

Ressortforschungsberichte zur kerntechnischen Sicherheit und zum Strahlenschutz

**Bundesweiter Überblick über die Radiocäsiumkontamination von
Wildschweinen - Vorhaben 3607S04561**

**Auftragnehmer:
Dr. Fielitz Umweltanalysen, Hambühren**

**U. Fielitz
K. Richter**

Das Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) und im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) durchgeführt.

Dieser Band enthält einen Ergebnisbericht eines vom Bundesamt für Strahlenschutz im Rahmen der Ressortforschung des BMU (UFOPLAN) in Auftrag gegebenen Untersuchungsvorhabens. Verantwortlich für den Inhalt sind allein die Autoren. Das BfS übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie die Beachtung privater Rechte Dritter. Der Auftraggeber behält sich alle Rechte vor. Insbesondere darf dieser Bericht nur mit seiner Zustimmung ganz oder teilweise vervielfältigt werden.

Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung des Auftragnehmers wieder und muss nicht mit der des BfS übereinstimmen.

BfS-RESFOR-86/13

Bitte beziehen Sie sich beim Zitieren dieses Dokumentes immer auf folgende URN:
urn:nbn:de: 0221-2013102411098

Salzgitter, Oktober 2013

Dr. Fielitz Umweltanalysen
Forstweg 11
29313 Hambühren
<http://www.umweltanalysen.com>

Abschlussbericht

zum

Forschungsvorhaben 3607S04561

im Auftrag

des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Bundesweiter Überblick über die Radiocäsiumkontamination von Wildschweinen

Februar 2012

Von
U. Fielitz und K. Richter

Die Messungen der Proben auf ^{137}Cs -Aktivität wurden im **Labor für Radioisotope (LARI)** am **Institut für Forstbotanik** der **Universität Göttingen** durchgeführt.

Die Arbeiten wurden mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit finanziert.

Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung des Auftragnehmers wieder und muss nicht mit der Meinung des Auftraggebers (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) übereinstimmen.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	1
Summary	3
Einleitung	5
1 Arbeitspaket 1: Literaturstudie	6
1.1 Material und Methoden	6
1.1.1 Datenerhebung.....	6
1.1.2 Das geografische Informationssystem.....	7
1.1.2.1 Projektion für die Kartendarstellungen.....	9
1.1.3 Ablenk- und Winterfütterungen.....	9
1.2 Ergebnisse	10
1.2.1 Georeferenzierung von Datensätzen.....	10
1.2.2 Daten zur ¹³⁷ Cs-Kontamination des Bodens.....	11
1.2.3 Daten zur ¹³⁷ Cs-Kontamination von Wildschweinen.....	12
1.2.4 Daten zur ¹³⁷ Cs-Kontamination von Pilzen.....	15
1.2.5 Elaphomyces Hirschtrüffeln.....	17
1.2.5.1 Artabgrenzung bei Elaphomyces.....	17
1.2.5.2 Ökologie von Elaphomyces.....	17
1.2.5.3 Standortansprüche und Häufigkeit von E. granulatus.....	19
1.2.5.4 Standortansprüche und Häufigkeit von E. muricatus.....	20
1.2.5.5 Fundorte von E. granulatus und E. muricatus.....	21
1.2.5.6 ¹³⁷ Cs-Kontamination von E. granulatus und E. muricatus.....	23
1.2.6 Flächengrößen „Wald“ und „landwirtschaftliche Nutzflächen“.....	23
2 Arbeitspaket 2: Prognosekarte der ¹³⁷Cs Aktivität von Wildschweinen	25
2.1 Material und Methoden	25
2.1.1 Die Rechenmodelle für Boden.....	26
2.1.1.1 Das Standard-Bodenmodell.....	27
2.1.1.2 Das Mehrschichten-Bodenmodell.....	29
2.1.1.3 Konvektions-Diffusionsmodell.....	32
2.1.1.4 Empirisches Modell für die Kontamination von Hirschtrüffeln.....	33
2.1.2 Das Rechenmodell für Pflanzen.....	34
2.1.3 Das Rechenmodell für Wildschweine.....	34
2.1.3.1 Die generischen Nahrungsspektren von Wildschweinen.....	35
2.1.3.2 Die räumliche Verteilung der Nahrungsspektren.....	39
2.1.3.3 Worst-Case-Szenarien.....	41

2.1.3.4	Berücksichtigung von Mastjahren.....	41
2.1.4	Modellprogrammierung und Integration der Software in das GIS.....	43
2.2	Ergebnisse.....	47
2.2.1	Installation der Software.....	47
2.2.2	Die Benutzeroberflächen in EcoWild.apr.....	47
2.2.2.1	Die Werkzeug-Schaltfläche „GUI“.....	48
2.2.2.1.1	Berücksichtigung von Mastjahren.....	49
2.2.2.1.2	Berücksichtigung von Worst-Case-Szenarien.....	50
2.2.2.2	Die Werkzeug-Schaltfläche „Refresh“.....	51
2.2.2.3	Die Werkzeug-Schaltfläche „Zeitverlauf“.....	51
2.2.3	Die Textdateien in EcoWild.apr.....	51
2.2.4	Die Shapedateien in EcoWild.apr.....	53
2.2.5	Das Schema des ArcView-Projektes.....	54
2.2.6	Darstellung der Ergebnisse.....	55
2.2.6.1	Wildschwein-Kontamination als Text.....	55
2.2.6.2	Kartografische Darstellung der Wildschwein-Kontamination.....	55
2.2.6.3	Wildschwein-Kontamination als Zeitverlauf.....	56
2.2.7	Die ArcView Skripte.....	57
3	Arbeitspaket 3: Validierung der Kontaminationskarte.....	58
3.1	Material und Methoden.....	58
3.1.1	Auswahl der Untersuchungsgebiete.....	58
3.1.2	Probenahme und Probenaufbereitung	59
3.1.3	Aktivitätsbestimmung.....	60
3.2	Ergebnisse.....	60
3.2.1	¹³⁷ Cs-Aktivität und Transferfaktor: Boden - Hirschtrüffeln.....	60
3.2.2	¹³⁷ Cs-Aktivität von Wildschweinen.....	62
3.2.2.1	¹³⁷ Cs-Messwerte der Wildschweinproben.....	62
3.2.2.2	Validierung der Prognosekarte.....	64
3.2.2.3	Diskussion.....	69
4	Literatur.....	71
	Anhang.....	75

Zusammenfassung

Wildschweinfleisch ist ein Nahrungsmittel, das als Folge des Reaktorunfalls von Tschernobyl noch immer hoch kontaminiert sein kann. In einigen Gebieten der Bundesrepublik wird der Grenzwert für Radiocäsium von $600 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ häufig überschritten. Ziel des Forschungsvorhabens ist, die vorliegenden Messungen zur Radiocäsiumkontamination von Wildschweinen in Deutschland möglichst vollständig zu erfassen und eine Landkarte mit der potenziellen Kontamination von Wildschweinen zu erstellen.

Das Forschungsvorhaben untergliedert sich in drei Arbeitspakete. Im ersten Arbeitspaket (AP 1) wurden die bundesdeutschen Messungen zur Radiocäsiumkontamination von Wildschweinen sowie die kontaminationsbestimmenden Einflussfaktoren vollständig recherchiert und ortsbezogen zusammengestellt. Die erhobenen Daten wurden in ein geografisches Informationssystem (GIS) überführt, wodurch die ortsbezogene Analyse und kartografische Darstellung der Daten möglich ist. Entsprechend den Einflussfaktoren wurden die folgenden „Themenkategorien“ im GIS erstellt:

^{137}Cs -Kontamination der Böden (Inventar)

^{137}Cs -Kontamination von Wildschweinen

^{137}Cs -Kontamination von Pilzen (ohne Hirschtrüffeln)

Flächengrößen der Waldgebiete und der landwirtschaftlichen Flächen

Fundortdaten von Hirschtrüffeln

Ein besonderes Augenmerk galt in diesem Vorhaben den Hirschtrüffeln, die für den menschlichen Verzehr nicht geeignet sind, die aber mehr als drei Viertel zur Radiocäsiumaufnahme von Wildschweinen beitragen können. Über die Verbreitung und die ökologischen Ansprüche der einzelnen Arten wurde eine gesonderte Literaturstudie durchgeführt. Darüber hinaus wurden die in Deutschland nachgewiesenen Fundorte recherchiert und georeferenziert.

Auf der Grundlage dieser Ergebnisse wurde im zweiten Arbeitspaket (AP 2) ein radioökologisches Modell entwickelt, das in das GIS integriert und EcoWild genannt wurde.

Das radioökologische Rechenmodell berücksichtigt die dynamischen Prozesse von ^{137}Cs in Boden, Pflanzen und Pilzen sowie die Nahrungsaufnahme von Wildschweinen. Über eine grafische Benutzeroberfläche kann in EcoWild die zu erwartende Radiocäsiumkontamination von Wildschweinen für beliebige Orte und Zeitpunkte berechnet werden.

Bei der Recherche in AP 1 ergab sich die Frage, ob die beiden für Wildschweine relevanten Hirschtrüffelarten *Elaphomyces granulatus* (Warzige Hirschtrüffel) und *Elaphomyces muricatus* (Bunte Hirschtrüffel) signifikant unterschiedliche Transferfaktoren haben.

Insgesamt wurde die ^{137}Cs Aktivität von Hirschtrüffel- (n=133) und Bodenproben (n=39) gemessen. Der Maximalwert der untersuchten Hirschtrüffeln beträgt $6.655 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$, der arithmetische bzw. geometrische Mittelwert liegt bei $1.227 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ bzw. $843 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Der t-Test ergab keinen signifikanten Unterschied bei den logarithmierten Mittelwerten der Transferfaktoren von *E. granulosus* und *E. muricatus* auf dem 99% und 95% Niveau. EcoWild wurde daraufhin mit dem einheitlichen Transferfaktor 13,8 für ^{137}Cs Boden-Hirschtrüffeln programmiert.

Die Validierung der prognostizierten Daten der ^{137}Cs -Kontamination von Wildschweinen erfolgte im Arbeitspaket 3 (AP 3) durch den Vergleich der Modellwerte mit realen, stichprobenartig erhobenen Messwerten aus fünf ausgewählten Untersuchungsgebieten. Dazu wurde mit EcoWild die ^{137}Cs -Aktivität der Wildschweine für jedes Flächenelement innerhalb eines Untersuchungsgebietes berechnet. Die Werte wurden mithilfe statistischer Methoden mit den real erhobenen Messwerten verglichen.

Die Übereinstimmung der Messwerte mit den Modellwerten variierte zwischen den Untersuchungsgebieten, besonders gut war sie in Ohrdruf und Schönbrunn. Der Median der ^{137}Cs -Aktivität von Wildschweinen aus Ohrdruf ergab bei den Messwerten $213 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ und bei der Berechnung mit EcoWild $212 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Größere Unterschiede traten bei dem Vergleich der Medianwerte in den Untersuchungsgebieten Arnsberg und Harz auf.

Für die Abweichungen zwischen Mess- und Modellwerten kommen mehrere Ursachen infrage. Beispielsweise wurden in Arnsberg insgesamt 35 Wildschweine auf Radiocäsium gemessen, die auf 6 Gesellschaftsjagden erlegt wurden, womit nur eine relativ kleine Fläche des Untersuchungsgebietes abgedeckt ist. Dagegen ergeben die Modellberechnungen 61 ^{137}Cs -Werte aus den $3 \times 3 \text{ km}$ Flächenelementen, wodurch der Mittelwert mit $325 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ deutlich über dem Mittelwert ($56 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$) der gemessenen Daten liegt.

Darüber hinaus erfolgte die Erlegung der Wildschweine in den einzelnen Untersuchungsgebieten sehr unterschiedlich über das Jahr verteilt.

Wird berücksichtigt, dass die ^{137}Cs -Aktivität der Wildschweinproben in jedem Untersuchungsgebiet bis zu 3 Größenordnungen variiert, liefert EcoWild eine akzeptable Abschätzung der Wildschweinkontamination.

Summary

Meat of wild boars is a foodstuff, which as a consequence of the Chernobyl nuclear accident can still be highly contaminated. In some regions of Germany the contamination of the meat frequently exceeds the limit value of 600 Bq kg⁻¹. The objective of the research project is a compilation as complete as possible of available measurements of the radio-caesium contamination of wild boars and to create a map with the potential contamination of wild boars.

The research project consists of three work packages. In the first work package (AP 1) was carried out an exhaustive research of measurements of the radio-caesium contamination of wild boars and of the factors which influence the contamination. The location-dependent data were transferred to a Geographical Information System (GIS), which facilitated the cartographic representation and the spatial analysis of the data. According to the influencing factors the following themes were generated in the GIS:

¹³⁷Cs contamination of the soil (inventory)

¹³⁷Cs contamination of wild boars

¹³⁷Cs contamination of mushrooms

Location and extension of forest and agricultural areas

Locations where deer truffles have been found

Special attention was paid to deer truffles, which are not suitable for consumption by humans, but which can contribute to more than three-fourths of the radio-caesium intake of wild boars. A literature research concerning the ecological needs of individual deer truffle species and the spatial distribution of deer truffles was carried out. Furthermore, it was researched, at which locations deer truffles have been found in Germany; these locations have then been georeferenced.

In the second work package (AP 2) the results of AP 1 were used to develop a radio-ecological model, which has been called EcoWild, and which was integrated into the GIS. The radio-ecological model takes into account the dynamic processes of ¹³⁷Cs in the soil, the plants and mushrooms as well as the feed intake of wild boars. By means of a graphical user interface the radio-caesium contamination of wild boars to be expected can be computed for any location and point in time.

The predicted values of the ¹³⁷Cs contamination of wild boars were evaluated in the third work package (AP 3). For this, modeled data were compared with measured values of random samples from five study areas. The selection of these study areas based on investigations of different regions with respect to site-specific factors.

In work package AP 1 arose the question whether the transfer factor of the two deer truffle species, which are relevant for wild boars, namely *Elaphomyces granulatus* and *Elaphomyces muricatus*, is significantly different. In order to answer this question, samples of both species and additionally soil samples were taken in the field and the radio-caesium activity of the samples was measured.

The ^{137}Cs activity of deer truffle samples ($n = 133$) and of soil samples ($n = 39$) were measured. The maximum value of the examined deer truffles is $6655 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$, the arithmetic and the geometric mean is $1227 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ and $843 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$, respectively.

The t test did not show a significant difference between the mean logarithmic transfer factors of *E. granulatus* and *E. muricatus* at the 99% and 95% level. The EcoWild software therefore contains a unique transfer factor (13.8) for the ^{137}Cs transfer from soil to deer truffles.

The validation of the computed ^{137}Cs contamination of wild boars was carried out in work package 3 (AP 3) by means of a comparison of the modeled values with the measured values of random samples from five study areas. For this, the ^{137}Cs activity of wild boars was calculated with EcoWild for all area elements, which lie in a study area. These values were compared statistically with the real values i.e. with the measured values of the samples from a study area.

The agreement of the measurement values with the model values varied between the study areas and was particularly good in the study areas Ohrdruf and Schönbrunn. In Ohrdruf the median of the ^{137}Cs activity of the measurement values was $213 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ and the median of the values, computed with EcoWild, was $212 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$. Greater differences between the medians of the modeled and measured values are found for the study areas Arnsberg and Harz.

There are several possible causes which may have led to the differences between measured and modeled values. In Arnsberg the examined samples are from 35 wild boars, but many of them were shot in the same area element at hunting meetings by a group of hunters. On the other hand, the model calculations are carried out for the 61 area elements ($3 \text{ km} \times 3 \text{ km}$) which lie in the study area. Because of the variation of the soil contamination within the study area, the range of values is larger for the modeled ^{137}Cs activities. Furthermore, the hunt of the wild boars in the study areas took place at different times of the year. In Arnsberg for example the hunt took place exclusively in autumn, at a time, when the wild boars fed on low contaminated fruits of trees (the so-called “mast”), with the result that the wild boar samples were little contaminated.

Taking into account that in the study areas the ^{137}Cs activities of the measured wild boar samples vary up to 3 orders of magnitude, EcoWild gives a good estimation of the wild boar contamination. Moreover, the simulations with the worst case scenarios and with “mast” scenarios provide ^{137}Cs activities which agree with those found in the nature.

