist. Die in dieser Studie gewählte natürliche Versuchsanordnung ist von besonderem Interesse und auch richtungweisend, da sich vergleichbare Studien durchweg auf bioturbat durchaus stark beeinflusste Bodenhorizonte stützen. An den dort gewählten Standorten ist in aller Regel eine rein mechanische Tiefenverlagerung infolge Turbationsprozessen nicht von einem aktiven, physiko-chemisch gesteuerten Transport (Lösung, Aggregatbildungen etc.) zu trennen. Da in Tangelhumusauflagen sowohl der Streuabbau als auch die Bioturbation stark eingeschränkt sind, wäre eine ^{137}Cs -Anreicherung in den tieferen Zonen der Humusauflage vorwiegend durch vorhandenen Lösungstransport in diesen durchaus

wasserzügigen Auflagen zu erklären. Inwieweit solche Prozesse stattfinden, wurde zuvor nicht untersucht und war mithin bis dato völlig unbekannt.

Ebenfalls nicht bekannt ist bislang die Tatsache, daß die beachtlichen Mächtigkeitsvarianzen der Humusaufgaben, die sich in Humusart und Humusmächtigkeit ausdrücken, auf die lithogenen Ausgangsbedingungen zurückzuführen sind. Tangelhumus bildet sich vorwiegend auf karbonatischem Festgestein, während sich auf den solifluidal umgelagerten Lösungsrückständen der Karbonatverwitterung, die teils mit einer äolischen Komponente (Löß) angereichert sind, unter Fichtenbestockung Moder ausbildet. Es bestehen also auf engstem Raum beachtliche Unterschiede im Bodenprofilaufbau, der durch reine Geländebegehungen nicht erfaßt werden kann. Auch daran gekoppelte Profilgruben oder Monolithen bringen lediglich einen ersten punktuellen Einblick in die Heterogenität der Auflagen- und Mineralbodenhorizonte.

Sowohl im Untersuchungsgebiet von Bayrischzell wie auch in Garmisch-Partenkirchen kommt die Studie zu einem eindeutigen Ergebnis. In allen drei untersuchten Profilen ist eine deutliche Anreicherung an ^{137}Cs in den obersten Profilabschnitten nachweisbar, beziehungsweise ein markant begrenzter Verbleib nach der Primärdeposition (Abb. 10-12). Eine umfassende aktive Verlagerung in tiefere Profilbereiche innerhalb der organischen Auflagehorizonte ist nicht nachzuweisen. Dieser Befund scheint zudem unabhängig vom pH-Milieu zu sein, welches innerhalb des Profilpools durchaus starke Schwankungen aufweist. So ist Profil 8532-7 mit pH 3,3 bis 4,3 sehr sauer, während Profil 8532-7 mit pH 4,8 – pH 5,6 für organische Auflagen lediglich schwach saure Bedingungen aufweist. Die in tieferen Profilabschnitten nachweisbare Menge an ^{137}Cs ist an allen untersuchten Profilstandorten vernachlässigbar gering. Da hier vor Ort lediglich Lösungstransport in Frage kommt, passive Tiefenverlagerung von Radiocäsium aber auszuschließen ist, gilt. Ohne Bioturbation infolge Wühltätigkeit der Bodenlebewesen, von Schwarzwild etc. pp., ohne Pedoturbation infolge von Windwürfen, ohne Kryoturbation wie Frosthub und dergleichen mehr findet auf Standorten, die von den vorgenannten Prozessen weitgehend ausgeschlossen werden müssen, nicht nur keine nennenswerte (Normalfall) sondern überhaupt keine Tiefenverlagerung von Radiocäsium statt. Die Konsequenzen:

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

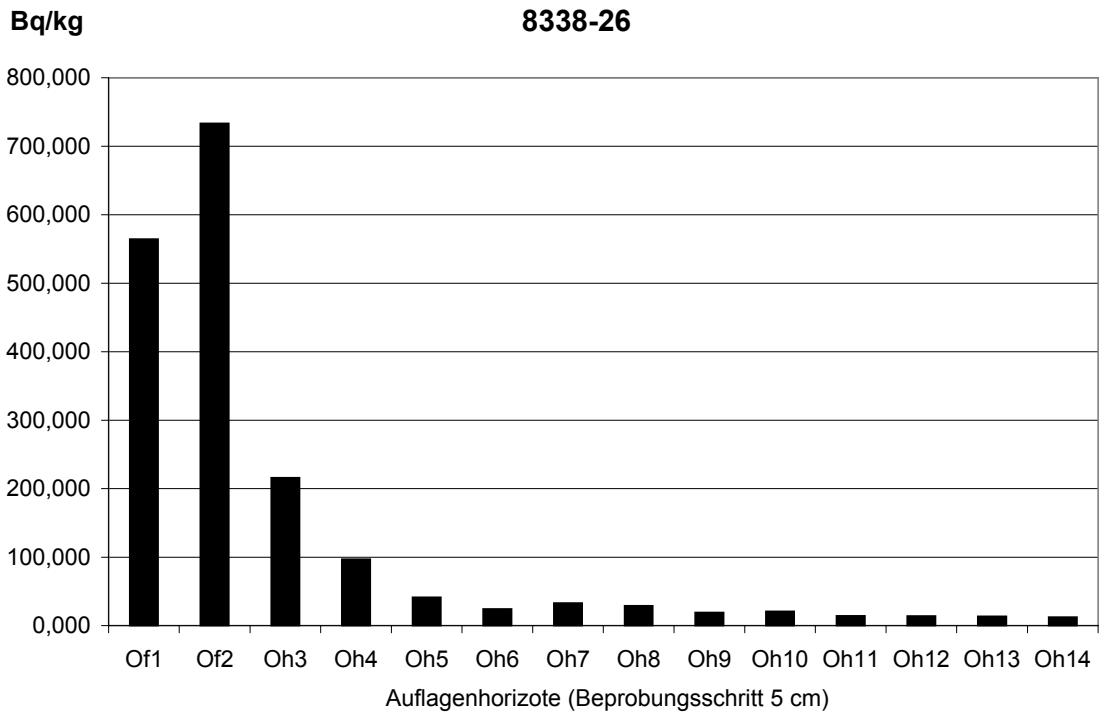


Abb. 10 Darstellung der ^{137}Cs -Belastung in der Tangelhumusauflage aus Profil 8338-26 in Bayrischzell.

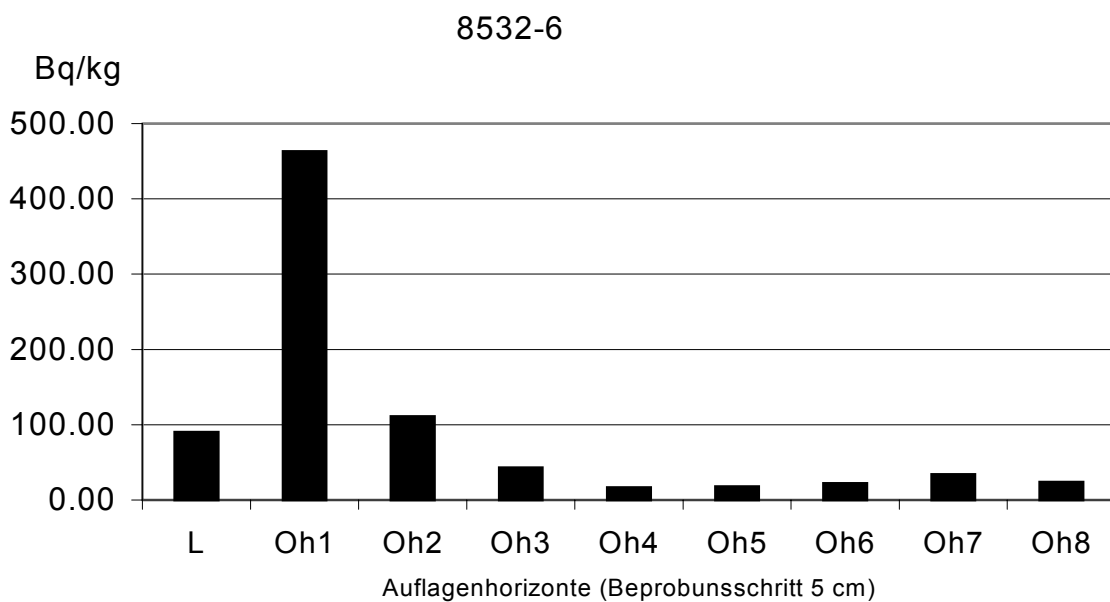


Abb. 11 Darstellung der ^{137}Cs -Belastung in der Tangelhumusauflage aus Profil 8532-6 in Garmisch-Partenkirchen

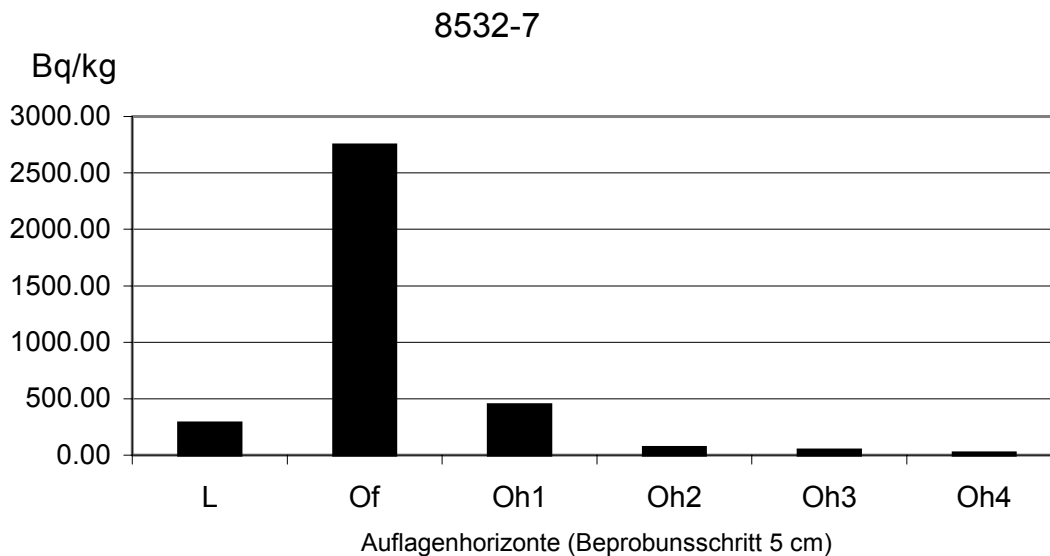


Abb. 12 Darstellung der ¹³⁷Cs-Belastung in der Tangelhumusauflage aus Profil 8532-7 in Garmisch-Partenkirchen

6.5.1 Zwischenrésumé

- Allgemeingültig ist in Gebieten wie den regenreichen montanen Standorten Bayerns in den Nördlichen Kalkalpen, deren Waldböden verbreitet mächtigere organische Auflagen besitzen, aus der Sicht der Tschernobyl-bürtigen Deposition von Radionukliden nochmals sehr viel länger mit einer anhaltenden Cäsiumbelastung und damit einhergehenden hohen Bioverfügbarkeit von ¹³⁷Cs zu rechnen als in Gebieten mit geringermächtigen Humusauflagen.
- Im Falle möglicher radiologischer Ereignisse sind die Gebiete besonders zu beachten.
- Ganz entscheidend steuert die Mächtigkeit der organischen Auflagen und deren Verbreitungsmuster oberhalb der kritischen Marke die Gebietskontamination und die unausweichlich damit verbundenen (potentiellen) Kontamination der pflanzlichen und tierischen Lebewelt.
- Die Entwicklung mächtiger organischer Auflagehorizonte, welche Radiocäsium speichern, und deren Verbreitung ist vor allem an lithogene Wechsel gebunden. Das steuert die Genese und Eingrenzung der ‚Hot Spots‘.
- Die Verbreitungsmuster sind als solche und vor allem in Verbindung mit den notwendigen Mächtigkeitsangaben nur sehr unzureichend bekannt.

6.6 Darstellung der ^{137}Cs -Verteilung im Höhenprofil von Garmisch-Partenkirchen

Da die Profilverteilung im Untersuchungsgebiet Garmisch-Partenkirchen bedingt durch die dortige geologische Situation einem Transektes von den subalpinen Bereichen (ca. 2.000 m NN) bis in die Talbereiche der Loisach (ca. 800 m NN) folgt, bestehen erhebliche Unterschiede bezüglich der Niederschlagsverteilung (vg. Tab. 4, Abb. 13). Hier bot es sich an, der Frage nachzugehen, ob sich entlang dieses Höhengradienten in Kombination mit dem Gradienten der Niederschlagsverteilung die Cäsiumbelastung sowie deren Bioverfügbarkeit verändert?

Es zeigt sich, daß die Belastung der Streuauflagen mit ^{137}Cs unabhängig ob Nadel- oder Laubstreu entlang des Höhenprofils keine Unterschiede ergibt. Die gemessenen Werte liegen sämtlich unter 400 Bq/kg. Vermehrtes ($> 1.800 \text{ mmN} / \text{a}$) oder vermindertes ($1.300 \text{ mmN} / \text{a}$) Wasserangebot hat demzufolge keinen entscheidenden Einfluß auf die Aufnahme und Wiederabgabe von Radiocäsium über die Waldbäume. Die Of- und Oh-Horizonte scheinen hingegen in den Hochlagen (2.040 m NN – 1.800 m NN) tendenziell höher belastet zu sein als in den tieferen Bereichen. Obwohl die Probenanzahl aus der Sicht dieser speziellen Fragestellung eher gering ist, fällt auf, daß alle Werte über 1.200 Bq/kg den Profilen der Hochlagen zuzuordnen sind. Das sollte der Verteilung während der primären Deposition entsprechen. Eine andere Erklärung ist nicht möglich. Aus der Sicht unserer Studie und unter Einbezug der oben dargelegten Erkenntnis bedeutet das aber, daß die Höhe des jährlichen Gebietsniederschlags auch 15 Jahre nach dem Unfall von Tschernobyl nicht ausschlaggebend für eine Tiefenverlagerung von ^{137}Cs ist. Vielmehr scheinen hier Faktoren wie gehemmter Streuabbau aufgrund kürzerer Vegetationsperioden oder generell geringere Bioturbation die entscheidenden Faktoren zu sein. Auch aus dieser Sicht wird die Gesamtaussage dieser Studie zur Bedeutung der organischen Substanz und der geringen bis fehlenden Tiefenverlagerung von Radiocäsium in Waldböden mehr als eineinhalb Dekaden nach der Deposition gestützt.

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

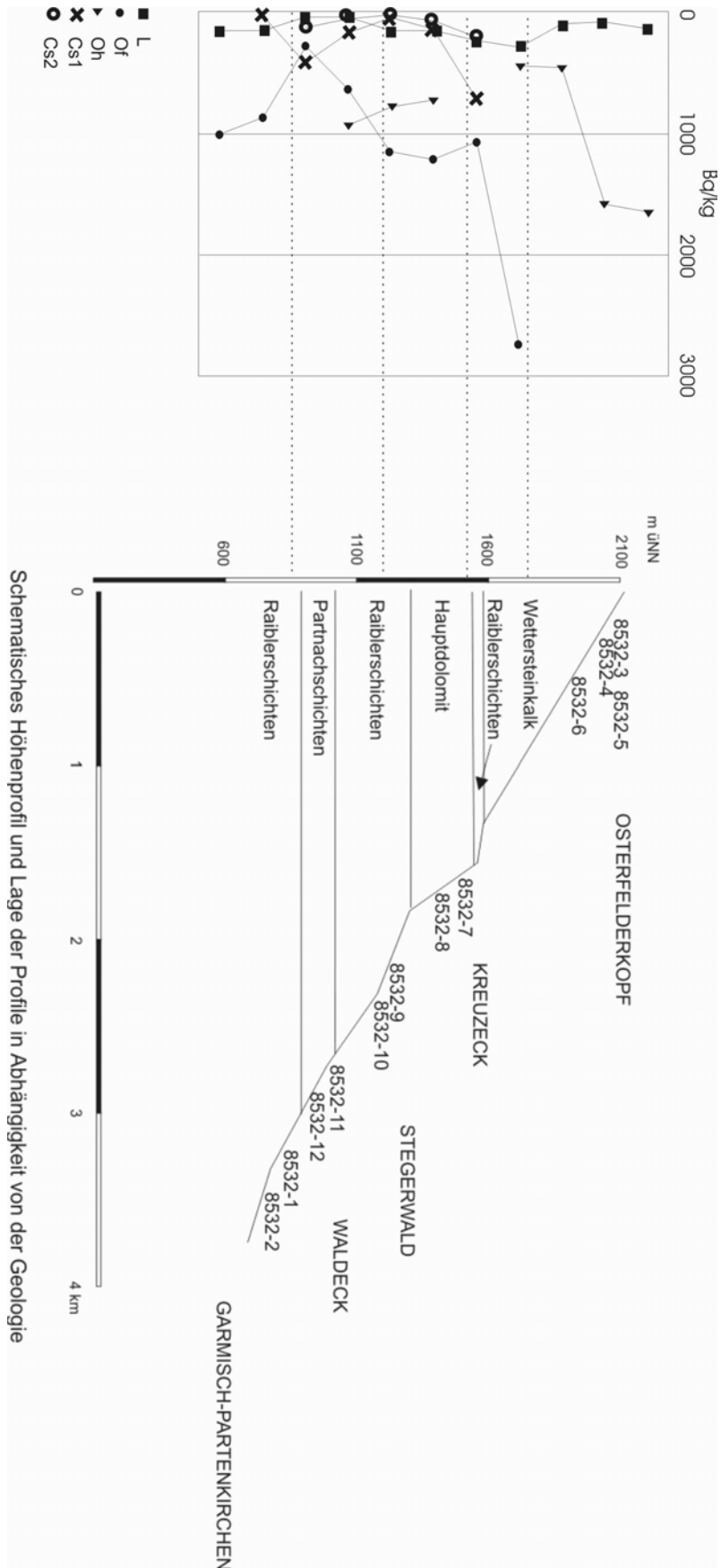


Abb. 13 ^{137}Cs Belastung organischer und mineralischer Bodenhorizonte in Abhängigkeit der Höhenlage.

7 Zusammenfassende Diskussion der Ergebnisse

Dieses Kapitel gilt der abschließenden Reflexion und Diskussion der Ergebnisse im Rahmen der aktuellen radioökologischen Forschungsaufgaben und des Forschungsstandes. Bezüglich der Einzelergebnisse des Untersuchungsvorhabens wird vor allem auf die jeweiligen Zwischenrésumés in den Kapiteln 5-6 verwiesen, die unter Kap. 7 ausdrücklich nicht noch einmal wiederholt werden. Ziel der Studie ist es, unter besonderer Berücksichtigung der organischen Auflagenhorizonte bayerischer Waldböden die Wirkung unterschiedlicher Parameter voneinander abweichender oder sich gleichender naturräumlicher Einheiten Bayerns auf Verlagerung und Mobilität von Radiocäsium aus dem Tschernobyl-Fallout zu untersuchen. Die weitere Aufgabenstellung und Zielsetzung wird in Kap. 1 erläutert.

Übergreifende Ergebnisse resultieren bereits aus der Raumbetrachtung. Es hat sich wiederum mit Nachdruck gezeigt, daß ein besonderer Schwerpunkt der Standortwahl zukommen muß. Damit ist weniger die Auswahl der für die Studie geeigneten Untersuchungsgebiete gemeint, gleichwohl sich diese wie erwartet sehr arbeits- und zeitintensiv gestaltete. Mit Nachdruck ist bereits diesen letztgenannten Punkt betreffend festzuhalten, daß ohne eine geökologisch basierte Raumkenntnis mit sattelfestem quartärgeomorphologisch-bodenkundlichem Hintergrund eine solche Auswahl nicht sinnvoll durchgeführt werden kann. Das gilt nicht nur für die Studie selbst. Sondern der Sorgfalt einer Repräsentanzbewertung eines jeden Standortes innerhalb einer naturräumlichen Einheit oder Untereinheit muß bei jeder radioökologischen Fragestellung höchste Priorität eingeräumt werden, ob nun nur eine Ist-Studie etwa im Falle eines radiologischen Ereignisses angestrebt wird oder ob sogar Standorte ausgewählt werden, auf denen Prozeßstudien sowie ein zeitliches Monitoring gefahren werden sollen.

Die Standortwahl betreffend zeigen die Ergebnisse dieses Untersuchungsvorhabens vor allem auf, daß sowohl innerhalb von Einzelarealen als auch zwischen denselben aus radioökologischer Sicht erhebliche Heterogenitäten herrschen, die in der Regel nicht beachtet werden und über deren jeweilige Hintergründe nichts oder nur wenig bekannt ist. Hier helfen die folgenden Ergebnisse maßgeblich weiter.

Die Heterogenität der pedochemischen Parameter und der Lithotypen, vor allem aber die Heterogenität der Beschaffenheit, der Verbreitung und des Aufbaus der organischen Auflagehorizonte in Waldböden ist maßgeblich verantwortlich für die Bioverfügbarkeit von Radiocäsium. Diese Effekte sind zudem teils unabhängig von der Ortsdosisleistung beziehungsweise laufen dieser sogar entgegen. Niedriger belastete Bodenstandorte provozieren eine höhere Bioverfügbarkeit und Pflanzenbelastung als Bodenstandorte mit vergleichsweise höherer Ortsdosisleistung. Woran es mangelt, ist eine klare Handlungsvorgabe für die Beprobung von Waldböden aber auch Ackerböden sowie von Grünlandstandorten und vor allem für die Auswahl der Beprobungsstandorte. In eine solche Handlungsvorgabe könnten schon heute für den Fall X eines möglichen radiologischen Ereignisses die Areale benannt werden, die gestützt auf die

nun einmal vorhandene Unterteilung der Bayerischen Kulturlandschaft in diverse, voneinander abweichende naturräumliche Einheiten im Falle eines Monitorings aufzusuchen sind. Tschernobyl und das noch vorhandene Cäsium hätten damit nolens volens die Vorlage geliefert, um die entsprechende Handlungsvorgabe präzise zu formulieren und hoffentlich nie umsetzen zu müssen.

Besonders hervorzuheben ist auch der in diesem Untersuchungsvorhaben vorgelegte Beweis, daß Radiocäsium des Tschernobyl-Fallouts auf physikochemischem Wege in Waldböden keine weitere Tiefenverlagerung erfahren hat. Vermeintliche Tiefenverlagerungen, wie sie in der Literatur teils bekannt gemacht wurden, gehen entweder auf fehlerhafte bodenkundliche Standortansprachen zurück. Oder es handelt sich um weniger tiefgreifende und nicht in der Fläche wirksamer Effekte bio- und pedoturbater Prozesse wie Durchwühlen der organischen Auflagehorizonte durch Bodentiere und nahrungssuchendes (Schwarz-)Wild sowie Windwurf. In diesem Zusammenhang konnte auch gezeigt werden, daß das Niederschlagsgeschehen und die Höhe der jährlichen Niederschläge keinen Einfluß auf eine vertikale Verlagerung des Radiocäsiums hat. Für die Standorte im Bayerischen Alpenraum ist dabei herausgekommen, daß die Bedeutung von mächtigeren Humusaufgaben für die Bioverfügbarkeit von Radiocäsium bisher weder bekannt war noch in der richtigen Form eingeschätzt werden kann, weil es an entsprechenden Studien fehlt.

Damit gehen auch vielfach vorgelegte Annahmen fehl, welche den oberflächennahen Untergrund und seinen Mineralbesatz vor allem hinsichtlich potentieller Reaktions- und Bindungspartner für das Radiocäsium wie Tonminerale, Tonhumuskomplexe und Eisenhumuskomplexe (Chelate) der Bv-Horizonte als zukünftigen Träger des noch vorhandenen Radiocäsiums erkennen und prognostisch bewerten. Die Ergebnisse zeigen, daß sich das durch den GAU von Tschernobyl gegebene Problem jetzigen Erkenntnissen zufolge nur über die Halbwertszeit wird erledigen können. Daher dürfte es nach wie vor von Nutzen sein, die Hot Spots in der Landschaft zu kennen. Auf Basis dieser Ergebnisse könnten sie u.a. im Alpenraum sehr genau eingegrenzt werden. Neuartige Verfahren wie das Bodenradar könnten bei entsprechender Anwendung hier eine arbeitsintensive klassische Kartierung ersetzen.

Die Fraktionierung der Humusbestandteile der organischen Auflagehorizonte von Waldböden hat ergeben, daß Radiocäsium (hier: ^{137}Cs) eine hohe Affinität zu den mittleren gravitativ abgetrennten Fraktionen der O-Horizonte besitzt. Dabei handelt es sich insbesondere um den Bereich $1,6 - 2,0 \text{ g/cm}^3$. Die Analysen verdeutlichen, daß auch bei bioturbater Einmischung schwerer, minerogener Komponenten die hohe Affinität des Radiocäsiums zur organischen Substanz bestehen bleibt. Für den natürlichen Kontaktbereich zwischen organogenen und minerogenen Horizonten bedeutet dies, daß auch bei sehr günstigen besetzten tonmineralogischen Spektren des mineralischen Feinbodens eine engere Bindung des Radiocäsiums mit einer mittelfristigen Verweildauer an oder in den Tonmineralen kaum oder nur sehr schwer

erfolgen wird. Für flachgründige Böden, wie sie unter anderem typisch sind für die Muschelkalkhöhen des Würzburger Raumes und weitere Erosionsstandorte vor allem auf karbonatischen Festgesteinen Bayerns (Ostbayerischer Jura, Kalkalpin), resultiert daraus eine gegenüber Vergleichsstandorten gesteigerte Bioverfügbarkeit von Radiocäsium auch bei geringerer Ortsdosisleistung. Denn gerade auf flachgründigen Böden entwickeln die Pflanzen den Hauptanteil ihrer Versorgungswurzeln über die Symbiose mit den Hyphen zersetzender Pilze in den organischen Auflagehorizonten, was der gesteigerten Bioverfügbarkeit Vorschub leistet. Dieser Aspekt wurde bezogen auf die Bewertung abweichender naturräumlicher Gegebenheiten Bayerns unter anderem im Falle möglicher radiologischer Ereignisse bislang nicht beachtet.

