

# 22 + 23

Monitoring der Radioaktivität  
im Boden (FB 22)

- Veränderungen zwischen 1990 und 2003 -

Intensiv-Boden-Dauer-  
beobachtung am  
Bayerischen Landesamt  
für Umwelt (FB 23)





# FACHBERICHTE

Nr. 22

## Monitoring der Radioaktivität im Boden

- Veränderungen zwischen 1990 und 2003 -

von

B. SCHILLING, J. HAMMERL, G. HOLZNER, CH. MAHLER & G. STIMMELMEIER

Herausgeber und Verlag:

Bayerisches Landesamt für Umwelt

Dienstort München, Heßstr. 128, D-80797 München

Fachbericht 22	57 S.	47 Abb.	12 Tab.	München 2005
----------------	-------	---------	---------	--------------

ISSN 09232-9269

Anschrift der Autoren: Dr. Bernd Schilling  
Bayerisches Landesamt für Umwelt  
Dienststelle Marktredwitz  
Leopoldstraße 30  
D-95615 Marktredwitz

Josef Hammerl  
Georg Holzner  
Christof Mahler  
Georg Stimmelmeier  
Bayerisches Landesamt für Umwelt  
Dienstort München  
Heßstraße 128  
D-80797 München

Das Bayerische Landesamt für Umwelt ist eine Fachbehörde  
im Geschäftsbereich des Bayerischen Staatsministeriums für  
Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz

Herausgeber: Bayerisches Landesamt für Umwelt,  
Dienstort München  
Heßstraße 128, D-80797 München

Redaktion: Dr. Bernd Schilling

Druck: Druckerei Diet, Buchenberg

Gedruckt auf chlorfrei gebleichtem Papier

## **Monitoring der Radioaktivität im Boden**

**Schlüsselwörter:** Monitoring, Radioaktivität, Boden, Veränderungen, Strahlenschutzvorsorgegesetz

### **Kurzfassung**

Das Bayerische Geologische Landesamt hat als Mitglied der interministeriellen Arbeitsgruppe zum Strahlenschutzvorsorgegesetz die Aufgabe übernommen, Waldstandorte im Osten und Süden Bayerns auf ihre radioaktive Belastung hin zu überwachen. Das Bayerische Landesamt für Umwelt, das durch die Fusion des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz, des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft und des Bayerischen Geologischen Landesamtes am 01.08.2005 entstanden ist, führt diese Aufgabe fort. Die in diesem Bericht vorgestellten Untersuchungsergebnisse über verschiedene auf anthropogenem bzw. geogenem Wege in den Boden eingebrachten Radionuklide umfassen den Zeitraum von 1990 bis 2003. Cäsium 137 ist bei diesem Projekt das zentrale Beobachtungsobjekt. Es ist das einzige Nuklid einer Vielzahl von Nukliden, das aus dem Tschernobyl-Fallout stammt und dessen Strahlungsbelastung für den Menschen heute noch bedeutend ist. Nachfolgend wird die Intensität der radioaktiven Strahlung an verschiedenen Standorten in Bayern beschrieben. Weiterhin wird das Verhalten einer Vielzahl von unterschiedlichen Nukliden im Boden anhand der Ergebnisse dargestellt. Zudem wird ein Vergleich zwischen jährlich gemessenen und den mit Hilfe des Zerfallsgesetzes der Radioaktivität berechneten Werten gezogen.

## **Monitoring of Radioactivity in Soils**

**Key words:** Monitoring, radioactivity, soil, changes, Radiation Protection Precautionary Act

### **Abstract**

The Bavarian Environment Agency as a member of the Interministerial Working Group on the “Strahlenschutzvorsorgegesetz” (Radiation Protection Precautionary Act) is responsible for monitoring of forest soil plots in the east and south of Bavaria. This report presents the results on radionuclides of geogenic or anthropogenic origin in soils between 1990 and 2003. Caesium 137 is the most important monitoring object of that project. It is the only nuclide of numerous “Cernobyl nuclides”, the radioactive generated exposure to which is still crucial for humans. The intensity of radiation at several monitoring plots in Bavaria is described and the behaviour of many nuclides in soils is demonstrated. Finally, annual measurements are compared to data calculated on the basis of radioactive decay.

## **Inhalt**

1	Einleitung .....	5
2	Probenahme und Messmethoden.....	8
3	Ergebnisse .....	10
3.1	Vergleich der Radioaktivitäten anthropogen eingetragener Nuklide (1990-2003)	10
3.2	Verhalten von Radionukliden in verschiedenen Tiefenstufen .....	16
3.3	Tiefenverlagerung von Radionukliden .....	19
3.4	Intensität der radioaktiven Strahlung in den Böden .....	21
3.5	Vergleich von Erwartungswerten und reell gemessenen Daten.....	23
4	Zusammenfassung und Ausblick.....	26
5	Danksagung.....	27
6	Literatur .....	28
7	Anhang .....	30
7.1	Anhang der Abbildungen.....	30
7.2	Anhang der Tabellen.....	46

## 1 Einleitung

Nach dem Tschernobyl-Fallout am 26. April 1986 bekam die Gefährdung des Menschen durch radioaktive Strahlung eine ganz neue Wertigkeit. Während die globalen Einträge durch die Kernwaffentests Anfang der 60er Jahre von der Bevölkerung nur schwach oder gar nicht wahrgenommen wurden, sorgte die Havarie bei der ukrainischen Kleinstadt für weltweite Besorgnis. In Europa wurden außer der Ukraine vor allem die Gebirge Norwegens, Teile Mittelschwedens und Südfinnlands sowie verschiedene Gebiete im Alpenraum und im östlichen Mittelmeerraum (DE CORT 1998) betroffen. Auch Bayern blieb von den Auswirkungen des Tschernobyl-Ereignisses nicht verschont. Die an Staubteilchen adsorbierte vielfältige Palette an Radionukliden aus der sogenannten „Radioaktiven Wolke“ wurden niederschlagsgebunden auf die Erdoberfläche aufgebracht (Washout-Effekt – HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE 2004) und beeinflusst damit auch den Lebensraum des Menschen.

1990 hat das damalige Bayerische Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (jetzt - Bayerische Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz) eine interdisziplinäre Arbeitsgruppe eingerichtet, deren wichtigste Aufgabe darin besteht, die Auswirkungen der Strahlenbelastung in vielen Kompartimenten unseres Ökosystems zu überwachen. Die Belastung von Nahrungsmitteln (Wild, Milch, Pilze etc.) zeigt sich z. B. durch regelmäßige Lebensmitteluntersuchungen. Über den Boden gelangen Radionuklide sowohl in verschiedene Pflanzen als auch in den Wasserkreislauf und damit in den Nahrungszklus von Tier und Mensch. Daher wurde auch der Boden in dieses Messprogramm aufgenommen und bayernweit 52 Boden-Dauerbeobachtungsflächen angelegt, die jeweils nach Nutzungen von verschiedenen Landesbehörden betreut werden. So übernahm die Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau (jetzt Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft) die Einrichtung und Betreuung von 44 Agrarflächen und das Bayerische Geologische Landesamt (jetzt Bayerisches Landesamt für Umwelt) die von 8 Forstflächen.

Der Zerfall radioaktiver Isotope in Boden und Untergrund ist ein natürlicher Prozess, der seit der Erdenstehung andauert und der wegen der vielfältigen Entstehungsgeschichte der Erdoberfläche auch in Bayern in den geologisch verschieden aufgebauten Regionen unterschiedlich stark ausgeprägt ist. Meist sind die geogen im Boden vorhandenen Nuklide fest in die Gesteinsstruktur eingebaut, so dass sie nur sehr schwer in den Nahrungskreislauf des Menschen gelangen können. Die mit dem Tschernobyl-Fallout in die Ökosysteme eingetragenen Radionuklide zeigen jedoch ein deutlich anderes Verhalten und haben einen größeren Einfluß auf den Menschen. Bei den Pflanzen klebten die „Fallout-Staubteilchen“ in erster Linie auf der Pflanzenoberfläche und konnten vielfach bei Nutzpflanzen durch gründliches Waschen vor der Nahrungszubereitung entfernt werden. Im Boden wurde der Großteil der Nuklide von der organischen Substanz in den obersten Bodenhorizonten adsorbiert. Aus diesem Bodenbereich entnehmen vor allem flach wurzelnde Pflanzen ihre Nährstoffe und viele Kleintiere benutzen ihn als Lebensraum.

Die Bindung zwischen Radionukliden und der organischen Substanz entspricht von der Stärke nicht der festen Bindung der im Kristallgitter des Mineralbodens fixierten Nukliden, da die Nuklide von den Huminstoffen nur adsorbiert werden (BLUME 1990). Daher kann die Möglichkeit, dass Lösungsprozesse die Nuklide wieder von der organischen Substanz freisetzen nicht

ausgeschlossen werden. Dies könnte bei grobkörnigen, nährstoffarmen Böden zum Eintrag von Radionukliden ins oberflächennahe Grundwasser führen. Eine Strahlenbelastung dieses Grundwassers würde sich bei der Nutzung als Trinkwasser wiederum auf die Nahrungskette auswirken.



Abb. 1: Standorte der Boden-Dauerbeobachtungsflächen, angelegt im Rahmen des Strahlenschutzvorsorgegesetzes.

Der nachfolgende Bericht stellt Ergebnisse der 8 vom Bayerischen Landesamt für Umwelt untersuchten Monitoringstandorte (Abb. 1) dar. Diese Flächen wurden 1990 vor allem in den Regionen Bayerns angelegt, die anhand der bis dahin bekannten Erkenntnisse einen relativ hohen Input an Radionukliden aus dem Tschernobyl-Ereignis hatten. So erfolgte die Einrichtung der Boden-Dauerbeobachtungsflächen im Osten und Süden Bayerns. Die bodenkundliche Standortsituation der Messflächen ist bei den meisten Flächen sehr ähnlich. Das bodenbildende Substrat besteht in erster Linie aus Lößlehm. Das liegende Ausgangsmaterial ist unterschiedlich und umfasst Tertiärsande, Niederterrassenschotter und Moränenmaterial. Einzige Ausnahme ist die Boden-Dauerbeobachtungsfläche bei Bruck i.d.Opf.. Ihr Bodenmaterial besteht nahezu rein aus Kreidesanden (s. Tab. 1).

Bei der Auswahl der Flächen wurde vor allem darauf geachtet, dass die zu untersuchenden Bodenformen in der Region flächenhaft verbreitet sind. Um die Variabilität der Aktivitäten, die durch geogen vorhandene Radionuklide erzeugt wird, möglichst gering zu halten, sind in dieser Hinsicht homogen aufgebaute Dauerbeobachtungsflächen notwendig. Da es sich bis auf eine Fläche um Standorte handelt, die durch äolischen Auftrag (Löß od. Lößlehm) gleichmäßig abgedeckt wurden, kann von geogen homogenen Beobachtungsflächen ausgegangen werden. Auch die Überprüfung des Kreidesandstandortes bei Bruck/Opf. mit Hilfe von 1m-Geländebohrern (Pürckhauer) wies diesen bezogen auf die Homogenität der pedogenen und geogenen Eigenschaften als geeigneten Standort aus. Dies lässt zumindest auch auf eine homogene Verteilung der geogen im Boden vorhandenen Nuklide schließen. Um einen eventuell erosiven Abtrag von Bodenmaterial ausschließen zu können, wurden ebene Flächen ausgesucht. Bestockung und Unterwuchs sind auf den Flächen weitgehend einheitlich. Durch die Beachtung der genannten Kriterien sind die Standortfaktoren auf den einzelnen Flächen sehr ähnlich. Dies ermöglicht eine gute Vergleichbarkeit der radioaktiven Belastung auf den einzelnen Flächen.

Tab. 1: Zusammenstellung der Beobachtungsstandorte mit Angaben zum Substrat und zur Stratigraphie.

<b>Standort</b>	<b>Substratsystematische Einheit</b>	<b>Stratigraphie</b>
Bruck/Opf.	p-s/s-(k)s (Sand)	Kreide
Landshut/West	a-ol (Löß)	Quartär
Taufkirchen/Vils	p-ol/s-u (Lößlehm üb. Schluff)	Quartär üb. Tertiär
Babenhausen	p-ol/p-l (Lößlehm üb. Lehm)	Quartär üb. Tertiär
Markt Schwaben	p-kol/f-sk (Lößlehm üb. Schotter)	Quartär üb. Quartär
Otterfing	p-(k)ol/f-sk (Lößlehm üb. Schotter)	Quartär üb. Quartär
Freilassing	fl-u/fl-t (Seelehm üb. Seeton)	Quartär üb. Quartär
Miesbach	p-(k)ol/g-uk (Lößlehm üb. Moräne)	Quartär üb. Quartär

Die Probenahme auf den Standorten wird seit dem Jahre 2002 von der Fa. Lubag/Regensburg durchgeführt. Die finanziellen Mittel stellt hierfür das Bayerische Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz zur Verfügung. Das Bayerische Landesamt für Umweltschutz führt seit 1990 in Amtshilfe die Messungen durch. Der Bericht basiert auf statistischen Auswertungen sowie Datendarstellungen in Tabellen- und Diagrammform der Fa. Muckelbauer/Nürnberg, die im Auftrag des Bayerischen Geologischen Landesamtes und mit finanziellen Mitteln des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz erstellt wurden (MUCKELBAUER 2004, unveröff.).

Die Ergebnisse werden in den einzelnen Kapiteln meist beispielhaft anhand einer Messfläche dargestellt. Der Anhang des Berichtes enthält die Abbildungen zu den Ergebnissen aus den Untersuchungen der anderen Messflächen. Auf diese Abbildungen im Anhang wird jeweils unter den Abbildungen im Text hingewiesen. Außerdem enthält der Anhang noch tabellarisch Metadaten zu den einzelnen Messflächen.



## 2 Probenahme und Messmethoden

Um die Variabilität der Radionuklide auf der Fläche zu erfassen, wurde ein sog. „Flächenbeprobungssystem“ angewandt (Abb. 2). Die Messflächen wurden mit Hilfe von gespannten Schnüren in Raster eingeteilt. Die zu beprobende Fläche ist 100 x 100 m groß. Die Maschenweite des Netzes beträgt 20 x 25 m. Dieses Netz wird bei jeder Beprobungsfolge um einen bestimmten Meterbetrag verschoben. Damit soll verhindert werden, dass an bereits beprobten und damit gestörten Stellen Proben erneut genommen werden. Die Proben werden an den Schnittpunkten des Netzes gezogen. Dabei wird an einer Probenahmestelle die organische Auflage sowie der Mineralboden in 0-10 cm und in 10-30 cm Bodentiefe beprobt. Innerhalb des Maschennetzes gibt es 20 Schnittpunkte. Die Proben der organischen Auflage bzw. der beiden Entnahmetiefen werden zu jeweils einer Mischprobe vereinigt, so dass aus den 60 Proben (3 x 20) 3 Mischproben pro erzeugt werden. Diese Proben werden an die Dienststelle des Bayerischen Landesamtes für Umwelt in Augsburg verbracht und dort vermessen.

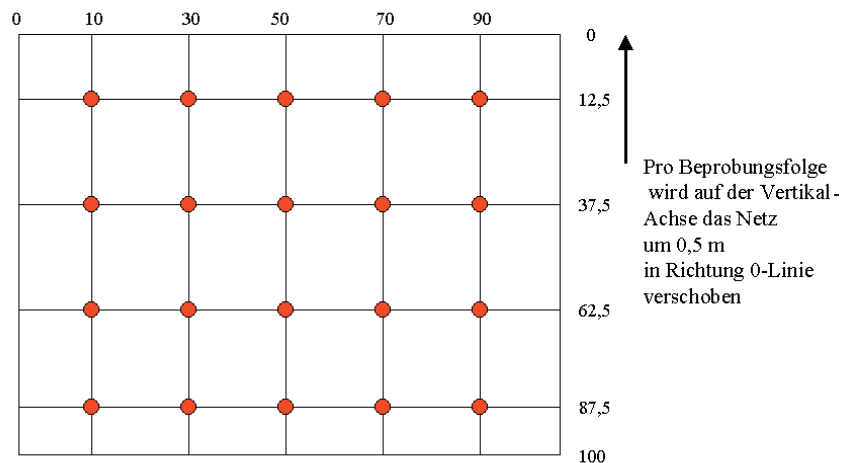


Abb. 2: Beprobungsraster der Boden-Dauerbeobachtung im Rahmen des Strahlenschutzvorsorgegesetzes.

Folgende Messmethoden wurden angewandt:

Die Messung von gammastrahlenden Nukliden, insbesondere Cäsium 134 und Cäsium 137, die neben Ruthenium 106, Silber 110, Antimon 125 und Cer 144 vom Reaktorunfall in Tschernobyl herrühren und noch messbar sind, erfolgte mit hochauflösender Gammaskpektrometrie. Daneben wurden auch natürlich strahlende Nuklide, wie Kalium 40 oder die Zerfallsprodukte der natürlichen Thorium-Actinium- und Uranzerfallsreihe bestimmt.

Die Messapparatur besteht aus einem Reinert-Germaniumdetektor in einer 10 cm dicken Bleiabschirmung mit nachgeschalteter Elektronik (Hochspannungsversorgung, Vor- und Hauptverstärker, Analog-Digital-Wandler) und einem Vielkanalanalysatorsystem zur Registrierung und

Speicherung der gemessenen Detektorimpulse bzw. des erhaltenen Spektrums. Die qualitative und quantitative Auswertung des Probenspektrums erfolgt über eine geeignete Software (Spectrum F), die auf einem DEC-Rechner (PDP11/23,BS:RSX 11M) im Multi-Usermodus betrieben wird.

Die Messzeiten der Bodenproben betragen im allgemeinen jeweils 50000 s. Dabei werden Bestimmungsgrenzen bezogen auf Kobalt 60 von ca. 0,1 Bq/kg TS erreicht - gefordert sind im Routineüberwachungsprogramm gemäß Strahlenschutzvorsorgegesetz 0,5 Bq/kg TS bezogen auf Kobalt 60. Die eingesetzten Probenmengen betragen bei einem Probenvolumen von 1000 ml ca. 0,9-1,3 kg TS je nach Bodenbeschaffenheit. Mit Hilfe der o.g. Geräte- und Messzeitdaten sowie Daten zum verwendeten Ausgangssubstrat erfolgte die Fehlerbetrachtung entsprechend der DIN 25482 - Teil 5.

### 3 Ergebnisse

Die Ergebnisse aus den letzten 14 Beprobungsfolgen zwischen 1990 und 2003 sind nachfolgend, strukturiert nach unterschiedlichen Auswertungsgesichtspunkten, dargestellt. Damit soll ein umfassendes Bild der derzeitigen Erkenntnisse aus dem Untersuchungszeitraum geliefert werden.

#### 3.1 Vergleich der Radioaktivitäten anthropogen eingetragener Nuklide (1990-2003)

Im Tschernobyleintrag befanden sich viele unterschiedliche Nuklide, die vor allem  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlung abgeben. Den größten Anteil an der Radioimmission hatten die Nuklide Jod 131 und Tellur 132. Wegen ihrer geringen Halbwertszeit (8 bzw. 3 Tage) waren diese Nuklide relativ schnell zerfallen. Längere Halbwertszeiten weisen Antimon 125 (2,8 a), Cer 144 (284 d) und Ruthenium 106 (1 a) auf. Cer 144 und Ruthenium 106 konnten im Messprogramm bis zum Beginn der neunziger Jahre des letzten Jahrhunderts bestimmt werden. Antimon 125 war Ende der neunziger noch nachweisbar. Cäsium 134 (2,1 a) ist aktuell noch messbar (vgl. SCHILLING 1994). Ein spezieller Fall ist das Nuklid Strontium 90. Es war zu einem erheblichen Maße an der aus dem brennenden Reaktor von Tschernobyl entweichenden radioaktiven Wolke beteiligt. Wegen seiner höheren Verdampfungstemperatur wurde es mit dem Niederschlag schon früher ausgewaschen und gelangte nicht nach Bayern. Der Anteil an Strontium 90 im Boden hat sich nach dem Tschernobyl-GAU in Bayern nicht erhöht (HENKELMANN & HAISCH 1998). Die noch vorhandenen Strontium 90 Nuklide stammen daher nahezu ausschließlich von den Kernwaffenversuchen der frühen 60er Jahre des letzten Jahrhunderts. Da seit dieser Zeit oberirdisch keine Kernwaffenversuche mehr durchgeführt worden sind, ist die davon ausgehende Belastung rückläufig (BMU 1996). Strontium 90 wurde daher nicht ins Messprogramm aufgenommen.

Die längste Zerfallsdauer der Nuklide aus dem Tschernobyl-Fallout hat Cäsium 137 mit einer Halbwertszeit von ca. 30 Jahren. Mit 8 % Anteil an der emittierten „Rauchwolke“ hat Cäsium 137 auf Untersuchungsstandorten in Bayern einen Strahlungswert von bis zu 70.000 Bq/m<sup>2</sup> erreicht (BAYERISCHE STAATSMINISTERIEN FÜR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN UND FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN 1988). Damit ist es auch heute noch das bedeutendste radioaktive Element der anthropogen verursachten Belastung in Bayern (STRAHLENSCHUTZ-KOMMISSION 1986). Abbildung 3 zeigt die aus anthropogenen Quellen herrührenden Aktivitäten (Summe der Aktivitäten von Cäsium 137, Cäsium 134, Antimon 125, Cer 144 & Ruthenium 106), die auf den 8 Messflächen zwischen 1990 und 2003 bis zu einer Bodentiefe von 30 cm (Hauptwurzelraum der Pflanzen) erhoben wurden. Auf der Kreidesandfläche bei Bruck in der Opf. wurden mit Abstand die niedrigsten Aktivitäten gemessen. Im nördlichen Bayern gingen zu der Zeit als sich die radioaktiven Staubteilchen über Deutschland hinweg bewegten nur geringe Niederschläge nieder. Anders war es auf den weiter südlich befindlichen Flächen. Dort konnten weitaus höhere Radioaktivitäten gemessen werden. Die höchsten Aktivitäten sind auf der Fläche bei Miesbach festgestellt worden. Dort wurden Anfang der Neunziger Jahre des letzten Jahrhunderts bis über 50.000 Bq/m<sup>2</sup> gemessen. Ähnlich hohe Messwerte konnten am

Südostrand Bayerns in Freilassing bestimmt werden. Im Vergleich dazu lag die maximale Belastung mit Cäsium 137 in Österreich bei 200.000 Bq/m<sup>2</sup> (BOSSEW et al. 2001). In den Alpen, beschreibt POURCELOT et al. (2003), wurden Spitzenwerte von 300.000 Bq/m<sup>2</sup> gemessen. Dabei konnte eine positive Korrelation zwischen der durch den Fallout verursachten radioaktive Anreicherung und den vorhandenen Schneehöhen festgestellt werden.

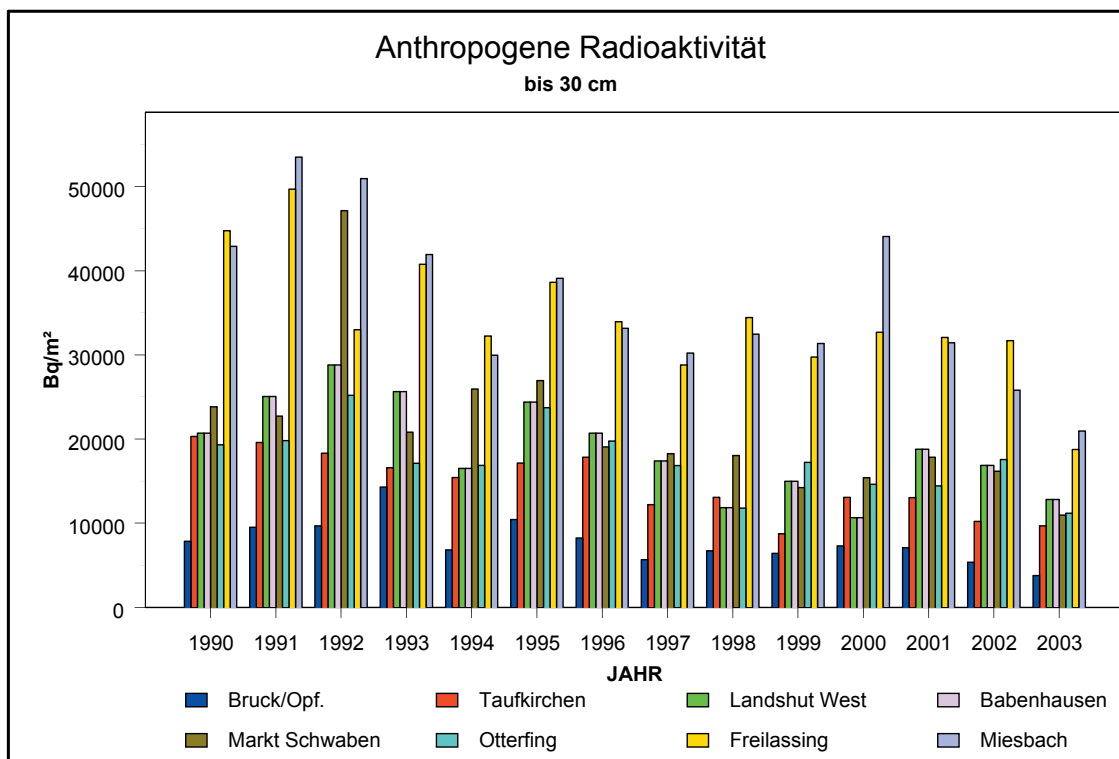


Abb. 3: Radioaktivitäten an den 8 Messflächen im Zeitraum 1990 bis 2003 mit anthropogenen Ursprung (Cs137, Cs134, Sb125, Cer144, Ru106).

Mit Ausnahme der „Freilassing Monitoringfläche“ sind die Aktivitäten auf den anderen 6 Messflächen deutlich niedriger als auf der Messfläche bei Miesbach. Gegenüber der Hintergrundbelastung, die von den Kernwaffentests der 60er Jahre herrührt, sind sie aber vergleichsweise hoch. Alle Flächen zeigen einen signifikant bestimmbarer Rückgang der Aktivitäten, der zum einen durch den radioaktiven Zerfall, zum anderen durch Nuklidverlagerungen in größere Bodentiefen zu erklären ist. Im Jahre 2003 sind zum Beispiel die Aktivitäten der Messfläche Miesbach auf ca. die Hälfte zurückgegangen. Ähnliche Rückgänge sind auch auf den anderen Flächen zu finden.

Hohe Aktivitäten sind nach dem Tschernobyl-Fallout im Jahre 1986 immer noch in den organischen Auflagen des Bodens zu finden (s. Abb. 4). Da Cäsium eine relativ starke Affinität zu organischen Kationenaustauscherplätzen, wurde der Großteil der eingetragenen Cäsiumnuklide von diesen „Adsorbern“ relativ gut fixiert.

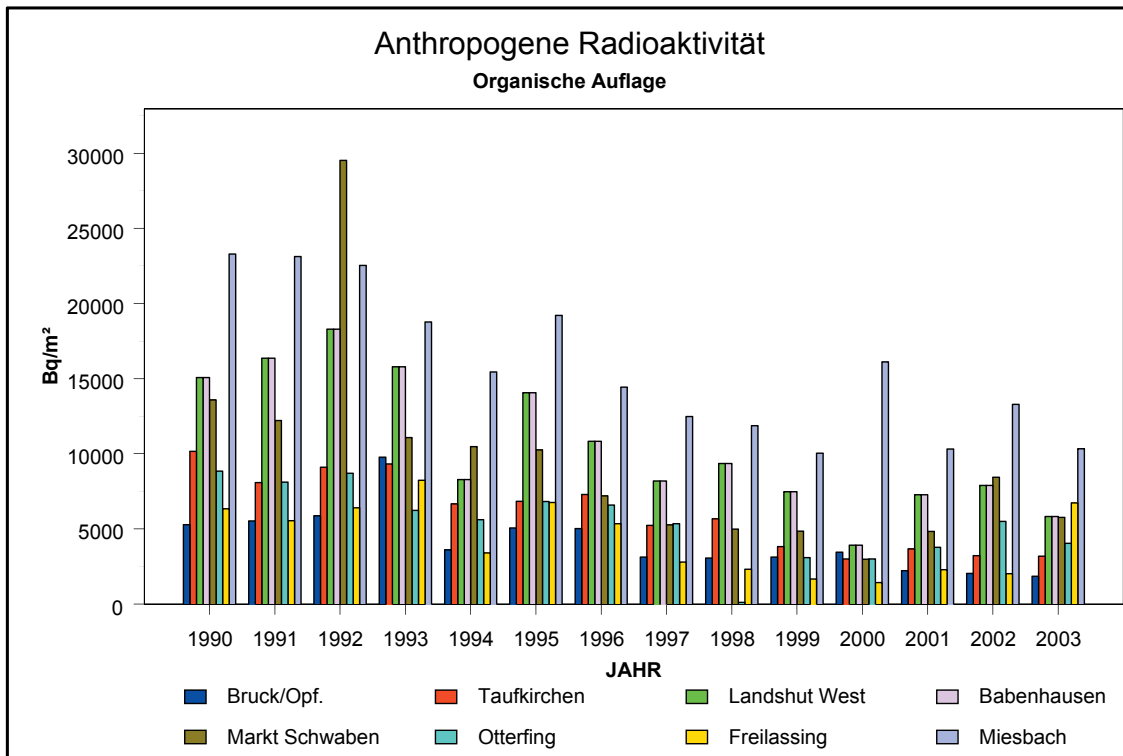


Abb. 4: Radioaktivitäten der organischen Auflagen an den 8 Messflächen im Zeitraum 1990 bis 2003 mit anthropogenem Ursprung (Cs137, Cs134, Sb125, Cer144, Ru106).

SENFT 1993 stellte einen hohen Transferfaktor von Cäsium 137 zu verschiedenen Pflanzen fest. Dies geht auch mit Ergebnissen von SOMBRE et al. (1994) konform, der die enge Beziehung vom essentiellen Pflanzennährstoff Kalium und Cäsium darstellt. Sind die Kaliumvorräte gering, wird von den Pflanzen oft Cäsium als Ersatznährstoff aufgenommen.

Danach nehmen die Pflanzen Cäsium aus dem Boden gut auf und lagern diese u. a. in die vegetativen Organe ein. Die Cäsiumnuklide gelangen so über die Anreicherung/Einlagerung in den Blättern bzw. Nadeln mit dem Laub- bzw. Nadelfall wieder in die organischen Auflagen und damit in den Boden. Der Entzug von Cäsium aus den obersten Bodenhorizonten und der Streuauflage durch die Nahrungsaufnahme der Pflanzen wird folglich über den neuerlichen Auftrag von belasteten Blättern und Nadeln zum einem großen Teil ausgeglichen. Daher nehmen die Aktivitäten in den humosen Schichten nur wenig ab.

Auch bei den organischen Auflagen sind derzeit die höchsten Konzentrationen auf der Fläche bei Miesbach festzustellen. Die „Freilassing Fläche“ ist in den organischen Auflagen im Vergleich dazu weitaus geringer belastet. Vergleichsweise hohe Werte sind dagegen auf den Flächen bei Landshut und Babenhausen zu finden. Die unterschiedliche Filterwirkung auf den einzelnen Flächen kann durch die unterschiedliche Zusammensetzung (Laub oder Nadeln) und/oder durch die unterschiedliche Mächtigkeit der organischen Auflagen bedingt sein. So ist die Fläche bei Freilassing mit Laubbäumen bestockt. Laub wird in der Regel viel besser und schneller zersetzt und in den Mineralboden eingearbeitet. Diese Einarbeitung kann anhand der im Vergleich zu den organischen Auflagen hohen Messwerten im Oberboden mit Hilfe der

Abbildung 5 aufgezeigt werden. Daher sind bei Freilassing mit Abstand die höchsten Radioaktivitäten im Oberboden (0-10 cm) zu finden. Mit Ausnahme der Flächen bei Freilassing (Laubwald) und Babenhausen (Mischwald) sind alle anderen mit Nadelbäumen bestockt.

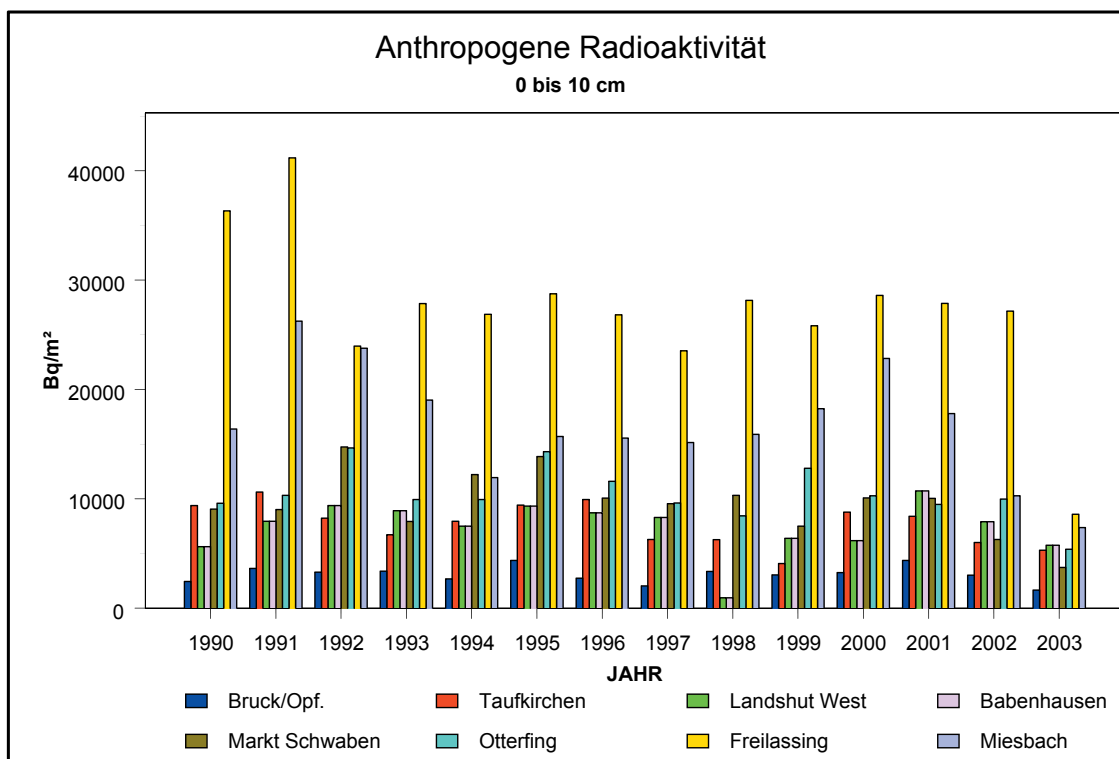


Abb. 5: Radioaktivitäten des Mineralbodens bis 10 cm Bodentiefe an den 8 Messflächen im Zeitraum 1990 bis 2003 mit anthropogenem Ursprung (Cs137, Cs134, Sb125, Cer144, Ru106).

Obwohl es sich um einen Nadelwaldstandort handelt, weist die „Miesbacher Fläche“ im Oberboden (0-10 cm) die zweithöchsten Aktivitäten des Messprogramms nach Freilassing auf. Dies kann aber auf die allgemein hohe radioaktive Belastung dieser Monitoringfläche zurückgeführt werden, wie die höchsten Aktivitäten in der organischen Auflage an diesem Standort belegen. Bei den anderen 6 Standorten des Bayerischen Landesamtes für Umwelt sind die Nuklidanteile in 0-10 cm Bodentiefe deutlich niedriger. Die geringsten Aktivitäten in dieser Bodentiefe sind auch wie bei den organischen Auflagen auf der Fläche bei Bruck i.d.Opf. zu finden (s. a. Tabellenanhang: T2-1 bis T2-8).

Ähnlich wie in der Bodentiefe von 0-10 cm zeigen sich auch in 10-30 cm die höchsten von anthropogen eingetragenen Nukliden herrührenden Aktivitäten auf den Flächen bei Miesbach und Freilassing (Abb. 6). Jedoch ist die Strahlungsdosis in dieser Bodenschicht deutlich niedriger als im darüber liegenden Boden. Die Verteilung der Maximal- und Minimalaktivitäten auf die einzelnen Messflächen entspricht nahezu der Verteilung in 0-10 cm Bodentiefe. In den nährstoffreichen Lößlehm Böden dieser Flächen sorgen Bodenwühler (Regenwürmer, Nagetiere etc.) für eine gute Durchmischung des Bodens. Dies erklärt auch den Transport einer gewissen Menge an radioaktiven Stoffen in Bodentiefen, die den Hauptwurzelraum der Pflanzen umfassen (ca. bis 30 cm Tiefe).

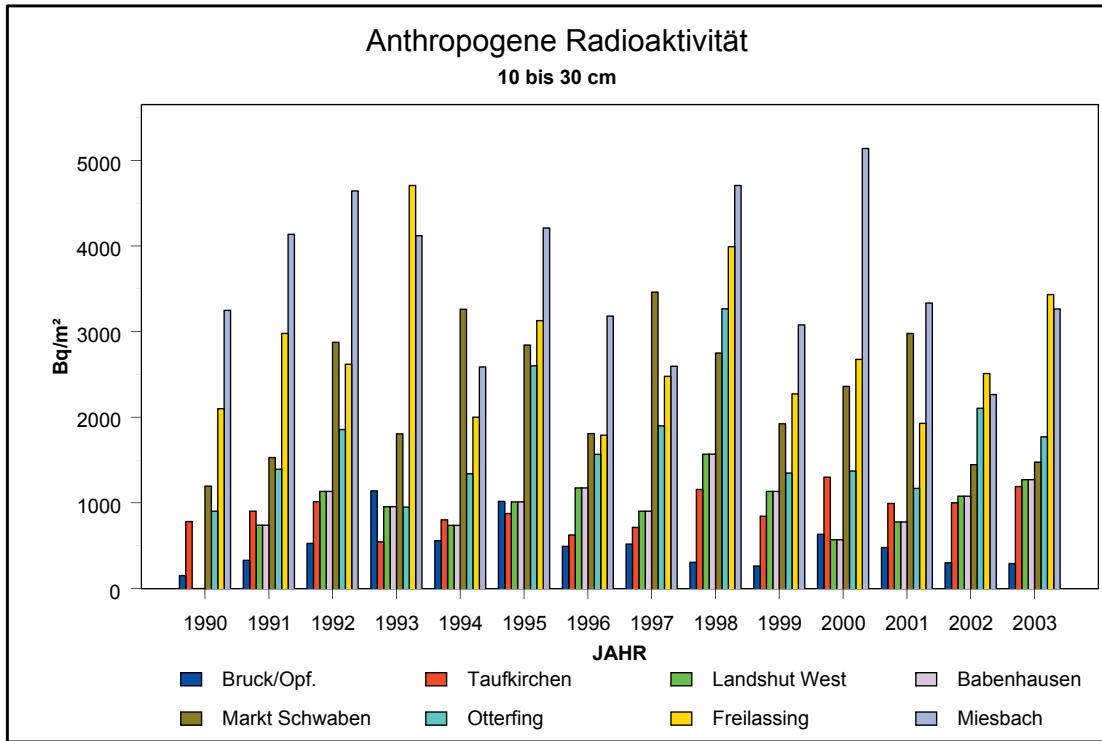


Abb. 6: Radioaktivitäten des Mineralbodens bis 30 cm Bodentiefe an den 8 Messflächen im Zeitraum 1990 bis 2003 mit anthropogenem Ursprung (Cs137, Cs134, Sb125, Cer144, Ru106).

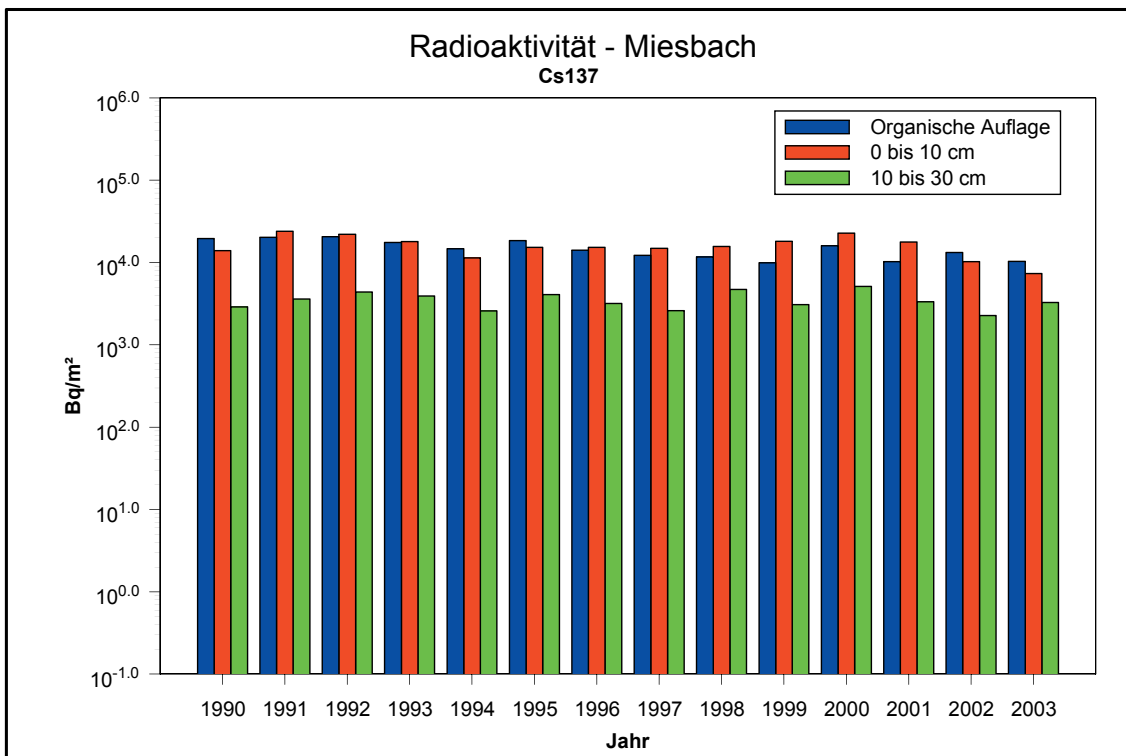


Abb. 7: Aktivitäten von Cs 137 in verschiedenen Tiefenstufen im Zeitrahmen 1990 bis 2003 auf der Fläche bei Miesbach (s. a. Anhang: A1-1 bis A1-8).

Abbildung 7 zeigt wie sich Cäsium 137 als das aktuell bedeutendste Radionuklid auf der Fläche bei Miesbach im Zeitrahmen von 1990 bis 2003 bezüglich seiner Aktivität in den verschiedenen Tiefenstufen verhalten hat. Mit bis knapp 50.000 Bq/m<sup>2</sup> (Abb. 7) im Jahre 1991 reichen die Aktivitäten, ausgehend von Cäsium 137, bis 30 cm Bodentiefe fast an die anthropogen induzierten Gesamtaktivitäten (vgl. Abb. 3) des selben Jahres heran. Anhand der Abbildung ist deutlich zu erkennen, dass der überwiegende Teil der Aktivitäten noch in der organischen Auflage und in den obersten 10 cm des Mineralbodens zu finden ist. Zwischen 10 und 30 cm Bodentiefe ist der Radionuklidanteil an Radiocäsium 137 im Vergleich zu den darüber liegenden Bodensubstraten schon geringer. Im Zeitraum von 1990 bis 2003 ist auch eine Abnahme der Aktivitäten in den organischen Auflagen und 0-10 cm Bodentiefe zu beobachten (Abb. 7), die den Berechnungen nach dem Zerfallsgesetz der Radioaktivität entspricht (s. Kap. 3.5).

Cäsium 134 ist im Vergleich zum Cäsium 137 in deutlich geringeren Mengen über den Tschernobyl-Fallout in die Böden eingetragen worden. Wegen der weitaus geringeren Halbwertszeit von Cäsium 134 ist die Abnahme der Aktivitäten viel schneller erfolgt als beim Cäsium 137. Seit 1997 lagen die Cäsium 134-Werte in 10-30 cm Tiefe (s. Abb. 8) auf der relativ hoch belasteten Fläche bei Miesbach nur noch unter der Nachweisgrenze. Auch in den organischen Auflagen und im Oberboden unterschritten die Werte mit der Jahrtausendwende 100 Bq/m<sup>2</sup>. Im Jahr 2003 konnten nur noch in den organischen Auflagen Aktivitäten von Cäsium 134 bestimmt werden. Antimon 125 konnte auf der Fläche bei Miesbach bis 1998 nachgewiesen werden, während Ruthenium 106 1991 zum letzten Mal Werte über der Nachweisgrenze aufwies.

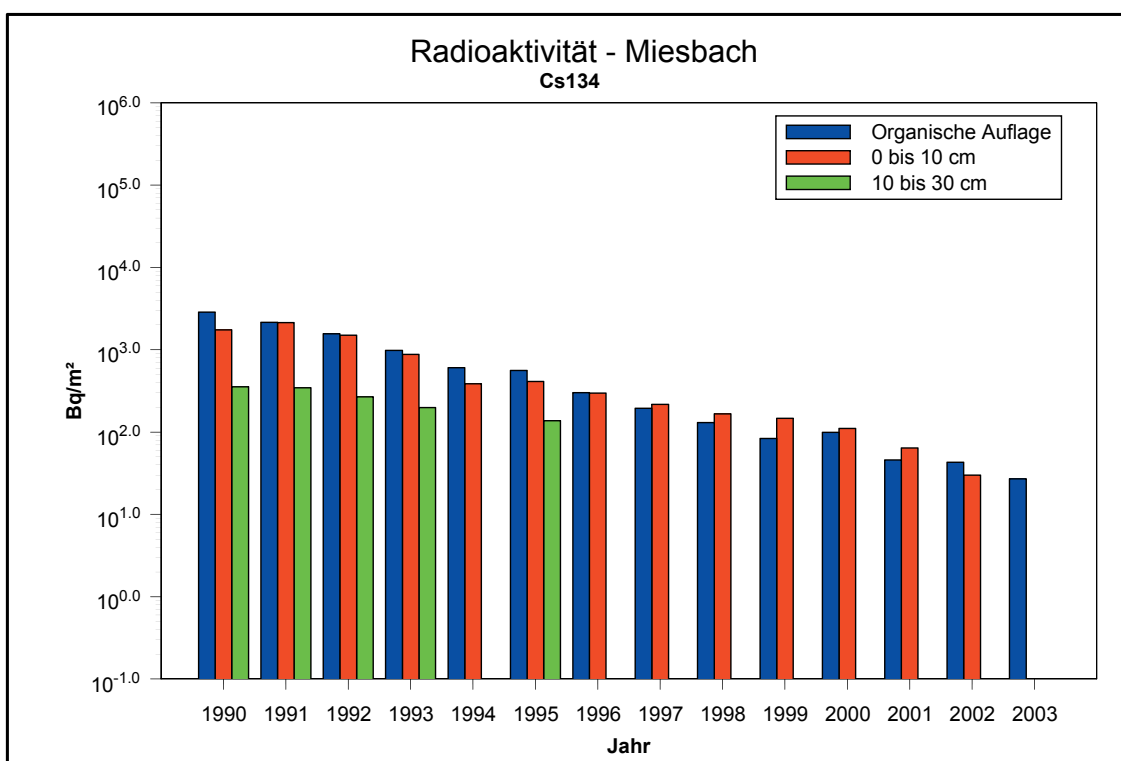


Abb. 8: Summenparameter der Aktivitäten von Cs 134 auf der Fläche Miesbach.



### 3.2 Verhalten von Radionukliden in verschiedenen Tiefenstufen

Der Eintrag von radioaktiven Schadstoffen über die Atmosphäre in den Boden bewirkt zuerst einen Anstieg der Aktivitäten in der obersten Bodenschicht. Auf den 8 Waldstandorten, die vom Bayerischen Landesamt für Umwelt (ehemals Bayerisches Geologisches Landesamt) betreut werden, wurden die meisten Radionuklide von organischen Austauschern und adsorbiert. STREBL et al. (1996) konnte eine signifikante Beziehung zwischen der Höhe der Kationenaustauschkapazität und dem Anteil an organischer Substanz aufzeigen. Je größer der Anteil an organischer Substanz in einem Bodensubstrat ist, um so höher ist die Kationenaustauschkapazität und um so mehr Radiocäsium kann angelagert werden.

Über Bioturbation (Wühltätigkeit von Lebewesen), Pedoturbation (Windwürfe), Kryoturbation (Frosthub) und zu einem geringen Anteil über das Bodenwasser gelangte ein gewisser Anteil der eingetragenen Radionuklidmenge in tiefer liegende Bodenschichten. Dadurch gibt es einen klaren Gradienten zwischen der an der Erdoberfläche auftretenden durch anthropogenen Eintrag verursachten Aktivität und der in größerer Bodentiefe messbaren Strahlung. Dies kann beispielhaft mit den auf der Fläche bei Miesbach erhobenen Werten aufgezeigt werden (s. Abb. 9). SENFT (1993) beschreibt zum Beispiel eine Tiefenverteilung von Radiocäsium aus dem Tschernobyl-Fallout im Boden unter Nadelwald wie folgt: 84 % des Radiocäsiums ist in den organischen Auflagen adsorbiert, 13 % im Mineralboden in 0-5 cm Tiefe, 2,2 % in 5-10 cm, 0,3 % in 10-20 cm und 0,1 % in 20-30 cm. Bei Laubwaldnutzung ist der Humus schon stärker im Mineralboden eingearbeitet. Damit verschiebt sich die %-Verteilung an Radiocäsium in Richtung Mineralboden und damit auch in Richtung größerer Bodentiefe.

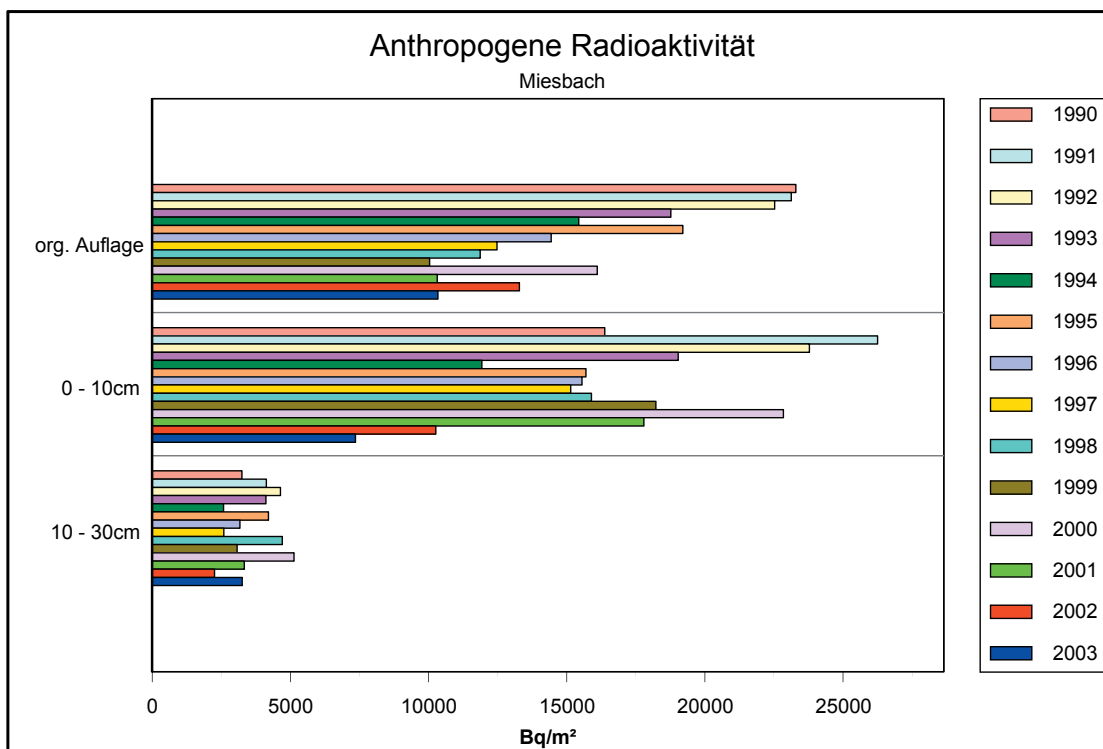


Abb. 9: Vertikale Verteilung der anthropogen induzierten Radioaktivität (Cs137, Cs134, Sb125, Ru106, Ce 144) im Boden am Beispiel Miesbach.

Der Unterschied zwischen den Aktivitäten anthropogenem Ursprungs in den verschiedenen Tiefenstufen hat aber nach dem Tschernobyl-Input abgenommen. So sind die Aktivitäten in den organischen Auflagen und im humosen Oberbodenbereich (0-10 cm Bodentiefe) generell betrachtet deutlich rückläufig, während sie im humusfreien Mineralboden weitaus langsamer abnehmen.

Anders verhält es sich mit den geogen im Gestein vorhandenen Radionukliden. Diese Nuklide (gemessen K40, Ac228, Ra226; auch U238, Th232 etc.) sorgen unabhängig von Tschernobyl-Fallout, für eine ubiquitär ständig vorhandene gesteinsabhängige Hintergrundbelastung. So ist die geogen bedingte Strahlungsbelastung in Böden des Grundgebirges meist am höchsten, da die strahlenden Elemente bevorzugt an magmatischen Gesteinen gebunden sind. Dies kann auch auf den Messflächen beobachtet werden. So differiert die geogen bedingte Strahlungsintensität zwischen den Monitoringstandorten bis zum 5 fachen.

Der wichtigste Vertreter, der auf den Untersuchungsflächen gemessenen, geogenen Parameter, ist wegen seiner Strahlungsintensität das Nuklid Kalium 40. Die Strahlungsintensität übersteigt die von Cäsium 137 auf den 8 Messflächen zum Teil deutlich. Jedoch sind in den organischen Auflagen nur geringe geogen verursachte Nuklidmengen zu finden. Dies kann anhand der Aktivitäten auf der Miesbacher Fläche beobachtet werden (s. Abb. 10).

Auch im humosen Mineralboden (Oberboden) erreichen die Werte wegen der Verdünnung durch die organische Substanz nur ca. 30 % der im humusfreien Mineralboden (Unterboden)

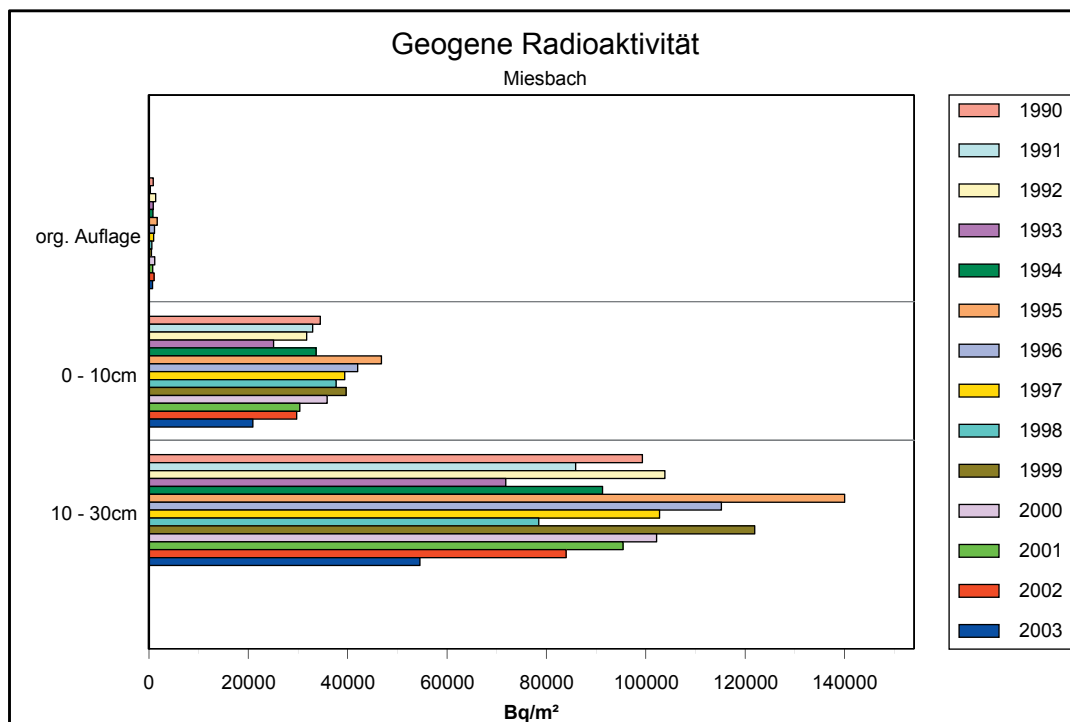


Abb. 10: Vertikale Verteilung der geogen vorhandenen Radioaktivität (Summe K40, Ac228, Ra226) im Boden am Beispiel Miesbach.

gemessenen Werte. Die „geogenen Nuklide“ sind in der Regel relativ fest im Kristallgitter des Ausgangsgesteines eingebaut. Über die Pflanzen mit der sogenannten „Vegetationspumpe“ gelangt daher nur ein verhältnismäßig geringer Anteil geogen vorhandener Nuklide aus dem Mineralboden in die Streu. So liegt zum Beispiel auf der Fläche bei Miesbach die Aktivität in der Streu meist unter einem Hundertstel des zugehörigen Wertes im humusfreien Mineralboden (s. Abb. 10).

### 3.3 Tiefenverlagerung von Radionukliden

Eine wichtige Frage bei der Belastung der Böden durch Schadstoffe ist immer deren Eindringtiefe in den Boden. Wie in Kapitel 3.2 erläutert wird der Großteil der auf den Boden immittierten Radionuklide in der organischen Substanz aus dem Niederschlag ausgefiltert. Wobei die Intensität des Niederschlages auch als Einflussfaktor auf die Eindringtiefe wirkt. SCHIMMACK et al. (1994) konnten aufzeigen, dass bei einem moderaten Regenereignis nahezu alle eingetragenen Radionuklide zuerst in den organischen Auflagen fixiert werden. Bei Starkregenereignissen hingegen perkolieren 30 % der Nuklide bis zu einer Tiefe von 14 cm.

Der hohe Anteil von Cs 137 in den organischen Auflagen bedeutet in erster Linie eine Belastung von Pflanzen, die aus der Humusaufgabe ihre Nährstoffe beziehen. Dies sind im Wald vor allem Pilze, die z.T. als Speisepilze vom Menschen zur Ernährung genutzt werden. Wobei es bei der Vielzahl der Pilzsorten deutliche Unterschiede in der Belastung gibt. Untersuchungen von KAMMERER et al. (1994) belegen eine Spannweite der Belastung von 2.000 bis 15.000 Bq/kg bei verschiedenen Pilzsorten. Auch Tiere wie z. B. Wildschweine, die in der Streu und im humosen Oberboden nach Nahrung suchen, nehmen weitaus größere Mengen an anthropogen in den Boden gelangten radioaktiven Stoffen auf als Wildtiere, die sich direkt von Pflanzenblättern ernähren wie z. B. das Rotwild. Gelangen nun radioaktive Stoffe in den Mineralboden, so besteht vorwiegend im Bereich des Hauptwurzelraumes (bis 30 cm Bodentiefe) die Möglichkeit, dass Pflanzen diese Stoffe aufnehmen. Über den Verzehr kommen diese Pflanzen dann schließlich in den Nahrungskreislauf des Menschen (Freiland: alle Nutzpflanzen; Wald: Heidel- und Preiselbeere sowie Blätter über den Pfad Wildtiere). Ist das Bodensubstrat arm an pufferfähigen Substanzen und die grobe Bodenkörnung ermöglicht hohe Sickerwasserraten (Sande), dann muss sogar mit einem Transport der radioaktiven Stoffe bis ins Grundwasser gerechnet werden. Beim Vergleich von verschiedenen Radionukliden konnte eine unterschiedliche Migrationsintensität beobachtet werden. Strontium und das in bayerischen Böden zur Zeit relevante Cäsium verlagern sich aber nur sehr langsam in größere Bodentiefen (BOSSEW 2004).