Einleitung

Wildschweine gehören zu den wenigen Biomedien, die infolge des Tschernobyl-Fallouts auch heute noch in regional begrenzten Gebieten Deutschlands deutlich erhöhte ^{137}Cs -Kontaminationen aufweisen. Dabei ist die Variabilität der ^{137}Cs -Messwerte sowohl lokal als auch bundesweit sehr groß und kann bis zu 3 Größenordnungen betragen.

Ursachen dafür sind die inhomogene Verteilung von ^{137}Cs in den Böden und die zeitlich variierende Nahrungsaufnahme der Wildschweine (Art und Menge einzelner Futterkomponenten). Die Nahrungsbestandteile enthalten je nach Art, dem ^{137}Cs -Bodeninventar und weiteren Faktoren, unterschiedlich viel Radiocäsium. Fressen Wildschweine vermehrt Hirschtrüffeln, die eine relativ hohe ^{137}Cs -Aktivität aufweisen können, so steigt ihre ^{137}Cs -Kontamination, während die Aufnahme von Nahrung auf landwirtschaftlichen Flächen oder von Baumfrüchten (Mast) in Wäldern zu geringerer Kontamination führt.

In dem Arbeitspaket 1 dieses Forschungsvorhabens wurden die bisher in Deutschland erhobenen ^{137}Cs -Messwerte von Wildschweinen sowie die wesentlichen kontaminationsbestimmenden Faktoren erfasst und tabellarisch und ortsgenau dargestellt. Dazu wurden die relevanten ^{137}Cs -Messwerte als Quelldaten von den entsprechenden Stellen beschafft und in ein geografisches Informationssystem (GIS) integriert.

Aufbauend auf diese erhobenen Daten und mithilfe eines radioökologischen Modells wurde im Arbeitspaket 2 eine Landkarte von Deutschland mit der zu erwartenden Kontamination von Wildschweinen erstellt. Das in ArcView GIS 3.3 integrierte Rechenmodell (EcoWild) erlaubt dem Benutzer, über eine grafische Oberfläche die ^{137}Cs -Kontamination von Wildschweinen für eine beliebige Gemeinde in Deutschland für einen beliebigen Zeitpunkt zu berechnen. Um Verhältnisse, die zu außergewöhnlichen Radiocäsiumkontaminationen bei Wildschweinen führen können, zu berücksichtigen, wurden auch Worst-Case-Szenarien und Szenarien für Mastjahre entwickelt.

Im dritten Arbeitspaket erfolgte die Validierung dieser Karte durch stichprobenartige Messungen der Muskelfleischproben von Wildschweinen in ausgesuchten, bisher nicht systematisch beprobten Gebieten. Mithilfe mathematischer Verfahren wurde die Variabilität der Mess- und Prognosewerte analysiert. Ferner wurde die Differenz zwischen Messung und Prognose und damit die Zuverlässigkeit der Kontaminationskarte quantifiziert.

1 Arbeitspaket 1: Literaturstudie

1.1 Material und Methoden

1.1.1 Datenerhebung

Die ^{137}Cs -Messwerte von Wildschweinen wurden direkt bei den zuständigen Messstellen bzw. Verantwortlichen angefragt, alle Daten zu anderen Themen nach der Recherche möglichst bei der Primärquelle beschafft.

Die Datenquellen sind (verwendete Abkürzung im GIS in Klammern):

Datenquellen für ^{137}Cs -Messwerte von Wildschweinen

Baden-Württemberg: Prof. Dr. Eckehard Klemt, Hochschule Ravensburg-Weingarten, University of Applied Sciences, Doggenriedstr., 88250 Weingarten. (**BW**)

Bayern: Max Rubner-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel, E.-C.-Baumann-Straße 20, 95326 Kulmbach. (**BR**)

Brandenburg: Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung, Referat Strahlenschutz, Müllroser Chaussee 50, 15236 Frankfurt (Oder). (**BB**)

Niedersachsen: Niedersächsisches Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, Veterinärinstitut Hannover, Eintrachtweg 17, 30173 Hannover. (**NI**)

Rheinland-Pfalz: Landesuntersuchungsamt, Institut für Lebensmittelchemie, Nikolaus-von-Weis-Str. 1, 67346 Speyer. (**RP**)

Saarland: Ministerium für Umwelt, Keplerstraße 18, 66117 Saarbrücken. (**SL**)

Sachsen: Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft, Postfach 10 05 10, 01076 Dresden. (**SN**)

Sachsen-Anhalt: Ministerium für Gesundheit und Soziales des Landes Sachsen-Anhalt, Postfach 39 11 55, 39135 Magdeburg. (**ST**)

Schleswig-Holstein: Ministerium für Soziales, Gesundheit, Familie, Jugend und Senioren des Landes Schleswig-Holstein, VIII 664, Adolf-Westphal-Straße 4, 24143 Kiel. (**SH**)

Thüringen: Thüringer Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, Tennstedter Straße 8/9, 99947 Bad Langensalza. (**TH**)

IMIS-Daten: Bundesamt für Strahlenschutz, Ingolstädter Landstr. 1, 85764 Oberschleißheim. (**IM**)

Daten aus den anderen Bundesländern sind nach den Angaben der zuständigen Behörden in den IMIS-Daten enthalten. Eigene Messdaten wurden ebenfalls verwendet.

Datenquellen für ^{137}Cs -Messwerte von Böden und Wäldern

Bayerisches Landesamt für Umwelt, Referat 14, Datenstelle, Bürgermeister-Ullrich-Straße 160, 86179 Augsburg. (**BY**)

Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Alfred-Möller-Str. 1, 16225 Eberswalde. Daten zur BZE (Die Bodenzustandserhebung im Wald (BZE II) ist eine bundesweite, systematische Stichprobeninventur zum Zustand der Waldböden). (**BZE**)

IMIS-Daten: Bundesamt für Strahlenschutz, Ingolstädter Landstr. 1, 85764 Oberschleißheim. (**IM**)

Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Umweltbundesamt Berlin (inzwischen aufgelöst). (**CS**)

Johann Heinrich von Thünen-Institut (vTI), Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei, Institut für Waldökologie und Waldinventuren, Alfred-Möller-Str. 1, 16225 Eberswalde. (**BI**)

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Abt.D/Umweltkontrolle, Grätzelstr. 2, 37079 Göttingen. (**NF**)

Datenquellen für Fundorte von Hirschtrüffeln

Dr. Fielitz Umweltanalysen, Forstweg 11, 29313 Hambühren. (**ES**)

Global Biodiversity Information Facility, The Fungal Collection at the Senckenberg Museum für Naturkunde Görlitz. (**GBIF**)

Pilzkartierung 2000: Schilling, A. & P. Dobbitsch, Pilzkartierung 2000 Online, 2004–2006. (**PK**)

Ökologische Pilzkartierung 2000, Deutsche Gesellschaft für Mykologie e.V., Präsidium: Deutsche Gesellschaft für Mykologie e.V. (DGfM), FB 18 Naturwissenschaften - FG Ökologie, Universität Kassel, Heinrich-Plett-Straße 40, 34132 Kassel. (**DM**)

G. Hensel, Alte Lauchstädter Str. 22, 06217 Merseburg. (**GH**)

Sonstige digitale Datensätze

CORINE Land Cover; Umweltbundesamt, DLR-DFD 2004 (Daten zur Landnutzung und Bodenbedeckung aus Satellitendaten: Corine Projekt).

GfK, Geomarketing: Digitale Landkarten Deutschland.

1.1.2 Das geografische Informationssystem

Die beschafften Daten wurden aufbereitet und in ein geografisches Informationssystem (GIS) überführt. Verwendet wurde das ArcView GIS 3.3 mit der Erweiterung Spatial Analyst der Firma ESRI (Redlands, California, USA). Für die Verarbeitung, Analyse und Darstellung der Daten wurde zunächst das Projekt „FV4561“ mit den digitalisierten Fachdaten aufgebaut.

Projekt: Unter einem Projekt werden in ArcView alle verschiedenen Datenkomponenten wie z. B. Tabellen, Views, Skripte etc. zusammen in einer Datei

abgelegt. Dabei werden die raumbezogenen und tabellarischen Daten nicht selbst im Projekt gespeichert, sondern nur der Verweis auf deren Speicherort.

View: Den Arbeitsrahmen in einem Projekt bilden Views. In einem View werden die geografischen Daten bzw. die räumlichen Informationen maßstabsgetreu grafisch dargestellt und können analysiert werden. Dazu werden die Attribute von geografischen Objekten, wie z. B. Flüsse oder Waldflächen, vorher jeweils in digitalisierte thematische Karten umgewandelt. Diese einzelnen Karten können im GIS beliebig kombiniert und überlagert werden.

Thema: Ein Thema enthält alle Objekte einer Objektklasse, wie z. B. die Umrisse der Bundesländer in Deutschland. Die aktiven Themen werden in einem View hierarchisch angeordnet dargestellt: Das oberste aktive Thema überlagert das darunter liegende und so weiter. Ein Beispiel ist in der Abbildung 1 gegeben, die verschiedene Themen des Views „Bodenkontamination 1986“ zeigt.

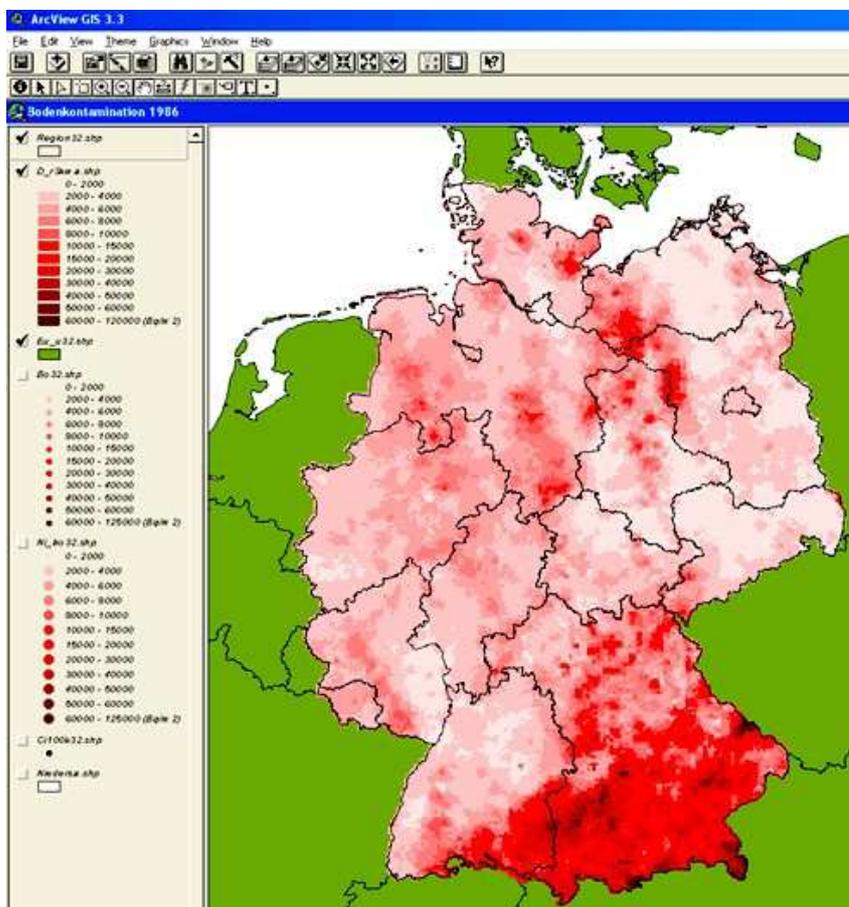


Abb. 1: View „Bodenkontamination 1986“ mit 3 aktiven und 4 inaktiven Themen des ArcView-Projekts „FV 4561“. Bodenkontamination im Jahre 1986 in Bq·m⁻², interpoliert auf 3 km x 3 km. Shape-Datei: d_3kmz

Für den Datensatz „¹³⁷Cs Kontamination von Wildschweinen“ und die einzelnen Datensätze zu den „Einflussfaktoren auf die Kontamination von Wildschweinen“ wurde jeweils ein Thema mit den georeferenzierten Attributeigenschaften erstellt. Damit ist es

möglich, die jeweiligen Datensätze raumbezogen zu analysieren, zu modellieren und zu verschneiden. Durch eine geeignete Analyse bzw. durch mathematische Interpolationsverfahren können für viele Datensätze klassifizierte, farblich abgestufte Karten flächendeckend für ganz Deutschland dargestellt werden.

Es wurden die folgenden „Themenkategorien“ erstellt:

1. ^{137}Cs -Kontamination der Böden (Inventar)
2. ^{137}Cs -Kontamination von Wildschweinen
3. ^{137}Cs -Kontamination von Pilzen (ohne Hirschtrüffeln)
4. Flächengrößen der Waldgebiete und landwirtschaftlichen Flächen
5. Fundortdaten von Hirschtrüffeln

Zu diesen Themenkategorien wurden jeweils weitere Fachthemen erstellt.

1.1.2.1 Projektion für die Kartendarstellungen

Eine Karte stellt die Erdoberfläche im Computer oder auf einem Blatt Papier zweidimensional dar. Da die Erdoberfläche aber gekrümmt ist, werden Kartenprojektionen verwendet, die die Krümmung als ebene Fläche abbilden. Je nach Fragestellung werden unterschiedliche Projektionen verwendet. In diesem FV wird, wie auch im IMIS, die Projektion Universal Transverse Mercator, Zone 32 (UTM32) als Kartendarstellung verwendet:

Projektion:	Universal Transverse Mercator
Zone:	32
Rotationsellipsoid:	WGS84
Geografische Breitenreferenz:	9
Maßstabfaktor:	0,9996
Falsche Ostausrichtung (m):	500000
Falsche Nordausrichtung (m):	0
Einheit:	Meter

1.1.3 Ablenk- und Winterfütterungen

An Ablenk- und Winterfütterungen wird Nahrung mit geringer ^{137}Cs -Aktivität angeboten. Es ist davon auszugehen, dass in jedem jagdlich bewirtschafteten Gebiet, in dem Wildschweine vorkommen, mindestens eine Ablenkfütterung unterhalten wird. Weil die dort aufgenommene Futtermenge, bezogen auf die tägliche Nahrungsgesamtaufnahme pro Wildschwein bei der Modellrechnung vernachlässigbar ist, wurden diese Ablenkfütterungen weder in der Literaturstudie noch im Modell berücksichtigt.

1.2 Ergebnisse

Die Daten zur ^{137}Cs -Kontamination von Wildschweinen und von weiteren kontaminationsbestimmenden Einflussfaktoren wurden beschafft, aufbereitet, wenn nötig georeferenziert, projiziert und in das GIS integriert. Das ArcView-Projekt „FV 4561“ liegt dem Bericht mit sämtlichen Fachdaten als CD bei. Das Projekt kann von der CD in ArcView durch Öffnen der Datei fv4561.apr aus dem Hauptordner FV4561 aufgerufen werden (ArcView starten und unter „bestehendes Projekt öffnen“ fv4561.apr aufrufen). Alternativ kann der Ordner FV4561 auch auf einen Rechner kopiert und die Projektdatei fv4561.apr von dort aufgerufen werden.

1.2.1. Georeferenzierung von Datensätzen

Bei der Georeferenzierung der bereitgestellten Messdaten (siehe Tabellen auf den folgenden Seiten) werden Shape-Dateien mit Punkt-Elementen erzeugt. Das alphanumerische Datenmaterial wird in mehreren Schritten in Shape-Dateien überführt, wobei die Art der zur Verfügung gestellten Ortsinformationen zu berücksichtigen ist.

Die bereitgestellten ^{137}Cs -Messdaten von Wildschweinen lagen meistens als Excel-Dateien vor. Für die Datenquelle SH liegt eine pdf-Datei vor, deren Werte in eine Excel-Datei geschrieben wurden.

Bei vielen Datensätzen waren für die Messwerte keine Koordinaten angegeben. Wenn der Amtliche Gemeindeschlüssel (auch Gemeindekennziffer genannt) für einen Datensatz vorlag, so wurde der Messwert der entsprechenden Gemeinde zugeordnet (Statistisches Bundesamt 2007).