8 Praxisrelevanz der Ergebnisse und Zusammenfassung

Die Fixierung von Radiocäsium (hier: ^{137}Cs) im Boden wird insbesondere von der Mächtigkeit der organogenen Horizonte im Bodenprofil gesteuert. Aus radioökologischer Sicht ist daher sowohl prognostisch als auch im Rahmen der Erhebung eines Gebietsmonitorings zum Ist-Zustand vor allem die Mächtigkeitsvarianz von Bedeutung. Denn gerade in den montanen und nicht zuletzt auch alpinen Naturräumen Bayerns sind die Mächtigkeiten sowohl der organischen Auflagehorizonte als auch der darunterliegenden Mineralbodenhorizonte starken Schwankungen unterworfen. Abweichend von der Befundlage in den Mittelgebirgen (die Hochlagen des Bayerischen Waldes, des Oberpfälzer Waldes, des Fichtelgebirges und der Rhön ausgenommen) konnten im Untersuchungsgebiet Garmisch Partenkirchen wie auch im Untersuchungsgebiet Bayrischzell innerhalb einer Horizontaldistanz von wenige Metern beziehungsweise Dekametern Schwankungen der Auflagenmächtigkeiten zwischen 5 cm und 50 cm dokumentiert werden. So erreicht beispielsweise die organische Auflage des Profils 8532-7 in Form seiner Tangelhumusauflage eine Auflagenmächtigkeit von 22 cm, während das nur 8 m entfernte Profil 8532-8 unter Ausbildung eines lediglich dünnen Moders Werte von maximal 1 cm aufweist. Für die Radioökologie ist dies von grundlegender Bedeutung. Denn sowohl Ortsdosisleistung als auch die Bioverfügbarkeit verändern sich kleinräumig entscheidend. Für das Gebiet selbst ist herauszuarbeiten, welche Flächenanteile die jeweilige Punktinformation hat. Eine solche Erhebung muß aus Gründen der Praktikabilität auf eine neue methodische Basis gestellt werden, um schnell zu einer Flächeninformation zu gelangen.

Die beachtlichen Mächtigkeitsvarianzen der Humusauflagen, die sich in Humusart und Humusmächtigkeit ausdrücken, sind zudem auf die lithogenen Ausgangsbedingungen zurückzuführen. Tangelhumus bildet sich vorwiegend auf karbonatischem Festgestein, während sich auf den solifluidal umgelagerten Lösungsrückständen der Karbonatverwitterung, die teils mit einer äolischen Komponente (Löß) angereichert sind, unter Fichtenbestockung Moder ausbildet.

Es bestehen also auf engstem Raum beachtliche Unterschiede im Bodenprofilaufbau, der durch reine Geländebegehungen nicht erfaßt werden kann. Auch daran gekoppelte Profilgruben oder Monolithen bringen lediglich einen ersten punktuellen Einblick in die Heterogenität der Auflagen- und Mineralbodenhorizonte. Dieser Aspekt ist für jedes Flächenmonitoring (Gebietsbelastung) und nicht zuletzt für die seriöse Erfassung von Zeitreihen (Kontaminationstrends) von herausragender Bedeutung. Allerdings ist diese Information unserem Kenntnisstand zufolge bei den zuständigen Behörden und Ämtern in dieser Form nicht hinterlegt. Es bedarf einer auf einer größeren Datenbasis abgesicherten Vorgabe zur Standorterfassung und Beprobung aus radioökologischer Sicht, als der derzeit bestehenden. Diese Vorgabe kann auf Basis der hier vorgelegten Ergebnisse erarbeitet werden.

Ein Gebietsmonitoring muß sich auf Mittelungen von Einzelmessungen stützen (vom Punkt zur Fläche). Vor dem Wissen um die Heterogenität der Bodenprofile insbesondere im Bereich der radioökologisch hoch wirksamen organischen Auflagehorizonte verbietet sich im Rahmen der Erfassung einer Gebietbelastung jede Geländeaufnahme und Beprobung, die um diese Fakten vor Ort nicht weiß. Die richtige Vorgehensweise zum Erarbeiten präziser Aussagen wäre, verbindlich feststehende Beprobungsareale exakt zu definieren und die Daten dieser letztlich kleinräumigen Areale innerhalb des darzustellenden Gebietes beziehungsweise der Region zu verbinden. Das kann in einfacher und genauer Art und Weise mittels einer hochauflösenden geophysikalischen Prospektionsmethode geschehen, dem Bodenradar. Über entsprechende Interpolationen können Durchschnittsmächtigkeiten und an Eichprofilen ermittelte Aktivitäten an ^{137}Cs in die Eichflächen übernommen werden. So gelangt man wesentlich treffsicherer und objektiver vom Punkt zur Fläche, was Informationen über die mögliche Belastung mit Radionukliden angeht. Aus dieser Vorgehensweise ergibt sich ein radiologisch präzise erfaßbares Gebiet, welches repräsentativ für eine ganze Region ist. Mehrere Regionen wiederum würden das gesamte Staatsgebiet abdecken und so genaueste Informationen liefern, prognostische Modellierungen eingeschlossen.

Wiederholt wurde im Rahmen dieser Studie abgehoben auf eine gewisse Fehlinformation, die sich festgesetzt hat bezüglich der möglichen Wirkung und Einflußnahme des oberflächennahen Untergrundes, hier des Mineralbodens, im Falle einer Tiefenverlagerung von Radiocäsium. Die direkte Einflußnahme des Mineralbodens auf eine mittelfristige Bindung von Radionukliden wird massiv überschätzt. Auch gehen Aussagen fehl, die sich allein auf das quantitative Vorhandensein von Tonmineralen stützen. In den Bayerischen Voralpen im Mangfallgebirge wurde zwar ein hoher Tongehalt nachgewiesen, die Art der Tonminerale (überwiegend nicht weitbare 1,4 nm-Minerale) sind jedoch um ein vielfaches schlechter geeignet, Radiocäsium potentiell zu binden, als dies beispielsweise an Standorten in Donau-Isarhügelland der Fall ist. Die Aussage, in absehbarer Zeit - sprich in mehreren Jahren - würde das in Bayerischen Waldböden und Forstökosystemen vorhandene Radiocäsium einer natürlichen Tiefenverlagerung unterworfen

und dann auch noch über eine Verdünnung innerhalb der versorgungsrelevanten Bodenhorizonte hinaus mittelfristig an mineralischen Reaktionspartnern gebunden, ist in dieser Form falsch. Für die Praxis bedeutet das unzweifelhaft: Die noch vorhandene Cäsiumproblematik wird sich lediglich über die Halbwertszeit erledigen. Aufgrund der hohen Bioverfügbarkeit wird sich trotz sinkender Ortsdosisleistung die gegebene Cäsiumbelastung der Vegetation und der Wildtiere vor allem in Forsten nicht ändern.

9 Literatur

- AG BODEN (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung, vierte Auflage. - Herausgegeben von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und den Geologischen Landesämtern in der Bundesrepublik Deutschland, Hannover, 392S.
- AK BODENSYSTEMATIK (1998): Systematik der Böden und der bodenbildenden Substrate Deutschlands. - Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, **86**, 180 S.
- ANDOLINA, J. & O. GUILLITTE (1990): Radiocesium availability and retention sites in forest humus. - Desmet, G., P. Nassimbeni & M. Belli (Hg.): Transfer of radionuclides in natural and semi-natural environments: 135-142.
- ARTMANN, S. & J. VÖLKELE (1999): Untersuchungen an periglazialen Deckschichten im Nationalpark Berchtesgaden, Nördliche Kalkalpen. - Z. Geomorph. N.F. 43, 463-481.
- AUERSWALD, K. (1993): Bodeneigenschaften und Bodenerosion. Wirkungswege bei unterschiedlichen Betrachtungsmaßstäben. Relief Boden Palaeoklima, **8**, 208 S.
- BACHMANN, J. (1985): Auswirkungen der organischen Substanz verschiedenen Zersetzungsgrades auf physikalische Bodeneigenschaften. Diss. Uni Hannover.
- BAYERISCHES GEOLOGISCHES LANDESAMT (BGLA) (1996⁴): Erläuterungen zur geologischen Karte von Bayern 1:500000. - München, 168 S.
- BAYER, A. et al. (1996): Kontamination und Strahlenexposition in Deutschland nach dem Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl. - BAYER, A., KAUL, A. & CHR. REINERS (Hg.): Zehn Jahre nach Tschernobyl, eine Bilanz: 127-152.
- BAYFORKLIM (Hg.) (1996): Klimaatlas von Bayern. - München, 48 S. + 57 Karten.
- BEYER, L. et al. (1993): A simple wet chemical extraction procedure to characterize soil organic matter (SOM). 1. Application and recovery rate. - Communications in soil science and plant analysis 24 (9 & 10): 1645-1663.
- BFS (2001): Die Kontamination von Lebensmitteln nach der Reaktorkatastrophe von Tschernobyl. Internetressource: <http://www.bfs.de/info/themen/st0102/st0102.htm>
- BEUDERT, G. (1988): Mikromorphologische, naßchemische und ¹³C-NMR-spektroskopische Kennzeichnung der organischen Substanz von Waldhumusprofilen nach Dichtefraktionierung. - Bayreuther Bodenkundliche Berichte 8, 133 S. + Anhang.
- BRUCKERT, S. (1982): Analysis of the Organo-mineral Complexes of Soils. - BONNEAU, M. & B. SOUCHIER (Hg.): Constituents and properties of soils: 214-237.
- BRUNNACKER, K. (1958): Erläuterungen zur Bodenkarte von Bayern 1:25000. Blatt Nr. 6125 Würzburg Nord. - München, 144 S.
- DRISSNER, J., BÜRMAN, W., ENSLIN, F., HEIDER, R., KLEMT, E., MILLER, R., SCHICK, G. & ZIBOLD, G. (1998): Availability of Caesium Radionuclides to Plants – Classification of Soils and Role of Mycorrhiza. - J. Environ. Radioactivity, **14**: 19-32.
- EIMERN, J. van (1975): Klima. - WITTMANN, O. : Erläuterungen zur Bodenkarte von Bayern 1:25000, Blatt Nr. 6938 Regensburg: 12-17.
- ELLING, W. et al. (1987²): Klima und Böden, Waldstandorte. - Nationalpark Bayerischer Wald 1, 254 S.
- FISCHER, K. (1995): Präquartäre Reliefentwicklung.- LIEDTKE, H. & J. MARCINEK (Hg.): Physische Geographie Deutschlands: 482-484
- FISCHER, K. (1995): Präquartäre Reliefentwicklung.- LIEDTKE, H. & J. MARCINEK (Hg.): Physische Geographie Deutschlands: 482-484
- KRETZSCHMAR, R. (1996⁹): Kulturtechnisch-bodenkundliches Praktikum – Ausgewählte Labor- und Feldmethoden.- 972 S., Kiel.
- GÖRRES, M. (1991): Über den Eintrag anorganischer Nährstoffe in ombrogene Moore als Indikator der ehemaligen Aerosolbelastung. – Dissertationes botanicae, **181**, 179 S.

- GROTTENTHALER, W. (1985): Die Böden. - WOLFF, H.: Geologische Karte von Bayern 1:25000. Erläuterungen zum Blatt Nr. 8338 Bayrischzell: 168-177.
- GRUNDMANN, J. (1990): Humifizierung und Mineralisation organischer Substanz bei der Biomüll-Kompostierung unter dem Einfluss verschiedener Zusätze. - Diss. Uni Göttingen, 180 S.
- HAIDER, K. (1996): Biochemie des Bodens. - Stuttgart, 174 S.
- HECHT, H (1996): 10 Jahre nach Tschernobyl. Verhalten des Radiocäsiums in Feld, Wald, und Wild.- SENAT DER BUNDESFORSCHUNGSANSTALTEN IM GESCHÄFTSBEREICH DES BUNDESMINISTERIUMS FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (Hrsg): Forschungsreport: Ernährung – Landwirtschaft – Forsten 2/1996, Heft 14.
- HENDL, M (1995²): Klima. Das Klima des Alpenvorlandes und der deutschen Alpen. - LIEDTKE, H. & J. MARCINEK (Hg.): Physische Geographie Deutschlands: 107-117.
- HEMPFLING, R. (1988): Charakterisierung verschiedener Waldhumusformen und ihrer Dynamik durch analytische Pyrolyseverfahren. - Bayreuther Bodenkundl. Ber. 6, 126 S.
- HENDL, M (1995²): Klima. Das Klima des Alpenvorlandes und der deutschen Alpen. - LIEDTKE, H. & J. MARCINEK (Hg.): Physische Geographie Deutschlands: 107-117.
- KLEMT, E., ZIBOLD, G., BURGER, M., SCHMID, E. BARBIERI, A. & SIMONA, M. (2001): Eintrag von Radiocaesium in sedimente des Luganer Sees. – Umweltradioaktivität und Strahlendosen in der Schweiz 2000, Bundesamt für Gesundheitswesen (CH): B4.4.1 – B4.4.4.
- LIVENS, F. R. et al. (1996): Forms and rates of release of ¹³⁷Cs in two peat soils. - European J. of Soil Science 47:105-112.
- MADEL, J., G. PROPACH & H. REICH (1968): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:25000, Blatt Nr. 6945 Zwiesel. - München, 88 S.
- MALTZ, D. (1989): Die Charakterisierung von Huminstoffsystemen im Boden in Abhängigkeit von der landwirtschaftlichen Nutzungsart. - Diss. Uni Göttingen, 106 S.
- MENSCHING, H. & G. WAGNER (1963): Die naturräumlichen Einheiten auf Blatt 152 Würzburg. - INSTITUT FÜR LANDESKUNDE (Hg.): Geographische Landesaufnahme 1:200000. Naturräumliche Gliederung Deutschlands, 45 S. + Karte.
- MEYNEN, E. & J. SCHMITHÜSEN (Hg.) (1953-1962): Handbuch der naturräumlichen Gliederung Deutschlands. - Band 1, 608 S.
- MÜLLER, B. G. (1992): Untersuchungen zu den Effekten von H₂O₂ als Sauerstoffquelle beim mikrobiellen Abbau von Kohlenwasserstoffen in Flüssigkultur und in-situ-nahen Bodenreaktoren. - Diss. Uni Braunschweig, 144 S. + Anhang.
- MÜLLER, J. (1996): Grundzüge der Naturgeographie von Unterfranken (= BUSCHE, D. (Hg.): Fränkische Landschaft. Arbeiten zur Geographie von Franken. Band 1). - Gotha, 324 S.
- MÜLLER-WESTERMEYER, G. (1996): Klimadaten von Deutschland (Zeitraum 1961-1990). 431 S. Offenbach am Main.
- RIDDICK, J., W. B. BUNGER & T. K. SAKANO (1986⁴): Organic Solvents. - New York, 1325 S.
- SCHEFFER, F. & P. SCHACHTSCHABEL (1998¹⁴): Lehrbuch der Bodenkunde. - Stuttgart, 494 S.
- SCHEFFER-SCHACHTSCHABEL (2002): Lehrbuch der Bodenkunde. Heidelberg, 593 S.
- SCHEFFER, F., W. ZIECHMANN & G. PAWELKE (1960): Über die schonende Gewinnung natürlicher Huminstoffe mit Hilfe milder organischer Lösemittel. - Z. Pflanzenern. Bodenk. 90: 58-69.
- SIEWERT, C. (1999): Thermogravimetrische Analyse der organischen Bodensubstanz an Schwarzerden der Uckermark. - 18. Sitzung des Arbeitskreises Paläopedologie der Dtsch. Bodenkundl. Ges.: Paläoböden und Kolluvien auf glazialen Sedimenten Norddeutschlands, Eberswalde, ZALF (zitiert in C. Czimczik 1999)
- SPITELLER, M. (1986): Möglichkeiten der Fluid-Extraktion zur Gewinnung von Bodeninhaltsstoffen. - Mitt. Dtsch. Bodenkundlichen Ges. 45: 147-153.
- STÖFFLER, B. (1997): Erweiterte Naßoxidation von Klärschlamm und Modellsubstanzen mit Wasserstoffperoxid. - Diss. TU Darmstadt, 135 S.

- STRUNK, H. (1990): Das Quartärprofil von Hagelstadt im Bayerischen Tertiärhügelland. - Eiszeitalter und Gegenwart 40: 85-96.
- VÖLKEL, J. (1995a): Periglaziale Deckschichten und Böden im Bayerischen Wald und seinen Randgebieten als geogene Grundlagen landschaftsökologischer Forschung im Bereich naturnaher Waldstandorte. - Z. Geomorph. N.F. 96, 301 S.
- VÖLKEL, J. (1995b): Zur Erfassung der räumlichen Verteilung von Radiocäsium des Tschernobyl-Fallouts in Waldböden. - Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hg.): 9. Fachgespräch zur Überwachung der Umweltradioaktivität: 218-223.
- VÖLKEL, J. (1997): Modelle zur Cäsiumfixierung in Böden radioaktiv höher kontaminierter Gebiete Ost-Bayerns. – Abschlußbericht, Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU), 60 S. und Tabellenanhang
- VÖLKEL, J. (1998a): Untersuchung zur Bioverfügbarkeit mineralischer Streumittel in Abhängigkeit unterschiedlicher Applikationsformen zur Reduktion der Radiocäsiumaufnahme durch Pflanzen in Forstökosystemen in Falle von Ereignissen mit möglichen, nicht unerheblichen radiologischen Auswirkungen. – Forschungsbericht, Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU), 40 S. und Tabellenanhang
- VÖLKEL, J. (1998b): Radioökologisches Monitoring zur Entwicklung der Cäsiumkontamination süddeutscher Waldgebiete und Maßnahmen zur Reduktion der Cäsiumaufnahme durch Pflanzen. - 10. Fachgespräch zur Überwachung der Umweltradioaktivität, 28.-30. April 1998, BMU, 419-424.
- VÖLKEL, J. (1999): Untersuchung zur Bioverfügbarkeit mineralischer Streumittel in Abhängigkeit unterschiedlicher Applikationsformen zur Reduktion der Radiocäsiumaufnahme durch Pflanzen in Forstökosystemen in Falle von Ereignissen mit möglichen, nicht unerheblichen radiologischen Auswirkungen. – Abschlußbericht, Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU), 50 S. u. Tabellenanhang
- VÖLKEL, J., A. RAAB, T. RAAB, M. LEOPOLD & H. SIMM, (1998): Methoden zur Bilanzierung spätatlantenezeitlicher Bodenerosion am Beispiel der Viereckschanze von Poign, Lkr. Regensburg. - KÜSTER, H.-J., A. LANG & P. Schauer (Hg.): Archäologische Forschungen in Urgeschichtlichen Siedlungslandschaften. Festschrift für Georg Kossack zum 75. Geburtstag: 541-557.
- WOLFF, H. (1985): Geologische Karte von Bayern 1:25000. Erläuterungen zum Blatt Nr. 8338 Bayrischzell. - München, 190 S.
- WROBEL, J. P. (1985): Hydrogeologische Verhältnisse. - WOLFF, H.: Geologische Karte von Bayern 1:25000. Erläuterungen zum Blatt Nr. 8338 Bayrischzell: 151-160.
- ZIECHMANN, W. (1996): Huminstoffe und ihre Wirkungen. - Heidelberg, Berlin, Oxford, 239 S.

Karten

Topographische Karten 1:25000 (TK25) des Bayerischen Landesvermessungsamtes, München:

Blatt 6125 Würzburg Nord

Blatt 6845 Bayerisch Eisenstein

Blatt 7039 Mintraching

Blatt 8338 Bayrischzell

Blatt 8532 Garmisch-Partenkirchen

Geologische Karten des Bayerischen Geologischen Landesamtes, München

Geologische Karten von Bayern 1:500000

Geologische Karten 1:25000 (GK25)

Blatt 6125 Würzburg Nord

Blatt 8338 Bayrischzell

Bodenkundliche Karten des Bayerischen Geologischen Landesamtes, München:

Bodenkundliche Karte 1:25000 (BK25), Blatt 6125 Würzburg Nord

10 Anhang

A.1 Profilbeschreibungen

A.2 ^{137}Cs -Werte

A.3 Bodenanalytik

A.4 Tonmineralspektren

A.1 Profilbeschreibungen

Profil 6125-1 (Kalkofen 1, Erstbeprobung)

Lage	relativ: 10 m nördlich des Steinbruchs	Aufnahmedatum: 19.04.00
	absolut: RW 3560725 HW 5523744	Witterung: sonnig
	im Relief: Plateaurand, im S Weinberg	Bearbeiter: Bruckmoser, Weber
Vegetation:	Schwarzkiefer	Aufschluss: Monolith
Geologie:	Unterer Muschelkalk	Höhe ü. NN: 277
Humusform:	F-Mull	Exposition: SSW
Bodentyp:	Syrosem-Rendzina	Inklination:

Tiefe [cm]	Horizont	Beschreibung	Probe	Tiefe [cm]
6 - 5	L	Nadelstreu mit Pilzmycel	L	6 - 5
5 - 0	Of	Kiefernadel sind nicht mehr identifizierbar, viele Feinwurzeln der Gäser (W4)	Of	5 - 0
0 - 3	Ah+xcCv	Muschelkalkgrus neben sehr trockenem, mittel humosem (h3), krümeligem Ah-Material	1	0 - 3
3+	(x)cC(v)	in oberen Teil physikalisch aufbereiteter Muschelkalk, entlang der Klüfte z. T. Verwitterungslehm, Skelett teilweise durch Fe-Oxide gefärbt	n. b.	

Profil 6125-4 (Höhfeldplatte)

Lage	relativ:	Aufnahmedatum: 10.05.00
	absolut: RW 3560 938 HW 5526 629	Witterung: sonnig, trocken
	im Relief: Oberhang	Bearbeiter: Bruckmoser, Leopold
Vegetation:	Laubmischwald (Ei, Bu, HaBu)	Aufschluss: Monolith
Geologie:	Unterer Muschelkalk	Höhe ü. NN: 300 m
Humusform:	F-Mull	Exposition: NNW
Bodentyp:	Braunerde-Rendzina	Inklination:

Tiefe [cm]	Horizont	Beschreibung	Probe	Tiefe [cm]
2 - 1	L	locker gelagerte Laubstreu, z. T. sind Nadeln aus dem kiefernbestandenen Plateaubereich eingeweht	L	2 - 1
1 - 0	Of	stark punktierte, gefleckte Blattreste, schwach miteinander verklebt, Pilzhyphen	Of	1 - 0
0 - 6	Ah	Krümelgefüge, Quarzkörner (letzte Spuren einer Flugsandeinwehung aus dem Buntsandstein?, vom Mittelhangbereich bis zur Forststraße ist diese Flugsanddecke sehr ausgeprägt), stark humos (h4), einzelne Grobwurzeln, sehr trocken, mittlere Durchwurzelungsintensität (W3)	1	0 - 6
6 - 27+	Bv+Cv	Kalkskelett, Matrix verbraunt, Skelett überwiegt, mittlere Durchwurzelungsintensität (W3), erste Ansätze einer subpolyedrischen Gefügebildung, sehr trocken	2	6 - 27

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

Profil 6125-5 (Edelmannswald)

Lage	relativ: 300 m südlich der 180°-Kehre	Aufnahmedatum: 10.05.00
	absolut: RW 3563 425 HW 5524 875	Witterung: sonnig, trocken
	im Relief: Mittelhang	Bearbeiter: Bruckmoser, Leopold
Vegetation:	Eiche-Buche-Eberesche-HaBu	Aufschluss: Schürfgrube
Geologie:	Löß über Oberem Muschelkalk	Höhe ü. NN: 310 m
Humusform:	F-Mull	Exposition: E
Bodentyp:	Parabraunerde	Inklination:

Tiefe [cm]	Horizont	Beschreibung	Probe	Tiefe [cm]
+3 - 1	L	Laubstreu, braun gefleckt, vereinzelt Holzreste, locker gelagert	L	+3 - 1
1 - 0	Of	nicht durchgehend vorhanden, teilweise miteinander verklebt Blattlagen, stark punktiert und gefleckt	Of	1 - 0
0 - 1	Ah	krümelig, mittel humos (h3), carbonatfrei (c0), schwach feucht (feu2), sehr stark durchwurzelt (W5), skelettfrei, schluffiger Lehm (Lu, Bodenartansprache im Gelände)	1	0 - 1
1 - 18	Al	subpolyedrisches Gefüge, humose Flecken bzw. Nester, sonst schwach humos (h1-2), keine Hydromorphiemerkmale, Durchwurzelung schwach bis mittel (W2-3, für einen Al sehr schwach durchwurzelt!), stark toniger Schluff (Ut4, Bodenartansprache im Gelände), fahl- bis hellbraun, carbonatfrei (c0), Lagerungsdicht mittel bis hoch (Ld3-4)	2	1 - 18
18 - 48	Bt	skelettfrei, polyedrisches Gefüge, Toncutane an den Aggregatoberflächen, deutlicher Farbwechsel nach rotbraun, Mangan-Schlieren auf Gefügeoberflächen, sehr schwach humos (h1), carbonatfrei (c0), mittel schluffiger Ton (Tu3, Bodenartansprache im Gelände), hohe Lagerungsdichte (Ld4)	3	18 - 48
48 - 60+	II Cv	anstehender Muschelkalk, Matrix Kalkverwitterungsrest	4	48 - 60

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

Profil 6125-6 (Binsenberg SE)

Lage	relativ:		Aufnahmedatum:	10.05.00
	absolut:	RW 3568 304 HW 5527 313	Witterung:	sonnig, trocken
	im Relief:	Unterhang	Bearbeiter:	Bruckmoser, Leopold
Vegetation:		Fichte, z. T. Buchenjungwuchs	Aufschluss:	Pürckhauer
Geologie:		Löß über Oberem Muschelkalk	Höhe ü. NN:	290 m
Humusform:		F-Mull	Exposition:	SE
Bodentyp:		Parabraunerde	Inklination:	

Tiefe [cm]	Horizont	Beschreibung	Probe	Tiefe [cm]
+3 - 2	L	Nadelstreu, Zapfen	L	+3 - 2
2 - 0	Of	stark zersetzte Nadelstreu, Feinwurzeln	Of	2 - 0
0 - 6	Aeh	schwach podsolig, wellige Untergrenze, mittel humos (h3), sehr schluffig, stark durchwurzelt (W5), trocken, carbonatfrei (c0)	1	0 - 6
6 - 37	Al	subpolyedrisches Gefüge, carbonatfrei (c0), sehr trocken, Bodenart wegen Trockenheit im Gelände nicht feststellbar	2	6 - 37
37 - 68	Bt	in Gegensatz zum Aeh und Al (Beprobung aus Monolith) aus dem Pürckhauer beprobt, deshalb kaum näher beschreibbar; toniger als Al, rotbraun	3	37 - 68
68+	II Cv	Muschelkalk, Matrix Kalkverwitterungslehm	n. b.	