Sande kommen nur auf der Fläche bei Bruck i.d. Opf. vor (s. Tab. 1). Die Belastung ist dort jedoch nicht so hoch und die Kreidesande verfügen in der Regel über einen genügend großen Anteil an adsorptiv wirkenden Substanzen. Diese verhindern eine intensive Migration von radioaktiven Stoffen bis ins Grundwasser. Kontinuierliche Messungen des BAYERISCHEN LANDESAMTES FÜR UMWELTSCHUTZ (1999) zeigen bayernweit nur eine unmerkliche Belastung des Grund- und Oberflächenwassers an. Dies bekräftigt die Annahme einer geringen Verlagerung von künstlichen Nukliden mit dem Sickerwasser. Anders verhält es sich beim Transport von Bodenteilchen. So ergaben Untersuchungen von Schwebstoffen in Gewässern einen erhöhten Anteil an Nukliden. Im Starnberger See wurden bis zu 1310 Bq/kg in Schwebstoffproben gemessen. In der Naab, die parallel der Ostgrenze Bayerns verläuft, konnte eine Aktivität von 186 Bq/kg im Schwebmaterial festgestellt werden (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ 1999). Untersuchungen von VRAY ET AL. (2003) ergaben einen engen Zusammenhang zwischen Nachlieferung von radioaktiven Schwebstoffen in die Vorfluter und der Zeit. So halbierten sich die Cäsium 137 Aktivitäten in einem Zeitraum von 4-6 Jahren seit 1987 in untersuchten französischen Flüssen.

Bei der Fläche nahe Miesbach (s. Abb. 11), deren Bodensolum ähnlich wie bei den anderen 6 Flächen aus Lößlehmsubstrat aufgebaut ist, finden sich ähnliche Verteilungsmuster von Cs 137 in der Tiefe zwischen den Jahren 1990 und 2003. Die anfänglich hohen Aktivitäten in den organischen Auflagen und im humosen Oberboden haben sich bis zum Jahre 2003 halbiert, während sich in 10-30 cm Tiefe die Anzahl der anthropogen eingetragenen Nuklide bei allen Standorten signifikant erhöht hat. Der Großteil der Abnahme der Strahlungsintensität ist durch den Zerfallsprozess zu begründen. Dass im humusfreien Mineralboden (10-30 cm) die Strahlungsaktivität gering angestiegen ist, dürfte durch ein Einmischen von Bodensubstrat aus darüber liegenden Bodenmaterial zu erklären sein. Am Beispiel der Miesbacherfläche wäre dazu ein Austausch von ca. 2 % des Bodensubstrats zwischen der Tiefe von 0-10 cm und 10-30 cm notwendig. Dieses höher belastete Bodenmaterial dringt wahrscheinlich durch Bioturbation, Peloturbation oder Kryoturbation in diesen Tiefenbereich ein (s. a. VÖLKELE 2002). Wegen dieser Vermischungsprozesse von nukleidarmen mit nukleidreicherem Bodenmaterial wird die Abnahme der Aktivität durch radioaktiven Zerfall in 10-30 cm Bodentiefe ausgeglichen. Nur zu einem äußerst geringen Anteil dürfte dieser Ausgleich durch eine Zufuhr von radioaktiven Nukliden über das Sickerwasser hervorgerufen worden sein (BOSSEW 2004). Der Anteil an austauschfähigen Adsorberplätzen ist in diesen lößlehmbeeinflussten, humusreichen organischen Auflagen und Oberböden nämlich relativ hoch. Dies führt zu einer guten Pufferung der immittierten Nuklide und einer geringen Freisetzung für einen eventuellen Abtransport mit dem Sickerwasser.

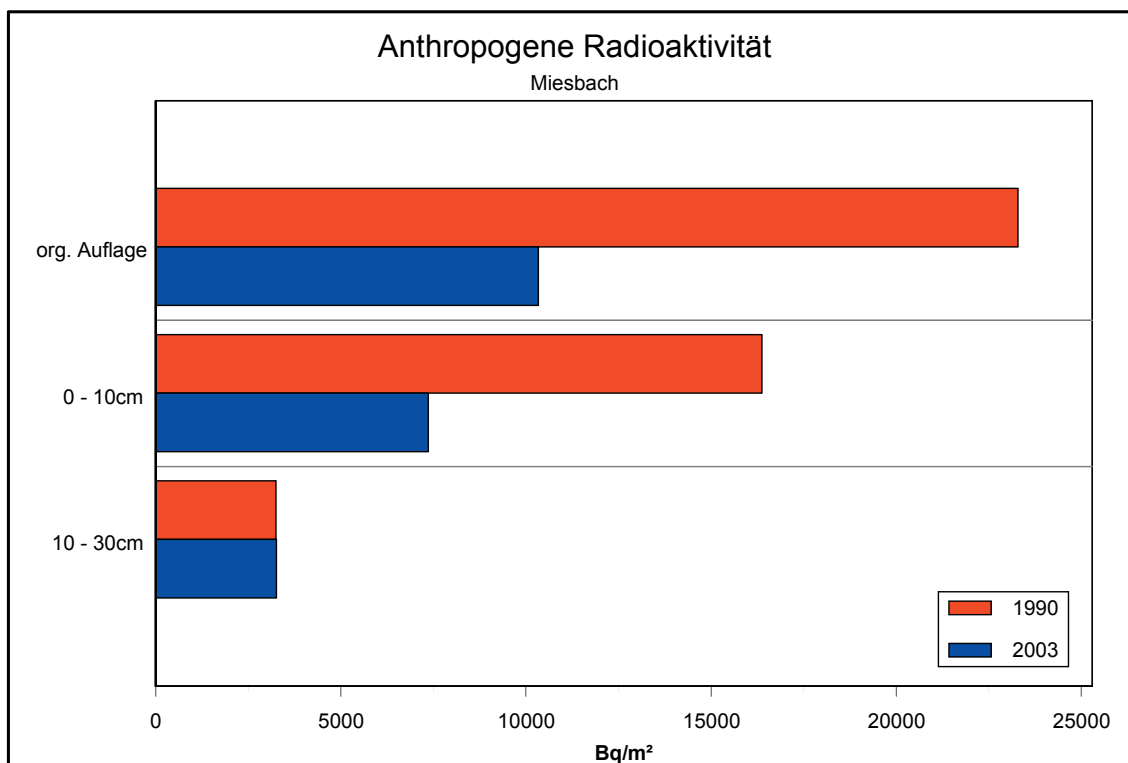


Abb. 11: Darstellung der vertikalen Veränderung der anthropogen ausgelösten Radioaktivität 1990 im Vergleich zu 2003 am Beispiel der Fläche in Miesbach (Cs137, Cs134, Sb125, Cer144, Ru106) (s. a. Anhang: A2-1 bis A2-8).

### 3.4 Intensität der radioaktiven Strahlung in den Böden

Auf geogenem (Magmatismus) oder anthropogenem Weg (Tschernobyl, Kernwaffentests) ins Bodensubstrat gelangte Nuklide sind verantwortlich für die vom Boden ausgehende Strahlung. Wie Abbildung 12 zeigt geht die größte Strahlendosis der untersuchten Radionuklide von Kalium 40 aus. Die Aktivitäten ausgelöst durch den Zerfall von Kalium 40 bewegen sich auf den Messflächen zwischen 35.000 und 170.000 Bq/m<sup>2</sup>. Am Standort bei Miesbach wurden Werte um 50.000 Bq/m<sup>2</sup> bestimmt. Aber auch das „geogene“ Radium 226 trägt einen merklichen Teil zur vom Boden ausgehenden Strahlung bei. Im humusfreien Mineralboden reicht die Spannweite der erhobenen Werte zwischen 6.000 und 52.000 Bq/m<sup>2</sup>. Hier wurde die höchste Strahlungsdosis auf der „Miesbacher Fläche“ festgestellt. Deutlich niedriger, aber nicht vernachlässigbar, ist die Strahlung, die von Actinium 228 (geogen) ausgeht. Die niedrigsten Aktivitäten im humusfreien Mineralboden liegen bei diesem Nuklid bei ca. 6.000 Bq/m<sup>2</sup>. Auf der Fläche bei Landshut hingegen konnten bis zu 13.000 Bq/m<sup>2</sup> festgestellt werden (s. a. Tabellenanhang: T1-1 bis T1-3).

Während Kalium 40 keiner Zerfallsreihe angehört, ist Radium 226 Glied der Uran-Radium-Zerfallsreihe und Actinium 228 Teil der Thorium-Zerfallsreihe. Da Kalium 40 mit 1,3 Milliarden Jahren Halbwertszeit nur sehr langsam zerfällt, ist die Abnahme der Aktivität in Abb. 12 messtechnisch nicht nachweisbar. Radium 226 mit einer Halbwertszeit von 1.600 Jahren und Actinium 228 mit einer Halbwertszeit von 6,15 Stunden zerfallen deutlich schneller. Als Teil einer Zerfallsreihe werden aber immer wieder neue Nuklide nachgebildet. Daher nehmen auch die Aktivitäten von Radium 226 und Actinium 228 kaum ab. Weitere gesteinsabhängig in größeren Mengen vorkommende Radionuklide sind Uran 238, Thorium 232 und Rn 222. Sie sind aber in der Messreihe nicht enthalten. Die geogen entstandenen Radionuklide wurden vor allem auch ins Messprogramm aufgenommen, weil so die Kontinuität der Messreihen geprüft werden konnte.

Anders verhalten sich die anthropogen ins Bodensubstrat eingebrachten Nuklide. Sie haben weitaus kürzere Halbwertszeiten als die geogen im Boden vorhandenen Nuklide und werden nicht im Rahmen einer Zerfallsreihe neu gebildet. Außerdem erfolgt kaum eine Nachlieferung aus der Atmosphäre. So sind nach Untersuchungen von ROSNER & WINKLER (2001) die mittleren Konzentrationen von Cäsium 137 in der Luft im Zeitraum von 1986 bis 1998 von 133 auf 2,8 µBq/m<sup>3</sup> zurück gegangen. Folglich nehmen alle auf anthropogenem Wege in den Boden gelangten Radionuklide in ihren Aktivitäten ab. Cäsium 137 trägt als einziges anthropogen eingetragene Nuklid entscheidend zur Gesamtbelastung des Bodens bei. Doch auch Cäsium 137 nimmt kontinuierlich ab. Die Abnahme seiner Radioaktivität spiegelt Abbildung 12 deutlich wieder. Mit Hilfe statistischer Verfahren konnte nachgewiesen werden, dass diese Abnahme signifikant ist. Es wurde hierzu ein nicht parametrischer Test verwendet (Wilcoxon), da keine Normalverteilung der Messwerte bestand. Dies war zu erwarten, da der radioaktive Niederschlag im Süden Bayerns stärker war als im Norden. Um vieles deutlicher ist die Abnahme der Strahlungsintensität bei Cäsium 134 und Antimon 125, die wegen ihrer kurzen Halbwertszeit nur noch einen kleinen bzw. überhaupt keinen Anteil an der Strahlungsintensität auf den Messflächen haben. Auch diese Abnahme ist signifikant. Da die normalisierte Strahlenbelastung an den einzelnen Standorten (prozentuale Veränderung seit Messbeginn) bis zum Jahr 2000 eine

annähernde Normalverteilung aufweist, wurde für die einzelnen Standorte zusätzlich zum Wilcoxon-Test der höher zu bewertende T-Test für gepaarte Stichproben angewandt. Das berechnete Signifikanzniveau unterstreicht die Befunde des Wilcoxon-Tests.

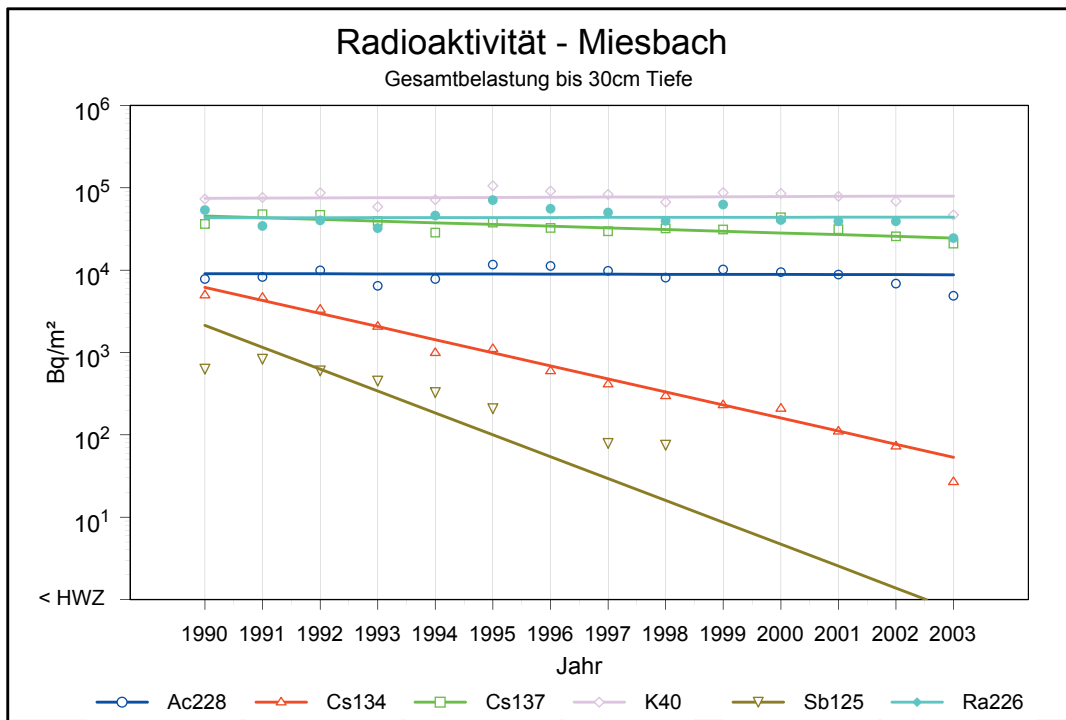


Abb. 12: Radioaktivitäten verschiedener Nuklide im Vergleich – dargestellt am Beispiel der Fläche bei Miesbach (s. a. Anhang: A3-1 bis A3-8).

### 3.5 Vergleich von Erwartungswerten und reell gemessenen Daten

Der radioaktive Zerfall wird mit dem Zerfallsgesetz der Radioaktivität beschrieben (s. Formel).

Formel des Zerfallsgesetzes:

$$N(t) = N_0 * e^{-\frac{\ln 2 * t}{T}}$$

$N(t)$  = Zahl der im Zeitpunkt  $t$  unzerfallenen Atome

$N_0$  = Zahl der im Zeitpunkt  $t_0 = 0$  unzerfallenen Atome

$e$  = Eulersche Zahl

$T$  = Halbwertszeit

$t$  = verstrichene Zeit nach dem Zeitpunkt  $t_0 = 0$

Entsprechend dieser Formel nehmen alle radioaktiven Stoffe im Bodensubstrat, die nicht Teil einer Zerfallsreihe sind, ab (s. Abb. 13). Da diese Abnahme einer Exponentialfunktion unterliegt, erfolgt die Abnahme zuerst rascher, gleicht sich aber dem Nullwert im Laufe der Zeit immer mehr an. Dieser Grad des Angleichens ist bei den Nukliden Cäsium 134, Antimon 125 und Ruthenium 106 fast oder schon ganz erreicht. Bei dem langlebigeren Nuklid Cäsium 137 ist auch 2005 noch eine deutliche Abnahme gegenüber 2004 zu erwarten (s. Abb. 13).

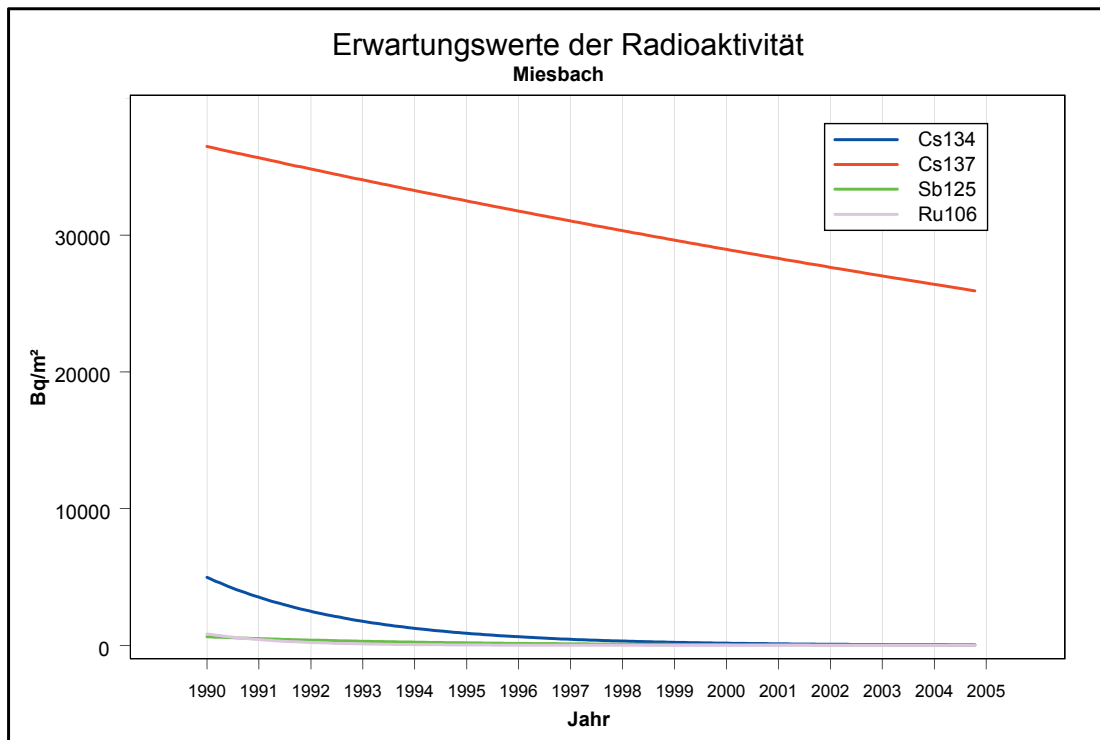


Abb. 13: Erwartungswerte verschiedener Nuklide berechnet nach dem Zerfallsgesetz der Radioaktivität.



Werden die mit Hilfe des Zerfallsgesetzes errechneten Erwartungswerte mit den jährlich real gemessenen Werte verglichen, so zeigt sich am Beispiel von Cäsium 137 keine gleichmäßige Abnahme der Aktivitäten. Die Diagrammlinien verlaufen entsprechend der tatsächlich gemessenen Werte in einem „Zick-Zack-Kurs“ (Abb.14). Das heißt, dass bei nachfolgenden Beprobungen oft auch höhere Aktivitäten gemessen wurden. Dies hat verschiedene Gründe:

- Unterschiede beim Probenmaterial. So kann trotz Mischbeprobung bei verschiedenen Beprobungsaktionen wegen der Variabilität der Horizontmächtigkeiten der Humus- bzw. Mineralbodenprobenanteil in der Probe schwanken. Dies kann am besten anhand der Abbildung 15 erläutert werden. Dort sind die Faktoren zur Umrechnung der gemessenen Aktivitäten pro Gewichtseinheit (kg) in Aktivitäten pro Flächeneinheit ( $m^2$ ) dargestellt. Diese Umrechnungsfaktoren werden durch die Gewichtsermittlung von Probenmaterial auf einer definierten Fläche bestimmt. In Abbildung 15 ist die Schwankung der Umrechnungsfaktoren deutlich zu erkennen. Werden die Aktivitäten am Beispiel der Fläche bei Freilassing ab dem Jahr 2002 (Abb. 14) mit den Umrechnungsfaktoren (Abb. 15) verglichen, so zeigt sich eine klare Übereinstimmung zwischen Abnahme der Aktivitäten pro Flächeneinheit und kleineren Umrechnungsfaktoren in den Mineralbodenhorizonten ab dem Jahr 2003. Der Umrechnungsfaktor in den organischen Auflagen ist bereits ab dem Jahr 2002 etwas erhöht. Diese Veränderungen bei den Umrechnungsfaktoren deuten zum einen auf einen verstärkten Anteil an Mineralbodenmaterial in der Probe hin, die aus der organischen Auflage entnommen wurde und zum anderen auf einen erhöhten Anteil an organischer Substanz in der Mineralbodenprobe hin.
- Unterschiedliche Einflüsse durch den Stammabfluss. So können bei einer Beprobungsaktion mehr Probenahmepunkte in der Nähe von Bäumen liegen als bei der vorherigen bzw. umgekehrt. Im Einflussbereich von Bäumen sind die Aktivitäten bis zum 30 fachen höher (FÖRSTER & SCHIMMACK 1992) im Vergleich zu Freilandstandorten. Welchen immensen Einfluss der Stammabfluss hat, zeigen auch Untersuchungen von SCHIMMACK et al. (1993), der an einem Buchenstandort einen bis zu 6 fach höheren Eintrag an Radiocäsium über den Stammabfluss im Vergleich zum direkten Niederschlag auf den Boden zwischen den Kronendächern der Bäume feststellen konnte.

Mit Hilfe der gemessenen Aktivitäten und der dazugehörigen verstrichenen Zeit wurde eine Regression berechnet. Dabei konnte festgestellt werden, dass die Cäsium 137-Werte hochsignifikant an eine Exponentialkurve angepasst werden können (s. a. Abb. 14). Ähnlich gelingt dies mit Cäsium 134. Bei Antimon 125 ist dies nur noch annäherungsweise durchführbar, während die Werte von Ruthenium 106 keine Kurvenanpassung mit einer Exponentialfunktion ermöglichen.

Die angepasste Kurve stimmt im dargestellten Beispiel der Fläche bei Freilassing (Abb. 14) bis in das Jahr 2002 sehr gut mit der mit dem Zerfallsgesetz errechneten „Erwartungskurve“ überein. Seit 2003 sinken die Messwerte schneller als es entsprechend dem Zerfallsgesetz zu erwarten wäre (Abb. 14). Ähnlich starke Abnahmen im Jahr 2003 sind auch bei den Messwerten der anderen Messflächen zu erkennen. Dies deutet wie oben beschrieben sehr stark auf Einflüsse, die durch die Probenahme hervorgerufen werden, hin.

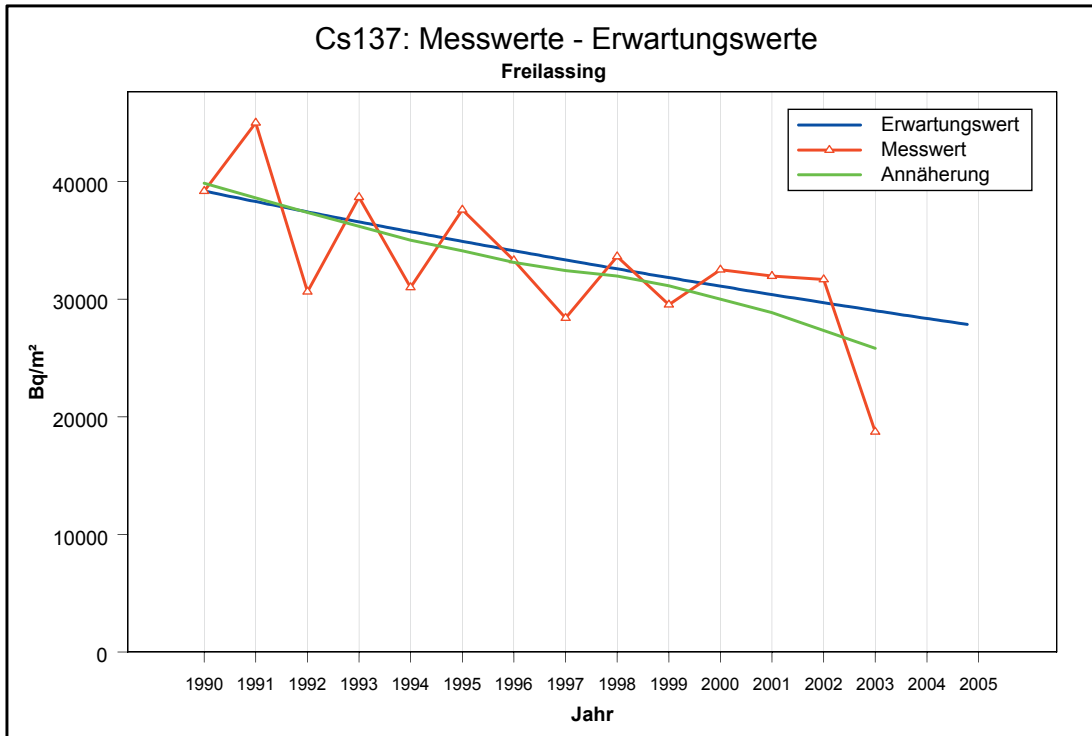


Abb. 14: Erwartungswerte im Vergleich mit den reell gemessenen Radioaktivitäten von 1990 bis 2003 am Beispiel der Fläche bei Freilassing (s. a. Anhang: A4-1 bis A4-8).

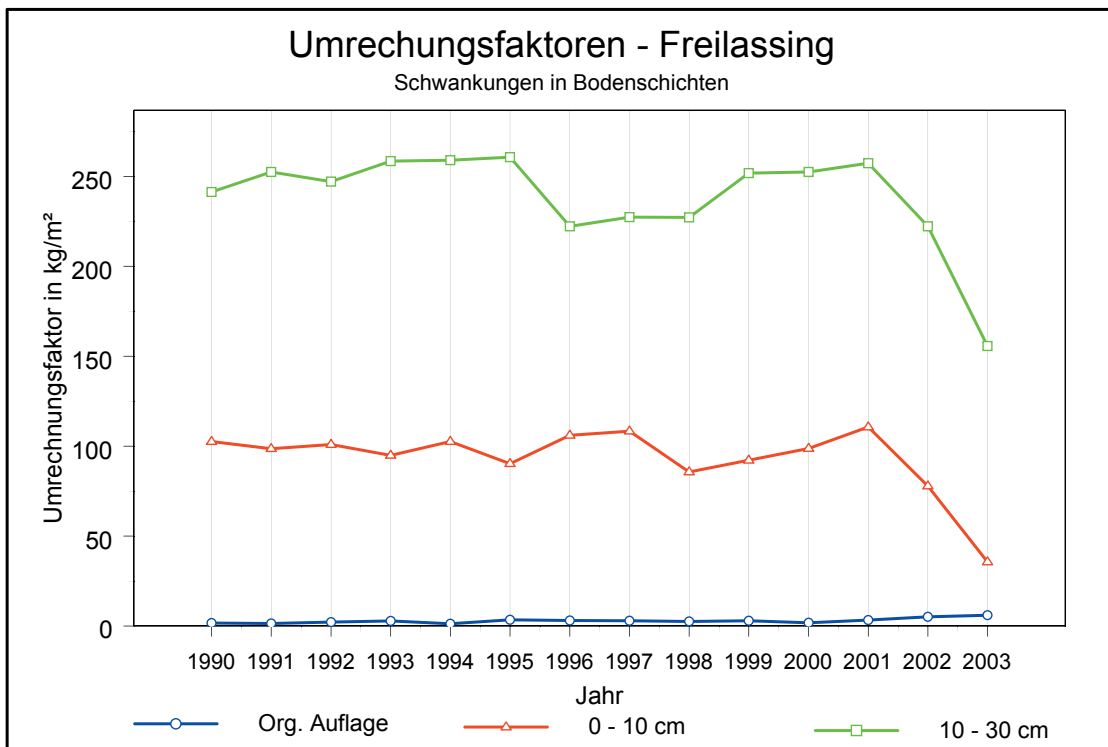


Abb. 15: Umrechnungsfaktoren von Radioaktivitäten pro Gewichtseinheit (kg) auf Radioaktivitäten pro Flächeneinheit (m²) von 1990 bis 2003 am Beispiel der Fläche bei Freilassing.

## 4 Zusammenfassung und Ausblick

Im Rahmen des Strahlenschutzvorsorgegesetzes wird seit 1990 bayernweit die Radioaktivität in der Luft, in Lebensmitteln und im Boden nach dem Tschernobyl-Ereignis überwacht. Koordiniert wird diese Überwachung von der Interministeriellen Arbeitsgruppe zum Strahlenschutzvorsorgegesetz, die unter Leitung des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz steht.

Das Bayerische Geologische Landesamt (jetzt Bayerisches Landesamt für Umwelt) hat hierbei das Monitoring von Waldböden an 8 Standorten übernommen. Hierzu werden seit 1990 jährlich Proben nach einem bestimmten Schema flächenbezogen entnommen und vom Strahlenlabor des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz gemessen. Der Vergleich der Ergebnisse aus den jährlichen Untersuchungsaktionen zwischen 1990 und 2003 lassen nachfolgende Schlussfolgerungen zu:

- Die Strahlenbelastung in den Waldböden hat wegen der geringen Halbwertszeit vieler im Zuge des Tschernobyl-Fallouts immittierten Nuklide in den ersten Wochen nach dem Ereignis stark abgenommen.
- Über einen Zeitraum von 5 bis 12 Jahren haben noch Antimon 125, Cer 144 und Ruthenium 106 zur anthropogen verursachten Strahlenbelastung beigetragen. Im Jahre 2003 können aber nur noch die Radionuklide Cäsium 137 und Cäsium 134 aus dem Falloutmaterial im Boden festgestellt werden. Während Cäsium 134 wegen der vergleichsweise geringen Halbwertszeit von 2,1 Jahren bald nicht mehr messbar sein wird, ist die Cäsium 137-Strahlung noch ein bedeutender Faktor in der Strahlenbelastung unserer Böden. Sie hat bislang seit der Immission im Jahre 1986 durchschnittlich um etwas mehr als ein Viertel auf den Untersuchungsflächen abgenommen.
- Der Großteil der Cäsium 137-Nuklide befindet sich noch in den organischen Auflagen und im humushaltigen Oberboden. Dadurch besteht vor allem für Pflanzen (z. B. Pilze) und Tiere (z. B. Wildschweine), die in diesem Bodenbereich Nahrung aufnehmen, immer noch ein erhöhtes Belastungsrisiko. Eine Tiefenverlagerung, der auf den Boden aufgetragenen Cäsium 137-Nuklide, konnte in einem geringen Umfang festgestellt werden. Da die untersuchten Waldbodenstandorte fast durchweg über einen hohen Anteil an pufferfähigen Bodensubstraten verfügen, findet eine Migration von Nukliden in tiefere Bodenschichten über Verlagerungsprozesse mit dem Sickerwasser nur sehr beschränkt statt. Anders könnte dies natürlich auf sehr „adsorberarmen“ Sandstandorten sein. Dass im humusfreien Mineralboden (10-30 cm Bodentiefe) die Radioaktivität verursacht durch Cäsium 137 nicht abgenommen, sondern auf den Flächen sogar zugenommen hat, dürfte vor allem mit Durchmischungsvorgängen im Bodensubstrat (Bioturbation, Peloturbation, Kryoturbation) im Hauptwurzelraum zusammenhängen.

Die Untersuchungen des Bodenmaterials zeigen merkliche Schwankungen der Aktivitäten auf den Monitoringflächen an. Verursacht wird die Schwankung durch verschiedene Faktoren wie der Variabilität der Humusanteile auf der Fläche oder dem Einfluss des Stammabflusses. Aber auch Probenahmeeeinflüsse können diese Unregelmäßigkeiten hervorrufen. Daher nehmen vor allem beim länger lebigen Cäsium 137 die real gemessenen Aktivitäten nicht kontinuierlich ab. Statistisch kann aber über den bislang beobachteten Zeitraum eine Abnahme aller vom Tschernobyl-Fallout stammenden radioaktiven Strahlungen signifikant nachgewiesen werden, die weitgehend der mit Hilfe des Zerfallsgesetzes der Radioaktivität errechneten Abnahme entspricht.

## **5 Danksagung**

Die Probenahme auf den Flächen wird seit 2002 von der Firma Lubag, Regensburg durchgeführt. Dies wurde durch die finanzielle Unterstützung des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz ermöglicht. Zwischen 1990 und 2001 erfolgte die Probenahme noch durch das Bayerische Geologische Landesamt. Die Herren Eder, Koller, Roßteuscher und Viertler bereiteten die Proben für die Messung vor, die dann am Labor des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz unter der Leitung von Herrn Dr. Zeising später Herrn Dr. Schindlmeier gemessen wurden.

Herr Außendorf, Herr Dr. Joneck und Herr Dr. F. Schmidt sahen den Entwurf dieses Berichtes durch und gaben hilfreiche Anmerkungen.

Ihnen allen sei für ihre Unterstützung gedankt.

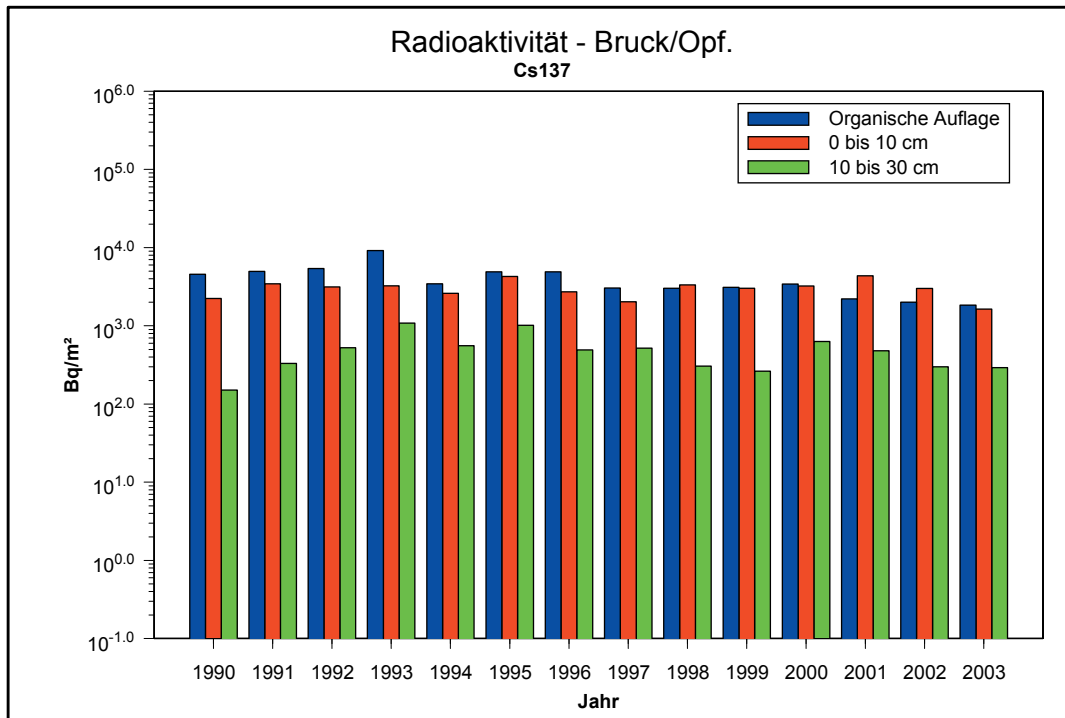
## 6 Literatur

- BAYERISCHE STAATSMINISTERIEN FÜR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN UND FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (1988): Radioaktive Kontamination der Böden in Bayern. – 60 S., München.
- BAYERISCHEN LANDESAMTES FÜR UMWELTSCHUTZ (1999): Überwachung der allgemeinen Umweltradioaktivität. - Strahlenhygienischer Jahresbericht: 312 S., Augsburg.
- BLUME, H.-P. (1990): Handbuch des Bodenschutzes. – 686 S., Landsberg/Lech (ecomod).
- BOSSEW, P., DITTO, M., FALKNER, TH., HENRICH, E., KIENZL, K. & RAPPESBERGER, U. (2001): Contamination of Austrian soil with caesium-137. - Journ. of Environm. Radioactivity, Volume 55/2: 187-194, Pinawa (Manitoba, Canada).
- BOSSEW, P., GASTBERGER, M., GOHLA, H., HOFER, P. & HUBMER, A. (2004): Vertical distribution of radionuclides of a grassland site in Chernobyl exclusion zone. - Journ. of Environm. Radioactivity, Volume 73/1: 87-99, Pinawa (Manitoba, Canada).
- BUNDESUMWELTMINISTERIUM (1996): Strahlenschutz – Bericht über „Umweltradioaktivität und Strahlenschutz 1995“ liegt vor. – Umwelt, Nr. 11: 394-395, Bonn.
- DE CORT, M., DUBOIS, G., FRIDMAN, SH.D., GERMENCHUK, M.G., IZRAEL, Y.A., JANSSENS, A.R., JOR, A.R., KELLY, G.N., KVASNIKOVA, E.V., MATVEENKO, I.I., NAZAROV, I.M., POKUMEIKO, Y.M., SITAK, V.A., STUKIN, E., TABACHNY L.Y. & TSATUROV, Y.S. (1998): Atlas of Caesium Deposition on Europe after the Chernobyl Accident. – Eur report No. 16733, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- FÖRSTER, H. & SCHIMMACK, W. (1992): Influence of the Stemflow on the Depth Distribution of Radiocesium in the Soil under a Beech Stand. - Naturwissenschaften 79: 23-24, Berlin (Springer-Verlag).
- HENKELMANN, G. & HAISCH, A. (1998): Bodenschutz und Strahlenschutzvorsorge in der Landwirtschaft – Tschernobyl und Ergebnisse des Jahres 1998. – Marktredwitzer Bodenschutztag, Tagungsband, 1: 89-93; Marktredwitz.
- HESSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (2004): Kontamination der Umwelt mit künstlichen radioaktiven Stoffen. –  
Website: [http://atlas.umwelt.hessen.de/servlet/Frame/atlas/radioakt/kot\\_txt.htm](http://atlas.umwelt.hessen.de/servlet/Frame/atlas/radioakt/kot_txt.htm), Wiesbaden.
- KAMMERER, L., HIERSCHE, L. & WIRTH, E. (1994): Uptake of radiocaesium by different species of mushrooms. - Journ. of Environm. Radioactivity, Volume 23/2: 135-150, Pinawa (Manitoba, Canada).
- MUCKELBAUER, G. (2004): Radionuklide in Bodenproben – 8 Standorte in Bayern von 1990 bis 2003 – Auswertung , Darstellung, Statistik. – Kurzbericht unveröff.: 27 S., Nürnberg.

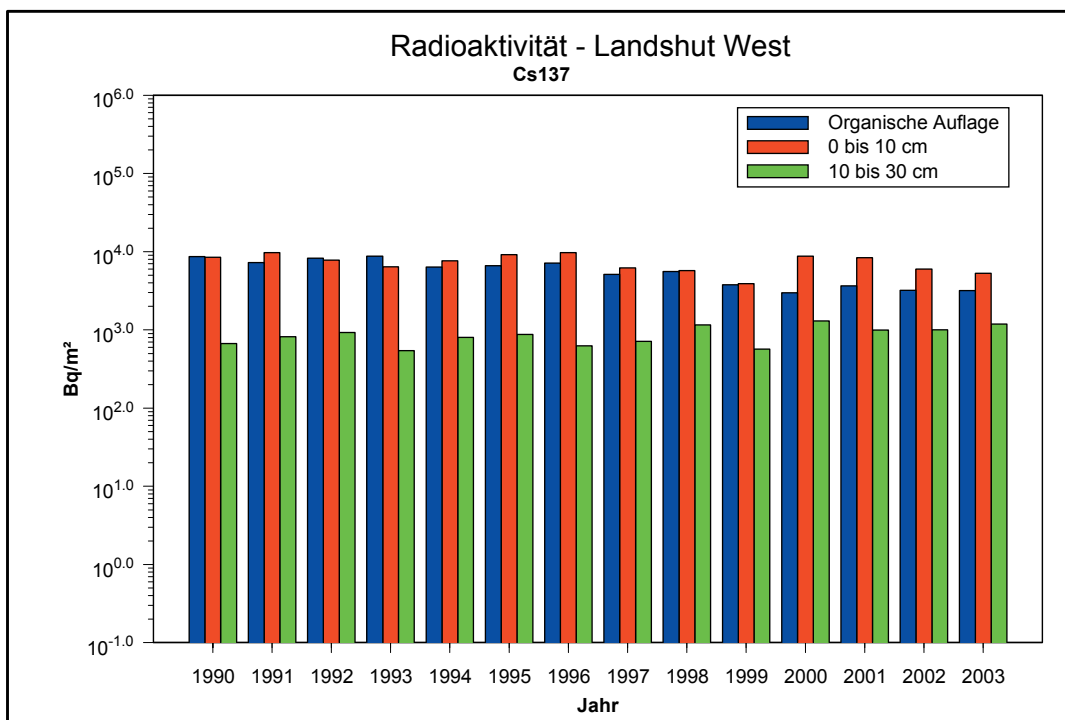
- POURCELOT, L., LOUVAT, D., GAUTHIER-LAFAYE, F. & STILLE, P. et al. (2003): Formation of radioactivity enriched soils in mountain areas. - Journ. of Environm. Radioactivity, Volume 68/3: 215-233, Pinawa (Manitoba, Canada).
- ROSNER, G. & WINKLER, R. (2001): Long-term variation (1986-1998) of post-Chernobyl  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{238}\text{Pu}$  and  $^{239,240}\text{Pu}$  concentrations in air, depositions to ground, resuspension factors and resuspension rates in south Germany. - Science of Tot. Environm., Volume 273/1-3: 11-25.
- SCHILLING, B. (1994): Untersuchungen zum Verhalten radioaktiver Stoffe auf Monitoringflächen im Zeitraum 1990-94. – GLA Fachberichte, 14: 25-47, München (Bayerisches Geologisches Landesamt).
- SCHIMMACK, W., FÖRSTER, H., BUNZL, K. & KREUTZER, K. (1992): Deposition of radiocesium to the soil by stemflow, throughfall and leaf-fall from beech trees. – Radiat. Environ. Biophys. 32: 137-150, Berlin (Springer-Verlag).
- SCHIMMACK, W., BUNZL, K., DIETL, F. & KLOTZ, D. (1994): Infiltration of radionuclides with low mobility ( $^{137}\text{Cs}$  and  $^{60}\text{Co}$ ) into a forest soil. Effect of the irrigation intensity. – Journ. of Environm. Radioactivity, Volume 24/1: 53-63, Pinawa (Manitoba, Canada).
- SENF, B. (1993): Radioökologische Untersuchungen im Hinteren Bayerischen Wald fünf Jahre nach Tschernobyl. – Dissertation der Philosophischen Fakultät: 124 S., Regensburg.
- SOMBRE, L., VANHOUCHE, M., DE BROUWER, S., RONNEAU, C., LAMBOTTE, J.M. & MYTTENAERE, C. (1994): Long-term radiocesium behaviour in spruce and oak forests. – Science of Tot. Environm., Volume 157/1-3: 59-71.
- STRAHLENSCHUTZKOMMISSION (1986): Zwischenbericht der Strahlenschutzkommission zur Abschätzung und Bewertung der Auswirkungen des Reaktorunfalls in Tschernobyl (UdSSR) in der Bundesrepublik Deutschland. – Veröff. der Strahlenschutzkommission, Band 5: 33 S., Bonn.
- STREBL, F., GERZABEK, M.H., KARG, V. & TATARUCH, F. (1996):  $^{137}\text{Cs}$ -migration in soils and its transfer to roe deer in an Austrian forest stand. - Science of Tot. Environm., Volume 181/3: 237-247.
- VÖLKE, J. (2002): Bioverfügbarkeit von Radiocäsium in unterschiedlichen naturräumlichen Einheiten Bayerns. – Regensb. Beitr. f. Bodenkde., Landschaftsökolog. Quartärforsch., 1: 135 S. Regensburg.
- VRAY, F., DABAYLE, C. & LOUVAT, D. (2003): Long-term flux of Chernobyl-derived  $^{137}\text{Cs}$  from soil to French rivers: a study on sediment and biological indicators. – Journ. of Environm. Radioactivity, Volume 68/2: 93-114, Pinawa (Manitoba, Canada).

## 7 Anhang

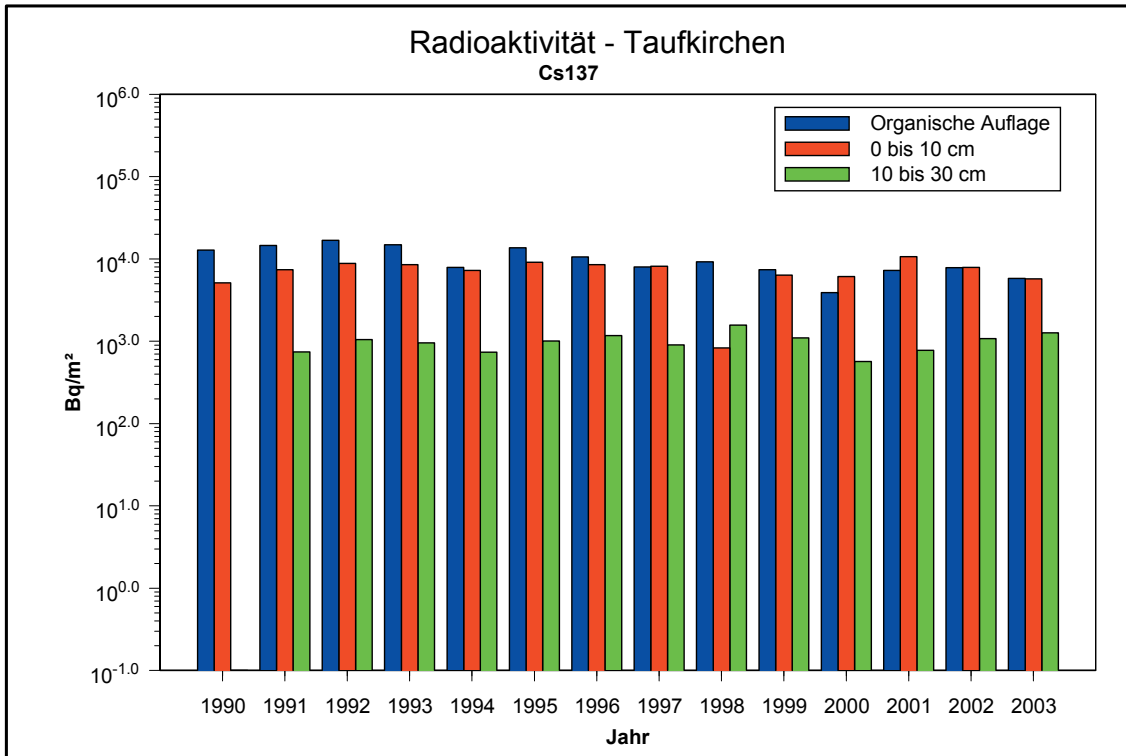
### 7.1 Anhang der Abbildungen



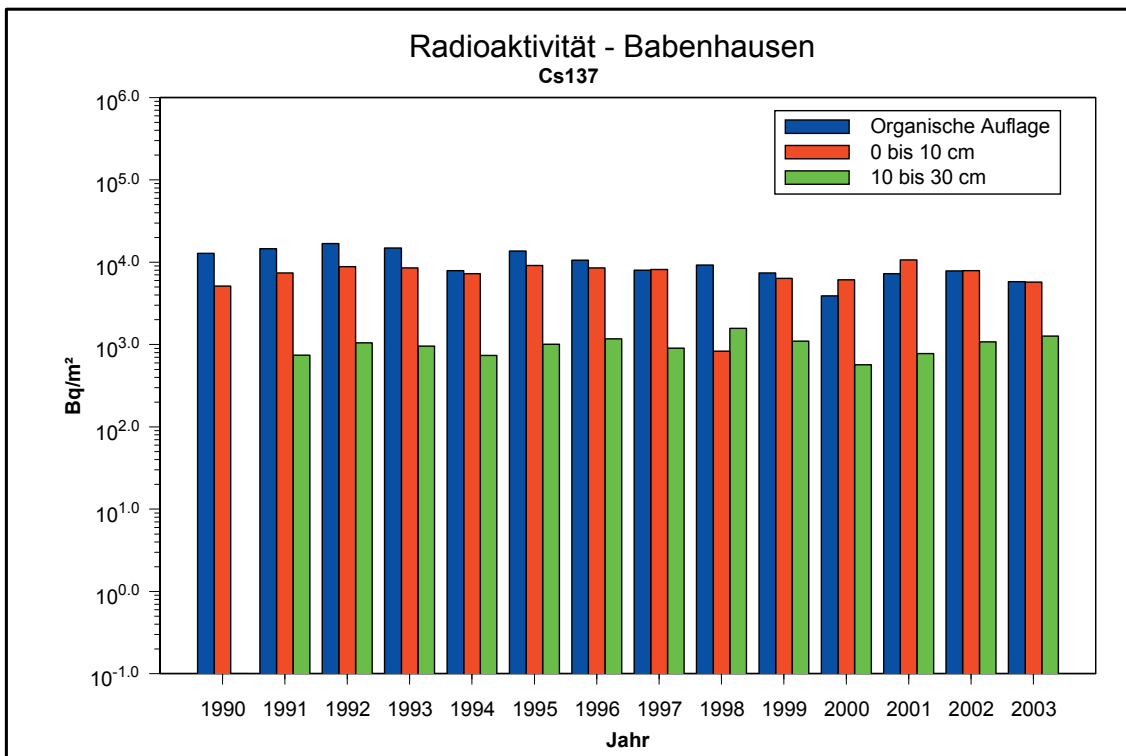
Anhang A1-1: Aktivitäten von Cs 137 in verschiedenen Tiefenstufen im Zeitrahmen 1990 bis 2003 auf der Fläche Bruck/Opf..



Anhang A1-2: Aktivitäten von Cs 137 in verschiedenen Tiefenstufen im Zeitrahmen 1990 bis 2003 auf der Fläche Landshut West.

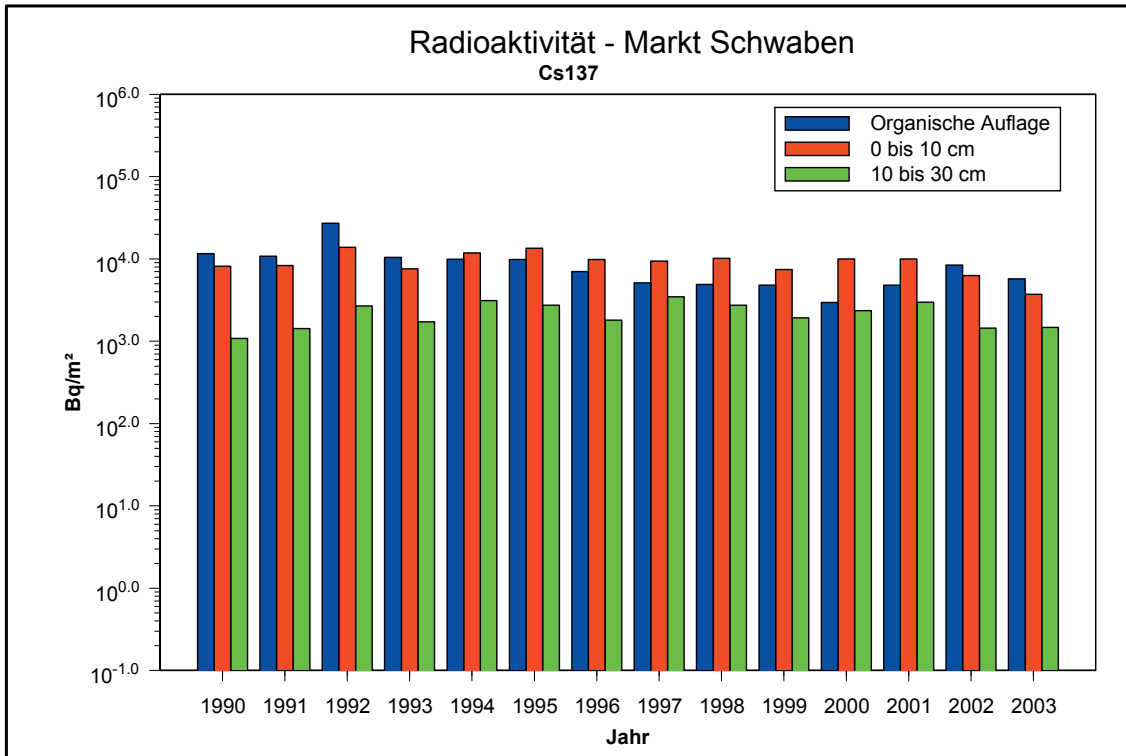


Anhang A1-3: Aktivitäten von Cs 137 in verschiedenen Tiefenstufen im Zeitrahmen 1990 bis 2003 auf der Fläche Taufkirchen/Vils.

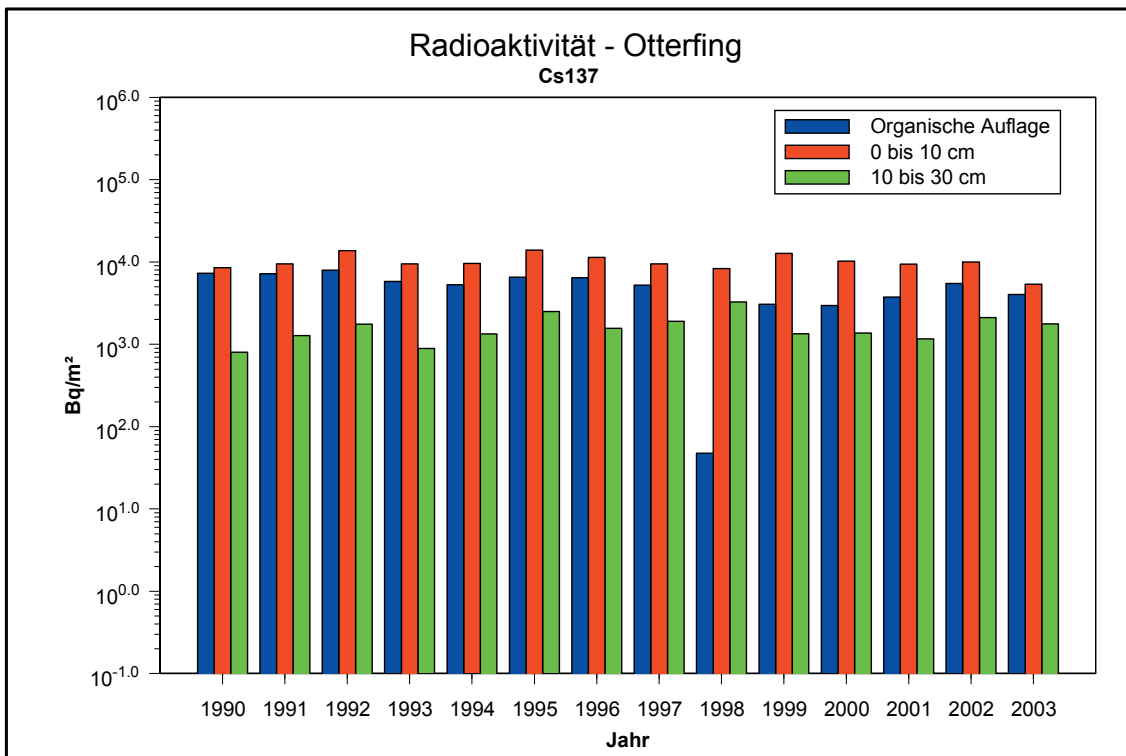


Anhang A1-4: Aktivitäten von Cs 137 in verschiedenen Tiefenstufen im Zeitrahmen 1990 bis 2003 auf der Fläche Babenhausen.

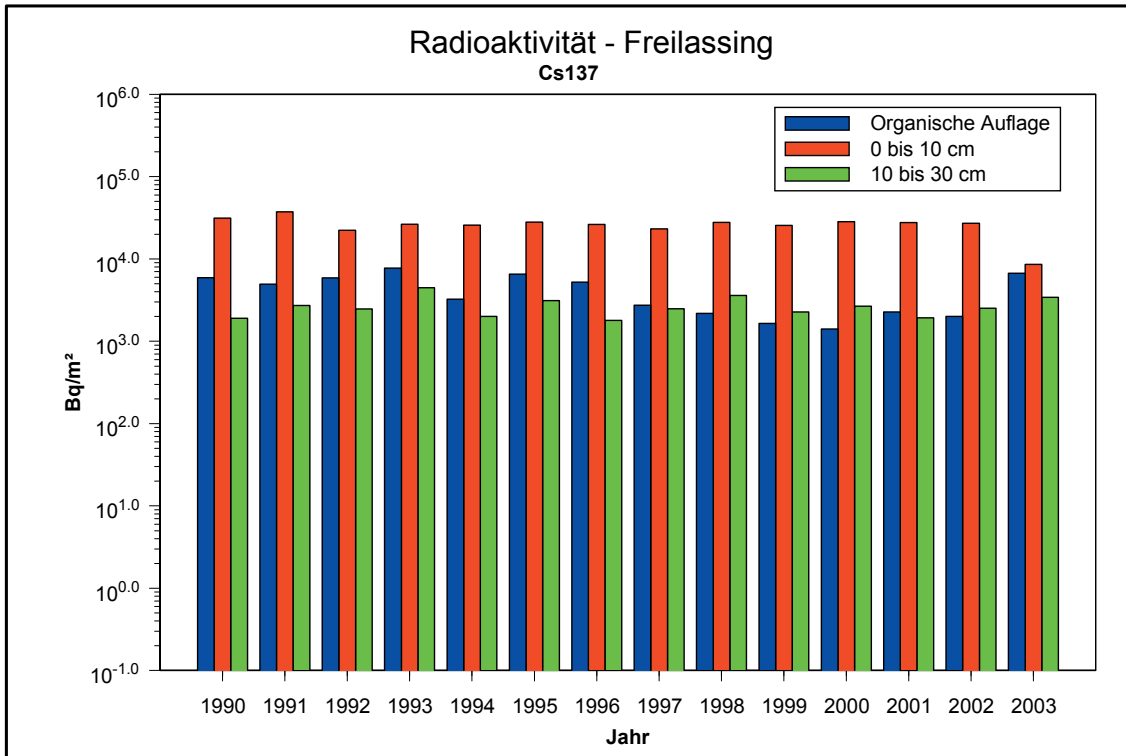




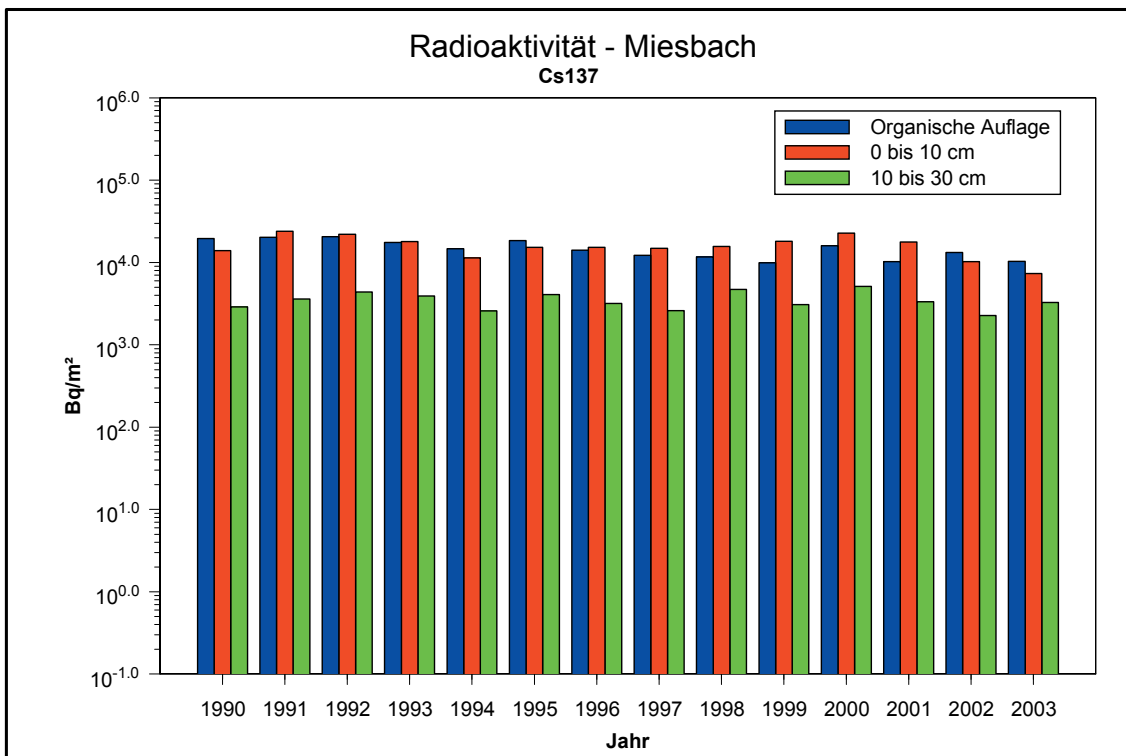
Anhang A1-5: Aktivitäten von Cs 137 in verschiedenen Tiefenstufen im Zeitrahmen 1990 bis 2003 auf der Fläche Markt Schwaben.