War auch kein Amtlicher Gemeindeschlüssel vorhanden, wurde der Ortsname herangezogen. Handelte es sich beim Ortsnamen um eine Gemeinde, so konnte wieder ein Amtlicher Gemeindeschlüssel gefunden werden. Bei Ortschaften, die keiner Gemeinde zugehören, wurde die Postleitzahl ausfindig gemacht (zum Beispiel mit www.postdirekt.de/plzserver) und anschließend geografische Koordinaten zugeordnet. Die Zuordnungstabelle stammt aus der Quelle <http://fa-technik.adfc.de/code/opengeodb/PLZ.tab>.

Von Gemeinden und Postleitzahlbezirken mit Polygon-Elementen stehen Shape-Dateien in geografischen Koordinaten zur Verfügung, die in UTM32 projiziert wurden. Durch Abgleich der Amtlichen Gemeindeschlüssel bzw. der Postleitzahlen wurde dann eine Shape-Datei mit einem Punkt für jeden Messwert erzeugt, wobei dieser Punkt die Koordinaten vom Mittelpunkt des zugeordneten Polygonelements erhielt.

Einige gelieferte Datensätze enthielten Koordinaten. Bei diesen Datenquellen wurde die Excel-Datei mit den Koordinaten in eine Shape-Datei umgewandelt. Hierzu wurde mit Visual Basic und MapObjects (Fa. ESRI) ein Werkzeug zum Einlesen der Excel-Dateien geschaffen, welches das Excel-Tabellenblatt Datensatz für Datensatz liest und Punkte an den zugeordneten Koordinatenwerten erzeugt. Bei geografischen Koordinaten oder Gauß-Krüger-Koordinaten wurde die Shape-Datei anschließend in UTM32 projiziert. In den Shape-Dateien mit 3 km x 3 km Flächenelementen sind die Polygone enthalten, die in oder auf den Grenzen Deutschlands liegen (d_u32.shp).

Bei Hirschtrüffelvorkommen wurde der Fundort (soweit verfügbar) oder der Ortsname zur Georeferenzierung herangezogen. Die Georeferenzierung erfolgte hier meist durch Verwendung der Internetseite maps.google.de. Nach Zentrierung des Fundortes in der Karte können mittels des Befehls `javascript:void(prompt(„gApplication.getMap().getCenter());` die geografischen Koordinaten angezeigt werden.

1.2.2 Daten zur ¹³⁷Cs-Kontamination des Bodens

Für die Kontamination der Bodenoberfläche mit ¹³⁷Cs (in Bq·m⁻²) stehen 3.448 Messwerte des ehemaligen Instituts für Wasser-, Boden- und Lufthygiene (Datenquelle: CS) des Umweltbundesamts zur Verfügung, die mit geografischen Koordinaten (Grad, Minuten, Sekunden) versehen sind (außer bei Messpunkten in Bayern: meist keine Angabe der Sekunden) und als Referenzdatum den 01.05.1986 haben. Des Weiteren stehen 26 Messwerte der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt (Datenquelle: NF) in Gauß-Krüger-Koordinaten zur Verfügung, die zwischen 1992 und 2002 bestimmt wurden und als auf den 01.05.1986 zurückgerechnete Daten vorliegen. Weitere Messwerte aus Bayern (Datenquelle: BY) sind in der Datenquelle CS enthalten und wurden deshalb nicht weiter verwendet. Für die Messwerte wurde eine Shape-Datei in der Projektion UTM32 generiert (Abbildung 2).

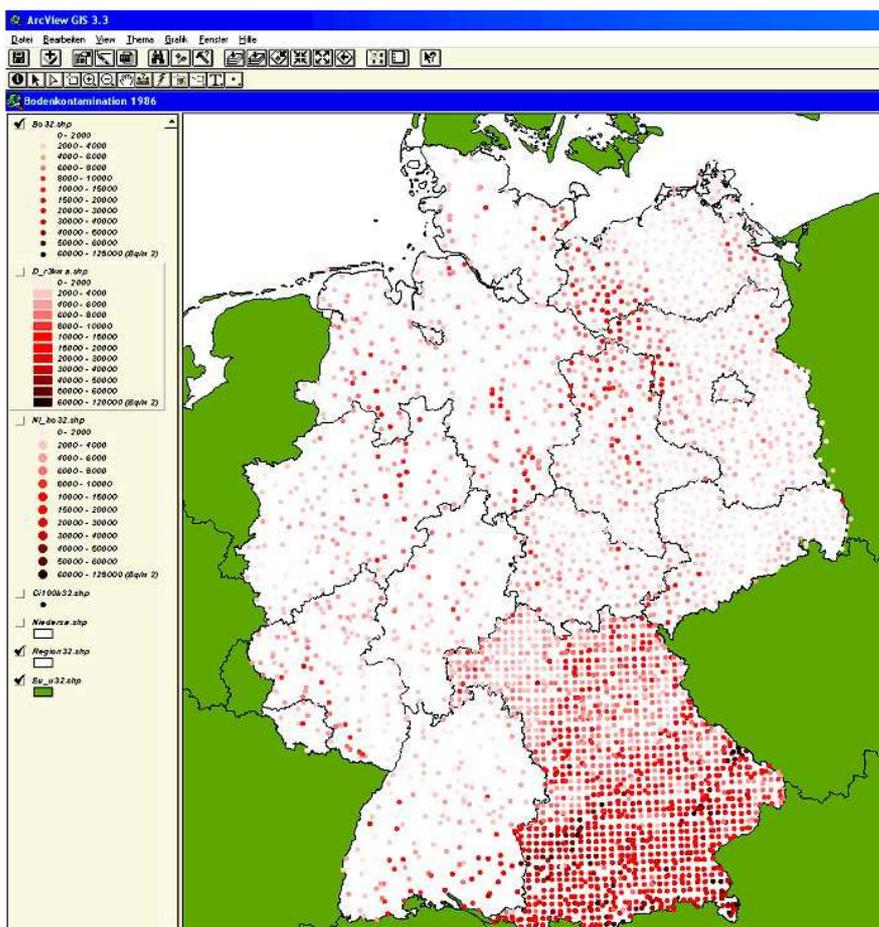


Abb. 2: Messpunkte der Bodenkontamination mit ¹³⁷Cs in Bq·m⁻² im Jahre 1986.
Shape-Datei: bo32

Die Messpunkte wurden durch Interpolation in eine Shape-Datei mit Flächenelementen der Größe 3 km x 3 km überführt. Als Interpolationsverfahren für die rund 40.000 in

Deutschland liegenden Flächenelemente wurde eine inverse Abstandswichtung mit den 4 nächstgelegenen Nachbarwerten durchgeführt, sodass sich für die Flächenelemente der Mittelwert der abstandsgewichteten Messwerte ergibt. Das Ergebnis (siehe Abbildung 1) stimmt mit der in der Broschüre „Tschernobyl – 20 Jahre danach“ (Bundesamt für Strahlenschutz 2006) abgebildeten Karte der Bodenkontamination qualitativ gut überein. In der Tabelle 1 sind die Daten zum Thema Bodenkontamination der Shape- und Grid-Dateien beschrieben.

Tabelle 1: Beschreibung der Dateien zur ¹³⁷Cs-Bodenkontamination

Shape-Datei	Attribut	Beschreibung
Bo32: Punkte	Source	Abkürzung Datenquelle
	Xpunto, Ypunto	Geografische Koordinaten (Dezimalgrad)
	Geolaenge, Geobreite	Geografische Koordinaten (Grad, Minuten, Sekunden), falls gegeben
	Rechts, Hoch	Gauß-Krüger-Koordinaten, falls gegeben
	Pnstelle	Probenahmestelle
	Ort	siehe Pnstelle
	GKZ	Gemeindekennziffer, falls gegeben
	Cs137, Cs134	Aktivitätsflächenkonzentration von ¹³⁷ Cs bzw. ¹³⁴ Cs in Bq•m ⁻² für Mai 1986
D_3kmz: Polygone 3 km x 3 km	Cs137	Interpolierte Aktivitätsflächenkonzentration von ¹³⁷ Cs in Bq•m ⁻² für Mai 1986
	Countw, Countl, Countg	Anzahl der 1 km x 1 km-CORINE-Flächen mit Bodenkategorie „Wald“, „Landwirtschaft/Ackerfläche“, „Wiese“
	Trueffel	1 = Hirschtrüffel-Vorkommen
	Domnaspe	Im Flächenelement dominierendes Nahrungsspektrum „A“, „B“ oder „C“
	Cs137W:	¹³⁷ Cs Aktivität Wildschwein Bq•kg ⁻¹

1.2.3 Daten zur ¹³⁷Cs-Kontamination von Wildschweinen

Von Wildschweinen liegen 12.324 Datensätze vor. Die Abbildung 3 zeigt die georeferenzierten Daten im View „Wildschwein ¹³⁷Cs Messdaten“. Viele Wildschweine wurden jeweils im gleichen Gebiet erlegt, dadurch überlagern sich die Messwerte in der ortsgenauen Darstellung, insbesondere in Bayern.

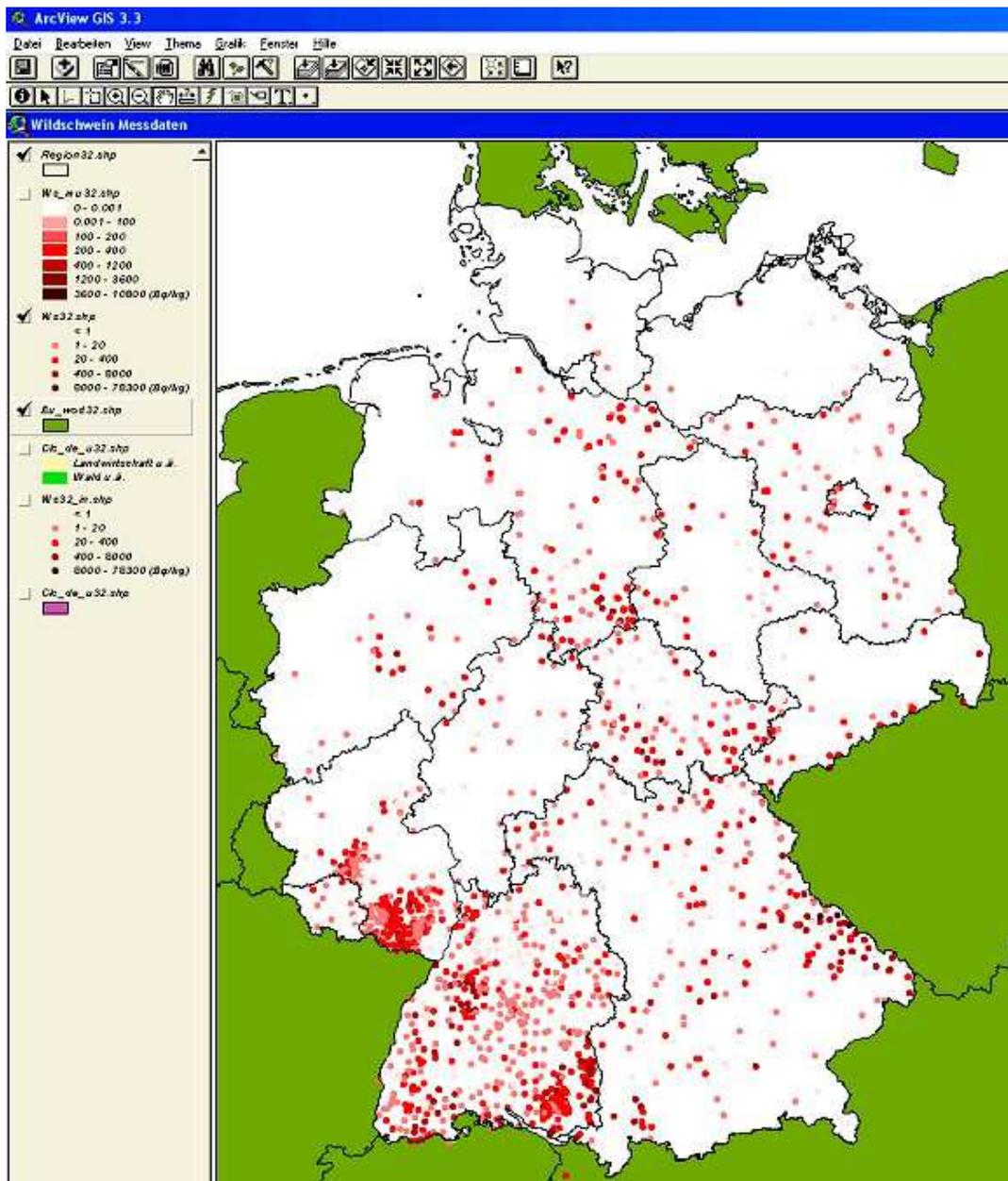


Abb. 3: Gemessene ¹³⁷Cs-Aktivität von Wildschweinen in Bq•kg⁻¹ FS. Die Messungen fanden 1986 – 2008 statt. Datenquellen: IM, BW, BR, BB, NI, RP, SL, SN, ST, SH, TH, ES. Shape-Datei: Ws32

Die ¹³⁷Cs-Kontamination von Wildschweinen schwankt nicht nur innerhalb Deutschlands erheblich, sondern auch auf kleinem Raum. Die Variabilität der ¹³⁷Cs-Messwerte kann bis zu drei Größenordnungen betragen (Fielitz 2005). Um diese Variabilität im GIS besser sichtbar zu machen, wurden auch statistische Größen grafisch dargestellt. Die Abbildung 4 zeigt den geometrischen Mittelwert und die Standardabweichung der ¹³⁷Cs-Messwerte von Wildschweinen in den Gemeinden Deutschlands. Hierzu wurde die Punkt-Shape-Datei mit den Messwerten der Wildschweinkontamination (Ws32.shp) sowie die Polygon-Shape-Datei mit den

Gemeindegrenzen (Ws_mu32.shp) verwendet. Die Dateiparameter für die Shape- und Grid-Dateien sind in der Tabelle 2 angegeben.