Profil 6125-7 (Kalkofen)

Lage	relativ:	1 m nördlich von 6125-1	Aufnahmedatum:	10.05.00
	absolut:	RW 3560 725 HW 5523 744	Witterung:	sonnig, trocken
	im Relief:	Plateaurand, im S Weinberg	Bearbeiter:	Bruckmoser, Leopold
Vegetation:		Schwarzkiefer	Aufschluss:	Monolith
Geologie:		Unterer Muschelkalk	Höhe ü. NN:	277 m
Humusform:		F-Mull	Exposition:	SSW
Bodentyp:		Syrosem-Rendzina	Inklination:	

Tiefe [cm]	Horizont	Beschreibung	Probe	Tiefe [cm]
	GWF		GWF	
+6 - 0	Of	Nadelstreu, z. T. sehr gut zersetzte Partien, Kiefernadeln sind nicht mehr als solche erkennbar, viele Feinwurzeln der Gräser (W4)	Of	+6 - 0
+1 - 0	Of (2)	im Übergang zum Ah mehr Feinmaterial als Of	Of (2)	+1 - 0
0 - 1 (2)	Aih	trocken, liegt direkt dem Muschelkalk auf, krümelig, schwach humos (h2)	1	0 - 1 (2)
2+	(Bv-)xCv	physikalisch aufbereiteter Muschelkalk, initial verbraunt (Fe-Oxidfreisetzung, an Steingrenzen), nicht durchwurzelt	n. b.	

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

Profil 7039-6b (Hagelstädter Forst)

Lage	relativ: ca. 25 m S' von 7039-6	Aufnahmedatum: 05.06.00
	absolut: RW 4514 650 HW 5418 400	Witterung: sonnig
	im Relief:	Bearbeiter: Bruckmoser, Jürs
Vegetation:	Buche, im Unterwuchs Ahorn, Esche, vereinzelt Fichte	Aufschluss: Eijkelkamp-Bohrung
Geologie:	Löß	Höhe ü. NN: 390 m
Humusform:	F-Mull	Exposition: S
Bodentyp:	Parabraunerde	Inklination: 0 -1 °

Bemerkung: Es wird für das Lößhügelland auf den Profildundus der AG Völkel zurückgegriffen. Für die Beprobung der Auflagen und der Vegetation werden die Standorte der Profile 7039-6 und 7039-7 (vgl. Völkel (1995)) ausgewählt. Als Alternativstandorte hätten noch die Standorte der Profile 7038-6, -8, -9 im Burgweintinger Forst zur Verfügung gestanden. Diese Profile scheinen aber gerade in den Auflagehorizonten bzw. den oberen Mineralbodenhorizonten durch die Düngung der umliegenden Ackerflächen beeinflusst. Zumindest weist die KAK_{eff} darauf hin.

Tiefe [cm]	Horizont	Beschreibung	Probe	Tiefe [cm]
+3 - 1	L	Laubstreu	L	+3 - 1
1 - 0	Of	lagig verklebte Laubstreupakete	Of	1 - 0
0 - 5	Ah	dunkelbraun, stark durchwurzelt, krümelig, mittel humos, carbonatfrei, Bodenartenansprache KG! (gilt auch für andere Horizonte),	1	0 - 5
5 - 30	Al	aufgehellter Lessivierungshorizont, gelblich-braun, nur schwach durchwurzelt (ist wie die Gefügeeigenschaft im verwürgten Bohrkern schlecht zu beschreiben), carbonatfrei	2 3 4	5 - 17 17 - 25 25 - 30
30 - 40	AlBt	Al-Material liegt neben Bt-Material vor, braun, subpolyedrisches bis polyedrisches Gefüge, carbonatfrei	5	30 - 40
40 - 68	Bt	dichter, brauner Tonanreicherungshorizont, sehr schwache Durchwurzelung, polyedrisches Gefüge mit Toncutanen, teilweise Mangankonkretionen	6 7 8	40 - 50 50 - 60 60 - 68
68 - 86+	ICcv	gelbbrauner Löß, carbonatreich, Grenze Bt - Löß sehr gut erkennbar, sekundäre Carbonatanreicherungen,	9	68 - 86

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

Profil 7039-7b (Hagelstadter Forst II)

Lage	relativ: 75 m SW' von 7039-6b	Aufnahmedatum: 05.06.00
	absolut: RW 4514 575	Witterung: sonnig
	HW 5418 338	Bearbeiter: Bruckmoser; Jürs
Vegetation:	Fichtenaltholz	Aufschluss: Eijkelkamp-Bohrung
Geologie:	Löß	Höhe ü. NN: 388 m
Humusform:	feinhumusarmer Typ. Moder	Exposition: (S)
Bodentyp:	Parabraunerde	Inklination: 0 - 1°

Tiefe [cm]	Horizont	Beschreibung	Probe	Tiefe [cm]
+6 - 5	L	braun gefärbte, lose liegende Nadeln	L	+6 - 5
5 - 2	Of	Nadelreste z. T. miteinander verbacken, z. T. lose	Of	5 - 2
2 - 0	Oh	organische Feinsubstanz mit nur noch geringen makroskopischen Resten	Oh	2 - 0
0 - 6	A(e)h	braun-schwarz, leicht violettstichig, krümelig, stark durchwurzelt, stark humos, carbonatfrei	1	0 - 6
6 - 17	Al	braun, stark durchwurzelt, schwach humos, subpolyedrisches Gefüge, carbonatfrei, Lessivierungshorizont	2	6 - 17
17 - 32	Al+Bt	dichter Übergangshorizont, geringe Anteile Al-Material neben Bt-Material, subpolyedrisches Gefüge, schwach humos, carbonatfrei	3	17 - 32
32 - 75	Bt	dichter, brauner Tonanreicherungshorizont, polyedrisches Gefüge mit Toncutanen an Gefügeoberflächen, sehr schwach humos, carbonatfrei, im Bohrkern dunkle Schlieren von Mangankonkretionen	4 5	32 - 46 46 - 75
75 - 90+	ICcv	gelbbrauner Löß, carbonatreich, Grenze Löß-Bt sehr gut erkennbar, sekundäre Carbonatanreicherungen	6	75 - 90

Profil 8338-1 (Oberarztmoos bzw. südlicher Schortenkopfgipfel)

Lage	relativ:	Aufnahmedatum: 22.05.00
	absolut: RW 4504 950 HW 5284 250	Witterung: stark bewölkt, trocken
	im Relief: Gipfel	Bearbeiter: Bruckmoser, Jürs
Vegetation:	Fichte, Gräser und Moose	Aufschluss: Monolith
Geologie:	Wettersteinkalk	Höhe ü. NN: 1245 m
Humusform:	feinhumusreicher Rohhumus	Exposition: -
Bodentyp:	Skeletthumusboden	Inklination:

Tiefe [cm]	Horizont	Beschreibung	Probe	Tiefe [cm]
+13 - 12	L	Nadelstreu neben lebenden, grünen Pflanzenteilen der Moose (also eigentlich: Moospolster + L), Untergrenze wellig	L	+13 - 12
12 - 9,5	Of	braune, stark verfilzte Pflanzenteile der Moose neben abgestorbener organischer Substanz	Of	12 - 9,5
9,5 - 0	Oh	schwarz, krümelig, kompakt weil stark durchnässt, mittlere Durchwurzelungsintensität, carbonatfrei, Untergrenze wellig	Oh	9,5 - 0
0 - 10+	xcC+Oh	Skelett aus Wettersteinkalk, Oh-Material in den		0 - 10

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

Zwischenräumen

Profil 8338-2 (Oberarztmoos bzw. südlicher Schortenkopfgipfel)

Lage	relativ: 5 m W' der Schneise	Aufnahmedatum:	22.05.00
	absolut: RW 4504 925 HW 5284 175	Witterung:	stark bewölkt, trocken
	im Relief: Mittelhang	Bearbeiter:	Bruckmoser, Jürs
Vegetation:	Fichte, Moose, Gräser und Heidelbeere im Unterwuchs	Aufschluss:	Monolith
Geologie:	Wettersteinkalk	Höhe ü. NN:	1180 m
Humusform:	feinhumusreicher Rohhumus	Exposition:	S
Bodentyp:	Skeletthumusboden	Inklination:	

Tiefe [cm]	Horizont	Beschreibung	Probe	Tiefe [cm]
+16 - 15	L	Nadelstreu und Fichtenästchen, vereinzelt grüne Pflanzenteile der Moose	L	+16 - 15
15 - 14	Of	mittel zersetzte Fichtennadeln (noch als solche erkennbar), nach unten hin stärker verfilzt, Anteil an organischer Feinsubstanz nach unten hin zunehmend	Of	15 - 14
14 - 0	Oh	schwarz, krümelig, sehr stark durchwurzelt, Untergrenze wellig	Oh	14 - 0
0 - 7+	xcC+Oh	Skelett aus Wettersteinkalk, Oh-Material in den Zwischenräumen	n. b.	

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

Profil 8338-3 (Oberarztmoos bzw. südlicher Schortenkopfgipfel)

Lage **relativ:** westlich des eingezäunten Waldstücks **Aufnahmedatum:** 22.05.00
absolut: RW 4505 063 HW 5284 150 **Witterung:** stark bewölkt, trocken
im Relief: kleine Verebnung oberhalb eines Steilhanges **Bearbeiter:** Bruckmoser, Jürs
Vegetation: Fichte, Gräser **Aufschluss:** Monolith
Geologie: Wettersteinkalk **Höhe ü. NN:** 1140 m
Humusform: Mullartiger Moder **Exposition:** SSW
Bodentyp: Lockersyrosem-Regosol über Braunerde-Terra-Fusca ???
Inklimation:

Tiefe [cm]	Horizont	Beschreibung	Probe	Tiefe [cm]
+2 - 1	L	Nadelstreu und untergeordnet Fichtenästchen und zapfen	L	+2 - 1
1 - 0	Of+Oh	mittel zersetzte Fichtenstreu, im oberen Teil < 10 % organische Feinsubstanz, nach unten hin zunehmender Anteil organischer Feinsubstanz	Of	1 - 0
0 - 5	Ah	schwach humos, sehr trocken, carbonatfrei, stark bis sehr stark durchwurzelt, mit Grobwurzeln dicht durchsetzt, sehr vereinzelt feingrusiges, carbonatfreies Skelett, schluffiger Lehm bis stark toniger Schluff (Geländeansprache), Untergrenze wellig	1	0 - 5
5 - 17	ICv	gelbbrauner bis mittelbrauner, schluffiger Ton, lößbeeinflußter Verwitterungslehm? - Glimmer erkennbar); sehr schwach durchwurzelt, Grobwurzeln nur sehr vereinzelt, trocken, Humusakkumulation nur entlang von Wurzelbahnen etc., carbonatfrei, keine Hydromorphiemerkmale, polyedrisches Gefüge	2	5 - 17
17 - 26	II Bv-T	mittel- bis dunkelbrauner, schluffiger Ton, sehr schwach durchwurzelt, Grobwurzeln nur sehr vereinzelt, feuchter als ICv (feu3), Humusakkumulation entlang von alten Wurzelbahnen, carbonatfrei, keine Hydromorphiemerkmale, polydrisches Gefüge	3	17 - 26
26+	II xC+T	Skelett aus Wettersteinkalk mit Residualton aus der Kalkverwitterung in den Zwischenräumen	n. b.	

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

Profil 8338-4 (Wildbarren)

Lage	relativ: südlich des Gipfelgrates	Aufnahmedatum: 23.05.00
	absolut: RW 4510 400 HW 5282 475	Witterung: sonnig-warm
	im Relief: Oberhang	Bearbeiter: Bruckmoser, Jürs
Vegetation:	Fichte, Gräser im Unterwuchs	Aufschluss: Monolith
Geologie:	Plattenkalk	Höhe ü. NN: 1420 m
Humusform:	feinhumusreicher Typischer Moder	Exposition: Süd
Bodentyp:	Skeletthumusboden bis Syrosem-Rendzina	Inklination:

Tiefe [cm]	Horizont	Beschreibung	Probe	Tiefe [cm]
+12,5 - 12	L	Nadelstreu, Fichtenästchen, Teile (Schuppen) von Fichtenzapfen, nicht flächig ausgebildet	L	+12,5 - 12
12 - 10	Of	lagig abhebbare Nadelförna, teilweise durch organische Feinsubstanz miteinander verklebt,	Of	12 - 10
10 - 0	Oh	mittlere Durchwurzelung, carbonatfrei, sehr locker, mäßig feucht, im obersten Zentimeter treten nestartig Pilzhyphen auf	Oh	10 - 0
0 - 20+	xC+Ah +Oh	kantiges Plattenkalkskelett, in den Zwischenräumen vor allem Ah-Material, z. T. aber auch Oh-Material, sehr locker zwischen dem Skelett gelagert (verstärkt Bodenwühler?), Ah- und Oh-Material z. T. mit Pilzhyphen durchzogen	1	0 - 20

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

Profil 8338-5 (Wildbarren)

Lage	relativ: 100 m W' von 8338-4	Aufnahmedatum: 23.05.00
	absolut: RW 4510 300 HW 5282 475	Witterung: sonnig, warm
	im Relief: Oberhang	Bearbeiter: Bruckmoser, Jürs
Vegetation:	Fichte, Gräser im Unterwuchs	Aufschluss: Monolith
Geologie:	Hauptdolomit	Höhe ü. NN: 1420 m
Humusform:	F-Mull	Exposition: Süd
Bodentyp:	Braunerde-Terra fusca	Inklination:

Tiefe [cm]	Horizont	Beschreibung	Probe	Tiefe [cm]
+2 - 1	L	Fichtenstreu	L	+2 - 1
1 - 0	Of	Untergrenze wellig, sehr geringmächtig, in unmittelbarer Nähe bis zu 5 cm mächtig, teilweise mit Pilzmycel durchsetzt	Of	1 - 0
0 - 5	(Oh+)Ah	sehr stark humos, sehr stark bis extrem durchwurzelt, wurzelfilzartig, krümelig, kleine Nester mit Oh-Material, carbonatfrei, wellige Untergrenze, mäßig feucht, einzelne Grobgrus-Stücke	1	0 - 5
5 - 14	Bv-T	mittel humos, schluffiger Lehm, nach unten hin abnehmender Humusgehalt und toniger werdend, sehr stark durchwurzelt, subpolyedrisch bis krümelig, mittelbraun, carbonatfrei, mäßig feucht, verbraunt, Übergang fließend	2	5 - 14
14 - 36	T	Ton, carbonatfrei, Humusanreicherungen nur entlang von Wurzelbahnen (h0-1), feuchter als oben, hellgelb-braun, Kohärentgefüge, sehr schwach durchwurzelt, Dolomitstein im untersten Bereich (fX), Residualton aus der Dolomitverwitterung	3	14 - 36
36 - 40+	mcC+T	Residualton in Spalten des Dolomits	n. b.	

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

Profil 8338-6 (Wildbarren)

Lage	relativ:		Aufnahmedatum:	23.05.00
	absolut:	RW 4510 100 HW 5282 525	Witterung:	sonnig, warm
	im Relief:	Hang	Bearbeiter:	Bruckmoser, Jürs
Vegetation:		Buche-Fichte, Gräser, Bärlapp	Aufschluss:	Monolith
Geologie:		Hauptdolomit	Höhe ü. NN:	1320 m
Humusform:		feinhumusreicher typ. Moder	Exposition:	West
Bodentyp:		Braunerde-Rendzina	Inklination:	

Tiefe [cm]	Horizont	Beschreibung	Probe	Tiefe [cm]
+11 - 10	L	Buchen-Fichten-Mischstreu, Buchenstreu dominiert	L	+11 - 10
10 - 6	Of	stark von Feinwurzeln durchzogen bis verfilzt (W5), im Vergleich zum L-Horizont mehr Fichtenstreu, organische Feinsubstanz nimmt nach unten hin zu	Of	10 - 6
6 - 0	Oh	sehr locker, z. T. dunkelbraun-schwarz, z. T. rötlich-braun, extrem stark durchwurzelt (stärker als im Of, W6)	Oh	6 - 0
0 - 3	Ah	krümelig, stark durchwurzelt (W4), carbonatfrei, stark humos, sehr locker	1	0 - 3
3 - 11	Bv	krümelig aber dichter als oben, tonig-lehmiger als oben, mittel humos (h3), nach unten hin zunehmend mit Fein- bzw. Mittelgrus (carbonathaltig) vermengt	2	3 - 11
11+	xcC+T(?)	Dolomitskelett, Verwitterungslehm in den Zwischenräumen	n.b.	

Profil 8338-7 (zwischen Tatzelwurm und Wildbarren)

Lage	relativ:		Aufnahmedatum:	15.06.00
	absolut:	RW 4506 790 HW 5282 725	Witterung:	Regen
	im Relief:	Mittelhang	Bearbeiter:	Bruckmoser, Th. Raab
Vegetation:		Buche, sehr vereinzelt Fichte	Aufschluss:	Monolith
Geologie:		Hauptdolomit	Höhe ü. NN:	870 m
Humusform:		feinhumusreicher Typischer Moder	Exposition:	NW
Bodentyp:		Rendzina-Braunerde	Inklination:	38°

Tiefe [cm]	Horizont	Beschreibung	Probe	Tiefe [cm]
+13-11	L	locker gelagertes Buchenlaub	L	+13-11
11-7	Of	lagig verklebte Blattreste	Of	11-7
7-4	Oh1	braun, krümelig, geringerer Zersetzungsgrad als Oh2	Oh1	7-4
4-0	Oh2	dunkelbraun-schwarz, krümelig	Oh2	4-0
0-5	Ah	krümelig, stark humos, stark durchwurzelt, dunkelbraun, mit Dolomitgrus durchsetzt (fGr und mGr)	Cs1	0-5
5-10	Ah+Bv	mehr Skelettanteil als oben und vor allem Mittel- und Grobgrus, krümelig, mittel- bis dunkelbraun, stark durchwurzelt	Cs2	5-10
10+	Bv+xcCv	Steine mit verlehmtem Material in den Zwischenräumen	n.b.	

Profil 8338-10 (zwischen Tatzelwurm und Wildbarren)

Lage	relativ:	Aufnahmedatum:	16.06.00
	absolut: RW 4507610 HW 5281475	Witterung:	bedeckt
	im Relief: gestreckter Mittelhang	Bearbeiter:	Bruckmoser, Th. Raab
Vegetation:	Buche, z.T. Ahorn	Aufschluss:	Monolith
Geologie:	Plattenkalk	Höhe ü. NN:	840 m
Humusform:	feinhumusreicher Typischer Moder	Exposition:	S (180°)
Bodentyp:	Rendzina	Inklination:	36°

Tiefe [cm]	Horizont	Beschreibung	Probe	Tiefe [cm]
+9-6,5	L	Buchenstreu, an der Basis lagig miteinander verklebt	L	9-6,5
6,5-3,5	Of	sehr stark durchwurzelt, lagig, nach unten zunehmender Anteil an organischer Feinsubstanz	Of	6,5-3,5
3,5-0	Oh	extrem stark durchwurzelt	Oh	3,5-0
0-5	Ah	sehr stark humos, krümeliges bis subpolyedrisches Gefüge, stark durchwurzelt, vereinzelt Mittelgrus aus dem Plattenkalk	Cs1	0-5
5-10+	Ah+xcC	stark humos, mittel durchwurzelt, Skelett vor allem gGr, wenig mGr, kaum fGr, (sub)polyedrisches Gefüge der Matrix	Cs2	5-10

Profil 8338-13 (zwischen Tatzelwurm und Wildbarren)

Lage	relativ:	Aufnahmedatum:	16.06.00
	absolut: RW 4507 325 HW 5281 560	Witterung:	bedeckt
	im Relief: Mittelhang	Bearbeiter:	Bruckmoser, Th. Raab
Vegetation:	Lärche-Fichte	Aufschluss:	Monolith
Geologie:	Hauptdolomit	Höhe ü. NN:	860 m
Humusform:	feinhumusreicher Typischer Moder	Exposition:	SW (230°)
Bodentyp:	Rendzina	Inklination:	30°

Tiefe [cm]	Horizont	Beschreibung	Probe	Tiefe [cm]
+8-7	L	nicht zersetzte Lärchen-Fichten-Streu	L	8-7
7-3	Of	sehr stark durchwurzelt	Of	7-3
3-0	Oh	sehr stark durchwurzelt, Schnupftabakstruktur	Oh	3-0
0-5	Ah	sehr stark humos, krümelig, mittel durchwurzelt, trocken, viel Fein- und Mittelgrus aus dem Hauptdolomit	Cs1	0-5
5-10+	Ah+xcCv	sehr stark humos, mittel durchwurzelt, Skelett dolomitisch, Skelettgehalt sehr hoch (> 75 %???), vor allem Mittel- und Grobgrus	Cs2	5-10

Profil 8338-16 (zwischen Tatzelwurm und Wildbarren)

Lage	relativ:		Aufnahmedatum:	16.06.00
	absolut:	RW 4508025 HW 5281610	Witterung:	bedeckt
	im Relief:	gestreckter Mittelhang	Bearbeiter:	Bruckmoser, Th. Raab
Vegetation:		Fichte-Lärche (vereinzelt Buche)	Aufschluss:	Monolith
Geologie:		Plattenkalk	Höhe ü. NN:	920 m
Humusform:		feinhumusarmer Rohhumus	Exposition:	SSW (200°)
Bodentyp:		Terra-Fusca-Rendzina (??)	Inklination:	18°

Tiefe [cm]	Horizont	Beschreibung	Probe	Tiefe [cm]
+11,5-10	L	nicht zersetzte Lärchen-Fichten-Streu	L	11,5-10
10-2	Of	verfilzt, stark durchwurzelt	Of	10-2
2-0	Oh	Schnupftabakstruktur, stark durchwurzelt	Oh	2-0
0-2	Ah	nicht durchgehend vorhanden, sehr trocken, stark humos, stark durchwurzelt	Cs1	0-5
2-13	ICv (T??)	gelblich-braun, stark schluffig, zur Basis hin toniger werdend, sehr trocken, schwach durchwurzelt, Gefügeänderung von subpolyedrisch zu polyedrisch, carbonatfrei	Cs2	5-10
13+	ICv (T??)+xcC	wie oben, in Kombination mit Plattenkalkskelett	n.b.	