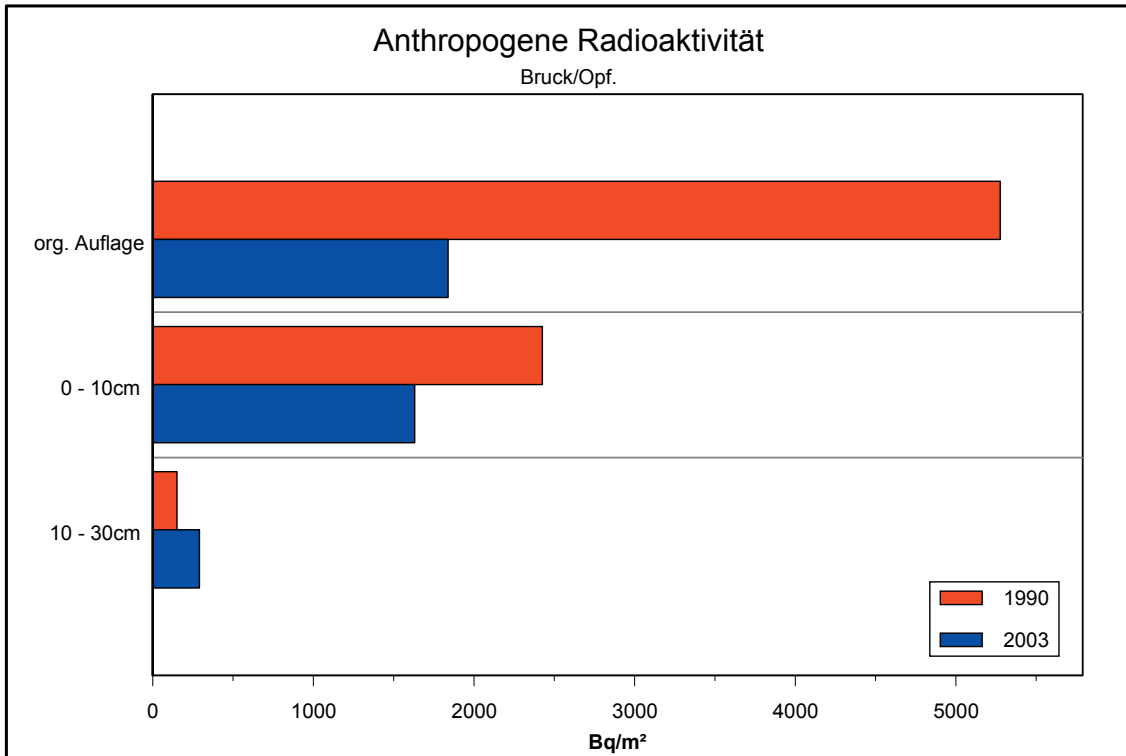
Anhang A1-6: Aktivitäten von Cs 137 in verschiedenen Tiefenstufen im Zeitrahmen 1990 bis 2003 auf der Fläche Otterfing.



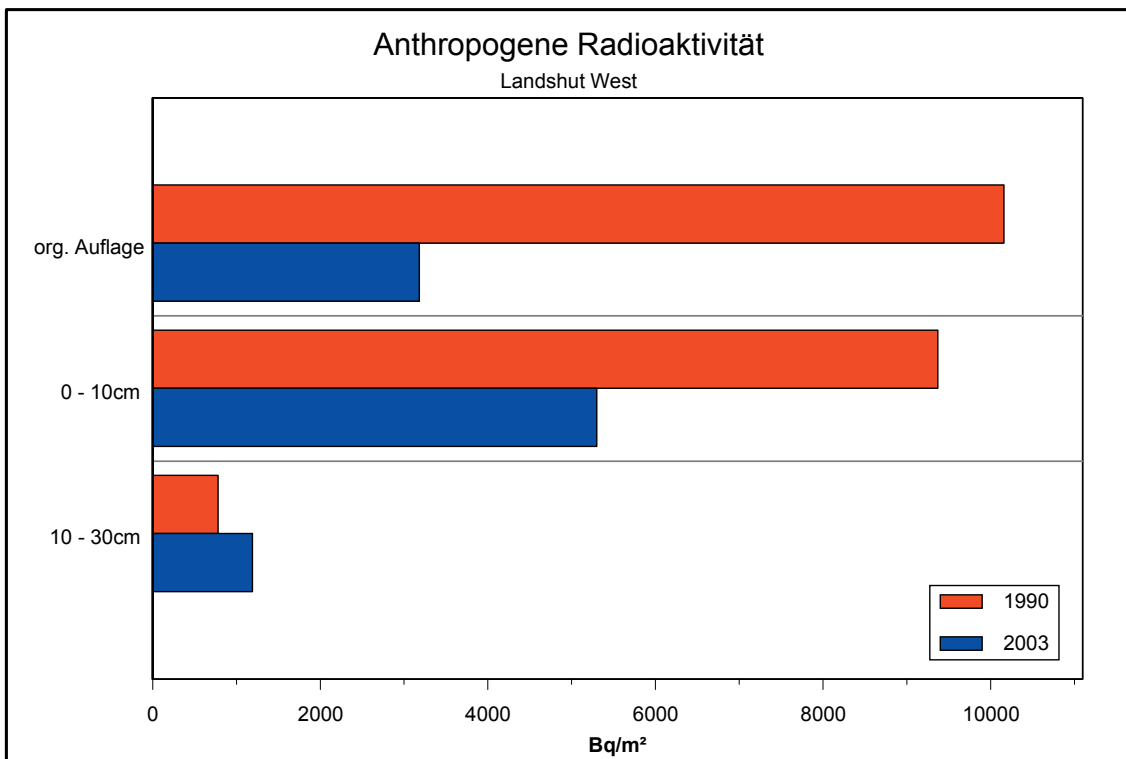
Anhang A1-7: Aktivitäten von Cs 137 in verschiedenen Tiefenstufen im Zeitrahmen 1990 bis 2003 auf der Fläche Freilassing.



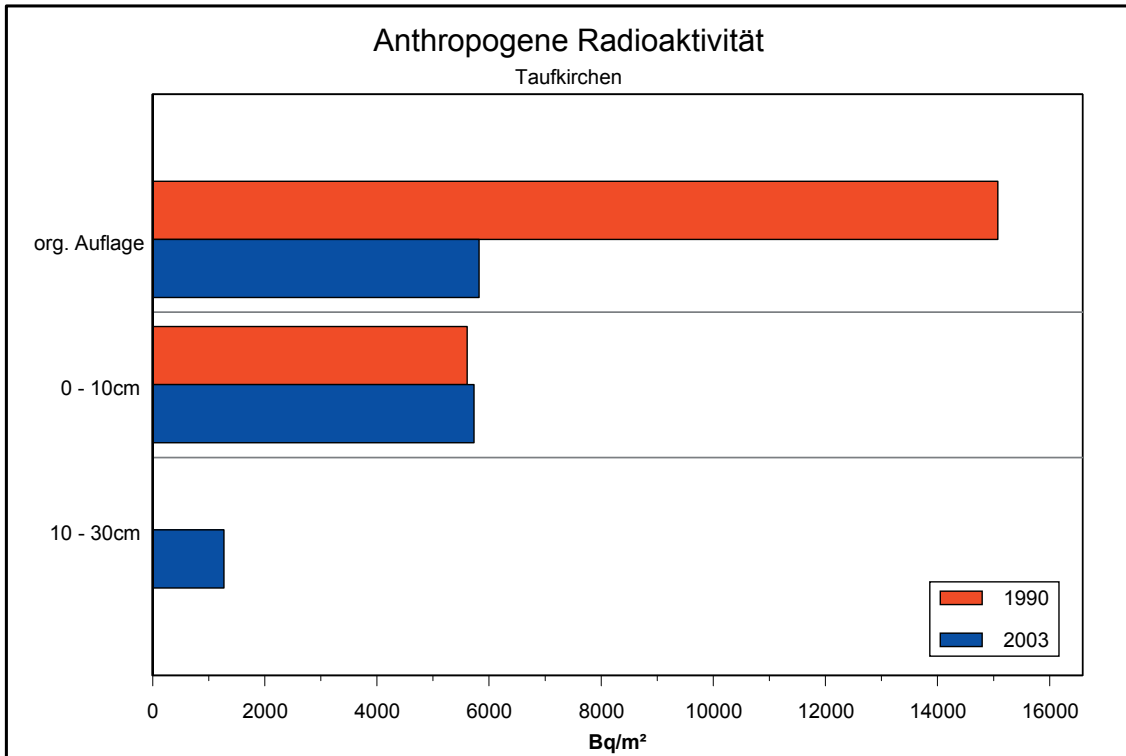
Anhang A1-8: Aktivitäten von Cs 137 in verschiedenen Tiefenstufen im Zeitrahmen 1990 bis 2003 auf der Fläche Miesbach.



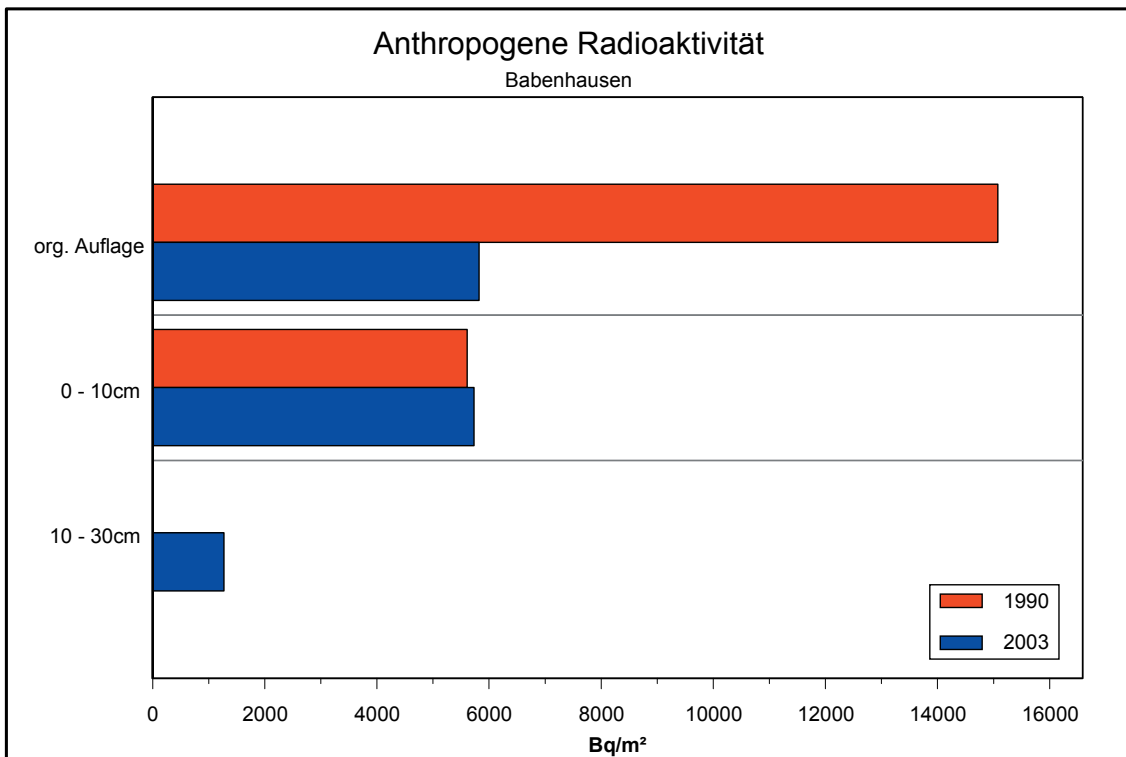
Anhang A2-1: Darstellung der vertikalen Veränderung der Radioaktivität 1990 im Vergleich zu 2003 am Beispiel der Fläche bei Bruck/Opf..



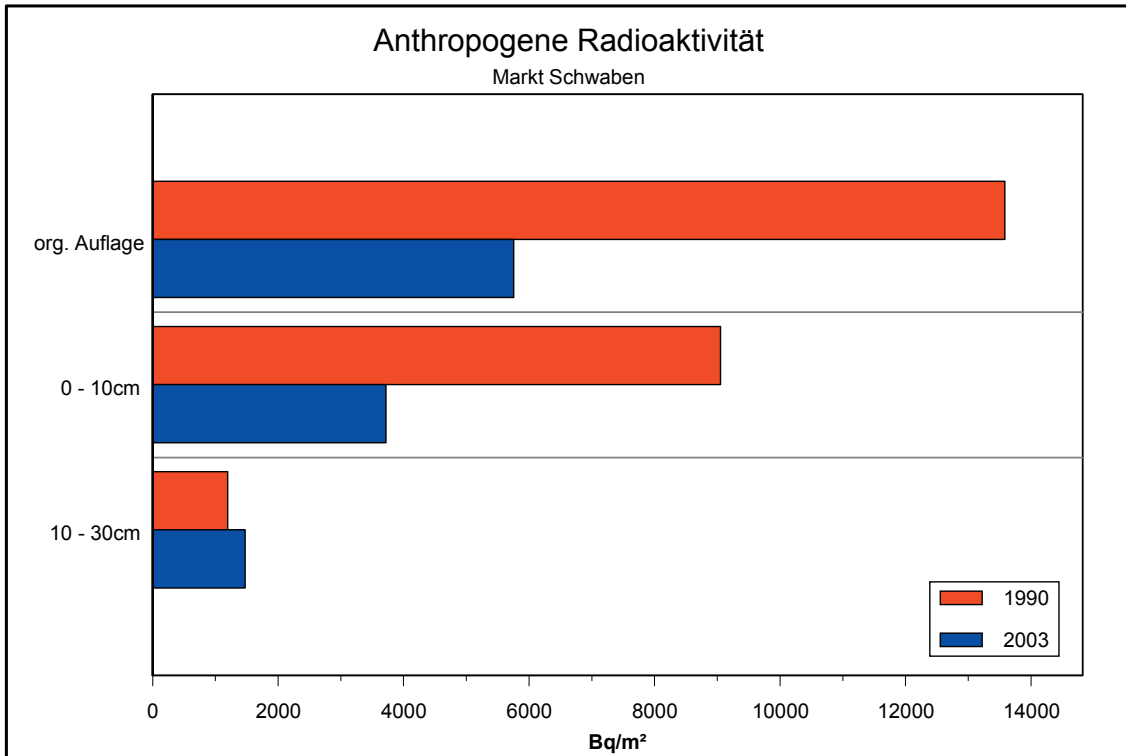
Anhang A2-2: Darstellung der vertikalen Veränderung der Radioaktivität 1990 im Vergleich zu 2003 am Beispiel der Fläche bei Landshut West.



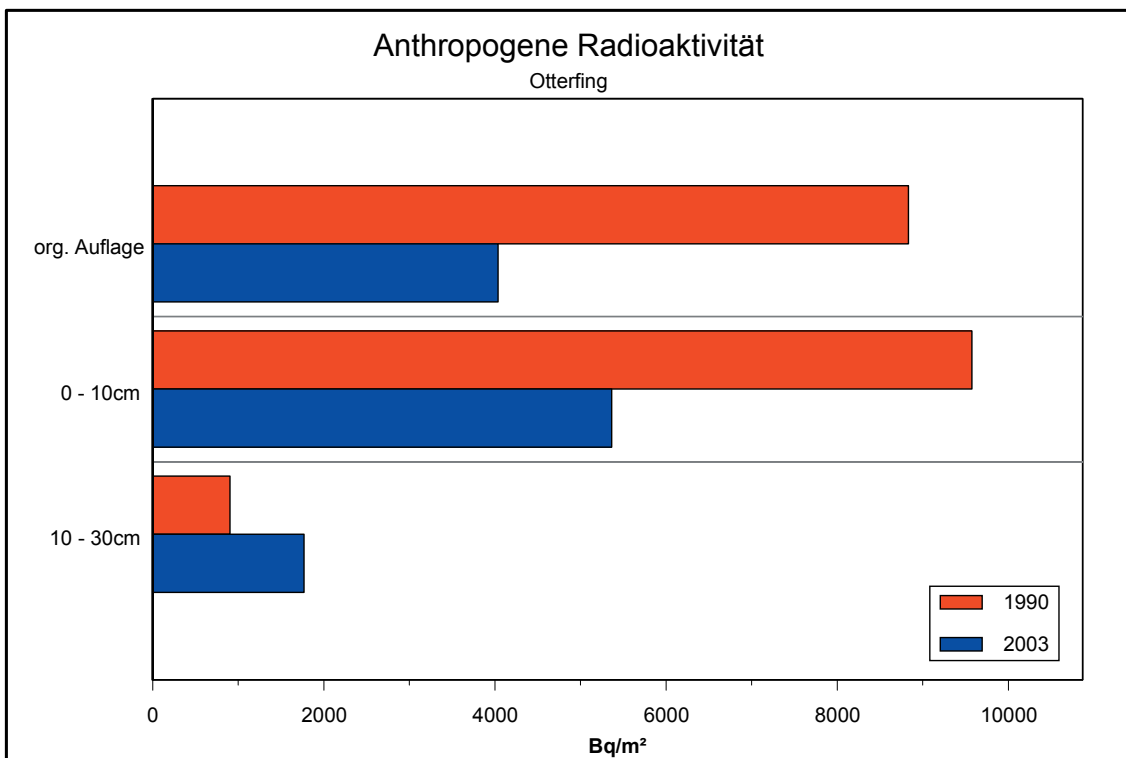
Anhang A2-3: Darstellung der vertikalen Veränderung der Radioaktivität 1990 im Vergleich zu 2003 am Beispiel der Fläche bei Taufkirchen/Vils.



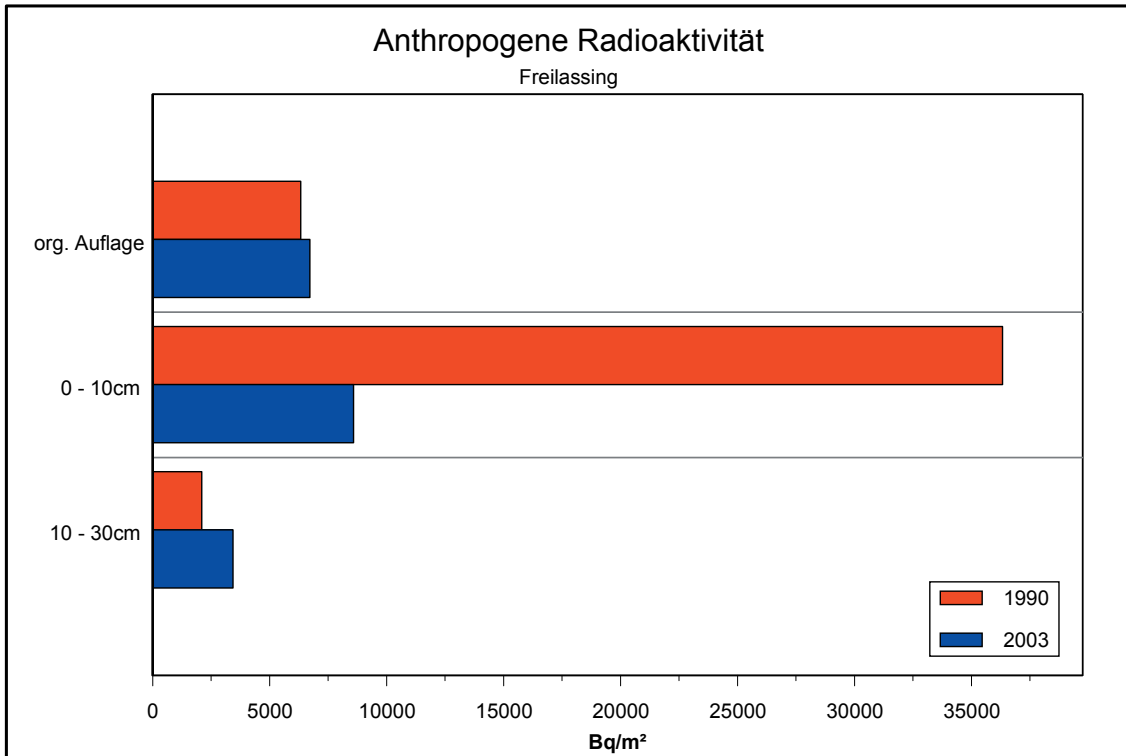
Anhang A2-4: Darstellung der vertikalen Veränderung der Radioaktivität 1990 im Vergleich zu 2003 am Beispiel der Fläche bei Babenhausen.



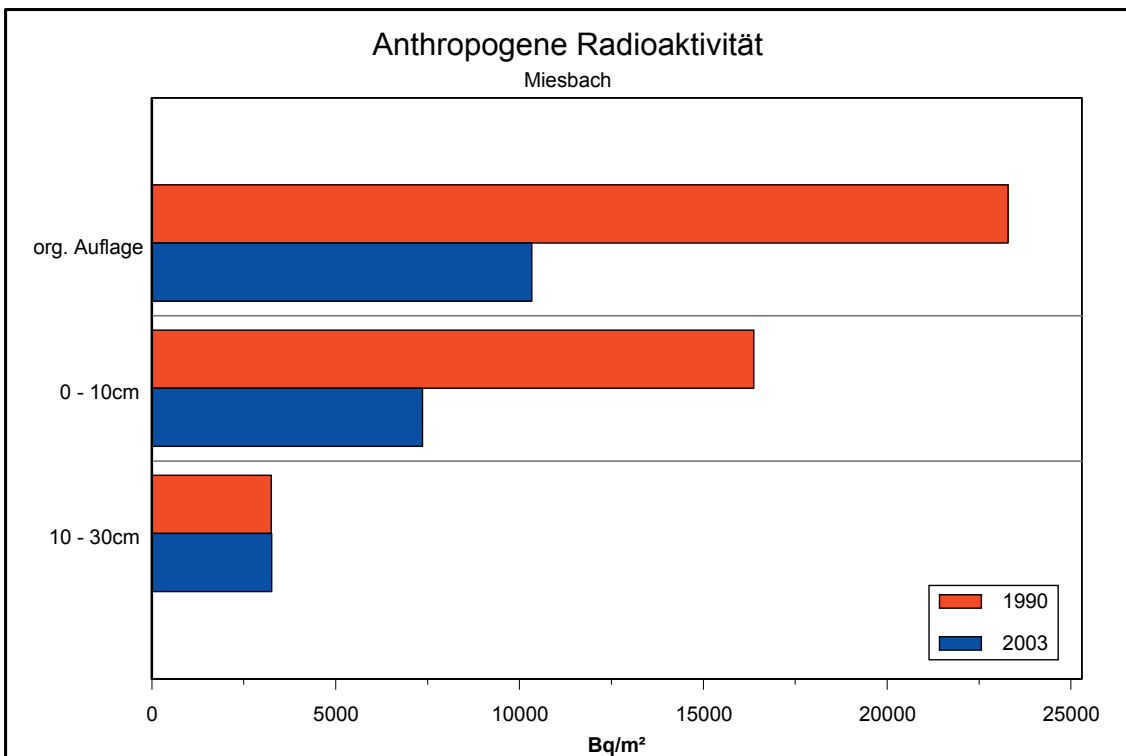
Anhang A2-5: Darstellung der vertikalen Veränderung der Radioaktivität 1990 im Vergleich zu 2003 am Beispiel der Fläche bei Markt Schwaben.



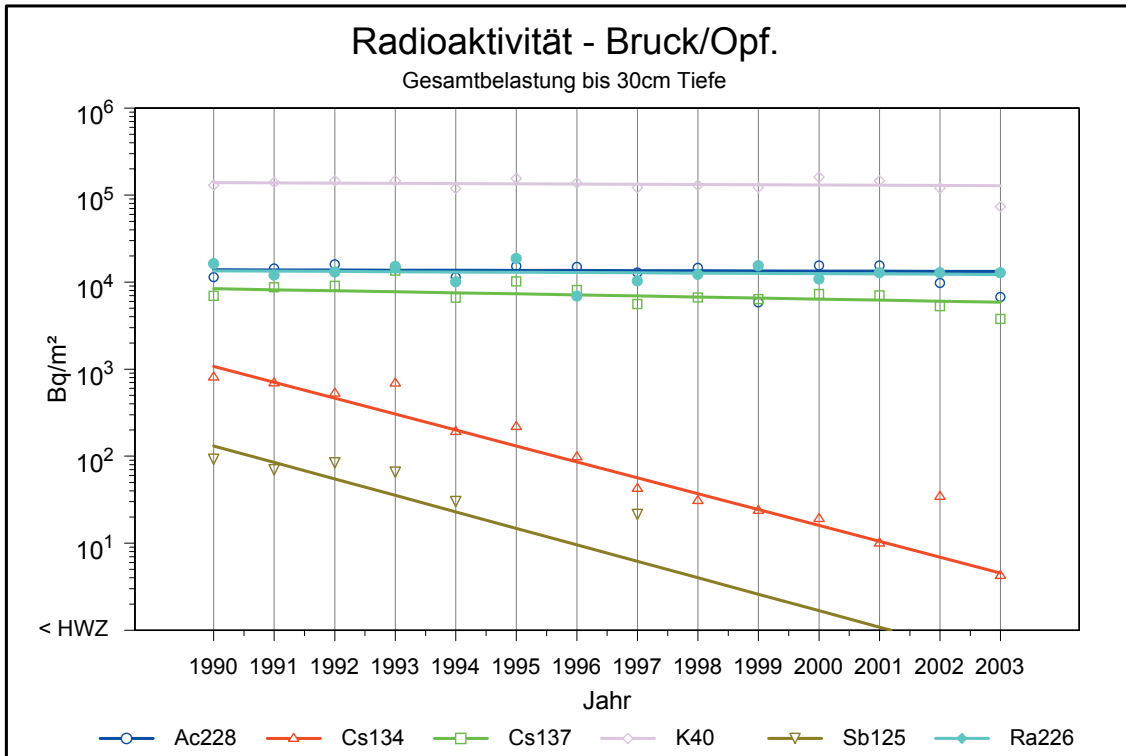
Anhang A2-6: Darstellung der vertikalen Veränderung der Radioaktivität 1990 im Vergleich zu 2003 am Beispiel der Fläche bei Otterfing.



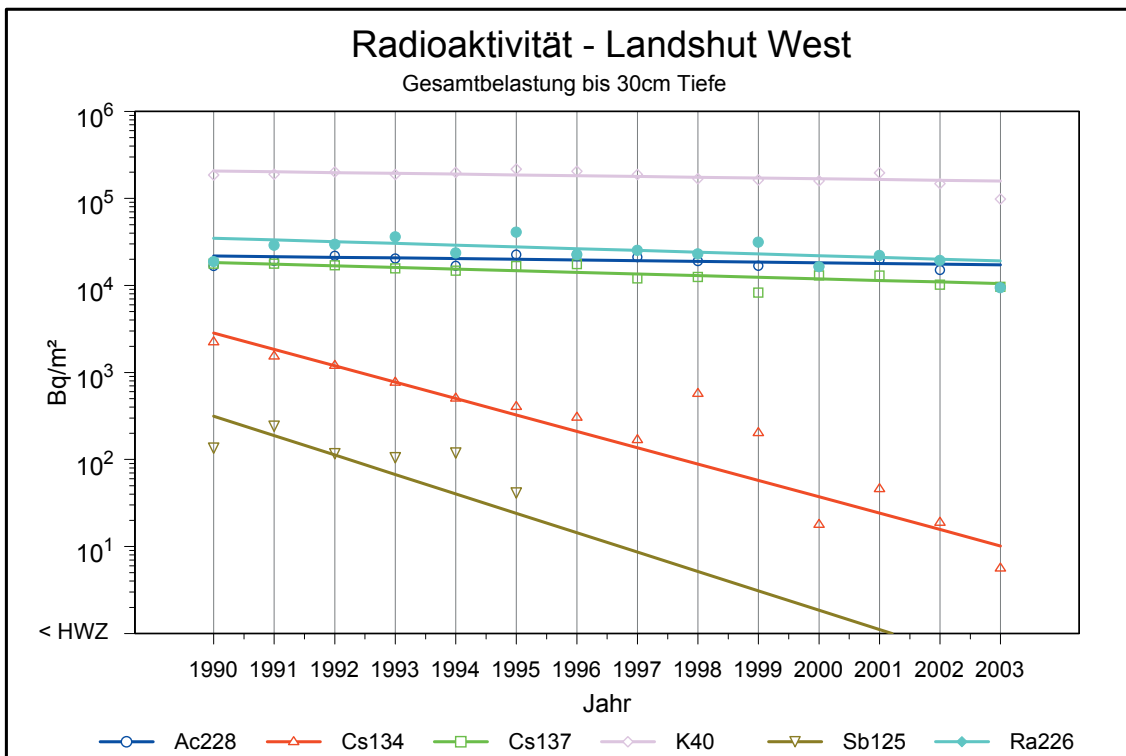
Anhang A2-7: Darstellung der vertikalen Veränderung der Radioaktivität 1990 im Vergleich zu 2003 am Beispiel der Fläche bei Freilassing.



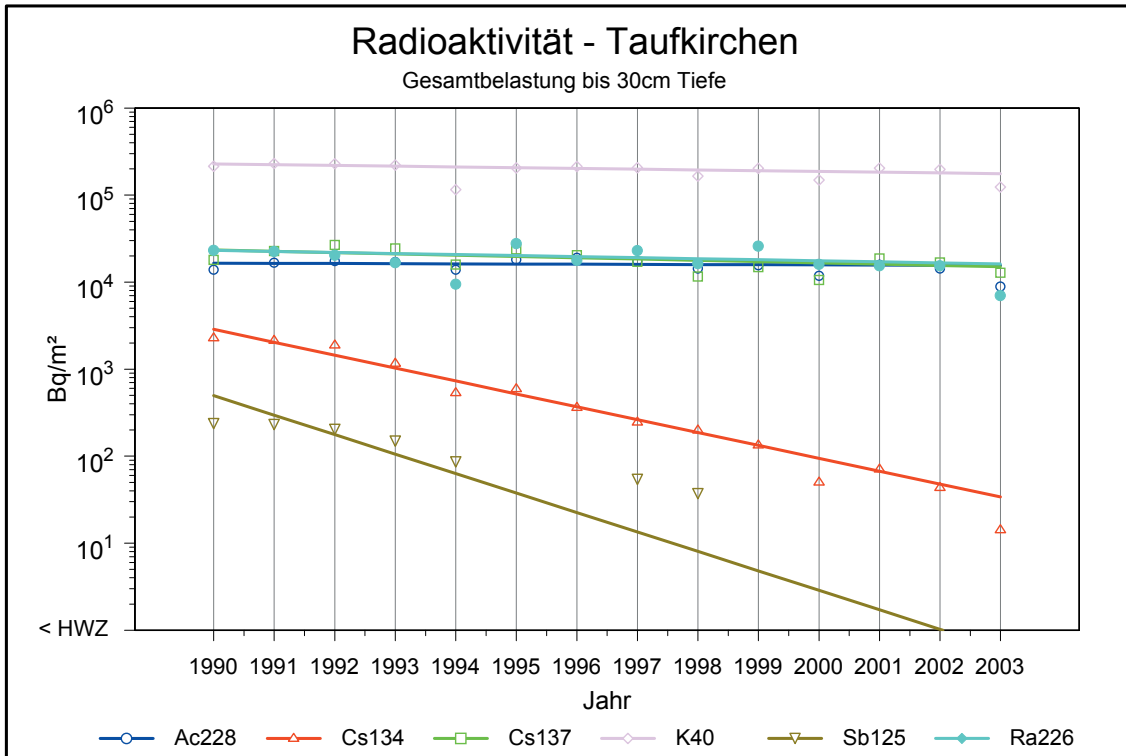
Anhang A2-8: Darstellung der vertikalen Veränderung der Radioaktivität 1990 im Vergleich zu 2003 am Beispiel der Fläche bei Miesbach.



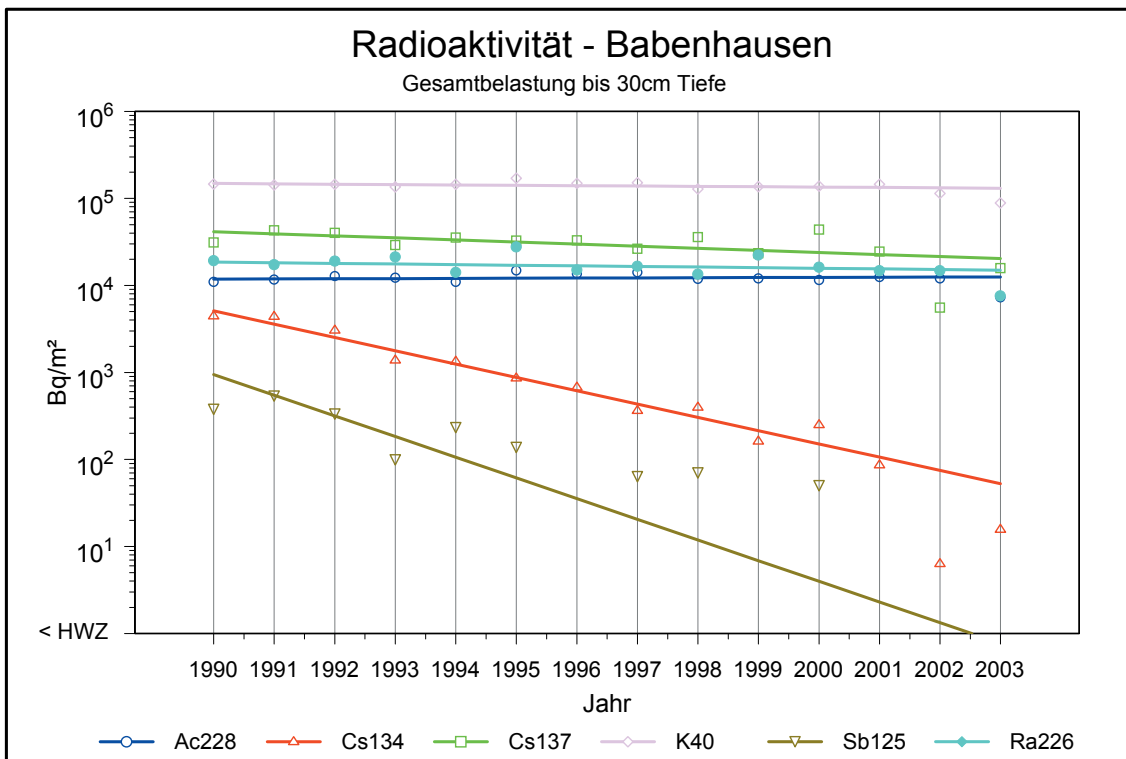
Anhang A3-1: Radioaktivitäten verschiedener Nuklide im Vergleich – dargestellt am Beispiel der Fläche bei Bruck/Opf..



Anhang A3-2: Radioaktivitäten verschiedener Nuklide im Vergleich – dargestellt am Beispiel der Fläche bei Landshut/West.

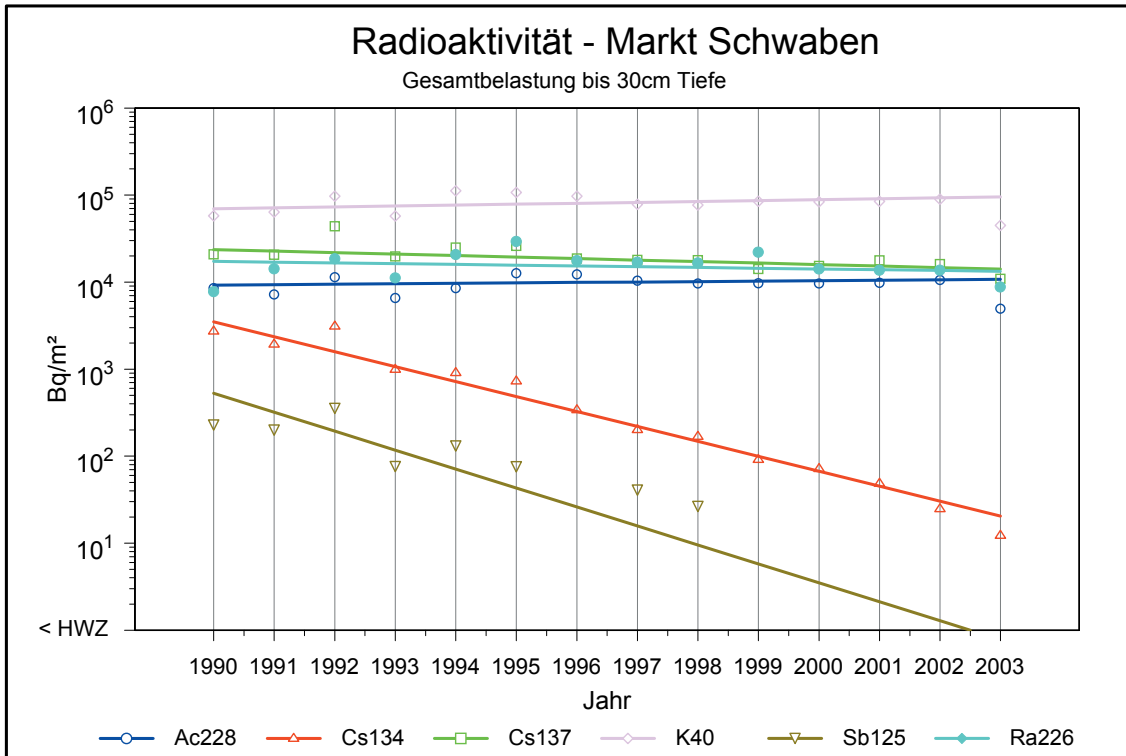


Anhang A3-3: Radioaktivitäten verschiedener Nuklide im Vergleich – dargestellt am Beispiel der Fläche bei Taufkirchen/Vils.

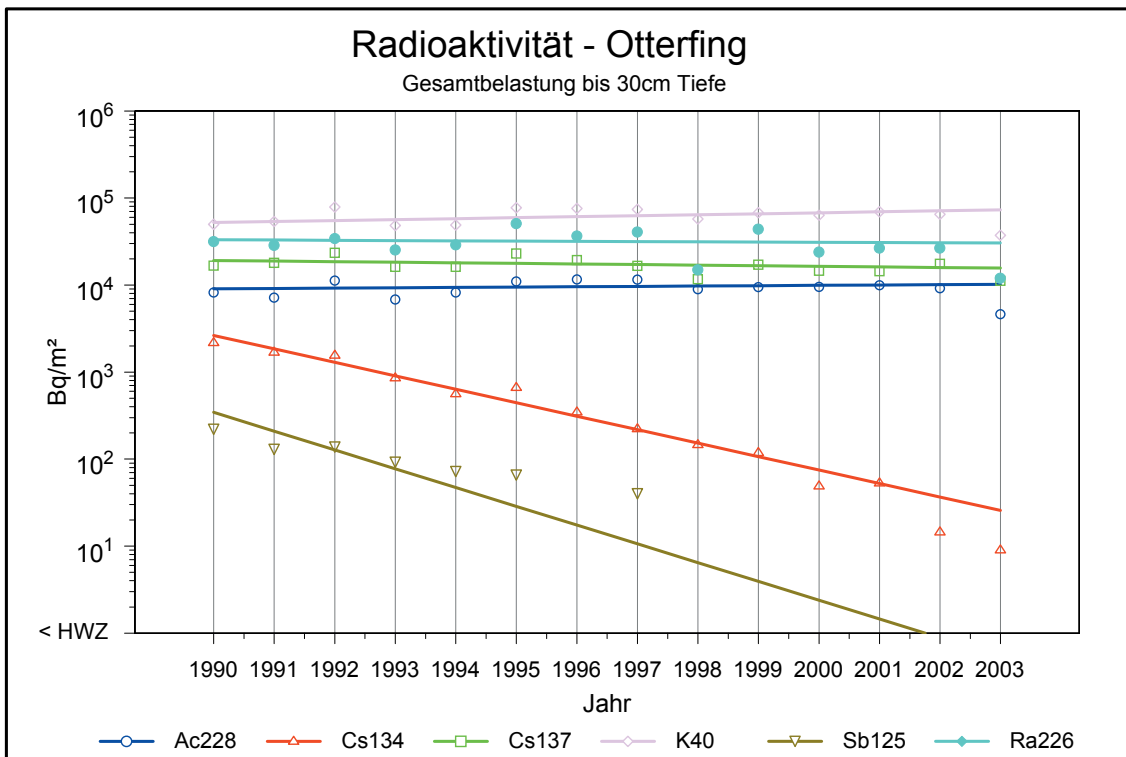


Anhang A3-4: Radioaktivitäten verschiedener Nuklide im Vergleich – dargestellt am Beispiel der Fläche bei Babenhausen.

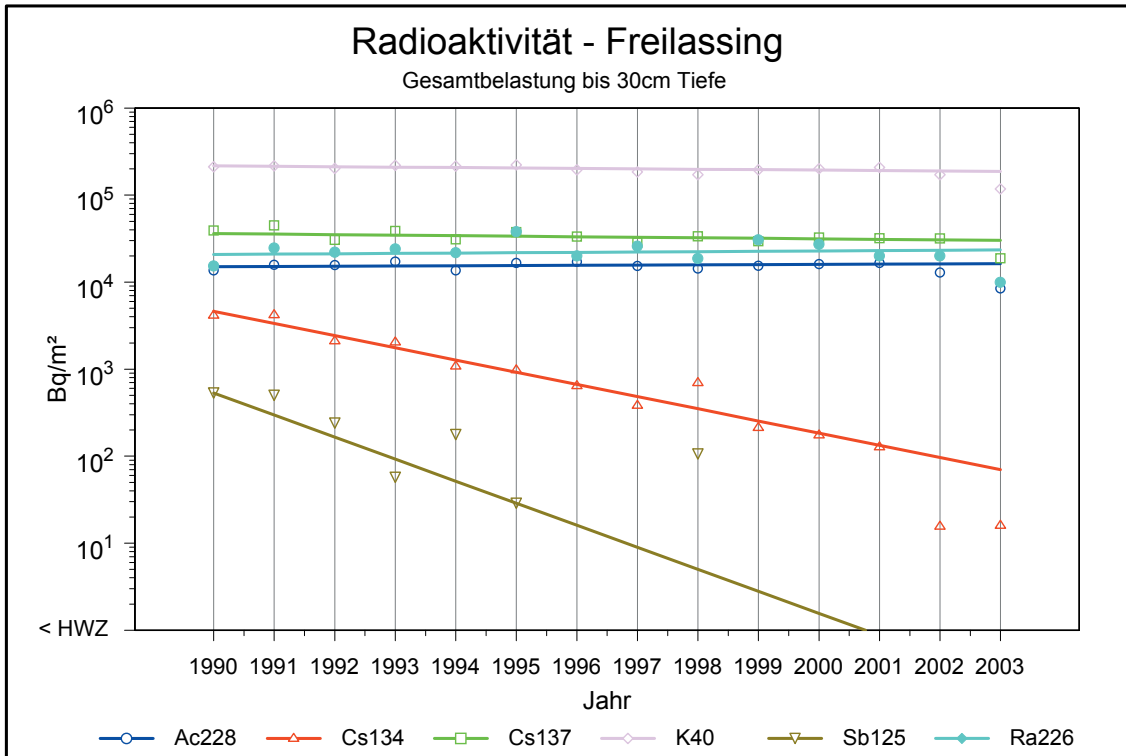




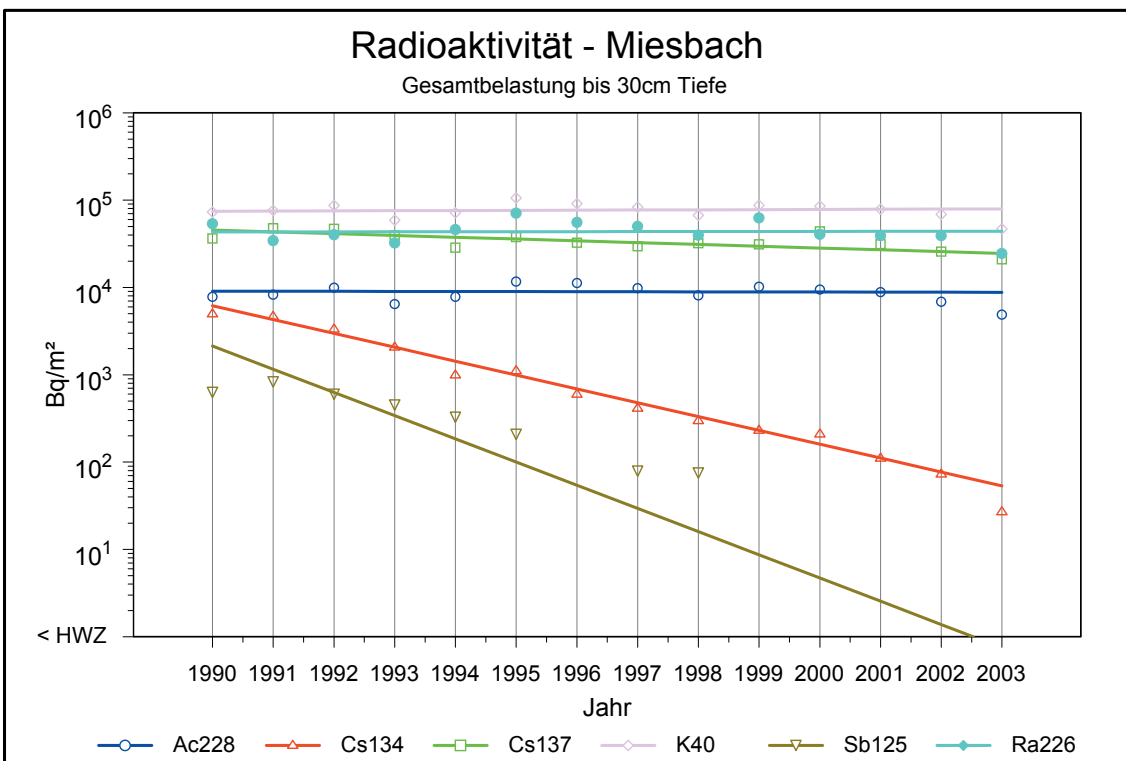
Anhang A3-5: Radioaktivitäten verschiedener Nuklide im Vergleich – dargestellt am Beispiel der Fläche bei Markt Schwaben.



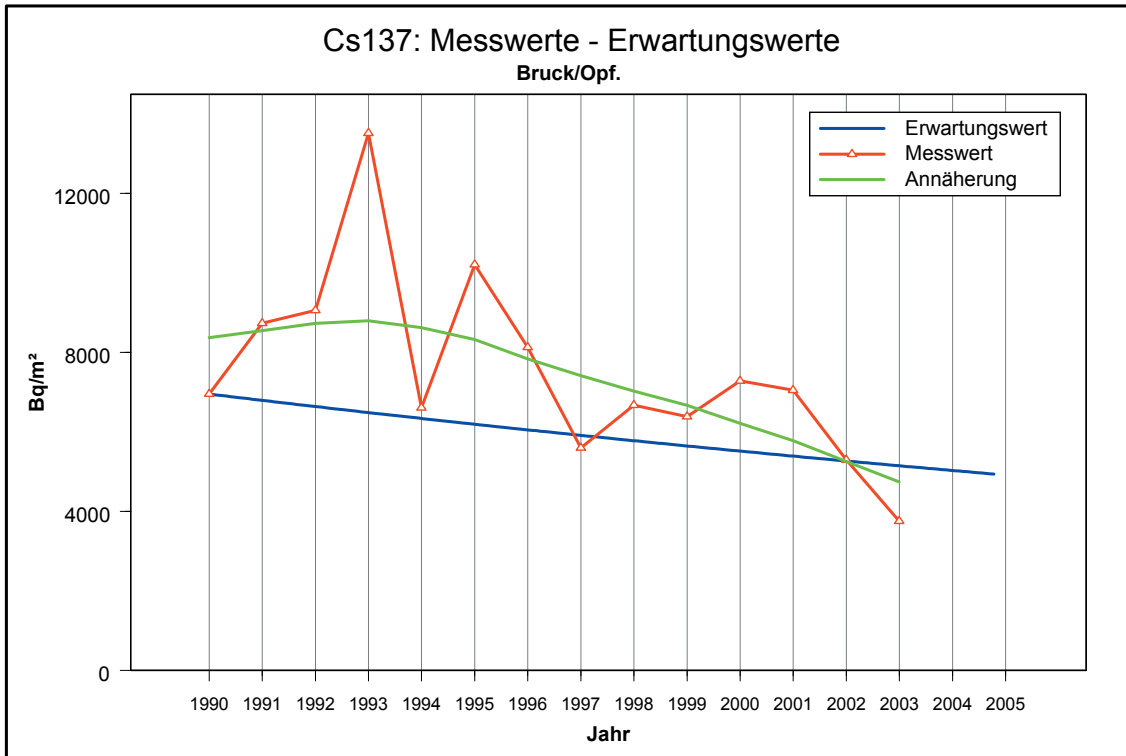
Anhang A3-6: Radioaktivitäten verschiedener Nuklide im Vergleich – dargestellt am Beispiel der Fläche bei Otterfing.



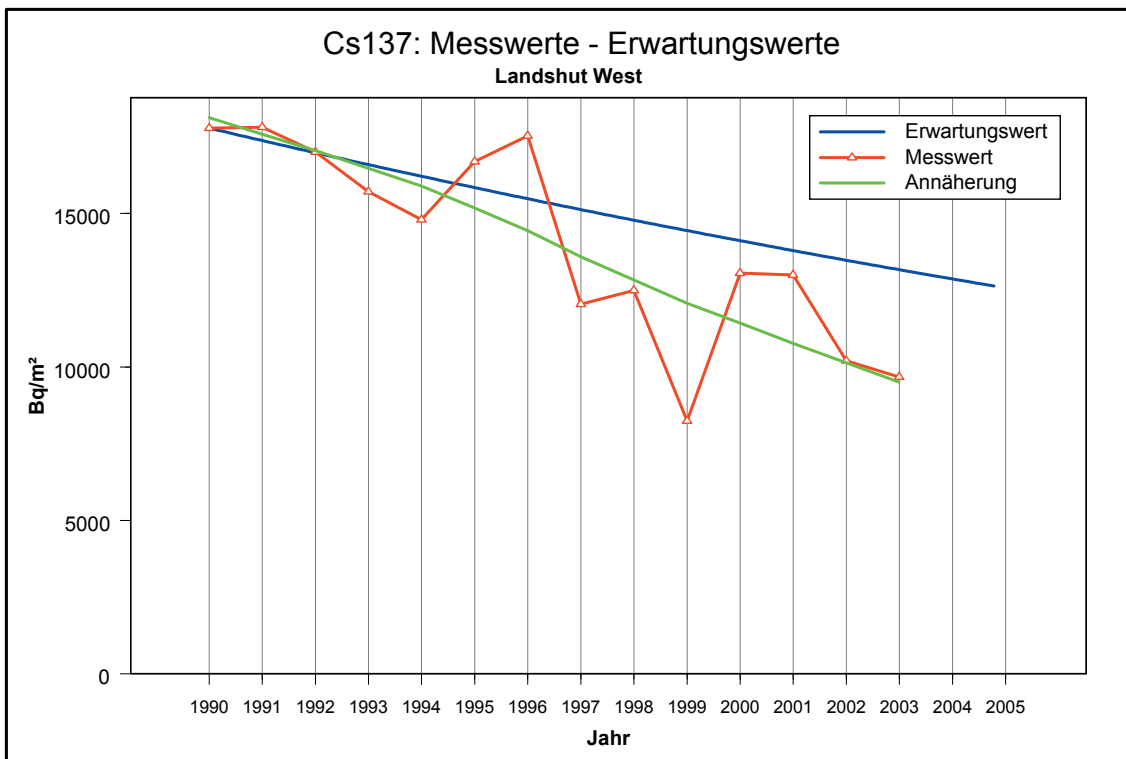
Anhang A3-7: Radioaktivitäten verschiedener Nuklide im Vergleich – dargestellt am Beispiel der Fläche bei Freilassing.



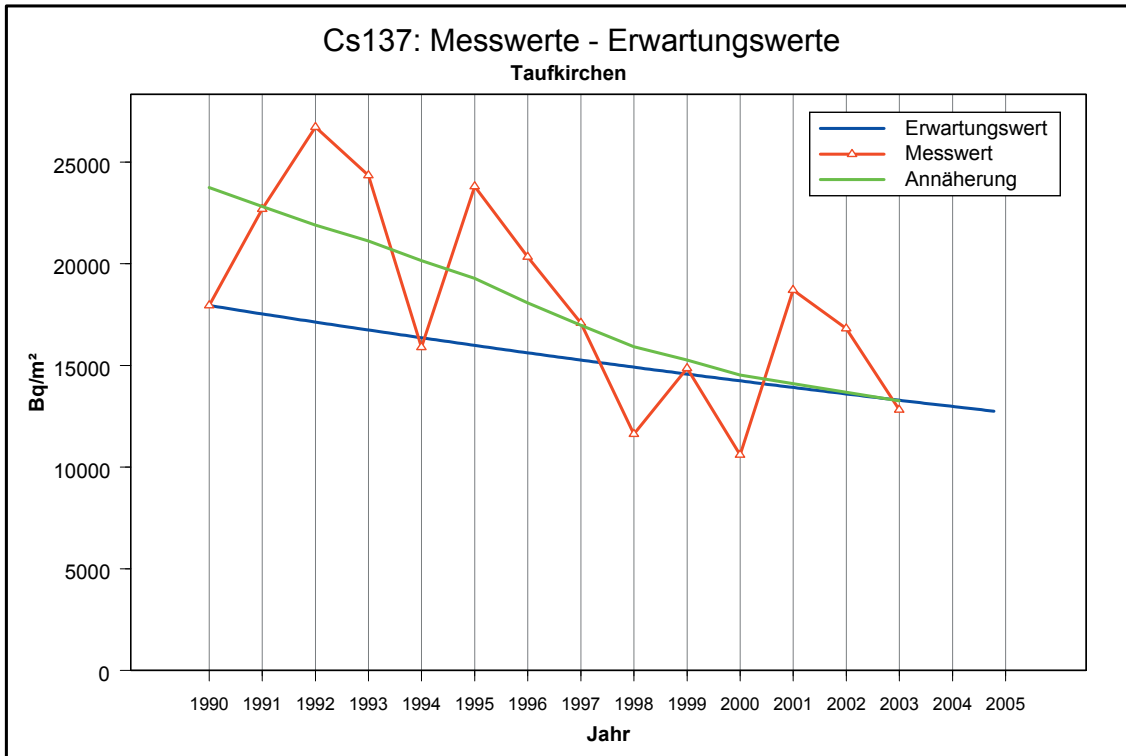
Anhang A3-8: Radioaktivitäten verschiedener Nuklide im Vergleich – dargestellt am Beispiel der Fläche bei Miesbach.



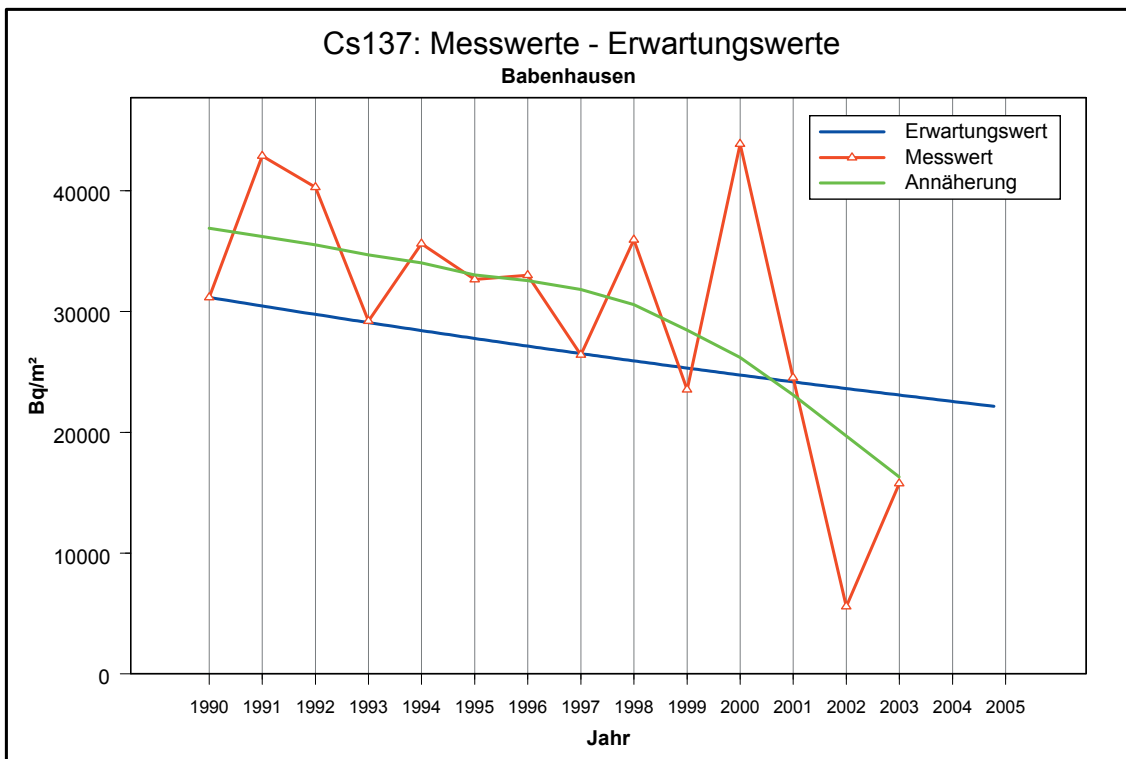
Anhang A4-1: Erwartungswerte im Vergleich mit den reell gemessenen Radioaktivitäten von 1990 bis 2003 am Beispiel der Fläche bei Bruck/Opf..