Tabelle 2: Beschreibung der Dateien zu den ¹³⁷Cs-Messwerten von Wildschweinen

Shape-Datei	Attribut	Beschreibung
Ws32: (16.765 Punkte)	Gemeinde	Gemeindenname, falls gegeben
	Messwert	Gemessene Aktivität (¹³⁷ Cs) des Wildschweins in Bq•kg ⁻¹ FS
	Datu, Messdatu	Datum: Erlegungsdatum, Eingangsdatum, ohne Spezifikation; Messdatu: Messdatum, falls gegeben
	Rechts, Hoch	Gauß-Krüger-Koordinaten, falls gegeben
	Abt	Forstliche Abteilung, falls gegeben
	Idgemein	Gemeindekennziffer, falls gegeben
	Ort	Nähere Ortsbeschreibung, falls gegeben
	PLZ	Postleitzahl, falls nach Gemeinde- oder Ortsname zugeordnet
	Lon, Lat	Geografische Koordinaten, falls der Postleitzahl zugeordnet
	Einheit	Falls gegeben (Bq•kg ⁻¹) FS
	Nwg137	Nachweisgrenze („<“), Bezugnahme auf „Messwert“
	Forstamt	Falls gegeben
	Beschr	Beschreibung des Wildschweins oder der Probe
	Source	Abkürzung Datenquelle
	Ws_mu32: Polygone	Xgeo, Ygeo, Xutm32, Yutm32
Cs137wmw		Mittelwert der gemessenen ¹³⁷ Cs Aktivität von Wildschweinen in der Gemeinde
Cs137wmx		Höchstwert
Cs137wmn		Tiefstwert
Cs137wan		Anzahl der Messwerte in der Gemeinde
Ws32_in: (12.478 Punkte)	s. Ws32	s. Ws32
		Enthält nur die Messpunkte aus der Shape-Datei Ws32, die auf Flächen der Bodenkategorien „W“ oder „L“ liegen, vgl. Shape-Datei Clc_de_u32

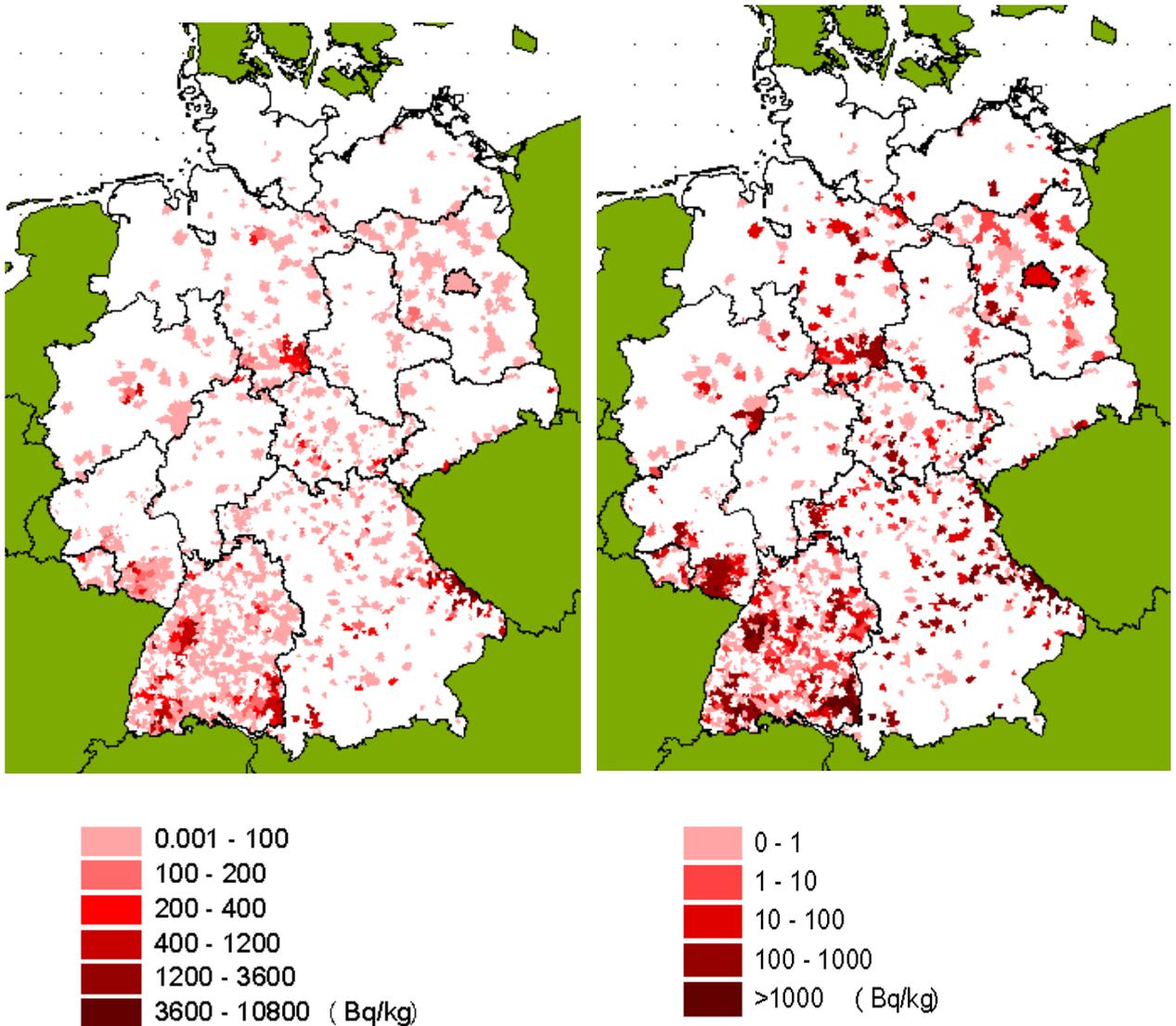


Abb. 4: Geometrische Mittelwerte (links) und Standardabweichung (rechts) der ^{137}Cs -Aktivität von Wildschweinen in $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ FS für jede Gemeinde.

1.2.4 Daten zur ^{137}Cs -Kontamination von Pilzen

Von verschiedenen Pilzarten (ausgenommen Hirschtrüffel) konnten die ^{137}Cs -Messwerte beschafft und insgesamt 3.450 Datensätze georeferenziert werden. Im ArcView-Projekt sind die Daten unter dem Thema „Pilze Messdaten“ zu finden und der zugehörigen Fachtabelle im GIS zu entnehmen. Von der Gesamtheit der ^{137}Cs -Messdaten wurden statistische Größen berechnet (Abbildung 5), ohne nach Arten zu unterscheiden.

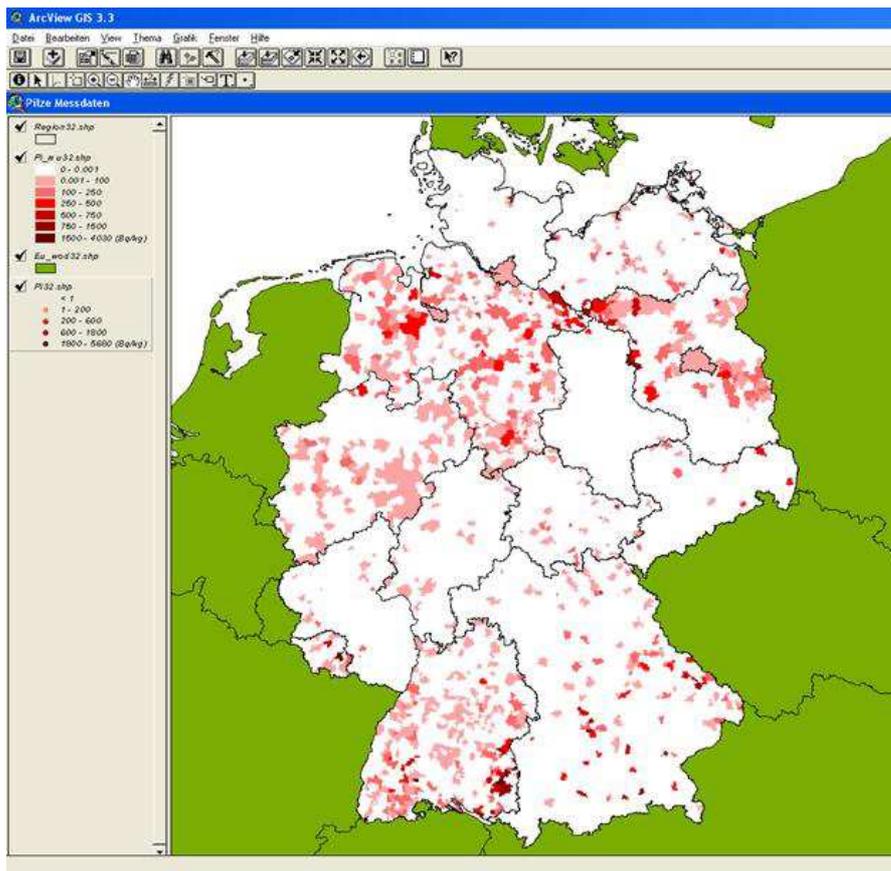


Abb. 5: Geometrische Mittelwerte der ^{137}Cs -Aktivität von Pilzen (ohne Hirschtrüffel) in $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ FS für jede Gemeinde.

Die Datenbeschreibung für die Shape- und Grid-Datei ist in der Tabelle 3 angegeben.

Tabelle 3: Beschreibung der Dateien zu den ^{137}Cs -Messwerten von Pilzen

Shape-Datei	Attribut	Beschreibung
Pi32: Punkte	Source	Abkürzung Datenquelle
	Cs_137	Gemessene ^{137}Cs Aktivität der Pilzprobe in $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ FS
	Nwg137	Nachweisgrenze („<“), Bezugnahme auf „Cs_137“
	Diverse andere Attribute	Datum, Pilzbeschreibung etc.
Pi_mu32: Polygone	Xgeo, Ygeo, Xutm32, Yutm32	Koordinaten der Polygonmittelpunkte
	Cs137pmw	Mittelwert der gemessenen ^{137}Cs Aktivität von Pilzen in der Gemeinde
	Cs137pmx	Höchstwert
	Cs137pmn	Tiefstwert
	Cs137pan	Anzahl der Messwerte in der Gemeinde

1.2.5 *Elaphomyces* - Hirschtrüffeln

Ein besonderes Augenmerk gilt in diesem Vorhaben den Hirschtrüffeln, die für den menschlichen Verzehr nicht geeignet sind, die aber mehr als drei Viertel zur Radiocäsiumaufnahme von Wildschweinen beitragen können. Deshalb wurden zunächst die Fundortdaten von Hirschtrüffeln in Deutschland erfasst und ortsspezifisch dargestellt sowie eine Literaturstudie über die Verbreitung und die ökologischen Ansprüche der Trüffeln durchgeführt.

1.2.5.1 Artabgrenzung bei *Elaphomyces*

Hirschtrüffeln, *Elaphomyces*, kommen in Deutschland mit mehreren Arten vor. Allerdings weist die Taxonomie von *Elaphomyces* eine Reihe von Schwierigkeiten auf, die großen Einfluss auf die Interpretation von Funddaten haben dürften. Verschiedene Autoren akzeptieren zwischen 5 und 18 Arten in Europa, dieser Unterschied geht auf eine unterschiedlich enge Artauffassung zurück. Die Arten unterscheiden sich stark in der Häufigkeit des Vorkommens.

In Deutschland sind ausnahmslos *Elaphomyces granulatus* und *Elaphomyces muricatus* (*Elaphomyces muricatus* Fr. oder *E. reticulatus* Vitt., Bunte Hirschtrüffel, Stachelige Hirschtrüffel) quantitativ von Bedeutung. Daneben wurden mit wenigen Exemplaren auch *E. asperulus* und *E. maculatus* nachgewiesen (s. auch Abbildung 6).

Der weit verbreitete asexuelle Mykorrhizapilz *Cenococcum geophilum* stellt, entgegen der Annahme einiger Autoren (Maia et al. 1996), nicht die Anamorphe von *E. anthracinus* dar (LoBuglio et al. 1996, Agerer pers. comm.). Mit Ausnahme der Warzigen Hirschtrüffel (*E. granulatus*) und der Bunten Hirschtrüffel (*E. muricatus*) sind Fruchtkörperfunde von *Elaphomyces* eher selten (Hesse 1894, Hawker 1954, Eckblad 1961, Szemere 1965, Pegler et al. 1993, Kreisel 1996).

Aufgrund der taxonomischen Probleme werden die Fundortdaten für *E. asperulus* oft mit bei *E. granulatus* angegeben, und die von *E. reticulatus* und *E. variegatus* bei *E. muricatus*. Die Standortansprüche dieser „kleinen“ Arten sind dabei relativ ähnlich.

1.2.5.2 Ökologie von *Elaphomyces*

Hirschtrüffeln sind Mykorrhizapilze, also Pilze, die eine Symbiose mit Baumwurzeln mit dem Zweck eingehen, (Nähr-)Stoffe gegenseitig auszutauschen. *Elaphomyces* Arten gehen mit ihren Wirtsbäumen eine Ektomykorrhiza ein. Diese Ektomykorrhiza der Hirschtrüffeln ist ein Short-Distance-Explorationstyp (Reess & Fisch 1887, Agerer 2001, Agerer et al. 2002). Daher sind Pilzmyzel sowie Fruchtkörper nur in unmittelbarer Nähe der Feinwurzeln des mykorrhizierten Baumes anzutreffen. Ein Vorkommen außerhalb des Wurzelradius von Bäumen ist wahrscheinlich nicht möglich. Es ist allerdings nachgewiesen, dass *Elaphomyces* sp. auch nach dem Fällen des Partnerbaumes noch ein oder mehrere Jahre Fruchtkörper bilden können (Hesse 1889, Hawker 1954).

Hirschtrüffeln treten unter ausgewachsenen oder alten Bäumen auf (Reess & Fisch 1887, Hawker 1954, Szemere 1965, Luoma et al. 1991, North et al. 1997, North & Greenberg 1998, Luoma et al. 2003, Meyer & North 2005), die auch Einzel-Exemplare inmitten von jüngeren Beständen sein können (Szemere 1965). Die Bewirtschaftung des Waldes, insbesondere Auslichtungen und Kahlschläge, haben negative Auswirkungen auf die Biomasse und Fruchtkörperhäufigkeit von Hirschtrüffeln. Dies wurde bislang lediglich in den USA nachgewiesen (North et al. 1997, North & Greenberg 1998, Gomez et al. 2003, Luoma et al. 2003, Gomez et al. 2005). Das Vorkommen, zumindest von *E. granulatus*, korreliert positiv mit der Totholzmasse des betreffenden Waldes (Meyer & North 2005) sowie mit einer gut ausgebildeten Humusschicht mit vielen Feinwurzeln (North & Greenberg 1998). Auch hier ist zu beachten, dass die betreffenden Studien in den USA durchgeführt wurden und nicht auf Europa zutreffen müssen. Unter einer stark ausgebildeten Krautschicht sind nur selten Hirschtrüffeln zu finden (Hawker 1954), zum Einfluss einer starken Moosschicht gibt es kontroverse Aussagen (Hawker 1954, Lange 1956).

Allgemein bevorzugen *Elaphomyces*-Arten eine mittlere Bodenfeuchte; Staunässe und sehr trockener Boden werden nicht vertragen, das Gleiche gilt für starke Hanglagen (Hawker 1954, Szemere 1965, Luoma et al. 1991). Lediglich in trockeneren Habitaten ist die Fruchtkörperbildung positiv mit Niederschlägen korreliert (Meyer & North 2005).

Die Gattung *Elaphomyces* ist auf der Nord- und der Südhemisphäre nachgewiesen (Castellano & Bougher 1994). Fruchtkörper werden ganzjährig gebildet (Reess & Fisch 1887, Fischer 1897, Hawker 1954, De Vries 1971, Luoma et al. 1991), im Winterhalbjahr wird das Maximum der Fruchtkörperbildung erreicht (Fischer 1897, Jahn 1949, Luoma et al. 1991). Allerdings ist nicht auszuschließen, dass diese Beobachtungen teilweise auf die stärkere Wühltätigkeit des Wildes im Winter und die dadurch leichtere Auffindbarkeit der Pilze zurückgeht. Die Fruchtkörper und auch die Sporen werden zudem nur sehr langsam zersetzt (Reess & Fisch 1887, Hawker 1954, North et al. 1997), und können noch jahrelang nachweisbar sein. Fruchtkörper werden an der Grenze von Laub- bzw. Humusschicht und festerem Boden („hard pan“) in einer Tiefe von 5–15 cm gebildet (Hesse 1894, Hawker 1954, Lange 1956, De Vries 1971, Kreisel 1996). In eigenen Untersuchungen betrug die mittlere Tiefe der Fruchtkörper von 126 Hirschtrüffeln Aufsammlungen 5,5 cm, bei einer Spannweite von 1 cm bis 16 cm Bodentiefe (Fielitz 2005). Hirschtrüffeln sind oft an Steine oder größere Wurzeln gepresst (Hawker 1954, Szemere 1965). Zumindest Fruchtkörper von *E. granulatus* sind bevorzugt im Abstand von etwa 2 m um den Stamm des mykorrhizierten Baumes aufzufinden (North & Greenberg 1998). Die Fruchtkörperbildung erfolgt sehr ungleichmäßig, in einer Studie befanden sich 78 % der Fruchtkörpermasse von *E. granulatus* auf 0,5 % der Untersuchungsfläche (Meyer & North 2005).