Profil 8338-17 (zwischen Tatzelwurm und Wildbarren)

Lage	relativ:		Aufnahmedatum:	20.07.01
	absolut:	RW 4506 790 HW 5282 725	Witterung:	trocken
	im Relief:	Mittelhang	Bearbeiter:	Leopold
Vegetation:		Buche, sehr vereinzelt Fichte	Aufschluss:	Monolith
Geologie:		Hauptdolomit	Höhe ü. NN:	870 m
Humusform:		Tangelhumus	Exposition:	NW
Bodentyp:		Tangel-Rendzina	Inklination:	38°

Tiefe [cm]	Horizont	Beschreibung	Probe	Tiefe [cm]
+67-66	L	locker gelagertes Buchenlaub	L	+13-11
+66-50	Of	lagig verklebte Blattreste	Of	11-7
+50-0	Oh	Extrem mächtig, krümelig, Zersetzungsgrad nach unten hin zunehmend als Oh2	Oh1	7-4

Profil 8338-18 (zwischen Tatzelwurm und Wildbarren)

Lage	relativ:	Aufnahmedatum:	18.07.01
	absolut: RW 4506 795 HW 5282 735	Witterung:	trocken
	im Relief: Mittelhang	Bearbeiter:	Leopold
Vegetation:	Buche, sehr vereinzelt Fichte	Aufschluss:	Monolith
Geologie:	Hauptdolomit	Höhe ü. NN:	880 m
Humusform:	Feinhumusreicher Typischer Moder	Exposition:	NW
Bodentyp:	Rendzina-Braunerde	Inklination:	38°

Tiefe [cm]	Horizont	Beschreibung	Probe	Tiefe [cm]
+16-15	L	locker gelagertes Buchenlaub	L	+16-15
15-4	Of	lagig abhebbare, verklebte Blattreste	Of	15-4
4-0	Oh	braun, krümelig, teilweise mit Wurmlösung durchmischt, evtl. mineralische Komponenten eingemischt	Oh	4-0
0-5	Ah+mC	krümelig, mäßig durchwurzelt, dunkelbraun, mit Dolomitgrus durchsetzt (fGr und mGr), stark humos	Cs1	0-5
5-10	Ah+Bv	Skelettanteil höher als, krümelig, mittelbraun, schwach durchwurzelt	Cs2	5-10

Profil 8338-19 (zwischen Tatzelwurm und Wildbarren)

Lage	relativ:	Aufnahmedatum:	18.07.01
	absolut: RW 4506 800 HW 5282 715	Witterung:	trocken
	im Relief: Mittelhang	Bearbeiter:	Leopold
Vegetation:	Buche, sehr vereinzelt Fichte	Aufschluss:	Monolith
Geologie:	Hauptdolomit	Höhe ü. NN:	880 m
Humusform:	Feinhumusreicher Typischer Moder	Exposition:	NW
Bodentyp:	Rendzina-Braunerde	Inklination:	38°

Tiefe [cm]	Horizont	Beschreibung	Probe	Tiefe [cm]
+9-8	L	locker gelagertes Buchenlaub	L	+9-8
8-4	Of	lagig abhebbare, verklebte Blattreste	Of	8-4
4-0	Oh+mC	braun, krümelig, mit extrem angewitterten Dolomitgruß durchmischt (!), evtl. mineralische Komponenten eingemischt, sehr stark durchwurzelt	Oh	4-0
0-5	Ah+mC	krümelig, mäßig durchwurzelt, dunkelbraun, mit Dolomitgrus durchsetzt (fGr und mGr), stark humos	Cs1	0-5

Profil 8338-20 (zwischen Tatzelwurm und Wildbarren)

Lage	relativ:	Aufnahmedatum:	18.07.01
	absolut: RW 4507 325 HW 5281 565	Witterung:	trocken
	im Relief: Mittelhang	Bearbeiter:	Leopold
Vegetation:	Fichte + Lärche	Aufschluss:	Monolith
Geologie:	Hauptdolomit	Höhe ü. NN:	855 m
Humusform:	feinhumusarmer Typischer Moder	Exposition:	SW (230°)
Bodentyp:	Kalkhaltige Terra fusca	Inklination:	30°

Tiefe [cm]	Horizont	Beschreibung	Probe	Tiefe [cm]
+4-3	L	nicht zersetzte Fichten+Lärchen Streu	L	4-3
3-1,5	Of	Lagiger Aufbau, verfilzt, Hyphen	Of	3-0,5
0,5-0	Oh	Oh ist nicht zu beproben, sehr stark durchwurzelt	n.b.	
0-5	Ahe	sehr stark humos, violettstichig, krümelig, stark durchwurzelt,	Cs1	0-5
5-10+	Bv	sehr stark humos, mittel durchwurzelt, subpolyedrisches Gefüge, Skelett dolomitisch vor allem Mittel- und Grobgrus	Cs2	5-10

Profil 8338-21 (zwischen Tatzelwurm und Wildbarren)

Lage	relativ:	Aufnahmedatum:	18.07.01
	absolut: RW 4507 320 HW 5281 575	Witterung:	trocken
	im Relief: Mittelhang	Bearbeiter:	Leopold
Vegetation:	Fichte + Lärche	Aufschluss:	Monolith
Geologie:	Hauptdolomit	Höhe ü. NN:	865 m
Humusform:	feinhumusarmer Typischer Moder	Exposition:	SW (230°)
Bodentyp:	Kalkhaltige Terra fusca	Inklination:	30°

Tiefe [cm]	Horizont	Beschreibung	Probe	Tiefe [cm]
+3-2	L	nicht zersetzte Fichten+Lärchen Streu	L	3-2
2-1	Of	Lagiger Aufbau,	Of	2-1
1-0	Oh	Oh ist schwer zu beproben, sehr stark durchwurzelt	Oh	1-0
0-5	Ah+Bv	sehr stark humos, krümelig, stark durchwurzelt, trocken	Cs1	0-5
5-10+	Bv (T)	sehr stark humos, mittel durchwurzelt, polyedrisch toniges Gefüge, Skelett dolomitisch vor allem Mittel- und	Cs2	5-10

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

Grobgrus

Profil 8338-22 (zwischen Tatzelwurm und Wildbarren)

Lage	relativ:		Aufnahmedatum:	18.07.01
	absolut:	RW 4507620 HW 5281480	Witterung:	trocken
	im Relief:	gestreckter Mittelhang	Bearbeiter:	Leopold
Vegetation:		Buche	Aufschluss:	Monolith
Geologie:		Plattenkalk	Höhe ü. NN:	855 m
Humusform:		feinhumusarmer Typischer Moder	Exposition:	S (180°)
Bodentyp:		Rendzina	Inklination:	35°

Tiefe [cm]	Horizont	Beschreibung	Probe	Tiefe [cm]
+4-3	L	Lagig verklebte Buchenstreu	L	4-3
3-0,5	Of	sehr stark durchwurzelt, lagig, nach unten zunehmender Anteil an organischer Feinsubstanz, mit Pilzhyphen durchsetzt	Of	3-0,5
0,5-0	Oh	extrem stark durchwurzelt	n.b.	
0-5	Ah+cC	sehr stark humos, subpolyedrisches Gefüge, äußerst stark durchwurzelt, viel Gruß aus dem Plattenkalk	Cs1	0-5

Profil 8338-23 (zwischen Tatzelwurm und Wildbarren)

Lage	relativ:		Aufnahmedatum:	18.07.01
	absolut:	RW 4507625 HW 5281505	Witterung:	trocken
	im Relief:	gestreckter Mittelhang	Bearbeiter:	Leopold
Vegetation:		Buche	Aufschluss:	Monolith
Geologie:		Plattenkalk	Höhe ü. NN:	865 m
Humusform:		feinhumusarmer Typischer Moder	Exposition:	S (180°)
Bodentyp:		Rendzina	Inklination:	35°

Tiefe [cm]	Horizont	Beschreibung	Probe	Tiefe [cm]
+5-4	L	Lagig verklebte Buchenstreu	L	5-4
4-0,5	Of	sehr stark durchwurzelt, lagig, nach unten zunehmender Anteil an organischer Feinsubstanz, mit Pilzhyphen durchsetzt	Of	4-0,5
0,5-0	Oh	stark durchwurzelt	n.b.	
0-5	Ah+cC	sehr stark humos, subpolyedrisches Gefüge, äußerst stark durchwurzelt, viel Gruß aus dem Plattenkalk	Cs1	0-5

Profil 8338-24 (zwischen Tatzelwurm und Wildbarren)

Lage	relativ:		Aufnahmedatum:	16.06.00
	absolut:	RW 4508025 HW 5281610	Witterung:	trocken
	im Relief:	gestreckter Mittelhang	Bearbeiter:	Leopold
Vegetation:		Fichte	Aufschluss:	Monolith
Geologie:		Plattenkalk	Höhe ü. NN:	920 m
Humusform:		feinhumusarmer Moder	Exposition:	SSW (200°)
Bodentyp:		Terra-Fusca-Rendzina	Inklination:	18°

Tiefe [cm]	Horizont	Beschreibung	Probe	Tiefe [cm]
+11,5-10	L	nicht zersetzte Lärchen-Fichten-Streu	L	11,5-10
10-2	Of	Verfilzt z.T. mit Hyphen, mittel durchwurzelt	Of	10-2
2-0	Oh	Schnupftabakstruktur, stark durchwurzelt	Oh	2-0
0-2	Ah+Bv	nicht durchgehend vorhanden, stark humos, stark durchwurzelt	Cs1	0-5
5-10+	BV	gelblich-braun, schluffig, subpolyedrisches Gefüge, trocken, mittel durchwurzelt,	Cs2	5-10

Profil 8338-25 (zwischen Tatzelwurm und Wildbarren)

Lage	relativ:		Aufnahmedatum:	16.06.00
	absolut:	RW 4508015 HW 5281600	Witterung:	trocken
	im Relief:	gestreckter Mittelhang	Bearbeiter:	Leopold
Vegetation:		Fichte	Aufschluss:	Monolith
Geologie:		Plattenkalk	Höhe ü. NN:	915 m
Humusform:		feinhumusarmer Moder	Exposition:	SSW (200°)
Bodentyp:		Rendzina	Inklination:	15°

Tiefe [cm]	Horizont	Beschreibung	Probe	Tiefe [cm]
3-2	L	nicht zersetzte Fichten-Streu	L	3-2
2-1	Of	verfilzt	Of	2-1
1-0	Oh	Schnupftabakstruktur, stark durchwurzelt	Oh	1-0
0-5	Ah+Bv	Extrem stark durchwurzelt stark humos, mit Bv Material deutlich vermengt	Cs1	0-5
5-10+	Bv	schluffig, zur Basis hin toniger werdend, trocken,	Cs2	5-10

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

schwach durchwurzelt, subpolyedrisch,

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

Profil 8338-26 (zwischen Tatzelwurm und Wildbarren)

Lage	relativ:		Aufnahmedatum:	27.07.01
	absolut:	RW 4506 790 HW 5282 725	Witterung:	trocken
	im Relief:	Mittelhang	Bearbeiter:	Leopold
Vegetation:		Buche, sehr vereinzelt Fichte	Aufschluss:	Monolith
Geologie:		Hauptdolomit	Höhe ü. NN:	870 m
Humusform:		Tangelhumus	Exposition:	NW
Bodentyp:		Tangel-Rendzina	Inklination:	38°

Tiefe [cm]	Horizont	Beschreibung	Probe	Tiefe [cm]
+80-0	Of - Oh	Zusatzbeprobung in kleinen Schritten (10 cm) des Profils 8338-17. 40-50 cm starkangewitterter Dolo-Gruß (pH?) 60-65 Übergang von braun → schwarz Horizontwechsel in der Probe zu Ah		
0+	Bv	Bv- Horizont bzw. T-Horizont		

Es wurden nur die Auflagen beprobt

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

Profil 8532-1

Lage	relativ:	Degernlaine	Aufnahmedatum:	16.06.00
	absolut:	RW 4429650 HW 5259525	Witterung:	sonnig
	im Relief:	Mittelhang	Bearbeiter:	Leopold
Vegetation:		Fichte / Buche	Aufschluss:	Monolith
Geologie:		Wettersteinkalk	Höhe ü. NN:	800
Humusform:		feinhumusreicher Typischer Moder	Exposition:	Süd
Bodentyp:		Braunerde-Parabraunerde	Inklination:	15°

Tiefe [cm]	Horizont	Beschreibung	Probe	Tiefe [cm]
+9-6,5	L	Fichtenstreu & Buchenstreu, an der Basis lagig miteinander verklebt	L	+5-4
6,5-3,5	Of	stark durchwurzelt, lagig, nach unten zunehmender Anteil an organischer Feinsubstanz	Of	+4-3
3,5-0	Oh	extrem stark durchwurzelt, sehr fein	Oh	+3-0
0-2	Ah	sehr stark humos, krümeliges bis subpolyedrisches Gefüge, stark durchwurzelt,	Cs1	0-2
2-30+	Bvt	stark humos, mittel durchwurzelt, (sub)polyedrisch, sehr schwache Toncutane	Cs2 Cs3	2-7 7-12

Profil 8532-2

Lage	relativ:	Degernlaine	Aufnahmedatum:	16.06.00
	absolut:	RW 4425600 HW5259550	Witterung:	sonnig
	im Relief:	Mittelhang	Bearbeiter:	Leopold
Vegetation:		Fichte	Aufschluss:	Monolith
Geologie:		Wettersteinkalk	Höhe ü. NN:	820
Humusform:		feinhumusreicher Typischer Moder	Exposition:	Süd
Bodentyp:		Rendzina	Inklination:	30°

Tiefe [cm]	Horizont	Beschreibung	Probe	Tiefe [cm]
+9-6,5	L	Fichtenstreu & Buchenstreu, an der Basis lagig miteinander verklebt	L	9-6,5
6,5-3,5	Of	stark durchwurzelt, lagig, nach unten zunehmender Anteil an organischer Feinsubstanz	Of	6,5-3,5
3,5-0	Oh	extrem stark durchwurzelt, sehr fein	Oh	3,5-0
0-5	Ahe	sehr stark humos, krümeliges bis subpolyedrisches Gefüge, stark durchwurzelt, leicht violettstichig	Cs1	0-5
5+	mC	Festgestein - Wettersteinkalk		

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

Profil 8532-3

Lage	relativ:	Osterfelderkopf	Aufnahmedatum:	22.10.01
	absolut:	RW 4428450 HW 5256085	Witterung:	sonnig
	im Relief:	Plateau	Bearbeiter:	Leopold
Vegetation:		Laatschen	Aufschluss:	Monolith
Geologie:		Wettersteinkalk	Höhe ü. NN:	2040
Humusform:			Exposition:	Ost
Bodentyp:		Skelett-Rohhumusboden	Inklination:	1°

Tiefe [cm]	Horizont	Beschreibung	Probe	Tiefe [cm]
+5-6	L	Nadelstreu und Preiselbeer Blätter	L	+5-6
0-5	Oh	Krümelig; schwarz; sehr stark durchwurzelt, skelettfrei	Oh	0-5
0-?+	mC	Festgestein Wettersteinkalk	---	---

Profil 8532-4

Lage	relativ:	Osterfelderkopf	Aufnahmedatum:	22.10.01
	absolut:	RW 4428460 HW 5256090	Witterung:	Sonnig
	im Relief:	Plateau	Bearbeiter:	Leopold
Vegetation:		Laatschen	Aufschluss:	Monolith
Geologie:		Wettersteinkalk	Höhe ü. NN:	2030
Humusform:			Exposition:	Ost
Bodentyp:		Skelett-Rohhumusboden	Inklination:	1°

Tiefe [cm]	Horizont	Beschreibung	Probe	Tiefe [cm]
+5-6	L	Nadelstreu und Preiselbeer Blätter	L	+5-6
0-5	Oh	Sehr locker krümelig; schwarz; sehr stark durchwurzelt, schwach feingrußig	Oh	0-5
0-?+	mC	Festgestein Wettersteinkalk	---	---

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

Profil 8532-5

Lage	relativ: Osterfelderkopf	Aufnahmedatum: 22.10.01
	absolut: RW 4428475 HW 5256040	Witterung: sonnig
	im Relief: Plateau	Bearbeiter: Leopold
Vegetation:	Wiese	Aufschluss: Monolith
Geologie:	Wettersteinkalk	Höhe ü. NN: 1995
Humusform:		Exposition: Ost
Bodentyp:	Skelett-Rohhumusboden	Inklination: 1°

Tiefe [cm]	Horizont	Beschreibung	Probe	Tiefe [cm]
+2-0		Graswurzelfilz	GW	+2-0
0-2	Ah+GW	Ah-Horizont mit Graswurzelfilz durchmischt; schwarz, deutlich zum Liegenden getrennt	Ah+GW	0-2
2-20	BV	Intensiv verbraunt; schwach feingrußig (! Stein!) sonst skelettfrei; Hydromorphiemerkmale in Form von Reduktions- und Oxidationsflecken; sehr schluffig, eindeutig Lößdominant; kein T-Horizont; karbonatfrei		
0-?+	mC	Festgestein Wettersteinkalk	---	---

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

Profil 8532-7

Lage	relativ:	Unterhalb Kreuzeck	Aufnahmedatum:	14.06.02
	absolut:	RW 4429850 HW 5257300	Witterung:	sonnig
	im Relief:	Steilhang	Bearbeiter:	Leopold
Vegetation:		Fichtenaltbestand / z.T. Ahorn	Aufschluss:	Monolith
Geologie:		Hauptdolomit	Höhe ü. NN:	1580
Humusform:		Moder, durch Erosion verkürzt	Exposition:	Nord
Bodentyp:		Fels-Tangelhumusboden	Inklination:	41°

Tiefe [cm]	Horizont	Beschreibung	Probe	Tiefe [cm]
+22-21,5	L	Nadel- und Laubstreu vermischt mit Ästchen und Mossblättern	L	+22-21,5
+21,5 - 21	Of	Schwach zersetzte Nadeln, Moose, wenig Laub	Of	+ 21,5-21
+21-0	Oh	Sehr stark durchwurzelt, braun, skelettfrei, in den unteren 7 cm Humifizierung stark zunehmend (Schwarzfärbung), stark zersetzt, keine makroskopisch erkennbaren Pflanzenreste, ab 11cm vereinzelt Skelettbruchstücke, Matrix karbonatfrei	Oh1 Oh2 Oh3 Oh4	+21-16 +16-11 +11-5 +5-0
0-?+	mC	Festgestein Hauptdolomit	---	---

Profil 8532-8

Lage	relativ:	Unterhalb Kreuzeck	Aufnahmedatum:	14.06.02
	absolut:	RW 4429850 HW 5257310	Witterung:	sonnig
	im Relief:	Steilhang	Bearbeiter:	Leopold
Vegetation:		Fichtenaltbestand / z.T. Ahorn	Aufschluss:	Monolith
Geologie:		Hauptdolomit	Höhe ü. NN:	1580
Humusform:		Typischer Moder, durch Erosion verkürzt	Exposition:	Nord
Bodentyp:		Rendzina-Braunerde	Inklination:	41°

Tiefe [cm]	Horizont	Beschreibung	Probe	Tiefe [cm]
+1-0,5	L	Nadelsreu vermischt mit Ästchen und Mossblättern	L	+1-0,5
+0,5-0	Of+Oh	Auflagehorizonte nicht weiter differenzierbar; evtl. stark erosiv verkürzt	Of+Oh	+ 0,5-0
0-20	Ah	mittel humos; schwach skeletthaltig; Bruchstücke carbonathaltig, Matrix carbonatfrei; krümeliges Gefüge z.T. ins Polyedrische übergehend; extrem stark durchwurzelt; stark mit Regenwürmern durchsetzt.	Cs1 Cs2 Cs3 Cs4	0-5 5-10 10-15 15-20
20-25+	II Bv	Sehr schwach humos; carbonatfrei; deutlicher Farbwechsel zum braunen hin; toniger Lösungsrückstand, bei Beprobung teilweise mit Ah vermischt	5	20-25

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

Profil 8532-9

Lage	relativ: 50 m östlich Staubecken	Aufnahmedatum: 14.06.02
	absolut: RW 4429850 HW 5258445	Witterung: sonnig
	im Relief: Verebnung (Doline?)	Bearbeiter: Leopold
Vegetation:	Buchenbestand randlich Fichte	Aufschluss: Monolith
Geologie:	Raiblerschichten	Höhe ü. NN: 1240
Humusform:	Typischer Moder	Exposition: Nord
Bodentyp:	Braunerde	Inklination: 19°

Tiefe [cm]	Horizont	Beschreibung	Probe	Tiefe [cm]
+11-10	L	Laub- und Nadelstreu	L	+11-10
+10-8	Of	sehr stark durchwurzelt; lagig verklebt, mehrere Lagen, nach unten hin zunehmend zersetzt; nach unten hin diffuser Übergang zum Oh-Horizont	Of	+10-8
+8-0	Oh	skelettfrei; extrem stark durchwurzelt; gut durchfeuchtet; stark zersetzt, an der Grenze zum Ah-Horizont Grobwurzelhorizont, nach unten hin zunehmend zersetzt und schwärzer werdend	Oh1 Oh2	+ 8-4 +4-0
<hr/>				
0-6	Ah	schwach bis mittel humos; mittel bis stark mittel- und grobgrusig (Hangschutt); Matrix carbonatfrei; stark bis sehr stark durchwurzelt; deutlicher Farbwechsel, grau mit Glimmern durchsetzt	Cs1	0-6
6-15+	II Bv	Bei Beprobung deutlich mit Ah vermischt!	Cs2	6-11

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

Profil 8532-10

Lage	relativ:	Kleiner Verebnungsbereich im	Aufnahmedatum:	14.06.02
	absolut:	Hang RW 4429820 HW 5258445	Witterung:	sonnig
	im Relief:		Bearbeiter:	Leopold
Vegetation:		Reiner Fichtenbestand	Aufschluss:	Monolith
Geologie:		Raibler Schichten	Höhe ü. NN:	1220
Humusform:		Feinhumusreicher rohhumusartiger Moder	Exposition:	Nord
Bodentyp:			Inklination:	3 ° Verebnung im 35 ° Hang

Tiefe [cm]	Horizont	Beschreibung	Probe	Tiefe [cm]
+22-21	L	Laub- und Nadelstreu	L	+11-10
+21-20	Of	extrem stark durchwurzelt; lagig verklebt, Mycel erkennbar, scharfer Übergang zum Oh-Horizont	Of	+10-8
+20-0	Oh	skelettfrei; extrem stark durchwurzelt; carbonatfrei; nach unten zunehmend zersetzt, schwärzer, alte verrottete Wurzel treten durch rote Farbe hervor; extrem scharfer Übergang zum Ah-Horizont	Oh1 Oh2 Oh3 Oh4	+20-15 +15-10 +10-5 +5-0
0-5	Ah	Probe mit Humus angereichert ; tonig, speckig, stark mit Verwitterungslhm angereichert; polyedrisches Bruchgefüge; deutlich pseudovergleyt, kein Ae erkennbar	Cs1	0-5
5-15+	II Bv	Verwitterungslehm / Probe mit Ah-Material vermengt	Cs2	5-10

Profil 8532-11

Lage	relativ:	Östl. Kreuzeckwanderweg	Aufnahmedatum:	14.06.02
	absolut:	RW 4429650 HW 5258920	Witterung:	sonnig
	im Relief:		Bearbeiter:	Leopold
Vegetation:		Buchenmischwaldbestand	Aufschluss:	Monolith
Geologie:		Partnachschieben	Höhe ü. NN:	1020
Humusform:		Typischer feinhumusreicher Moder	Exposition:	Nord
Bodentyp:		Pararendzina-Braunerde	Inklination:	6 °

Tiefe [cm]	Horizont	Beschreibung	Probe	Tiefe [cm]
+24-22	L	Buchlaub, Nadelstreu, kleine Ästchen	L	+24-22
+22-5	Of	Extrem stark durchwurzelt; mehrlagig, lagig verklebt, Mycel erkennbar	Of1 Of2	+22-18 +18-5
+5-0	Oh	Of sukzessiv in Oh übergehend, kein eindeutiger Oh erkennbar		
0-5	Oh+Ah	Carbonatfrei; extrem stark durchwurzelt; locker durchmengt (tendenziell Ah), grau-schwarz, sehr schwach feingrußig,	Cs1	0-5
5-50	Ah	Carbonathaltig; extrem stark durchwurzelt; sehr schwach bis schwach feingrußig	Cs2 Cs3	5-10 10-15
50-?	Bv?	Solifluktionsschutt		

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

Profil 8532-12

Lage	relativ: Östlich des Kreuzeckwanderweedes	Aufnahmedatum: 14.06.02
	absolut: RW 4426650 HW 5258930	Witterung: sonnig
	im Relief:	Bearbeiter: Leopold
Vegetation:	Mischwald	Aufschluss: Monolith
Geologie:	Partnachsichten	Höhe ü. NN: 1000
Humusform:	Typischer feinhumusarmer Moder	Exposition: Nord
Bodentyp:	Hanggley	Inklination: 30°

Tiefe [cm]	Horizont	Beschreibung	Probe	Tiefe [cm]
+7-6	L		L	+7-6
+6-1	Of	extrem stark durchwurzelt; lagig verklebt, weißes Mycel, Übergangstadium zum Oh-Horizont	Of	+6-1
+1-0	Oh	Extrem stark durchwurzelt; nicht beprobbar	Oh	+1-0
<hr/>				
0-4	Ah	Extrem stark durchwurzelt;	Cs1	0-4
4-15+	sGcw	Humos angereichert, aber auch deutlich reduziert, mittel bis stark feingrußig, Matrix carbonathaltig	Cs2	4-10