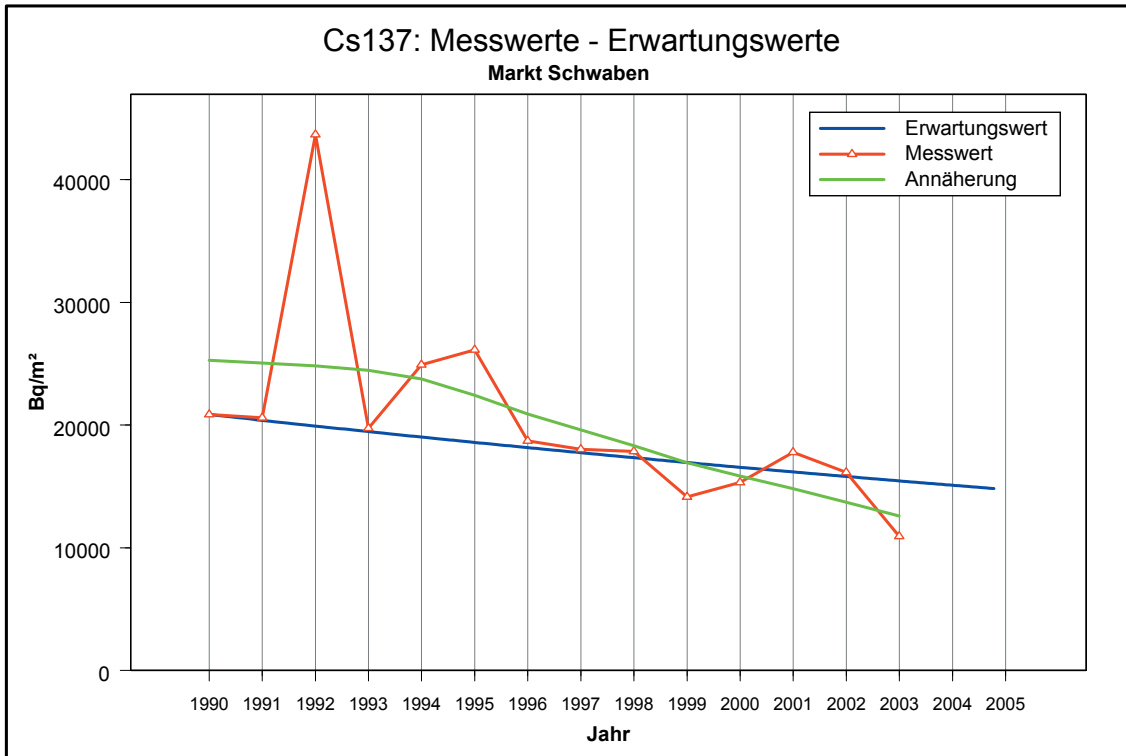
Anhang A4-2: Erwartungswerte im Vergleich mit den reell gemessenen Radioaktivitäten von 1990 bis 2003 am Beispiel der Fläche bei Landshut/West.



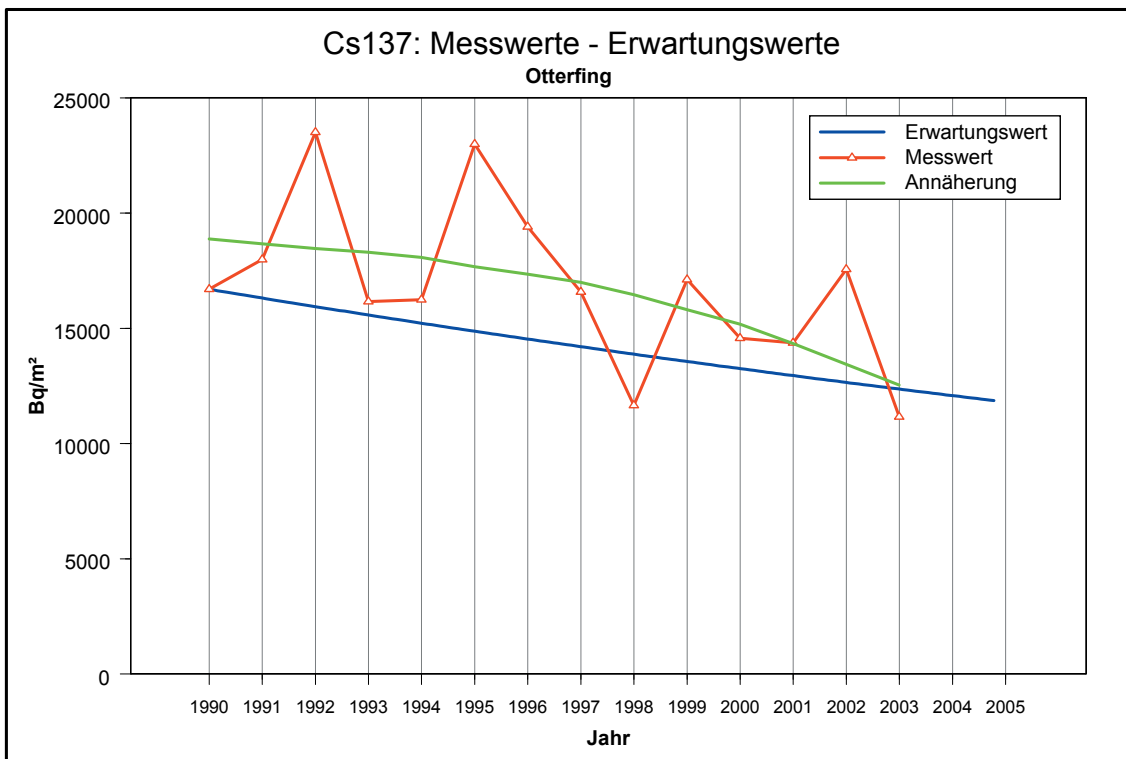
Anhang A4-3: Erwartungswerte im Vergleich mit den reell gemessenen Radioaktivitäten von 1990 bis 2003 am Beispiel der Fläche bei Taufkirchen/Vils.



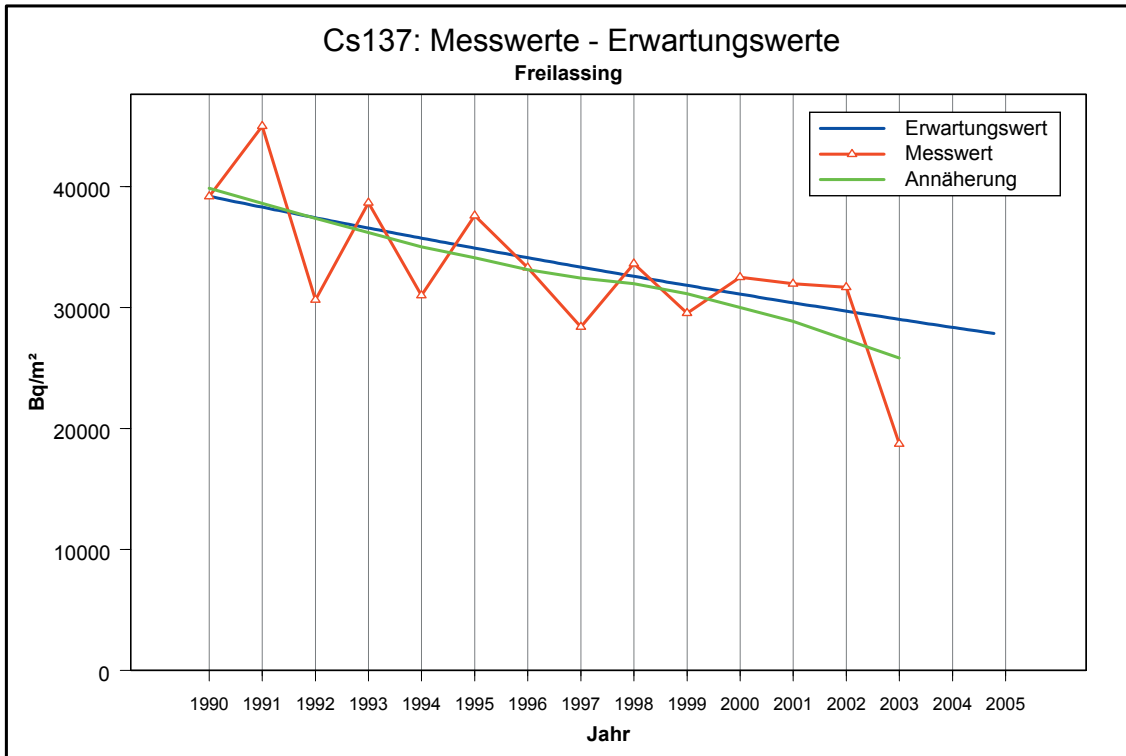
Anhang A4-4: Erwartungswerte im Vergleich mit den reell gemessenen Radioaktivitäten von 1990 bis 2003 am Beispiel der Fläche bei Babenhäusen.



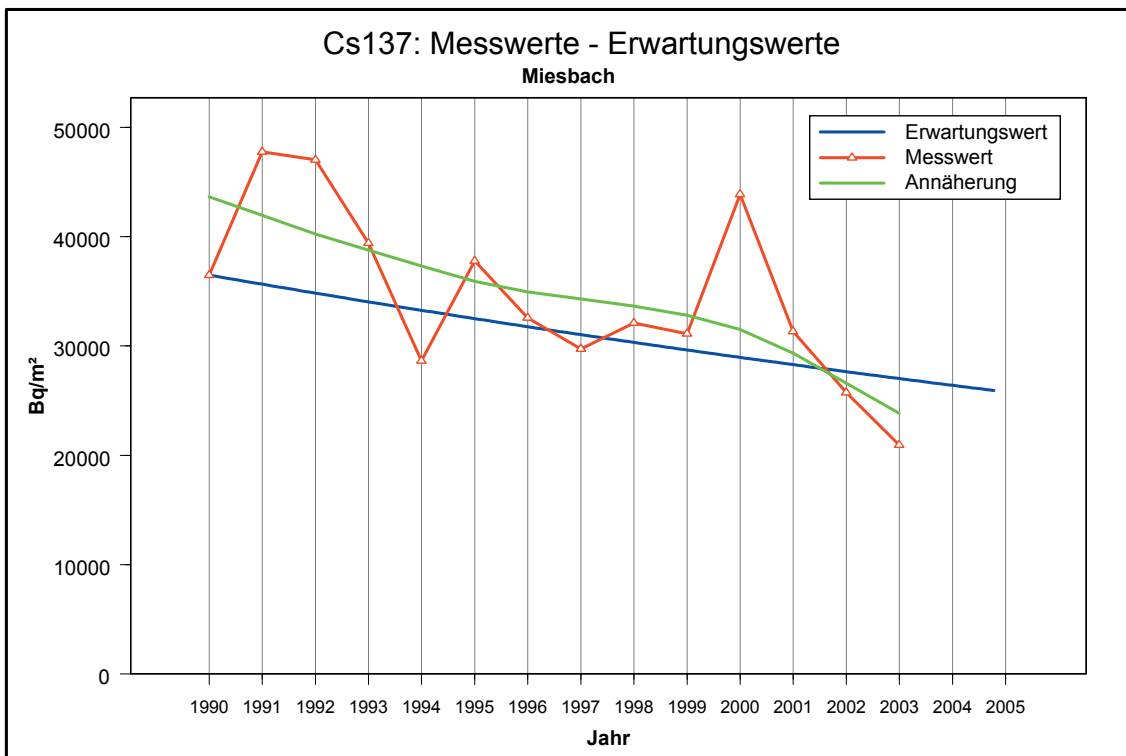
Anhang A4-5: Erwartungswerte im Vergleich mit den reell gemessenen Radioaktivitäten von 1990 bis 2003 am Beispiel der Fläche bei Markt Schwaben.



Anhang A4-6: Erwartungswerte im Vergleich mit den reell gemessenen Radioaktivitäten von 1990 bis 2003 am Beispiel der Fläche bei Otterfing.



Anhang A4-7: Erwartungswerte im Vergleich mit den reell gemessenen Radioaktivitäten von 1990 bis 2003 am Beispiel der Fläche bei Freilassing.



Anhang A4-8: Erwartungswerte im Vergleich mit den reell gemessenen Radioaktivitäten von 1990 bis 2003 am Beispiel der Fläche bei Freilassing.

## 7.2 Anhang der Tabellen

Transponiert nach Lokalitäten

Sortierung nach Horizont und Jahr

### Anthropogene Radionuklide

Werte in Bq/m <sup>2</sup> +3.5cm	Jahr	Bruck/Opf.	Landshut West	Taufkirchen	Babenhausen	Mkt. Schwaben	Otterfing	Freilassing	Miesbach
1990	5.275,90	10.157,66	15.078,43	15.078,43	15.078,43	13.582,59	8.832,65	6.335,40	23.290,00
1991	5.534,82	8.075,89	16.353,62	16.353,62	16.353,62	12.207,91	8.112,79	5.548,75	23.123,00
1992	5.874,40	9.098,63	18.282,22	18.282,22	18.282,22	29.532,67	8.701,44	6.398,95	22.525,00
1993	9.768,80	9.327,70	15.787,86	15.787,86	15.787,86	11.075,80	6.225,60	8.233,94	18.766,00
1994	3.606,00	6.668,53	8.273,18	8.273,18	8.273,18	10.476,55	5.607,72	3.395,78	15.437,00
1995	5.054,20	6.837,25	14.065,24	14.065,24	14.065,24	10.249,77	6.819,54	6.748,18	19.200,00
1996	5.011,21	7.279,17	10.826,55	10.826,55	10.826,55	7.185,77	6.585,28	5.334,89	14.438,00
1997	3.111,92	5.228,50	8.191,58	8.191,58	8.191,58	5.267,93	5.338,67	2.786,25	12.477,00
1998	3.054,69	5.663,85	9.358,39	9.358,39	9.358,39	4.988,52	101,85	2.306,06	11.870,00
1999	3.120,21	3.813,46	7.468,99	7.468,99	7.468,99	4.840,42	3.091,50	1.660,66	10.037,00
2000	3.438,43	2.995,78	3.914,21	3.914,21	3.914,21	2.972,34	2.988,94	1.420,62	16.106,00
2001	2.221,28	3.667,95	7.273,39	7.273,39	7.273,39	4.821,38	3.765,22	2.281,32	10.314,00
2002	2.034,37	3.218,93	7.883,31	7.883,31	7.883,31	8.441,67	5.498,52	2.015,61	13.289,00
2003	1.838,90	3.183,24	5.822,28	5.822,28	5.822,28	5.755,62	4.037,05	6.724,77	10.337,00

Tab. T1-1: Aktivitäten pro Flächeneinheit in den Organischen Auflagen, sortiert nach Standort und Jahr der Probenahme.

Transponiert nach Lokalitäten

Sortierung nach Horizont und Jahr

### Anthropogene Radionuklide

Werte in Bq/m <sup>2</sup> 0 - 10cm	Jahr	Bruck/Opf.	Landshut West	Taufkirchen	Babenhausen	Mkt. Schwaben	Otterfing	Freilassing	Miesbach
1990	2.426,90	9.369,98	5.612,67	5.612,67	5.612,67	9.049,97	9.576,04	36.326,39	16.376,00
1991	3.634,29	10.610,24	7.950,13	7.950,13	7.950,13	9.000,24	10.304,51	41.178,36	26.247,00
1992	3.272,94	8.211,03	9.381,42	9.381,42	9.381,42	14.743,66	14.650,22	23.969,67	23.778,00
1993	3.363,71	6.711,54	8.908,21	8.908,21	8.908,21	7.927,74	9.935,54	27.842,97	19.038,00
1994	2.666,91	7.949,84	7.502,09	7.502,09	7.502,09	12.220,82	9.927,26	26.863,30	11.934,00
1995	4.357,25	9.423,69	9.318,21	9.318,21	9.318,21	13.851,44	14.302,56	28.747,28	15.691,00
1996	2.722,90	9.931,45	8.699,18	8.699,18	8.699,18	10.062,32	11.603,69	26.825,18	15.551,00
1997	2.031,90	6.274,51	8.287,47	8.287,47	8.287,47	9.533,04	9.600,41	23.529,29	15.143,00
1998	3.342,61	6.249,62	927,06	927,06	927,06	10.305,47	8.431,78	28.140,74	15.892,00
1999	3.030,26	4.064,62	6.390,05	6.390,05	6.390,05	7.481,05	12.798,78	25.814,86	18.230,00
2000	3.233,65	8.780,83	6.163,96	6.163,96	6.163,96	10.073,58	10.260,34	28.592,40	22.837,00
2001	4.358,31	8.380,74	10.727,59	10.727,59	10.727,59	10.038,03	9.488,37	27.882,88	17.798,00
2002	3.000,00	6.000,00	7.897,05	7.897,05	7.897,05	6.283,87	9.968,40	27.173,14	10.265,00
2003	1.631,89	5.300,67	5.731,40	5.731,40	5.731,40	3.719,73	5.366,13	8.591,65	7.361,00

Tab. T1-2: Aktivitäten pro Flächeneinheit in 0-10 cm Bodentiefe, sortiert nach Standort und Jahr der Probenahme.

Transponiert nach Lokalitäten

Sortierung nach Horizont und Jahr

### Anthropogene Radionuklide

Werte in Bq/m <sup>2</sup> 10 - 30cm	Jahr	Bruck/Opf.	Landshut West	Taufkirchen	Babenhausen	Mkt. Schwaben	Otterfing	Freilassing	Miesbach
1990	151,29	782,62	0,00	0,00	0,00	1.196,51	903,38	2.099,57	3.248,00
1991	329,45	903,18	740,48	740,48	740,48	1.529,27	1.391,82	2.979,15	4.135,00
1992	525,48	1.013,28	1.135,50	1.135,50	1.135,50	2.873,88	1.856,86	2.618,84	4.643,00
1993	1.140,38	544,26	957,01	957,01	957,01	1.806,70	951,23	4.705,62	4.119,00
1994	557,44	802,39	736,06	736,06	736,06	3.260,24	1.340,83	2.000,02	2.588,00
1995	1.018,40	875,63	1.011,45	1.011,45	1.011,45	2.843,84	2.599,26	3.128,16	4.210,00
1996	492,68	624,47	1.174,61	1.174,61	1.174,61	1.808,02	1.566,84	1.789,19	3.180,00
1997	519,67	713,94	902,94	902,94	902,94	3.462,39	1.898,83	2.477,68	2.596,00
1998	305,73	1.157,06	1.568,48	1.568,48	1.568,48	2.750,03	3.266,85	3.990,34	4.706,00
1999	262,86	843,91	1.133,35	1.133,35	1.133,35	1.922,12	1.346,98	2.273,57	3.078,00
2000	632,33	1.298,73	568,64	568,64	568,64	2.360,03	1.370,52	2.675,65	5.137,00
2001	479,98	994,32	777,11	777,11	777,11	2.979,34	1.168,27	1.929,60	3.332,00
2002	300,00	1.000,00	1.077,38	1.077,38	1.077,38	1.446,72	2.105,89	2.510,97	2.264,00
2003	291,10	1.190,68	1.271,48	1.271,48	1.271,48	1.474,82	1.770,27	3.432,76	3.263,00

Tab. T1-3: Aktivitäten pro Flächeneinheit in 10-30 cm Bodentiefe, sortiert nach Standort und Jahr der Probenahme.

Sortierung nach Projekt / Horizont / Datum

Radioaktivität in Bq/qm  
1 Bruck/Opf.

1	1	L+Of+Oh															
UMREKT	Ac228	Ag110	Ce141	Ce144	Co60	Cs134	Cs137	I131	K40	Nb95	Ra226	Ru103	Ru106	Sb125			
+3,5																	
09.05.1990	5,92	97,00	<2,37	<9,47	<2,37	627,31	4.556,86	<3,55	816,68	<1,78	47,34	<3,55	<30,77	91,73			
15.05.1991	5,82	73,33	<10,48	<12,80	<1,75	500,52	4.964,46	-	692,58	<4,66	187,99	<9,31	<23,86	69,84			
13.05.1992	6,99	123,02	<27,96	<15,38	<2,10	394,24	5.396,28	-	950,64	<13,98	198,52	<25,86	<36,35	83,88			
28.04.1993	5,31	83,37	<138,59	<18,05	<2,12	517,19	9.186,30	-	722,16	<10,62	378,07	<104,08	<38,23	65,31			
04.05.1994	5,52	97,00	<0,10	<0,10	<0,66	131,38	3.444,48	-	645,84	<0,10	128,62	<0,10	<11,87	30,14			
10.05.1995	7,40	103,60	<0,10	<0,10	<0,10	140,60	4.913,60	-	814,00	<0,10	251,60	<0,10	<0,10	<13,32			
08.05.1996	7,09	112,73	<0,10	<0,10	<0,10	97,84	4.913,37	-	907,52	<0,10	99,97	<0,10	<0,10	<8,51			
14.05.1997	7,38	108,49	<0,10	<0,10	<0,10	42,58	3.047,94	-	725,45	<0,10	91,51	<0,10	<0,10	21,40			
29.04.1998	8,33	106,62	<17,49	<11,33	<80,38	30,90	3.023,79	49,98	916,30	<59,89	314,87	<9,83	<12,91	<62,56			
28.04.1999	7,39	119,72	<60,45	<21,65	<2,40	23,80	3.096,41	44,34	1.005,04	<15,96	175,14	<29,49	<37,54	<17,66			
17.05.2000	7,05	107,16	<284,82	<50,76	<3,47	19,18	3.419,25	84,60	853,05	<101,52	185,42	<149,46	<70,36	<29,33			
16.05.2001	5,67	83,92	<0,10	<0,10	<3,41	9,98	2.211,30	-	686,07	<0,10	187,00	<0,10	<58,97	<0,10			
24.05.2002	10,29	187,28	<0,10	<0,10	<4,16	34,37	2.000,00	-	2.366,70	<0,10	187,00	<0,10	<0,10	<0,10			
11.04.2003	8,65	137,10	<0,10	<0,10	<0,10	4,23	1.834,67	-	1.428,98	<0,10	187,00	<0,10	<0,10	<0,10			
2	rApBsv																
09.05.1990	129,09	4.099,00	<25,82	<103,27	<25,82	180,73	2.246,17	<12,91	41.179,71	<25,82	5.537,96	<12,91	<154,91	<51,64			
15.05.1991	128,42	4.571,75	<12,84	<77,05	<12,84	192,63	3.441,66	-	44.048,06	<38,53	5.470,89	<25,68	<102,74	<38,53			
13.05.1992	148,77	5.980,55	<14,88	<89,26	<14,88	133,89	3.139,05	-	52.962,12	<89,26	4.894,53	<59,51	<119,02	<29,75			
28.04.1993	131,91	4.643,23	<13,19	<92,34	<13,19	118,72	3.244,99	-	41.947,38	<65,96	5.236,83	<211,06	<118,72	<26,38			
04.05.1994	119,00	4.099,00	<0,10	<0,10	<7,38	60,81	2.606,10	-	41.412,00	<0,10	3.236,80	<0,10	<71,64	<20,47			
10.05.1995	133,74	4.680,90	<0,10	<0,10	<0,10	77,57	4.279,68	-	46.809,00	<0,10	6.152,04	<0,10	<0,10	<37,45			
08.05.1996	126,06	4.651,61	<0,10	<0,10	<0,10	<6,61	2.722,90	-	39.961,02	<0,10	2.596,84	<0,10	<0,10	<21,43			
14.05.1997	131,09	4.142,44	<0,10	<0,10	<0,10	<6,14	2.031,90	-	37.753,92	<0,10	3.840,94	<0,10	<0,10	<19,40			
29.04.1998	245,78	8.282,79	<1,624,61	<199,41	<1,047,02	<1,130,59	3.342,61	1.474,68	75.700,24	<761,92	7.520,87	<562,84	<1.128,13	<324,43			
28.04.1999	147,10	4.957,27	<691,37	<229,48	<15,30	<21,18	3.030,26	882,60	45.159,70	<148,57	6.148,78	<132,54	<0,10	<69,58			
17.05.2000	145,66	5.185,50	<1,392,51	<237,43	<26,95	<15,88	3.233,65	1.747,92	52.874,58	<774,91	4.282,40	<431,15	<279,67	<76,62			
16.05.2001	155,10	5.599,11	<0,10	<0,10	<38,46	<56,92	4.358,31	-	48.236,10	<0,10	4.993,00	<0,10	<494,77	<0,10			
24.05.2002	81,81	2.495,21	<0,10	<0,10	<17,51	<24,30	3.000,00	-	28.142,64	<0,10	4.993,00	<0,10	<0,10	<0,10			
11.04.2003	83,09	2.284,14	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	1.631,89	-	23.364,91	<0,10	4.993,00	<0,10	<0,10	<0,10			
3	rApBsv+Bv																
09.05.1990	252,15	7.207,00	<25,22	<103,72	<25,22	151,29	2.246,17	<12,91	41.179,71	<25,22	10.716,38	<25,22	<277,37	<50,43			
15.05.1991	253,42	9.680,64	<25,34	<126,71	<25,34	329,45	3.244,99	-	44.048,06	<38,53	5.470,89	<25,68	<102,74	<38,53			
13.05.1992	262,74	9.852,75	<26,27	<131,37	<26,27	262,74	3.244,99	-	52.962,12	<89,26	4.894,53	<59,51	<119,02	<29,75			
28.04.1993	271,52	9.666,11	<27,15	<190,06	<27,15	54,30	1.086,08	-	41.947,38	<65,96	5.236,83	<211,06	<118,72	<26,38			
04.05.1994	233,24	7.207,00	<0,10	<0,10	<8,63	<9,10	557,44	-	41.412,00	<0,10	3.236,80	<0,10	<71,64	<20,47			
10.05.1995	290,97	10.474,92	<0,10	<0,10	<0,10	<24,15	1.018,40	-	46.809,00	<0,10	6.152,04	<0,10	<0,10	<37,45			
08.05.1996	283,15	10.193,40	<0,10	<0,10	<0,10	<12,52	492,68	-	39.961,02	<0,10	2.596,84	<0,10	<0,10	<21,43			
14.05.1997	270,66	8.634,05	<0,10	<0,10	<0,10	<11,04	519,67	-	37.753,92	<0,10	3.840,94	<0,10	<0,10	<19,40			
29.04.1998	162,62	6.212,08	<793,59	<491,11	<495,99	<471,00	305,73	975,72	53.501,98	<356,14	4.423,26	<247,18	<502,50	<1.375,77			
28.04.1999	220,89	7.664,49	<30,92	<280,53	<24,96	<24,74	262,86	1.325,34	76.427,94	<205,43	9.056,49	<137,17	<262,86	<71,35			
17.05.2000	282,29	10.247,13	<81,58	<403,67	<49,98	<63,33	3.387,48	1.018,40	52.874,58	<774,91	4.282,40	<431,15	<279,67	<76,62			
16.05.2001	285,70	9.828,08	<0,10	<0,10	<52,28	<73,14	479,98	-	97.423,70	<0,10	7.639,00	<0,10	<559,97	<0,10			
24.05.2002	234,95	7.072,00	<0,10	<0,10	<44,41	<56,39	300,00	-	89.985,85	<0,10	7.639,00	<0,10	<0,10	<0,10			
11.04.2003	145,55	4.325,75	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	291,10	-	49.006,69	<0,10	7.639,00	<0,10	<0,10	<0,10			

Tab. T2-1: Aktivitäten pro Gewichtseinheit (Bq/kg) bei Bruck/Opf., sortiert nach Tiefenlage und Probenahmezeitpunkt.



Sortierung nach Projekt / Horizont / Datum

Radioaktivität in Bq/gm  
2 Landshut West

1	UMRFKT	Ac228	Ag110	Ce141	Ce144	Co60	Cs134	Cs137	I131	K40	Nb95	Ra226	Ru103	Ru106	Sb125
+	L+Of+Oh														
07.05.1990	5,88	130,00	<2,94	<11,76	<1,76	1.229,13	8.645,07	<3,53	1.040,94	<1,18	464,60	148,20	<9,94	148,20	135,26
14.05.1991	5,46	70,43	<3,28	<13,10	<1,64	726,18	7.261,80	-	966,42	<4,91	230,96	<24,02	<9,83	<24,02	87,91
12.05.1992	9,16	167,63	<8,24	<19,24	<2,75	692,50	8.289,80	-	1.795,36	<17,40	437,85	<45,80	<29,31	<45,80	116,33
27.04.1993	8,95	189,74	<6,27	<20,59	<1,79	478,83	8.744,15	-	1.879,50	<11,64	584,44	<82,34	<82,34	<82,34	104,72
03.05.1994	6,71	130,00	<0,10	<0,10	<0,79	256,99	6.361,08	-	1.194,38	<0,10	254,31	<15,50	<0,10	<15,50	50,46
09.05.1995	7,93	134,81	<0,10	<0,10	<0,10	190,32	6.605,69	-	1.427,40	<0,10	348,92	<0,10	<0,10	<0,10	41,24
07.05.1996	8,32	173,89	<0,10	<0,10	<0,10	140,61	7.138,56	-	1.555,84	<0,10	289,54	<0,10	<0,10	<0,10	<18,80
13.05.1997	7,28	156,52	<0,10	<0,10	<0,10	81,94	5.146,96	-	1.405,04	<0,10	315,95	<0,10	<0,10	<0,10	<6,76
28.04.1998	7,24	155,66	<10,86	<10,21	<7,96	60,09	5.603,76	43,44	1.448,00	<4,14	217,20	<13,32	<8,04	<13,32	<62,63
27.04.1999	5,97	112,83	<1,31	<27,64	<1,43	28,48	3.784,98	35,82	1.164,15	<9,97	299,10	<18,92	<18,92	<22,39	<6,87
16.05.2000	5,76	95,04	<2,97	<144,58	<25,86	17,86	2.977,92	69,12	996,48	<48,10	236,74	<71,42	<71,42	<34,39	<14,34
15.05.2001	6,50	126,75	<0,10	<0,10	<2,66	14,95	3.653,00	-	1.352,00	<0,10	258,00	<0,10	<0,10	<45,63	<0,10
23.05.2002	13,33	383,90	<0,10	<0,10	<5,43	18,93	3.200,00	-	3.719,07	<0,10	258,00	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
09.04.2003	7,23	179,52	<0,10	<0,10	<0,10	5,65	3.177,59	-	1.699,77	<0,10	258,00	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
2	Ah+SAI														
07.05.1990	113,99	4.450,00	<11,40	<22,80	<68,39	<11,40	900,52	8.469,46	<11,40	48.901,71	<34,20	5.015,56	<11,40	<102,59	<34,20
14.05.1991	117,37	5.305,12	<11,74	<70,42	<93,90	<11,74	727,69	9.729,97	-	51.877,54	<46,95	9.201,81	<35,21	<129,11	152,58
12.05.1992	140,12	7.314,26	<28,02	<196,17	<126,11	<14,01	420,36	7.790,67	-	62.073,16	<126,11	9.289,96	<84,07	<168,14	<56,05
27.04.1993	125,92	5.905,65	<25,18	<906,62	<125,92	<25,18	289,62	6.421,92	-	53.516,00	<138,51	11.597,23	<365,17	<226,66	<62,96
03.05.1994	109,65	4.550,00	<0,10	<0,10	<0,10	<5,37	250,00	7.631,64	-	44.956,50	<0,10	6.282,95	<0,10	<64,47	68,20
09.05.1995	119,59	5.859,91	<0,10	<0,10	<0,10	215,26	9.208,43	-	55.011,40	<0,10	11.959,00	<0,10	<0,10	<0,10	<45,44
07.05.1996	127,67	6.319,67	<0,10	<0,10	<0,10	164,69	9.766,76	-	56.813,15	<0,10	6.166,46	<0,10	<0,10	<0,10	<34,73
13.05.1997	118,53	5.333,85	<0,10	<0,10	<0,10	87,24	6.187,27	-	44.567,28	<0,10	6.471,74	<0,10	<0,10	<0,10	<20,03
28.04.1998	111,80	5.489,38	<124,10	<811,67	<646,20	<812,79	514,28	5.735,34	670,80	48.409,40	<495,27	6.562,66	<371,18	<841,85	<254,90
27.04.1999	117,17	3.901,76	<34,45	<282,38	<171,07	<21,79	174,58	8.890,04	703,02	37.142,89	<190,99	8.869,77	<128,89	<213,25	<61,16
16.05.2000	101,63	4.146,50	<44,82	<1.290,70	<204,28	<24,90	<35,47	8.780,83	1.219,56	36.993,32	<773,40	4.166,83	<479,69	<277,45	<83,84
15.05.2001	114,38	4.826,84	<0,10	<0,10	<0,10	<26,42	31,00	8.349,74	-	47.582,08	<0,10	6.303,00	<0,10	<304,25	<0,10
23.05.2002	92,46	4.216,18	<0,10	<0,10	<0,10	<28,11	<41,14	6.000,00	-	37.538,76	<0,10	3.603,00	<0,10	<0,10	<0,10
09.04.2003	44,32	2.090,13	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	5.300,67	-	20.329,58	<0,10	2.006,81	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
3	10-30	SAI													
07.05.1990	289,86	12.109,00	<28,99	<57,97	<173,92	<57,97	115,94	666,68	<28,99	13.333,56	<28,99	13.333,56	<28,99	<318,85	<115,94
14.05.1991	273,69	13.739,24	<27,37	<164,21	<191,58	<27,37	82,11	821,07	-	136.845,00	<109,48	19.431,99	<54,74	<246,32	<82,11
12.05.1992	289,51	14.417,60	<28,95	<318,46	<202,66	<28,95	86,85	926,43	-	137.227,74	<202,66	20.034,09	<144,76	<260,56	<86,85
27.04.1993	272,13	14.259,61	<27,21	<1.687,21	<244,92	<27,21	<27,21	544,26	-	133.343,70	<163,28	23.974,65	<489,83	<272,13	<81,64
03.05.1994	301,65	12.109,00	<0,10	<0,10	<0,10	<23,83	<20,81	802,39	-	152.936,55	<0,10	17.133,72	<0,10	<217,79	<57,62
09.05.1995	301,94	16.606,70	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<30,19	875,63	-	160.028,20	<0,10	28.684,30	<0,10	<0,10	<90,58
07.05.1996	293,18	16.183,54	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<19,00	624,47	-	147.469,54	<0,10	16.212,85	<0,10	<0,10	<58,93
13.05.1997	281,08	15.684,26	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<18,58	713,94	-	142.507,56	<0,10	18.466,96	<0,10	<0,10	<51,16
28.04.1998	275,49	13.361,27	<2.355,44	<1.721,84	10,51	<1.476,63	<1.377,45	1.157,06	1.652,94	18.736,19	<944,93	16.309,01	<630,87	<1.528,97	<432,52
27.04.1999	267,06	12.818,88	<57,15	<924,03	<368,54	<53,95	<45,13	568,84	1.602,36	25.251,14	<429,97	22.246,10	<275,07	<472,70	<128,99
16.05.2000	271,70	12.308,01	<114,93	<3.124,55	<491,78	<63,03	<85,86	1.298,73	3.260,40	20.906,50	<1.977,98	11.981,97	<934,65	<624,91	<161,12
15.05.2001	311,70	14.774,58	<0,10	<0,10	<0,10	<75,74	<105,04	994,32	-	148.097,50	<0,10	15.524,00	<0,10	<782,37	<0,10
23.05.2002	246,40	10.422,72	<0,10	<0,10	<0,10	<54,70	<70,47	1.000,00	-	106.937,60	<0,10	15.524,00	<0,10	<0,10	<0,10
09.04.2003	166,32	7.333,05	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	1.190,68	-	76.590,36	<0,10	7.160,08	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10

Tab. T2-2: Aktivitäten pro Gewichtseinheit (Bq/kg) bei Landshut, sortiert nach Tiefenlage und Probenahmezeitpunkt.

Sortierung nach Projekt / Horizont / Datum

Radioaktivität in Bq/qm  
3 Taufkirchen

1	+	4,5	L+Of+Oh	Ac228	Ag110	Ce141	Ce144	Co60	Cs134	Cs137	I131	K40	Nb95	Ra226	Ru103	Ru106	Sb125
UMRFKT	7,75	90,00	<4,65	<20,34	<3,10	1,922	1,912	1,922	1,912	1,922	1,912	1,922	1,912	1,922	1,912	1,922	1,912
07.05.1990	7,75	90,00	<4,65	<20,34	<3,10	1,922	1,912	1,922	1,912	1,922	1,912	1,922	1,912	1,922	1,912	1,922	1,912
21.05.1991	9,39	88,27	<18,78	<25,35	<3,76	1,568	1,3	1,568	1,3	1,568	1,3	1,568	1,3	1,568	1,3	1,568	1,3
06.05.1992	11,45	115,65	<60,69	<32,06	<4,58	1,248	0,5	1,248	0,5	1,248	0,5	1,248	0,5	1,248	0,5	1,248	0,5
04.05.1993	10,54	93,81	<82,34	<29,51	<2,11	777,85	14,861	40	1,443	98	<11,59	438,46	<17,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
09.05.1994	6,68	90,00	<0,10	<0,10	<0,79	304,61	7,882	40	6,94	72	<0,10	39,14	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
03.05.1995	10,52	126,24	<0,10	<0,10	<0,10	389,24	13,676	00	1,174	00	<0,10	315,60	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
30.04.1996	9,82	112,93	<0,10	<0,10	<0,10	220,95	10,605	60	1,345	34	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
05.05.1997	10,59	83,56	<0,10	<0,10	<0,10	120,73	8,016	63	1,101	36	<0,10	290,17	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
07.05.1998	10,31	127,84	<18,76	<14,02	<11,55	104,13	9,217	14	61,86	1,360	92	<68,77	214,45	<14,85	<22,58	37,12	<18,36
10.05.1999	9,19	85,83	<54,77	<36,93	<3,08	61,85	7,407	14	56,14	1,084	42	<17,46	221,48	<42,00	<60,93	<31,71	<31,71
31.05.2000	5,61	36,69	<208,13	<49,03	<3,85	20,87	3,893	34	67,32	499,29	<74,05	140,25	<123,42	<73,49	<31,47	<31,47	<31,47
03.05.2001	9,57	78,95	<0,10	<0,10	<4,44	28,90	7,244	49	1,110	12	<0,10	165,00	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
13.05.2002	11,96	131,56	<0,10	<0,10	<5,12	25,59	7,857	72	1,566	76	<0,10	165,00	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
10.04.2003	10,62	168,01	<0,10	<0,10	<0,10	14,20	5,808	08	2,148	43	<0,10	165,00	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
2	0-10	Ah+Bv															
07.05.1990	105,70	3,582	<10,57	<63,42	<10,57	465,08	5,147	59	<10,57	52,638	60	<10,57	3,488	10	<10,57	<84,56	<31,71
21.05.1991	112,29	4,244	<56,15	<78,60	<11,23	561,45	7,388	68	58,615	38	<33,69	6,422	99	<33,69	<112,29	<33,69	<33,69
06.05.1992	110,24	4,696	<154,34	<88,19	<11,02	551,20	8,830	22	59,198	88	<88,19	4,652	13	<77,17	<121,26	<44,10	<44,10
04.05.1993	110,25	4,178	<661,50	<110,25	<22,05	385,88	8,522	33	54,794	25	<110,25	7,519	05	<319,73	<198,45	<55,13	<55,13
09.05.1994	69,93	3,582	<0,10	<0,10	<5,10	229,37	2,772	72	35,034	93	<0,10	293,06	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
03.05.1995	128,35	5,519	<0,10	<0,10	<0,10	205,36	9,112	85	68,025	50	<0,10	8,856	15	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
30.04.1996	100,79	4,354	<0,10	<0,10	<0,10	142,31	8,557	07	40,898	95	<0,10	4,071	92	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
05.05.1997	94,92	4,166	<0,10	<0,10	<0,10	124,35	8,163	12	47,460	00	<0,10	4,802	95	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
07.05.1998	83,67	3,254	<556,41	<530,47	<566,45	95,38	831,68		502,02	39,073	89	<315,44	3,790	25	<269,42	<598,24	<220,05
10.05.1999	106,08	4,126	<290,66	<153,82	<15,06	35,86	6,354	19	636,48	52,721	76	<89,53	7,213	44	<74,68	<144,27	<51,87
31.05.2000	105,77	4,082	<1,375	<01	<314,14	<35,22	29,30	6,134	1,269	24	51,404	22	<770,01	4,791	38	<501,35	<385,00
03.05.2001	109,26	4,195	<0,10	<0,10	<43,05	41,96	10,685	63	52,117	02	<0,10	4,268	00	<0,10	<443,60	<0,10	<0,10
13.05.2002	112,72	4,159	<0,10	<0,10	<26,60	17,92	7,879	13	58,952	56	<0,10	4,268	00	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
10.04.2003	38,44	1,522	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	5,731	40	19,838	88	<0,10	1,523	38	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
3	10-30	Bv															
07.05.1990	284,73	10,186	<56,95	<256,26	<56,95	<27,43	<27,43	740,48	<56,95	60,018	26	<56,95	19,646	37	<28,47	<398,62	<113,89
21.05.1991	274,25	12,423	<137,13	<191,98	<27,43	83,09	1,052	41	171,406	25	<82,28	15,440	28	<54,85	<246,83	<82,28	<82,28
06.05.1992	276,95	12,601	<304,65	<193,87	<27,70	83,09	1,052	41	168,662	55	<193,87	15,343	03	<138,48	<276,95	<83,09	<83,09
04.05.1993	273,43	12,796	<1,503	<87	<218,74	<27,34	<27,34	957,01	<165,151	72	<164,06	8,722	42	<437,49	<273,43	<82,03	<82,03
09.05.1994	140,47	10,186	<0,10	<0,10	<8,29	<0,77	736,06		79,646	49	<0,10	6,461	62	<0,10	<79,37	<21,49	<21,49
03.05.1995	266,17	12,509	<0,10	<0,10	<0,10	<50,57	1,011	45	135,746	70	<0,10	18,631	90	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
30.04.1996	286,49	14,610	<0,10	<0,10	<0,10	<17,96	1,174	61	160,720	89	<0,10	13,722	87	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
05.05.1997	282,17	13,149	<0,10	<0,10	<0,10	<14,22	902,94		158,297	37	<0,10	17,917	80	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
07.05.1998	261,85	10,919	<885,05	<866,72	<995,03	32,19	1,568	70	1,571	1,0124	378,75	<484,42	12,480	77	<371,83	<955,75	<261,85
10.05.1999	269,46	11,425	<479,64	<309,88	<44,46	36,65	1,096	70	1,616	76149	280,84	<263,80	18,458	01	<178,11	<379,94	<106,44
31.05.2000	176,05	7,693	<2,235	<84	<470,05	<55,63	<71,48	568,64	2,112	60	96,475	40	<1,288	69	<11,022	<693,64	<552,80
03.05.2001	269,83	11,521	<0,10	<0,10	<63,95	<84,73	777,11		150,295	31	<0,10	11,022	00	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
13.05.2002	254,10	10,011	<0,10	<0,10	<60,48	<71,15	1,077	38	136,959	90	<0,10	11,022	00	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
10.04.2003	161,89	7,183	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	1,271	48	101,699	30	<0,10	5,282	47	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10

Tab. T2-3: Aktivitäten pro Gewichtseinheit (Bq/kg) bei Taufkirchen, sortiert nach Tiefenlage und Zeitpunkt der Probenahme.

Sortierung nach Projekt / Horizont / Datum

Radioaktivität in Bq/qm  
4 Babenhausen

1	+2,5		L+Of+Oh		Ag110	Ce141	Ce144	Co60	Cs134	Cs137	I131	K40	Nb95	Ra226	Ru103	Ru106	Sb125
	UMRFKT	Ac228	Ac228	Ac228													
24.04.1990	4,49	90,00	<5,43	<4,65	<20,94	<3,10	1.822,19	12.794,10	<6,20	1.008,02	<2,33	<93,05	<5,43	224,87	<237,27	<237,27	<237,27
16.05.1991	3,82	88,27	<10,33	<18,78	<25,35	<3,76	1.568,13	14.554,50	-	1.192,53	<10,33	600,02	<22,54	<63,85	<230,99	<230,99	<230,99
14.05.1992	7,80	115,65	<13,74	<60,69	<32,06	<4,58	1.248,05	16.831,50	-	1.693,15	<25,19	385,87	<58,40	<74,43	<202,67	<202,67	<202,67
29.04.1993	6,55	93,81	<8,43	<182,34	<29,51	<2,11	777,85	14.861,40	-	1.443,98	<11,59	438,46	<112,78	<46,38	<148,61	<148,61	<148,61
05.05.1994	4,15	90,00	<0,10	<0,10	<0,10	<0,79	304,61	7.882,40	-	694,72	<0,10	39,14	<0,10	<17,10	<17,10	<17,10	<17,10
12.05.1995	6,86	126,24	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	389,24	13.676,00	-	1.174,00	<0,10	315,60	<0,10	<24,20	<24,20	<24,20	<24,20
09.05.1996	6,63	112,93	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	220,95	10.605,60	-	1.345,34	<0,10	<70,70	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
15.05.1997	6,15	83,56	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	120,73	8.016,63	-	1.101,36	<0,10	290,17	<0,10	<54,22	<54,22	<54,22	<54,22
30.04.1998	7,15	127,84	<17,84	<18,76	<14,02	<11,55	104,13	9.217,14	61,86	1.360,92	<68,77	214,45	<14,85	<22,58	<37,12	<37,12	<37,12
29.04.1999	6,43	85,83	<4,82	<54,77	<35,93	<3,08	61,85	7.407,14	55,14	1.084,42	<17,46	221,48	<42,00	<60,93	<31,71	<31,71	<31,71
18.05.2000	15,55	36,69	<6,90	<208,13	<49,03	<3,85	20,87	3.893,34	67,32	499,29	<74,05	140,25	<123,42	<73,49	<31,47	<31,47	<31,47
17.05.2001	5,70	78,95	<0,10	<0,10	<0,10	<4,44	28,90	7.244,49	-	1.110,12	<0,10	165,00	<0,10	<110,06	<110,06	<110,06	<110,06
23.05.2002	9,71	131,56	<0,10	<0,10	<0,10	<5,12	25,59	7.857,72	-	1.566,76	<0,10	165,00	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
16.04.2003	7,54	168,01	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	14,20	5.808,08	-	2.148,43	<0,10	165,00	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
2	0-10		Ah+Bv														
24.04.1990	104,88	3.582,00	<10,57	<10,57	<63,42	<10,57	465,08	5.147,59	<10,57	52,638,60	<10,57	3.488,10	<10,57	<84,56	<31,71	<31,71	<31,71
16.05.1991	112,43	4.244,56	<11,23	<56,15	<78,60	<11,23	561,45	7.388,68	-	58,615,38	<33,69	6.422,99	<33,69	<112,29	<112,29	<112,29	<112,29
14.05.1992	123,85	4.696,22	<22,05	<154,34	<88,19	<11,02	551,20	8.830,22	-	59,198,88	<88,19	4.652,13	<77,17	<121,26	<121,26	<121,26	<121,26
29.04.1993	113,81	4.178,48	<33,08	<661,50	<110,25	<22,05	385,88	8.522,33	-	54,794,25	<110,25	7.519,05	<319,73	<198,45	<198,45	<198,45	<198,45
05.05.1994	110,42	3.582,00	<0,10	<0,10	<0,10	<5,10	229,37	7.272,72	-	35,034,93	<0,10	2.937,06	<0,10	<50,14	<50,14	<50,14	<50,14
12.05.1995	111,67	5.519,05	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	205,36	9.112,85	-	68,025,50	<0,10	8.856,15	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
09.05.1996	106,99	4.354,13	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	142,11	8.557,07	-	50,898,95	<0,10	4.802,95	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
15.05.1997	118,45	4.166,99	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	124,35	8.163,12	-	47,460,00	<0,10	4.802,95	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
30.04.1998	102,78	3.254,76	<88,69	<556,41	<530,47	<566,45	95,38	831,68	502,02	39,073,89	<315,44	3.790,25	<269,42	<598,24	<220,05	<220,05	<220,05
29.04.1999	117,19	4.126,51	<19,94	<290,66	<153,82	<15,06	35,86	6.354,19	636,48	52,721,76	<89,53	7.213,44	<74,68	<144,27	<51,87	<51,87	<51,87
18.05.2000	90,15	4.082,72	<61,56	<1.375,01	<314,14	<35,22	29,30	6.134,66	1.269,24	51,404,22	<770,01	4.791,38	<501,35	<385,00	<114,23	<114,23	<114,23
23.05.2002	121,44	4.159,37	<0,10	-	-	<26,60	17,92	7.879,13	-	52,117,02	<0,10	4.268,00	<0,10	<443,60	<443,60	<443,60	<443,60
16.04.2003	54,59	1.522,99	<0,10	-	-	<0,10	<0,10	5.731,40	-	19,838,88	<0,10	1.523,38	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
3	10-30		Bv														
24.04.1990	291,58	10.186,00	<56,95	<56,95	<256,26	<56,95	<56,95	<56,95	<56,95	<56,95	<56,95	19.846,37	<28,47	<398,62	<113,89	<113,89	<113,89
16.05.1991	259,53	12.423,53	<27,43	<137,13	<191,98	<27,43	<27,43	740,48	-	171,406,25	<82,28	15.440,28	<54,85	<246,83	<82,28	<82,28	<82,28
14.05.1992	250,74	12.601,23	<27,70	<304,65	<193,87	<27,70	83,09	1.052,41	-	168,662,55	<193,87	15.343,03	<138,48	<276,95	<83,09	<83,09	<83,09
29.04.1993	245,34	12.796,52	<27,34	<1.503,87	<218,74	<27,34	<27,34	957,01	-	165,151,72	<164,06	8.722,42	<437,49	<273,43	<82,03	<82,03	<82,03
05.05.1994	265,76	10.186,00	<0,10	<0,10	<0,10	<8,29	<7,87	736,06	-	79,646,49	<0,10	6.461,62	<0,10	<79,37	<21,49	<21,49	<21,49
12.05.1995	305,92	12.509,99	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<50,57	1.011,45	-	135,746,70	<0,10	18.631,90	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
09.05.1996	271,51	14.610,99	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<17,96	1.174,61	-	160,720,89	<0,10	13.722,87	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
15.05.1997	285,24	13.149,12	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<14,22	902,94	-	158,297,37	<0,10	17.917,80	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
30.04.1998	277,57	10.919,15	<1.544,92	<885,05	<866,72	<995,03	<932,19	1.568,48	1.571,101	24,378,75	<484,42	12.280,77	<371,83	<955,75	<261,85	<261,85	<261,85
29.04.1999	264,63	11.425,10	<44,73	<479,64	<309,88	<44,46	36,65	1.096,70	1.616,761	49,280,84	<263,80	18.458,01	<178,11	<379,94	<106,44	<106,44	<106,44
18.05.2000	289,68	7.693,39	<90,84	<2.235,84	<470,05	<55,63	<71,48	568,64	2.112,60	96,475,40	<1.288,69	11.022,00	<693,64	<552,80	<141,90	<141,90	<141,90
17.05.2001	278,85	11.521,74	<0,10	<0,10	<0,10	<63,95	<84,73	777,11	-	150,295,31	<0,10	11.022,00	<0,10	<631,40	<631,40	<631,40	<631,40
23.05.2002	235,85	10.011,54	<0,10	<0,10	<0,10	<60,48	<71,15	1.077,38	-	136,959,90	<0,10	11.022,00	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
16.04.2003	158,13	7.183,06	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	1.271,48	-	101,699,30	<0,10	5.282,47	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10

Tab. T2-4: Aktivitäten pro Gewichtseinheit (Bq/kg) bei Babenhausen, sortiert nach Tiefenlage und Zeitpunkt der Probenahme.

Sortierung nach Projekt / Horizont / Datum

Radioaktivität in Bq/qm

5	Markt Schwaben																		
	+2,5	L+O+Oh	UMRFKT	Ac228	Ag110	Ce141	Ce144	Co60	Cs134	Cs137	I131	K40	Nb95	Ra226	Ru103	Ru106	Sb125		
1			5,44	84,00	<16,32	<5,98	<24,48	<2,72	1,173,60	11,641,60	<7,62	511,90	<2,72	<114,24	<7,07	<57,12	227,39		
	22.05.1991	6,69	80,28	<6,69	<11,37	<16,73	<2,68	1,170,75	10,837,80	-	836,25	<6,02	446,22	<13,38	<44,15	199,36			
	05.05.1992	15,08	190,01	<21,11	<105,56	<48,26	<6,03	2,035,80	27,144,00	-	1,975,48	<45,24	983,22	<99,53	<111,59	352,87			
	03.05.1993	7,90	124,82	<9,48	<160,37	<15,80	<2,37	571,96	10,428,00	-	900,60	<12,64	571,96	<116,13	<48,19	75,84			
	10.05.1994	8,09	84,00	<0,10	<0,10	<0,10	<1,21	394,79	9,950,70	-	817,09	<0,10	<46,76	<0,10	<0,10	131,06			
	04.05.1995	8,98	88,00	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	296,34	9,878,00	-	889,02	<0,10	628,60	<0,10	<0,10	75,43			
	29.04.1996	7,17	92,49	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	152,00	7,033,77	-	795,87	<0,10	298,27	<0,10	<0,10	<53,06			
	07.05.1997	7,26	52,93	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	79,86	5,147,34	-	535,06	<0,10	165,53	<0,10	<0,10	40,73			
	24.04.1998	5,64	53,58	<8,69	<14,89	<8,85	<5,70	60,91	4,901,16	33,84	586,56	<43,88	203,60	<10,15	<12,92	26,45			
	11.05.1999	6,67	61,63	<1,91	<31,82	<22,21	<1,34	38,02	4,802,40	40,02	680,34	<7,27	236,12	<19,28	<26,15	<22,28			
	30.05.2000	3,91	30,54	<4,89	<93,84	<21,97	<2,80	16,38	2,955,96	46,92	307,72	<52,79	79,76	<79,76	<49,27	<20,64			
	21.05.2001	7,33	79,16	<0,10	<0,10	<0,10	<2,40	20,23	4,801,15	-	806,30	<0,10	215,00	<0,10	<54,90	<0,10			
	29.05.2002	14,29	247,22	<0,10	<0,10	<0,10	<4,49	24,86	8,416,81	-	2,443,59	<0,10	215,00	<0,10	<0,10	<0,10			
	15.04.2003	8,52	156,17	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	12,29	5,743,33	-	1,569,38	<0,10	215,00	<0,10	<0,10	<0,10			
2																			
	0-10	Ah+AIBv	UMRFKT	Ac228	Ag110	Ce141	Ce144	Co60	Cs134	Cs137	I131	K40	Nb95	Ra226	Ru103	Ru106	Sb125		
	26.04.1990	63,11	2,192,00	<6,31	<12,62	<37,87	<6,31	908,78	8,141,19	<6,31	15,840,61	<6,31	2,208,85	<6,31	<63,11	<25,24			
	22.05.1991	75,19	2,278,26	<7,52	<30,08	<52,63	<7,52	654,15	8,346,09	-	20,301,30	<22,56	4,827,20	<22,56	<75,19	<30,08			
	05.05.1992	95,49	2,969,74	<19,10	<133,69	<85,94	<9,55	897,61	13,846,05	-	25,400,34	<66,84	6,416,93	<66,84	<114,59	<47,75			
	03.05.1993	71,55	2,160,81	<14,31	<457,92	<64,40	<7,16	343,44	7,584,30	-	19,032,30	<50,09	5,724,00	<186,03	<93,02	<35,78			
	10.05.1994	104,72	2,192,00	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	387,46	11,833,36	-	27,331,92	<0,10	5,309,30	<0,10	<94,98	<34,45			
	04.05.1995	90,12	3,064,08	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	333,44	13,518,00	-	24,332,40	<0,10	6,488,64	<0,10	<0,10	<48,66			
	29.04.1996	88,15	3,041,18	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	189,52	9,872,80	-	24,417,55	<0,10	4,592,62	<0,10	<0,10	<32,88			
	07.05.1997	72,39	2,135,51	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	122,34	9,410,70	-	16,215,36	<0,10	3,872,87	<0,10	<0,10	<15,85			
	24.04.1998	74,44	2,255,53	<682,61	<640,93	<461,53	<427,29	107,19	10,198,28	446,64	17,865,60	<317,86	4,161,20	<311,16	<562,77	<206,20			
	11.05.1999	85,67	2,518,70	<23,56	<308,41	<132,79	<16,19	53,46	7,427,59	514,02	21,503,17	<103,66	6,288,18	<109,66	<190,19	<70,34			
	30.05.2000	95,41	2,738,27	<49,90	<1,316,66	<288,14	<28,15	55,53	10,018,05	1,144,92	23,089,22	<681,23	5,085,35	<516,17	<355,88	<117,35			
	21.05.2001	86,29	2,459,27	<0,10	<0,10	<0,10	<26,32	28,39	10,009,64	-	20,537,02	<0,10	4,041,00	<0,10	<354,65	<0,10			
	29.05.2002	88,63	2,588,00	<0,10	<0,10	<0,10	18,61	<12,50	6,283,87	-	23,930,10	<0,10	4,041,00	<0,10	<0,10	<0,10			
	15.04.2003	36,29	1,162,73	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	3,719,73	-	10,219,26	<0,10	4,041,00	<0,10	<0,10	<0,10			
3																			
	10-30	AIBv+BTBv	UMRFKT	Ac228	Ag110	Ce141	Ce144	Co60	Cs134	Cs137	I131	K40	Nb95	Ra226	Ru103	Ru106	Sb125		
	26.04.1990	139,13	6,219,00	<13,91	<13,91	<69,57	<13,91	111,30	1,085,21	<13,91	41,321,61	<13,91	5,565,20	<13,91	<83,48	<27,83			
	22.05.1991	132,98	4,853,77	<13,30	<53,19	<79,79	<13,30	106,38	1,422,89	-	42,686,58	<26,60	8,976,15	<26,60	<93,09	<26,60			
	05.05.1992	226,29	8,214,33	<22,63	<248,92	<158,40	<22,63	181,03	2,692,85	-	69,697,32	<158,40	11,156,10	<90,52	<203,66	<67,89			
	03.05.1993	129,05	4,284,46	<12,91	<542,01	<90,34	<12,91	77,43	1,729,27	-	37,553,55	<64,53	4,865,19	<167,77	<116,15	<25,81			
	10.05.1994	272,39	6,219,00	<0,10	<0,10	<0,10	<17,71	127,75	3,132,49	-	83,623,73	<0,10	15,390,04	<0,10	<171,33	<47,67			
	04.05.1995	249,46	9,479,48	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	99,78	2,744,06	-	82,321,80	<0,10	22,201,94	<0,10	<0,10	<72,34			
	29.04.1996	243,34	9,149,58	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<11,05	1,808,02	-	71,785,30	<0,10	12,775,35	<0,10	<0,10	<34,80			
	07.05.1997	260,33	8,174,36	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<11,38	3,462,39	-	61,698,21	<0,10	12,860,30	<0,10	<0,10	<32,28			
	24.04.1998	223,58	7,333,42	<1,292,29	<1,055,30	<784,77	<865,25	<847,37	2,750,03	1,341,48	58,354,38	<617,08	12,207,47	<413,62	<818,30	<239,23			
	11.05.1999	230,47	7,121,52	<36,18	<760,55	<315,74	<29,27	<30,19	1,922,12	1,382,82	62,457,37	<204,43	15,602,82	<143,35	<301,92	<89,65			
	30.05.2000	205,22	6,874,87	<78,39	<1,762,84	<336,56	<44,94	<59,51	2,360,03	2,462,64	60,334,68	<1,151,28	9,009,16	<574,62	<441,22	<119,03			
	21.05.2001	229,18	7,287,92	<0,10	<0,10	<0,10	<43,54	<59,13	2,979,34	-	63,482,86	<0,10	9,421,00	<0,10	<465,24	<0,10			
	29.05.2002	212,44	7,711,57	<0,10	<0,10	<0,10	<55,02	<78,60	1,446,72	-	63,519,56	<0,10	9,421,00	<0,10	<0,10	<0,10			
	15.04.2003	111,56	3,620,12	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	1,474,82	-	33,044,07	<0,10	4,540,49	<0,10	<0,10	<0,10			

Tab. T2-5: Aktivitäten pro Gewichtseinheit (Bq/kg) bei Markt Schwaben, sortiert nach Tiefenlage und Zeitpunkt der Probenahme.