Hirschtrüffeln werden von Bodeninvertebraten (besonders Ameisen, Käferlarven, Nematoden, Ringelwürmer) gefressen. Diese scheinen die Peridie der Fruchtkörper zu bevorzugen, die Sporenmasse ist seltener angegriffen (Hawker 1954, Szemere 1965, Reddell & Spain 1991). Von Wirbeltieren sind neben Wildschweinen auch Reh-, Rot-

und Damwild, Dachs, Eichhörnchen, Mäuse sowie verschiedene amerikanische Kleinsäuger als Konsumenten von Hirschtrüffeln bekannt (Reess & Fisch 1887, Rancken 1910, Hawker 1954, Szemere 1965, Maser et al. 1978, Grönwall & Pehrson 1984, Kotter & Farentinos 1984, Blaschke & Bäumler 1989, North et al. 1997, Luoma et al. 2003, Gomez et al. 2005). Möglicherweise ist der Durchgang durch den Verdauungstrakt von Tieren zur Sporenkeimung der Hirschtrüffeln erforderlich (Reess & Fisch 1887, Kotter & Farentinos 1984). Zudem dienen die Fruchtkörper als Substrat für Kernkeulen (in Europa *Cordyceps ophioglossiodes*, *C. capitata*), bei Befall unterbleibt die Sporenbildung (Szemere 1965, Benkert 1975, Helfer 1991, Sung et al. 2007). Kernkeulen sind parasitische Ascomyceten, die u.a. Hirschtrüffeln befallen und auf ihnen wachsen. Bäume, die mit *E. granulatus* mykorrhiziert sind, weisen keine Mykorrhiza von *Xerocomus badius* auf, die Arten scheinen sich gegenseitig auszuschließen (Agerer et al. 2002).

Aufgrund der unterirdischen Lebensweise der Fruchtkörper sind die Nachweise von *Elaphomyces* deutlich geringer als bei den oberirdisch fruktifizierenden Pilzen.

1.2.5.3 Standortansprüche und Häufigkeit von *E. granulatus*

Die Warzige Hirschtrüffel ist hauptsächlich nordhemisphärisch verbreitet und ist in Europa, Nordamerika, Westasien und Japan nachgewiesen (Pegler et al. 1993), weiterhin gibt es Nachweise von den „East Indies“ (Anonymous 1855), dem heutigen Indonesien und Malaysia. Es wird vermutet, dass *E. granulatus* im gesamten Areal der Fagaceae und Pinaceae nachweisbar ist (Trappe 1972). Die Art ist in Deutschland einer der häufigsten hypogäischen Pilze (Hensel pers. comm., Stielow pers. comm.). Auch in den Niederlanden (De Vries 1971), Großbritannien (Hawker 1954, Pegler et al. 1993) und Norwegen (Eckblad 1961) sowie in Polen, Russland und im Baltikum (Bucholtz 1901) ist die Art sehr häufig verbreitet, in den USA gilt sie als der häufigste unterirdisch wachsende Pilz (Luoma et al. 1991). In Ungarn (Szemere 1965) und Dänemark (Lange 1956) gilt die Art als nicht sehr häufig.

E. granulatus wird in Europa vorrangig unter Koniferen (Bommer & Rosseau 1884, Bucholtz 1901, Jahn 1949, Szemere 1965, Hansen & Knudsen 2000, Hensel pers. comm., Stielow pers. comm.) gefunden, besonders unter *Pinus sylvestris* (Reess & Fisch 1887, Hesse 1894, Fischer 1897, Klugkist 1905, Migula 1913, Jahn 1949, Hawker 1954, Eckblad 1961, De Vries 1971, Benkert 1975, Calonge et al. 1977, Kreisel 1996, Schurig 2002, Schultheis & Tholl 2003) und *Picea abies* (Fischer 1897, Klugkist 1905, Migula 1913, Eckblad 1961, De Vries 1971, Agerer et al. 2002, Kraigher et al. 2007, Hensel pers. comm., Stielow pers. comm.).

Gerade in den Fichtenwäldern der Mittelgebirge kann *E. granulatus* ein Massenpilz sein (Stielow pers. comm., Hensel pers. comm., eigene Beobachtungen). Seltener sind Funde unter sommergrünen *Quercus*-Arten (Hesse 1894, Fischer 1897, Migula 1913, Hawker 1954, Eckblad 1961, De Vries 1971, Benkert 1975, Schultheis & Tholl 2003, Hensel pers. comm.), *Fagus sylvatica* (Fischer 1897, Migula 1913, Hawker 1954, Lange 1956, Hensel pers. comm.) und *Castanea sativa* (Migula 1913, Hawker 1954, De Vries 1971).

Die Varietät *E. granulatus* var. *hassiacus* wurde unter *Abies alba* gefunden (Migula 1913). Nur aus Norwegen werden *Juniperus communis*, *Fraxinus excelsior* und *Alnus*-Arten angegeben (Eckblad 1961). Auch in den USA ist der Pilz hauptsächlich in Nadelwäldern zu finden. Nachgewiesen sind dabei (inkl. *E. asperulus*) Vorkommen unter *Abies amabilis*, *Abies procera*, *Picea engelmannii*, *Picea sitchensis*, *Pinus banksiana*, *Pinus contorta*, *Pinus monticola*, *Pinus ponderosa*, *Pinus radiata*, *Pseudotsuga menziesii*, *Thuja plicata*, *Tsuga canadensis*, *Tsuga diversifolia*, *Tsuga heterophylla* und *Tsuga mertensiana* (Luoma et al. 1991, Maia et al. 1996, North et al. 1997, North & Greenberg 1998, Gomez et al. 2003, Gomez et al. 2005). Da einige dieser Baumarten in Deutschland kultiviert werden, sind auch hier Vorkommen von *E. granulatus* möglich. In Dänemark ist die Art nur unter *Fagus sylvatica* nachgewiesen. Allerdings gibt es Nachweise von *E. asperulus* unter Koniferen (Lange 1956).

E. granulatus ist tendenziell eher eine acidophile Art, die meist auf leichten Silikatböden (oft Sand) vorkommt (Hesse 1894, Hawker 1954, De Vries 1971, Kreisel 1996, Hensel pers. comm.). Es gibt aber auch Funde von neutral bis leicht basisch verwitterndem Diabas-Untergrund (Hensel pers. comm.). Hesse (1894) gibt auch Funde auf schweren Kalkböden an. Eckblad (1961) erwähnt hingegen für Norwegen eine größere Häufigkeit auf Kalkböden als auf Silikatböden. Die Art ist in Europa eher (nord)westlich verbreitet. Nach Eckblad (1961) bevorzugt *E. granulatus* ein leicht ozeanisches Klima, wofür auch die häufigen Funde in den Mittelgebirgs-Fichtenwäldern sprechen.

1.2.5.4 Standortansprüche und Häufigkeit von *E. muricatus*

Die Bunte Hirschtrüffel *E. muricatus* (inkl. *E. reticulatus*, *E. variegatus*) kommt in weiten Teilen Deutschlands, verglichen mit *E. granulatus* aber seltener (Hensel pers. comm., Stielow pers. comm.) vor. Sie gilt aber als häufigste *Elaphomyces*-Art in Mecklenburg-Vorpommern (Kreisel (1996). Außerhalb Deutschlands wird die Art in den Niederlanden (De Vries 1971), in Großbritannien (Hawker 1954, Pegler et al. 1993) und Ungarn (Szemere 1965) als häufig angesehen. Als weniger häufig gilt sie in Norwegen und Dänemark (Lange 1956, Eckblad 1961). Lange (1956) gibt allerdings *E. variegatus* als häufigste *Elaphomyces*-Art Dänemarks an. Die Art wird von allen anderen Autoren als synonym zu *E. muricatus* geführt. Auch in den USA ist die Art seltener als *E. granulatus* (Luoma et al. 1991, North et al. 1997, North & Greenberg 1998), allerdings immer noch häufiger als die meisten anderen hypogäischen Pilze.

E. muricatus wird in Europa vorrangig unter Laubbäumen gefunden (Bommer & Rosseau 1884, Bucholtz 1901, Eckblad 1961, Szemere 1965, Hansen & Knudsen 2000). Am häufigsten sind dabei Funde unter *Fagus sylvatica* (Hesse 1894, Fischer 1897, Migula 1913, Hawker 1954, *E. variegatus* bei Lange 1956, De Vries 1971, Pegler et al. 1993, Schultheis & Tholl 2003, Kraigher et al. 2007, Hensel pers. comm., Stielow pers. comm.), aber auch sommergrünen *Quercus* spp. (Hesse 1894, Fischer 1897, Migula 1913, De Vries 1971, Benkert 1975, Hensel pers. comm., Stielow pers. comm.) und *Pinus sylvestris* (Reess & Fisch 1887, Hesse 1894, Migula 1913, Eckblad 1961, Benkert

1975, Schultheis & Tholl 2003). Weiterhin werden *Betula* spp. (Hesse 1894, Eckblad 1961, Pegler et al. 1993, Hansen & Knudsen 2000, Schurig 2002), *Castanea sativa* (Hesse 1894, Fischer 1897, Migula 1913) und *Picea abies* (Lange 1956, Eckblad 1961) angegeben. Vereinzelt wurde die Art unter *Abies alba* (De Vries 1971), *Corylus avellanus* (Hensel pers. comm.), *Juniperus communis* und *Alnus*-Arten (Eckblad 1961) nachgewiesen. In den USA wurde *E. muricatus* (inkl. *E. variegatus* und *E. reticulatus*) in Wäldern mit *Abies amabilis*, *Picea sitchensis*, *Pinus ponderosa*, *Pseudotsuga menziesii*, *Thuja plicata*, *Tsuga heterophylla* und *Tsuga mertensiana* (Luoma et al. 1991, Maia et al. 1996, North et al. 1997, North & Greenberg 1998, Gomez et al. 2003, Gomez et al. 2005) gefunden.

E. muricatus scheint zwei Habitate zu bevorzugen: In Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg und in Dänemark sind Funde auf saurem Boden häufig (Lange 1956, Benkert 1975, Kreisel 1996), in Nordostdeutschland in Kiefern-Eichenwäldern (*Pino-Quercetum*) und in Dänemark in sauren Buchenwäldern (als *E. variegatus*) und Fichtenwäldern. Auch für die Niederlande ist Sandboden angegeben (De Vries 1971). Dagegen ist die Art in Mitteldeutschland [Hessen, Süd-Niedersachsen, Sachsen-Anhalt, Sachsen, Thüringen] (Hensel pers. comm., Stielow pers. comm.) und Großbritannien (Hawker 1954, Pegler et al. 1993) eher auf basischen Böden häufig, und das insbesondere in Kalkbuchenwäldern mit Rendzinaböden (Stielow pers. comm.). Die Art tritt auch in Deutschland gelegentlich gemeinsam mit *E. granulatus* auf (Hesse 1894). Zum Vorkommen in Nadelwäldern meinen Pegler et al. (1993), dass es sich dabei immer um Anpflanzungen auf alten Laubwaldstandorten handle. Dies trifft allerdings zumindest für die Funde in Nordostdeutschland nicht zu, die dortigen Kiefern- und Kiefern-Eichenwälder gelten als Klimaxwälder. Die Art ist in Europa im Vergleich zu *E. granulatus* stärker südlich bis südöstlich verbreitet (Eckblad 1961, Szemere 1965) und bevorzugt möglicherweise ein Klima mit einem leicht kontinentalen Charakter.

Zusammenfassung zum Vorkommen von *E. granulatus* und *E. muricatus*: Die Literaturangaben beschreiben eine Verbreitung von *E. granulatus* bundesweit in Waldbeständen, eventuell mit nur geringem Vorkommen oder Fehlen der Art in Nordostdeutschland. *E. muricatus* kommt ebenfalls im ganzen Bundesgebiet vor, besonders häufig im Nordosten und im mittleren Teil Deutschlands. Es kann davon ausgegangen werden, dass in Wäldern oder Hainen zumindest eine der beiden genannten Hirschtrüffelarten vorkommt, *E. granulatus* häufiger als *E. muricatus*. Nach den Datenbeständen der Deutschen Gesellschaft für Mykologie und von G. Hensel (s. Datenquellen) ist *E. granulatus* rund 4mal so häufig anzutreffen wie *E. muricatus*. Die ökologischen Ansprüche beider Arten unterscheiden sich deutlich.

1.2.5.5 Fundorte von *E. granulatus* und *E. muricatus*

In dem View/Thema „Hirschtrüffelvorkommen“ sind die erfassten Fundorte von *E. granulatus*, *E. muricatus* und weiteren Arten dargestellt (Abbildung 6).

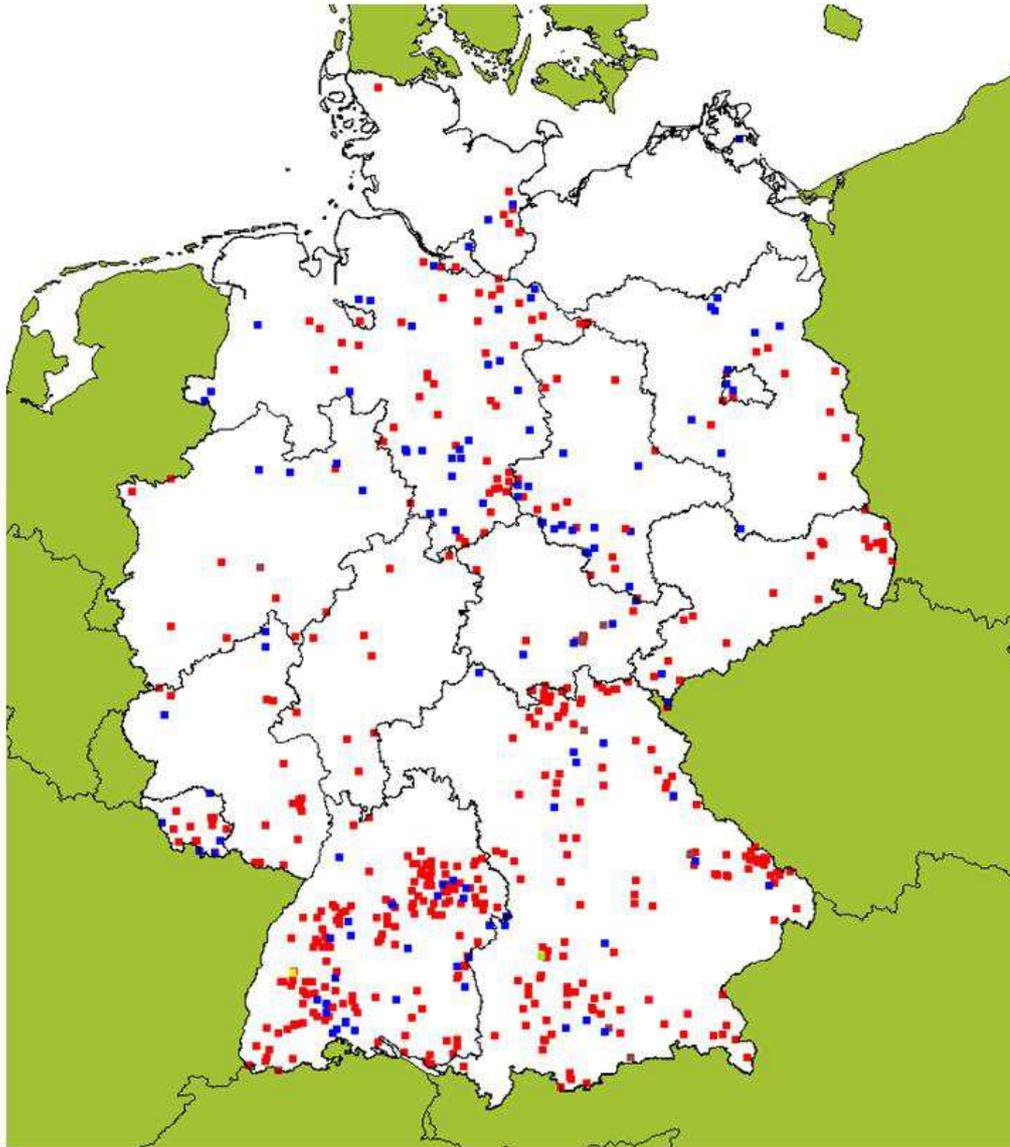


Abb. 6: Fundorte von *Elaphomyces spec.*.
 In der Legende sind die Hirschtrüffelarten
 und die Anzahl der Funde angegeben (na =
 ohne Artangabe)

●	<i>E. granulatus</i>	(627)
●	<i>E. muricatus</i>	(168)
●	<i>E. reticulatus</i>	(2)
●	<i>E. decipiens</i>	(1)
●	n.a.	(15)

Fundortdaten weiterer Arten wurden berücksichtigt, um deren Bedeutungslosigkeit zu dokumentieren. Die Daten stammen aus verschiedenen Quellen. Den Großteil der Fundorte lieferte die Deutsche Gesellschaft für Mykologie (DGfM) aus ihrer Pilzkartierung 2000. Die Fundortangaben stammen von den DGfM-Mitgliedern, die die Daten ehrenamtlich über viele Jahre hinweg aufgenommen haben.