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

¹³⁷Cs – Werte

Würzburg

TK	Probe	Geometrie	Probemenge (g)	Probeentnahme	Messung	Live-time (s)	K-40 Bq/kg	CS-137 Bq/kg
6125	6125-8/Sauerklee	kautex 20weit	2.91	36.696.00	37.270.00	61.200.00	1.193.00	5.95
6125	6125-8/Springkraut	kautex 20weit	5.27	36.696.00	37.287.00	86.400.00	1.650.00	17.09
6125	6125-8/Farn	kautex100weit	18.67	36.696.00	37.320.00	72.000.00	1.060.00	19.91
6125	6125-8/Moos auf Boden	kautex100weit	37.97	36.696.00	37.321.00	86.400.00	377.30	43.82
6125	6125-8/Haselwurz	kautex 50weit	7.96	36.696.00	37.325.00	86.400.00	896.60	6.66
6125	6125-8/Fichte	kautex100weit	19.74	36.696.00	37.264.00	54.000.00	434.20	0.90
6125	6125-8/L	kautex100weit	22.89	36.696.00	36.899.00	86.400.00	179.90	25.38
6125	6125-8/Of	kautex 50weit	8.52	36.696.00	36.901.00	85.993.20	443.30	129.40
6125	6125-8/Cs1	kautex100weit	79.50	36.696.00	36.902.00	86.400.00	549.40	74.16
6125	6125-9/L	kautex100weit	24.43	36.696.00	36.885.00	86.400.00	210.40	6.36
6125	6125-9/Of	kautex100weit	14.83	36.696.00	36.881.00	86.400.00	290.80	84.01
6125	6125-9/Cs1	kautex100weit	92.98	36.696.00	36.893.00	86.400.00	571.90	33.79
6125	6125-10/L	kautex100weit	18.80	36.696.00	36.898.00	86.400.00	371.40	26.78
6125	6125-10/Of	kautex100weit	23.44	36.696.00	36.894.00	86.400.00	412.00	55.28
6125	6125-10/Cs1	kautex100weit	93.87	36.696.00	36.907.00	86.400.00	596.70	48.86
6125	6125-11/Buchenjungwuchs	kautex100weit	13.15	36.696.00	37.326.00	86.400.00	592.50	13.14
6125	6125-11/Gras	kautex 50weit	4.22	36.696.00	37.315.00	21.600.00	1.543.00	14.53
6125	6125-11/Farn	kautex 50weit	8.28	36.696.00	37.286.00	86.400.00	1.414.00	1.54
6125	6125-11/Heinbuchenjungwuchs	kautex100weit	9.37	36.696.00	37.272.00	86.400.00	598.40	4.66
6125	6125-11/L	kautex100weit	9.48	36.696.00	36.892.00	86.400.00	505.90	8.56
6125	6125-11/Cs1	kautex100weit	110.40	36.696.00	36.919.00	86.400.00	644.90	45.29
6125	6125-12/L	kautex100weit	9.57	36.696.00	36.920.00	86.400.00	505.50	8.90
6125	6125-12/Cs1	kautex100weit	105.70	36.696.00	36.921.00	86.400.00	617.40	39.79
6125	6125-13/L	kautex 50weit	8.97	36.696.00	36.918.00	86.400.00	331.80	1.57
6125	6125-13/Cs1	kautex100weit	113.80	36.696.00	36.915.00	86.400.00	685.30	14.09
6125	6125-14/Springkraut	kautex 20weit	4.28	36.696.00	37.271.00	86.400.00	1.761.00	152.50
6125	6125-14/Gras	kautex 50weit	8.04	36.696.00	37.318.00	86.400.00	1.291.00	3.30
6125	6125-14/Buche	kautex100weit	17.45	36.696.00	37.319.00	86.400.00	594.20	1.48
6125	6125-14/Buchenjungwuchs	kautex100weit	18.47	36.696.00	37.265.00	86.400.00	479.50	2.79
6125	6125-14/L	kautex 50weit	5.83	36.696.00	36.911.00	86.400.00	416.10	9.28
6125	6125-14/Of	kautex100weit	24.74	36.696.00	36.924.00	86.400.00	189.50	47.40
6125	6125-14/Oh	kautex100weit	37.86	36.696.00	36.925.00	86.400.00	276.20	379.20
6125	6125-14/Cs1	kautex100weit	73.84	36.696.00	36.927.00	86.400.00	509.10	41.93
6125	6125-15/L	kautex 50weit	10.16	36.696.00	36.947.00	86.400.00	203.30	3.70
6125	6125-15/Of	kautex 50weit	14.44	36.696.00	36.945.00	86.400.00	216.40	56.64
6125	6125-15/Oh	kautex 50weit	19.54	36.696.00	36.943.00	86.400.00	363.70	328.20
6125	6125-15/Cs1	kautex100weit	75.09	36.696.00	36.939.00	86.400.00	477.20	63.97
6125	6125-16/L	kautex 50weit	9.65	36.696.00	36.949.00	86.400.00	233.00	0.26
6125	6125-16/Of	kautex 20weit	5.03	36.696.00	36.944.00	86.400.00	360.80	31.46
6125	6125-16/Cs1	kautex100weit	85.64	36.696.00	36.950.00	86.400.00	437.90	110.00
6125	6125-17/Eichenjungwuchs	kautex 50weit	12.90	36.696.00	37.266.00	86.400.00	421.40	6.79
6125	6125-17/L	kautex100weit	24.49	36.696.00	36.933.00	86.400.00	175.10	0.74
6125	6125-17/Moospolster	kautex100weit	12.44	36.696.00	36.928.00	86.400.00	325.70	38.20
6125	6125-17/Of	kautex100weit	34.11	36.696.00	36.931.00	86.400.00	504.60	292.00
6125	6125-17/Cs1	kautex100weit	90.33	36.696.00	36.930.00	86.400.00	535.50	54.22
6125	6125-18/L	kautex100weit	30.26	36.696.00	36.904.00	86.400.00	208.20	9.69
6125	6125-18/Of	kautex100weit	19.34	36.696.00	36.908.00	86.400.00	370.90	681.20
6125	6125-18/Cs1	kautex100weit	87.41	36.696.00	36.913.00	86.400.00	601.10	79.45
6125	6125-19/L	kautex100weit	26.29	36.696.00	36.987.00	86.400.00	157.80	2.25
6125	6125-19/Moospolster	kautex100weit	11.52	36.696.00	36.938.00	86.400.00	308.80	37.12
6125	6125-19/Of	kautex100weit	17.73	36.696.00	36.937.00	86.400.00	320.20	462.90
6125	6125-19/Cs1	kautex100weit	80.08	36.696.00	36.933.00	86.400.00	584.90	61.25

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

Bayerischer Wald

Probe	Geometrie	Probemenge (g)	Probeentnahme	Messung	Live-time (s)	K-40 Bq/kg	CS-137 Bq/kg
6845-Ea/Moos	kautex 100weit	18.460	20.06.00	08.01.02	7200	475.500	9011.000
6845-Ea/Farn	kautex100weit	13.610	20.06.00	08.01.02	7200	1066.000	5456.000
6845-Ea/Sauerkle	kautex 50weit	4.350	20.06.00	04.02.02	54000	1350.000	812.800
6845-Ea/Buche	kautex 50weit	4.460	20.06.00	05.02.02	86400	971.200	475.900
6845-Da/Moos	kautex100weit	15.930	20.06.00	19.12.01	10800		3683.000
6845-Da/Gras	kautex100weit	10.610	20.06.00	18.12.01	10800	1011.000	5467.000
6845-Da/Farn	kautex100weit	17.910	20.06.00	17.12.01	21600	825.500	23980.000
6845-Da/Buche	kautex 50weit	6.680	20.06.00	19.12.01	54000	535.90	641.300

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

Donau-Isar-Hügelland

TK	Probe	Geometrie	Probemenge (g)	Probeentnahme	Messung	Live-time (s)	K-40 Bq/kg	CS-137 Bq/kg
7039	7039-7b/L > 1.6	kautex 20weit	3.873	05.06.00	16.11.01	86400	407.600	51.480
7039	7039-7b/Of2-2.4	kautex20weit	0.050	05.06.00	14.08.02	86400		458.000
7039	7039-7B/Of<1.6	kautex20weit	3.770	05.06.00	13.08.02	57600		353.700
7039	7039-100/Gras	kautex 20weit	3.380	21.06.00	24.01.02	86400	1347.000	31.060
7039	7039-100/Farn	kautex 50weit	7.180	21.06.00	28.01.02	86400	1113.000	116.500
7039	7039-100/Buche	kautex100weit	13.430	19.06.00	17.01.02	86400	553.200	12.660
7039	7039-100/Moos auf Bäumen	kautex 50weit	6.670	21.06.00	29.01.02	86400	535.300	252.100
7039	7039-100/CsL	kautex 50weit	6.260	21.06.00	02.03.01	86400	346.30	252.300
7039	7039-100/CsOf	kautex 50weit	9.000	21.06.00	05.03.01	86400	437.60	288.000
7039	7039-100/Cs1	kautex100weit	82.170	21.06.00	06.03.01	86400	520.60	503.500
7039	7039-101/CsL	kautex100weit	10.150	21.06.00	07.03.01	86400	338.00	32.660
7039	7039-101/CsOf	kautex 50weit	10.830	21.06.00	12.03.01	86400	315.50	193.300
7039	7039-101/Cs1	kautex100weit	93.650	21.06.00	07.03.01	54000	516.20	76.500
7039	7039-102/CsL	kautex 50weit	8.770	21.06.00	13.03.01	86400	297.40	19.000
7039	7039-102/CsOf	kautex100weit	20.130	21.06.00	13.03.01	86400	214.80	186.200
7039	7039-102/Cs1	kautex100weit	88.440	21.06.00	11.03.01	54000	490.00	239.800
7039	7039-103/Springkraut	kautex 50weit	12.550	19.06.00	21.01.02	86400	1298.00	5.278
7039	7039-103/Fichte	kautex 50weit	10.540	21.06.00	23.01.02	86400	584.60	91.740
7039	7039-103/CsL	kautex 50weit	13.030	21.06.00	14.03.01	86400	221.00	94.950
7039	7039-103/CsOf	kautex 50weit	12.040	21.06.00	17.03.01	86400	139.90	757.800
7039	7039-103/Cs1	kautex100weit	83.010	21.06.00	17.03.01	54000	519.50	252.400
7039	7039-104/CsL	kautex100weit	20.480	21.06.00	18.03.01	86400	130.10	225.700
7039	7039-104/CsOf	kautex 50weit	16.520	21.06.00	19.03.01	86400	281.90	1846.000
7039	7039-104/Cs1	kautex100weit	102.600	21.06.00	22.03.01	54000	535.30	18.510
7039	7039-105/CsL	kautex 50weit	17.210	21.06.00	20.03.01	86400	139.9	86.670
7039	7039-105/CsOf	kautex 50weit	12.490	21.06.00	23.03.01	28800	236.1	1070.000
7039	7039-105/Cs1	kautex100weit	93.140	21.06.00	23.03.01	54000	494.6	147.100

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

Bayrischzell

TK	Probe	Geometrie	Probemenge (g)	Probeentnahme	Messung	Live-time (s)	K-40 Bq/kg	CS-137 Bq/kg
8338	8338-10/Leberblum	kautex100weit	8.350	16.06.00	13.02.02	86400	1174.000	104.600
8338	8338-10/Moos	kautex100weit	8.720	16.02.00	26.02.02	57600	389.300	2437.000
8338	8338-10/Springkraut	kautex100weit	14.850	16.06.00	27.02.02	86400	888.800	24.900
8338	8338-11/L	kautex100weit	14.120	16.06.00	26.11.00	86400	7.941	92.840
8338	8338-12/L	kautex100weit	14.560	16.06.00	27.11.00	86400	33.230	154.100
8338	8338-12/Of	kautex100weit	18.220	16.06.00	28.11.00	25200	170.000	838.900
8338	8338-13/Fichtenjung	kautex 50weit	13.910	16.06.00	20.02.02	86400	285.800	349.400
8338	8338-13/Of	kautex 50weit	10.670	16.06.00	29.11.00	25200		1344.000
8338	8338-13/Of <1.6	kautex 20weit	3.876	22.05.00	31.10.01	86400		1161.000
8338	8338-13/Oh	kautex 50weit	16.320	16.06.00	03.12.00	25200	129.100	922.200
8338	8338-13Cs1	kautex 50weit	26.750	16.06.00	30.11.00	86400	160.600	652.900
8338	8338-13L	kautex 50weit	10.980	16.06.00	29.11.00	54000	85.590	233.800
8338	8338-13L <1.6	kautex 20weit	4.009	22.05.00	29.10.01	86400		134.400
8338	8338-13/Oh2-2.4	kautex20weit	0.030	16.06.00	01.10.02	86400		2255.000
8338	8338-13/Oh1.6-2	kautex20weit	0.950	16.06.02	20.09.02	86400		1706.000
8338	8338-13Oh <1.6	kautex 20weit	3.182	22.05.00	26.10.01	86400		614.600
8338	8338-14/Cs1	kautex100weit	65.340	16.06.00	06.12.00	25200	284.900	126.200
8338	8338-14/L	kautex100weit	17.470	16.06.00	03.12.00	54000	62.030	273.600
8338	8338-14/Of	kautex100weit	21.400	16.06.00	04.12.00	25200	20.840	951.700
8338	8338-14/Oh	kautex 50weit	13.130	16.06.00	05.12.00	25200	60.130	670.300
8338	8338-15/Cs1	kautex100weit	98.270	16.06.00	10.12.00	25200	335.400	390.300
8338	8338-15/L	kautex 50weit	10.160	16.06.00	04.12.00	54000	13.020	216.700
8338	8338-15/Of	kautex 50weit	9.220	16.06.00	13.12.00	25200	229.500	1993.000
8338	8338-15/Oh	kautex 50weit	15.030	16.06.00	12.12.00	54000	262.400	2263.000
8338	8338-16/Cs1	kautex 50weit	44.190	16.06.00	12.12.00	25200	356.100	26.250
8338	8338-16/Gras	kautex 50weit	5.490	16.06.00	27.02.02	54000	969.800	1800.000
8338	8338-16/Heidelbeer	kautex100weit	13.730	16.06.00	22.02.02	54000	467.800	1109.000
8338	8338-16/L	kautex 50weit	11.270	16.06.00	05.12.00	54000	0.000	179.700
8338	8338-16/Moos auf f	kautex 50weit	7.270	16.06.00	04.02.02	21600	--	26.320
8338	8338-16/Moos auf f	kautex100weit	7.780	16.06.02	25.02.02	28800	500.300	1282.000
8338	8338-16/Of	kautex100weit	25.320	16.06.00	06.12.00	25200	140.500	1400.000
8338	8338-16/Oh	kautex 50weit	16.920	16.06.00	10.12.00	25200	108.800	411.500
8338	8338-17/Cs1	kautex 50weit	49.190	16.06.00	18.12.00	25200	385.800	231.300
8338	8338-17/L	kautex 50weit	12.490	16.06.00	11.12.00	86400	171.000	167.200
8338	8338-17/Of	kautex 50weit	11.910	16.06.00	17.12.00	25200	210.200	829.500
8338	8338-17/Oh	kautex 50weit	13.100	16.06.00	13.12.00	54000	251.800	1159.000
8338	8338-18/Cs1	kautex100weit	84.550	16.06.00	20.12.00	25200	366.100	140.800
8338	8338-18/L	kautex 50weit	11.880	16.06.00	14.12.00	86400	204.400	184.100
8338	8338-18/Of	kautex100weit	20.150	16.06.00	19.12.00	25200	155.500	2047.000
8338	8338-18/Oh	kautex 50weit	21.150	16.06.00	18.12.00	54000	241.600	1237.000
8338	8338-21/Cs1	kautex100weit	79.600	18.07.02	28.06.02	21600		226.3
8338	8338-21/Cs2	kautex50weit	50.130	18.07.02	28.06.02	86400		21.78
8338	8338-21/L	kautex100weit	8.400	18.07.02	26.06.02	25200		225.2
8338	8338-21/Of	kautex100weit	10.670	18.07.02	27.06.02	54000		770.1
8338	8338-21/Oh	kautex50weit	9.770	18.07.02	27.06.02	54000		1411
8338	8338-21/L	kautex50weit	5.630	18.07.01	20.08.02	54000		30.4
8338	8338-22/Of	kautex50weit	6.620	18.07.01	21.08.02	28800		787
8338	8338-22/Cs1	kautex20weit	20.800	18.07.01	05.09.02	86400		404.8
8338	8338-23/L	kautex50weit	6.630	18.07.02	03.09.02	86400		36.2
8338	8338-23/Of	kautex20weit	3.080	18.07.02	04.09.02	54000		485
8338	8338-23/Cs1	kautex20weit	18.960	18.07.02	06.09.02	86400		466
8338	8338-24/L	kautex50weit	7.200	18.07.01	28.08.02	54000		162.4
8338	8338-24/Of	kautex50weit	8.650	18.07.01	28.08.02	25200		948.3
8338	8338-24/Oh	kautex20weit	9.160	18.07.01	02.09.02	25200		2835
8338	8338-24/Cs1	kautex20weit	18.030	18.07.01	30.08.02	86400		208.4
8338	8338-24/Cs2	kautex20weit	21.170	18.07.01	09.09.02	86400		12.78
8338	8338-25/L	kautex20weit	3.740	18.07.01	29.08.02	57600		89.98
8338	8338-25/Of	kautex50weit	8.740	18.07.01	29.08.02	28800		772.5
8338	8338-25/Oh	kautex20weit	7.290	18.07.01	04.09.02	25200		2920
8338	8338-25/Cs1	kautex20weit	17.370	18.07.01	10.09.02	89400		250.5
8338	8338-25/Cs2	kautex20weit	25.930	18.07.01	11.09.02	86400		14.63
8338	8338-26/Of1	kautex100weit	16.830	27.07.01	01.10.01	86400		564.400
8338	8338-26/Of2	kautex100weit	17.320	27.07.01	02.10.01	86400		733.600
8338	8338-26/Oh10	kautex100weit	35.690	27.07.01	16.10.01	86400		20.840
8338	8338-26/Oh11	kautex100weit	40.160	27.07.01	18.10.01	86400		14.300
8338	8338-26/Oh12	kautex100weit	33.730	27.07.01	22.10.01	86400		13.860
8338	8338-26/Oh13	kautex100weit	35.150	27.07.01	23.10.01	86400		13.670
8338	8338-26/Oh14	kautex 50weit	22.790	27.07.01	25.10.01	86400		12.610
8338	8338-26/Oh3	kautex100weit	22.920	27.07.01	04.10.01	86400		216.100
8338	8338-26/Oh4	kautex100weit	31.950	27.07.01	05.10.01	86400		97.000

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

Garmisch-Partenkirchen

TK	Probe	Geometrie	Probemenge (g)	Probeentnahme	Messung	Live-time (s)	K-40 Bq/kg	CS-137 Bq/kg
8532	8532-1/Cs1	kautex 50weit	36.89	15.07.01	26.09.01	86400		267.80
8532	8532-1/Cs2	kautex100weit	99.32	15.07.01	17.09.01	54000		12.38
8532	8532-1/Cs3	kautex100weit	98.29	15.07.01	28.09.01	86400		16.03
8532	8532-1/L	kautex100weit	10.61	15.07.01	12.09.01	86400		146.00
8532	8532-1/Of	kautex100weit	12.76	15.07.01	12.09.01	54000		861.50
8532	8532-1/Oh	kautex100weit	19.14	15.07.01	13.09.01	86400		1263.00
8532	8532-10/Cs1	kautex20weit	11.68	14.06.02	02.07.02	54000	544.500	10.08
8532	8532-10/Of	kautex100weit	14.08	14.06.02	04.07.02	25200		1345.00
8532	8532-2/Cs1	kautex100weit	74.21	15.07.01	21.09.01	86400		379.90
8532	8532-2/L	kautex100weit	15.80	15.07.01	18.09.01	86400		152.90
8532	8532-2/Of	kautex100weit	21.52	15.07.01	19.09.01	86400		1006.00
8532	8532-2/Oh	kautex100weit	31.86	15.07.01	20.09.01	54000		1833.00
8532	8532-2/L2.2.4	kautex20weit	0.02	15.07.01	27.09.02	86400	942.000	468.20
8532	8532-2/L1.6-2	kautex20weit	0.02	15.07.01	26.09.02	86400		297.00
8532	8532-2/L<1.6	kautex20weit	4.06	15.07.01	26.08.02	86400		55.25
8532	8532-2/Of<1.6	kautex20weit	3.14	15.07.01	16.09.02	86400	210.800	808.80
8532	8532-2/Oh<1.6	kautex20weit	2.53	15.07.01	13.09.02	86400	124.000	1647.00
8532	8532-2/Oh1.6-2	kautex20weit	0.58	15.07.01	23.09.02	86400		1886.00
8532	8532-3/L	kautex 50weit	15.93	22.10.01	19.11.01	86400	132.000	121.90
8532	8532-3/Oh	kautex 50weit	31.51	22.10.01	22.11.01	86400	172.300	1653.00
8532	8532-4/L	kautex 50weit	15.78	22.10.01	26.11.01	57600	57.570	66.33
8532	8532-4/Oh	kautex 50weit	22.22	22.10.01	27.11.01	54000	69.670	992.40
8532	8532-5/Ah+Gra	kautex100weit	60.61	22.10.01	27.11.01	25200	533.500	1589.00
8532	8532-5/Cs1	kautex100weit	73.86	22.10.01	29.11.01	54000	725.800	51.96
8532	8532-5/Cs2	kautex100weit	72.68	22.10.01	29.11.01	86400	701.800	12.51
8532	8532-5/Cs3	kautex100weit	78.67	22.10.01	02.12.01	86400	739.900	4.48
8532	8532-5/Graswu	kautex100weit	35.80	22.10.01	23.11.01	25200	406.700	2184.00
8532	8532-6/L	kautex 50weit	20.45	22.10.01	03.12.01	86400	13.190	90.32
8532	8532-6/Oh1	kautex100weit	32.48	22.10.01	04.12.01	54000	84.960	463.00
8532	8532-6/Oh2	kautex100weit	20,980	22.10.01	05.12.01	57600	32,710	111,100
8532	8532-6/Oh3	kautex100weit	24,460	22.10.01	06.12.01	86400	11,660	43,230
8532	8532-6/Oh4	kautex100weit	26,620	22.10.01	09.12.01	86400	143,900	164,300
8532	8532-6/Oh5	kautex100weit	35,380	22.10.01	11.12.01	86400	29,320	18,080
8532	8532-6/Oh6	kautex100weit	35,890	22.10.01	13.12.01	86400	173,400	22,740
8532	8532-6/Oh7	kautex100weit	44,310	22.10.01	14.12.01	86400	212,600	34,350
8532	8532-6/Oh8	kautex100weit	44,01	22.10.01	16.12.01	86400	215,900	24,620
8532	8532-7/Farn	kautex20weit	1.70	14.06.02	08.07.02	25200		1368.00
8532	8532-7/Moos	kautex20weit	2.90	14.06.02	18.07.02	25200		282.50
8532	8532-7/Fichte a	kautex50weit	11.50	14.06.02	08.07.02	54000		22.98
8532	8532-7/Fichte n	kautex20weit	2.41	14.06.02	27.08.02	86400		466.80
8532	8532-7/L	kautex20weit	2.87	14.06.02	01.07.02	28800	321.000	286.00
8532	8532-7/Of	kautex50weit	7.69	14.06.02	01.07.02	54000	34.100	2747.00
8532	85327-/Oh1	kautex100weit	26.03	14.06.02	02.07.02	28800	176.100	448.20
8532	8532-7/Oh2	kautex100weit	25.73	14.06.02	03.07.02	25200		67.48
8532	8532-7/Oh3	kautex100weit	36.60	14.06.02	03.07.02	54000	157.900	46.17
8532	8532-7/Oh4	kautex100weit	48.45	14.06.02	04.07.02	72000		19.45
8532	8532-8/L	kautex100weit	15.20	14.06.02	05.07.02	86400		222.20
8532	8532-8/Of+Oh	kautex50weit	17.03	14.06.02	16.07.02	25200		1062.00
8532	8532-8/Cs1	kautex100weit	44.90	14.06.02	11.07.02	54000		703.60
8532	8532-8/Cs2	kautex100weit	20.40	14.06.02	15.07.02	25200		205.10
8532	8532-8/Cs3	kautex100weit	21.76	14.06.02	15.07.02	54000		88.28
8532	8532-9/Farn	kautex100weit	9.70	14.06.02	10.07.02	25200		2475.00
8532	8532-9/Buche	kautex100weit	7.37	14.06.02	10.07.02	54000		332.40
8532	8532-9/L	kautex100weit	9.01	14.06.02	12.07.02	86400		149.10
8532	8532-9/Of	kautex100weit	14.97	14.06.02	11.07.02	25200		1207.00
8532	8532-9/Oh1	kautex100weit	28.82	14.06.02	17.07.02	25200		725.40
8532	8532-9/Oh2	kautex100weit	34.91	14.06.02	17.07.02	54000		317.00
8532	8532-9/Cs1	kautex20weit	21.47	14.06.02	09.07.02	54000		135.50
8532	8532-9/Cs2	kautex50weit	50.02	14.06.02	09.07.02	25200		66.19
8532	8532-10/L	kautex100weit	14.60	14.06.02	18.07.02	54000		130.00
8532	8532-10/Of	kautex100weit	163.60	14.06.02	22.08.02	28800		1152.00
8532	8532-10/Oh1	kautex50weit	13.49	14.06.02	21.08.02	54000		785.80
8532	8532-10/Oh2	kautex50weit	17.18	14.06.02	22.08.02	28152		49.35
8532	8532-10/Oh3	kautex50weit	21.01	14.06.02	22.07.02	86400		20.50
8532	8532-10/Oh4	kautex50weit	20.46	14.06.02	23.07.02	86400		31.30
8532	8532-10/Cs1	kautex20weit	11.68	14.06.02	02.07.02	54000	544.200	10.82
8532	8532-10/Cs2	kautex20weit	25.92	14.06.02	26.08.02	86400		1.00
8532	8532-11/L	kautex50weit	7.02	14.06.02	26.07.02	57600		23.03
8532	8532-11/Of1	kautex100weit	19.36	14.06.02	25.07.02	46800		490.00
8532	8532-11/Of2	kautex100weit	10.16	14.06.02	31.07.02	57600		635.00
8532	8532-11/Oh	kautex50weit	15.32	14.06.02	27.07.02	57600		937.00
8532	8532-11/Cs1	kautex100weit	55.78	14.06.02	01.08.02	86400		164.00

Bodenanalytik

Würzburg

Profil 6125-1

Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Skelett Gew. %	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ %	Munsell Farbe	C %	org.S %
L	L	n.b.	4.85				0.0
O	O		4.45			54.1	93.0
Cs1	AhC	50.0	7.36	-	10 YR 2/3	11.2	19.2

Profil 6125-2

Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Skelett Gew. %	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ %	Munsell Farbe	C %	org.S %
L	L		5.42				
Of	Of		5.72			38.8	66.8
1	Ah	1.0	4.94	-	10 YR 2/2	3.4	5.8
2	ICv	0.2	3.68	-	10 YR 4/4		
3	IICv	56.1	7.22	+	10 YR 5/6		

Profil 6125-3

Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Skelett Gew. %	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ %	Munsell Farbe	C %	org.S %
L	L		5.76				0.0
Of	Of		7.22			52.8	90.8
1	Ah	53.2	7.31	+	10 YR 2/2	19.6	33.7
2	AC	82.3	7.49	+	10 YR 3/2	9.4	16.2

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

Profil 6125-4 (Höhfeldplatte-Oberhang)

Bodenanalytische Standardwerte

Datum: 18.05.00

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %											Boden- art	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ %	Munsell Farbe	C %	org.S %	N %	C/N
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T										
				L	L	+2-1	n.b.															
Of	Of	1-0	n.b.												n.b.	5.85	-	n.b.	42.3	72.7	1.29	33
1	Ah	0-6	58.3	7.2	11.7	4.6	23.4	5.1	16.1	17.2	38.4	38.1			Lt3	7.41	7.40	10 YR 2/3	14.7	25.3	0.72	20
2	BvCv	6-27	88.9	7.2	9.3	3.5	20.0	6.3	20.8	16.3	43.5	36.6			Lt3	7.48	23.25	10 YR 3/3	12.3	21.1	0.71	17