Sortierung nach Projekt / Horizont / Datum

Radioaktivität in Bq/qm

6 Otterfing

1	+2,5	L+Of+Oh																
		UMRFKT	Ac228	Ag110	Ce141	Ce144	Co60	Cs134	Cs137	I131	K40	Nb95	Ra226	Ru103	Ru106	Sb125		
30.04.1990	3,74	36,00	<2,62	<10,09	<1,49	1,075,97	7,322,56	<2,99	260,03	<1,12	<48,57	<2,99	214,82	219,30				
23.05.1991	4,03	30,23	<4,03	<10,88	<1,61	7,691,73	7,213,70	-	384,87	<8,46	245,83	<8,46	<28,61	129,36				
07.05.1992	5,28	24,82	<6,34	<14,78	<1,58	5,91,36	7,972,80	-	437,18	<12,67	319,97	<27,98	<34,32	137,28				
06.05.1993	4,06	36,13	<2,84	<10,96	<0,81	3,27,64	5,805,80	-	369,05	<4,47	183,51	<41,41	<17,46	92,16				
28.04.1994	3,91	36,00	<0,10	<0,10	<0,66	2,18,18	5,317,60	-	254,15	<0,10	134,90	<0,10	<13,25	71,94				
02.05.1995	5,46	44,77	<0,10	<0,10	<0,10	2,02,02	6,552,00	-	546,00	<0,10	267,54	<0,10	<0,10	65,52				
02.05.1996	5,20	47,63	<0,10	<0,10	<0,10	1,37,28	6,448,00	-	421,72	<0,10	170,56	<0,10	<0,10	<38,69				
06.05.1997	4,88	41,09	<0,10	<0,10	<0,10	77,10	5,221,60	-	385,52	<0,10	107,36	<0,10	<0,10	39,97				
23.04.1998	5,85	47,91	<9,01	<8,95	<56,75	54,52	47,33	35,10	421,20	<43,58	143,91	<8,78	<12,29	<68,03				
12.05.1999	4,35	17,88	<2,67	<18,23	<1,64	24,75	3,066,75	26,10	237,08	<8,18	180,53	<20,75	<29,28	<15,88				
05.06.2000	4,10	22,06	<3,26	<21,24	<1,79	16,44	2,972,50	49,20	246,82	<32,51	149,65	<55,35	<33,66	<15,95				
22.05.2001	6,24	39,06	<0,10	<0,10	<2,26	14,98	3,750,24	-	390,00	<0,10	132,00	<0,10	<47,24	<0,10				
29.05.2002	10,99	154,96	<0,10	<0,10	<3,20	14,51	5,484,01	-	1,406,72	<0,10	132,00	<0,10	<0,10	<0,10				
15.04.2003	7,44	80,58	<0,10	<0,10	<0,10	9,03	4,028,02	-	710,59	<0,10	132,00	<0,10	<0,10	<0,10				
2	0-10	Al+Al																
30.04.1990	82,41	2,267,00	<8,24	<65,93	<49,45	<8,24	1,005,40	8,570,64	<8,24	14,586,57	<8,24	8,817,87	<8,24	<16,48				
23.05.1991	74,24	1,952,51	<7,42	<37,12	<59,39	<7,42	801,79	9,502,72	-	14,848,00	<22,27	6,369,79	<22,27	<81,66				
07.05.1992	109,33	3,028,44	<21,87	<164,00	<98,40	<10,39	874,64	13,775,58	-	21,756,67	<87,46	7,336,04	<76,53	<120,26				
06.05.1993	76,96	2,008,66	<23,09	<561,81	<84,66	<15,39	469,46	9,466,08	-	14,391,52	<84,66	5,818,18	<261,66	<138,53				
28.04.1994	79,19	2,267,00	<0,10	<0,10	<0,10	<5,15	345,27	9,581,99	-	14,175,01	<0,10	7,633,92	<0,10	<61,69				
02.05.1995	99,60	2,988,00	<0,10	<0,10	<0,10	358,56	13,944,00	-	19,920,00	<0,10	11,952,00	<0,10	<53,78	<23,68				
02.05.1996	120,96	3,592,51	<0,10	<0,10	<0,10	209,26	11,394,43	-	23,345,28	<0,10	9,991,30	<0,10	<0,10	<32,18				
06.05.1997	97,18	2,711,32	<0,10	<0,10	<0,10	144,80	9,455,61	-	18,269,84	<0,10	10,106,72	<0,10	<0,10	<237,12				
23.04.1998	83,74	2,185,61	<820,65	<637,26	<450,52	<498,25	91,28	8,340,50	502,44	14,821,98	<358,41	6,950,42	<313,19	<206,84				
12.05.1999	121,00	2,976,60	<27,95	<508,20	<32,32	<13,67	93,78	12,705,00	726,00	20,449,00	<103,33	13,310,00	<122,21	<228,69				
05.06.2000	92,98	2,519,76	<55,42	<985,59	<238,96	<31,61	32,54	10,227,80	1,115,76	17,015,34	<693,63	4,546,72	<449,09	<89,90				
22.05.2001	114,41	3,020,42	<0,10	<0,10	<0,10	<35,01	38,10	9,450,27	-	20,479,39	<0,10	6,893,00	<0,10	<409,59				
29.05.2002	92,30	2,455,18	<0,10	<0,10	<23,91	<34,24	9,968,40	-	17,075,50	<0,10	6,893,00	<0,10	<0,10	<0,10				
15.04.2003	46,46	1,358,03	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	5,366,13	-	10,044,65	<0,10	3,195,98	<0,10	<0,10	<0,10				
3	10-30	Al+HBT																
30.04.1990	164,25	5,902,00	<16,43	<82,13	<16,43	98,55	804,83	<16,43	34,985,25	<16,43	22,830,75	<16,43	<114,98	<49,28				
23.05.1991	167,69	5,164,85	<16,77	<67,08	<117,38	<16,77	1,274,44	-	38,401,01	<50,31	22,034,47	<33,54	<134,15	<60,31				
07.05.1992	241,15	8,199,10	<24,12	<361,73	<217,04	<24,12	1,760,40	-	56,429,10	<24,12	26,598,85	<120,58	<241,15	<120,58				
06.05.1993	148,63	4,771,02	<14,86	<713,42	<133,77	<14,86	594,45	891,78	-	33,590,38	<89,18	19,232,72	<208,08	<44,59				
28.04.1994	168,87	5,902,00	<0,10	<0,10	<0,10	<6,92	8,11	1,340,83	-	34,449,48	<0,10	21,108,75	<0,10	<77,68				
02.05.1995	227,01	7,945,35	<0,10	<0,10	<0,10	102,15	2,497,11	-	56,752,50	<0,10	38,591,70	<0,10	<0,10	<8,172,36				
02.05.1996	229,07	7,948,73	<0,10	<0,10	<0,10	<16,10	1,566,84	-	51,998,89	<0,10	26,343,05	<0,10	<0,10	<45,58				
06.05.1997	245,01	8,795,86	<0,10	<0,10	<0,10	<15,41	1,898,83	-	55,617,27	<0,10	30,381,24	<0,10	<0,10	<45,08				
23.04.1998	230,06	6,717,75	<1,582,81	<1,656,48	<1,161,80	<959,35	<1,026,07	3,266,85	1,380,36	42,331,04	<814,41	7,868,05	<529,14	<980,06				
12.05.1999	233,85	6,477,65	<29,00	<495,76	<282,96	<25,26	<23,62	1,346,98	1,403,10	47,237,70	<145,45	30,400,50	<105,00	<223,56				
05.06.2000	230,34	6,979,30	<116,55	<2,718,01	<672,59	<61,96	<84,07	1,370,52	2,764,08	46,068,00	<1,529,46	19,256,42	<822,31	<695,63				
02.05.2001	246,47	6,876,51	<0,10	<0,10	<0,10	<63,84	<85,03	1,168,27	-	48,554,59	<0,10	19,556,00	<0,10	<702,44				
29.05.2002	225,47	6,561,18	<0,10	<0,10	<0,10	<55,24	<68,54	2,105,89	-	46,672,29	<0,10	19,556,00	<0,10	<0,10				
15.04.2003	129,50	3,184,41	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	1,770,27	-	26,469,80	<0,10	8,615,64	<0,10	<0,10	<0,10				

Tab. T2-6: Aktivitäten pro Gewichtseinheit (Bq/kg) bei Otterfing, sortiert nach Tiefenlage und Zeitpunkt der Probenahme.

Radioaktivität in Bq/qm Sortierung nach Projekt / Horizont / Datum

7 1	+2	L+Of		Sortierung nach Projekt / Horizont / Datum															
		UMRFEKT	Ac228	Ag110	Ce141	Ce144	Co60	Cs134	Cs137	I131	K40	Nb95	Ra226	Ru103	Ru106	Sb125			
02.05.1990	1,64	46,00	<2,13	<1,97	<8,70	<1,15	142,93	5,922,37	<2,63	4,26,66	<0,82	38,89	<2,30	107,81	162,29				
13.05.1991	1,44	21,60	<2,74	<5,76	<6,48	<0,86	557,28	4,924,80	-	262,08	<2,74	74,88	<0,72	<16,70	66,67				
11.05.1992	2,13	38,77	<3,83	<12,78	<8,52	<1,07	462,21	5,878,80	-	534,63	<5,75	139,30	<13,21	<19,81	57,94				
26.04.1993	2,85	70,11	<2,57	<80,37	<10,55	<0,86	453,15	7,723,50	-	900,60	<4,28	287,85	<47,31	<16,25	57,29				
02.05.1994	1,23	46,00	<0,10	<0,10	<0,10	<0,15	126,69	3,247,20	-	241,08	<0,10	34,44	<0,10	<4,18	21,89				
09.05.1995	3,43	44,59	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	202,37	6,517,00	-	788,90	<0,10	216,09	<0,10	<0,10	28,81				
07.05.1996	3,09	62,11	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	112,79	5,222,10	-	776,15	<0,10	229,59	<0,10	<0,10	<5,28				
12.05.1997	2,89	59,25	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	43,64	2,742,61	-	734,06	<0,10	116,47	<0,10	<0,10	<4,05				
27.04.1998	2,57	29,56	<3,83	<4,73	<3,39	<23,46	25,96	2,174,22	15,42	362,37	<15,73	85,00	<3,55	<4,81	105,88				
27.04.1999	2,92	24,09	<1,77	<23,07	<14,28	<1,08	13,78	1,646,88	17,52	303,68	<7,88	75,92	<13,58	<17,61	<8,15				
16.05.2000	1,72	<35,78	<2,55	<76,71	<13,76	<1,51	8,50	1,412,12	20,64	4,24,84	<35,43	91,50	<51,26	<24,60	<9,89				
15.05.2001	3,31	69,18	<0,10	<0,10	<0,10	<2,50	10,66	2,270,66	-	969,83	<0,10	85,00	<0,10	<43,69	<0,10				
28.05.2002	5,10	138,21	<0,10	<0,10	<0,10	<2,25	15,61	2,000,00	-	1,810,50	<0,10	85,00	<0,10	<0,10	<0,10				
14.04.2003	5,99	196,05	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	15,97	6,708,80	-	2,525,38	<0,10	85,00	<0,10	<0,10	<0,10				
2	0-10	Ah+AIBv																	
02.05.1990	102,53	3,580,00	<20,51	<20,51	<92,28	<10,25	3,814,12	31,374,18	<20,51	60,800,29	<10,25	4,408,79	<20,51	768,98	369,11				
13.05.1991	98,56	4,415,49	<19,71	<88,70	<108,42	<19,71	3,390,46	37,354,24	-	59,136,00	<49,28	6,081,15	<59,14	<157,70	433,66				
11.05.1992	100,84	4,104,19	<20,17	<110,92	<90,76	<10,08	1,502,52	22,285,64	-	52,638,48	<60,50	8,702,49	<70,59	<141,18	181,51				
26.04.1993	94,93	4,404,75	<28,48	<778,43	<113,92	<18,99	1,357,50	26,485,47	-	55,439,12	<85,44	8,686,10	<332,26	<161,38	<56,96				
02.05.1994	102,61	3,580,00	<0,10	<0,10	<0,10	<6,98	953,25	25,755,11	-	55,512,01	<0,10	6,331,04	<0,10	<89,17	154,94				
09.05.1995	90,23	4,060,35	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	775,98	27,971,30	-	55,040,30	<0,10	9,023,00	<0,10	<0,10	<60,45				
07.05.1996	106,02	5,279,80	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	532,22	26,292,96	-	64,036,08	<0,10	7,113,94	<0,10	<0,10	<0,34				
12.05.1997	108,36	4,832,86	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	340,25	23,189,04	-	58,947,84	<0,10	9,004,72	<0,10	<0,10	<34,46				
27.04.1998	85,68	3,392,93	<789,11	<843,09	<581,77	<475,52	294,74	27,846,00	514,08	42,411,60	<368,42	4,489,63	<437,82	<689,72	<285,31				
17.04.1999	92,14	3,998,88	<28,10	<719,61	<245,09	<13,91	199,94	25,614,92	552,84	49,202,76	<134,52	8,440,02	<183,36	<257,07	<104,12				
16.05.2000	98,70	4,165,14	<62,58	<1,954,26	<385,92	<34,15	166,80	28,425,60	1,184,40	53,396,70	<888,30	4,935,00	<820,20	<484,62	<169,76				
15.05.2001	110,62	4,657,10	<0,10	<0,10	<0,10	<37,06	117,26	27,765,62	-	56,969,30	<0,10	5,787,00	<0,10	<567,48	<0,10				
28.05.2002	77,86	3,340,19	<0,10	<0,10	<0,10	<19,85	<28,11	27,173,14	-	42,200,12	<0,10	5,787,00	<0,10	<0,10	<0,10				
14.04.2003	35,65	1,589,99	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	8,591,65	-	20,798,21	<0,10	1,246,68	<0,10	<0,10	<0,10				
3	10-30	AIBv																	
02.05.1990	241,33	9,987,00	<24,13	<48,27	<144,80	<24,13	193,06	1,906,51	<24,13	13150,831,25	<24,13	10,859,85	<24,13	<193,06	<72,40				
13.05.1991	252,47	11,411,64	<25,25	<151,48	<176,73	<25,25	252,47	2,726,68	-	157,541,28	<100,99	18,556,55	<75,74	<252,47	<75,74				
11.05.1992	247,06	11,537,70	<49,41	<271,77	<222,35	<49,41	148,24	2,470,60	-	149,718,36	<247,06	13,217,71	<148,24	<395,30	<123,53				
26.04.1993	258,55	12,772,37	<51,71	<1,913,27	<258,55	<25,86	232,70	4,472,92	-	162,627,95	<232,70	15,125,18	<620,52	<336,12	<77,57				
02.05.1994	259,07	9,987,00	<0,10	<0,10	<0,10	<2,020,75	<17,62	2,000,02	-	160,105,26	<0,10	15,440,57	<0,10	<171,25	<52,33				
09.05.1995	260,68	12,512,64	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<28,67	3,128,16	-	166,835,20	<0,10	28,674,80	<0,10	<0,10	<86,02				
07.05.1996	222,26	11,735,33	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<19,34	1,789,19	-	130,244,36	<0,10	12,646,59	<0,10	<0,10	<59,12				
12.05.1997	227,31	10,456,26	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<14,05	2,477,68	-	125,020,50	<0,10	16,843,67	<0,10	<0,10	<41,83				
27.04.1998	227,24	10,862,07	<247,69	<1,774,741	<208,92	<1,620,22	377,22	3,613,12	1,363,441	29,072,32	<1,104,39	14,134,33	<711,26	<1,558,87	<427,21				
27.04.1999	251,78	11,405,63	<56,90	<772,96	<480,90	<46,83	<46,08	2,273,57	1,510,681	46,284,18	<410,40	22,181,82	<264,37	<468,31	<143,51				
16.05.2000	252,42	11,964,71	<162,56	<2,491,39	<489,69	<99,96	<99,96	2,675,65	3,029,041	47,918,12	<2,365,18	22,162,48	<1,098,03	<860,75	<209,00				
15.05.2001	257,28	11,860,61	<0,10	<0,10	<0,10	<69,47	<91,33	1,929,60	-	150,251,52	<0,10	14,147,00	<0,10	<0,10	<692,08				
28.05.2002	222,21	9,399,48	<0,10	<0,10	<0,10	<51,77	<64,66	2,510,97	-	127,770,75	<0,10	14,147,00	<0,10	<0,10	<0,10				
14.04.2003	155,61	6,703,68	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	3,432,76	-	94,252,98	<0,10	8,599,01	<0,10	<0,10	<0,10				

Tab. T2--7: Aktivitäten pro Gewichtseinheit (Bq/kg) bei Freilassing, sortiert nach Tiefenlage und Zeitpunkt der Probenahme.

Sortierung nach Projekt / Horizont / Datum

Radioaktivität in Bq/qm  
8 Miesbach

1	+4	L+Of+Oh	Sortierung nach Projekt / Horizont / Datum															
			UMRFKT	Ac228	Ag110	Ce141	Ce144	Co60	Cs134	Cs137	I131	K40	Nb95	Ra226	Ru103	Ru106	Sb125	
03.05.1990	3,95	21,00	-	<4,00	<15,00	<2,00	2.874,00	19.607,00	<5,00	347,00	<2,00	486,00	<4,00	390,00	419,00			
13.05.1991	4,07	<6,00	<6,00	<16,00	<19,00	<2,00	2.157,00	20.228,00	-	282,00	<6,00	<87,00	<2,00	286,00	452,00			
11.05.1992	6,73	63,00	<11,00	<44,00	<27,00	<3,00	1.561,00	20.594,00	-	615,00	<18,00	668,00	<45,00	370,00				
26.04.1993	4,98	39,00	<11,00	<207,00	<25,00	<2,00	986,00	17.480,00	-	451,00	<13,00	389,00	<155,00	300,00				
02.05.1994	5,27	21,00	-	-	-	<1,00	606,00	14.651,00	-	497,00	-	291,00	-	180,00				
08.05.1995	7,68	54,00	-	-	-	-	561,00	18.432,00	-	607,00	-	998,00	-	207,00				
06.05.1996	7,60	70,00	-	-	-	-	302,00	14.136,00	-	613,00	-	471,00	-	<80,00				
12.05.1997	6,29	31,00	-	-	-	-	195,00	12.203,00	-	355,00	-	586,00	-	79,00				
22.04.1998	6,48	29,00	<10,00	<18,00	<10,00	<58,00	131,00	11.664,00	39,00	369,00	<51,00	155,00	<15,00	75,00				
26.04.1999	5,38	<10,00	<3,00	<66,00	<36,00	<1,00	84,00	9.953,00	32,00	313,00	<13,00	186,00	<41,00	<43,00				
15.05.2000	6,99	<20,00	<8,00	<601,00	<106,00	<4,00	99,00	16.007,00	84,00	412,00	<127,00	668,00	<354,00	<69,00				
14.05.2001	6,04	21,00	-	-	-	<2,00	46,00	10.268,00	-	448,00	-	325,00	-	<70,00				
28.05.2002	8,89	56,00	-	-	-	<4,00	43,00	13.246,00	-	659,00	-	325,00	-	-				
14.04.2003	6,26	21,00	-	-	-	-	27,00	10.310,00	-	394,00	-	325,00	-	-				
2	0-10	Ah+Bv																
03.05.1990	67,53	2.005,00	<7,00	<14,00	<54,00	<7,00	1.742,00	13.979,00	<14,00	18.638,00	<7,00	13.844,00	<7,00	446,00	209,00			
13.05.1991	72,91	2.304,00	<15,00	<66,00	<87,00	<7,00	2.136,00	23.914,00	-	21.654,00	<36,00	9.012,00	<36,00	117,00	197,00			
11.05.1992	73,73	2.337,00	<15,00	<118,00	<81,00	<7,00	1.504,00	22.045,00	-	21.087,00	<59,00	8.324,00	<66,00	111,00	229,00			
26.04.1993	48,15	1.680,00	<14,00	<510,00	<67,00	<5,00	881,00	18.008,00	-	15.312,00	<43,00	8.084,00	<207,00	87,00	149,00			
02.05.1994	77,56	2.005,00	-	-	-	<5,00	386,00	11.401,00	-	19.080,00	-	12.565,00	-	<56,00	147,00			
08.05.1995	89,87	2.786,00	-	-	-	-	413,00	15.278,00	-	26.062,00	-	17.974,00	-	<50,00				
06.05.1996	94,16	3.041,00	-	-	-	-	297,00	15.254,00	-	14.689,00	-	14.689,00	-	<13,00				
12.05.1997	89,91	2.634,00	-	-	-	-	218,00	14.925,00	-	22.657,00	-	14.116,00	-	<27,00				
22.04.1998	81,06	2.432,00	<637,00	<90,00	<497,00	<362,00	166,00	15.726,00	486,00	20.508,00	<351,00	14.267,00	<350,00	<462,00				
26.04.1999	81,09	2.376,00	<30,00	<514,00	<168,00	<18,00	147,00	18.083,00	487,00	21.975,00	<150,00	14.839,00	<180,00	<239,00				
15.05.2000	77,83	2.421,00	<34,00	<1.300,00	<213,00	<19,00	111,00	22.726,00	934,00	22.960,00	<659,00	9.573,00	<513,00	<267,00				
14.05.2001	72,98	2.124,00	-	-	-	<24,00	64,00	17.734,00	-	18.318,00	-	9.943,00	-	<378,00				
28.05.2002	64,37	1.867,00	-	-	-	<19,00	30,00	10.235,00	-	17.959,00	-	9.943,00	-	-				
14.04.2003	31,66	1.102,00	-	-	-	-	-	7.361,00	-	9.872,00	-	9.943,00	-	-				
3	10-30	Bv																
03.05.1990	177,49	5.780,00	<18,00	<35,00	<124,00	<35,00	355,00	2.893,00	<18,00	54.312,00	<35,00	39.225,00	<18,00	<213,00	<71,00			
13.05.1991	164,75	5.964,00	<16,00	<115,00	<132,00	<16,00	346,00	3.608,00	-	54.532,00	<82,00	25.421,00	<49,00	<181,00				
11.05.1992	206,37	7.512,00	<21,00	<310,00	<206,00	<21,00	268,00	4.375,00	-	65.213,00	<268,00	31.121,00	<124,00	<83,00				
26.04.1993	132,01	4.713,00	<26,00	<1.135,00	<145,00	<13,00	198,00	3.921,00	-	43.299,00	<145,00	23.841,00	<330,00	<53,00				
02.05.1994	176,04	5.780,00	-	-	-	<12,00	<13,00	2.588,00	-	52.284,00	-	33.272,00	-	<35,00				
08.05.1995	226,21	8.822,00	-	-	-	-	138,00	4.072,00	-	79.174,00	-	52.028,00	-	<86,00				
06.05.1996	216,35	8.113,00	-	-	-	-	<16,00	3.180,00	-	66.419,00	-	40.674,00	-	<48,00				
12.05.1997	221,85	7.166,00	-	-	-	-	<13,00	2.596,00	-	60.121,00	-	35.496,00	-	<38,00				
22.04.1998	192,10	5.648,00	<1.598,00	<1.535,00	<974,00	<884,00	<972,00	4.706,00	1.153,00	46.296,00	<847,00	25.357,00	<532,00	<328,00				
26.04.1999	219,88	7.828,00	<51,00	<1.629,00	<486,00	<32,00	<43,00	3.078,00	1.319,00	65.304,00	<358,00	47.494,00	<284,00	<147,00				
15.05.2000	210,53	7.053,00	<132,00	<4.842,00	<756,00	<64,00	<89,00	5.137,00	2.526,00	62.106,00	<2.590,00	30.527,00	<1.358,00	<762,00				
14.05.2001	219,22	6.686,00	-	-	-	<66,00	<82,00	3.332,00	-	59.847,00	-	28.890,00	-	<649,00				
28.05.2002	179,71	4.924,00	-	-	-	<40,00	<20,00	2.264,00	-	50.139,00	-	28.890,00	-	-				
14.04.2003	126,04	3.753,00	-	-	-	-	-	3.263,00	-	36.552,00	-	14.255,00	-	-				

Tab. T2-8: Aktivitäten pro Gewichtseinheit (Bq/kg) bei Miesbach, sortiert nach Tiefenlage und Zeitpunkt der Probenahme.

**In der Reihe „GLA Fachberichte“ des Bayerischen Geologischen Landesamtes erschienen bisher:**

- [1] AUERSWALD, K. & SCHMIDT, F. (1986): Atlas der Erosionsgefährdung in Bayern.- GLA Fachberichte, **1**: 74 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- [2] RUPPERT, H. & SCHMIDT, F. (1987): Natürliche Grundgehalte und anthropogene Anreicherungen von Schwermetallen in Böden Bayerns.- GLA Fachberichte, **2**: 97 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- [3] WROBEL, J.-P. & HANKE, K. (1987): Karten der Gefährdung der Grundwässer in Bayern durch Nitrat.- GLA Fachberichte, **3/Teil 1**: 1-25; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- JONECK, M., STANJEK, CH. & HOLZNER, G. (1987): Nitratverlagerung und Nitratabbau in Böden, Deck- und Verwitterungsschichten in verschiedenen Klimabereichen Bayerns.- GLA Fachberichte, **3/Teil 2**: 27-127; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- [4] RUPPERT, H., SCHMIDT, F., JONECK, M., JERZ, H. & DREXLER, O. (1988): Schwermetallgehalte in Böden des Donautales.- GLA Fachberichte, **4**: 51 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- [5] WITTMANN, O. (1991): Standortkundliche Landschaftsgliederung von Bayern - Übersichtskarte 1 : 1 000 000 - und Abhängigkeitsbeziehungen der Bodennutzung.- GLA Fachberichte, **5/Teil 1**: 1-47.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- RUPPERT, H., SCHMIDT, F. & SCHMIDT, R. (1991): Bereiche natürlicher Spurenmetalle in den häufigsten Böden Bayerns.- GLA Fachberichte, **5/Teil 2**: 49-73; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- [6] MARTIN, W., RUPPERT, H. & FRIED, G. (1991): Veränderungen von Elementgehalten, pH-Wert und potentieller Kationenaustauschkapazität in ausgewählten Böden Bayerns. Untersuchungen an 203 Profilen im Zeitraum 1964 bis 1986.- GLA Fachberichte, **6/Teil 1**: 1-35; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- RUPPERT, H. (1991): Zur Problematik der Abschätzung anthropogener Stoffgehalte in Böden am Beispiel von Schwermetallen.- GLA Fachberichte, **6/Teil 2**: 37-61; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- [7] JONECK, M. & PRINZ, R. (1991): Dioxine in Böden Bayerns. Gehalte polychlorierter Dibenzodioxine (PCDD) und polychlorierter Dibenzofurane (PCDF) in Auflage- und Oberbodenhorizonten von Böden unterschiedlicher Nutzung und Immissionsituation.- GLA Fachberichte, **7**: 60 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).



- [8] v. POSCHINGER, A. (1992): GEORISK. Erfassung und Untersuchung von Massenbewegungen im Bayerischen Alpenraum.- GLA Fachberichte, **8**: 33 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- [9] JONECK, M. & PRINZ, R. (1993): Inventur organischer Schadstoffe in Böden Bayerns. Chlorierte Kohlenwasserstoffe, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe und N-Herbizide in Böden unterschiedlicher Nutzung und Immissionsituation. - GLA Fachberichte, **9**: 155 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- [10] JONECK, M. & PRINZ, R. (1993): Schwermetallgehalte in Böden des Maintales und angrenzender Nebentäler.- GLA Fachberichte, **10**: 87 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- [11] SCHILLING, B. (1994): Boden-Dauerbeobachtungsflächen des Bayerischen Geologischen Landesamtes - Zielsetzung, Stand der Arbeiten und Ergebnisse aus den Erstuntersuchungen.- GLA Fachberichte, **11**: 60 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- [12] JONECK, M. & PRINZ, R.. (1994): Hintergrundbelastung bayerischer Böden mit organischen Problemstoffen. GLA Fachberichte, **12**: 55 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- [13] DIEPOLDER, G. W. (1995): Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung. Grundlagen - Bewertung - Darstellung in Karten.- GLA Fachberichte, **13/Teil 1**: 1-79; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- WAGNER, B. & WROBEL, J.-P. (1995): Untersuchungen zum Wasser- und Stofftransport in der ungesättigten Zone im Hinblick auf ihre Schutzfunktion für das Grundwasser.- GLA Fachberichte, **13/Teil 2**: 81-100 München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- [14] SCHILLING, B. & ZEITLER, G. (1997): Flächenvariabilität von Stoffgehalten in Böden dargestellt am Beispiel von Radionukliduntersuchungen auf einer Wald-Bodendauerbeobachtungsfläche des Bayerischen Geologischen Landesamtes.- GLA Fachberichte, **14/Teil 1**: 1-24; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- SCHILLING, B. (1997): Untersuchungen zum Verhalten radioaktiver Stoffe auf Monitoringflächen im Zeitraum 1990-94. - GLA Fachberichte, **14/Teil 2**: 25-47; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- SCHILLING, B. (1997): Wiederholungsuntersuchungen an Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Bayern. - GLA Fachberichte, **14/Teil 3**: 48-91; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- [15] RUPPERT, H.(1998): Die Humusaufgabe von Waldböden Südbayerns als Anzeiger der relativen Immissionsbelastung durch Schwermetalle.- GLA Fachberichte, **15**: 44 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt) .

- [16] SUTTNER, TH., AUSSENDORF, M. & MARTIN, W.(1998): Hintergrundwerte anorganischer Problemstoffe in Böden Bayerns.- GLA Fachberichte, **16**: 70 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- [17] PRINZ, R. & WITTENBECHER, M. (1999): Typische Gehalte ausgewählter Spurenelemente in Waldböden Bayerns.- GLA Fachberichte, **17**: 66 S.;München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- [18] WITTENBECHER, M. (1999): Mobilisierbare Schwermetallgehalte in forstwirtschaftlich genutzten Böden Bayerns.- GLA Fachberichte, **18**: 35 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- [19] DOPPLER, G., LINHARDT, E., RAST, U. & ROHRMÜLLER, H. (2002): ZDB-Schlüsselliste Petrographische Bezeichnung – Gesteinsbezeichnung für die Zentrale Datenbank (ZDB) des Bayerischen Geologischen Landesamtes. - GLA Fachberichte, **19**: 65 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- [20] BÜTTNER, G., PAMER, R. & WAGNER, B. (2003): Hydrogeologische Raumgliederung von Bayern. – GLA Fachberichte, **20**: 88 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- [21] WAGNER, B., TÖPFNER, C., LISCHIED, G., SCHOLZ, M., KLINGER, R., KLAAS, P. (2003): Hydrochemische Hintergrundwerte der Grundwässer Bayerns. – GLA Fachberichte, **21**: 252 S., München (Bayer. Geol. L.-Amt).



# FACHBERICHTE

Nr. 23

## **Intensiv-Boden-Dauerbeobachtung am Bayerischen Landesamt für Umwelt**

**unter Einbeziehung von Ergebnissen aus den Untersuchungen  
der Basis-Boden-Dauerbeobachtung**

von

B. SCHILLING, J. QUINGER, J. HAMMERL, G. HOLZNER UND CH. MAHLER

Herausgeber und Verlag:  
Bayerisches Landesamt für Umwelt,  
Dienstort München, Heßstr. 128, D-80797 München

Fachbericht 23	54 S.	33 Abb.	München 2005
----------------	-------	---------	--------------

ISSN 09232-9269

Anschrift der Autoren: Dr. Bernd Schilling  
Bayerisches Landesamt für Umwelt  
Dienststelle Marktredwitz  
Leopoldstraße 30  
D-95615 Marktredwitz

Josef Hammerl  
Georg Holzner  
Christof Mahler  
Jana Quinger  
Bayerisches Landesamt für Umwelt  
Dienstort München  
Heßstrasse 128  
D-80797 München

Das Bayerische Landesamt für Umwelt ist eine Fachbehörde  
im Geschäftsbereich des Bayerischen Staatsministeriums für  
Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz

Herausgeber: Bayerisches Landesamt für Umwelt,  
Dienstort München  
Heßstraße 128, D-80797 München

Redaktion: Dr. Bernd Schilling

Druck: Druckerei Diet, Buchenberg

Gedruckt auf chlorfrei gebleichtem Papier

**Schlüsselworte:** Boden-Dauerbeobachtung, Basis-Boden-Dauerbeobachtungsflächen, Intensiv-Boden-Dauerbeobachtungsflächen, Schadstoffe, Immissionen, Klima, Bodenwasser, Grundwasser

## **Kurzfassung**

Das Bayerische Landesamt für Umweltschutz führt im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz ein Pilotprojekt zur Intensivierung der Boden-Dauerbeobachtung durch. Die Intensiv-Boden-Dauerbeobachtung bietet über die Erfassung von Merkmalen hinaus eine Möglichkeit, bestimmte im Boden ablaufende Prozesse zu überwachen.

Das ehemalige Bayerische Geologische Landesamt hat hierzu vier Intensiv-Boden-Dauerbeobachtungsflächen eingerichtet. Die Standorte liegen in ausgewiesenen Belastungsräumen oder befinden sich in der Nähe von ehemals bekannten Schadstoffemittenten (z. B. Chemische Fabrik Marktredwitz).

Der Bericht beschreibt zum einen die Standortsituation sowie den bodenkundlich-geologischen Aufbau der Flächen. Zum anderen wird die Einrichtung der Messflächen und die Probenahme erläutert sowie das Vorgehen bei der Datenplausibilisierung vorgestellt. Mit Hilfe eines benutzerfreundlichen Datenviewers erfolgt eine übersichtliche Darstellung der Daten.

Anhand der Vielzahl der aufgenommenen Parameter können die untersuchten Flächen bodenkundlich sehr genau charakterisiert werden. Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen, dass die Intensiv-Boden-Dauerbeobachtung ein wertvolles Instrument ist, um schädliche Veränderungen im Boden prozessgesteuert diagnostizieren und damit bodenschutzfachliche Fragestellungen beantworten zu können.

Die Intensiv-Boden-Dauerbeobachtung ist insbesondere von Bedeutung, um die Wirksamkeit bodenschutzgesetzlicher Regelungen auf den stofflichen Zustand überprüfen und neuartige Problemfelder, die einer gesetzlichen Regelung bedürfen, identifizieren zu können. Weiterhin fungieren die Intensiv-Boden-Dauerbeobachtungsflächen als Frühwarnsystem und als Eichstandorte.

Zudem wird versucht im Zusammenspiel von Modellrechnungen und Abgleich über die Ergebnisdaten der Intensiv-Boden-Dauerbeobachtung, Zukunftsprognosen zu entwickeln. Bisher ist die Laufzeit dieses Projektes jedoch noch zu kurz, um die bislang errechneten Ergebnisse zu Stoffgehaltsentwicklungen im Boden mit einer ausreichenden Menge von reellen Daten abgleichen zu können.

Bezüglich Probenahme, Wartung, Organisation und Laboranalytik half das Pilotprojekt viele Erfahrungen zu sammeln, die in Teilbereichen eine Modifizierung der Intensiv-Boden-Dauerbeobachtung bei der Weiterführung zur Folge haben werden.

## **Intensive Soil Monitoring by the Bavarian Environment Agency**

**Key words:** Soil Monitoring, Basic Soil Monitoring Plots, Intensive Soil Monitoring Plots, Pollutants, Impacts, Climate, Soil Water, Groundwater

### **Abstract**

The Bavarian Environmental Agency has carried out a pilot project on intensifying Soil Monitoring on behalf of the Bavarian State Ministry of Environment, Health and Consumer protection. “Intensive Soil Monitoring”, within the scope of a descriptive soil survey, moreover offers the opportunity of long-term observation of soil processes.

To prove the efficiency of these procedures, the former Bavarian Geological Survey (now part of the Bavarian Environmental Agency) installed four Intensive Soil Monitoring Plots. The plots are located within polluted areas or close to known former polluters, such as the now defunct Chemical Plant in Marktredwitz.

This report describes the physiographic situation as well as the pedological and geological properties of the different plots. The installation of measuring plots, methods of soil sampling, and data validation are also presented. Tables and diagrams of the data are presented using an implemented userfriendly data viewer.

The results, as presented in the chapter on “potentially harmful changes to soils”, show “Intensive Soil Monitoring” to be a powerful tool for the solution of problems of provisional soil protection. The variety of pedological and pedochemical parameters furthermore provide a comprehensive view of the monitored plots.

The results show “Intensive Soil Monitoring” to be particularly suited for an early warning system. Regulations such as the German Soil Protection Act render a continuing increase of impacts on soil unlikely. Temporary elevated pollutant inputs, for example as a result of chemical accidents, can also be rapidly verified. Besides the “Intensive Soil Monitoring Plots” can be used for calibrating.

A prediction of future trends of contaminants in soils is attempted using model calculations in combination with real data of “Intensive Soil Monitoring”, although the duration of the project is still too short and therefore the data set too small for a reliable interpretation.

In summary, this pilot project has provided helpful information on sampling, servicing, organisation and analytical work. that will lead to some modifications of “Intensive Soil Monitoring” at the Bavarian Environmental Agency in the future.

# Inhalt

1	Einleitung .....	6
2	Standortsituation der Intensiv-Boden-Dauerbeobachtungsflächen .....	9
3	Bodenkundlich-geologischer Aufbau der Flächen .....	11
4	Einrichtung der Messflächen .....	13
5	Probenahme .....	15
5.1	Bodenproben .....	15
5.2	Gesamtdeposition .....	17
5.3	Grundwasser .....	18
5.4	Sickerwasser .....	18
5.5	Untersuchungsmethoden .....	18
6	Datenplausibilisierung .....	21
6.1	Bodenfeuchte, Bodenwasserspannung .....	22
6.2	Klimastationen .....	22
7	Darstellung der Daten (Datenviewer) .....	23
8	Ergebnisse .....	25
8.1	Boden .....	25
8.1.1	Status gegenüber Vorsorge-, Prüf- und Massnahmewerten .....	25
8.1.2	Veränderungen der Stoffkonzentrationen .....	28
8.2	Wasser .....	31
8.2.1	Status gegenüber Vorsorge-, Prüf- und Massnahmewerten .....	31
8.2.2	Veränderungen der Stoffkonzentrationen .....	32
8.3	Klima .....	33
8.4	Abschätzung der Sickerwasserraten .....	33
8.5	Modellberechnung .....	36
9	Erfahrungen aus dem Pilotprojekt .....	40
9.1	Wartung .....	40
9.2	Probenahme .....	41
9.3	Datenspeicherung .....	42
9.4	Analytik .....	42
9.5	Auswertung .....	43
10	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen .....	44
11	Danksagung .....	46
13	Anhang .....	50

## 1 Einleitung

Langzeituntersuchungen werden in vielen Arbeitsgebieten zur Vorrassage von Entwicklungen durchgeführt. Auch auf dem Umweltsektor (BROWN 2002) wird dieser Untersuchungstypus immer wieder zur Erstellung von Zukunftsprognosen verwendet. Das Bayerische Geologische Landesamt (GLA), das am 01.08.2005 mit dem Bayerischen Landesamt für Umweltschutz und dem Bayerischem Landesamt für Wasserwirtschaft (LfW) zum Bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU) fusionierte, hat Mitte der achtziger Jahre des letzten Jahrhunderts gemeinsam mit der Bayerischen Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau (Nachfolge durch die Landesanstalt für Landwirtschaft - LfL) und der Bayerischen Forstlichen Versuchsanstalt (jetzt Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft - LWF) begonnen, kontinuierlich nun auch die Böden Bayerns über lange Zeiträume hinweg zu untersuchen. Dabei hatten die 3 bayerischen Behörden in ihrer Zielsetzung unterschiedliche Schwerpunkte. Während die Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau vor allem die Auswirkungen von Düngung und Erosion auf die landwirtschaftlich genutzten Böden betrachten wollte (BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR BODENKULTUR UND PFLANZENBAU 1997), untersuchte die Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft die Einflüsse, die von Nähr- und Schadstoffeinträgen sowie von Veränderungen des Wasserhaushaltes auf die Wuchseleistungen von Bäumen ausgingen (SCHUBERT 2002). Das Bayerische Geologische Landesamt fokuzierte seine Untersuchungen auf die ausgelösten Veränderungen in Böden, die durch den Eintrag von Luftschadstoffen hervorgerufen werden (SCHILLING 1994).

Für diese Innovation der Langzeitbeobachtung bei den Boden-Untersuchungen gab es vor allem ein Motiv: Bislang zielten die Boden-Untersuchungen auf eine Zustandsbestimmung. Damit wird der Belastungsgrad eines Bodens zum Zeitpunkt der Probenahme festgestellt. Der Boden hat jedoch den Nachteil, dass erkannte Verschmutzungen (Altlasten) nur mit großem Aufwand rückgängig gemacht werden können. Sind größere Areale hoch belastet, ist die Wiederherstellung der Nutzbarkeit in der Regel nicht mehr möglich. Aus dieser Erkenntnis heraus wurde dem vorsorgenden Bodenschutz immer mehr Bedeutung zugemessen. Es wird daher angestrebt, bodengefährdende Entwicklungen rechtzeitig festzustellen. Als eines der bedeutendsten Werkzeuge zur Durchführung der hierfür notwendigen Untersuchungen, konzipierten die o.g. bayerischen Behörden die sogenannten Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF). Mit ihnen soll über die Bodenzustandserfassung hinaus eine langfristige Überwachung der Veränderungen in Böden durchgeführt werden. Im Bundesbodenschutzgesetz nimmt der Vorsorgegedanke eine zentrale Rolle ein. Die Boden-Dauerbeobachtungsflächen sind von ihrer Konzeption her das ideale Instrument, frühzeitig Bodenbelastungen zu erkennen. Als Endziel sollen die Ergebnisse aus den Untersuchungen auf diesen Flächen eine Ableitung von Prognosen der zukünftigen Entwicklung z. B. hinsichtlich ihrer Schadstoffverfrachtung ermöglichen. Die BDF leisten damit einen bedeutenden Beitrag für unsere Daseinsvorsorge.

Die Grundlage für das BDF-Programm in Bayern sind die beiden Landtagsbeschlüsse vom 16.12.1986 zur „Einrichtung eines Beobachtungsnetzes“ und vom 14.12.1989 zur „Ausarbeitung eines Bayerischen Bodenschutzprogramms“. Im Bayerischen Landesbodenschutzgesetz sind die BDF im Gesetzestext (Art 8) aufgeführt und in der Verwaltungsvorschrift vom 11.07.2000 ist die Bereitstellung der BDF-Daten für das Bayerische Boden-Informationssystem gefordert und geregelt (s. a. SCHUBERT 2004).



Über das Erreichen dieser entscheidenden Ziele für den vorsorgenden Bodenschutz hinaus, erfüllen Boden-Dauerbeobachtungsflächen noch weitere wichtige Funktionen (BARTH et al. 2002):

- sie fungieren als Frühwarnsystem für schädliche Bodenveränderungen,
- sie dienen als ein Kontrollinstrument für umweltpolitische Maßnahmen,
- sie ermöglichen eine Beweissicherung,
- sie können zur Umfeldüberwachung eingesetzt werden,
- sie können als Referenz für Bodenbelastungen eingesetzt werden (Hintergrundwerte),
- sie dienen als Versuchsplattform für Forschung (Methodenentwicklung),
- sie können als Referenz für die bodenkundliche Standortaufnahme benutzt werden.

Ergebnisse aus den Untersuchungen der Boden-Dauerbeobachtungsflächen (SCHILLING 1997) zeigen ein sehr unterschiedliches Verhalten der Stoffgehalte in den Böden. Generelle Abnahmen oder Zunahmen der Stoffkonzentrationen konnten nur vereinzelt festgestellt werden. So hat zum Beispiel der Bleigehalt im Boden im Zuge der Einführung von schadstoffärmeren Treibstoffen und der Katalysatortechnik nachweislich abgenommen. In der Regel haben sich die Stoffkonzentrationen in verschiedenen Regionen Bayerns jedoch unterschiedlich entwickelt.

An den Boden-Dauerbeobachtungsflächen werden eine Vielzahl von Merkmalen des Bodens bestimmt. Um zusätzlich ein Verständnis zu den im Boden ablaufenden Prozessen zu bekommen, müssen auch weitere Kompartimente wie Luft, Wasser und Lebewelt, die in enger Wechselwirkung zum Boden stehen, mit in das Messprogramm miteinbezogen werden. Durch diese Einbeziehung können Ergebnisse zu den ablaufenden Stoffflüssen gewonnen werden, d.h. eine weitaus exaktere Interpretation eventueller Stoffgehaltsveränderungen im Ökosystem wird ermöglicht. Zudem ist durch die Einbeziehung der o.g. Kompartimente in die Untersuchungen die Funktion der BDF als Frühwarnsystem wesentlich verbessert worden. Eine der wichtigsten Aufgaben des vorsorgenden Bodenschutzes, Zukunftsprognosen zu erstellen, kann unter Einbeziehung einer Vielzahl von Parametern aus Atmosphäre, Lithosphäre und Hydrosphäre zielgerichteter und exakter als bei den bislang angewendeten Methoden zur Bodenzustandsbestimmung erfüllt werden. Derartig erweiterte Langzeituntersuchungen benannte man seit der Ersteinführung in Baden-Württemberg als „Intensiv-Boden-Dauerbeobachtung“, die bisher betriebene Boden-Dauerbeobachtung wurde rückwirkend in „Basis-Boden-Dauerbeobachtung“ umbenannt.

Basis-Boden-Dauerbeobachtung und Intensiv-Boden-Dauerbeobachtung bilden eine enge Symbiose. Alle Bundesländer, die das Instrument „Intensiv-Boden-Dauerbeobachtungsflächen (IBDF)“ anwenden, verfügen auch über „Basis-Boden-Dauerbeobachtungsflächen (BDF)“. Die Adhoc Arbeitsgruppe Boden-Dauerbeobachtung der LABO stellt diese ergänzende Beziehung zwischen den beiden Boden-Dauerbeobachtungsformen deutlich dar und zeigt sowohl die Überschneidungen als auch die unterschiedlichen Schwerpunkte auf (BARTH et al. 2002).

Das Bayerische Geologische Landesamt (GLA) führte im Zeitraum vom April 1999 bis Juni 2004 im Auftrag und mit Mitteln des Bayerischen Staatministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (StMUGV damals Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU)) das Pilotprojekt zur Intensivierung der Boden-Dauerbeobachtung durch.

Ab November 1999 richtete das GLA vier Intensiv-Boden-Dauerbeobachtungsflächen (IBDF) ein. Diese Flächen befinden sich an Standorten, die von ihrem bodenkundlichen Aufbau her möglichst repräsentativ für viele Standorte in Bayern sind. An vergleichbaren Standorten wurden auch Basis-Boden-Dauerbeobachtungsflächen eingerichtet. Damit wird die Absicht verfolgt, Erkenntnisse aus den Intensiv-Untersuchungen auf entsprechende Basisflächen zu übertragen und umgekehrt.

Aus dieser engen Wechselbeziehung zwischen den beiden Beobachtungsformen heraus werden nachfolgend in diesem Abschlußbericht auch Erkenntnisse aus den Untersuchungen der 57 Basis-Boden-Dauerbeobachtungsflächen des ehemaligen GLA (jetzt eingegliedert in das neue LfU) eingebracht. Zur anschaulichen Darstellung der Daten wurde eigens ein EDV-gestützter Datenviewer (s. Kap. 7) entwickelt, der die Informationen zum augenblicklichen Stand der Boden-Dauerbeobachtung am LfU bündelt und Datenabfragen über benutzerfreundliche Menüs ermöglicht.

## 2 Standortsituation der Intensiv-Boden-Dauerbeobachtungsflächen

Die Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) sowie das Bayerische Landesamt für Wasserwirtschaft (LfW – jetzt eingegliedert in das neue LfU) betreuen Messstationen, die Gemeinsamkeiten mit den IBDF des ehemaligen Bayerischen Geologischen Landesamtes haben (Abb. 1). Die LWF hat neben 22 Waldklimastationen, die über Messinstrumente zur Messung von Klima-, Boden- und Vegetationsparameter verfügen, seit geraumer Zeit Basis-Boden-Dauerbeobachtungsflächen angelegt. Diese Flächen befinden sich in naturnahen Waldgebieten. Die Hauptzielrichtung der Messungen, ist die Erarbeitung von Erkenntnissen zu forstwirtschaftlichen Fragestellungen wie z. B. Wachstumsleistungen der Bäume. In 7 Wasserschutzgebieten untersucht das neue LfU (ehemalige Aufgabe des LfW) im Rahmen ihres Messnetzes „Stoffeintrag-Grundwasser (MSGw)“ den Boden und das Grundwasser. Das MSGw versucht in erster Linie, die Grundwasserbelastung durch immittierte Schadstoffe festzustellen. Die 4 Intensiv-Boden-Dauerbeobachtungsflächen des LfU (ehemalige Aufgabe des GLA) konzentrieren sich mit ihren Untersuchungen vornehmlich auf Fragen des Bodenschutzes, die in manchen Belangen mit Fragen des Grundwasserschutzes verknüpft sind. Im Gegensatz zu den Flächen der anderen Betreiber wurden für die IBDF des ehemaligen GLA Standorte ausgewählt, die einer erhöhten Belastung ausgesetzt sind bzw. waren.

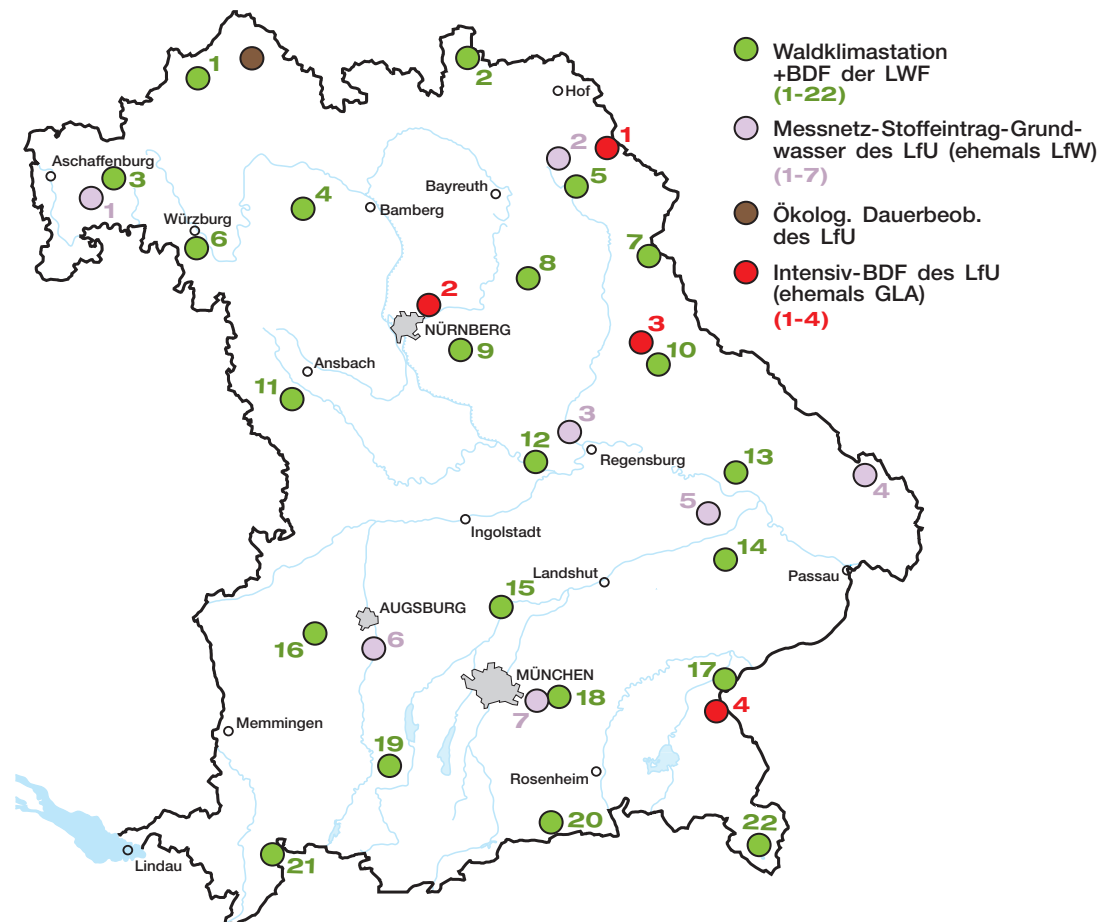


Abb. 1: Waldklimastationen und Intensiv-Flächen in Bayern.

***Marktrechwitz-Kösseineauen (Eigentum der Stadt Marktrechwitz an Landwirt verpachtet)***

Die Intensiv-Messfläche liegt ca. 5 km flussabwärts des Stadtzentrums von Marktrechwitz in der Aue des Flüsschens Kösseine. Es handelt sich hierbei um eine ebene Wiesenfläche, auf die meist zweimal im Jahr Wirtschaftsdünger aufgebracht wird. Bis zu dreimal im Jahr erfolgt eine Grasmahd.

Extrem belastet wurde die Kösseine und ihre Sedimente durch die älteste chemische Fabrik Deutschlands, die seit dem 18. Jahrhundert in Marktrechwitz produzierte. Vor allem Pflanzenschutzmittel wurden hergestellt. Große Mengen an Quecksilber sind hierbei mit dem Abwasser in die Kösseine gelangt. Weitere Verschmutzungen erfolgten durch die Schadstoffe Antimon, Arsen, Chlorphenole und Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe. In der Nachbarschaft des Werksgebietes befand sich eine Schleifscheibenfabrik von der zusätzlich Schadstoffe in den Fluss eingeleitet wurden. Die Messfläche befindet sich ca. 10 km westlich der tschechischen Grenze. Die Region im Nordosten von Oberfranken unterlag noch vor der „Wiedervereinigung“ Anfang der Neunziger Jahre des letzten Jahrhunderts einer starken Belastung durch Emissionen aus ungefilterten tschechischen Braunkohleheizkraftwerken. Der sogenannte „Katzendreck-Geruch“ überzog bei entsprechenden Witterungslagen das ganze Gebiet. Mit ihm gingen vor allem ein erhöhter Schwefeldioxid- und Benzolanteil in der Luft einher.

***Fürth-Knoblauchsland (Eigentum der Stadt Fürth, verwaltet von der Stadt Nürnberg)***

Im breiten Talbereich der Regnitz, nördlich von Nürnberg, befindet sich ein sehr fruchtbares Bodensubstrat, auf dem viele Sonderkulturen angebaut werden. Dieses Anbaugebiet wird als Knoblauchsland bezeichnet. Die Messfläche selbst liegt am Nordrand des Knoblauchslandes, wird nur noch als Ausgleichsfläche für das unmittelbar in der Nähe angesiedelte Industriegebiet „Fürth-Schmalau“ benutzt und ist landwirtschaftlich nicht genutzt. Die Wiesenfläche wird einmal im Jahr gemäht aber nicht gedüngt.

Inmitten der Industrieregion Nürnberg-Fürth-Erlangen wirken die verschiedensten Schadstoffeinflüsse auf die Fläche ein. Speziell befindet sich die IBDF unter der Einflugschneise des Nürnberger Flughafens und zwischen zwei nahegelegenen Autobahnen. In unmittelbarer Nähe der IBDF ist ein metallverarbeitender Betrieb angesiedelt. Die Schadstoffbelastung umfasst hier sowohl ein breites Spektrum an Schwermetallen als auch organische Stoffgruppen.

***Schwandorf-Charlottenhof (Freilandfläche des Bayerischen Staatsforstes)***

Die Brachfläche liegt ca. 5 km östlich der Industriestadt Schwandorf, unmittelbar neben dem Sportflugplatz Charlottenhof auf einem flachen Hügel. Die Geländeneigung ist gering (< 10). Die Fläche wird weiträumig von Wäldern umringt.

Lokale Schadstoffimmissionen stammen in erster Linie von der Stadt Schwandorf. Schwandorf hat im Stadtteil Dachelhofen ein Aluminium- und ein Müllheizkraftwerk. Früher war die Region vom Braunkohleabbau stark geprägt. Die Schadstoffpalette (verschiedene Schwermetalle,

PAK, Dioxine, Cyanide, Phenole etc.), die durch diese Vielfalt an Emittenten in diesem Raum potentiell abgelagert wird bzw. wurde, ist sehr groß. Eingebaute hochmoderne Filteranlagen in den Fabrikanlagen sorgen heute jedoch für einen geringen Schadstoffausstoß im Vergleich zu früheren Jahren.

### ***Burghausen-Bergham (Eigentum der Stadt Burghausen, verpachtet an einen Landwirt)***

Auf der Hochterrasse der Salzach ca. 200 m von der steilen Terrassenkante entfernt, wurde die IBDF in ebener Lage auf einer Wiese angelegt. Die Wiese wird mehrfach im Jahr gemäht aber nicht gedüngt.

Der Standort befindet sich im „Bayerischen Chemiedreieck“. Eine Vielzahl von chemischen Fabriken waren die Ursache, dass diese Region gemäß Landesentwicklungsplan offiziell zum Belastungsgebiet erklärt wurde. Das Schadstoffspektrum, das hier potentiell immittiert wurde, ist sehr groß, da auch verschiedene industrielle Produkte erzeugt wurden. Durch umweltpolitische Maßnahmen sind die Emissionen jedoch zurückgegangen.

## **3 Bodenkundlich-geologischer Aufbau der Flächen**

Bei der Auswahl der Boden-Dauerbeobachtungsflächen spielten auch bodenkundlich-geologische Gesichtspunkte eine wichtige Rolle. So mussten sowohl der Bodentyp als auch das Bodensubstrat weit verbreitet und für diesen regionalen Bereich typisch sein. Im EDV-gestützten Datenviewer (s. Kap. 7) können diese Informationen abgerufen werden. Speziell für die Intensiv-Boden-Dauerbeobachtung wurden folgende Bodenformen ausgesucht:

### ***Marktredwitz-Kösseineauen***

In der Talau der Kösseine hat sich ein tiefgründiger Grundwasserboden ausgebildet, dessen Grundwasserspiegel im Sommer und Herbst bei ca. 7 dm Tiefe liegt. Das Bodensubstrat ist in den oberen 3,5 dm sandig-lehmig und wird zu tieferliegenden Bodenhorizonten hin immer sandiger. In den einzelnen Bodenhorizonten schwankt der Skelettanteil stark und nimmt in den oberen 3,5 dm einen Anteil von bis zu 50 Vol.% am Bodensubstrat ein. Schwemmmaterial der Talau stammt aus den umliegend anstehenden Gesteinsformationen. Vor allem Granite, Redwitzite und Basalte sind das Ausgangsmaterial für die abgelagerten Verwitterungsprodukte. Der überwiegende Anteil der vorkommenden Substrate verfügt in erster Linie über Minerale mit einer geringen Pufferfähigkeit. Dennoch wurde über die ehemalige Düngung ein starker Anstieg der sauer wirkenden Stoffe im Boden verhindert. Die Filtereigenschaften des Bodens sind als „mittel“ zu bezeichnen. Das Porenvolumen ermöglicht eine relativ hohe Sickerwasserrate in den trockneren Jahreszeiten. Im Spätwinter und im Frühjahr steigt nach der Schneetauphase das Grundwasser bis zur Geländeoberfläche und witterungsabhängige Hochwässer treten in der Regel auf.

### ***Fürth-Knoblachsland***

Im breiten Talbereich der Regnitz hat sich an diesem Standort ein Übergang zwischen einem Stauwasser und einem Grundwasserboden ausgebildet. Das Substrat besteht ausschließlich aus Sedimenten des Sandsteinkeupers (Blasensandstein). Typisch für den Sandsteinkeuper ist der schnelle Bodenartenwechsel im Profil. So liegen bis zu einer Tiefe von ca. 7 dm rein sandige Materialien vor, die von einer Tonschicht unterlagert werden. Darunter folgt ab ca. 1 m Bodentiefe wieder eine reine Grobsandschicht. In den Keuperschichten treten carbonatreiche Gesteinslinsen auf. Auch die genannte Tonschicht enthält Carbonatanteile, die zu einem niedrigen Säuregrad im ganzen Bodenprofil führen. Die Filterwirkung des Bodens ist somit vom Chemismus her als „gut“ einzustufen. Das Sickerwasser gelangt recht schnell bis zu der Tonschicht in 7 dm Tiefe. Dort wird es gestaut. Mit einem Eintritt von immittierten Stoffen in tieferliegende Grundwasserstockwerke ist daher nicht zu rechnen.

### ***Schwandorf-Charlottenhof***

Die Fläche ist vorwiegend aus sandigem Kreidematerial aufgebaut. Im oberen Bereich des Bodenprofils bewegen sich die Tonanteile jedoch um die 13 Gew.% und steigen zwischen 5 und 7 dm Bodentiefe auf bis zu ca. 30 Gew.% an. Ab 7 dm gehen die Tonanteile dann stark zurück. Der Mineralgehalt des Kreidematerials ist relativ hoch, so dass die Versauerung noch nicht extrem fortschreiten konnte. In den obersten Bodenhorizonten beträgt der Skelettanteil bis zu 10 Vol.%. Die Sickerwasserrate ist in diesem sandigen Milieu ziemlich hoch, so dass eine Verlagerung von Stoffen in größere Bodentiefen wahrscheinlich ist.