Die Georeferenzierung der *Elaphomyces*-Fundorte erfolgte wie beschrieben. In der Abbildung 6 sind die Gemeinden und Postleitzahlbezirke in Deutschland mit Hirschtrüffel-Vorkommen als vorläufiges Ergebnis dargestellt (Shape-Dateien:

munitr.shp, posttr.shp). In weiteren Bearbeitungsschritten können damit die Flächenelemente (3 km x 3 km) mit Hirschtrüffel-Vorkommen durch Interpolation bestimmt werden. Die Erläuterungen zur Struktur der drei Shape-Dateien sind in der Tabelle 4 angegeben.

Tabelle 4: Beschreibung der Shape-Dateien zum Hirschtrüffel-Vorkommen

Shape-Datei	Attribut	Beschreibung
Tr_muni: Polygone	Name und andere	Gemeindenname Die Shape-Datei enthält nur die Polygone der Gemeinden mit Hirschtrüffel-Vorkommen.
Tr_post: Polygone	Id und andere	Postleitzahl Die Shape-Datei enthält nur die Postleitzahlbezirke mit Hirschtrüffel-Vorkommen.
Tr_3kma	s.o.	s.o.

1.2.5.6 ¹³⁷Cs-Kontamination von *E. granulatus* und *E. muricatus*

Die Literaturrecherche ergab, dass aufgrund der Häufigkeit des Vorkommens neben der bekannten Art *Elaphomyces granulatus* für die erhöhte ¹³⁷Cs-Kontamination der Wildschweine auch *Elaphomyces muricatus* in Betracht kommt. Über *E. muricatus* ist wenig bekannt und es lagen bisher keine ¹³⁷Cs-Messdaten vor.

Für das radioökologische Modell zur Berechnung der bundesweiten ¹³⁷Cs-Kontamination von Wildschweinen ist der ¹³⁷Cs-Transferfaktor (TF) Boden-Hirschtrüffeln von besonderer Bedeutung. Um zu klären, ob sich die beiden Trüffelarten in der ¹³⁷Cs-Kontamination unterscheiden, erfolgte zusätzlich zur ursprünglichen Projektplanung im Arbeitspaket 3 die Probenahme beider Arten im Freiland. Für die Berechnung von Transferfaktoren wurde dabei auch Waldboden beprobt und gammaspektrometrisch gemessen.

1.2.6 Flächengrößen von Wald und landwirtschaftlichen Nutzflächen

Die Flächen in Deutschland, die von Wald bedeckt sind oder landwirtschaftlich genutzt werden, sind im Projekt als Polygone dargestellt und können im View „Wildschwein ¹³⁷Cs Messdaten“ durch Anklicken der Shape-Datei Clc_de_u32.shp dargestellt werden. Die Abbildung 7 zeigt die Flächengrößen im GIS. Die Datenbeschreibung ist in der Tabelle 5 angegeben.

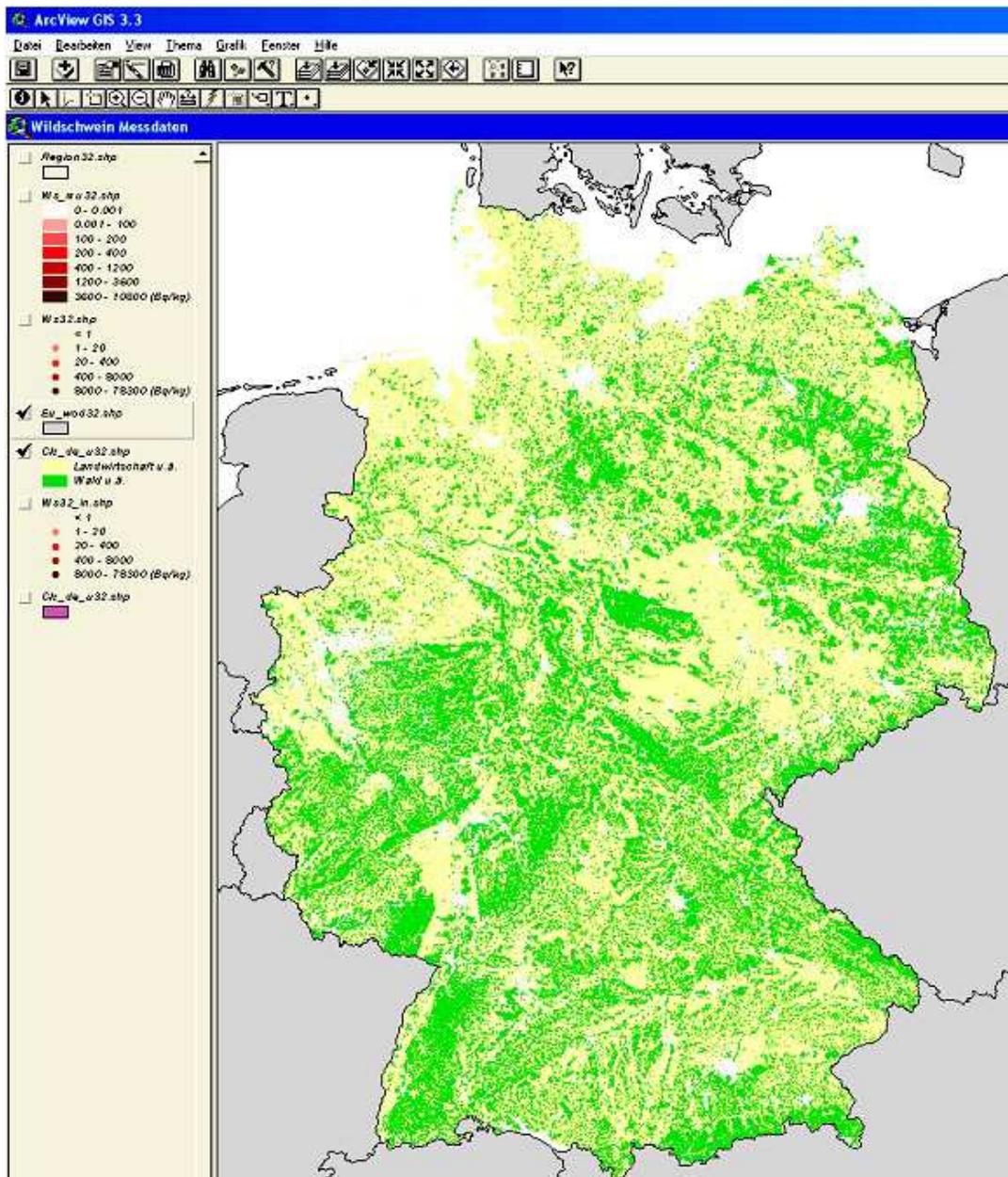


Abb. 7: Flächengrößen von Wald (grün) und landwirtschaftlichen Nutzflächen (gelb) in Deutschland. Shape-Datei: Clc_de_u32.shp

Tabelle 5: Beschreibung der Shape-Datei zu den Flächengrößen von Wald und landwirtschaftlichen Nutzflächen (CORINE)

Shape-Datei	Attribut	Beschreibung
Clc_de_u32: Polygone	Code2000	CLC-Class
	CLCCAT	Bodenkategorie „W“ oder „L“; W: Wald u.ä., L: Landwirtschaft u.ä.

2 Arbeitspaket 2: Prognosekarte der Radiocäsiumkontamination von Wildschweinen

2.1 Material und Methoden

In diesem Teil des Forschungsvorhabens wurde ein radioökologisches Rechenmodell entwickelt, das die dynamischen Prozesse von ^{137}Cs in Böden, Pflanzen und Pilzen beschreibt, sowie die Nahrungsaufnahme von Wildschweinen und die zeitabhängige räumliche Verteilung der radioaktiven Kontamination von Wildschweinen zum Ergebnis hat. Die Struktur des Modells ist in der Abbildung 8 schematisch dargestellt.

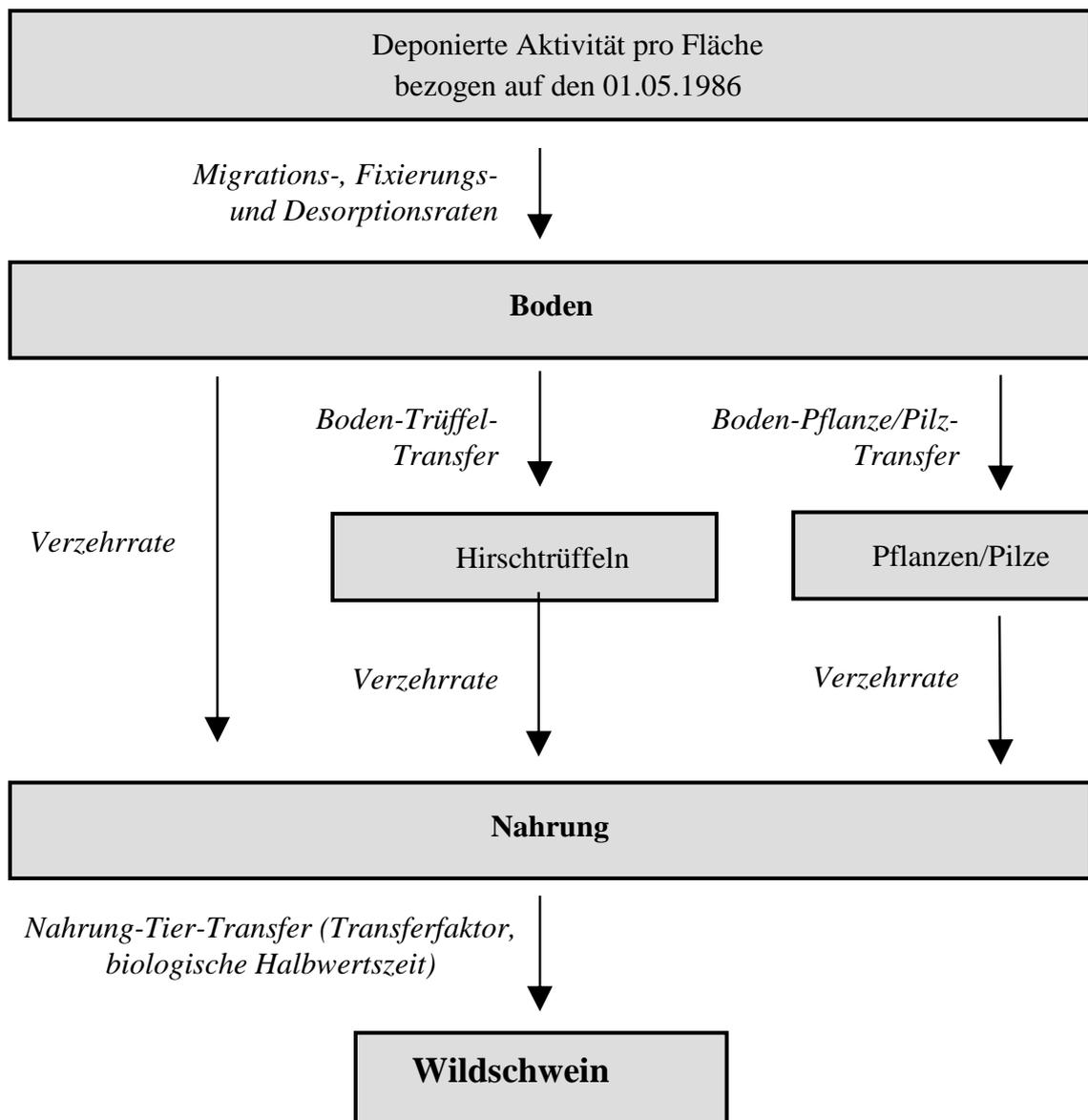


Abb. 8: Schema des Radionuklid-Transfers im radioökologischen Modell zur Beschreibung der Kontamination von Wildschweinen

Das Modell wurde zunächst in Visual Basic programmiert und dann mit einer grafischen Benutzeroberfläche in das GIS-Projekt FV4561 integriert. Über eine Menüauswahl ist es dem Nutzer möglich, die zu erwartende Radiocäsiumkontamination von Wildschweinen für beliebige Orte und Zeitpunkte zu berechnen.

Das radioökologische Modell enthält die Nahrungsaufnahme (Art und Menge einzelner Futterkomponenten) einschließlich der Einflüsse sogenannter Mastjahre sowie einer besonders hohen ^{137}Cs -Aktivitätszufuhr durch vermehrte Aufnahme von Hirschtrüffeln (Worst-Case-Szenarien). Bei der Modellierung der Radiocäsiumaufnahme von Wildschweinen spielen die im Vergleich zu anderen Futterkomponenten außergewöhnlich hoch kontaminierten Hirschtrüffeln sowie Boden, der bei der Futtersuche mit aufgenommen wird, eine Schlüsselrolle.

Eine wesentliche Anforderung an das radioökologische Modell ist außerdem, dass es auf regionale Unterschiede einzugehen vermag und die Anwendung in einem geografischen Informationssystem möglich ist. Die regionale Variabilität der radioaktiven Kontamination von Wildschweinen ist auf folgende Ursachen zurückzuführen:

1. Die unterschiedliche Deposition von ^{137}Cs durch oberirdische Kernwaffenversuche und den Kernkraftwerksunfall in Tschernobyl im April 1986.
2. Die unterschiedliche Bodenbeschaffenheit. Die Dynamik der Migration von ^{137}Cs im Boden wird wesentlich von der Bodenart und den Standortverhältnissen bestimmt.
3. Das unterschiedliche Nahrungsangebot für Wildschweine.

2.1.1 Die Rechenmodelle für Boden

Das radioökologische Modell rechnet mit verschiedenen Bodenmodellen. Mit einem einfachen Modell wird die Bodenkontamination in einer Bodenschicht berechnet, die für die ^{137}Cs Aufnahme der Pflanzen über die Wurzeln relevant ist. Dieses Modell (Standard-Bodenmodell) eignet sich für Pflanzen, für die die Wanderung von Radionukliden aus dem Wurzelbereich heraus, sowie die Fixierung und Desorption von Radionukliden im Wurzelbereich von Bedeutung ist. Das Standard-Bodenmodell kann die relativ starke Abnahme der ^{137}Cs -Aktivität von Pflanzen gut beschreiben. Es ist jedoch für die unterirdisch vorkommenden Hirschtrüffeln nicht geeignet, weil sie sich im Zeitverlauf der ^{137}Cs -Kontamination deutlich von den Zeitverläufen der übrigen Pflanzen unterscheidet. Zur Beschreibung der Kontaminationsdynamik der Hirschtrüffeln werden verschiedene Bodenmodelle zur Verfügung gestellt.

Grundsätzlich ist die ^{137}Cs -Bodenkontamination in der von Feinwurzeln oder Pilzmyzelien durchzogenen Bodenschicht sowohl zeit- als auch ortsabhängig. Die Zeitabhängigkeit ergibt sich aus den wesentlichen dynamischen Prozessen von ^{137}Cs im Waldboden (Migration, Fixierung, Desorption), die ihrerseits von den physikalischen und chemischen Eigenschaften des Bodens bestimmt werden. Die Ortsabhängigkeit ist auf folgende Größen zurückzuführen:

- Die deponierte Aktivität.
- Die Dichte des Bodens hängt von der Bodenkategorie ab und unterscheidet sich insbesondere für Wald und landwirtschaftlich genutzte Flächen. Jeder Bodenkategorie wird im Modell eine Bodendichte zugeordnet. Aus der räumlichen Verteilung der Bodenkategorie ergibt sich somit eine Ortsabhängigkeit der Dichte des Bodens.
- Auch die Bodenkategorie und der Bodentyp (z. B. Beispiel Braunerde, Podsol etc.) sind ortsabhängig. Da die Kartierungen zur Bodenübersichtskarte 1:200.000 (BÜK 200) erst 2013 abgeschlossen werden, konnten hierzu keine digitalisierten Daten beschafft werden.