Profil 6125-4

Datum: 06.06.00

Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	K		N a		M g		C a		A l		F e		M n		KAK (mmol)	Basen- sättigung
	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
L	1.72	4.47	0.34	0.87	5.34	13.85	30.86	80.08	0.02	0.06	0.01	0.02	0.25	0.65	38.54	99.27
Of	1.47	2.75	0.29	0.54	4.23	7.91	47.22	88.28	0.08	0.15	0.02	0.04	0.18	0.33	53.49	99.48
1	1.13	2.91	0.06	0.15	1.34	3.46	36.23	93.47	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	38.76	99.99
2	0.54	1.55	0.07	0.20	0.93	2.66	33.38	95.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	34.93	100.00

Profil 6125-5 (Edelmannswald)

Bodenanalytische Standardwerte

Datum: 18.05.00

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %											Boden- art	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ %	Munsell Farbe	C %	org.S %	N %	C/N
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T										
				L	L	+3-1	n.b.															
Of	Of	1-0	n.b.												n.b.	5.41	-	n.b.	49.7	85.5	1.55	32
1	Ah	0-1	0.9	3.1	3.4	6.6	13.1	30.6	24.0	12.2	66.8	20.1			Ut4	5.60	-	10 YR 3/3	10.1	17.4	0.39	26
2	Al	1-18	62.0	0.2	1.7	4.3	6.2	29.1	25.0	10.6	64.8	29.0			Lu	4.33	-	7.5 YR 4/4	8.8	15.2	0.10	88
3	Bt	18-48	25.1	0.1	1.5	3.2	4.8	24.6	18.0	6.8	49.4	45.8			Tu2	6.30	-	7.5 YR 4/6	10.8	18.5	0.03	358

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

Profil 6125-5

Datum: 07.06.00

Effektive Kationenaustauschkapazität

Probe	K		N a		M g		C a		A l		F e		M n		KAK (mmol)	Basen- sättigung
	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%	mmol	%		
L	3.82	8.40	0.38	0.83	8.65	19.01	30.67	67.40	0.04	0.09	0.03	0.06	1.91	4.20	45.50	95.65
Of	2.40	4.02	0.32	0.53	8.74	14.68	46.99	78.91	0.02	0.03	0.03	0.05	1.05	1.77	59.54	98.15
1.00	0.83	4.97	0.08	0.45	1.84	10.96	13.85	82.65	0.00	0.00	0.01	0.05	0.15	0.91	16.76	99.04
2.00	0.25	2.66	0.05	0.57	0.66	7.11	7.51	80.45	0.72	7.72	0.01	0.13	0.13	1.37	9.33	90.78
3.00	0.51	2.84	0.08	0.46	1.17	6.52	16.15	90.15	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	17.91	99.96

Profil 5937-6

Bodenanalytische Standardwerte

Datum: 13.04.00

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %										Boden- art	pH (CaCl2)	CaCO3 %	Munsell Farbe	C %	org.S %	N %	C/N
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T									
				1	II Gr	115-140	57.0	27.2	16.4	7.8	51.4	10.7	16.7								
2	III Gr	140-163	53.0	22.1	11.8	5.8	39.7	12.6	20.3	9.2	42.1	18.2	Ls2	3.54	-	2.5Y 6/2	1.1	1.8	-	-	
3	IV Gr	163-184	47.0	33.1	18.3	9.0	60.3	10.5	12.4	5.1	28.0	11.7	Sl8	3.62	-	2.5Y 6/2	0.6	1.0	-	-	
4	V Gr	184-200	50.0	32.9	17.1	8.9	58.8	14.4	12.6	4.4	31.4	9.8	Sl8	3.59	-	2.5Y 6/2	0.4	0.6	-	-	

Profil 6125-7

Bodenanalytische Standardwerte

Datum: 23.05.00

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %										Boden- art	pH (CaCl2)	CaCO3 %	Munsell Farbe	C %	org.S %	N %	C/N
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T									
				1	GWF		n.b.														
2	Of	+6-1	n.b.											3.64	-	n.b.	53.5	92.1	1.66	32	
3	Of(2)	1-0	n.b.											4.35	-	n.b.	47.0	80.9	1.43	33	
4	1	0-1(2)	19.7											7.03	-	2.5Y 3/1	15.9	27.3	0.61	26	

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

Profil 6125-7

Datum: 13.06.00

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	%		
GWf			9.67	31.88	0.39	1.29	6.54	21.57	13.42	44.24	0.06	0.19	0.00	0.00	0.25	0.83	30.33	98.98
Of			0.54	1.62	0.37	1.11	3.87	11.51	28.54	84.88	0.15	0.46	0.02	0.06	0.12	0.35	33.62	99.13
Of (2)			0.66	1.23	0.14	0.27	4.08	7.64	48.44	90.86	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	53.32	100.00
1.00			0.73	1.09	0.04	0.06	2.83	4.24	62.88	94.42	0.12	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	66.59	99.82

Profil 6125-8

Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ %	Munsell Farbe	C %	org.S %	N %	C/N
1	L	4.41	-		46.9	93.8	1.01	46
2	Of	4.02	-		33.3	66.6	1.33	25
3	Cs1	3.36	-	10 YR 3/2	6.7	11.5	0.30	22
4	Cs2	3.68	-	10 YR 3/3	3.6	6.2	0.17	21

Profil 6125-8

Datum: 12.07.00

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	%		
L			2.00	7.66	0.19	0.73	3.38	12.94	18.46	70.60	0.07	0.26	0.00	0.00	2.04	7.81	26.15	91.93
Of			0.70	2.89	0.10	0.43	2.18	9.05	18.67	77.45	1.28	5.33	0.03	0.11	1.14	4.74	24.10	89.82
Cs1			0.30	3.30	0.08	0.91	0.86	9.61	3.58	39.97	3.89	43.39	0.05	0.53	0.21	2.30	8.96	53.79
Cs2			0.18	2.28	0.03	0.33	1.29	16.04	4.01	49.89	2.33	29.02	0.01	0.09	0.19	2.34	8.03	68.55

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

Profil 6125-9

Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ %	Munsell Farbe	C %	org.S %	N %	C/N
1	L	4.11			47.2	94.4	0.81	58
2	Of	4.05			37.3	74.6	1.20	31
3	Cs1	3.21	-	7.5 YR 4/3	5.6	9.5	0.25	22
4	Cs2	3.59	-	7.5 YR 4/4	2.8	4.8	0.13	22

Profil 6125-9

Datum: 12.07.00

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	%		
L			2.44	13.17	0.14	0.74	2.99	16.15	11.63	62.81	0.00	0.02	0.01	0.06	1.31	7.05	18.52	92.87
Of			0.92	3.42	0.15	0.56	2.49	9.26	22.04	82.10	0.10	0.38	0.01	0.05	1.13	4.23	26.85	95.34
Cs1			0.19	2.42	0.03	0.34	0.71	9.05	2.11	26.96	4.67	59.78	0.06	0.75	0.06	0.71	7.81	38.76
Cs2			0.14	2.07	0.04	0.58	1.16	17.06	2.98	43.85	2.37	34.83	0.01	0.13	0.10	1.48	6.80	63.57

Profil 6125-10

Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ %	Munsell Farbe	C %	org.S %	N %	C/N
1	L	4.41			43.3	86.6	0.75	58
2	Of	4.87			24.5	49.0	0.97	25
3	Cs1	4.14	-	10 YR 3/3	5.1	8.8	0.25	20
4	Cs2	4.07	-	10 YR 4/4	2.7	4.6	0.14	19

Profil 6125-10

Datum: 12.07.00

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	%		
L			1.32	6.20	0.05	0.26	3.40	15.93	15.30	71.79	0.06	0.27	0.01	0.04	1.17	5.51	21.31	94.18
Of			0.74	2.78	0.06	0.23	3.30	12.45	21.82	82.27	0.00	0.00	0.00	0.01	0.60	2.27	26.52	97.72
Cs1			0.26	2.56	0.03	0.30	1.58	15.74	7.54	75.10	0.40	4.00	0.00	0.01	0.23	2.29	10.04	93.70
Cs2			0.18	2.18	0.04	0.46	1.45	18.00	5.57	69.30	0.68	8.44	0.00	0.01	0.13	1.61	8.04	89.94

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

Profil 6125-11

Bodenanalytische Standardwerte

Datum: 13.07.00

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %											Boden- art	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ %	Munsell Farbe	C %	org.S %	N %	C/N				
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T														
				1	L																					
2	Cs1		65.2												4.29	-	7.5 YR 4/3	43.6	87.2	1.09	40					
3	Cs2		78.1												4.63	-	10 YR 5/3	6.2	10.7	0.34	18					
																		4.4	7.6	0.25	18					

Profil 6125-11

Datum: 12.07.00

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	%		
L			3.80	9.28	0.19	0.47	8.51	20.77	27.17	66.32	0.00	0.00	0.02	0.04	1.28	3.12	40.97	96.84
Cs1			0.56	4.59	0.05	0.38	1.45	11.76	9.88	80.37	0.06	0.45	0.00	0.03	0.30	2.42	12.30	97.10
Cs2			0.39	3.30	0.05	0.45	1.19	10.13	9.96	84.92	0.00	0.00	0.01	0.06	0.13	1.15	11.73	98.79

Profil 6125-12

Bodenanalytische Standardwerte

Datum: 13.07.00

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %											Boden- art	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ %	Munsell Farbe	C %	org.S %	N %	C/N				
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T														
				1	L																					
2	Cs1		9.9												3.78	-	7.5 YR 4/3	44.7	89.4	1.42	31					
3	Cs2		26.8												3.51	-	7.5 YR 4/4	5.3	9.1	0.27	20					
																		2.1	3.6	0.13	16					

Profil 6125-12

Datum: 12.07.00

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	%		
L			4.78	9.86	0.17	0.35	10.68	22.01	31.78	65.50	0.00	0.00	0.01	0.02	1.10	2.26	48.52	97.72
Cs1			0.42	4.98	0.06	0.75	0.84	9.85	5.31	62.36	1.64	19.20	0.01	0.11	0.23	2.74	8.52	77.95
Cs2			0.22	3.07	0.04	0.49	0.44	6.18	2.39	33.53	3.94	55.34	0.00	0.03	0.10	1.36	7.13	43.27

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

Profil 6125-15

Bodenanalytische Standardwerte

Datum: 13.07.00

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %											Boden- art	pH (CaCl2)	CaCO3 %	Munsell Farbe	C %	org.S %	N %	C/N
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T										
1	L														5.52			47.4	94.8	1.07	44	
2	Of														5.84			44.2	88.4	1.18	38	
3	Oh														6.63			33.7	67.4	1.41	24	
4	Cs1		65.5												6.78	38.70	10 YR 2/2	15.6	26.7	0.60	26	

Profil 6125-15

Datum: 12.07.00

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	%		
L			2.04	5.61	0.07	0.19	7.52	20.73	26.62	73.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.08	36.27	99.92
Of			1.79	2.66	0.29	0.43	6.64	9.84	58.66	86.97	0.01	0.02	0.00	0.00	0.05	0.08	67.45	99.90
Oh			0.70	1.05	0.11	0.16	3.25	4.86	62.86	93.88	0.04	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	66.96	99.94
Cs1			0.46	1.26	0.05	0.15	1.36	3.75	34.50	94.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	36.38	100.00

Profil 6125-16

Bodenanalytische Standardwerte

Datum: 13.07.00

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %											Boden- art	pH (CaCl2)	CaCO3 %	Munsell Farbe	C %	org.S %	N %	C/N
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T										
1	L														5.54			47.2	94.4	1.14	41	
2	Of														6.26			45.3	90.6	1.30	35	
3	Cs1		66.9												6.83	41.92	10 YR 2/1	21.4	36.8	0.61	35	
4	Cs2		79.6												6.95	46.52	10 YR 2/2	7.6	13.1	0.39	19	

Profil 6125-16

Datum: 12.07.00

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	%		
L			1.52	3.94	0.19	0.49	6.53	16.91	30.31	78.51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.15	38.61	99.85
Of			1.74	2.77	0.16	0.25	5.79	9.21	55.16	87.69	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.08	62.90	99.92
Cs1			0.50	1.27	0.04	0.09	1.23	3.11	37.77	95.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	39.53	100.00
Cs2			0.40	1.34	0.03	0.12	0.76	2.57	28.52	95.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	29.71	100.00

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

Profil 6125-17

Bodenanalytische Standardwerte

Datum: 13.07.00

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %										Boden-art	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ %	Munsell Farbe	C %	org.S %	N %	C/N
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T									
1	L													4.40			49.3	98.6	0.75	66	
2	Moospolster													4.15			47.9	95.8	1.35	35	
3	Of													5.30			31.2	62.4	1.06	29	
4	Cs1		71.7											6.82	37.87	2.5 YR 3/1	10.2	17.5	0.46	22	
5	Cs2		64.8											7.08	52.96	10 YR 2/2	5.4	9.3	0.26	21	

Profil 6125-17

Datum: 12.07.00

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	%		
Moospolst	L		2.46	14.32	0.14	0.82	8.33	48.50	6.22	36.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.17	17.18	99.83
			3.52	13.08	0.22	0.80	5.26	19.52	17.68	65.62	0.20	0.76	0.00	0.00	0.06	0.23	26.94	99.01
	Of		0.72	1.30	0.12	0.22	4.36	7.82	50.51	90.57	0.00	0.00	0.03	0.05	0.02	0.04	55.77	99.91
	Cs1		0.62	1.86	0.05	0.15	2.20	6.53	30.71	91.40	0.01	0.03	0.00	0.00	0.01	0.02	33.60	99.94
	Cs2		0.52	2.00	0.07	0.25	1.71	6.54	23.75	90.96	0.06	0.23	0.00	0.00	0.00	0.01	26.11	99.76

Profil 6125-18

Bodenanalytische Standardwerte

Datum: 13.07.00

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %										Boden-art	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ %	Munsell Farbe	C %	org.S %	N %	C/N
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T									
1	L													4.20			48.5	97.0	0.65	75	
2	Of													4.71				0.0	1.35	0	
3	Cs1		73.0											6.82	27.65	2.5 YR 3/1	16.6	28.6	0.47	35	

Profil 6125-18

Datum: 18.07.00

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	%		
L			2.68	17.21	0.14	0.90	6.86	44.06	5.82	37.39	0.00	0.00	0.01	0.04	0.06	0.39	15.56	99.57
Of			0.87	2.05	0.21	0.49	4.02	9.42	37.42	87.63	0.11	0.26	0.00	0.00	0.06	0.15	42.70	99.59
Cs1			0.64	1.70	0.05	0.15	2.52	6.75	34.09	91.31	0.02	0.07	0.00	0.00	0.01	0.03	37.33	99.91

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

Donau-Isar-Hügelland

Profil 7039-100

Bodenanalytische Standardwerte

Probe	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ %	Munsell Farbe	C %	org.S %	N %	C/N
CsL	5.98			46.6	93.2	1.22	38
CsOf	5.93			38.7	77.4	1.19	33
Cs1	5.11	-	10 YR 3/2	7.8	13.3	0.32	24
Cs2	5.07	-	10 YR 3/2	4.9	8.4	0.26	19
Cs3	4.98	-	10 YR 2/3	4.0	6.9	0.20	20

Profil 7039-100

Datum: 19.07.00

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	%		
CsL			2.89	7.13	0.26	0.64	9.09	22.40	26.57	65.49	0.14	0.35	0.01	0.01	1.61	3.98	40.58	95.65
CsOf			2.10	4.76	0.68	1.54	9.39	21.34	30.38	69.02	0.10	0.22	0.00	0.00	1.37	3.11	44.02	96.66
Cs1			0.30	2.45	0.04	0.29	2.14	17.42	9.40	76.40	0.08	0.68	0.00	0.00	0.34	2.77	12.30	96.55
Cs2			0.23	2.03	0.04	0.37	2.02	17.87	8.52	75.38	0.08	0.70	0.19	1.68	0.22	1.95	11.30	95.66
Cs3			0.19	1.90	0.06	0.58	1.76	17.60	7.64	76.29	0.16	1.64	0.00	0.00	0.20	1.99	10.02	96.36

Profil 7039-101

Bodenanalytische Standardwerte

Probe	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ %	Munsell Farbe	C %	org.S %	N %	C/N
CsL	6.04			47.3	94.4	1.18	40
CsOf	6.13			43.0	87.0	1.32	33
Cs1	3.53	-	10 YR 3/4	4.2	7.2	0.20	21
Cs2	3.50	-	10 YR 5/4	1.6	2.8	0.07	23
Cs3	3.57	-	10 YR 4/4	1.0	1.7	0.05	20

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

Profil 7039-101

Datum: 19.07.00

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	%		
CsL			3.43	8.52	0.45	1.12	10.13	25.20	24.20	60.18	0.03	0.09	0.00	0.00	1.97	4.89	40.21	95.02
CsOf			2.19	5.92	0.28	0.77	9.00	24.32	23.96	64.76	0.18	0.48	0.00	0.00	1.39	3.76	37.01	95.76
Cs1			0.27	3.79	0.03	0.47	0.28	3.94	0.54	7.56	5.88	81.68	0.15	2.08	0.03	0.47	7.20	15.77
Cs2			0.13	1.81	0.05	0.68	0.03	0.40	0.22	3.22	6.39	92.47	0.08	1.15	0.02	0.26	6.91	6.11
Cs3			0.10	1.62	0.04	0.73	0.01	0.12	0.16	2.67	5.72	93.95	0.02	0.28	0.04	0.65	6.09	5.13

Profil 7039-102

Bodenanalytische Standardwerte

Probe	pH (CaCl2)	CaCO3 %	Munsell Farbe	C %	org.S %	N %	C/N
CsL	6.29			45.7	91.3	1.15	40
CsOf	6.27			43.7	87.4	1.34	33
Cs1	3.68	-	7.5 YR 4/4	5.3	9.1	0.28	19
Cs2	3.43	-	7.5 YR 4/4	2.3	4.0	0.11	21
Cs3	3.43	-	10 YR 4/4	2.5	4.3	0.10	25

Profil 7039-102

Datum: 19.07.00

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	%		
CsL			2.74	6.32	0.17	0.40	9.43	21.71	29.53	68.01	0.00	0.00	0.03	0.06	1.52	3.49	43.42	96.44
CsOf			2.53	5.36	0.20	0.42	9.95	21.05	33.24	70.33	0.01	0.02	0.00	0.00	1.33	2.82	47.26	97.15
Cs1			0.20	2.39	0.03	0.36	0.97	11.63	3.57	42.86	3.39	40.76	0.03	0.32	0.14	1.67	8.33	57.24
Cs2			0.10	1.46	0.03	0.47	0.29	4.02	0.75	10.49	5.86	82.37	0.07	0.94	0.02	0.25	7.11	16.44
Cs3			0.10	1.32	0.03	0.34	0.14	1.90	0.51	6.97	6.45	87.54	0.11	1.54	0.03	0.39	7.37	10.53

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

Profil 7039-103

Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ %	Munsell Farbe	C %	org.S %	N %	C/N
2	CsOf	5.23			39.4	78.8	1.46	27
3	Cs1	3.23	-	7.5 YR 4/3	5.4	9.3	0.30	18
4	Cs2	3.30	-	7.5 YR 4/4	1.9	3.3	0.10	19
5	Cs3	3.43	-	7.5 YR 5/4	1.5	2.6	0.08	19

Profil 7039-103

Datum: 19.07.00

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	%		
CsL			4.16	16.86	0.24	0.97	5.05	20.47	10.68	43.26	0.14	0.57	0.01	0.03	4.41	17.85	24.69	81.55
CsOf			1.17	5.31	0.15	0.66	2.35	10.63	14.62	66.07	0.24	1.07	0.01	0.04	3.59	16.21	22.12	82.67
Cs1			0.12	1.54	0.04	0.51	0.43	5.61	1.27	16.54	5.45	71.03	0.22	2.90	0.14	1.87	7.67	24.20
Cs2			0.06	0.84	0.04	0.61	0.12	1.78	0.21	3.16	6.13	92.04	0.08	1.19	0.03	0.39	6.66	6.39
Cs3			0.09	1.35	0.04	0.68	0.10	1.61	0.14	2.12	5.95	92.97	0.03	0.42	0.06	0.86	6.40	5.76

Profil 7039-104

Bodenanalytische Standardwerte

Probe	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ %	Munsell Farbe	C %	org.S %	N %	C/N
CsOf	5.01			32.6	65.2	1.43	23
Cs1	3.27	-	7.5 YR 4/3	2.6	4.5	0.13	20
Cs2	3.43	-	10 YR 5/3	1.8	3.1	0.08	23
Cs3	3.52	-	10 YR 5/4	1.1	1.9	0.05	22

Profil 7039-104

Datum: 19.07.00

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	%		
CsL			1.89	8.33	0.21	0.93	3.33	14.68	13.67	60.25	0.25	1.12	0.00	0.00	3.33	14.69	22.70	84.18
CsOf			0.94	4.87	0.14	0.75	2.66	13.84	12.09	62.86	0.50	2.60	0.03	0.17	2.87	14.91	19.24	82.32
Cs1			0.13	1.70	0.06	0.73	0.13	1.60	0.18	2.24	7.13	91.07	0.18	2.28	0.03	0.38	7.82	6.28
Cs2			0.09	1.29	0.03	0.45	0.08	1.18	0.07	1.09	6.37	92.70	0.21	3.09	0.01	0.20	6.87	4.01
Cs3			0.08	1.28	0.04	0.71	0.05	0.78	0.07	1.13	5.71	95.43	0.02	0.34	0.02	0.32	5.99	3.91

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

Profil 7039-105

Bodenanalytische Standardwerte

Probe	pH (CaCl ₂)	CaCO ₃ %	Munsell Farbe	C %	org.S %	N %	C/N
CsL	5.59			48.3	96.5	0.73	66
CsOf	4.81			36.7	73.2	1.54	24
Cs1	3.15	-	10 YR 2/2	5.5	9.5	0.25	22
Cs2	3.36	-	10 YR 4/4	1.8	3.1	0.08	23
Cs3	3.49	-	10 YR 5/4	1.4	2.4	0.07	20

Profil 7039-105

Datum: 19.07.00

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	%		
CsL			2.50	15.08	0.30	1.81	2.78	16.80	8.22	49.71	0.14	0.87	0.03	0.17	2.58	15.57	16.54	83.39
CsOf			1.00	6.23	0.18	1.12	1.82	11.37	9.72	60.66	0.46	2.89	0.03	0.16	2.82	17.57	16.02	79.38
Cs1			0.17	2.34	0.05	0.67	0.25	3.27	0.70	9.40	5.88	78.46	0.38	5.09	0.06	0.77	7.49	15.68
Cs2			0.08	1.21	0.06	0.87	0.07	1.10	0.20	3.08	5.86	89.94	0.23	3.57	0.01	0.23	6.52	6.26
Cs3			0.11	1.91	0.09	1.58	0.06	0.99	0.18	3.13	5.19	90.97	0.05	0.89	0.03	0.53	5.70	7.61

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

Bayerischer Wald

6845-Da	Horizont/Tiefenstufe	Mächtigkeit [cm] Anmerkungen	Bodenanalytische Standardkenngrößen					¹³⁷ Cs
			pH-Wert	C [%]	org. Substanz [%]	N [%]	C/N	[Bq/kg]
	L	1,5	4,57	47,7	95,5	1,11	43	465
	Of	1.5	3.74	39.6	79.3	1.65	24	2917
	Oh	2	3.66	30.2	60.4	1.4	22	4702
	0-5 cm	A(e)h 0-3 cm	2.91	11.5	19.8	0.61	19	1849
	5-10 cm	Bv 3-15+ cm	3.24	5.7	9.8	0.25	23	325
	10-15 cm		3.42	4.2	7.2	0.19	22	

Horizont/Tiefenstufe	effektive Kationenaustauschkapazität														BS [%]	
	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn			Summe
	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]		[mmol]
L	1.14	10.4	0.19	1.7	1.23	11.3	6.68	61	0.18	1.64	0	0	1.53	14	10.95	84.36
Of	0.89	7.8	0.16	1.42	1.21	10.7	5.27	46.4	2.43	21.4	0.37	3.26	1.02	9.01	11.35	66.3
Oh	0.6	5	0.15	1.26	0.83	6.97	1.41	11.8	7.83	65.5	0.9	7.5	0.23	1.92	11.95	25.03
0-5 cm	0.21	1.78	0.05	0.45	0.29	2.44	0.42	3.52	9.8	82.7	1	8.41	0.08	0.7	11.85	8.2
5-10 cm	0.14	1.53	0.05	0.48	0.15	1.57	0.09	0.98	8.52	90.6	0.13	1.39	0.32	3.46	9.4	4.56
10-15 cm	0.11	1.49	0.05	0.59	0.12	1.5	0.06	0.74	7.08	91.8	0.06	0.75	0.24	3.14	7.71	4.32

6845-Db	Horizont/Tiefenstufe	Mächtigkeit [cm] Anmerkungen	Bodenanalytische Standardkenngrößen					¹³⁷ Cs
			pH-Wert	C [%]	org. Substanz [%]	N [%]	C/N	[Bq/kg]
	L	1,5	4,96	48,5	97,0	1,25	39	609
	Of	5.5	3.4	37.3	74.6	1.64	23	4750
	Oh	1	3.63	28.2	56.3	1.33	21	1246
	0-5 cm	A(e)h 0-2,5 cm	2.98	9.2	15.8	0.43	21	188
	5-10 cm	Bv 2,5-15+ cm	3.39	5.6	9.6	0.2	28	
	10-15 cm		3.7	4.8	8.3	0.19	25	

Horizont/Tiefenstufe	effektive Kationenaustauschkapazität														BS [%]	
	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn			Summe
	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]		[mmol]
L	0.96	11.8	0.15	1.89	1.06	13.1	3.98	49.3	0.84	10.5	0.12	1.46	0.97	12	8.08	76.09
Of	0.61	5.68	0.15	1.44	0.95	8.8	2.22	20.7	5.69	53	0.72	6.68	0.4	3.74	10.75	36.59
Oh	0.53	4.07	0.15	1.17	0.46	3.57	0.28	2.13	10.4	80.7	1.03	8.01	0.04	0.31	12.9	10.95
0-5 cm	0.13	1.15	0.07	0.65	0.13	1.21	0.04	0.4	9.95	89.8	0.74	6.69	0.01	0.13	11.08	3.41
5-10 cm	0.09	1.23	0.05	0.73	0.08	1.07	0.04	0.47	6.96	93	0.08	1.07	0.18	2.46	7.49	3.5
10-15 cm	0.11	1.79	0.09	1.42	0.07	1.2	0.05	0.83	5.61	92.3	0	0.06	0.14	2.38	6.07	5.24