### ***Burghausen-Bergham***

Über der Hochterrasse der Salzach wurden Lössschichten abgelagert, die z.T. mehrere Meter Mächtigkeit erreichen. Der Löß ist hierbei meist schon tiefgründig entkalkt (Lößlehm). Das Bodenprofil auf der Boden-Dauerbeobachtungsfläche enthält noch geringe Carbonatkonzentrationen. Dies ermöglicht eine hohe Pufferfähigkeit gegenüber vielen allochthonen Stoffen. Der pH-Wert liegt im ganzen Profil zwischen 6 und 7. Bodenartlich überwiegt die Korngröße „Schluff“. Die Tonfraktion bewegt sich um 20 Gew.%. Der Anteil an Grobporen ist gering, so dass die Sickerwassermenge auch gering ist. Eine größere Migration von eingetragenen Stoffen ist daher nicht zu erwarten.

## 4 Einrichtung der Messflächen

Auf den Basis-Boden-Dauerbeobachtungsflächen sind keine Messgeräte installiert. Hier erfolgt das Monitoring durch periodische Bodenprobenahme und Analytik im Labor. Die Intensiv-Flächen dienen zur Beobachtung klimatischer und hydrologischer Parameter sowie zur stetigen Beprobung von Depositions- und Bodenwasser. Die Beobachtung und Beprobung dieser Kompartimente bedingt jedoch eine umfangreiche Instrumentierung. Daher wurden die IBDF mit hochmodernen Messgeräten auf einer Fläche in unmittelbarer Nähe der Basis-Boden-Dauerbeobachtungsfläche ausgestattet (s. Abb. 2) (UMEG 1999). Zur Erfassung der Klimaparameter wurde analog der Vorgaben des Deutschen Wetterdienstes ein 10 m hoher Klimamast aufgestellt an dem folgende Messgeräte installiert sind:

- Windrichtungsgeber Typ W 200P, potentiometrisch mit 0,25 m/s Anlaufgeschwindigkeit (Abb. 3),
- Windgeschwindigkeitsgeber Typ A 101-R (1 Impuls/Umdrehung, Anlaufgeschwindigkeit 0,25 m/s) (Abb. 3),
- Sternpyranometer Typ 810 (0-1500 W/m<sup>2</sup>, Spektralbereich 0,3-3 µm, Auflösung < 1 W/m<sup>2</sup>, µV Ausgang, Glaskuppel) zur Bestimmung der Globalstrahlung (Abb. 4),
- Luftfeuchte-/Temperatursensor Typ Hp100A (Feuchtekapazität, 0-1V Ausgang, Versorgung 4,8-265 V DC, Toleranz ± 1,5 %) (Abb. 4).

Neben dem Mast ist ein Niederschlagsgeber aufgestellt, dessen Auffangtrichter 1 m über der Erdoberfläche angebracht ist (Abb. 5).

Im Boden sind an der Untergrenze des Oberbodens, der Untergrenze des Unterbodens und im Ausgangssubstrat der Bodenbildung Tensiometer des Typs UMS-T3 zur Messung der Wasserspannung sowie FDR-Sonden (Typ Theta-Probe ML2x) zur Messung des Wassergehaltes eingebaut. Jede Tiefenstufe wird dabei mit 4 parallel verlegten Sensoren jedes Typs erfasst, so dass pro Messfläche insgesamt 24 Sonden Messwerte liefern (Abb. 5). Speziell die Flächen bei Fürth und Schwandorf wurden mit Equitensiometern nachgerüstet. Diese speziellen Tensiometer müssen nicht regelmäßig mit Wasser befüllt werden. Der Wartungsaufwand wird dadurch deutlich verringert.

Am Rande der Messfläche befindet sich ein Holzhäuschen, das als „Schaltzentrale“ dient. In dieser Schaltzentrale sind Pumpen, Datenlogger, Datenmodem, Stromzähler und ein Probenkühlschrank untergebracht. Die Impulse der Messgeräte werden über entsprechende Kabel z.T. oberirdisch (Burghausen, Marktredwitz) oder durchwegs unterirdisch (Fürth, Schwandorf) in die Schaltzentrale geleitet.

Die Daten, die die Klimamessgeräte und Sonden liefern, werden jeweils über eine halbe Stunde gemittelt und in einem Datenlogger gespeichert. Die Daten können dann über Funkmodem und Empfangshandy jederzeit von der Dienststelle des LfU in Marktredwitz abgerufen werden. Um eine gleichmäßige und kontinuierliche Datensammlung zu erhalten, hat es sich bewährt, die Daten wöchentlich von den Messstellen an die Dienststelle zu überspielen.

## Skizze einer Intensiv-Boden-Dauerbeobachtungsfläche

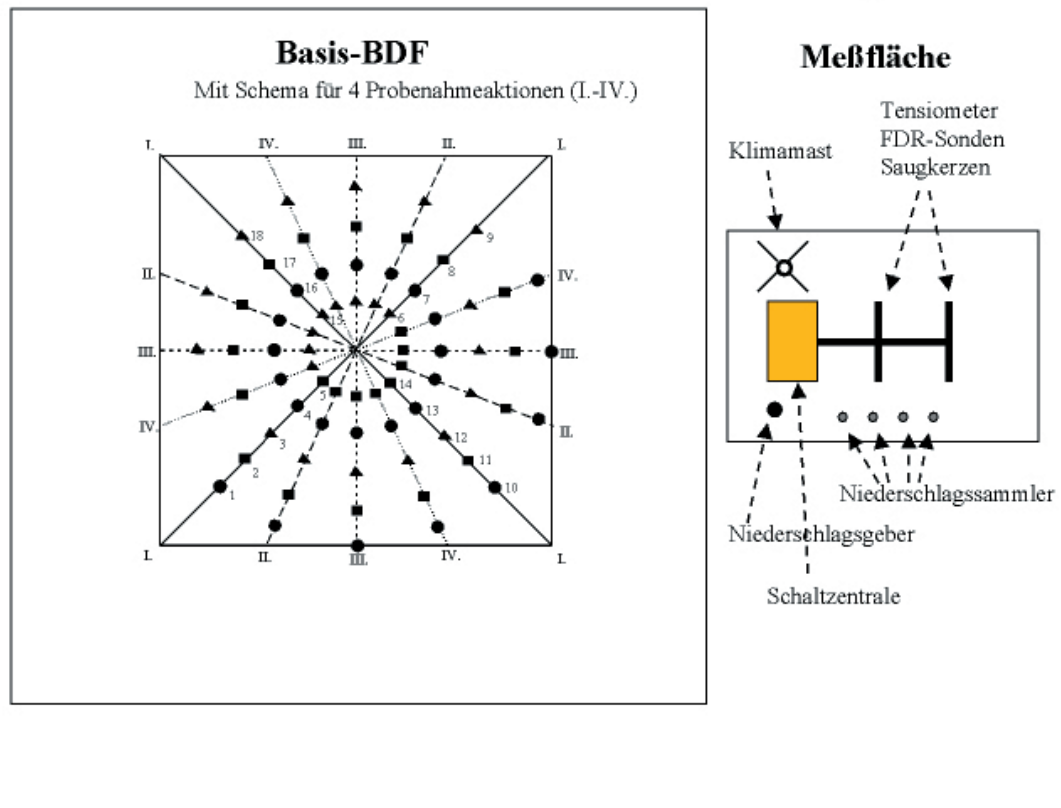


Abb. 2: Aufbau einer Intensiv-Messfläche mit Angaben zur Instrumentierung.

Zur Sammlung des Probenmaterials sind neben der Schaltzentrale in einer Höhe von ca. 1,5 m pro Fläche sowohl 4 Bergerhoffssammler (VDI 2119) zur Erfassung der anorganischen Depositionen als auch 4 Trichter-Adsorbersammler (E-DIN 19739-1) zum Auffangen der Depositionen für die organische Analytik aufgestellt. Das Bodenwasser auf einer IBDF wird mit Hilfe von 12 Saugkerzen (4 Parallelen/Tiefenstufe) aus Borsilikat (Luft Eintrittspunkt >500 hPa) gewonnen, die in den gleichen Tiefenstufen wie die FDR-Sonden und Tensiometer eingebaut worden sind. Einen Spezialfall stellt die Fläche bei Marktredwitz dar. Hier erfolgte zu Vergleichszwecken der Einbau von Saugkerzen aus Edelstahl (Spitze V4, PVDF-Fitting, Luft Eintrittspunkt >600 hPa) zusätzlich zu den Borsilikatkerzen.

Die IBDF in Marktredwitz und Fürth haben unmittelbaren Grundwasseranschluss. Um den Grundwasserfluss, die Stoffmengen im Grundwasser zu bestimmen und sie mit den Stoffmengen im Sickerwasser vergleichen zu können, wurden in 2002 auf diesen Flächen jeweils 3 Grundwasserpegel eingerichtet. Der Grundwasserspiegel und die Nachflussrate werden entsprechend den wasserwirtschaftlichen Richtlinien vierteljährlich gemessen und Wasserproben entnommen.



## 5 Probenahme

Im Gegensatz zu den bislang üblichen Beprobungsmethoden bei der Bodenzustandserhebung musste bei der Boden-Dauerbeobachtung ein neues Beprobungssystem entwickelt werden, das die Vergleichbarkeit der Daten aus verschiedenen Beprobungsaktionen ermöglicht. Von höchster Bedeutung ist die Erfassung der Stoffvariabilität, die der Kernpunkt für eine fundierte Bewertung von Veränderungen bei den Stoffkonzentrationen ist. Dies gilt nicht nur für die Bodenbeprobung, sondern auch für die Bestimmung der Stoffkonzentrationen im Bodenwasser, Grundwasser und Depositionswasser bzw. in der Gesamtdeposition (s. a. DREHER et al. 2002).

### 5.1 Bodenproben

Die Bodenbeprobung ist bei der Basis-Boden-Dauerbeobachtung und Intensiv-Boden-Dauerbeobachtung identisch. Dieses Beprobungssystem wurde bayernweit abgestimmt (BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN UND FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN 1990) und auch bundesweit zur Vorgabe gemacht (BARTH et al. 2002), um die Vergleichbarkeit der Daten zu garantieren. Auf Europa bezogen werden beim Bodenmonitoring oft noch sehr unterschiedliche Beprobungsformen angewandt (WAGNER et al. 2001). Deshalb ist es bislang äußerst schwierig einen grenzüberschreitenden einheitlichen Datenpool für Monitoringaufgaben zu schaffen.

Durch Mitarbeiter des ehemaligen Bayerischen Geologischen Landesamtes wurde an verschiedenen Standorten jeweils eine 2500m<sup>2</sup> große Fläche ausgesucht, die in eine zentrale Kernfläche von 900 m<sup>2</sup> Größe und eine umgebende Randfläche von 1600 m<sup>2</sup> aufgeteilt wurde. Die Flächen sind nach folgenden Kriterien ausgewählt worden:

- sowohl das Bodensubstrat als auch der Bodentyp sind möglichst homogen ausgebildet,
- der Bewuchs auf den Flächen ist weitestgehend einheitlich,
- die Flächen sind nicht oder zumindest nur gering geneigt,
- die Flächen unterliegen keiner intensiven landwirtschaftlichen Nutzung.

Diese Voraussetzungen sind notwendig, um von einer niedrigen Stoffvariabilität auf den Flächen ausgehen zu können und Erosionsvorgänge sowie Stoffeintrag über landwirtschaftliche Bearbeitung ausschließen zu können.

Die Randfläche dient in erster Linie dazu, ein Bodenprofil anlegen zu können, das die Beprobung aller pedologisch beeinflussten Substrate bis in das Ausgangsgestein hinein zulässt. In diesem Bodenprofil werden auch ungestörte Proben entnommen, um Daten zu bodenphysikalischen Parametern zu gewinnen. Damit soll eine Bewertung der geowissenschaftlichen Situation am Boden-Dauerbeobachtungsstandort gewährleistet sein.

Weiterhin ist die Randfläche dafür vorgesehen, zusätzliche Proben entnehmen zu können, für eventuelle, neue Fragestellungen, die zu beantworten sind.

Auf der Kernfläche werden die Proben bis 30 cm Bodentiefe entnommen. In diesem Tiefenbereich, der auch als Hauptwurzelraum der Pflanzen gilt (bis 30 cm Bodentiefe), findet in der Regel die überwiegende Ausfilterung von immittierten Stoffen statt. Um den Schwankungsbereich der Stoffkonzentrationen erfassen zu können, werden quer über die Kernfläche auf 2 senkrecht zueinander stehenden Linien, die sich im Schwerpunkt der Kernfläche schneiden, an 18 Stellen horizontbezogen Proben entnommen. Diese Proben werden nach einem Schema (s. Abb. 2) zu 3 Mischproben vereinigt. Dabei wird eine Probe jeweils mit der Probe der überübennächsten Probenahmestelle vermengt und homogenisiert. Die Vereinigung zu Mischproben soll bei ausreichender Aussagekraft der zugehörigen Ergebnisdaten für die Beantwortung projektrelevanter Fragen, den Untersuchungsaufwand in den Labors reduzieren.



Abb. 3: Windrichtungs- (links) und Windgeschwindigkeitsgeber (rechts).



Abb. 4: Luftfeuchtesensor (links) und Sternpyranometer (rechts).



Abb.5: Kabel und Leitungen zu Sonden und Saugkerzen (links); Niederschlagsgeber (Mitte) sowie Bulksammler (Organik) und Bergerhoffsammler (Anorganik) (rechts).

## 5.2 Gesamtdeposition

### *Atmosphärischer Deposition organischer Spurenstoffe ( Adsorberverfahren)*

Die atmosphärische Deposition mittel- bis schwerflüchtiger, organischer Spurenstoffe kann unter anderem zu negativen Bodenveränderungen und zur Beeinträchtigung der Grundwasserqualität führen. Zur Erfassung der atmosphärischen Deposition wurden die IBDF Standorte in Bayern ab Juni 2002 mit jeweils drei Trichter-Adsorber-Sammlern nach E-DIN 19739 bestückt.

Die aus der Atmosphäre deponierten organischen Spurenstoffe werden über einen Glastrichter gesammelt und in einem angeschlossenen Adsorber zurückgehalten. Die am Glastrichter anhaftenden Partikel werden beim Wechsel der Adsorbersäule mit Glaswolle und Aceton aufgenommen. Danach wird der Trichter mit Aceton gespült (Spüllösung). Das Adsorbermaterial und die Glaswolle werden extrahiert und anschließend gemeinsam mit der Spüllösung auf organische Schadstoffe analysiert. Die Probe enthält die Summe der im Adsorber, in der Glaswolle und in der Spüllösung analysierten Stoffmasse.

Bei monatlicher Probenahme beträgt das Probenaufkommen pro Jahr 156 Gesamtproben (144 Depositionsproben +12 Blindwerte).

### *Atmosphärischer Deposition für anorganische Parameterbestimmung (Bergerhoff-Verfahren)*

Die Bestimmung des Staubniederschlag (trockene und nasse Deposition) erfolgt mittels Bergerhoff-Messverfahren nach VDI-Richtlinie 2119. Seit Beginn der Einrichtung sind die IBDF Standorte in Bayern jeweils mit vier Bergerhoff-Sammlern bestückt.

Der atmosphärische Stoffeintrag wird durch Exposition der Auffanggefäße über die vorhergesehene Messdauer erfasst (es werden Monatsproben genommen, d. h. pro Jahr entstehen ohne Ausfälle 48 Gesamtproben). Die Probe wird eingedampft, der Trockenrückstand gravimetrisch bestimmt und für die Analytik aufgeschlossen. Wegen personaltechnischer Probleme im Labor wurde bis Ende 2002 nur die nasse Deposition bestimmt.

### **5.3 Grundwasser**

An den Messstellen Marktredwitz und Fürth sind in den Tiefen 30 und 100 cm tonige Schichten anzutreffen, die als Wasserstauer wirken. Es ist anzunehmen, dass sich Stauwasser zumindest zeitweise auf diesen Schichten lateral bewegt und nicht infiltriert und es hierdurch zu einer Abkopplung mit dem darunter liegenden Grundwasser kommt. Um diesen Zusammenhang näher untersuchen zu können, wurden an der Messstelle Marktredwitz und Fürth zusätzlich je 3 Grundwassermessstellen unter der Berücksichtigung der Vorgehensweise des BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (1998) eingerichtet. Diese erlauben neben der Beprobung des Grundwassers im Zu- und Abstrom auch die Ermittlung seiner Fließrichtung. Die Beprobung erfolgte ab 2002 vierteljährlich. Die Proben wurden auf organische und anorganische Parameter in den Labors des ehemaligen GLA analysiert.

### **5.4 Sickerwasser**

Für die Bestimmung der Sickerwasserbeschaffenheit und die daran anschließende Berechnung der Stoffausträge wurden die Messstellen in drei Tiefen mit Saugkerzen ausgestattet. Die an den Saugkerzen anliegenden Unterdrücke lassen sich jeweils von Hand einstellen. Hierzu sind für drei Tiefen jeweils getrennte Unterdruckregler eingebaut, die über einen unteren (P1) und einen oberen Schaltpunkt (P2) verfügen und über 1A-Relais die zugehörigen Vakuumpumpen schalten. Der Unterdruck pendelt je nach Dichtigkeit des Systems mehr oder weniger schnell zwischen den beiden Unterdrücken P1 und P2.

Die Beprobung erfolgt monatlich, pro Horizont werden eine Probe für die Organische Analyse, eine Mischprobe für die anorganische Analytik und TOC-Proben entnommen. Im Jahr entstehen so 144 Gesamtproben für Untersuchung auf organische Parameter, 144 Mischproben für Untersuchung auf anorganische Parameter und 540 TOC-Proben zur Überprüfung der Streuung im Horizont.

### **5.5 Untersuchungsmethoden**

Die Untersuchungsmethoden sind sofern es möglich war an DIN-Normen angelehnt. Die Problematik bei Langzeituntersuchungen sind jedoch Modernisierungen bei den Analyseverfahren. Dies bedarf bei Monitoringprogrammen eines ständigen Überprüfens, inwieweit die Analyseverfahren verändert werden dürfen, damit eine Vergleichbarkeit noch gewährleistet ist. Zudem muss ständig abgewägt werden, ob Rückstellproben mit Hilfe eines neuen Analyseverfahrens untersucht werden müssen.

Folgende Untersuchungsmethoden finden derzeit Anwendung:

Bodenphysikalische und -chemische Parameter

Korngrößenanalyse: DIN 19683 Teil 1+2 (1973)

Porenvolumen (Lk, nFk, Fk, GPV) : DIN 19683 Teil 5

pH Wert (CaCl<sub>2</sub>): DIN 19 684 - Teil 1

Kohlenstoff und Stickstoff: Gaschromatographisch mit dem Elementanalysator CHN-O RAPID

Carbonat: DIN 19 684 - Teil 5

Oxalatlösliche Elemente: DIN 19 684 - Teil 6

Dithionitlösliche Elemente: nach MEHRA & JACKSON (1960)

Potentielle Austauschkapazität: DIN 19 384 - Teil 8

Effektive Austauschkapazität: mit NH<sub>4</sub>Cl-Auszug (ULRICH, 1984)

Die Messung der Extraktionen zur Bestimmung der Kationen der potentiellen Austauschkapazität und der oxalat- und dithionitlöslichen Ionenkonzentrationen erfolgt mit der ICP-AES (Spectroflame, Fa. Spectro).

Die Messung der Kationen zur Bestimmung der effektiven Austauschkapazität mit AAS-Spektrometer der Firma Perkin-Elmer Modell 5100 PC + Zeeman-Graphitrohrofeinheit HG 600.

### ***Geochemische Untersuchungen***

Gesamtaufschluß mit HClO<sub>4</sub>-HF-HNO<sub>3</sub>-Gemisch (RUPPERT, 1987), seit 2002 auf Mikrowellenaufschluß umgestellt (KLINGER unveröff.):

Die Messung der meisten Spurenelemente (Bi, Cd, Co, Cs, La, Li, Mo, Rb, Pb, Sb, Sn, Th, Tl) in den Aufschlüssen wird mit einer ICP-MS (inductively coupled plasma mass spectrometry), Modell ELAN 250 (Fa. SCIEX-PERKIN ELMER) durchgeführt.

RoutineBestimmungsgrenzen bezogen auf die Aufschlußlösung (RUPPERT, 1990): sind 0,0x -0x µg/l (je nach Element);

Folgende Elemente wurden mit der ICP-AES (Spectroflame, Fa. Spectro) bestimmt (s. a. HEINRICH & HERRMANN, 1990): Al, Ba, Ca, Cr, Cu, K, Fe, Mg, Mn, Na, Ni, Sc, Sr, Ti, V, Zn (teilweise mit ICP-MS überlappend)

### ***Radionukliduntersuchungen***

Die nuklidspezifische Messung von gamma-strahlenden Nukliden, insbesondere Cäsium-134 und Cäsium-137, die neben Ruthen-106, Silber-110, Antimon-125 und Cer-144 vom Reaktorunfall in Tschernobyl herrühren und eventuell noch meßbar sind, erfolgt mit der hochauflösenden Gammaskopie. Dies wurde für das Bayerische Geologische Landesamt vom Strahlenmesslabor des Bayerischen Landesamt für Umweltschutz durchgeführt. Daneben werden auch noch die natürlich strahlenden Nuklide bestimmt wie Kalium-40 oder die Zerfallsprodukte der natürlichen Thorium-Actinium- und Uranzerfallsreihe.

Die Messapparatur besteht aus einem Reinert-Germaniumdetektor in einer 10 cm dicken Bleiabschirmung mit nachgeschalteter Elektronik (Hochspannungsversorgung, Vor- und Hauptverstärker, Analog-Digital-Wandler) und einem Vielkanalanalysatorsystem zur Registrierung und Speicherung der gemessenen Detektorimpulse bzw. des erhaltenen Spektrums. Die qualitative und quantitative Auswertung des Probenspektrums erfolgt über eine geeignete Software (Spectrum F), die auf einem DEC-Rechner (PDP11/23, BS:RSX 11M) im Multi-Usermodus betrieben wird.

Für die aus dem Reaktorunfall in Tschernobyl stammenden Nuklide werden zur Identifikation und zur Aktivitätsberechnung folgende Gamma-Übergänge und Emissionswahrscheinlichkeiten herangezogen:

Radionuklid	Gamma-Energie	Emissionswahrscheinlichkeit
Cs134	604,70 keV	97,6 %
Cs137	661,66 keV	85,0 %

Quelle: PTB-Bericht, Nr. Ra-16/3, September 1989

Die Meßzeiten der Bodenproben betragen im allgemeinen jeweils 50000 s. Dabei werden Bestimmungsgrenzen bezogen auf Kobalt-60 von ca. 0,1 Bq/kg TS erreicht - gefordert sind im Routineüberwachungsprogramm gem. Strahlenschutzvorsorgegesetz 0,5 Bq/kg TS bezogen auf Co60. Die eingesetzten Probenmengen betragen bei einem Probenvolumen von 1000 ml ca. 0,9-1,3 kg TS je nach Bodenbeschaffenheit.

Berechnung der Aktivitäten auf den 01.05.86 nach folgender Formel:

$$N(t) = N_0 * e^{-\lambda t}$$

$N_0$  = Anfangsaktivität

$e$  = Eulersche Zahl

$\lambda$  = Zerfallskonstante für unterschiedliche Isotope

$t$  = vergangene Zeit seit der Anfangsaktivität

(s. Zerfallsgesetz der Radioaktivität - HAMMER & HAMMER, 1976)

### ***Organische Schadstoffuntersuchungen***

#### *PAK und PCB aus der Gesamtdeposition*

Die Beprobung der atmosphärischen Deposition von mittel- bis schwerflüchtigen organischen Spurenstoffen erfolgt mit permanent offenen Bulksammlern (MARTIN 2000). Als Adsorber wird das Granulat IRA 743 (Fa. Rohm und Haas) verwendet. Dieses Verfahren erfolgt in Anlehnung an DIN 19739-1 und DIN 19739-2.

Die PAK und PCB werden aus der Adsorberprobe Soxhletextrahiert. Danach erfolgt die Anreicherung und evtl. nötige Aufreinigung der Probenextrakte. Die PAK und PCB werden mittels der Isotopenverdünnungsmethode durch GC/MS bestimmt.

#### *PAK und CKW in Bodenproben*

Dem Gesamtverfahren zur analytischen Bestimmung der wenig flüchtigen Organochlorpestizide, PCB und PAK liegen zwei Verfahren des VDLUFA, beschrieben im Methodenbuch Band VII zugrunde. Dies gilt für den Extraktionsschritt. Die Konzentrations- und Aufarbeitungsschritte wurden variiert.

Die feldfrischen Bodenproben werden bei Mineralböden, soweit möglich, auf < 2mm gesiebt. Die Auflagehorizonte mit groben Bestandteilen werden im Ultra Turrax zerkleinert. Nach Zu-

gabe von Internstandard werden die Bodenproben mit einem Lösemittelgemisch über 15 h geschüttelt. Nach Trocknung und Anreicherung der Lösemittelextrakte erfolgt eine Aufreinigung durch Festphasenextraktion.

Die gesuchten Verbindungen werden mittels Isotopenverdünnungsmethode durch GC/MS bestimmt.

#### *CKW und PAK in Wasserproben*

Das Verfahren ist angelehnt an die DIN 38407-2. Die Organochlorpestizide, PCB und PAK werden aus der Wasserprobe durch Flüssig-Flüssig-Extraktion abgetrennt. Nach Anreicherung und evtl. nötiger Aufreinigung durch Festphasenextraktion werden die gesuchten Verbindungen mittels Isotopenverdünnungsmethode durch GC/MS bestimmt.

#### *Pentachlorphenol (PCP) in Bodenproben*

PCP wird nach DIN ISO 14154 bestimmt. Die Vorbehandlung der Bodenproben erfolgt wie die zur Bestimmung von CKW und PAK. Nach Zugabe von Internstandard und Lösemittel wird die Probe 15 h geschüttelt. Anschließend wird der Extrakt aufkonzentriert. Dann erfolgt die Derivatisierung von Phenol zum Phenolacetat und weiter die Aufreinigung des Extrakts durch Festphasenextraktion. PCP wird mittels GC/MS in Form seines Acetatderivates bestimmt.

### ***Bodenzoologische und -mikrobiologische Untersuchungen***

Bodenzoologische und -mikrobiologische Untersuchungen stellen eine gute Ergänzung zu der bodenphysikalischen und -chemischen Analytik an Proben der Boden-Dauerbeobachtung dar. Regenwürmer reagieren zum Beispiel auf Schadstoffeintäge im Boden sehr empfindlich und dienen daher als hervorragender Indikator für Stoffgehaltsveränderungen im Boden (PAOLETTI 1999). Die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft untersucht in Amtshilfe für das Bayerische Geologische Landesamt die Regenwurmpopulationen auf den Intensiv-Boden-Dauerbeobachtungsflächen und mehrere bodenmikrobiologische Parameter. Da jedoch noch keine Ergebnisdaten vorliegen, wird in diesem Bericht nicht näher auf diese Thematik eingegangen.

## **6 Datenplausibilisierung**

Die Daten der IBDF unterliegen einer ständigen Kontrolle. Die Analytikdaten aus den Bodenprobenuntersuchungen werden im Rahmen der AQS-Massnahmen standardmäßig überprüft. Eine zusätzliche Validierung der Daten erfolgt über die Ergebnisse der Mischbeprobung. Diese Daten werden in einem größeren Zeitrahmen erhoben und können bei eventuellen „Ausreißern“ ohne größere Probleme nachuntersucht werden. Anders ist dies bei Daten, die aus dem Boden- und Depositionswasser erhoben werden. Sie werden alle vier Wochen beprobt und anschließend analysiert. Die Daten werden durch Vergleich der Parallelproben sofort nach der Untersuchung geprüft. Da die Proben in der Regel nicht länger aufbewahrt werden können, ohne Stoffumwandlungsprozesse ausschließen zu können, muss eine notwendige Wiederholungsuntersuchung möglichst zeitnah angeschlossen werden. Noch hochfrequenter arbeiten die

Klimamessgeräte und Bodensensoren. Sie liefern halbstündlich Messdaten und bedürfen einer ständigen Überwachung, um eventuelle Fehlmessungen rechtzeitig zu erkennen und beheben zu können. Deshalb werden die Daten in der Regel im 4 Tagesrhythmus abgefragt und sofort einer Plausibilitätsprüfung unterzogen.

## **6.1 Bodenfeuchte, Bodenwasserspannung**

Die FDR-Sonden zur Bestimmung der Bodenfeuchte und die Tensiometer zur Bestimmung der Bodenwasserspannung sind sehr störungsanfällig. Oft sind extreme Wettereinflüsse und chemische Vorgänge im Boden Ursache für eine Messgerätebeeinflussung oder auch einen Messausfall. Auf jeder IBDF müssen durchschnittlich pro Jahr 1-2 Sonden ausgetauscht werden. Der Datenlogger, in dem die gemessenen Daten gespeichert werden, fällt immer wieder nach unterschiedlichen Zeiträumen aus. Aus diesen Gründen werden die Daten unmittelbar nach dem Abruf gesichtet. Der Messgeräteausfall ist anhand der Daten sofort zu erkennen. Unplausible Werte (Abweichung vom Mittelwerte der Parallelmessungen > 20%) können vor allem durch den Vergleich der parallel erhobenen Messdaten (4 Sensoren pro Messtiefe) aufgedeckt werden. Die unplausiblen Werte werden durch die „Parallelergebnisse“ ersetzt und als Ersatz gekennzeichnet. Bei einem Loggerausfall entsteht eine Datenlücke, die durch keine sinnvollen Daten gefüllt werden kann.

## **6.2 Klimastationen**

Entsprechend den Bodensensoren werden auch bei den Klimamessgeräten alle 30 Minuten Messdaten gespeichert. Im Gegensatz dazu werden jedoch keine Parallelmesswerte erhoben. Auch hier kommt es immer wieder zu Störungen bei den Messfühlern. Fällt der Logger aus, steht kein Datenmaterial zur Verfügung. Um diese Datenlücken zu schließen, werden „Ersatzdaten“ eingespielt. Die Ersatzdaten müssen natürlich eine enge Beziehung zu den Messstationen des neuen LfU haben. Die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) betreibt ein bayernweites Klimamessnetz, deren Messstationen sich oft nur wenige Kilometer von den IBDF Flächen befinden. Diese Daten sind ideal für Vergleichs- und Substitutionszwecke und wurden als solche auch vorrangig genutzt. Weitere Vergleichswerte bietet der Deutsche Wetterdienst, das Bayerische Landesamt für Umweltschutz und die Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (PREUHSLER 1997). Meist sind die Messstationen dieser Institutionen jedoch entweder zu weit entfernt von den Intensiv-Flächen oder das vorherrschende Kleinklima ist nur bedingt vergleichbar.

Pro Jahr werden ca. 20.000 Datensätze erstellt. Um bei dieser großen Datenmenge die Kontrolle teilweise automatisieren zu können, wurden Microsoft-Excel-Macros entwickelt, die einen automatischen Vergleich der Datensätze erlauben. Überschreitet die Differenz der Vergleichswerte eine definierte Schwelle (z. B. Niederschlag 20 %, Temperatur > 50C), werden die Datensätze durch die plausibleren Messwerte aus den eigenen Messungen des LfU oder denen des LfL ersetzt.



## 7 Darstellung der Daten (Datenviewer)

In der Basis-Boden-Dauerbeobachtung werden jetzt seit 19 Jahren, in der Intensiv-Boden-Dauerbeobachtung seit 4 Jahren verwertbare Daten im Boden-Informationssystem Bayern aufgezeichnet. Im Laufe dieser Zeit beläuft sich der Datenumfang auf ca. 5000 Datensätze aus den Boden-Untersuchungen. Dazu kommen noch ca. 120.000 Datensätze aus den Messungen der Bodensensoren und Klimamessgeräte. Diese Datensätze beinhalten die Messwerte von ca. 600 Einzelparametern. Um diese Datenflut übersichtlich, vergleichend und erläuternd darstellen zu können, wurde ein „Boden-Dauerbeobachtungs-Datenviewer“ konzipiert und mit Hilfe der Programmiersprache „Borland-Delphi“ umgesetzt (s. Abb. 6). Die Daten sind hierzu in einer Microsoft-Access-Datenbank abgelegt. Kartographische Darstellungen wurden mit dem Esri-Arc-Gis Modul „Arc Map“ eingebunden.

Der Datenviewer bietet eine übersichtliche Darstellung der gemessenen Parameter. Diese können in Tabellenform oder Diagrammform aufgerufen werden (s. Anhang 1-10). Außerdem gelang es mittels einer komplexen Datenbankstruktur die Darstellung der Stoffgehaltsveränderungen zu ermöglichen. Diese Stoffgehaltsveränderungen werden in den Diagrammen wiedergegeben. Weiterhin können Diagramme aufgerufen werden, die die Stoffvariabilität für die verschiedensten Stoffparameter aufzeigen.

Die von einer Boden-Dauerbeobachtungsfläche vorhandenen Daten können als übersichtlich strukturierte Formulare ausgedruckt werden (s. Anhang 15).

Eine ausgeklügelte Recherche-Option ermöglicht die Zusammenstellung unterschiedlichster Kriterien. Der Datenviewer findet bei der Aktivierung dieser Abfragen schnell die gewünschten Daten und führt zu den gesuchten Boden-Dauerbeobachtungsflächen (s. Anhang 14).

Zu jeder Boden-Dauerbeobachtungsfläche können Beschreibungen aufgerufen werden, die Standortsituation, die anthropogenen Einflussfaktoren und die bodenspezifische Situation des Standortes erläutern. Bewertungen zu Ergebnisdaten der Radionuklid-, Schwermetall- und Organischen Stoffanteile sind in diesem Bereich des Datenviewers kurz und prägnant zusammengestellt. Über die Aktivierung der Hilfefunktion sind Auflistungen von Massnahmen- und Prüfwerten der Bodenschutzverordnung des Bundesbodenschutzgesetzes aufrufbar, die die Bewertung der Ergebnisdaten unterstützen. In den Beschreibungen integrierte Farbdias zu den Flächen sollen einen Eindruck zu der Homogenität des Bewuchses liefern. Die fotografischen Zeitreihen werden ständig fortgeführt, um auch optische Veränderungen auf den Flächen zu dokumentieren (s. Anhang 11).

Speziell für die Intensiv-Flächen können über den „Video-Button“ Video-Sequenzen zur Einrichtung, zum Betrieb und zur Probenahme abgerufen werden, die auch textlich mit Erläuterungen ergänzt sind (s. Anhang 12).

Über eine kleinmaßstäbliche Bayernkarte können bedienerfreundlich Daten der gewünschten Boden-Dauerbeobachtungsfläche aufgerufen werden. Umgekehrt können recherierte Daten über ein angehängtes GIS-System sofort in großmaßstäblichen Karten dargestellt werden (s. Anhang 13).

**DatenViewer BodenDauerbeobachtungsflächen - Export BIS**

5938AB000029 | 6938 90 8 Marktredwitz

GGn fo-sz

R-Wert: 4510840 | H-Wert: 5542440 | Höhe: 598 m

Pfleg. ngsregion Oberfranken-Ost | Lkr. Wunsiedel i Fichtelgeb. Lkr. Gde. Marktredwitz [Lkr. Wunsiedel i Fichtelgeb.] | LE-W/ftm. 8.7

Dr. Schilling, B. 20000608 GS | Holzner/M.

BeprobungsFolge: Profil, Beprobung 1, WasserAnalytik, Beprobung 2

**StandortPhoto**

Beschreibung | Bewertung | Dia\_StandOrt | Dia\_Profil

**Marktredwitz-Kösseineauen (Eigentum der Stadt Marktredwitz an Landwirt verpachtet)**

Auengley aus Talsedimenten der Kösseine

**Allgemeine Beschreibung**

Die Intensiv-Messfläche liegt ca. 5 km flussabwärts des Stadtzentrums von Marktredwitz in der Aue des Flüsschens Kösseine. Es handelt sich hierbei um eine ebene Wiesenfläche, auf die meist zweimal im Jahr Wirtschaftsdünger aufgebracht wird. Bis zu dreimal im Jahr erfolgt eine Grasmähd. Extrem belastet wurde der Fluss durch älteste chemische Fabrik Deutschlands, die seit dem 18. Jahrhundert in Marktredwitz produzierte. Vor allem Pflanzenschutzmittel wurden hergestellt. Auf dem Werks Gelände befand sich noch eine Schleifscheibenfabrik. Große Mengen an Quecksilber sind hierbei mit dem Abwasser in die Kösseine gelangt. Weitere Verschmutzungen erfolgten durch die Schadstoffe

**Eigenschaften der Bodenform**

In der Talaue der Kösseine hat sich ein tiefgründiger Grundwasserboden ausgebildet dessen Grundwasserspiegel im Sommer und Herbst bei ca. 7 dm Tiefe liegt. Das Bodensubstrat ist in den oberen 3,5 dm sandig-lehmig und wird zu tieferliegenden Bodenhorizonten hin immer sandiger. In den einzelnen Bodenhorizonten schwankt der Skeletanteil stark und nimmt in den oberen 3,5 dm einen Anteil von bis zu 50 % am Bodensubstrat ein. Schwemmmaterial der Talaue stammt aus den umliegend anstehenden Gesteinsformationen. Vor allem Granite, Redwitzite und Basalte liefern das Ausgangsmaterial für die abgelagerten Verwitterungsprodukte. Der überwiegende Anteil der vorkommenden Substrate verfügen in erster Linie über sauer wirkende Mineralien. Dennoch wurde über die ehemalige Düngewirkung ein hoher Anstieg der Säurewirkung im Boden verhindert, so dass die Filtereigenschaften des Bodens als Mittel zu bezeichnensind. Das Porenvolumen ermöglicht eine relativ hohe

**Homogenität der Fläche**

Die Homogenität der Fläche ist "durchschnittlich". Der kleine Fluss, Kösseine, scheint mehrfach im Bereich der Fläche mäandriert zu haben, so dass das Bodensubstrat und im speziellen der Kiesanteil im Boden intensiver schwankt. Mit 11 % Schwankungsbreite bei den Humusbestimmungen auf der Fläche und 14 % beim Ton liefert dies für einen Boden im Auenbereich noch akzeptierbare Stoffvariabilitäten auf der Intensiv-BDF.

**Flächenvariabilität bei Kohlenstoff, Tongehalt und Schwermetallen, und die dazugehörigen Freiheitsgrade**

Kohlenstoff_Star	C_Anzahl_FG	Tongehalt_Star	T_Anzahl_FG	Schwermet_Star	SM_Anzahl_FG
± 11	12 ± 14 %	14 ± 8 %		352	

**ANORGANIK**

Aufbereitung	AAS
ELANAL	KEFF
HG_ANALY	KW_HG_AS
Schwermet	STECHZYL
	METDIT
PHACL2	Radio_Nuk
KOERNUNG	Aufber_ait

**ORGANIK**

GKW	PAK
PCB	PCDD_DF

**WASSER**

ICP_OES	ICP_MS
IONEN_CA	IONEN_CK
Wasser_TOC	NASS_X
PCB_H2O	PAK_H2O
CKW_H2O	

Textbeitrag

Beschreibung | Video

Übersicht TK's | ArcReader

Abt. Bodenkunde

Start | Posteingang... | GLA\_Fachb... | GLA-Fachb... | DatenVie... | 08:46

Abb. 6: Übersicht über die verschiedenen Funktionalitäten des Datenviewers.

## 8 Ergebnisse

Der Zeitrahmen von 18 Jahren seit dem Basis-Boden-Dauerbeobachtungsflächen untersucht werden, ermöglicht es, mehrere Trends aufzuzeigen. So sind im Boden die Auswirkungen der Reduzierung des Bleiausstoßes bei Kraftfahrzeugen durch die Gesetzesinitiativen der Achtziger Jahre des letzten Jahrhunderts über die Veränderungen der Stoffkonzentrationen in den Austauschlösungen nachzuweisen. Ähnlich verhält es sich bei den radioaktiven Elementen, die durch den Tschernobyl-Fallout in den Boden gelangten. Bei den meisten Boden-Dauerbeobachtungsflächen hängen die Zu- und Abnahmen der Stoffgehalte jedoch in erster Linie von lokalen Einflüssen ab (SCHILLING 1997).

Auf den Intensiv-BDF erfolgt die Bodenüberwachung bislang über eine weitaus kürzere Zeitschiene als bei der Basis-Boden-Dauerbeobachtung. Die ermittelten Daten liefern daher nur eine erste Einschätzung des Stoffverhaltens im Boden, Bodenwasser und Depositionswasser.

Wegen des Konzeptes, eine ganze Messfläche zu beproben, sind die Daten durch diese Parallelerhebungen von Proben gesicherter und repräsentativer für einen Standort als die Daten der Einzelbeprobungen aus der üblichen Bodenzustandserfassung.

### 8.1 Boden

Die Bodendaten von IBDF und BDF sind direkt vergleichbar. Die Intensiv-Flächen sind zwar vorwiegend in belasteten Gebieten angesiedelt worden. Doch auch viele der BDF befinden sich in Ballungsräumen. Darüber hinaus wurden auch naturnahe Flächen in Naturschutzgebieten angelegt. Dadurch kann eine große Spannbreite der Belastungen durch Luftimmissionen in Bayern erfasst und ihre Auswirkungen auf den Boden geprüft werden.

#### 8.1.1 Status gegenüber Vorsorge-, Prüf- und Massnahmewerten

Auf den Boden-Dauerbeobachtungsflächen wird eine Vielzahl von Parametern untersucht (s. a. Kap. 5.5 - Untersuchungsmethoden). Allein bei den Metallen und Schwermetallen werden aus dem Gesamtaufschluß (RUPPERT 1987) zur Zeit 33 Elemente untersucht. In den Abbildungen 7-1 bis 7-3 werden exemplarisch am Beispiel der Oberbodenkonzentrationen des Bleis die Belastungen in den verschiedenen Boden-Dauerbeobachtungsflächen verglichen. Die Probenahme selbst erstreckte sich bzgl. der dargestellten Werte über eine Zeitspanne von 14 Jahren. Die meisten Standorte wurden Mitte der 80er Jahre beprobt, die IBDF im Jahre 2000. Mit diesen Darstellungen soll die Dimension der Stoffgehalte auf den einzelnen Flächen aufgezeigt werden. Ein Rückschluß auf Stoffgehaltsveränderungen beim Vergleich von verschiedenen BDF ist wegen der zeitlichen Verschiebungen bei der Probenahme anhand der Abb. 6 nicht möglich.

Für die Bewertung der Stoffkonzentrationen gibt das Bundesbodenschutzgesetz den Rahmen vor. Als Bewertungskriterium für die Bleigehalte wird der Vorsorgewert und der Prüfwert für Parkanlagen sowie der Massnahmenwert für den Schadstoffübergang „Boden-Nutzpflanze“ herangezogen. Es wird davon ausgegangen, dass die Vorgaben für die Parkanlagen den extensiv genutzten Freilandflächen der Boden-Dauerbeobachtungsflächen am Nächsten in ihrer Aussagekraft kommen. Da die Hälfte der BDF im Forst angesiedelt ist, können die Einstufungswerte der Bodenschutzverordnung, die diesen Nutzungsraum nicht berücksichtigen, nur als Orientierungswerte gesehen werden. Die Abbildungen zeigen, dass keine der gemessenen Stoffkonzentrationen annähernd die Höhe des Prüfwertes vom 1000 mg/kg Blei im Boden annehmen. Die Vorsorgewerte, die mit 40-100 mg/kg deutlich niedriger liegen werden auf einigen BDF überschritten. Der weitaus höchste Wert mit 223 mg/kg Boden wird dabei auf der IBDF in Marktredwitz gemessen. Das Blei dürfte vor allem aus der Chemischen Fabrik Marktredwitz und der Schleifmittelfabrik stammen, die über die hohe Quecksilberschmutzung hinaus, auch für den Eintrag einiger anderer Schwermetalle in den Boden verantwortlich sein dürften. Erhöhte Gehalte sind noch am Dreissesselberg, in der Regnitzaue nördlich Fürth und im Würzburger Stadtpark zu finden. Beim Dreissesselberg dürfte der überwiegende Teil der Immissionen aus den tschechischen Industriegebieten stammen. Die vergleichsweise hohen Gehalte in der Talau nördlich des Ballungsraumes Nürnberg-Fürth sind auf Überflutungen im Talbereich der Regnitz/Pegnitz zurückzuführen. Der Fluss durchfließt nahezu die ganze Industrieregion Nürnberg-Fürth-Erlangen. Erhöhte Schadstoffaufnahmen des Flusses, verursacht durch ehemals abgeleitete Industrieabwässer, sind daher nicht unerwartet. Das Sediment wurde dadurch vielfach verunreinigt. Durch Abschwemmungen und Neuauftrag in Talauenbereichen können immer noch die Schadstoffgehalte in Oberböden ansteigen.

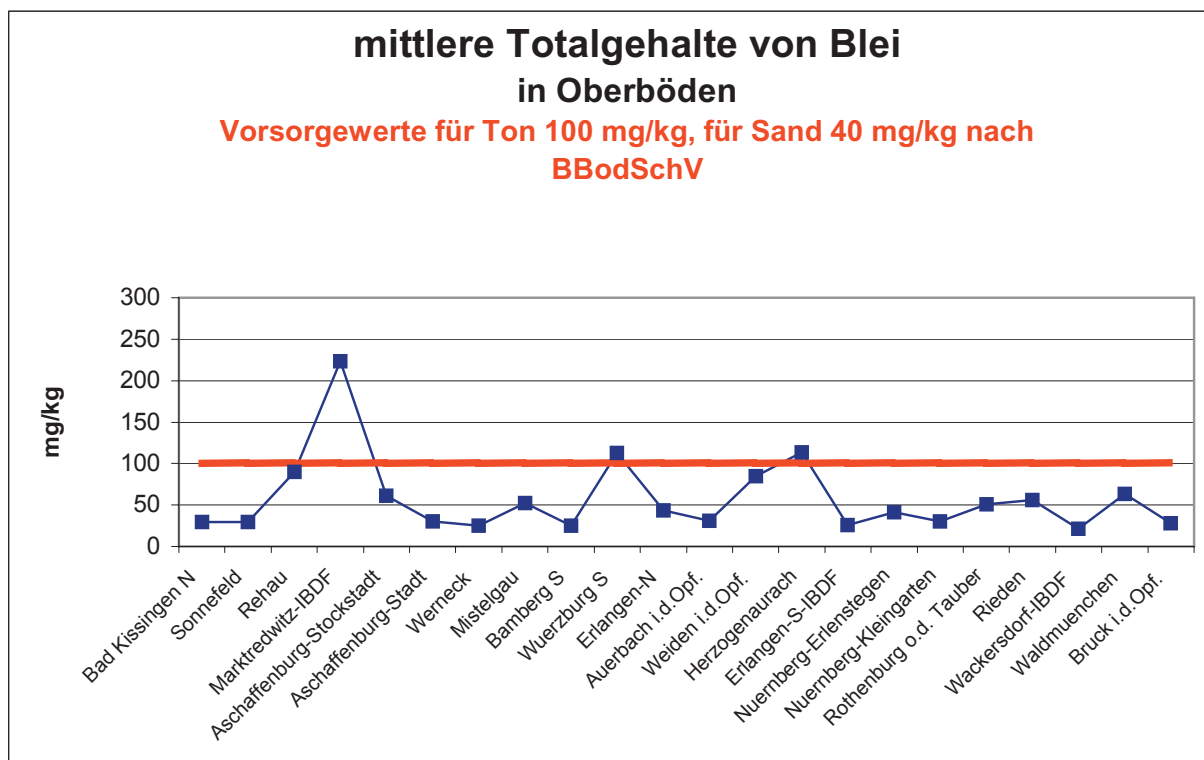


Abb. 7-1: Bleikonzentrationen in Oberböden - Teil 1.

Die Fläche im Stadtpark in Würzburg ist unweit einer stark befahrenen Straße. Die vergleichsweise hohen Werte von knapp über 100 mg/kg im Boden dürften darin ihre Ursache haben. Eine besonders hohe Belastung weisen die Kösseinauen östlich der Stadt Marktredwitz auf. In erster Linie verursacht durch die ehemalige Chemische Fabrik Marktredwitz (CFM), haben sich vor allem Quecksilberverbindungen angereichert. Die Quecksilberkonzentrationen nehmen im Oberboden Werte um die 170 mg/kg Boden an. Damit wird der Prüfwert für Quecksilber in Parkanlagen nach Bodenschutzverordnung um um mehr als das 3 fache überschritten. Glücklicherweise ist Quecksilber ein sehr immobiler Stoff, so dass sowohl im Sickerwasser als auch in Bodenextrakten nur sehr geringe Gehalte gemessen wurden (s. a. Datenviewer u. Abb. 9). Etwas überhöht ist der Quecksilberwert des Oberbodens in der Talau der Regnitz nördlich der Industrieregion Nürnberg-Fürth. Dieses Gebiet wird häufig überschwemmt und enthält im mitgebrachten Schlamm erhöhte Anteile an Schwermetallen.

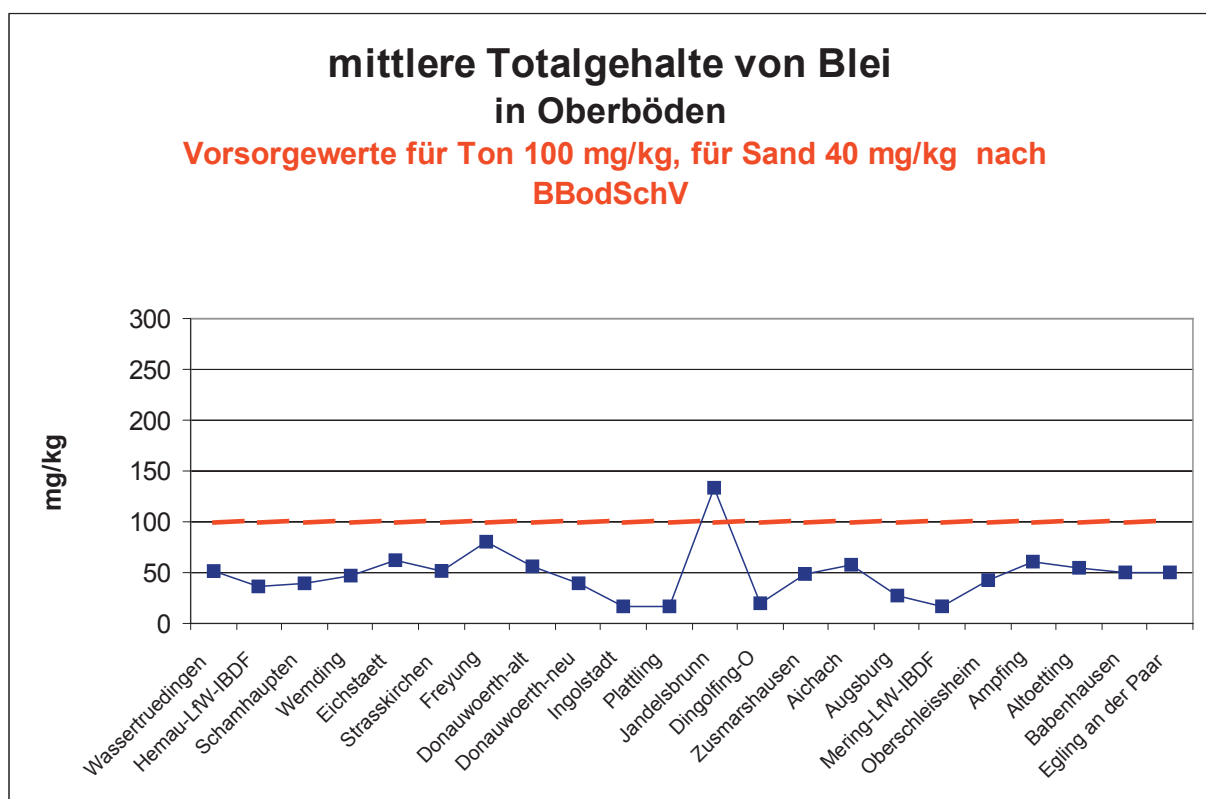


Abb. 7-2: Bleikonzentrationen in Oberböden - Teil 2.

Das Element Cadmium erzwingt durch seine Stoffkonzentrationen bei den Boden-Dauerbeobachtungsflächen keinen akuten Handlungsbedarf. In einigen Oberböden nähern sich die Werte jedoch einer notwendigen Prüfung. So liegen die Werte auf den Grünlandflächen in der Kösseinaue bei Marktredwitz, in der Talau der Regnitz in der Industrieregion Nürnberg-Fürth und auf dem Hesselberg bei Wassertrüdingen knapp unter dem Prüfwert von 2 mg/kg für den Anbau von Nahrungspflanzen. Auch auf dem Dreissesselberg im Bayerischen Wald und im alpinen Bereich bewegen sich die Stoffgehalte in ähnlich hohen Anteilen im Boden. Dies zeigt, dass Cadmium in industriebeeinflussten Gebieten über Vorfluter im Talauenbereich angereichert wird. Bei den anderen BDF, in denen die höheren Cadmiumkonzentrationen auftreten, handelt es sich

um exponierte Stellen (Hochlagen des Bayerischen Waldes und der Alpen). Dies deutet auf einen Ferntransport von Cadmiumemissionen hin. Der höchste Wert wird mit 2,75 mg/kg jedoch in einer Nürnberger Kleingartenanlage gemessen. Dort gelangt Cadmium vermutlich vorrangig über die Düngung in den Boden.

Arsen, das oft aus geogenen Gründen ein Problem ist, wird auf den BDF nach den Richtlinien der Bundesbodenschutzverordnung fast durchweg in unbedenklichen Stoffkonzentrationen vorgefunden. Lediglich in der Talaue der Regnitz im Raum der Industrieregion Nürnberg-Fürth treten im Schwemmmaterial Konzentrationen um die 25 mg/kg auf. Dieser Wert ist der höchste gemessene Wert auf allen Boden-Dauerbeobachtungsflächen, ist aber dennoch nur halb so hoch wie der Prüfwert.

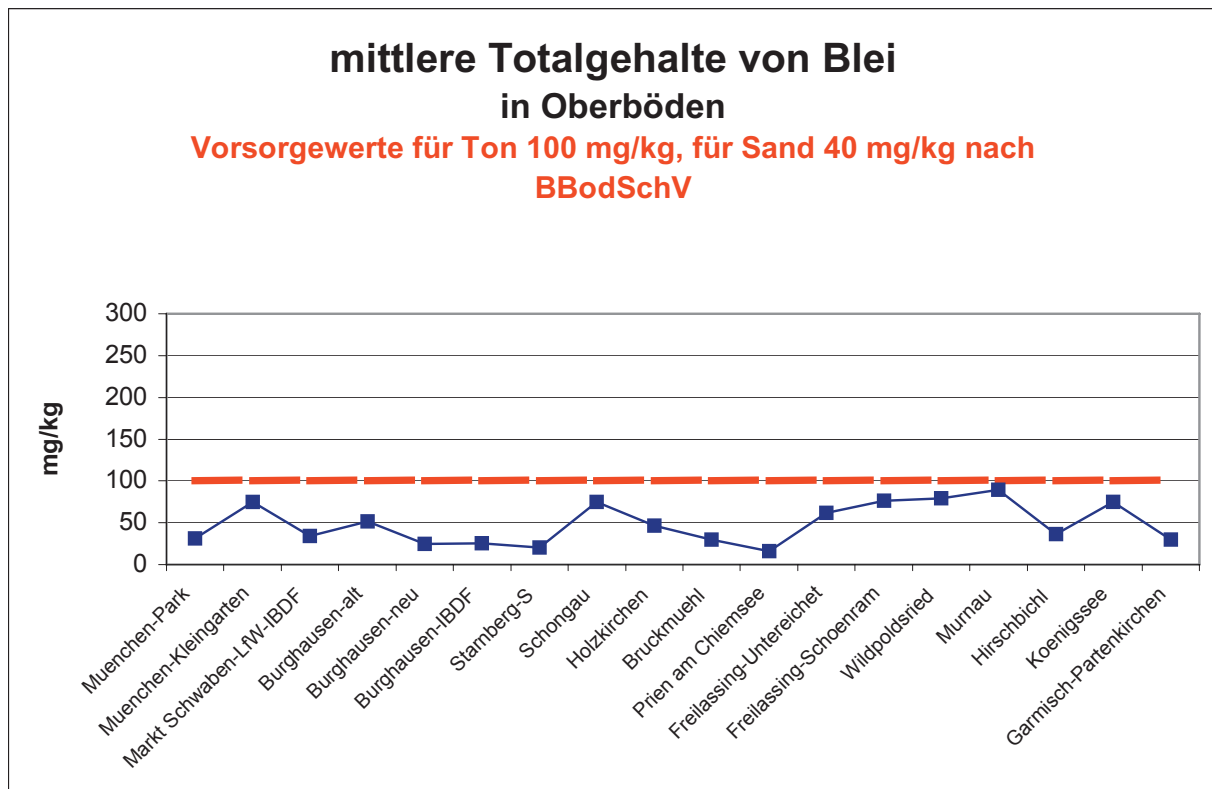


Abb. 7-3: Bleikonzentrationen in Oberböden - Teil 3.

### 8.1.2 Veränderungen der Stoffkonzentrationen

Die Hauptaufgabe der Boden-Dauerbeobachtung liegt in der Überwachung der Böden. Dazu muss festgestellt werden, ob es bedenkliche Bodenveränderungen gibt oder nicht. Bei einigen Flächen wird schon seit 19 Jahren das Monitoringprogramm ausgeübt. Dies ist ein genügend langer Zeitraum, um Entwicklungen beobachten zu können. Dabei sind sowohl Zunahmen als auch Abnahmen bei den Stoffgehalten im Boden feststellbar. Einige Stoffe haben sich in diesem Zeitraum gar nicht verändert. Generell gilt für die Boden-Dauerbeobachtungsflächen, dass die Veränderungen im Stoffhaushalt bislang nicht dramatisch sind. Dies liegt vor allem an der schon lange währenden Umweltgesetzgebung in Bayern, die eine starke flächenhafte Verschmutzung

wie es zum Beispiel in einigen Regionen Osteuropas vorkommt (SHPARYK & PARPAN 2004), verhindert. Dies bedeutet aber nicht, dass auf bayerischen BDF keine Vorsorgewerte überschritten werden (s.a SCHUBERT 2002) oder vereinzelt Untersuchungsparameter mit ihren Konzentrationen in die Nähe von Prüfwerten der Bundesbodenschutzverordnung gelangen.

Im Datenviewer ist der derzeitige Datenbestand zusammengestellt und ermöglicht eine Einsicht über die Veränderungen im Stoffgehalt der Böden. Wegen der Fülle der Daten werden nachfolgend auszugsweise anthropogen bedeutende Parameter aufgeführt und ihre Daten bewertet:

Ein sehr wichtiger Indikator für die Mobilität von Stoffen im Boden ist der Säuregehalt des Bodensubstrats. Dieser Säuregehalt (Acidität) wird durch den pH-Wert beschrieben. Je niedriger der pH-Wert ist, um so intensiver ist der Stofftransport in der Regel. Im Rahmen des Sauren Regens sollte mit einem weiteren Absinken des pH-Wertes im Boden zu rechnen sein. Dies kann aber anhand der Ergebnisse des Monitoringprogrammes nicht bestätigt werden. Auf den Flächen ist statistisch signifikant sogar ein geringer Anstieg des pH-Wertes um 0,1 nachzuweisen (Abb. 8-1). Dies geht einher mit Untersuchungen von MOFFAT et. al. (2002), der eine Verlangsamung der Bodenversauerung beschreibt und einen Anstieg basisch wirkender Kationen in den organischen Auflagen feststellen konnte. Auf den einzelnen BDF des LfU (ehemals BDF des GLA) verhält sich die Acidität sehr unterschiedlich (Abb. 8-2). So sinkt auf der Freyunger Fläche in der Nähe der tschechischen Grenze der pH-Wert noch klar nachweisbar ab, während er auf der industrienahen Fläche bei Aschaffenburg deutlich zunimmt. Die Ursachen für diese Entwicklung sind jedoch noch nicht eindeutig zu klären.