2.1.1.1 Das Standard-Bodenmodell

Die Dynamik von ^{137}Cs im Boden wird mit einem Kompartimentmodell beschrieben, wobei drei Prozesse berücksichtigt werden, denen das Nuklid unterworfen ist:

Migration: Radionuklide wandern in tiefere Bodenschichten. Befinden sich Radionuklide außerhalb der Wurzelzone, können sie von der Pflanze nicht mehr aufgenommen werden. Gleiches gilt bei Pilzen für die vom Myzel durchzogene Bodenschicht.

Fixierung: Radionuklide werden im Boden gebunden und stehen dann für die Wurzelaufnahme nicht zur Verfügung, obwohl sie sich weiter in der Wurzelzone befinden.

Desorption: Fixierte Radionuklide in der Wurzelzone werden desorbiert und sind dann für die Wurzelaufnahme wieder verfügbar.

Der Boden wird in drei Kompartimente unterteilt. Im Boden-Kompartiment I befindet sich der Teil des ^{137}Cs , der für die Wurzelaufnahme von Pflanzen verfügbar ist, aber auch in tiefere Bodenschichten verlagert werden kann. Im Bodenkompartment II befinden sich die Nuklide, die vorübergehend im Boden fixiert und damit nicht pflanzenverfügbar sind; zwischen beiden Kompartimenten kann ^{137}Cs ausgetauscht werden. Der Bereich außerhalb der Wurzelzone stellt eine Senke dar, in der ^{137}Cs irreversibel dem biologischen Kreislauf entzogen wird (Kompartiment III). Das Standard-Bodenmodell unterstellt eine homogene Kontamination der von Feinwurzeln und Pilzmyzelien durchzogenen Bodenschicht (Kompartimente I und II). Die zeitliche Abhängigkeit der drei Prozesse zwischen den Kompartimenten, die zunächst ohne Berücksichtigung des radioaktiven Zerfalls berechnet wird, lässt sich durch ein System von Differenzialgleichungen beschreiben:

$$\frac{dn}{dt} = -(\lambda_a + \lambda_f) \cdot n + \lambda_d \cdot f \quad (1.1)$$

$$\frac{df}{dt} = \lambda_f \cdot n - \lambda_d \cdot f \quad (1.2)$$

- $n=n(t)$: Funktion, die den zeitlichen Verlauf der für die Wurzelaufnahme verfügbaren Radionuklide beschreibt
- $f=f(t)$: Funktion, die den zeitlichen Verlauf der fixierten Radionuklide beschreibt
- λ_a : Zeitkonstante der Migration in Bereiche außerhalb der Wurzelzone (a^{-1})
- λ_f : Zeitkonstante der Fixierung (a^{-1})
- λ_d : Zeitkonstante der Desorption (a^{-1})

Die Annahme, dass sich zum Bezugszeitpunkt ^{137}Cs ausschließlich im Bodenkompartment I befindet, entspricht den Anfangsbedingungen $n(0) = 1$ und $f(0) = 0$. Die Lösung der Differenzialgleichungen mit diesen Anfangsbedingungen ist gegeben durch:

$$n(t) = c_1 \cdot \exp(\lambda_1 \cdot t) + c_2 \cdot \exp(\lambda_2 \cdot t) \quad (1.3)$$

$$f(t) = \frac{c_1 \cdot \lambda_f}{\lambda_d + \lambda_1} \cdot \exp(\lambda_1 \cdot t) + \frac{c_2 \cdot \lambda_f}{\lambda_d + \lambda_2} \cdot \exp(\lambda_2 \cdot t) \quad (1.4)$$

mit

$$\lambda_1 = -\frac{\lambda_d + \lambda_f + \lambda_a - W}{2} \quad \lambda_2 = -\frac{\lambda_d + \lambda_f + \lambda_a + W}{2} \quad (1.5a, 1.5b)$$

$$\text{und } W = \sqrt{(\lambda_d + \lambda_f + \lambda_a)^2 - 4 \cdot \lambda_d \cdot \lambda_a} \quad (1.6)$$

Mit den oben genannten Anfangsbedingungen lassen sich c_1 und c_2 wie folgt bestimmen:

$$c_1 = \frac{\lambda_d - \lambda_f - \lambda_a + W}{2 \cdot W} \quad c_2 = \frac{\lambda_f + \lambda_a - \lambda_d + W}{2 \cdot W} \quad (1.7a, 1.7b)$$

Bei anderen Anfangsbedingungen, zum Beispiel in gering kontaminierten Gebieten, in denen der Fallout oberirdischer Kernwaffenversuche eventuell dominiert, sind c_1 und c_2 gegeben durch:

$$c_1 = \frac{\lambda_d \cdot f(0) - n(0) \cdot (\lambda_a + \lambda_f + \lambda_2)}{W} \quad c_2 = n(0) - c_1 \quad (1.7c)$$

Obwohl dieses Bodenmodell prinzipiell den Fallout oberirdischer Kernwaffenversuche berücksichtigen kann, wurde in EcoWild darauf verzichtet, weil nicht flächendeckend

digitalisierte Daten über den Anteil der fixierten Radionuklide im Boden beschafft werden konnten.

Als Tiefe der Wurzelzone wird $L = 10$ cm angenommen. Geht man vereinfachend davon aus, dass die Dichte des Bodens innerhalb dieser Tiefe gleich ist, und der Boden unterhalb dieser Tiefe als Senke wirkt, so lässt sich aus den obigen Gleichungen die spezifische Aktivität des verfügbaren und des fixierten ^{137}Cs in der Wurzelzone ableiten (die gesamte spezifische Aktivität in der Wurzelzone ergibt sich aus der Addition beider Aktivitäten).

$$C_{S,disp}(t) = \frac{A_{dep}}{\rho \cdot L} \cdot n(t) \cdot \exp\left(-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot t\right)$$

für zur Wurzelaufnahme verfügbares ^{137}Cs (1.8)

$$C_{S,fix}(t) = \frac{A_{dep}}{\rho \cdot L} \cdot f(t) \cdot \exp\left(-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot t\right) \quad \text{für fixiertes } ^{137}\text{Cs}$$
(1.9)

- $C_{S,disp}(t)$, $C_{S,fix}(t)$: Spezifische Aktivität des Bodens ($\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ TS)
 A_{dep} : Deponierte Aktivität ($\text{Bq} \cdot \text{m}^{-2}$)
 ρ : Trockendichte des Bodens ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) bis zur Tiefe L
L: Bodentiefe der Wurzelzone (m)
 $n(t)$, $f(t)$: Zeitfunktionen
 $T_{1/2} = 30$ a: physikalische Halbwertszeit des ^{137}Cs

Die Werte für λ_a , λ_f und λ_d lassen sich in der Parameterdatei verändern. Basierend auf den Ergebnissen aus dem Forschungsvorhaben StSch 4324 (Fielitz 2005) wurde als Standard $\lambda_a = 0.09 \text{ a}^{-1}$, $\lambda_f = 0.20 \text{ a}^{-1}$ und $\lambda_d = 0.11 \text{ a}^{-1}$ gewählt.

2.1.1.2 Das Mehrschichten-Bodenmodell

Für die Berechnung des vertikalen Transports von ^{137}Cs in Böden und damit der Tiefenverteilung von ^{137}Cs in Waldbodenprofilen wird von einem Modell ausgegangen, bei dem der Boden in übereinanderliegende 2 cm dicke Bodenschichten eingeteilt wird. In diesen Bodenschichten finden Migrations-, Fixierungs- und Desorptionsprozesse von ^{137}Cs statt (Abbildung 9).

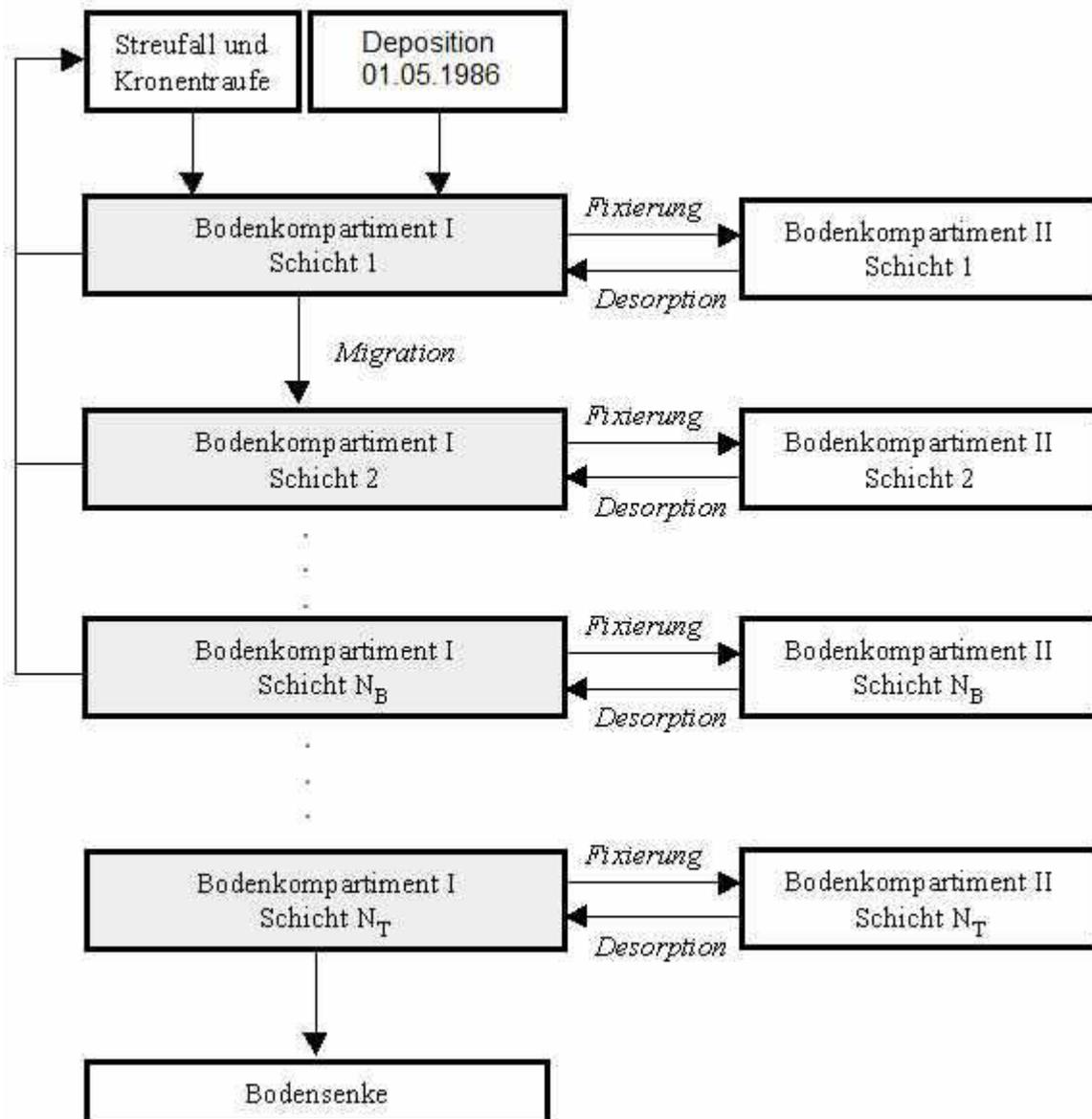


Abb. 9: Schema für ^{137}Cs im Mehrschichten-Bodenmodell. Die Radionuklide in den grau unterlegten Kompartimenten stehen für die Wurzelaufnahme zur Verfügung. $N_B = 7$: Anzahl der Bodenschichten, die für die Berechnung von Streufall und Kronentraufe Berücksichtigung finden. $N_T = 25$: Anzahl der Bodenschichten

Es wird von folgenden Annahmen ausgegangen:

- Jede der 2 cm dicken Bodenschichten ist homogen kontaminiert. Ein Teil des ^{137}Cs ist fixiert, der übrige Teil ist mobil und kann in tiefer liegende Bodenschichten migrieren, wo er auch für die Wurzelaufnahme zur Verfügung steht.
- Für jede Bodenschicht werden die Fixierung, die Desorption und die Migration von ^{137}Cs in die darunter liegende Schicht durch Zeitkonstanten beschrieben.

- Durch Kronentraufe wird ^{137}Cs in die oberste 2 cm dicke Bodenschicht eingetragen. Darunter liegende Bodenschichten sind nicht betroffen.
- Die Wurzelaufnahme von ^{137}Cs erfolgt bei Grünpflanzen aus den obersten N_B Bodenschichten. Der Eintrag von ^{137}Cs in die oberste Streuschicht durch Streufall und Kronentraufe wird durch eine Zeitkonstante beschrieben.

Das System von Differenzialgleichungen für den zerfallskorrigierten ^{137}Cs Fluss in den Bodenschichten wird wie folgt formuliert:

$$\frac{dn^{(i)}}{dt} = \lambda_b \cdot \sum_{i=1}^{N_B} n^{(i)} - (\lambda_m^{(i)} + \lambda_f^{(i)}) \cdot n^{(i)} + \lambda_d^{(i)} \cdot f^{(i)} \quad \text{für } i = 1 \quad (1.10a, 1.10b)$$

$$\frac{df^{(i)}}{dt} = \lambda_f^{(i)} \cdot n^{(i)} - \lambda_d^{(i)} \cdot f^{(i)}$$

$$\frac{dn^{(i)}}{dt} = \lambda_m^{(i-1)} \cdot n^{(i-1)} - (\lambda_m^{(i)} + \lambda_f^{(i)}) \cdot n^{(i)} + \lambda_d^{(i)} \cdot f^{(i)} \quad \text{für } i = 2, \dots, N_T \quad (1.11a, 1.11b)$$

$$\frac{df^{(i)}}{dt} = \lambda_f^{(i)} \cdot n^{(i)} - \lambda_d^{(i)} \cdot f^{(i)}$$

Hier bedeuten:

- i : Index der Bodenschicht
- $N_B = 7$: Anzahl der Bodenschichten, die für die Berechnung der Pflanzenkontamination, Streufall etc. Berücksichtigung finden
- $N_T = 25$: Anzahl der Bodenschichten
- $n^{(i)}$: Zeitfunktion für das mobile und für die Wurzelaufnahme verfügbare ^{137}Cs in der Bodenschicht (i)
- $f^{(i)}$: Zeitfunktion für das in der Bodenschicht (i) fixierte ^{137}Cs
- $\lambda_m^{(i)}$: Zeitkonstante der Migration (a^{-1}) von Bodenschicht (i) nach Bodenschicht (i + 1)
- $\lambda_f^{(i)}$: Zeitkonstante der Fixierung (a^{-1}) in der Bodenschicht (i)
- $\lambda_d^{(i)}$: Zeitkonstante der Desorption (a^{-1}) in der Bodenschicht (i)
- λ_b : Zeitkonstante für den Eintrag von ^{137}Cs auf die Bodenoberfläche durch Streufall und Kronentraufe (a^{-1}).

Das System dieser Differenzialgleichungen kann numerisch gelöst werden (Törnig 1979). Die Lösung der Differenzialgleichungen mit den Anfangsbedingungen $n^{(i)}(t=0)$ und $f^{(i)}(t=0)$ für $i = 1, \dots, N_T$ beschreibt das Zeitverhalten der Aktivität in den verschiedenen Bodenschichten. Als Anfangsbedingung (Deposition am 01. Mai 1986) wird davon ausgegangen, dass sich das gesamte deponierte Radiocäsium in der obersten Bodenschicht befindet, wo es mobil und pflanzenverfügbar ist.