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

6845-Dc	Horizont/Tiefenstufe	Mächtigkeit [cm] Anmerkungen	Bodenanalytische Standardkenngrößen					¹³⁷ Cs
			pH-Wert	C [%]	org. Substanz [%]	N [%]	C/N	[Bq/kg]
	L	1,5	4,45	48,7	97,5	1,19	41	497
	Of	2	3,39	46	92	1,54	30	3560
	Oh	1	3,63	27,7	55,6	1,24	22	2141
	0-5 cm	A(e)h 0-2,5 cm	3,04	10,7	18,4	0,46	23	671
	5-10 cm	Bv 2,5-15+ cm	3,47	6,1	10,5	0,31	20	302
	10-15 cm	n.b.	-	-	-	-	-	-

Horizont/Tiefenstufe	effektive Kationenaustauschkapazität														BS [%]	
	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn			Summe
	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]		[mmol]
L	1.06	12.7	0.39	4.59	0.97	11.6	4.23	50.5	0.54	6.44	0.01	0.13	1.17	14	8.38	79.41
Of	0.76	6.33	0.33	2.77	0.99	8.24	2.2	18.3	6.69	55.5	0.55	4.54	0.52	4.3	12.05	35.63
Oh	0.51	3.77	0.18	1.29	0.45	3.32	0.31	2.29	11	81.3	1.04	7.64	0.05	0.36	13.56	10.68
0-5 cm	0.16	1.6	0.09	0.87	0.18	1.85	0.07	0.69	8.7	88.7	0.52	5.27	0.1	1.01	9.8	5.01
5-10 cm	0.13	1.85	0.07	0.94	0.12	1.64	0.05	0.64	6.37	90.7	0.07	0.94	0.23	3.29	7.02	5.08
10-15 cm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

6845-Ea	Horizont/Tiefenstufe	Mächtigkeit [cm] Anmerkungen	Bodenanalytische Standardkenngrößen					¹³⁷ Cs
			pH-Wert	C [%]	org. Substanz [%]	N [%]	C/N	[Bq/kg]
	L	1,5	4,04	47,0	93,9	1,45	32	155
	Of	2	3,6	46,1	92,1	1,97	23	987
	0-5 cm	Ah 0-4 cm	3,19	9	15,5	0,47	19	1671
	5-10 cm	Bv 4-15+ cm	3,56	4,5	7,7	0,27	17	93
	10-15 cm		3,74	3,9	6,7	0,26	15	

Horizont/Tiefenstufe	effektive Kationenaustauschkapazität														BS [%]	
	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn			Summe
	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]		[mmol]
L	2.13	7.59	0.24	0.85	4.71	16.7	17.3	61.5	0	0	0	0	3.76	13.4	28.14	86.63
Of	1.56	6.35	0.16	0.66	3.4	13.8	14.1	57.3	0.45	1.85	0	0.02	4.93	20	24.62	78.1
0-5 cm	0.26	3.23	0.03	0.37	0.25	3.08	0.25	3.1	6.97	85.8	0.05	0.55	0.32	3.9	8.13	9.78
5-10 cm	0.11	1.9	0.03	0.47	0.12	2.14	0.11	1.86	5.31	91.6	0	0.01	0.12	2.04	5.8	6.37
10-15 cm	0.1	1.78	0.02	0.39	0.07	1.27	0.09	1.69	5.19	93.8	0	0	0.06	1.1	5.54	5.13

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

6845-Eb	Horizont/Tiefenstufe	Mächtigkeit [cm] Anmerkungen	Bodenanalytische Standardkenngrößen					¹³⁷ Cs
			pH-Wert	C [%]	org. Substanz [%]	N [%]	C/N	[Bq/kg]
	L	2	4,03	47,6	95,2	1,52	31	92
	Of	2	3,68	46,8	93,6	1,89	25	336
	Oh	1	3,11	36,4	72,7	2,06	18	4303
	0-5 cm	Ah 0-1 cm	3,03	8,1	13,9	0,49	17	1069
	5-10 cm	Bv 1-15+ cm	3,43	4,4	7,6	0,26	17	266
	10-15 cm		3,61	3,9	6,7	0,24	16	

Horizont/Tiefenstufe	effektive Kationenaustauschkapazität														BS [%]	
	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn			Summe
	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]		[mmol]
L	2.63	8.8	0.29	0.98	4.42	14.8	17.7	59.1	0	0	0	0	4.89	16.4	29.91	83.64
Of	1.7	6.55	0.29	1.13	3.22	12.4	15.7	60.4	0.05	0.19	0	0.01	5.03	19.4	26	80.44
Oh	0.88	5.1	0.12	0.69	1.76	10.2	7.97	46	5.03	29	0.26	1.52	1.31	7.54	17.34	61.91
0-5 cm	0.24	2.64	0.02	0.26	0.27	3.08	0.5	5.64	7.43	83.2	0.17	1.87	0.29	3.27	8.92	11.61
5-10 cm	0.15	2.12	0.02	0.32	0.14	2.01	0.19	2.71	6.37	89.5	0.01	0.2	0.22	3.14	7.11	7.15
10-15 cm	0.1	1.69	0	0.06	0.1	1.72	0.14	2.32	5.52	92	0	0.01	0.13	2.18	6	5.79

6845-Ec	Horizont/Tiefenstufe	Mächtigkeit [cm] Anmerkungen	Bodenanalytische Standardkenngrößen					¹³⁷ Cs
			pH-Wert	C [%]	org. Substanz [%]	N [%]	C/N	[Bq/kg]
	L	1,5	3,86	47,8	95,5	1,64	29	141
	Of	2,5	3,46	44	88	1,58	28	849
	0-5 cm	Ah 0-1,5 cm	3,23	6,9	11,9	0,39	18	1355
	5-10 cm	Bv 1,5-15+ cm	3,5	4,4	7,6	0,28	16	165
	10-15 cm		3,73	4,1	7,1	0,26	16	

Horizont/Tiefenstufe	effektive Kationenaustauschkapazität														BS [%]	
	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn			Summe
	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]		[mmol]
L	1.79	7.18	0.08	0.31	3.32	13.3	15.4	61.8	0.14	0.58	0	0	4.18	16.8	24.91	82.63
Of	1.16	5.33	0.18	0.81	2.63	12.1	13.6	62.5	0.59	2.69	0.01	0.05	3.6	16.5	21.78	80.73
0-5 cm	0.2	2.52	0.02	0.31	0.22	2.78	0.2	2.52	6.81	87.8	0.03	0.38	0.29	3.68	7.75	8.14
5-10 cm	0.1	1.47	0.03	0.45	0.11	1.59	0.1	1.5	6.12	92.5	0.02	0.36	0.14	2.18	6.62	5
10-15 cm	0.07	1.1	0.03	0.58	0.09	1.52	0.08	1.35	5.68	94.3	0	0	0.07	1.17	6.02	4.54

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

Bayrischzell

8338-8

Horizont/Tiefenstufe	Mächtigkeit [cm] Anmerkungen	Bodenanalytische Standardkenngrößen					¹³⁷ Cs
		pH-Wert	C [%]	org. Substanz [%]	N [%]	C/N	[Bq/kg]
L	2	5,12	47,8	95,6	1,30	37	107
Of	4	5,42	42,4	84,7	1,54	28	338
0-5 cm	Ah 0-5 cm	7,31	15,5	26,7	0,72	22	346
5-10 cm	Ah+Bv 5-10 cm	7,29	12	20,6	0,76	16	

Horizont/Tiefenstufe	effektive Kationenaustauschkapazität														BS	
	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn			Summe
	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]		[mmol]
L	0.7	2.39	0	0.01	9.31	31.7	19.4	65.9	0	0	0	0	0	0	29.4	100
Of	1.07	2.94	0	0	10.9	30.1	24.2	66.8	0	0	0	0	0.06	0.17	36.26	99.83
0-5 cm	0.2	0.51	0.01	0.03	11.1	42.3	22.9	57.2	0	0	0	0	0	0	39.99	100
5-10 cm	0.17	0.42	0	0	12.4	44	23.2	55.6	0	0	0	0	0	0	41.65	100

8338-9

Horizont/Tiefenstufe	Mächtigkeit [cm] Anmerkungen	Bodenanalytische Standardkenngrößen					¹³⁷ Cs
		pH-Wert	C [%]	org. Substanz [%]	N [%]	C/N	[Bq/kg]
L	2	5,20	47,7	95,4	1,17	41	170
Of	2	5,69	40,8	81,5	1,35	30	336
0-5 cm	Ah 0-5 cm	7,39	18,9	32,5	0,91	21	619
5-10 cm	Ah+Bv 5-10 cm	7,42	9,8	16,9	0,63	16	

Horizont/Tiefenstufe	effektive Kationenaustauschkapazität														BS	
	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn			Summe
	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]		[mmol]
L	0.66	2.32	0	0.01	9.06	31.9	18.7	65.8	0	0	0	0	0	0	28.41	100
Of	0.77	1.96	0	0	12.1	30.7	26.6	67.4	0	0	0	0	0.01	0.02	39.43	99.98
0-5 cm	0.3	0.67	0.01	0.03	13.9	41	25.9	58.3	0	0	0	0	0	0	44.48	100
5-10 cm	0.23	0.59	0	0	14.4	47.1	20.4	52.3	0	0	0	0	0	0	38.91	100

8338-11

Horizont/Tiefenstufe	Mächtigkeit [cm] Anmerkungen	Bodenanalytische Standardkenngrößen					¹³⁷ Cs
		pH-Wert	C [%]	org. Substanz [%]	N [%]	C/N	[Bq/kg]
L	3	5,33	47,5	95,0	1,32	36	92.480
Of	3	5,07	46,6	93,3	1,83	25	562
Oh	4	4,15	45,8	91,5	2,09	22	2175
0-5 cm	Ah(Bv) 0-10+ cm	6,98	10,5	18,1	0,72	15	96,4
5-10 cm		7,19	8,8	15,1	0,62	14	

Horizont/Tiefenstufe	effektive Kationenaustauschkapazität														BS	
	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn			Summe
	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]		[mmol]
L	1.19	4.05	0	0	6.03	20.6	22	75.2	0	0	0	0	0.06	0.21	29.32	99.79
Of	1.15	2.45	0	0	7.02	15	38.5	82.1	0	0	0	0	0.24	0.51	46.91	99.49
Oh	0.52	1.23	0	0	6.24	14.9	35.2	83.9	0	0	0	0	0.01	0.02	41.93	99.98
0-5 cm	0.34	0.75	0.01	0.02	10.8	23.5	34.7	75.7	0	0	0	0	0	0	45.75	100
5-10 cm	0.29	0.67	0	0	9.99	22.9	33.4	76.4	0	0	0	0	0	0	43.66	100

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

8338-12

Horizont/Tiefenstufe	Mächtigkeit [cm] Anmerkungen	Bodenanalytische Standardkenngrößen					¹³⁷ Cs
		pH-Wert	C [%]	org. Substanz [%]	N [%]	C/N	[Bq/kg]
L	1,5	5,54	47,6	95,1	1,38	34	154.100
Of	3.5	6.04	41.4	82.6	1.62	26	838.900
0-5 cm	Ah 0-5 cm	6.69	13.6	23.4	0.63	22	867

Horizont/Tiefenstufe	effektive Kationenaustauschkapazität														BS	
	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn			Summe
	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]		[mmol]
L	1.32	4.03	0	0	6.54	20	24.6	75.5	0	0	0	0	0.16	0.48	32.65	99.52
Of	0.9	1.57	0	0	11	19.2	45.2	79	0	0	0	0	0.14	0.25	57.21	99.75
0-5 cm	0.39	0.73	0	0	13.4	24.9	40.1	74.4	0	0	0	0	0	0	53.85	100

8338-13

Horizont/Tiefenstufe	Mächtigkeit [cm] Anmerkungen	Bodenanalytische Standardkenngrößen					¹³⁷ Cs
		pH-Wert	C [%]	org. Substanz [%]	N [%]	C/N	[Bq/kg]
L	1	4,14	48,1	96,2	1,26	38	233.800
Of	4	3.27	46.1	92.2	1.77	26	1344.000
Oh	3	3.6	38.1	76.2	1.68	23	922.200
Cs1	0-5 (Ah)	6.33	29	49.9	1.13	26	922.200
Cs2	5+ (Ah+xcCv)	6.76	14.3	24.6	0.83	17	

Horizont/Tiefenstufe	effektive Kationenaustauschkapazität														BS	
	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn			Summe
	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]		[mmol]
L	0.95	5.61	0	0	5.83	34.3	9.84	57.9	0	0	0	0	0.37	2.16	16.99	97.84
Of	0.72	3.48	0	0.01	6.12	29.4	13.9	66.7	0	0	0	0	0.08	0.41	20.79	99.59
Oh	0.44	1.13	0	0.01	13.4	34.3	25.1	64.2	0.12	0.31	0	0	0.04	0.11	39.04	99.58
Cs1	0.43	0.84	0.04	0.08	18.3	35.6	32.6	63.5	0	0	0	0	0	0	51.37	100
Cs2	0.19	0.47	0	0	12.8	32.4	26.6	67.2	0	0	0	0	0	0	39.64	100

8338-14

Horizont/Tiefenstufe	Mächtigkeit [cm] Anmerkungen	Bodenanalytische Standardkenngrößen					¹³⁷ Cs
		pH-Wert	C [%]	org. Substanz [%]	N [%]	C/N	[Bq/kg]
L	1,5	3,98	47,3	94,5	1,14	41	273.600
Of	6.5	3.02	46.9	93.9	1.74	27	951.700
Oh	0.5	2.73	42.4	84.8	1.53	28	670.300
0-5 cm	Aeh 0-3 cm	2.8	13.9	23.9	0.65	21	126.200
5-10 cm	ICv 3-10+ cm	2.99	4.2	7.2	0.23	18	

Horizont/Tiefenstufe	effektive Kationenaustauschkapazität														BS	
	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn			Summe
	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]		[mmol]
L	0.76	5.41	0	0	3.43	24.5	9.26	66.1	0	0	0	0	0.56	3.99	14.01	96.01
Of	0.7	4.01	0.02	0.11	3.44	19.7	12.9	73.8	0	0	0.38	2.2	0.03	0.14	17.48	97.65
Oh	0.55	2.75	0.18	0.88	4.94	24.8	12.9	64.8	1.21	6.06	0.14	0.71	0	0	19.95	93.23
0-5 cm	0.15	1.32	0.05	0.47	0.94	8.33	0.63	5.58	9	79.7	0.52	4.6	0	0	11.29	15.7
5-10 cm	0.04	0.3	0	0.02	0.18	1.4	0.44	3.41	11.8	91.3	0.46	3.54	0	0	12.9	5.13

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

8338-15	Horizont/Tiefenstufe	Mächtigkeit [cm] Anmerkungen	Bodenanalytische Standardkenngrößen				¹³⁷ Cs	
			pH-Wert	C [%]	org. Substanz [%]	N [%]	C/N	[Bq/kg]
	L	1,5	4,21	47,7	95,4	1,23	39	216.700
	Of	2	3.62	46.8	93.6	1.84	25	1993.000
	Oh	3	3.84	40.3	80.5	1.66	24	2263.000
	0-5 cm	Ah 0-5 cm	5.38	18	31	1.21	15	390.300

Horizont/Tiefenstufe	effektive Kationenaustauschkapazität														BS	
	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn			Summe
	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]		[mmol]
L	1	4.78	0	0	9.64	46.2	9.72	46.6	0	0	0	0	0.49	2.35	20.84	97.65
Of	0.83	3.02	0.03	0.13	7.81	28.5	18.5	67.3	0	0	0	0	0.28	1.02	27.4	98.98
Oh	0.6	1.49	0	0	12.2	30.1	27.7	68.2	0	0	0	0	0.07	0.16	40.53	99.84
0-5 cm	0.36	0.69	0	0	16.8	31.8	35.6	67.5	0	0	0	0	0.04	0.08	52.81	99.92

8338-16	Horizont/Tiefenstufe	Mächtigkeit [cm] Anmerkungen	Bodenanalytische Standardkenngrößen				¹³⁷ Cs	
			pH-Wert	C [%]	org. Substanz [%]	N [%]	C/N	[Bq/kg]
	L	1,5	4,36	47,2	94,3	1,07	44	179.700
	Of	8	3.14	41.6	83.2	1.84	23	1400.000
	Oh	2	2.82	41.9	83.8	2.01	21	411.500
	Cs1	Ah 0-2 cm	3.12	5.5	9.5	0.35	16	26.25
	Cs2	ICv (T?) 2-10+ cm	4.06	4	6.9	0.27	15	

Horizont/Tiefenstufe	effektive Kationenaustauschkapazität														BS	
	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn			Summe
	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]		[mmol]
L	1.11	5.48	0.02	0.11	6.1	30.1	12.4	61.2	0	0	0	0	0.64	3.14	20.25	96.86
Of	1.17	6.48	0.28	1.53	2.67	14.8	12.6	69.5	1.07	5.9	0.03	0.17	0.3	1.67	18.12	92.26
Oh	0.94	4.43	0.22	1.03	3.65	17.1	12.4	58.2	3.93	18.4	0.17	0.8	0	0	21.33	80.78
Cs1	0.17	1.2	0.03	0.22	0.81	5.79	1.77	12.6	11	78.6	0.22	1.59	0	0	14.04	19.83
Cs2	0.14	0.93	0.03	0.23	0.94	6.43	8.77	59.9	4.71	32.2	0	0	0.04	0.3	14.64	67.53

8338-17	Horizont/Tiefenstufe	Mächtigkeit [cm] Anmerkungen	Bodenanalytische Standardkenngrößen				¹³⁷ Cs	
			pH-Wert	C [%]	org. Substanz [%]	N [%]	C/N	[Bq/kg]
	L	0,5	4,42	48,1	96,1	1,11	43	167.2
	Of	4.5	3.93	48	95.9	1.39	35	829.5
	Oh	3	3.06	43	86.1	1.45	30	1159
	Cs1	0-3 (Ah)	3.45	8.6	14.8	0.48	18	231.3
	Cs2	3-10+ (ICv (T?))	5.13	6.9	11.9	0.36	19	

Horizont/Tiefenstufe	effektive Kationenaustauschkapazität														BS	
	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn			Summe
	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]		[mmol]
L	1.74	7.37	0.17	0.74	5.87	24.9	15.2	64.3	0	0	0	0	0.64	2.71	23.57	97.29
Of	0.96	3.58	0.04	0.14	4.73	17.7	20.5	76.4	0	0	0	0	0.59	2.21	26.81	97.79
Oh	0.52	1.86	0.06	0.21	5.69	20.5	20.9	75.3	0.58	2.09	0.02	0.08	0	0	27.79	97.82
Cs1	0.23	1.34	0.02	0.12	2.97	17	5.76	33	8.21	47	0.04	0.25	0.23	1.31	17.46	51.42
Cs2	0.23	0.98	0.02	0.09	5.33	23.1	17.4	75.5	0	0	0	0	0.07	0.32	23.04	99.68

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

8338-18

Horizont/Tiefenstufe	Mächtigkeit [cm] Anmerkungen	Bodenanalytische Standardkenngrößen					¹³⁷ Cs
		pH-Wert	C [%]	org. Substanz [%]	N [%]	C/N	[Bq/kg]
L	0,5	4,49	48,6	97,1	1,30	37	184.1
Of	3	3.75	44.1	88.2	1.48	30	2047
Oh	1.5	3.17	40.5	81	1.5	27	1237
Cs1	Ah 0-2 cm	3.46	6.5	11.2	0.34	19	140.8

Horizont/Tiefenstufe	effektive Kationenaustauschkapazität														BS [%]	
	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn			Summe
	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]		[mmol]
L	1.13	4.9	0	0	5.72	24.9	15.7	68.2	0	0	0	0	0.47	2.06	23	97.94
Of	0.83	3.38	0.14	0.56	4.6	18.8	18.6	75.7	0	0	0	0	0.39	1.6	24.53	98.4
Oh	0.67	3.3	0.29	1.42	5.31	26	11.3	55.3	2.71	13.3	0.14	0.69	0	0	20.4	86.04
Cs1	0.19	1.37	0.06	0.47	1.86	13.5	2.17	15.8	9.25	67.4	0.18	1.31	0.02	0.18	13.73	31.16

8338-18a

Horizont/Tiefenstufe	Mächtigkeit [cm] Anmerkungen	Bodenanalytische Standardkenngrößen					¹³⁷ Cs
		pH-Wert	C [%]	org. Substanz [%]	N [%]	C/N	[Bq/kg]
L	1	xxx	x	x	x	x	37.900
Of	11	xxx	x	x	x	x	646.9
Oh	4	xxx	x	x	x	x	209.4
0-5 cm	5	xxx	x	x	x	x	26.1
5-10 cm	5	xxx	x	x	x	x	8.04

Horizont/Tiefenstufe	effektive Kationenaustauschkapazität														BS [%]	
	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn			Summe
	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]		[mmol]
L	1.0	2.6	0.2	0.5	9.7	26.1	26.3	70.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	37.3	99.7
Of	1.1	2.7	0.3	0.7	8.7	22.4	28.5	73.7	0.1	0.3	0.0	0.0	0.1	0.2	38.7	99.5
Oh	0.3	0.4	0.0	0.0	20.1	34.0	38.6	65.3	0.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	59.2	99.7
0-5 cm	0.1	0.3	0.0	0.0	16.5	41.0	23.6	58.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.3	100.0
5-10 cm	0.1	0.5	0.0	0.0	9.4	43.4	12.2	56.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	21.7	99.8

8338-19

Horizont/Tiefenstufe	Mächtigkeit [cm] Anmerkungen	Bodenanalytische Standardkenngrößen					¹³⁷ Cs
		pH-Wert	C [%]	org. Substanz [%]	N [%]	C/N	[Bq/kg]
L	1	xxx	x	x	x	x	39.0
Of	11	xxx	x	x	x	x	776
Oh	4	xxx	x	x	x	x	209.4
0-5 cm	Ah+mC	xxx	x	x	x	x	17.9

Horizont/Tiefenstufe	effektive Kationenaustauschkapazität														BS [%]	
	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn			Summe
	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]		[mmol]
L	1.2	3.0	0.1	0.2	10.4	27.0	26.8	69.4	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.3	38.7	99.6
Of	1.0	2.0	0.2	0.4	12.5	26.1	34.1	71.2	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.2	47.9	99.7
Oh	0.2	0.3	0.0	0.0	26.3	34.5	49.6	65.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	76.1	99.9
0-5 cm	0.2	0.4	0.0	0.1	15.4	35.5	27.7	63.9	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	43.3	99.9

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

8338-20	Horizont/Tiefenstufe	Mächtigkeit [cm] Anmerkungen	Bodenanalytische Standardkenngrößen					¹³⁷ Cs
			pH-Wert	C [%]	org. Substanz [%]	N [%]	C/N	[Bq/kg]
	L	1	xxx	x	x	x	x	221.2
	Of	2.5	xxx	x	x	x	x	107.9
	Oh	n.b.	--	--	--	--	--	--
	0-5 cm	5	xxx	x	x	x	x	304.8
	5-10 cm	5	xxx	x	x	x	x	15.9

Horizont/Tiefenstufe	effektive Kationenaustauschkapazität														BS	
	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn			Summe
	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]		[mmol]
L	1.24	4.96	0.12	0.46	6.05	24.13	15.82	63.10	0.18	0.72	0.00	0.00	1.66	6.64	25.07	92.64
Of	1.09	4.28	0.11	0.45	4.84	19.10	17.11	67.51	0.29	1.13	0.00	0.00	1.91	7.52	25.35	91.35
Oh	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0-5 cm	0.16	1.23	0.03	0.23	1.18	8.91	2.81	21.23	7.77	58.74	0.00	0.00	1.28	9.67	13.24	31.60
5-10 cm	0.12	0.97	0.05	0.40	1.45	11.51	2.30	18.31	7.74	61.58	0.00	0.00	0.91	7.21	12.57	31.20

8338-21	Horizont/Tiefenstufe	Mächtigkeit [cm] Anmerkungen	Bodenanalytische Standardkenngrößen					¹³⁷ Cs
			pH-Wert	C [%]	org. Substanz [%]	N [%]	C/N	[Bq/kg]
	L	1	xxx	x	x	x	x	
	Of	1	xxx	x	x	x	x	
	Oh	1	--	--	--	--	--	
	0-5 cm	5	xxx	x	x	x	x	
	5-10 cm	5	xxx	x	x	x	x	

Horizont/Tiefenstufe	effektive Kationenaustauschkapazität														BS	
	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn			Summe
	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]		[mmol]
L	1.16	6.39	0.00	0.00	5.49	30.19	9.90	54.44	0.48	2.62	0.00	0.00	1.15	6.35	18.18	91.03
Of	0.79	3.59	0.07	0.30	5.88	26.86	13.98	63.85	0.18	0.80	0.00	0.00	1.00	4.59	21.89	94.61
Oh	0.74	3.69	0.13	0.64	5.74	28.62	11.87	59.18	1.53	7.63	0.01	0.04	0.04	0.20	20.05	92.12
0-5 cm	0.19	1.19	0.06	0.37	2.97	19.01	3.16	20.21	8.20	52.45	0.00	0.00	1.06	6.77	15.64	40.78
5-10 cm	0.15	1.04	0.00	0.01	6.54	46.30	7.02	49.67	0.15	1.03	0.00	0.00	0.28	1.95	14.13	97.02