Bei den Totalgehalten sind Tendenzen zu erkennen (s. Datenviewer). So nimmt der Anteil an Cadmium zwar langsam aber signifikant ab. Auch die Kupfer- und Nickelkonzentrationen im Boden nehmen signifikant ab. Blei zeigt ebenfalls eine Tendenz zur Abnahme. Sie ist jedoch nicht signifikant. Cobalt, Chrom und Thallium zeigen eine signifikante Zunahme ihrer Stoffkonzentrationen. Diese Veränderungen sind im Vergleich zu ihren Stoffgehalten im Boden gering (s. a. Datenviewer).

Auf den einzelnen BDF verhalten sich die Elemente oft sehr unterschiedlich. So ist in der Talau der Pegnitz bei Nürnberg und auf dem exponierten Hesselberg bei Wassertrüdingen eine Zunahme bei Cadmium um knapp 0,1 mg/kg festzustellen, während im Moorgebiet Schönram bei Freilassing eine Abnahme von 0,2 mg/kg bestimmt wurde. Bei Cobalt ist vor allem die signifikante Zunahme über 2 mg/kg auf der Schwemmfläche im Industriegebiet der Städte Nürnberg-Fürth auffallend. Chrom nimmt auf allen überwachten BDF zu. Die Konzentrationen stiegen dabei deutlich. So bewegt sich die Zunahme zwischen 2 und 52 mg/kg. Letzterer Wert wurde auf der Messfläche in der Nähe des nordbayerischen Ortes Sonnefeld im Oberboden gemessen. Chrom ist in der Analytik ein sehr schwer zu bearbeitendes Element. Daher werden die Daten von Chrom noch mal geprüft werden müssen, um die deutlichen Zunahmen bestätigen können.

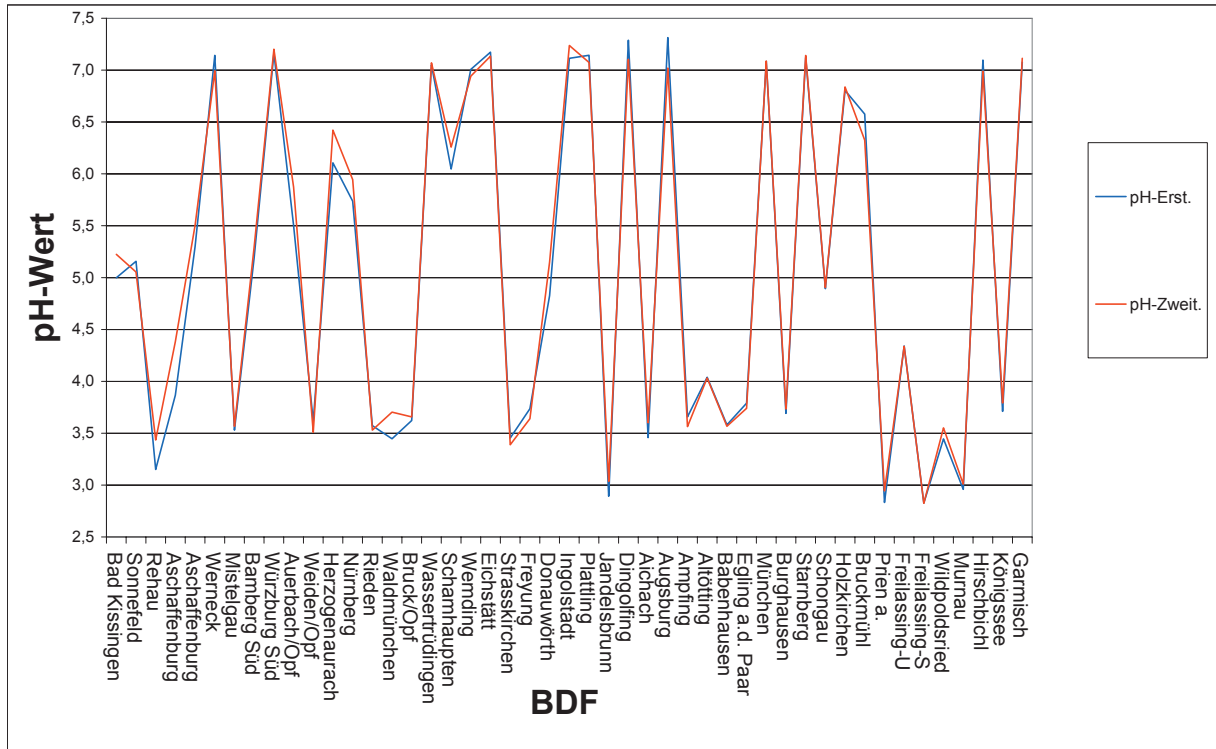


Abb. 8-1: pH-Werte der Erst- (1986/1987) und der Zweitbeprobung (1994 bis 2002).

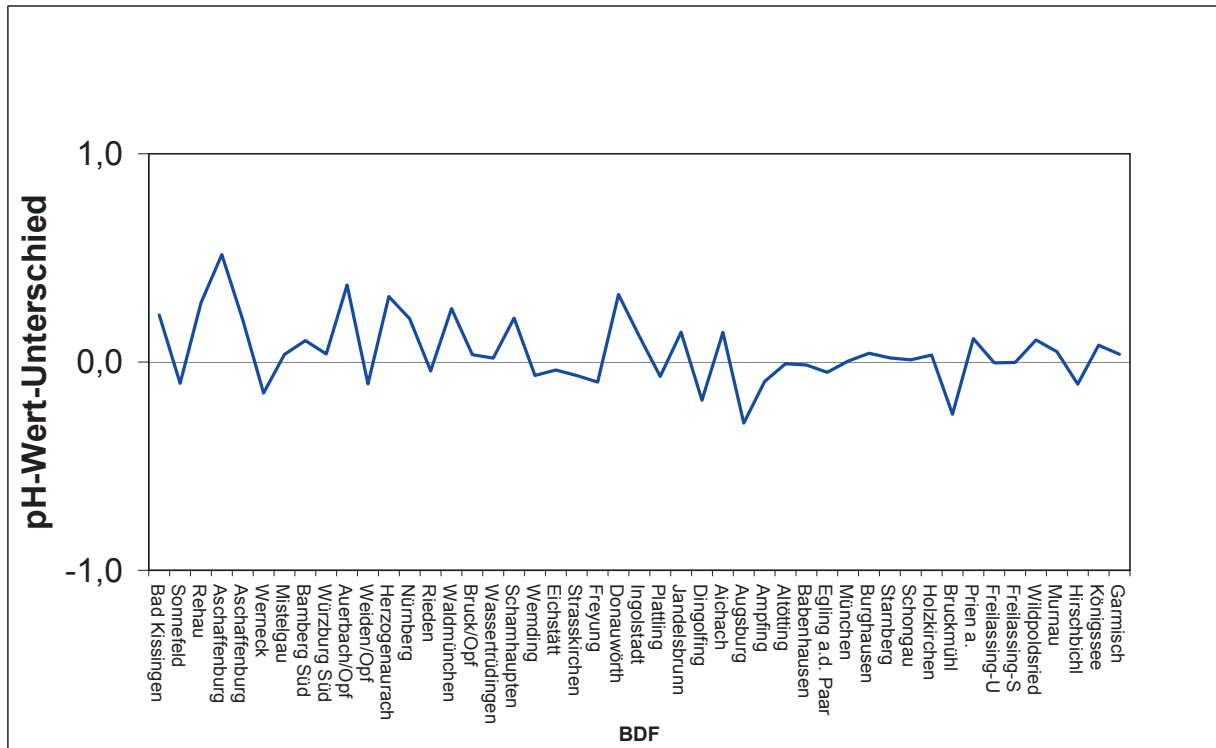


Abb. 8-2: Differenz zwischen pH-Werten aus der Zweit- und Erstbeprobung.



Kupfer verhält sich sehr unterschiedlich auf den einzelnen BDF. Der höchste Anstieg kann statistisch in der Talaue der Pegnitz bei Nürnberg nachgewiesen werden. Dort hatten wir im Jahr 2000 gegenüber 1986 eine Zunahme um 6 mg/kg. Da die BDF in einem Wasserschutzgebiet liegt, sollten Schadstoffeinträge in erster Linie von Immissionen herrühren. Die Fläche ist im östlichen Bereich des Ballungszentrums Nürnberg-Fürth-Erlangen und ist dadurch einer höheren Immissionsbelastung ausgesetzt, da ein gewisser Anteil von Kupfer bei der Verbrennung von fossilen Energieträgern in die Luft gelangt. Molybdän nimmt mit 0,7 mg/kg am intensivsten auf der Fläche südlich Bamberg zu. Eine Ursache hierfür kann bislang nicht angegeben werden.

## **8.2 Wasser**

Wasser steht in einer engen Wechselbeziehung zum Boden. Stoffe im Boden können sich im Wasser lösen und werden durch das Wasser transportiert. Andererseits kann der Boden Stoffe aus dem Wasser ausfiltern und fixieren. Über das Intensivprojekt kann stetig überprüft werden, ob sich dieses Gleichgewicht zwischen den Stoffkonzentrationen im Boden, im Bodenwasser und der aufgefangenen Gesamtdeposition in einem ökologisch vertretbaren Rahmen befindet.

### **8.2.1 Status gegenüber Vorsorge-, Prüf- und Massnahmewerten**

Wird der Wirkungspfad „Boden-Grundwasser“ aus der Bodenschutzverordnung des Bundesbodenschutzgesetzes zu Grunde gelegt, dann überschreiten keine der gemessenen Werte auf den 4 IBDF die festgelegten Prüfwerte. Auch die Grenzwerte der Trinkwasserverordnung werden nicht erreicht. Mit einem mittleren Wert von 0,14 µg/l wurde im Bodenwasser die höchsten Cadmiumkonzentrationen auf der Fläche bei Schwandorf gemessen (Prüfwert 5 µg/l). Auch die Werte der Nickel-, Blei- und Zinkkonzentrationen reichen nicht annähernd an die Prüfwerte der Gesetzgebung heran (s. a. Datenviewer). Selbst die Quecksilberkonzentrationen der im Boden stark belasteten Marktredwitzer Fläche, sind im Bodenwasser unbedenklich und heben sich von den Messwerten der anderen IBDF nicht signifikant ab.

Auch im Depositionswasser bzw. in der Gesamtdeposition (s. Kap. 5.2) überstiegen die Stoffkonzentrationen keine Grenz- und Prüfwerte. Bei Quecksilber wurden die vergleichsweise höchsten Gehalte bei Marktredwitz gemessen, bei Nickel und Blei nahe Fürth und bei Zink auf der Marktredwitzer und Fürther Messfläche. Mit Stofffrachten von 0,2 bis 0,8 kg/km<sup>2</sup>/a bei Cadmium, 3 bis 9 kg/km<sup>2</sup>/a bei Blei und 50 bis 215 kg/km<sup>2</sup>/a bei Zink bewegen sich die Immissionen in der üblichen Größenordnung (UBA 1999, BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ 2003, BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN 2001). Lediglich bei Nickel liegen die Frachten mit 4 bis 16 kg/km<sup>2</sup>/a an der Obergrenze und sind damit ca. doppelt so hoch wie in vergleichbaren urbanen Bereichen (UBA 1999).

## 8.2.2 Veränderungen der Stoffkonzentrationen

Die Stoffkonzentrationen in der Gesamtdeposition bzw. im Depositions- und Bodenwasser sind meist nicht konstant (vgl. PRÜESS et al. 2001). Gelangen erhöhte Stoffeinträge über die Gesamtdeposition bzw. das Depositionswasser in den Boden, so wirkt sich dies auch auf die Konzentration im Bodenwasser aus. In den Abbildungen 9 und 10 ist aufgezeigt, wie sich die Stoffkonzentrationen im Depositionswasser (rot) und in verschiedenen Bodentiefen verhalten (Oberboden – grün; Unterboden – gelb; Ausgangsgestein – violett – Probenahmezeitpunkte in umgekehrter Schreibweise: JahrMonatTag, z. B. 20000111 = 11.01.2000). Sind im Depositionswasser vergleichsweise hohe Stoffanteile enthalten, dann ist dies auch meist im Sickerwasser in den verschiedenen Bodentiefen erkennbar (s. Datenviewer). Wobei die Sickerrate in den verschiedenen Bodensubstraten sehr unterschiedlich ist. Sandige Böden ermöglichen einen vergleichsweise höheren Sickerwasserfluß und lassen daher einen weitaus höheren Stofftransport in größere Bodentiefen zu (VAN RANST et al. 2004). Andererseits gibt es auch Fälle, bei denen kein Eintrag erkennbar ist, aber dennoch die Stoffkonzentrationen im Sickerwasser ansteigen. Dies kann durch einen Säureschub verursacht sein, der nach einer längeren Trockenzeit zu Stofffreisetzungen durch Regenereignisse führen kann (s. Datenviewer u. z. B. Abb. 9 - Peaks am 06.05.2003). Auf der Fläche in Marktredwitz sind möglicherweise auch die aufgebrauchten Wirtschaftsdünger für die Erhöhung der Schwermetallanteile im Bodenwasser verantwortlich. In Abhängigkeit von der Jahreszeit konnten noch keine Zusammenhänge zur Eintragungshöhe von Stoffen in den Boden hergestellt werden. Trotz der Bleireduzierung im Kraftverkehr kann Blei immer wieder in messbaren Mengen in der Deposition festgestellt werden. Im Sickerwasser kommt es aber in deutlich geringeren Mengen vor. Bei Quecksilber verhält es sich ähnlich. Lediglich auf der Fläche in Fürth wirken sich die Peaks in der Deposition auch im Sickerwasser klar nachvollziehbar aus.

Die Vielzahl der verschiedenen beobachteten Stoffe sind im Datenviewer in Tabellen- und Diagrammform dargestellt. Die Abbildungen 9 und 10 sind aus dem Datenviewer entnommen und sollen von den 272 im Datenviewer integrierten Abbildungen zu den verschiedenen gemessenen Parametern hier nur als Beispiele dienen.

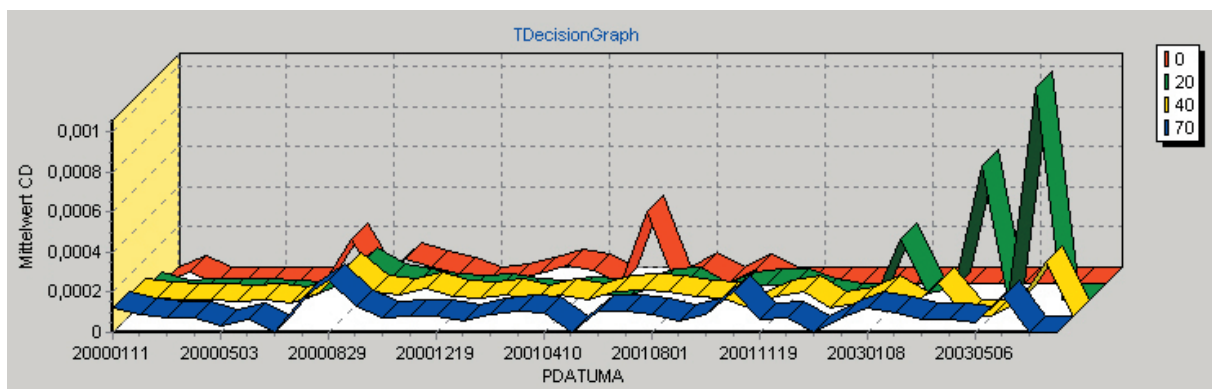


Abb. 9: Die Cadmiumkonzentrationen im Wasser auf der Messstelle in Marktredwitz (Angaben in mg/l).

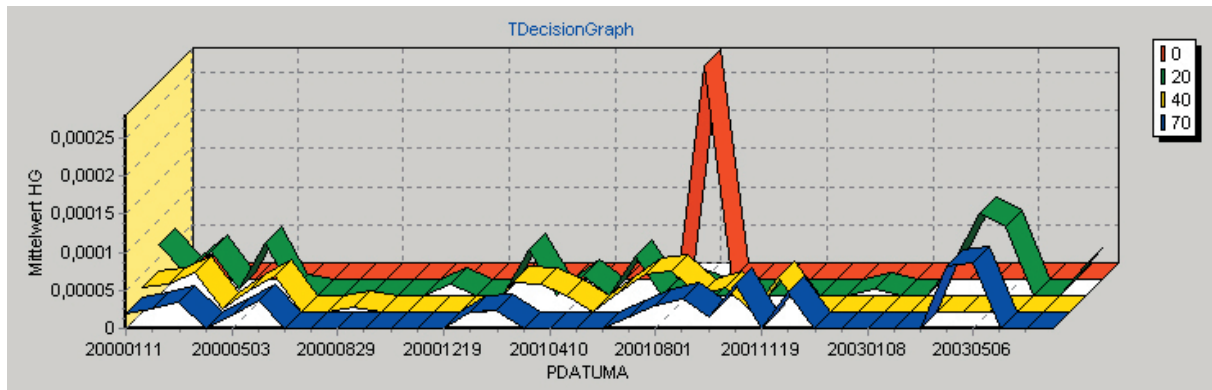


Abb. 10: Die Quecksilberkonzentrationen im Wasser auf der Messstelle in Markredwitz (Angaben in mg/l).

### 8.3 Klima

Die Klimadaten auf den IBDF spielen eine wichtige Rolle bei der Abschätzung von Sickerwasserraten und der Verifizierung von Modellen. Um die Vergleichbarkeit zu anderen Messstationen gewährleisten zu können, wurden die Messgeräte entsprechend der Vorgaben des Deutschen Wetterdienstes ausgewählt.

Die Messparameter stehen im engen Zusammenhang zueinander. Veränderungen eines Parameters haben meist Folgen auch für andere Parameter im Ökosystem. So ist in Abbildung 11 klar zu erkennen, dass ein Absinken der Temperatur einhergeht mit einer Abnahme der Globalstrahlung, gleichzeitig ist die Luftfeuchte am niedrigsten, wenn die Temperatur hoch ist. Abbildung 12 zeigt, dass sich Regenereignisse auf die Bodenfeuchte auswirken. So führen die relativ geringen Regenereignisse ab dem 19. Mai zu einem Stop des Absinkens der Wassergehalte im Oberboden. In der Regel haben geringe Wetterschwankungen nur Einfluss auf Oberböden. Damit die Bodenfeuchte im Ausgangsgestein ansteigt und die Bodenwasserspannung abnimmt, müssen langanhaltende und intensive Niederschläge fallen.

### 8.4 Abschätzung der Sickerwasserraten

Die Sickerwasserrate aus dem Boden bezeichnet die Wassermenge, die aus dem Bodenprofil in die ungesättigte Gesteinszone (Sickerraum) eintritt und entspricht damit dem unterirdischen Abfluss. Im Gegensatz dazu gibt die Grundwasserneubildung die Wassermenge an, die durch Infiltration die Grundwasseroberfläche erreicht (DIN 4049 Teil 1). Da während der Passage des Sickerwassers von der Erd- bis zur Grundwasseroberfläche Zwischenabflüsse (Interflow) auftreten können, ist die Grundwasserneubildung an einem Standort in der Regel gleich oder kleiner als die Sickerwasserrate aus dem Boden.

Die Sickerwasserraten sind ein wichtige Grundlage für alle Fragestellungen zum Boden in Verbindung mit dem Bodenwasser. Sickerwasser ist außerdem das Transportmittel für gelöste Stoff-

fe im Boden. Bei höherem Durchsatz an Wasser im Boden können auch größere Stoffmengen im Boden verlagert werden; gleichzeitig sinkt die Verweilzeit.

Die Bestimmung der Sickerwasserrate erfolgt über die hydrologische Grundgleichung des Wasserhaushaltes ( $N = A + V$ ). Der Niederschlag  $N$  wird auf den IBDF im halbstündigen Abstand als Summe erfasst und aufgezeichnet. Die Verdunstung  $V$  wird als potentielle Evapotranspiration nach Haude berechnet (DIN 19685). Die Sickerwasserrate kann im Fall der IBDF dann gleich dem Abfluß  $A$  gesetzt werden, da wegen der ebenen Lage des Reliefs der Messflächen kein Oberflächenabfluss auftritt.

Abbildung 13 zeigt indirekt über die Beziehung des Niederschlages zur Verdunstung pro Jahr, die unterschiedliche Sickerwasserrate auf den 4 Messflächen in den letzten 3 Jahren. Im Jahr 2001 entsprechen die Niederschlagswerte dem langjährig gemessenen Mittel. Im feuchten Jahr 2002 konnten auch auf den Messstationen deutlich höhere Niederschläge auf den IBDF erfasst werden. Im Jahrhundertssommer 2003 fiel die Niederschlagssumme bei allen Flächen unter die langjährig ermittelten Durchschnittswerte des Deutschen Wetterdienstes. Die Unterschiede bei der Verdunstungsmenge sind nicht so deutlich wie bei den Niederschlägen. Doch ist auch hier das feuchte Jahr 2002 durch relativ niedrige Verdunstungsraten klar erkennbar. Auf der Fläche bei Marktredwitz (MAK) und Schwandorf (SAD) verdunsteten im trocken-heißen Jahr 2003 die Niederschläge vollkommen, in Burghausen (BUG) und Fürth (FUE) überwog die Niederschlagsmenge gegenüber der Verdunstung nur knapp.

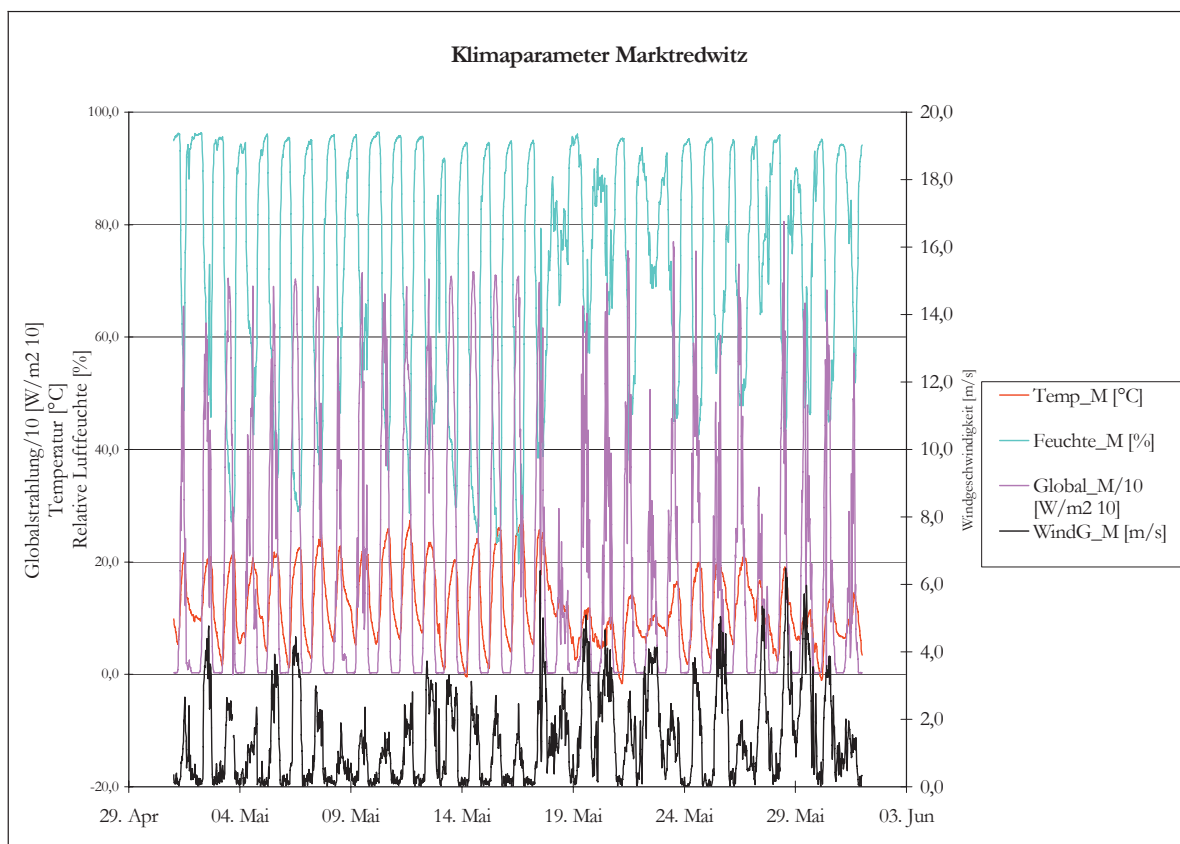


Abb. 11: Klimaparameter im Vergleich.

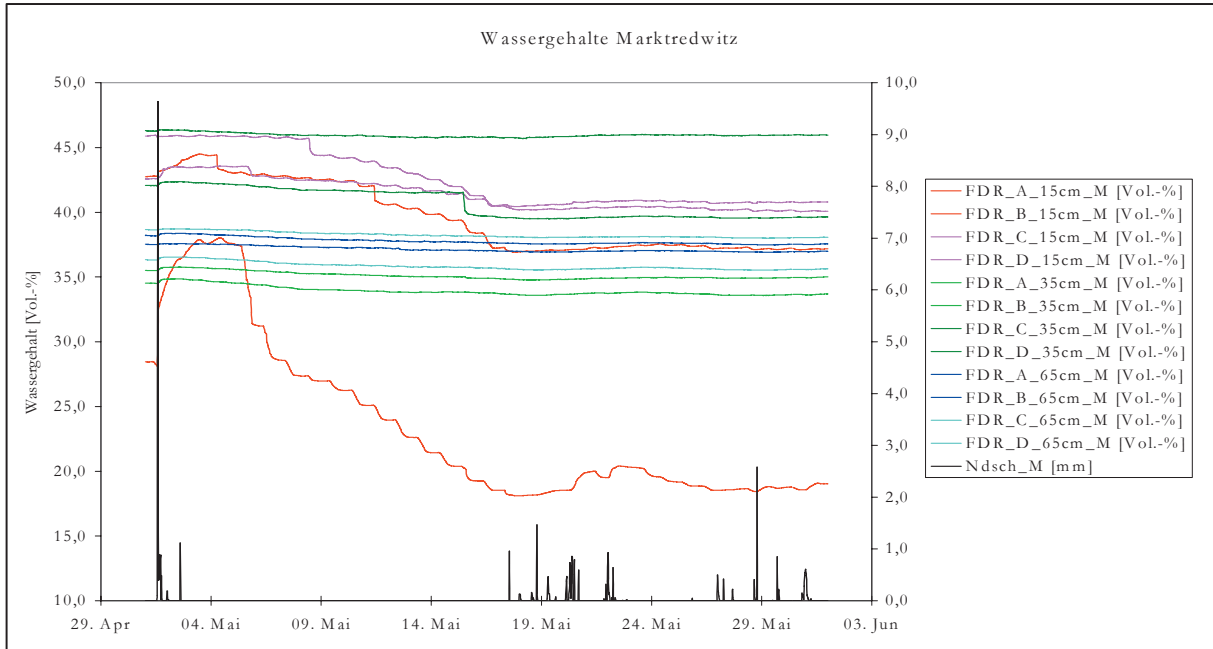


Abb. 12: Niederschläge und Bodenwassergehalte (Legende mit Einbautiefen).

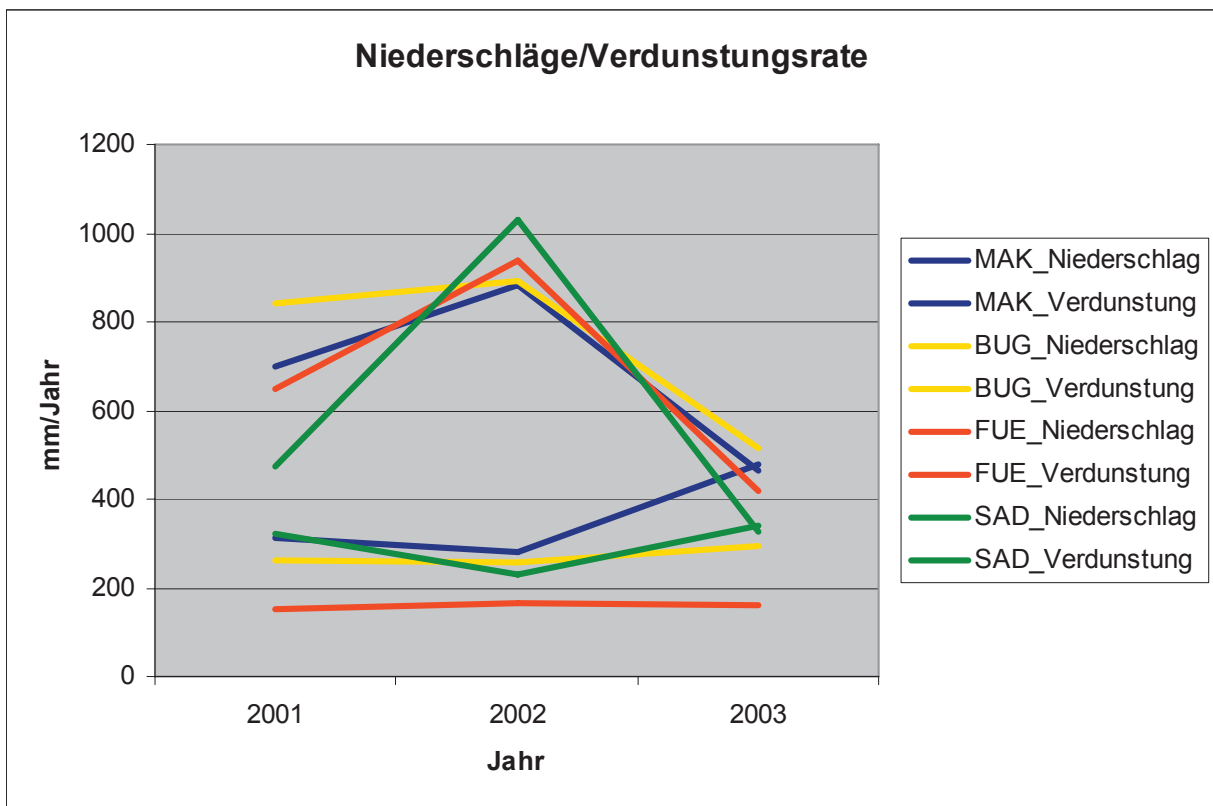


Abb. 13: Niederschläge und zugehörige Verdunstung pro Jahr.

## 8.5 Modellberechnung

Eines der wichtigsten Projektziele bei der Boden-Dauerbeobachtung ist die Erstellung von Zukunftsprognosen. Eine Möglichkeit ist der Analoogschluss von gegebenen Messdaten auf zukünftige Entwicklungen. Hierzu müssen jedoch sehr lange Zeitreihen zur Verfügung stehen, um vertrauenswürdige Aussagen treffen zu können. Eine andere Möglichkeit stellt die Berechnung von Zukunftsentwicklungen anhand von Modellen dar. Diese Methode ist auch bei kürzeren Messreihen anwendbar und erlaubt genauere Aussagen. Für die Modellvalidierung sind aber auch hier Messreihen über mehrere Jahre erforderlich.

Der Einsatz von numerischen Rechenmodellen in der Praxis ist für den Bereich der gesättigten Zone bereits als Stand der Technik anzusehen. Für die numerische Berechnung der Wasser- und Stoffverlagerung in der ungesättigten Zone existieren zwar Rechenprogramme, jedoch ist die mathematische Beschreibung der Vorgänge deutlich komplizierter, es bestehen höhere Unsicherheiten bei der Parametrisierung und die Kalibrierung ist aufgrund der erforderlichen Eingangs- und Messdaten wesentlich schwieriger. Daher werden diese Modelle in der Praxis bisher selten eingesetzt. Es besteht jedoch der zunehmende Anspruch, die Stoffverlagerung möglichst genau zu prognostizieren, was quantitativ nur mit Modellen erfolgen kann. So wird in der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung im Rahmen der Sickerwasserprognose die Beurteilung der Stoffkonzentrationen im Übergangsbereich von ungesättigter zu gesättigter Zone (Ort der Beurteilung nach BBodSchV) im Hinblick auf die stoffspezifischen Prüf- bzw. Maßnahmenwerte gefordert. Hier wird ausdrücklich auch auf den Einsatz von Stofftransportmodellen hingewiesen. Die IBDF stellen einen der wenigen Fälle dar, in denen die für die Modellierung benötigten Eingangs- und Messdaten in der erforderlichen Dichte erhoben werden. Die dort gewonnen Erkenntnisse können in der Folge auch auf vergleichbare Standorte übertragen werden.

Am Bayerischen Geologischen Landesamt wurde hierzu auf der Basis von verschiedenen Ansätzen von Dr. B. Wagner das Rechenprogramm Flotra zur Simulation der Wasser- und Stoffverlagerung in der ungesättigten Zone entwickelt (WAGNER et al. 1997). Nach den vorliegenden Ergebnissen ist dieses Programm geeignet, anhand der auf den IBDF erhobenen Parameter realitätsnahe Ergebnisse zu erzielen.

Das Programm basiert im Wesentlichen auf folgenden Ansätzen (WAGNER 1999):

- Berechnung der Wasserbewegung in der ungesättigten Zone mit der Richardsgleichung in Analogie zum Darcy'schen Gesetz,
- Sickerwasserberechnung über die Differenz von Niederschlag und Evapotranspiration sowie optional Oberflächenabfluss,
- Abbildung der hydraulischen Parameter (Wassergehalt, Saugspannung und ungesättigte Wasserleitfähigkeit) durch verschieden wählbare Pedotransferfunktionen,
- Berechnung des Stofftransportes über die Stofftransportgleichung (Konvektions-Dispersionsgleichung, reversible Sorption nach den Henry'schen Gesetz sowie nach Freundlich, irreversible Sorption, hydrodynamische Dispersion) nach einem 2-Regionen-Ansatz (Mobil-immobil-Modell),
- Biologischer Abbau; Berechnung über Halbwertszeiten, die durch Batch-Versuche ermittelt wurden unter Einbeziehung der Temperatur.

Das Programm Flotra greift auf folgende Parameter aus dem Pilotprojekt zur Intensivierung der Boden-Dauerbeobachtung zu:

- Standort- und Bodenkenndaten,
- gemessene Schadstoffgehalte (Eintrag, gelöst und im Boden sorbiert),
- Temperatur-, Niederschlags- und Luftfeuchtedaten.

Die horizontbezogenen Sorptionsraten für die berechneten Schwermetalle wurden aus den gemessenen Stoffgehalten im Sickerwasser und an der Festsubstanz ermittelt und im Programm auf Basis einer linearen Henry-Isotherme berechnet.

Der hydrodynamische Dispersionskoeffizient und der Stoffaustauschkoeffizient für die mobile und immobile Domäne wurden entsprechend den in WAGNER et al. (1997) geeichten Werten angesetzt. Die Berechnung der Bodenprofile erfolgte bis in eine Tiefe von 2 m; als untere Randbedingung wurde eine weitere Fortsetzung des Profils angesetzt, indem die untere Randzelle jeweils die Eigenschaften der tiefsten berechneten Zelle n-1 annimmt.

Als obere Randbedingung wird der Stoffeintrag als konstanter Input entsprechend den gemessenen Werten genommen; die klimatische Wasserbilanz wird aus täglichen Klimawerten nach einem modifizierten Ansatz von Haude unter Berücksichtigung der aktuellen Evapotranspiration berechnet (WAGNER 1999). Die räumliche Diskretisierung des Bodenprofils liegt bei 5 cm; die numerische Berechnung erfolgte in Zeitschritten von etwa einer Minute. Mit einem handelsüblichen PC-Prozessor liegt die benötigte Rechenzeit für die Simulation eines Tages bei etwa einer Sekunde.

Folgende Prognosen werden geliefert:

- Wasserhaushalt mit Sickerwasserraten,
- Schadstoffverhalten.

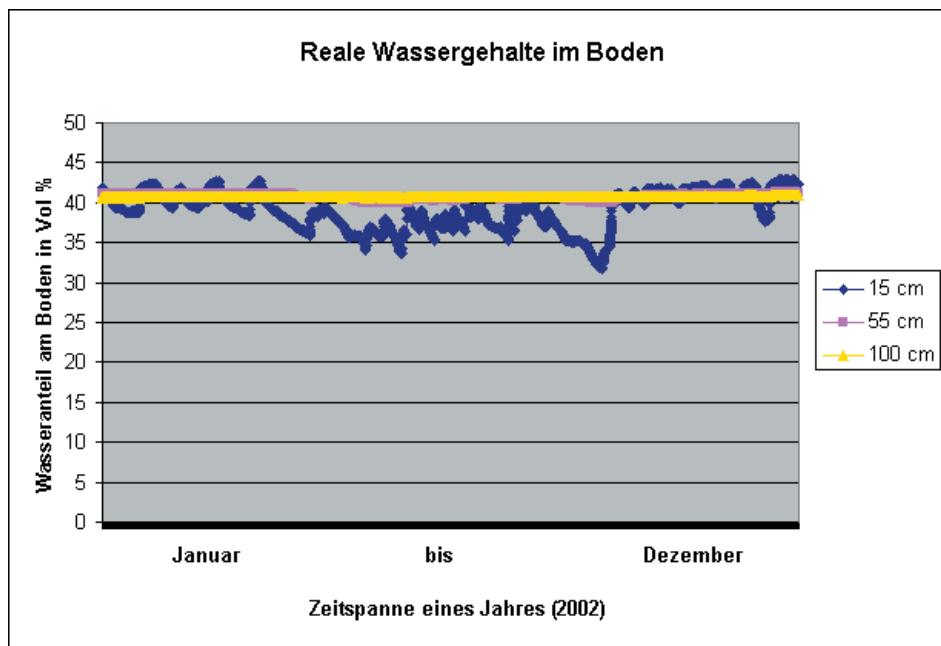


Abb. 14: Wasseranteil im Boden im Verlauf zwischen Januar und Dezember 2002 auf der Fläche Burghausen.

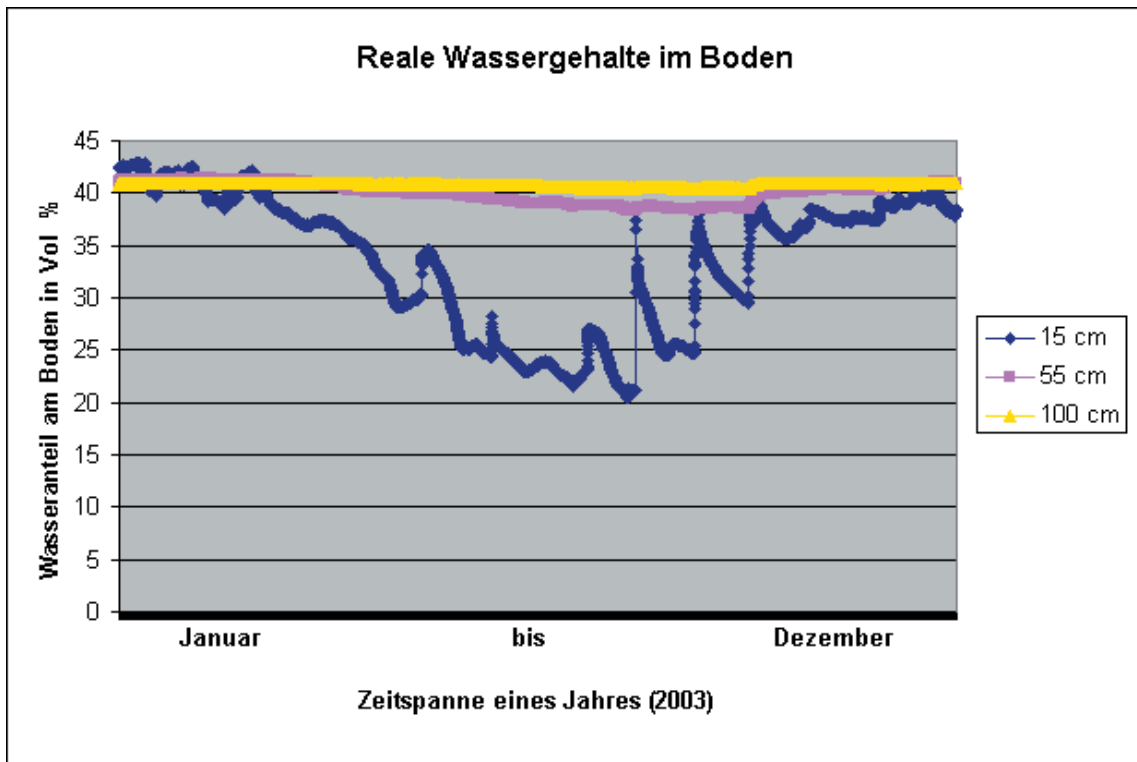


Abb. 15: Gemessener Wasseranteil im Boden im Verlauf zwischen Januar und Dezember 2003 auf der Fläche Burghausen.

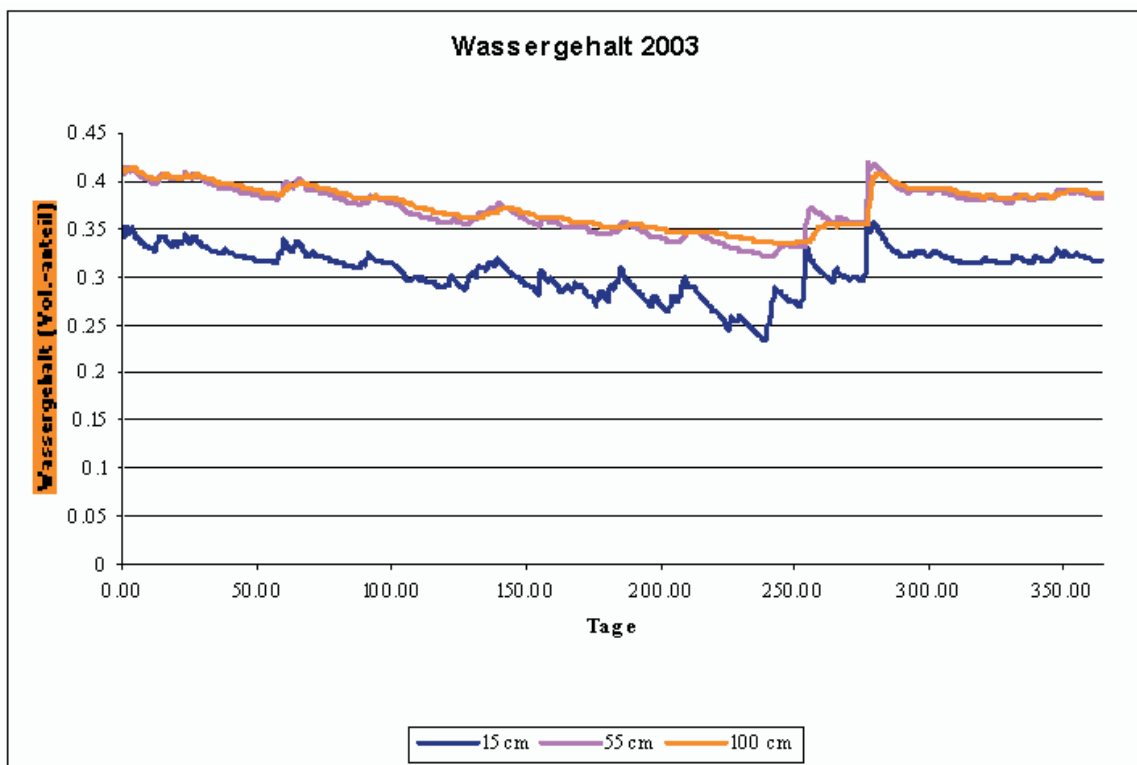


Abb. 16: Mit Flotra berechneter Wasseranteil im Boden im Verlauf zwischen Januar und Dezember 2003 auf der Fläche Burghausen.



In den Abbildungen 14+15 sind die gemessenen Wassergehalte der Jahre 2002 und 2003 auf der IBDF dargestellt. Die Wasseranteile in den tieferen Bodenbereichen liegen dabei unabhängig vom Kalenderjahr sehr konstant bei 40 %. Im Oberboden (15 cm) sind deutlich die saisonbedingten Einflüsse des Klimas zu erkennen. Vor allem in der Abbildung 14 ist die starke Austrocknung in Folge des Jahrhundertssommers des Jahres 2003 zu erkennen. Abbildung 16 zeigt die modellierten Werte für das Jahre 2003. Die berechneten jahreszeitlichen Schwankungen der Wassergehalte im Bodensolum (55 cm) und im Ausgangsgestein (100 cm) sind in der Messung deutlich geringer; dies kann auf einen Stauwassereinfluss in geringer Tiefe zurückzuführen sein. In der Tiefe 15 cm ist die gemessene jahreszeitliche Schwankung des Wassergehalts höher als im Modell berechnet; dies dürfte auf den im jahreszeitlichen Verlauf tiefendifferenzierten Einfluss des Pflanzenwasserentzugs zurückzuführen sein, der im Programm vereinfachend auf den oberflächennahen Bereich beschränkt ist. Insgesamt spiegelt das Programm die gemessenen Messwerte gut wieder und unterstützt damit die von WAGNER et al. (1997) durchgeführte Validierung des Modells. Der ausgeglichener Verlauf der Wassergehalte im Jahr 2002 wird ebenfalls gut vom Programm wiedergegeben.

Beim Vergleich der gemessenen und gerechneten Wassergehalte ist zu berücksichtigen, dass der Kalibrierzeitraum bisher relativ kurz war. Eine längerfristige Beobachtungsreihe wird voraussichtlich eine bessere Anpassung des Modells erlauben.

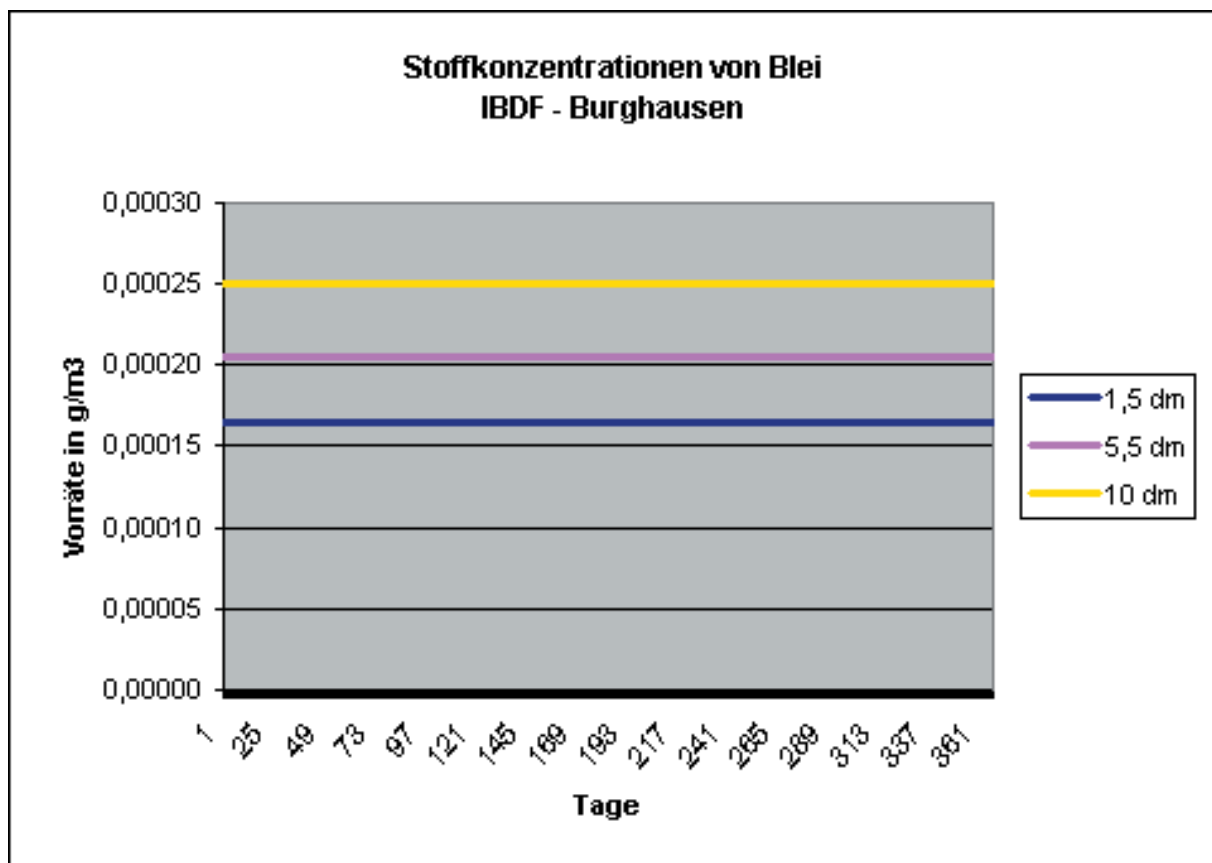


Abb. 17: Modellierung der Stoffgehaltsentwicklung im Boden innerhalb eines Jahres.

Für alle Intensiv-Flächen wurden mit Hilfe des Programmes „Flotra“ Stoffgehaltsprognosen erstellt. Die Berechnungen erfolgten für alle Intensiv-Flächen mit den Einträgen der Elemente Blei, Cadmium, Nickel und Zink. Bei der derzeitigen Belastungsintensität konnte jedoch bei keinem Element innerhalb eines Jahres eine signifikante Veränderung errechnet werden (s. z.B. Abb. 17). Dieses Verhalten entspricht den Erkenntnissen aus den Untersuchungen der Basis-Boden-Dauerbeobachtungsflächen. Dort wurden für gemessene Elemente erste signifikant bestimmbare Veränderungen nach 5 Jahren festgestellt. Da auf den Flächen dieser Mindestzeitraum für eine Vergleichsbeprobung erst im Jahre 2005 erreicht wird, kann bislang keine Verifizierung der errechneten Daten durchgeführt werden.

Die Berechnungen deuten jedoch darauf hin, dass auf den Flächen mittelfristig keine dramatischen Erhöhungen der Stoffgehalte zu erwarten sind, da die Depositionsmenge zur Zeit zu gering ist. Beim Element Blei, das wegen erlassener Umweltgesetze in den 80er Jahren im Kraftverkehr stark reduziert wurde, ist auf Basis erster Trends sowohl der Prognosen als auch der Messwerte mit einer Abnahme der Stoffkonzentrationen auf lange Sicht zu rechnen. Sobald genügend Messdaten für eine Kalibrierung des Modells vorliegen, wird es möglich sein, quantitative Aussagen über die langfristige Entwicklung der Schwermetallgehalte in den Böden zu machen.

## **9 Erfahrungen aus dem Pilotprojekt**

Das Projekt zur Intensiv-Untersuchung von Boden-Dauerbeobachtungsflächen wurde als Pilotprojekt angelegt. Intensiv-Untersuchungen auf diesem Gebiet sind in Deutschland noch nicht sehr verbreitet. Baden-Württemberg begann schon 1992 mit der Einrichtung von IBDF. Auch Sachsen und Niedersachsen verfügen über solche Messstellen. Diese sind jedoch von der Geräteausstattung gegenüber den IBDF von Baden-Württemberg und Bayern teilweise unterschiedlich. Hessen richtet Intensiv-Messflächen ein, die baugleich mit den bayerischen und baden-württembergischen Messflächen sind. Auch auf europäischer Ebene gewinnt die integrierte Beobachtung mehrerer Kompartimente immer mehr an Bedeutung (DE VRIES et al. 2003). In dieser relativ neuen Forschungs- und Überwachungsmethodik müssen wegen der bislang kurzen Einführungszeit und der geringen Anzahl von Anwendern noch viele Erfahrungen gesammelt werden.

Die wichtigsten Erfahrungen, die für eine effektive Durchführung der Intensiv-Beobachtung notwendig sind, sind nachfolgend in 5 Bereiche unterteilt – Wartung, Probenahme, Datenspeicherung, Analytik und Auswertung.

### **9.1 Wartung**

Die Intensiv-Messflächen wurden von der Fa. UMEG/Karlsruhe eingerichtet. Die Ausstattung der Messflächen wurde in Absprache mit der Firma, unter Berücksichtigung der Ausstattung von ähnlichen Messprogrammen (Waldklimastationen des LWF, Messnetz-Stoffeintrag des

ehemaligen LfW etc.) und im Hinblick auf die beabsichtigten Auswertungen zusammengestellt. Die Messgeräte wurden so ausgesucht, dass sie den technischen Standardanforderungen (DIN, ISO etc.) genügen.

Der Betrieb der Klimamessgeräte und der Bodensensoren wird ständig über „Fernabfrage der Daten (Funkmodem - Handy)“ in der Dienststelle des Bayerischen Landesamtes für Umwelt in Marktredwitz überwacht. Dabei handelt es sich überwiegend um elektronisch gesteuerte Geräte. Diese sind oft sehr empfindlich und diffizil in der Handhabung. Das hat wiederum eine gewisse Ausfallquote zur Folge. So werden pro Messfläche im Schnitt pro Jahr 1-2 FDR-Sonden und Tensiometer defekt und müssen in der Regel durch neue ersetzt werden.

Anfällig zeigen sich auch die Datenlogger. Bei ihnen gibt es immer wieder Störungen, deren Ursachen unterschiedlich waren. Die Geräte wurde meist zur Reparatur eingeschickt und konnten dann wieder eingesetzt werden.

Vereinzelte machten auf Flächen Geräte Schwierigkeiten, die auf anderen Messstationen während der ganzen Projektlaufzeit problemlos liefen. So traten beim Niederschlagsgeber auf der Fläche in Fürth immer wieder Störungen auf, die erst nach wiederholter Reparatur beseitigt werden konnten. Bei den anderen IBDF arbeiteten die Niederschlagsgeber zuverlässig und kontinuierlich.

Zu den Wartungsarbeiten gehörte auch die Reinigung der Anlage. So mussten sowohl der Sternpyranometer (Globalstrahlung) als auch der Niederschlagsgeber gereinigt werden, um eine Beeinträchtigung der Messung zu verhindern.

Ein Problem stellt die Frostperiode dar. Gefährdet ist hier vor allem der Klimamast. Dieser saugt im Sommer Wasser in den Nutstellen. Kurz vor der Frostperiode muss dieses Wasser entfernt werden, um ein Auseinandersprengen des Mastes zu verhindern.

Die Intensiv-Messflächen müssen analog der extensiven Nutzung auf den zugehörigen Basis-Probenahmeflächen behandelt werden. Wobei darauf geachtet wurde, dass bei Pflegemaßnahmen (z. B. Mähen) keine zusätzliche Schadstoffbelastung erzeugt wurde (Akkumähler).

## **9.2 Probenahme**

Die Probenahme auf den Flächen musste in Abwägung von notwendigem Datenmaterial und vorhandenen Kapazitäten in den Labors konzipiert werden. Die Bodenprobenahme entspricht auf den Intensiv-Flächen der Probenahme auf den Basis-Flächen, bei der langjährig (seit 1986) Erfahrungswerte gesammelt werden konnten. Neu ist die Probenahme von Boden-, Depositions- und Grundwasser im Rahmen der Boden-Dauerbeobachtung des Bayerischen Geologischen Landesamtes. Es konnte hierbei auf Erfahrungen von ähnlichen Untersuchungen an Universitäten und anderen Institutionen zurückgegriffen werden. Dennoch mussten abhängig von den lokalen Gegebenheiten neue Erfahrungen gemacht werden.

In der Frostperiode erfolgte die Bodenwasserbeprobung mit Hilfe von Saugkerzen im Oberboden nur mit vielen Unterbrechungen, da der Boden in dieser Bodentiefe oft gefroren war. Die Bodenwasserentnahme aus dem Unterboden und dem Ausgangsgestein war dagegen ganzjährig möglich. Da sich die Auffanggefäße im Innenraum der Schaltzentrale (Holzhütte) in einem Kühlschrank befinden, der sich in der kalten Jahreszeit auch heizen lässt, gab es kaum Probleme, dass die Gefäße beschädigt wurden.

Sank das Thermometer deutlich unter den Gefrierpunkt, wurden die Depositionssammler entfernt, um ein Zerbersten der Gefäße zu verhindern. Dies galt sowohl für die Bergerhoff-Gefäße (Anorganische Untersuchungen) als auch für die Adsorberharzröhren (organische Untersuchungen).

Auf den Flächen in Fürth und Marktredwitz wurden Grundwassermessstellen eingerichtet. Bei der Marktredwitzer Fläche scheint analog zu den Saugkerzen auch eine Verkrustung des Entnahmebereiches stattzufinden. Der Wassernachfluss ist bei 2 Pegeln stark reduziert. Daher werden Nacharbeiten notwendig.

### **9.3 Datenspeicherung**

Die Daten werden über Modem und Handy an den Zentralcomputer in der Dienststelle des Bayerischen Landesamtes für Umwelt nach Marktredwitz gesandt. Die Abfrage muss spätestens alle 10 Tage stattfinden. Ansonsten löscht der Datenlogger die älteren Daten kontinuierlich aus dem Datenspeicher. Es hat sich gezeigt, dass eine Datenabfrage von 4 Tagen ein geeigneter Rhythmus ist, um Gerätestörungen rechtzeitig erkennen zu können. Die erhaltenen Rohdaten müssen über Umrechnungsformeln erst in reelle Klima- und Bodendaten verwandelt werden. Dies geschieht in Microsoft Access. Die PC-Datenbank reicht für die bis jetzt eingegangenen Daten noch aus. Es ist jedoch beabsichtigt die Daten auch in das Boden-Informationssystem Bayern zu übernehmen, wodurch eine ausreichende Datenbankkapazität und die Datensicherung zufriedenstellend gewährleistet werden.

### **9.4 Analytik**

Die Laboranalytik teilt sich in 2 Hauptgruppen auf. Die anorganische Analytik, die am Dienort des Bayerischen Landesamtes für Umwelt in München durchgeführt wird und die organische Analytik, die in der Dienststelle des Bayerischen Landesamtes für Umwelt in Marktredwitz erfolgt. Diese Zweiteilung erforderte eine ausgeklügelte logistische Konzeption, damit die Proben auch am richtigen Ort rechtzeitig analysiert wurden. Dies funktionierte nicht immer, da die Labors wegen anderweitiger Aufgaben, ihren Verpflichtungen gegenüber dem Pilotprojekt zur Intensivierung nicht immer rechtzeitig nachkommen konnten. Um dies zukünftig zu verbessern, ist eine Konzentration der Analytik an einer Lokalität anzustreben.

Die Untersuchung des Bodenwassers auf organische Schadstoffe brachte wenig Erfolg. Die Messwerte von den organischen Schadstoffuntersuchungen liegen nahezu alle unter der Nachweisgrenze, obwohl in der Deposition die organischen Stoffgehalte eindeutig nachzuweisen

sind. Möglicherweise werden diese Stoffe von den Keramiksaugkerzen adsorbiert und damit der Bodenlösung entzogen. Die Filterwirkung von Saugkerzen gegenüber organischen Schadstoffen wird in Fachkreisen diskutiert. Für einzelne organische Stoffe konnte nachgewiesen werden, dass die Wiederfindung im Filtrat der Saugkerzen unzureichend ist (BELTRAN et al. 1995). Es ist aber an den Standorten nicht auszuschließen, dass durch Adsorption im Oberboden, eine Migration von Schadstoffen in größere Bodentiefen verhindert wird. Dies kann eine alternative Begründung für die niedrigen Messwerte sein.

Da das Probenaufkommen verschiedener Projekte und Stammaufgaben im ehemaligen Bayerischen Geologischen Landesamt zu einer Überlastung der Labors führte, sind noch viele Messdaten aus dem Projekt ausstehend. Sofern diese Daten vorliegen, können verschiedene Aussagen, die in diesem Bericht gemacht wurden, noch bekräftigt bzw. ergänzt werden.

## **9.5 Auswertung**

Kontinuität in der Datenerstellung ist auf den Intensiv-Flächen eine wichtige Basis für eine qualitativ hochwertige Datenauswertung. Durch Störungen bei den Messgeräten, wie sie bereits beschrieben wurden, ist diese Kontinuität gefährdet. Die Datenlücken sind bislang noch in einem Umfang, dass sie durch Vergleichsdaten aus anderen Messstellen ersetzt werden können. Deshalb können Auswertungen durchgeführt werden. Die Datenlücken stehen in engen Zusammenhang mit dem Wartungsrythmus. Im Projekt wurden die Geräte 2 mal pro Jahr gewartet. Muss diese Frequenz erniedrigt werden, da die vorhandenen Finanzmittel reduziert werden, ist mit Datenlücken durch Geräteausfall zu rechnen, die keine Auswertung mehr zu lassen.

Die durchgeführten statistischen Tests (nichtparametrische Mittelwertvergleichstests) ließen auf den Intensiv-Flächen noch keine signifikanten Veränderungen der Stoffgehalte im Boden erkennen. Aus den Erfahrungen der BDF ist der Zeitrahmen von 3 Jahren, in dem die Bodenprobenahme stattgefunden hat, zur Feststellung von Veränderungen noch nicht ausreichend. Beim Boden- und Depositionswasser sind Veränderungen der Stoffkonzentrationen abhängig von den klimatischen Bedingungen und der jeweiligen Emissionsituation. Daher schwanken die Messwerte mit ihren Monatswerten in einer bestimmten Spannbreite.

Die Anwendung des Modells nach Wagner ermöglicht es grundsätzlich, eine Zukunftsprognose zu erstellen. Vergleicht man die Ergebniswerte zum Wasserhaushalt aus dem Modell mit den tatsächlich ermittelten Wassergehalten im Boden, so stimmt dies größtenteils hervorragend überein. Bei den Stofffrachten errechnet das Modell für den kurzen Zeitrahmen, in dem auf den Intensiv-Flächen kontinuierlich Messungen durchgeführt worden sind, noch keine Veränderungen. Eine Verifizierung durch reell gemessene Werte kann wegen zu kleiner Datenbasis noch nicht durchgeführt werden.

## 10 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Mit der Intensiv-Boden-Dauerbeobachtung hat das ehemalige Bayerische Geologische Landesamt im Auftrag und mit Mitteln des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz einen neuen Weg beschritten, bei dem im Gegensatz zu früheren Boden-Untersuchungen das Ökosystem in einem bestimmten Standortbereich als Ganzes erforscht und überwacht wird. Diese Betrachtung mehrerer Kompartimente soll über die Merkmalsdokumentation hinaus helfen, Prozesse im Boden zu erkennen. Durch Kenntnis der Prozesse können Aussagen über bodenschutzrelevante Faktoren wie z. B. die Intensität der Stoffverlagerung getroffen werden. Dies ist sehr wichtig für die Interpretation der Standortsituation und für die Übertragung von Ergebnissen auf vergesellschaftete Böden.

4 Intensiv-Boden-Dauerbeobachtungsflächen wurden im Rahmen des Pilotprojektes zur Intensivierung der Boden-Dauerbeobachtung eingerichtet. Sie werden seit Mitte des Jahres 2000 betrieben und gingen seit Mitte 2001 in den Routinemessbetrieb über.

Ein wichtiges Kriterium beim Aussuchen der Messflächen war eine im Vergleich zu anderen bayerischen Standorten zu erwartende höhere Ausgangsbelastung der Standorte. Diese beruht zum einen auf der Nähe zu ehemaligen oder aktuellen Industriestandorten, zum anderen an der Ballung von Verkehrswegen mit dem dazugehörigen erhöhten Schadstoffausstoß. Auf allen Intensiv-Boden-Dauerbeobachtungsflächen konnte eine stärkere Schadstoffbelastung bzgl. einzelner Spurenelemente bestimmt werden. In der Regel überschreiten jedoch keine Schadstoffkonzentrationen die in der Bodenschutzverordnung des Bundes-Bodenschutzgesetzes vorgegebenen Prüfwerte. Ausnahme ist die Quecksilberbelastung auf der IBDF in Marktredwitz. Dort wird der Maßnahmenwert, Boden-Nutzpflanze, auf der Grünlandfläche um ein Vielfaches überschritten. Überschreitungen der Maßnahmenwerte werden systematisch im Boden-Informationssystem Bayern periodisch abgeprüft und den Kreisverwaltungsbehörden mitgeteilt.

Der Stoffeintrag über die Atmosphäre ist in der Regel eindeutig bestimmbar und bewegt sich nur auf der Fläche bei Fürth bei einigen Schwermetallen (Ni, Zn) im oberen Bereich der in Deutschland bekannten Stoffeintragsmengen. Die im Depositionswasser gemessenen Stoffkonzentrationen bleiben unter den Vorgaben der deutschen Trinkwasserverordnung. Auch die Stoffanteile im Bodenwasser überschreiten mit ihren Werten die von der Trinkwasserverordnung vorgegebenen Grenzwerte nicht.

Eine Besonderheit stellen die gemessenen organischen Stoffkonzentrationen im Bodenwasser dar. Sie sind im Vergleich zu den Konzentrationen im Depositionswasser sehr niedrig. Möglicherweise werden die organischen Stoffe in der obersten Bodenschicht bereits so gut adsorbiert, dass ein Transport in größere Bodentiefen minimal ist und mit den verfügbaren Messmethoden nicht mehr detektiert werden kann. Es kann aber auch eine potentielle Adsorption der Stoffe durch die Saugkerzen vorherrschen, die zu Werten unter der Bestimmungsgrenze im angesaugten Bodenwasser führen. Zur Klärung der Ursache für diese geringen Konzentrationen in den Bodenwasserproben müssen jedoch noch Untersuchungen durchgeführt werden. Die niedrigen Konzentrationen werden jedoch voraussichtlich mittelfristig zu einer Streichung dieser Untersuchungen auf organische Stoffgehalte im Bodenwasser aus dem IBDF-Programm führen.

Veränderungen der Stoffkonzentrationen im Boden konnten bislang nicht nachgewiesen werden. Dies entspricht auch Erkenntnissen aus den Untersuchungen der Basis-Boden-Dauerbeobachtungsflächen, bei denen ein Zeitrahmen von mindestens 5 Jahren verstrichen sein musste, um statistisch abgesichert Veränderungen bestimmen zu können. Bei den Messungen der Stoffkonzentrationen im Boden- und Depositionswasser ergeben sich unterschiedliche Werte. Diese Diskrepanz bei den monatlich erhobenen Werten konnte bisher keiner Gesetzmäßigkeit unterworfen werden. Einflussfaktoren für diesen Wechsel der Konzentrationen dürften in erster Linie klimatische Bedingungen sein, die über unterschiedliche Schadstoffeintragsbedingungen (Windrichtung, Starkregen etc.) auch Katalysatorwirkung für schubartige bodenchemische Lösungsvorgänge im Boden haben können.

Die Intensiv-Boden-Dauerbeobachtungsflächen des Bayerischen Landesamtes für Umwelt sind voll funktionsfähig, müssen aber über weitaus längere Zeiträume betrieben werden, um Stoffgehaltsveränderungen im Boden statistisch abgesichert bestimmen zu können. Wobei nach den bisherigen Erkenntnissen aus dem Pilotprojekt mit keinen allzu intensiven Anstiegen der Schadstoffgehalte kurz- bis mittelfristig zu rechnen ist. Sofern sich die Immissionsbelastung nicht entscheidend verändert, ist die Untersuchungsmethodik der IBDF nach den Erfahrungen aus dem Pilotprojekt zu grob, um entscheidende Verbesserungen gegenüber den BDF zu liefern. Eine kurze heftige Schadstoffbelastung kann auch über eine „normale“ BDF nachgewiesen werden (Frühwarnsystem). Eine Fortführung des Programms sollte in erster Linie aus Forschungsgesichtspunkten gesehen werden. Wobei sinnvoll wäre, die Probenahmefrequenz zu erhöhen sowie die Analytik um geeignete Parameter zu erweitern. Damit könnten Aussagen über Verhaltensweisen von Stoffen auf den IBDF präzisiert werden. Eine Möglichkeit wäre zum Beispiel, die mit Quecksilber hoch belastete Fläche in den Kösseineauen bei Marktredwitz umfangreicher zu untersuchen. Damit könnte eine eventuelle Abreicherung bzw. Verlagerung des o.g. Schwermetalls besser nachvollzogen werden.

Erste Versuche, ein Modell zur Erstellung von Zukunftsprognosen mit Hilfe von Realdaten, die auf den IBDF erhoben wurden, zu verifizieren, liefern teilweise gute Übereinstimmung bzgl. des Wasserhaushaltes. Jedoch sind längere Messdatenreihen notwendig, um das Modell genauer kalibrieren zu können. Berechnungen zur Entwicklung von Stoffgehalten im Boden konnten noch nicht mit reellen Daten geprüft werden, da der Beobachtungszeitraum bislang zu kurz ist. Die Auswertungen selbst stehen dabei in engen Zusammenhang mit Fragestellungen der Wasserwirtschaft, so dass die interdisziplinäre Zusammenarbeit auf diesem Gebiet verstärkt werden müsste.

## **11 Danksagung**

Die Boden-Dauerbeobachtung des Bayerischen Landesamtes für Umwelt ist eine Aufgabe, die auf eine äußerst exakte Analytik angewiesen ist. Dies ist am besten zu gewährleisten, wenn eine hochmoderne Laborausstattung vorhanden ist und auch das Laborpersonal die Problematik des Programms kennt. Für die kreative Zusammenarbeit sei den Labormitarbeitern, stellvertretend dem Laborleiter für den anorganischen Bereich, Herrn Dr. R. Klinger und für den organischen Bereich, Herrn Dr. A. Reischl (bis 2002) und Frau Dr. P. Dumler-Gradl (ab 2002) gedankt.

Herr Dr. B. Wagner ist auf dem Gebiet der hydrogeologischen Themenbereiche des Projektes ein hilfsbereiter Ansprechpartner gewesen. Er hat zur Beschreibung von Stoffentwicklungen im Boden ein Modell entwickelt, das im Rahmen der Auswertungen der Messdaten angewendet wurde. Dabei stand er als Berater bei Bedarf immer zur Verfügung. Für diese Unterstützung sei ihm herzlich gedankt.

Herrn Dr. M. Joneck, Herrn Dr. W. Grottenthaler, Herrn Dr. Franz Schmidt, Herrn Dr. E. Murad, Herrn Außendorf und Herrn Dr. E. Linhardt möchten wir für die kritische Durchsicht des Manuskripts und für die unterstützenden Anregungen danken.



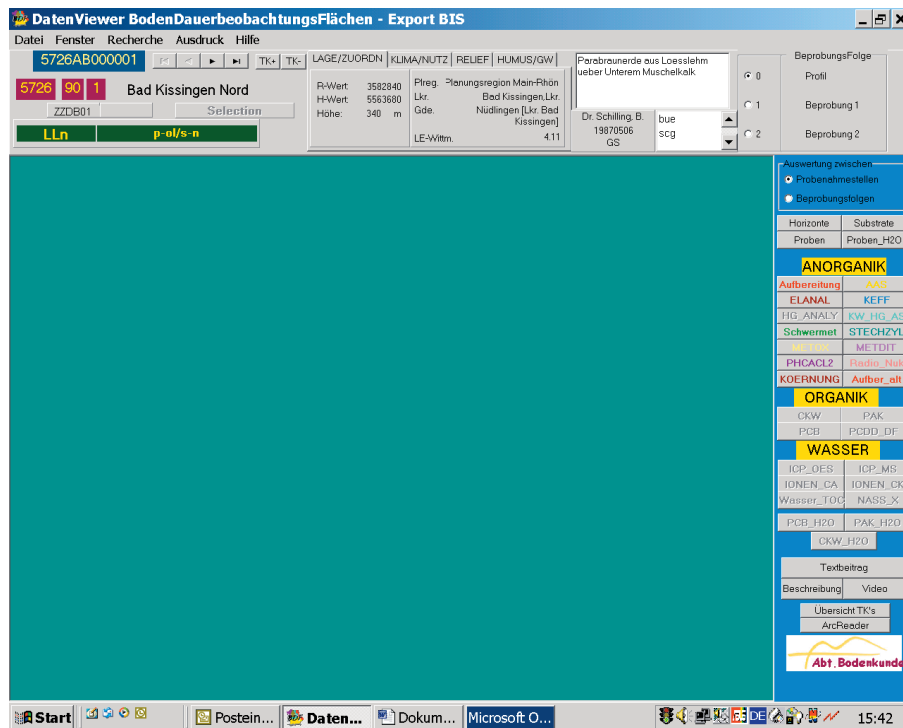
## 12 Literatur

- BARTH, N., BRANDTNER, W., CORDSEN, E., DANN, T., EMMERRICH, K.-H., FELDHAUS, D., KLEEFISCH, B., SCHILLING, B. & UTERMANN, J. (2002): Einrichtung und Betrieb von Boden-Dauerbeobachtungsflächen. – in: Rosenkranz et. al: Bodenschutz: 9152-9199; Berlin (Erich-Schmidt).
- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR BODENKULTUR UND PFLANZENBAU (1997): Boden-Dauerbeobachtungsflächen – Bericht nach 10 jähriger Laufzeit 1985-1995. – Schriftenreihe d. Bayer. Landesanst. F. Bodenkult. u. Pflanzenbau 4-6/97: 253 S., Freising-München.
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (1998): Entnahme und Untersuchung von Wasserproben bei Untergrundverunreinigungen mit wassergefährdenden Stoffen. – Merkblatt Nr. 3.8-6, Teil I-III: 26 S.; München (Bayer. L.-Amt für Wasserwirtschaft).
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ (2003): Immissionsökologischer Bericht 2000-2001. 278 S.; Augsburg (LfU).
- BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN UND FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (1990): Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Bayern – Standortauswahl, Einrichtung, Probenahme und Analytik. - 44 S.; München (StMLU).
- BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN (2001): Depositionsmessungen im ostbayerischen Grenzgebirge. Materialien 160: 126 S.; München (StMLU).
- BELTRAN, J., HERNANDEZ, F., LOPEZ, F.J. & MORELL, I. (1995): Study of Sorption Processes of Selected Pesticides on Soils and Ceramic Porous Cups used for Soil Solution Sampling. – Int. Journ. for Environ. Anal. Chem., 58: 287-303.
- BROWN, S. (2002): Measuring carbon in forests: current status and future challenges. – Journ. of Environm. Pollution, Vol. 116/3: 363-372.
- DE VRIES, W., VEL, E., REINDS, G. J., DEELSTRA, H., KLAP, J. M., LEETERS, E.E.J.M., HENDRIKS, C.M.A., KERKVOORDEN, M., LANDMANN, G., HERKENDELL, J., HAUSSMANN, T. & ERISMAN, J.W. (2003): Intensive monitoring of forest ecosystems in Europe. – Journ. of Forest Ecology and Management, Vol. 174/1-3: 77-95.
- DREHER, P., NÖLTNER, T. & SCHÖTTLE, M. (2002): Boden-Dauerbeobachtung in Baden-Württemberg, Konzeption, Methoden, Ergebnisse. – Textband zum Workshop Boden-Dauerbeobachtung in Deutschland: 7-16; Berlin (UBA).
- HEINRICHS, H. & HERRMANN, A.-G. (1990): Praktikum der Analytischen Chemie. XIV+669 S.; Berlin, Heidelberg (Springer).

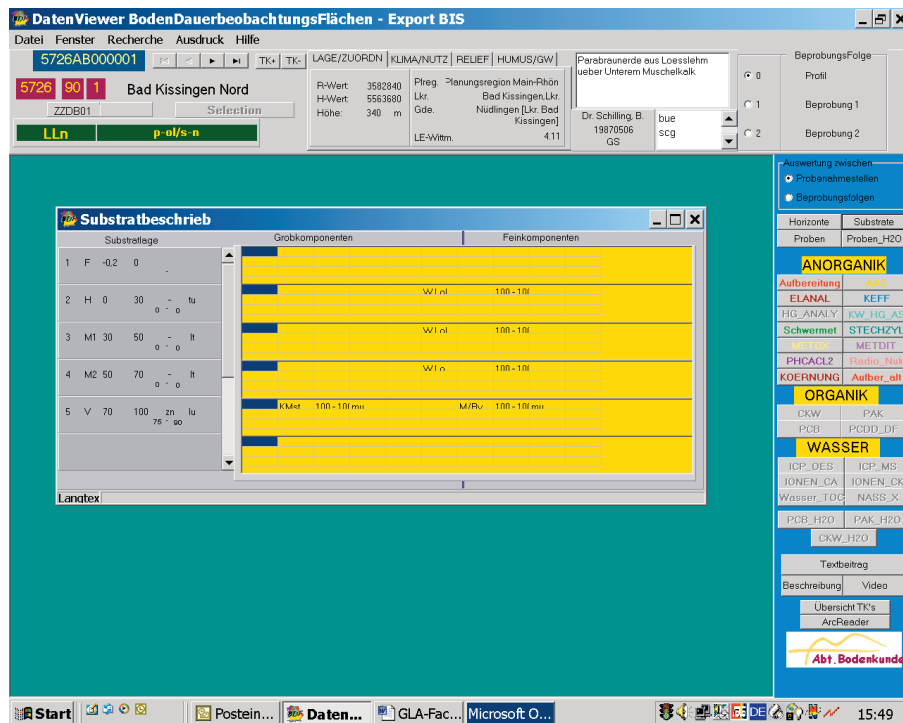
- MARTIN, H. (2000): Entwicklung von Passivsammlern zum zeitlich integrierenden Depositions- und Grundwassermonitoring: Adsorberkartuschen und Keramikdosimeter. Tübinger Geowiss. Arb. C56: 84 S.; Tübingen.
- MEHRA & JACKSON, M.L. (1960): Soil Chemical Analysis. 2. Aufl. Englewood Cliffs, N.J., Prentice Hall, Inc. N.J..
- MOFFAT, A.J., KVAALLEN, H., SOLBERG, S.. & CLARKE, N. (2002): Temporal trends in throughfall and soil water chemistry at three Norwegian forests, 1986-1997. – Journ. of Forest Ecology and Management, Vol. 168/1-3: 15-28.
- PAOLETTI, M.G. (1999): The role of earthworms for assessment of sustainability and as bioindicators. – Journ. of Agriculture, Ecosystems & Environment, Vol. 74/1-3: 137-155.
- PREUHLER, T. (1997): Bayerische Waldklimastationen. – LWF-SG2-Exk. Führer 1/1997: 34 S.; Freising.
- PRÜESS, A., BORHO, W., KOHL, R., GRIMM-STELE, J., v. WILPERT, K. & HUG, R. (2001): Depositionen in Baden-Württemberg. In: Ihle, P. (Hrsg.: Atmosphärische Depositionen in der Bundesrepublik Deutschland. 239 S.): 161-178; Stuttgart, Leipzig, Wiesbaden (Teubner).
- RUPPERT, H. (1987): Bestimmung von Schwermetallen im Boden sowie die ihr Verhalten beeinflussenden Bodeneigenschaften. Beilage zum GLA-Fachbericht 2: 11 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- RUPPERT, H. (1990): Anwendung von ICP-MS in der Untersuchung von Böden, Mineralien, Gesteinen und Wasser. In: Tagungsunterlagen zum Seminar „Plasma-Massenspektrometrie“ im Haus der Technik Essen am 14.03.90: 18 S.; Essen.
- SCHILLING, B. (1994): Die Boden-Dauerbeobachtungsflächen des Bayerischen Geologischen Landesamtes – Zielsetzung, Stand der Arbeiten und Ergebnisse aus den Erstuntersuchungen. GLA-Fachbericht 11: 60 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- SCHILLING, B. (1997): Wiederholungsuntersuchungen an Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Bayern. GLA-Fachbericht 14 (Boden-Monitoring): 48-91; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- SCHUBERT, A. (2002): Bayerische Waldboden-Dauerbeobachtungsflächen – Bodenuntersuchungen. – Forstliche Forschungsberichte 187: 223 S., Freising.
- SCHUBERT, A. (2004): Bayerische Waldboden-Dauerbeobachtungsflächen – Nadel- und Blattuntersuchungen. – Materialien der LWF, 10: 74 S., Freising.

- SHPARYK, Y.S. & PARPAN, V.I. (2004): Heavy metal pollution and forest health in the Ukrainian Carpathians. – Journ. of Environm. Pollution, Vol. 130/1: 55-63.
- UBA-UMWELTBUNDESAMT (1999): Spezielle Umweltprobleme. – Jahresbericht 1999 aus dem Messnetz des Umweltbundesamtes, Texte 58: 26 S.; Berlin (Umweltbundesamt).
- ULRICH, B., MEIWES, K.J., KÖNIG, N. & KHANNA, P.K. (1984): Untersuchungsverfahren und Kriterien zur Bewertung der Bodenversauerung und ihre Folgen in Waldböden. Forst- und Holzwirt, 39: 278-286; Göttingen.
- UMEG - GESELLSCHAFT FÜR UMWELTMESSUNGEN UND UMWELTERHEBUNGEN (2004): Bodenmessungen und Erhebungen. – Umeg-Jahresbericht 1999: 96-106; Karlsruhe.
- UMEG - GESELLSCHAFT FÜR UMWELTMESSUNGEN UND UMWELTERHEBUNGEN (2004): Bilanzbericht Bruchsal 2003. – [www.umweltbeobachtung.de/journal](http://www.umweltbeobachtung.de/journal); Karlsruhe.
- VAN RANST, E., DE CONINCK, F. & VAN ROMPAEY, K. (2004): Synthesis of HNO<sub>3</sub> from organic matter and its influence on nutrient replenishment in forests soils. – Journ. of Environ. Monit. Assess. Vol. 98/1-3: 409-420.
- WAGNER, B. (1997): Validierung eines 2-Regionen-Modells zur Simulation des Stofftransportes im Boden anhand von Laborsäulen- und Feldversuchen. – Z. Pflanzenernähr. Bodenk., 160: 309-316; Weinheim (VCH).
- WAGNER, B. (1999): Beschreibung des Simulationsmodells FLOTRA zur Berechnung der Wasser- und Stoffverlagerung in der ungesättigten Zone. – unveröfftl.: 21 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- WAGNER, G., LISCHER, P., THEOCHAROPOULOS, S., MUNTAU, H., DESAULES, A. & QUEVAUVILLER, P.H. (2001): Quantitative evaluation of the CEEM soil sampling intercomparison. – Journ. of Science of Tot. Environm., Vol. 264/1-2: 73-101.

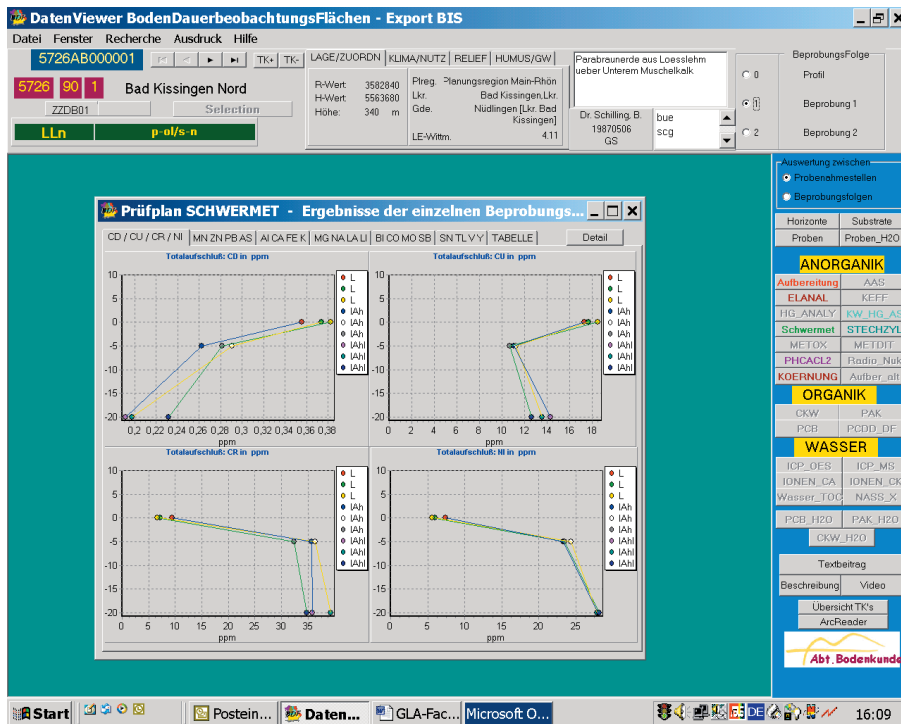
# 13 Anhang



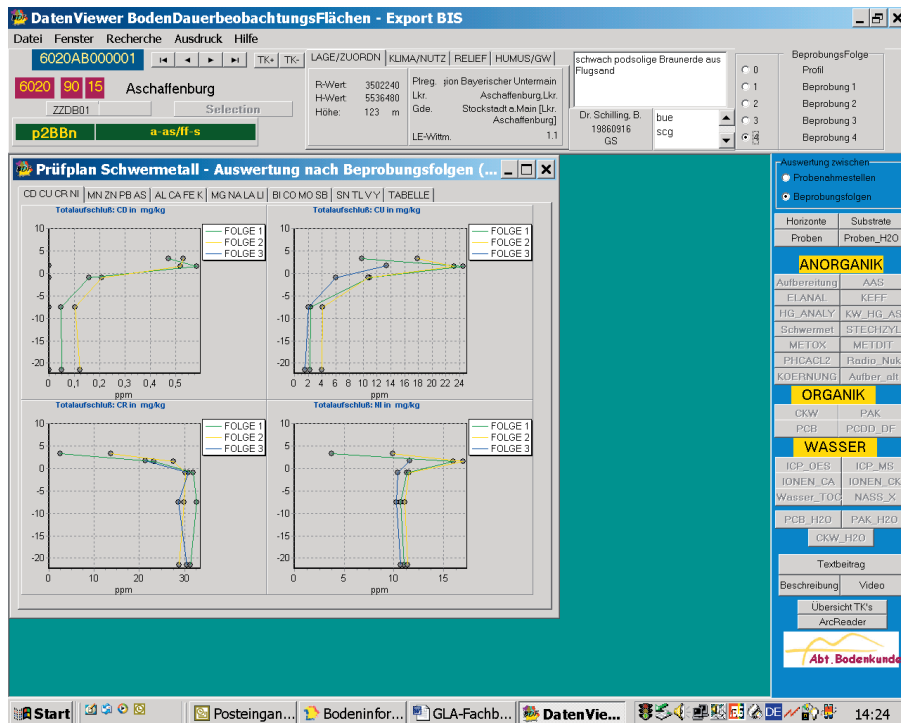
Anhang 1: Eingangsseite des Datenviewers mit Angaben zu den Standorten und verschiedene Auswahlmöglichkeiten.



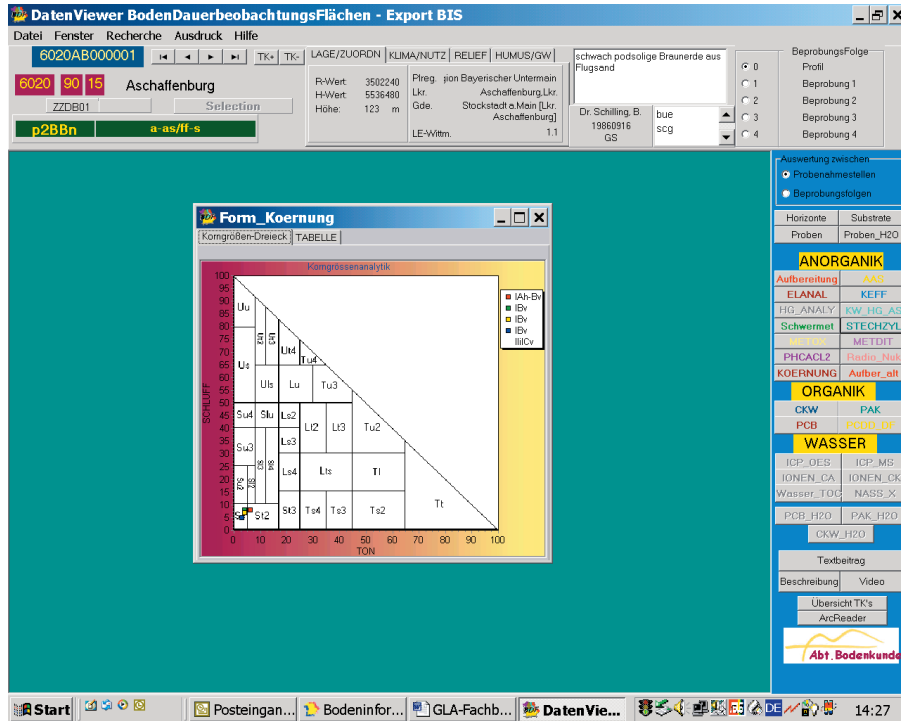
Anhang 2: Beschreibung der vorkommenden Substrate im Boden (Bad Kissingen) beispielhaft für die „Auswahlgruppe“ Horizonte, Substrate, Proben und Proben\_H2O.



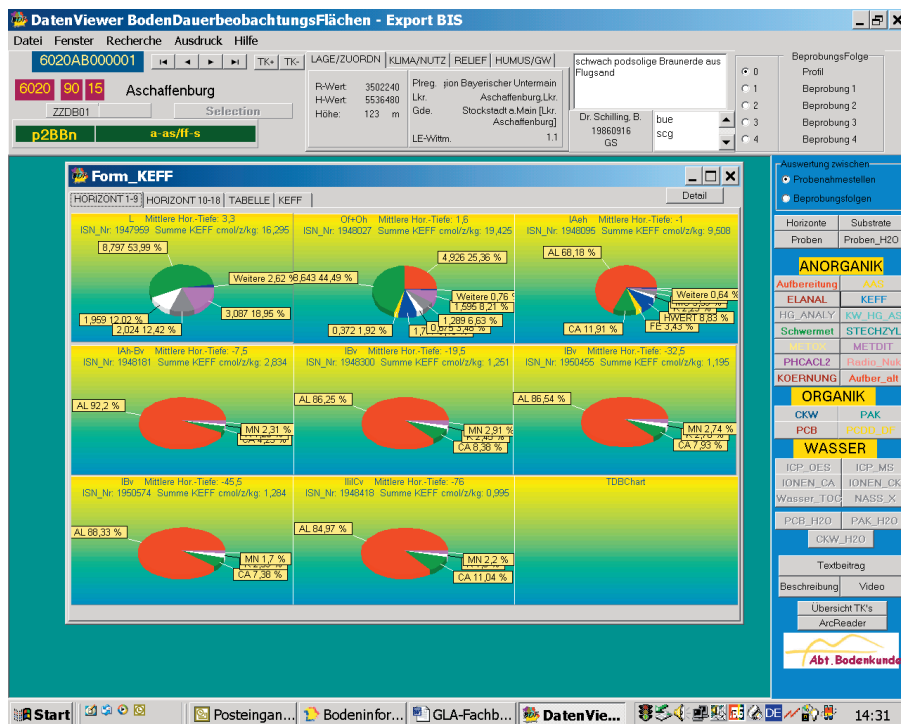
Anhang 3: Graphische Darstellung der Ergebnisse der Schwermetallanalytik (Bad Kissingen) beispielhaft für die Auswahlgruppe „Anorganik“ unter Berücksichtigung von Parallelprobenungen.



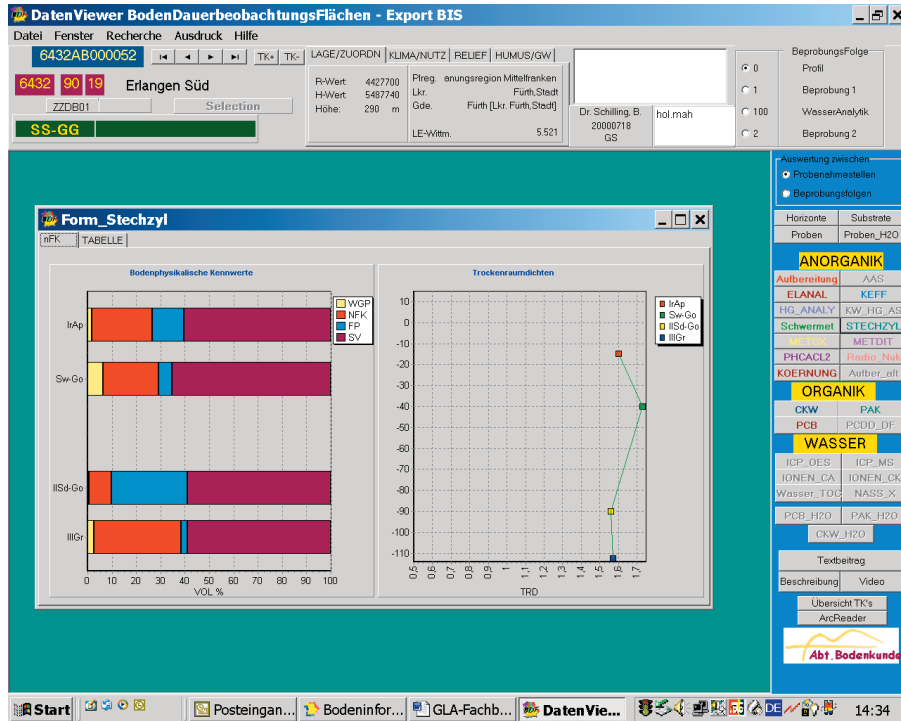
Anhang 4: Graphische Darstellung der Ergebnisse der Schwermetallanalytik (Aschaffenburg) beispielhaft für die Auswahlgruppe „Anorganik“ unter Berücksichtigung von Wiederholungsprobenungen.



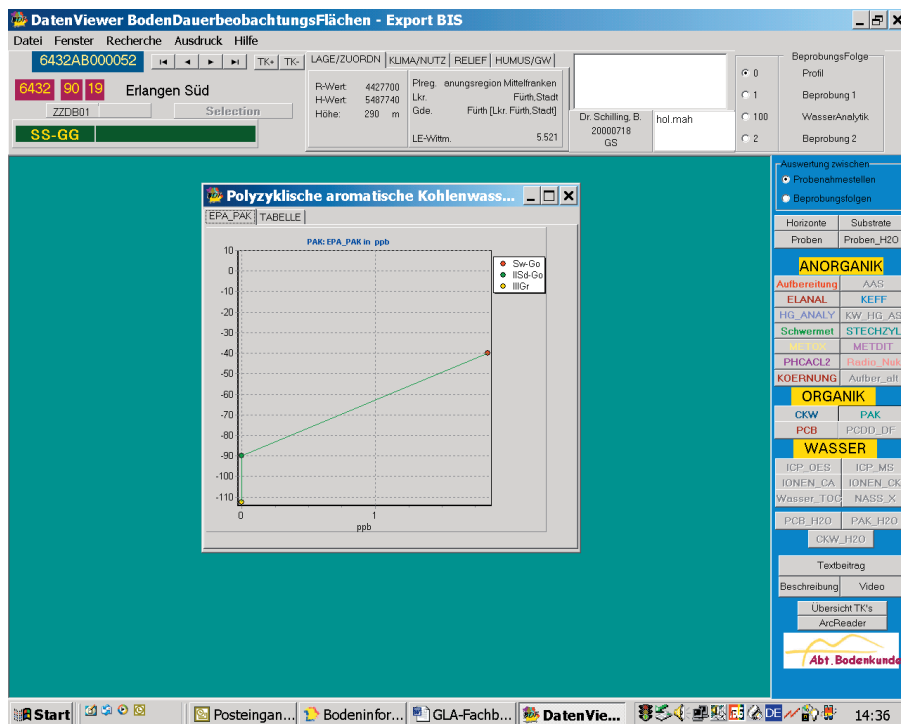
Anhang 5: Graphische Darstellung der Ergebnisse der Korngrößenanalytik am Beispiel der Fläche bei Aschaffenburg.



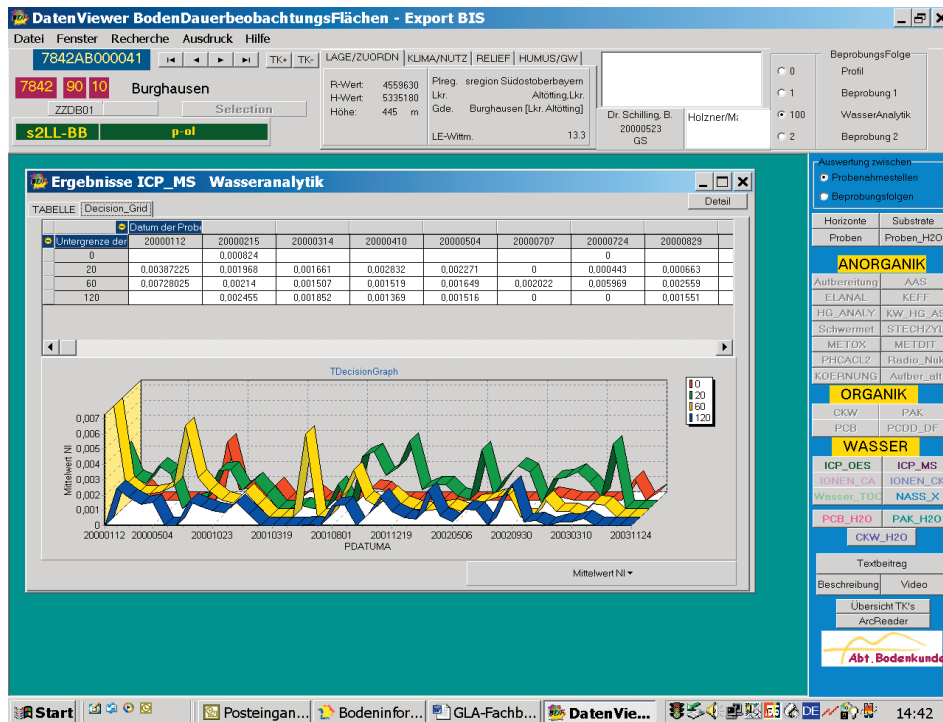
Anhang 6: Graphische Darstellung der Ergebnisse der effektiven Kationenaustauschkapazität am Beispiel der Fläche bei Aschaffenburg.



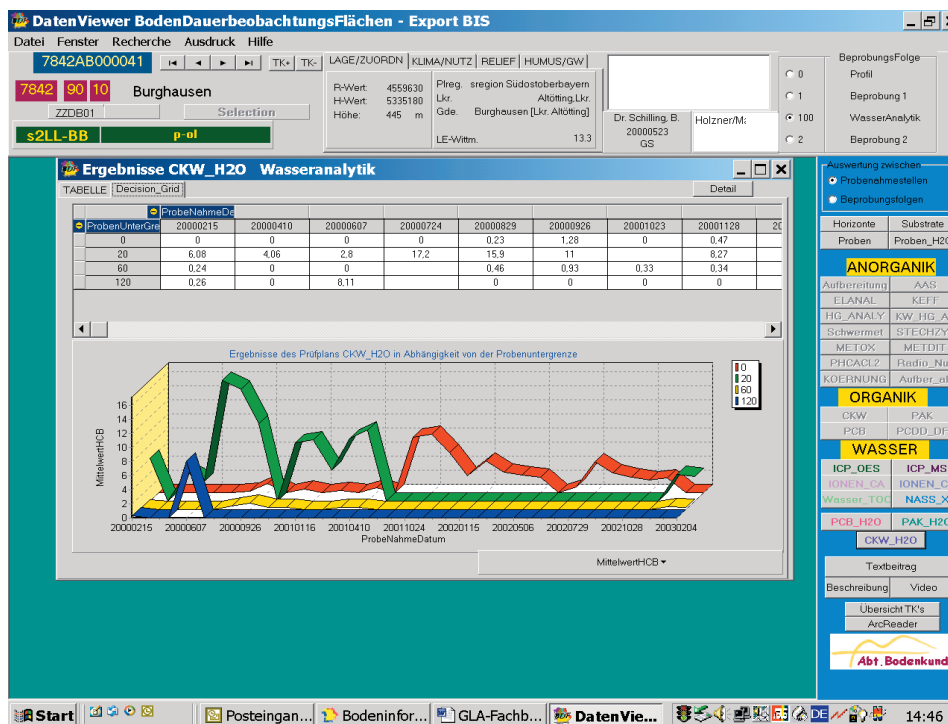
Anhang 7: Graphische Darstellung von bodenphysikalischen Kennwerten am Beispiel der Fläche bei Erlangen.



Anhang 8: Graphische Darstellung der Ergebnisse der EPA-PAK-Analytik (Aschaffenburg) beispielhaft für die Auswahlgruppe „Organik“.

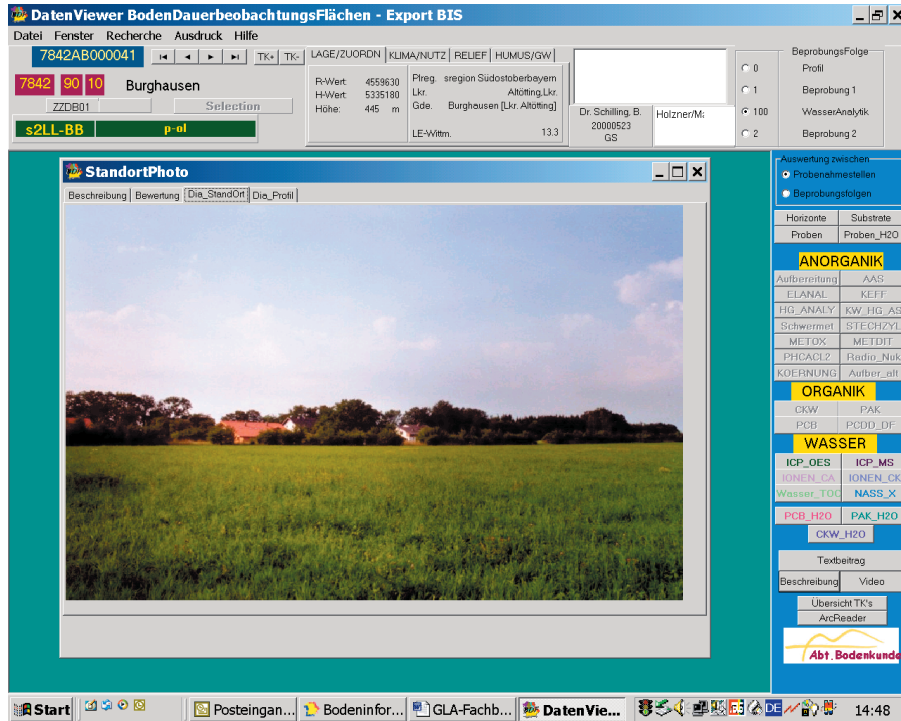


Anhang 9: Graphische Darstellung der Ergebnisse der Wasseranalytik (Burghausen) beispielhaft für die Auswahlgruppe „Anorganik“.

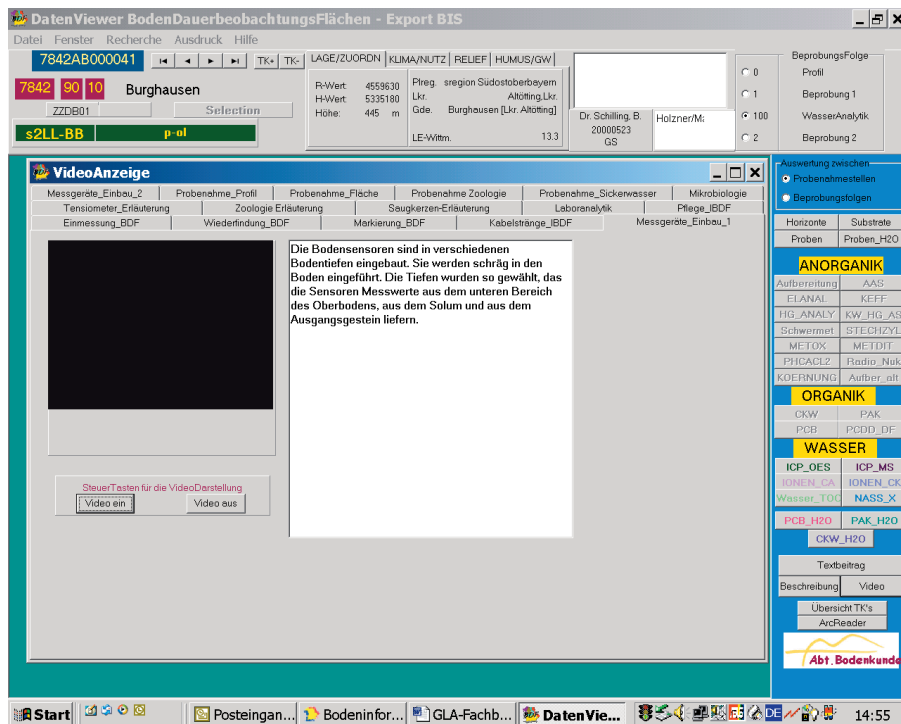


Anhang 10: Graphische Darstellung der Ergebnisse der Wasseranalytik (Burghausen) beispielhaft für die Auswahlgruppe „Organik“.

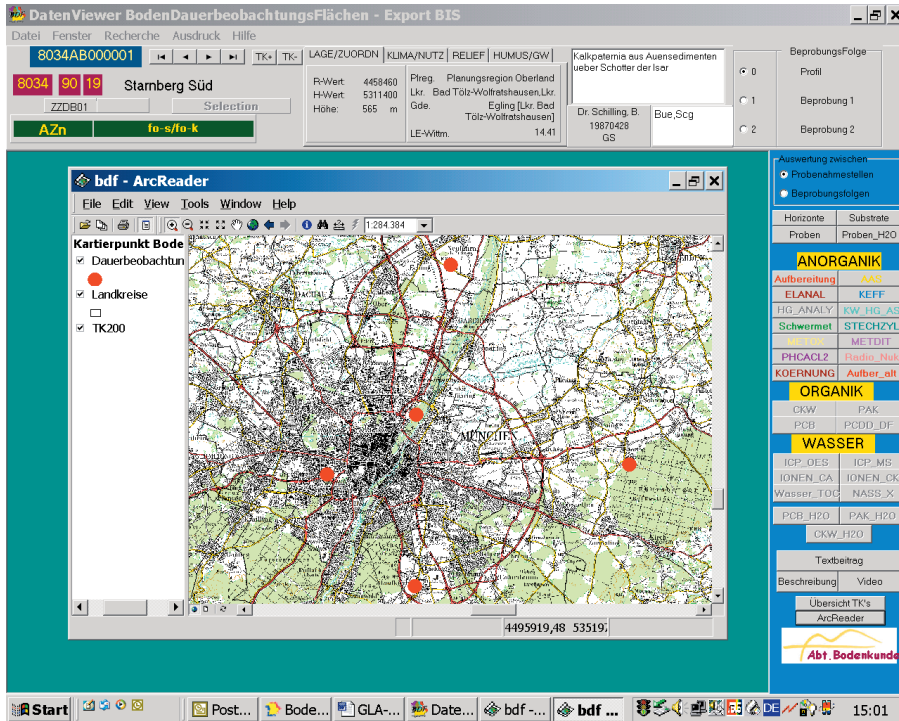




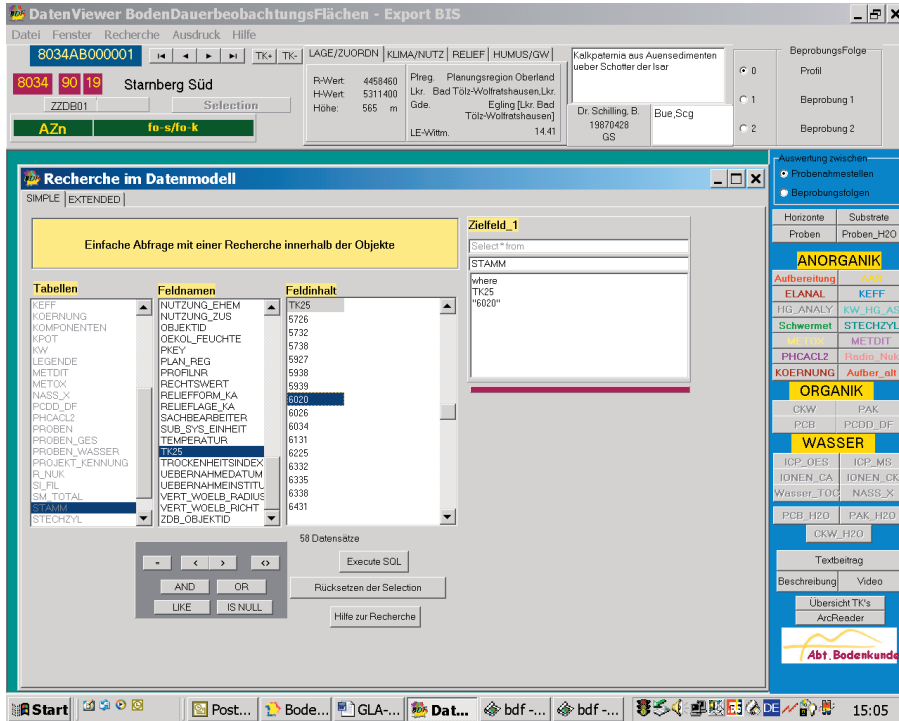
Anhang 11: Beschreibung des Standorts, Bewertung der Ergebnisse, Fotos zum Standort und zum Bodenprofil zur Charakterisierung der Boden-Dauerbeobachtungsfläche.



Anhang 12: Beschreibung der Einrichtung und Probenahme bei den Boden-Dauerbeobachtungsflächen mit Hilfe von Erläuterung und Videodarstellungen.



Anhang 13: Kartographische Darstellung der Standorte der Boden-Dauerbeobachtungsflächen mit Möglichkeiten der Abrufung von Zusatzinformationen.



Anhang 14: Recherchemöglichkeiten nach verschiedenen Standortfaktoren, Bodenkennwerten und Analytikdaten.

Vorschau

BodenDauerbeobachtungsflächen Bayern Seite 1 Profilbeschreibung 5726 90 1

PROFILKENNUNG				PROJEKTKENNUNG				LAGE				ZUORDNUNG				AUFNAHME						
Best-Nr. TKGS	Obj.-Id	Blatt-Nr. TKGS	Aufn.-Serie	Profil-Nr.	Bereich	Thema	Dist.	R	K	Höhe m ü. NN	Planr.	Loc.	Geod.	Planungsregion Main-Rh.	Landesbeh.-Einheit	Nr.	Datum	sonstige Aufn.	Nr.	Art	Ausf.-Art	
5726AB000001		5726	90	1	ZZ-B01		H			3522840	13	Bad Kissinger Ldt.	411		411				M9870906	18	18	05

INTENSIVITÄT				KLIMA				NUTZUNG				RELIEF							
Aufnahme	AV	Temp.-tagw.	Nieder-schlag	Tropenrh.-Index	Orolog. Gradst.	aktuelle N	Zusatz N	ehem. N	Beumarten	Best.-Zun.	Indi-met.	Exposi-tion	Relieflage	Abhang	Formhyp	Länge	Lage	Mikro-met.	Eff. z. Nordost
Beprobung	10				5.3	FL									KS	30	30		

BODENVST. E.		BODENFORM		SUBSTRATVST. E.		LEGENDEN-ZUORDNUNG		MUMURFORM		BODENB / -AUFTRAG		GW-STAND		BODENSCHÄTZUNG		BEMERKUNG	
LLn		Parabraunerde aus Loess lehm ueber Unterem Muschelkalk		p-ol/s-n				muf									A

HORIZONTKENNZEICHNUNG				BODENFARBE		SKELETT		BODENART		HUMUS		HYDRON. MERKMALE				GEFÜGE		SCHICHT-NR.		BEMERKUNG	
Nr.	Proben-Nr.	Symbol	Ob- bzw. Untergrenze	Munsell	Anteil von bis (Vol.-%)	Grob-boden	Fehlboden bzw. Torf-zers.-Stufe	Humus	Carbohyd.	Porosit.	Bleich.	FeMin	Kontrast	AUSFALL	Form	Größe	DURCHM. (µm)	SCHICHT-NR.	SCHICHT-SYMBOL	BEMERKUNG	
01		L	-0,2 - 0																		
02	I Ah		0 - 10	7,5YR 3/3	0 - 0		U13	3	0						sub	2					
03	I Ahf		10 - 30	7,5YR 5/4	0 - 0		U14	2	0						sub	2					
04	II Bt		30 - 50	7,5YR 4/6	0 - 0		Tu2	0	0						pol	3					
05	III BwCv		50 - 70	7,5YR 5/4 + 10YR 5/4	0 - 0		Tu2	0	c2						pol	3					
06	IV elCv		70 - 100	10YR 5/4	75 - 90	13x4	U13	0	c3						koh						

GLA Bayer. Geol. Landesamt, AGI Bodenstelle

Seite 1 von 5

Start Postein... GLA\_Fa... H:\Date... GLA-Fac... Daten... 14:59

Anhang 15: Analogausdruck der Stamm- und Horizontdaten sowie einer Auswahl umweltrelevanter Analysendaten.

**In der Reihe „GLA Fachberichte“ des Bayerischen Geologischen Landesamtes erschienen bisher:**

- [1] AUERSWALD, K. & SCHMIDT, F. (1986): Atlas der Erosionsgefährdung in Bayern. GLA Fachberichte, 1: 74 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- [2] RUPPERT, H. & SCHMIDT, F. (1987): Natürliche Grundgehalte und anthropogene Anreicherungen von Schwermetallen in Böden Bayerns. GLA Fachberichte, 2: 97 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- [3] WROBEL, J.-P. & HANKE, K. (1987): Karten der Gefährdung der Grundwässer in Bayern durch Nitrat. GLA Fachberichte, 3/Teil 1: 1-25; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- JONECK, M., STANJEK, CH. & HOLZNER, G. (1987): Nitratverlagerung und Nitratabbau in Böden, Deck- und Verwitterungsschichten in verschiedenen Klimabereichen Bayerns. GLA Fachberichte, 3/Teil 2: 27-127; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- [4] RUPPERT, H., SCHMIDT, F., JONECK, M., JERZ, H. & DREXLER, O. (1988): Schwermetallgehalte in Böden des Donautales. GLA Fachberichte, 4: 51 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- [5] WITTMANN, O. (1991): Standortkundliche Landschaftsgliederung von Bayern - Übersichtskarte 1 : 1 000 000 - und Abhängigkeitsbeziehungen der Bodennutzung. GLA Fachberichte, 5/Teil 1: 1-47.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- RUPPERT, H., SCHMIDT, F. & SCHMIDT, R. (1991): Bereiche natürlicher Spurenmetalle in den häufigsten Böden Bayerns. GLA Fachberichte, 5/Teil 2: 49-73; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- [6] MARTIN, W., RUPPERT, H. & FRIED, G. (1991): Veränderungen von Elementgehalten, pH-Wert und potentieller Kationenaustauschkapazität in ausgewählten Böden Bayerns. Untersuchungen an 203 Profilen im Zeitraum 1964 bis 1986. GLA Fachberichte, 6/Teil 1: 1-35; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- RUPPERT, H. (1991): Zur Problematik der Abschätzung anthropogener Stoffgehalte in Böden am Beispiel von Schwermetallen. GLA Fachberichte, 6/Teil 2: 37-61; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- [7] JONECK, M. & PRINZ, R. (1991): Dioxine in Böden Bayerns. Gehalte polychlorierter Dibenzodioxine (PCDD) und polychlorierter Dibenzofurane (PCDF) in Auflage- und Oberbodenhorizonten von Böden unterschiedlicher Nutzung und Immissionssituation. GLA Fachberichte, 7: 60 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).

- [8] v. POSCHINGER, A. (1992): GEORISK. Erfassung und Untersuchung von Massenbewegungen im Bayerischen Alpenraum. GLA Fachberichte, 8: 33 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- [9] Joneck, M. & Prinz, R. (1993): Inventur organischer Schadstoffe in Böden Bayerns. Chlorierte Kohlenwasserstoffe, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe und N-Herbizide in Böden unterschiedlicher Nutzung und Immissionssituation. GLA Fachberichte, 9: 155 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- [10] Joneck, M. & Prinz, R. (1993): Schwermetallgehalte in Böden des Maintales und angrenzender Nebentäler. GLA Fachberichte, 10: 87 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- [11] Schilling, B. (1994): Boden-Dauerbeobachtungsflächen des Bayerischen Geologischen Landesamtes - Zielsetzung, Stand der Arbeiten und Ergebnisse aus den Erstuntersuchungen. GLA Fachberichte, 11: 60 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- [12] Joneck, M. & Prinz, R. (1994): Hintergrundbelastung bayerischer Böden mit organischen Problemstoffen. GLA Fachberichte, 12: 55 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- [13] Diepolder, G. W. (1995): Schutzfunktion der Grundwasserüberdeckung. Grundlagen - Bewertung - Darstellung in Karten. GLA Fachberichte, 13/Teil 1: 1-79; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- Wagner, B. (1995): Untersuchungen zum Wasser- und Stofftransport in der ungesättigten Zone im Hinblick auf ihre Schutzfunktion für das Grundwasser. GLA Fachberichte, 13/Teil 2: 81-100; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- [14] Schilling, B. & Zeitler, G. (1997): Flächenvariabilität von Stoffgehalten in Böden dargestellt am Beispiel von Radionukliduntersuchungen auf einer Wald-Bodendauerbeobachtungsfläche des Bayerischen Geologischen Landesamtes. GLA Fachberichte, 14/Teil 1: 1-24; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- Schilling, B. (1997): Untersuchungen zum Verhalten radioaktiver Stoffe auf Monitoringflächen im Zeitraum 1990-94. GLA Fachberichte, 14/Teil 2: 25-47; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- Schilling, B. (1997): Wiederholungsuntersuchungen an Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Bayern. GLA Fachberichte, 14/Teil 3: 48-91; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- [15] Ruppert, H. (1998): Die Humusaufgabe von Waldböden Südbayerns als Anzeiger der relativen Immissionsbelastung durch Schwermetalle. GLA Fachberichte, 15: 44 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).

- [16] Suttner, Th., Aussendorf, M. & Martin, W.(1998): Hintergrundwerte anorganischer Problemstoffe in Böden Bayerns. GLA Fachberichte, 16: 70 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- [17] PRINZ, R. & WITTENBECHER, M. (1999): Typische Gehalte ausgewählter Spurenelemente in Waldböden Bayerns. GLA Fachberichte, 17: 66 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- [18] WITTENBECHER, M. (1999): Mobilisierbare Schwermetallgehalte in forstwirtschaftlich genutzten Böden Bayerns. GLA Fachberichte, 18: 35 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- [19] DOPPLER, G., LINHARDT, E., RAST, U. & ROHRMÜLLER, H. (2002): ZDB-Schlüsselliste Petrographische Bezeichnung – Gesteinsbezeichnung für die Zentrale Datenbank (ZDB) des Bayerischen Geologischen Landesamtes. GLA Fachberichte, 19: 65 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- [20] BÜTTNER, G., PAMER,R., & WAGNER,B. (2003): Hydrogeologische Raumgliederung von Bayern. GLA Fachberichte, 20: 88 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- [21] WAGNER, B., TÖPFNER,C., LISCHIED, G., SCHOLZ, M., KLINGER, R. & KLAAS P. (2003): Hydrogeochemische Hintergrundwerte der Grundwässer Bayerns. GLA Fachberichte, 21: 250 S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).
- [22] SCHILLING, B., HAMMERL, J., HOLZNER, G., MAHLER, CH. & STIMMELMEIER, G. (2005): Monitoring der Radioaktivität im Boden – Veränderungen zwischen 1990 und 2003. GLA Fachberichte, 22: 59(?) S.; München (Bayer. Geol. L.-Amt).



Bayerisches Landesamt für Umwelt

ISSN 0932 - 9269