8338-22	Horizont/Tiefenstufe	Mächtigkeit [cm] Anmerkungen	Bodenanalytische Standardkenngrößen					¹³⁷ Cs
			pH-Wert	C [%]	org. Substanz [%]	N [%]	C/N	[Bq/kg]
	L	1	xxx	x	x	x	x	--
	Of	2.5	xxx	x	x	x	x	--
	Oh	n.b.	--	--	--	--	--	--
	0-5 cm	5	xxx	x	x	x	x	--

Horizont/Tiefenstufe	effektive Kationenaustauschkapazität														BS	
	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn			Summe
	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]		[mmol]
L	1.40	4.28	0.50	1.52	6.13	18.78	24.24	74.24	0.00	0.00	0.01	0.03	0.38	1.16	32.66	98.81
Of	1.31	2.78	0.34	0.72	8.83	18.80	35.15	74.82	0.02	0.05	0.60	1.29	0.72	1.54	46.98	97.12
Oh	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0-5 cm	0.27	0.71	0.14	0.37	9.52	24.62	28.68	74.19	0.00	0.00	0.01	0.01	0.03	0.09	38.65	99.90

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

8338-23

Horizont/Tiefenstufe	Mächtigkeit [cm] Anmerkungen	Bodenanalytische Standardkenngrößen					137Cs
		pH-Wert	C [%]	org. Substanz [%]	N [%]	C/N	[Bq/kg]
L	1	xxx	x	x	x	x	
Of	3.5	xxx	x	x	x	x	
Oh	n.b.	--	--	--	--	--	
0-5 cm	5	xxx	x	x	x	x	

Horizont/Tiefenstufe	effektive Kationenaustauschkapazität														BS [%]	
	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn			Summe
	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]		[mmol]
L	1.8	5.2	0.4	1.2	6.9	19.8	25.3	72.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	1.1	34.8	98.86
Of	1.3	2.5	0.3	0.6	9.0	17.3	41.0	78.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.9	52.1	99.08
Oh	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0-5 cm	0.3	0.6	0.1	0.3	9.2	21.8	32.4	77.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	42.0	99.93

8338-24

Horizont/Tiefenstufe	Mächtigkeit [cm] Anmerkungen	Bodenanalytische Standardkenngrößen					137Cs
		pH-Wert	C [%]	org. Substanz [%]	N [%]	C/N	[Bq/kg]
L	1.5	xxx	x	x	x	x	
Of	8	xxx	x	x	x	x	
Oh	2	--	--	--	--	--	
0-5 cm	5	xxx	x	x	x	x	
5-10 cm	5	xxx	x	x	x	x	

Horizont/Tiefenstufe	effektive Kationenaustauschkapazität														BS [%]	
	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn			Summe
	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]		[mmol]
L	0.95	6.66	0.53	3.74	1.60	11.21	10.21	71.70	0.00	0.00	0.02	0.13	0.93	6.56	14.24	93.31
Of	0.98	5.68	0.25	1.48	1.69	9.79	12.26	71.14	0.20	1.17	0.00	0.03	1.85	10.72	17.23	88.09
Oh	0.79	3.73	0.22	1.06	1.84	8.75	15.30	72.61	1.85	8.79	0.24	1.12	0.83	3.94	21.07	86.15
0-5 cm	0.10	0.66	0.13	0.81	0.53	3.38	2.39	15.21	11.92	75.89	0.12	0.74	0.52	3.32	15.71	20.05
5-10 cm	0.08	0.56	0.16	1.09	0.58	3.97	2.36	16.05	10.86	73.94	0.01	0.07	0.63	4.31	14.68	21.68

8338-25

Horizont/Tiefenstufe	Mächtigkeit [cm] Anmerkungen	Bodenanalytische Standardkenngrößen					137Cs
		pH-Wert	C [%]	org. Substanz [%]	N [%]	C/N	[Bq/kg]
L	1	xxx	x	x	x	x	
Of	1	xxx	x	x	x	x	
Oh	1	--	--	--	--	--	
0-5 cm	5	xxx	x	x	x	x	
5-10 cm	5	xxx	x	x	x	x	

Horizont/Tiefenstufe	effektive Kationenaustauschkapazität														BS [%]	
	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn			Summe
	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]		[mmol]
L	1.10	8.06	0.40	2.90	1.68	12.26	9.17	66.93	0.16	1.20	0.00	0.00	1.19	8.66	13.69	90.14
Of	1.00	5.04	0.27	1.34	1.94	9.76	14.54	73.17	0.10	0.51	0.02	0.10	2.00	10.08	19.87	89.31
Oh	0.77	3.81	0.22	1.06	1.79	8.79	14.87	73.21	1.78	8.76	0.19	0.95	0.70	3.42	20.31	86.87
0-5 cm	0.10	0.67	0.11	0.72	0.53	3.51	2.46	16.39	11.13	74.27	0.13	0.84	0.54	3.62	14.98	21.28
5-10 cm	0.08	0.54	0.13	0.89	0.57	3.94	2.10	14.59	10.82	75.27	0.00	0.00	0.68	4.76	14.37	19.97

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

8338-26

Horizont/Tiefenstufe	Mächtigkeit [cm] Anmerkungen	Bodenanalytische Standardkenngrößen					137Cs
		pH-Wert	C [%]	org. Substanz [%]	N [%]	C/N	[Bq/kg]
L	1	x	x	x	x	x	--
Of1	5	4.44	x	x	x	x	564.4
Of2	5	3.95	x	x	x	x	773.6
Oh3	5	3.56	x	x	x	x	216.1
Oh4	5	3.47	x	x	x	x	97.0
Oh5	5	3.39	x	x	x	x	41.2
Oh6	5	3.35	x	x	x	x	24.5
Oh7	5	3.32	x	x	x	x	32.8
Oh8	5	3.44	x	x	x	x	28.9
Oh9	5	3.42	x	x	x	x	19.2
Oh10	5	3.60	x	x	x	x	20.8
Oh11	5	3.48	x	x	x	x	14.3
Oh12	5	3.58	x	x	x	x	13.8
Oh13	5	4.24	x	x	x	x	13.6
Oh14	5	5.24	x	x	x	x	12.6

Horizont/Tiefenstufe	effektive Kationenaustauschkapazität														BS [%]		
	K		Na		Mg		Ca		Al		Fe		Mn			Summe	
	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]	[mmol]	[%]		[mmol]	
L																	
Of1	1.63	4.10	0.35	0.88	9.31	23.47	28.27	71.21	0.06	0.15	0.00	0.00	0.08	0.20	39.69	99.65	
Of2	0.95	2.23	0.42	1.00	8.88	20.97	32.07	75.76	0.02	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	42.33	99.96	
Oh3	0.20	0.45	0.21	0.46	11.83	26.15	32.88	72.73	0.10	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	45.22	99.78	
Oh4	0.14	0.30	0.24	0.52	10.80	23.32	35.11	75.82	0.02	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	46.31	99.96	
Oh5	0.19	0.44	0.20	0.45	9.49	21.68	33.82	77.27	0.07	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	43.77	99.84	
Oh6	0.16	0.38	0.20	0.49	10.13	24.30	31.18	74.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	41.67	100.00	
Oh7	0.17	0.32	0.19	0.37	12.53	24.47	38.28	74.72	0.06	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	51.23	99.88	
Oh8	0.17	0.30	0.23	0.41	16.99	29.51	40.16	69.77	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	57.56	99.99	
Oh9	0.17	0.33	0.21	0.40	15.80	30.88	34.91	68.23	0.08	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	51.17	99.84	
Oh10	0.14	0.26	0.22	0.41	17.77	32.99	35.73	66.33	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	53.86	99.99	
Oh11	0.13	0.18	0.21	0.31	28.08	40.34	41.18	59.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	69.60	100.00	
Oh12	0.09	0.11	0.24	0.31	33.68	42.79	44.66	56.74	0.03	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	78.70	99.96	
Oh13	0.13	0.18	0.21	0.31	28.08	40.34	41.18	59.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	69.60	100.00	
Oh14	0.11	0.34	0.11	0.31	14.03	41.47	19.54	57.77	0.04	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	33.83	99.89	

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

Garmisch-Partenkirchen

Profil 8532-2

Bodenanalytische Standardwerte

Datum: 15.10.01

Probe	Horizont	Skelett Gew. %	K o r n g r ö ß e n G e w. %										Bodenart	pH (CaCl2)	CaCO3 %	Munsell Farbe	C %	org.S %	N %	C/N	
			gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T										
			1	L																	
2	Of														5.79			41.7	71.7	1.73	24
3	Oh														4.80			36.4	62.7	1.75	21
4	Cs1	36.6	2.7	3.6	5.6	12.0	11.2	17.8	18.3	47.3	40.8			Lt3	4.64	-	10 YR 2/3	11.1	19.1	0.74	15
5	Cs2	1.2	1.0	1.4	2.7	6.1	19.0	21.9	21.8	62.8	32.2			Lu3	5.80	-	10 YR 5/6	2.8	4.8	0.18	16
6	Cs3	3.0	0.8	0.9	1.9	3.6	17.4	20.0	18.5	55.9	40.6			Tu3	4.41	-	10 YR 5/6	1.6	2.8	0.12	13

Profil 8532-1

Datum: 21.06.02

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	+5-4	1.56	4.02	0.29	0.75	4.21	10.80	31.96	81.99	0.00	0.00	0.02	0.04	0.93	2.40	38.97	97.56
2	Of	+4-3	2.32	3.58	0.14	0.21	5.58	8.58	55.33	85.11	0.11	0.17	0.01	0.01	1.52	2.33	65.01	97.48
3	Oh	+3-0	1.32	2.27	0.21	0.36	4.75	8.16	50.99	87.64	0.05	0.09	0.02	0.04	0.84	1.44	58.18	98.43
4	Cs1	0-2	0.18	0.94	0.20	1.05	2.37	12.44	11.99	62.94	3.97	20.84	0.28	1.47	0.06	0.31	19.05	77.38
5	Cs2	2-7	0.12	0.85	0.17	1.20	1.11	7.84	4.19	29.59	8.42	59.46	0.08	0.56	0.07	0.49	14.16	39.48
6	Cs3	7-12	0.14	1.02	0.22	1.60	1.75	12.70	8.53	61.90	3.05	22.13	0.01	0.07	0.08	0.58	13.78	77.21

Profil 8532-2

Datum: 21.06.02

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	+9-6.5	1.26	2.80	0.17	0.37	3.27	7.28	39.44	87.84	0.00	0.00	0.04	0.08	0.73	1.63	44.90	98.29
2	Of	+6.5-3.5	1.18	1.97	0.20	0.33	3.97	6.64	53.32	89.19	0.16	0.27	0.00	0.00	0.95	1.59	59.79	98.13
3	Oh	+3.5-0	1.16	2.27	0.12	0.24	3.77	7.37	44.82	87.61	0.30	0.58	0.03	0.05	0.96	1.88	51.16	97.49

Profil 8532-3

Datum: 21.06.02

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	+6-5	1.55	4.42	0.11	0.32	3.19	9.07	29.58	84.08	0.14	0.40	0.00	0.00	0.60	1.71	35.18	97.89
2	Oh	+5-0	1.17	1.69	0.12	0.17	2.78	4.02	64.53	93.28	0.08	0.11	0.03	0.05	0.47	0.68	69.18	99.16

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

Profil 8532-4

Bodenanalytische Standardwerte

Datum: 28.06.02

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Skelett Gew.%	K o r n g r ö ß e n G e w . %										Boden- art	pH (CaCl2)	CaCO3 %	Munsell Farbe	C %	org.S %
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T							
1	L														5.07				
2	Oh														6.39				

Profil 8532-4

Datum: 21.06.02

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	+6-5	1.04	3.99	0.16	0.63	3.30	12.67	21.01	80.79	0.13	0.49	0.01	0.05	0.36	1.38	26.00	98.09
2	Oh	5-0	0.96	1.44	0.08	0.12	2.39	3.58	63.01	94.53	0.05	0.07	0.01	0.02	0.15	0.23	66.65	99.68

Profil 8532-5

Bodenanalytische Standardwerte

Datum: 22.11.01

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	Skelett Gew.%	K o r n g r ö ß e n G e w . %										Boden- art	pH (CaCl2)	CaCO3 %	Munsell Farbe	C %	org.S %
				gS	mS	fS	S	gU	mU	fU	U	T							
1	Graswl.														5.30				0.0
2	Ah+Gw														5.34				0.0
3	Cs1		0.3	5.2	9.0	18.7	32.9	25.3	16.5	8.8	50.6	16.5	Uls	4.18	-	10 YR 5/4		0.0	
4	Cs2		0.1	3.1	6.3	17.1	26.5	23.8	16.9	11.4	52.1	21.3	Lu	4.24	-	10 YR 5/4		0.0	
5	Cs3		0.5	2.0	4.8	16.8	23.6	26.3	19.1	12.1	57.6	18.9	Lu	4.35	+	10 YR 4/3		0.0	

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

Profil 8532-5

Datum: 21.06.02

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	raswurzelffi	+2-0	3.61	10.80	0.18	0.54	2.85	8.53	24.77	74.12	0.73	2.17	0.02	0.06	1.26	3.77	33.42	94.00
2	Ah+Gw	0-2	0.91	5.49	0.06	0.38	1.12	6.72	13.07	78.64	0.90	5.41	0.01	0.05	0.55	3.31	16.62	91.23
3	Cs1	2-8	0.27	3.04	0.04	0.45	0.37	4.17	5.41	60.92	2.60	29.28	0.00	0.00	0.19	2.14	8.88	68.58
4	Cs2	8-13	0.22	2.71	0.04	0.49	0.28	3.45	4.69	57.83	2.73	33.66	0.00	0.00	0.15	1.85	8.11	64.49
5	Cs3	13-20	0.14	2.11	0.03	0.45	0.23	3.46	3.96	59.64	2.12	31.93	0.00	0.00	0.16	2.41	6.64	65.66

Profil 8532-6

Bodenanalytische Datum: 28.06.02

Probe	Horizont	pH (CaCl2)	C %	org.S %	N %	C/N
1	L	6.20	42.0	72.2	0.70	60
2	Oh1	4.99	42.2	72.5	2.10	20
3	Oh2	4.65	42.2	72.5	2.15	20
4	Oh3	4.82	46.7	80.3	1.98	24
5	Oh4	4.92	50.1	86.2	1.59	32
6	Oh5	5.66	46.7	80.3	1.44	32
7	Oh6	5.60	37.7	64.8	1.45	26
8	Oh7	5.93	33.9	58.3	1.36	25
9	Oh8	5.87	33.4	57.5	1.32	25

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

Profil 8532-6

Datum: 21.06.02

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	+42-40	0.95	1.67	0.18	0.32	3.94	6.97	51.06	90.27	0.24	0.42	0.02	0.04	0.17	0.31	56.56	99.24
2	Oh1	+40-35	0.72	1.27	0.09	0.16	3.87	6.85	51.72	91.43	0.11	0.20	0.03	0.05	0.03	0.04	56.57	99.70
3	Oh2	+35-30	0.40	0.77	0.21	0.40	1.42	2.73	49.95	95.89	0.09	0.18	0.01	0.02	0.01	0.01	52.09	99.78
4	Oh3	+30-25	0.24	0.39	0.14	0.23	0.59	0.97	60.03	98.38	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	61.02	99.97
5	Oh4	+25-20	0.11	0.17	0.04	0.06	0.35	0.52	66.49	99.10	0.09	0.14	0.00	0.00	0.01	0.01	67.10	99.85
6	Oh5	+20-15	0.11	0.15	0.03	0.05	0.33	0.46	70.82	99.24	0.05	0.08	0.00	0.00	0.02	0.02	71.36	99.90
7	Oh6	+15-10	0.10	0.15	0.02	0.03	0.32	0.47	67.67	99.26	0.02	0.03	0.00	0.00	0.04	0.06	68.18	99.91
8	Oh7	+10-5	0.09	0.11	0.04	0.05	0.38	0.48	78.42	99.25	0.04	0.05	0.01	0.02	0.03	0.04	79.01	99.89
9	Oh8	+5-0	0.09	0.11	0.07	0.08	0.50	0.62	80.34	99.12	0.00	0.01	0.02	0.03	0.03	0.03	81.06	99.93

Profil 8532-7

Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	pH	C	org.S	N	C/N
		CaCl2	%	%	%	
1	L	4.58	47.9	82.5	1.42	34
2	Of	3.99	46.1	79.3	2.24	21
3	Oh1	3.34	39.2	67.5	2.33	17
4	Oh2	3.68	39.4	67.7	2.01	20
5	Oh3	4.37	38.2	65.7	1.92	20
6	Oh4	6.21	34.2	58.9	1.91	18

Profil 8532-7

Datum: 26.06.02

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	+22-21,5	1.17	5.97	0.08	0.40	1.47	7.52	16.70	85.36	0.02	0.11	0.02	0.13	0.10	0.51	19.56	99.26
2	Of	+21,5-21	2.49	12.30	0.10	0.52	2.35	11.63	15.05	74.33	0.16	0.79	0.02	0.10	0.07	0.33	20.25	98.77
3	Oh1	+21-16	0.65	1.88	0.16	0.47	1.98	5.71	29.90	86.11	1.81	5.22	0.21	0.61	0.00	0.00	34.72	94.17
4	Oh2	+16-11	0.45	0.96	0.09	0.19	1.27	2.72	44.34	95.24	0.36	0.77	0.06	0.12	0.00	0.00	46.55	99.11
5	Oh3	+11-5	0.36	0.51	0.08	0.11	1.04	1.47	69.47	97.62	0.18	0.26	0.02	0.03	0.00	0.00	71.16	99.71
6	Oh4	+5-0	0.16	0.18	0.02	0.02	1.02	1.14	87.93	98.48	0.14	0.16	0.01	0.01	0.00	0.00	89.29	99.83

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

Profil 8532-8

Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	pH (CaCl ₂)	C %	org.S %	N %	C/N
1	L	5.90	41.2	70.9	1.30	32
2	Of+Oh	5.26	33.2	57.1	1.33	25
3	Cs1	5.31	16.5	28.4	0.80	21
4	Cs2	5.91	12.1	20.8	0.67	18
5	Cs3	5.88	8.4	14.4	0.56	15
6	5	6.70	3.9	6.7	0.32	12

Profil 8532-8

Datum: 26.06.02

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	+1-0.5	0.96	2.25	0.13	0.31	2.61	6.13	38.55	90.68	0.20	0.48	0.06	0.13	0.01	0.02	42.51	99.37
2	Of+Oh	+0.5-0	0.90	1.99	0.07	0.17	3.42	7.60	40.43	90.00	0.03	0.06	0.02	0.04	0.06	0.14	44.92	99.76
3	Ah	0-5	0.66	1.81	0.21	0.58	3.83	10.51	31.56	86.63	0.08	0.22	0.00	0.00	0.09	0.25	36.43	99.53
4	Ah	5-10	0.48	1.41	0.20	0.59	3.48	10.25	29.72	87.54	0.03	0.09	0.00	0.00	0.04	0.12	33.95	99.79
5	Ah	10-15	0.40	1.37	0.16	0.55	3.66	12.53	24.90	85.24	0.05	0.17	0.00	0.00	0.04	0.14	29.21	99.69
6	II Bv	20-25	0.41	1.61	0.18	0.71	3.57	14.06	21.18	83.39	0.06	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	25.40	99.76

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

Profil 8532-9

Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	pH (CaCl ₂)	C %	org.S %	N %	C/N
1	L	+11-10	4.91	44.6	76.7	1.09	41
2	Of	+10-8	5.01	44.6	76.7	1.64	27
3	Oh1	+8-4	3.76	43.3	74.5	2.19	20
4	Oh2	+4-0	3.72	41.7	71.7	2.01	21
5	Ah	0-6	6.93	15.6	26.8	0.84	19
6	II Bv	6-11	7.20	-	-	-	-

Profil 8532-9

Datum: 26.06.02

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	+11-10	1.61	4.18	0.15	0.38	7.08	18.37	29.08	75.38	0.00	0.00	0.04	0.11	0.61	1.58	38.57	98.31
2	Of	+10-8	1.10	1.85	0.22	0.38	5.82	9.83	51.53	87.09	0.10	0.17	0.04	0.07	0.36	0.61	59.17	99.15
3	Oh1	+8-4	0.67	1.27	0.04	0.07	3.50	6.67	48.21	91.82	0.08	0.16	0.01	0.02	0.00	0.00	52.51	99.83
4	Oh2	+4-0	0.49	1.12	0.01	0.01	3.51	8.06	39.46	90.61	0.08	0.18	0.01	0.01	0.00	0.00	43.54	99.81
5	Ah	0-6	0.22	0.51	0.15	0.35	0.93	2.16	41.63	96.86	0.05	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	42.98	99.88
6	II Bv	6-11	0.44	1.33	0.13	0.39	0.64	1.94	31.76	96.21	0.04	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	33.01	99.88

Profil 8532-10

Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	pH (CaCl ₂)	C %	org.S %	N %	C/N
1	L	+11-10	4.57	47.4	81.4	1.26	38
2	Of	+10-8	3.58	46.2	79.5	1.85	25
3	Oh1	+20-15	3.04	44.8	77.1	2.12	21
4	Oh2	+15-10	2.95	44.4	76.4	2.18	20
5	Oh3	+10-5	3.05	46.2	79.4	1.60	29
6	Oh4	+5-0	2.99	47.6	81.9	1.46	33
7	Ah	0-5	3.08	15.0	25.8	0.82	18
8	II Bv	5-10	3.33	1.5	2.6	0.08	19

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

Profil 8532-10

Datum: 26.06.02

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	+22-21	0.96	6.55	0.09	0.60	1.73	11.75	11.40	77.40	0.25	1.72	0.00	0.03	0.29	1.96	14.73	96.29
2	Of	+21-20	1.54	4.54	0.13	0.38	2.95	8.67	28.29	83.15	0.19	0.56	0.00	0.01	0.91	2.68	34.03	96.74
3	Oh1	+20-15	0.70	2.00	0.13	0.36	3.24	9.28	30.36	86.99	0.44	1.26	0.04	0.11	0.00	0.00	34.89	98.68
4	Oh2	+15-10	0.34	0.82	0.11	0.27	1.94	4.70	38.43	93.32	0.36	0.87	0.01	0.03	0.00	0.00	41.18	99.11
5	Oh3	+10-5	0.25	0.83	0.08	0.26	1.37	4.52	27.93	92.29	0.61	2.03	0.02	0.08	0.00	0.00	30.26	97.90
6	Oh4	+5-0	0.27	0.92	0.09	0.31	1.16	3.89	27.56	92.32	0.73	2.45	0.04	0.12	0.00	0.00	29.86	97.48
7	Ah	0-5	0.32	1.85	0.11	0.64	1.06	6.13	8.13	46.99	7.39	42.72	0.28	1.62	0.01	0.06	17.30	55.61
8	II Bv	5-10	0.56	2.05	0.24	0.88	1.01	3.70	9.89	36.20	15.51	56.77	0.11	0.40	0.00	0.00	27.32	42.83

Profil 8532-11

Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben-tiefe (cm)	pH (CaCl2)	C %	org.S %	N %	C/N
2	Of1	+22-18	4.68	44.3	76.2	1.36	33
3	Of2	+18-5	3.16	43.3	74.5	1.63	27
4	Oh	+5-0	4.61	24.7	42.5	1.38	18
5	Oh+Ah	0-5	6.64	18.2	31.2	1.08	17
6	Ah	5-10	7.13	15.4	26.5	0.88	18
7	Bv?	10-15	6.24	14.1	24.3	0.82	17

Profil 8532-11

Datum: 26.06.02

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	+24-22	1.17	4.67	0.08	0.32	4.91	19.69	18.34	73.53	0.27	1.09	0.01	0.05	0.16	0.65	24.95	98.21
2	Of1	+22-18	2.04	4.42	0.21	0.45	4.88	10.55	38.69	83.75	0.06	0.13	0.00	0.00	0.32	0.70	46.20	99.17
3	Of2	+18-5	1.15	3.17	0.11	0.31	3.84	10.58	31.11	85.66	0.10	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	36.32	99.72
4	Oh	+5-0	0.95	2.43	0.10	0.26	3.33	8.52	34.61	88.56	0.09	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	39.08	99.77
5	Oh+Ah	0-5	0.25	0.55	0.19	0.42	3.31	7.30	41.39	91.29	0.20	0.44	0.00	0.00	0.00	0.00	45.34	99.56
6	Ah	5-10	0.17	0.43	0.18	0.46	2.19	5.59	36.60	93.44	0.03	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	39.17	99.92
7	Bv?	10-15	0.18	0.45	0.20	0.50	2.11	5.23	37.76	93.67	0.06	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	40.31	99.85

Bioverfügbarkeit von Radiocäsium

Profil 8532-12

Bodenanalytische Standardwerte

Probe	Horizont	Proben- tiefe (cm)	pH	C	org.S	N	C/N
			(CaCl ₂)	%	%	%	
1	L	+7-6	4.57	44.1	75.9	1.13	39
2	Of	+6-1	5.36	35.6	61.2	1.48	24
3	Cs1	0-4	6.61	11.0	18.9	0.71	16
4	Cs2	4-10	6.92	7.8	13.4	0.42	19

Profil 8532-12

Datum: 11.07.02

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		1.87	7.74	0.08	0.34	4.12	17.04	17.68	73.15	0.14	0.59	0.00	0.00	0.28	1.15	24.17	98.27
2	Of		1.31	2.89	0.13	0.28	4.93	10.90	38.45	85.00	0.08	0.17	0.00	0.00	0.34	0.76	45.24	99.07
3	Cs1		0.24	0.51	0.05	0.10	2.25	4.85	43.84	94.40	0.03	0.06	0.00	0.00	0.04	0.08	46.44	99.86
4	Cs2		0.14	0.40	0.07	0.18	1.30	3.54	35.01	95.68	0.07	0.18	0.01	0.02	0.00	0.01	36.59	99.79