Für das zur Wurzelaufnahme verfügbare Radiocäsium gilt:

$$C_{S,disp}^{(i)}(t) = \frac{A_{dep}}{\rho^{(i)} \cdot d} \cdot n^{(i)}(t) \cdot \exp\left(-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot t\right) \quad (1.12)$$

Für das fixierte Radiocäsium gilt:

$$C_{S,fix}^{(i)}(t) = \frac{A_{dep}}{\rho^{(i)} \cdot d} \cdot f^{(i)}(t) \cdot \exp\left(-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot t\right) \quad (1.13)$$

$C_{S,disp}^{(i)}(t), C_{S,fix}^{(i)}(t)$:	spezifische Aktivität ($\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ TS) des pflanzenverfügbaren, mobilen bzw. fixierten ^{137}Cs in der Bodenschicht (i)
A_{dep} :	deponierte Aktivität ($\text{Bq} \cdot \text{m}^{-2}$)
$\rho^{(i)}$:	Trockendichte ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) der Bodenschicht (i)
$d = 2 \text{ cm}$:	Dicke einer Bodenschicht
$T_{1/2} = 30 \text{ a}$:	physikalische Halbwertszeit des ^{137}Cs

Zur Modellierung der Wurzelaufnahme ist schließlich über die für die Wurzelaufnahme relevanten Schichten zu mitteln:

$$C_{S,disp}^{Wurzel}(t) = \frac{I}{i_{wu} - i_{wo} + 1} \cdot \sum_{i=i_{wo}}^{i_{wu}} \frac{A_{dep}}{\rho^{(i)} \cdot d} \cdot n^{(i)}(t) \cdot \exp\left(-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot t\right) \quad (1.14)$$

i_{wo}, i_{wu} : Index der oberen bzw. unteren für die Wurzelaufnahme relevanten Schicht

N_T ist die Gesamtanzahl der berücksichtigten Bodenschichten ($N_T = 25$ entspricht zum Beispiel einer Bodentiefe von 50 cm). N_B ist die Anzahl der Bodenschichten, die bei Grünpflanzen für die Wurzelaufnahme von ^{137}Cs relevant sind. Die Indizes dieser Bodenschichten sind i_{wu} und i_{wo} . Bei den Grünpflanzen ist $i_{wo}=1$ und $i_{wu}=7$, also wird für die Wurzelaufnahme eine Bodentiefe von 0 bis 14 cm angenommen. Bei den Nahrungskategorien Hirschtrüffel und Boden (s. auch Abschnitt 2.1.3.1) ist $i_{wo}=3$ und $i_{wu}=12$, was einer Bodentiefe von 4 bis 24 cm entspricht.

Die Aufnahme von ^{137}Cs in Pflanzen wird in dem radioökologischen Rechenmodell nach dem Mehrschichten-Bodenmodell berechnet, wobei auf Ergebnisse aus dem Forschungsvorhaben StSch 4324 (Fielitz 2005), $\lambda_a^{(i)} = 0.30 \text{ a}^{-1}$, $\lambda_d^{(i)} = 0.59 \text{ a}^{-1}$ und $\lambda_{d'}^{(i)} = 0.68 \text{ a}^{-1}$ zurückgegriffen wird.

2.1.1.3 Konvektions-Diffusionsmodell

Das Konvektions-Diffusionsmodell, kurz CDE-Modell, ist ausführlich beschrieben in P. Bossew, G. Kirchner (2004).

Die Bodenkontamination wird mit folgender Gleichung beschrieben:

$$\Gamma(x,t) = A \cdot e^{-\lambda_r \cdot t} \cdot \left\{ \frac{1}{\sqrt{\pi \cdot D \cdot t}} \cdot e^{-(x-v \cdot t)^2 / (4 \cdot D \cdot t)} - \frac{v}{2 \cdot D} e^{v \cdot x / D} \cdot \operatorname{erfc} \left(\frac{v}{2} \cdot \sqrt{\frac{t}{D}} + \frac{x}{2 \cdot \sqrt{D \cdot t}} \right) \right\} \quad (1.15)$$

Dabei ist Γ die volumenbezogene Aktivität im Boden (in $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-3}$), λ_r die Zerfallskonstante ($= \ln 2 / 30 \text{ a}$), A die Deposition (in $\text{Bq} \cdot \text{m}^{-2}$), D der effektive Diffusionskoeffizient (in $\text{m}^2 \cdot \text{a}^{-1}$ oder $\text{cm}^2 \cdot \text{a}^{-1}$) und v die effektive Konvektionsgeschwindigkeit (in $\text{m} \cdot \text{a}^{-1}$ oder $\text{cm} \cdot \text{a}^{-1}$). Die Funktion erfc ist $(1 - \operatorname{erf})$, wobei erf die Fehlerfunktion ist.

Die Anwendung des CDE-Modells erfordert also zwei Parameter für die Beschreibung der Dynamik der Radionuklidenausbreitung im Boden (D und v), die im CDE-Modell als unabhängig von der Bodentiefe x angenommen werden. Als Standardwerte werden $D = 0.27 \text{ cm}^2 \cdot \text{a}^{-1}$ und $v = 0.2 \text{ cm} \cdot \text{a}^{-1}$ verwendet, die im Bereich der von Bossew & Kirchner (2004) angegebenen Werte liegen. Zur Berechnung der spezifischen Bodenaktivität (in Bq kg^{-1} TS Boden) wird Γ durch die Bodendichte (Trockendichte) geteilt.

2.1.1.4 Empirisches Modell für die Kontamination von Hirschtrüffeln

Mit diesem empirischen Modell wird zur Berechnung der spezifischen Aktivität von Hirschtrüffeln eine Formel in Abhängigkeit von der Zeit t verwendet:

$$C_{HT}(t) = Tf \cdot A \cdot (1 - e^{-\lambda^* \cdot t}) \cdot e^{-\lambda_r \cdot t} / (\rho \cdot L) \quad (1.16)$$

C_{HT} :	Spezifische Aktivität der Hirschtrüffeln ($\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ FS)
TF:	Transferfaktor Boden - Hirschtrüffeln
A:	Deponierte Aktivität bezogen auf den 01.05.1986 ($\text{Bq} \cdot \text{m}^{-2}$)
ρ :	Bodendichte für Waldboden ($= 182 \text{ kg TS Boden m}^{-3}$)
L:	Bodentiefe ($= 0,14 \text{ m}$)
λ^* :	Empirische Konstante ($= 0,01 \text{ a}^{-1}$)
λ_r :	Zerfallskonstante für ^{137}Cs ($= \ln 2 / 30 \text{ a}^{-1}$)

Die Trockendichte von Waldboden stammt aus den Ergebnissen des Forschungsvorhabens StSch 4324 (FIELITZ 2005). Die Formel 1.16 ist rein empirisch und geht davon aus, dass sich die Zunahme der spezifischen Aktivität von Hirschtrüffeln durch eine Exponentialfunktion beschreiben lässt. Das Maximum der Zeitfunktion liegt bei

$$T_{\max} = \frac{1}{\lambda^*} \cdot \ln \left(\frac{\lambda^* + \lambda_r}{\lambda_r} \right) \quad (1.16b)$$

sodass die angegebenen Werten einen Anstieg im Zeitraum bis $T_{\max} = 36$ Jahren ergeben.

Die Formel beschreibt eine Zunahme der ^{137}Cs -Kontamination von Hirschtrüffeln, die zu einem Anstieg der Kontamination der Wildschweine führt. Die empirische Konstante λ^* fasst alle Prozesse zusammen, die eine Zunahme der von Wildschweinen aufgenommenen Aktivität begünstigen, z. B. Beispiel: Radionuklidwanderung in Zonen, in denen sich Hirschtrüffeln befinden. Sie wurde so gewählt, dass sich ein plausibler Zeitverlauf der Aktivität ergibt. Die Abnahme der ^{137}Cs -Aktivität von Hirschtrüffeln wird in diesem Modell alleine durch den radioaktiven Zerfall verursacht.

2.1.2 Das Rechenmodell für Pflanzen

Bei einer Aktivitätsablagerung von Radiocäsium, wie nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl, erfolgt die langfristige Kontamination von Pflanzen fast ausschließlich über die Wurzelaufnahme. Im Modell wird zur Berechnung nur der in der Wurzelzone nicht fixierte Teil des ^{137}Cs berücksichtigt:

$$C_k(t) = TF_k \cdot C_{S,disp}^{Wurzel}(t) \quad (1.17)$$

- $C_k(t)$: spezifische Aktivität der Pflanze k ($\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ FS)
 TF_k : Transferfaktor Boden-Pflanze (Aktivität je kg FS Pflanze / Aktivität je kg TS Boden) für die Pflanze k
 $C_{S,disp}^{Wurzel}(t)$: spezifische Aktivität des in der Wurzelzone verfügbaren ^{137}Cs

2.1.3 Das Rechenmodell für Wildschweine

Im radioökologischen Modell wird davon ausgegangen, dass die im Muskelfleisch vorhandene ^{137}Cs -Aktivität mit der Nahrung als Frischsubstanz aufgenommen wird:

$$ActIn_{gesamt}(t) = \sum_{k=1}^{N_F} [C_k(t) \cdot I_k(t)] \quad (1.18)$$

- $ActIn_{gesamt}(t)$: Gesamte Aktivitätsaufnahme des Wildschweins ($\text{Bq} \cdot \text{d}^{-1}$) in FS
 N_F : Anzahl der Nahrungsbestandteile
 $C_k(t)$: spezifische Aktivität ($\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ FS) des Nahrungsbestandteils k
 $I_k(t)$: Rate der Nahrungsaufnahme ($\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$) eines Wildschweins bezüglich Nahrungsbestandteil k

Gegebenenfalls kann für C_k auch ein konstanter Wert verwendet werden, zum Beispiel bei der Nahrungsaufnahme von Bucheckern innerhalb eines bestimmten Zeitraums.

Der ^{137}Cs -Transfer in den Tierkörper wird im Modell mittels eines einheitlichen Transferfaktors Nahrung \rightarrow Wildschwein beschrieben. Der Transferfaktor für Wildschweinfleisch ist wie folgt definiert:

$$TF_w = \frac{\text{Aktivität im Fleisch (Bq} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ FS)}}{\text{Aktivität in der Nahrung (Bq} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ FS)} \cdot \text{tägliche Nahrungsmenge (kg} \cdot \text{d}^{-1})} \quad (1.19)$$

TF_w : Transferfaktor für Wildschwein ($\text{d} \cdot \text{kg}^{-1}$)

Die sich im Wildschwein einstellende ^{137}Cs -Aktivität wird wesentlich durch den Input und Output von ^{137}Cs bestimmt, also durch die spezifische Aktivität und die Menge der Nahrung sowie die Kinetik des Nuklids im Körper. Im radioökologischen Modell wird das Wildschwein vereinfachend als Einkompartiment-Modell mit einer biologischen Halbwertszeit beschrieben. Wird dem Organismus kein weiteres Cäsium mehr zugeführt, so entleeren sich die Gewebe mit einer für jede Tierart charakteristischen biologischen Halbwertszeit. Die Integration der vom Tier aufgenommenen Aktivität über die Zeit, unter Berücksichtigung der biologischen Halbwertszeit und des radioaktiven Zerfalls, führt zur Berechnung der spezifischen Aktivität (Müller & Pröhl 1993):

$$C_w(T) = TF_w \cdot \int_0^T ActIn_{gesamt}(t) \cdot \lambda_{biol} \cdot \exp\left[-\left(\lambda_{biol} + \frac{\ln 2}{T_{1/2}}\right) \cdot (T-t)\right] dt \quad (1.20)$$

$C_w(T)$: spezifische Aktivität ($\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$) des Wildschweins zum Zeitpunkt T

$T_{1/2,biol}$: Biologische Halbwertszeit (d) d. h. die Zeit, in der das Wildschwein auf natürlichem Wege die Hälfte des aufgenommenen Radiocäsiums wieder ausscheidet.

2.1.3.1 Die generischen Nahrungsspektren von Wildschweinen

Die Nahrung von Wildschweinen ist vielfältig und besteht u.a. aus Früchten, Gräsern, Hirschtrüffeln, Kräutern, oberirdisch fruktifizierenden Pilzen, Wurzeln, Boden und tierischen Bestandteilen.

In dem Forschungsvorhaben StSch 4324 (Fielitz 2005) konnte gezeigt werden, dass die Warzige Hirschtrüffel (*Elaphomyces granulatus*) wesentlich für die ^{137}Cs -Kontamination von Wildschweinen in einem Untersuchungsgebiet im Bayerischen Wald verantwortlich ist. Magenanalysen von 70 Wildschweinmägen ergaben einen durchschnittlichen Anteil der Hirschtrüffeln von 81,5% an der mit der Nahrung zugeführten ^{137}Cs -Aktivität. Nennenswerte Anteile an der ^{137}Cs -Zufuhr hatten nur noch Boden mit 11,9%, Gräser mit 2,2%, oberirdische Fruchtkörper von Pilzen mit 2,1% und Kräuter mit 1,1%.

Um im Modell das Nahrungsspektrum angemessen einfach zu halten und trotzdem die standortbedingten Unterschiede in der ^{137}Cs -Kontamination verschiedener Biomedien zu berücksichtigen, wurden sieben Nahrungskategorien gebildet, die zu dem ^{137}Cs -Input der Wildschweine beitragen:

1. Hirschtrüffeln (*E. granulatus*, *E. muricatus*)
2. Pflanzen und sonstige Pilze von Wäldern
3. Boden von Wäldern
4. Pflanzen und Früchte von Ackerflächen
5. Boden von Ackerflächen
6. Pflanzen von Wiesen bzw. Dauergrünland
7. Boden von Wiesen bzw. Dauergrünland

Aus Kapitel 1.2.5 geht hervor, dass in Deutschland neben *Elaphomyces granulatus* potenziell noch *Elaphomyces muricatus* für die ^{137}Cs -Kontamination von Wildschweinen von Bedeutung sein kann. In den im FV StSch 4324 untersuchten Mägen von Wildschweinen wurde nur *E. granulatus* gefunden. Das ist darauf zurückzuführen, dass die Böden im dortigen Untersuchungsgebiet relativ sauer sind und es sich um einen Mittelgebirgsstandort handelt, also ideale Bedingungen für *E. granulatus* und ungünstige Bedingungen für *E. muricatus*, was auch die Fundortdaten in Abbildung 6 belegen.

Da aus der Pilzkartierung zu entnehmen ist, dass *E. muricatus* häufig an Wühlstellen von Wildschweinen gefunden wurde, ist davon auszugehen, dass diese Art ebenso wie *E. granulatus* von den Tieren gern gefressen wird.

Während von *E. granulatus* ^{137}Cs -Messwerte vorliegen, war über die ^{137}Cs -Aktivität und den Transfer des Nuklids Boden \rightarrow Fruchtkörper von *E. muricatus* nichts bekannt. Es wurde daher für das Arbeitspaket 3 in 5 Untersuchungsgebieten in Deutschland die ^{137}Cs -Aktivität und der Transfer des Nuklids (Boden \rightarrow Fruchtkörper) von je 3 Mischproben *E. granulatus* und *E. muricatus* bestimmt. Da, wie in Kapitel 3.2.1 beschrieben, keine signifikanten Unterschiede in dem Transferfaktor zwischen beiden Arten festgestellt werden konnten, wird im Modell nur mit Hirschtrüffeln (*E. granulatus* und *E. muricatus*) gerechnet, also keine weitere Artdifferenzierung vorgenommen.

Werden die generischen Nahrungskategorien in Abhängigkeit vom Hirschtrüffelvorkommen (Wälder) und dem Zugang zu landwirtschaftlichen Flächen sowie Wiesen gewichtet, ergibt sich für jeden Ort ein charakteristisches Nahrungsspektrum. Es wird unterstellt, dass anderweitig genutzte Flächen (z. B. bebaute Flächen) bei der Futteraufnahme von Wildschweinen keine Rolle spielen.

Für die Modellierung werden vereinfachend drei generische Nahrungsspektren S_i berücksichtigt, die sich durch die Massenanteile der generischen Nahrungskategorien unterscheiden:

- Nahrungsspektrum S_1 für Wälder (mit Hirschtrüffelvorkommen)
- Nahrungsspektrum S_2 für Ackerflächen
- Nahrungsspektrum S_3 für Wiesen (Dauergrünland)

Eine Nahrungskategorie ist die Zusammenfassung ähnlich kontaminierter Nahrungsbestandteile zu einer Gruppe, während ein Nahrungsspektrum die prozentuale Zusammensetzung der Nahrungskategorien an der Gesamtnahrung darstellt.

In der Tabelle 6 sind die relativen Anteile der Nahrungskategorien für die drei Nahrungsspektren aufgeführt. Das Nahrungsspektrum S_1 beruht auf der Annahme, dass im Wald immer Hirschtrüffeln vorkommen können. Zwischen verschiedenen Hirschtrüffelsorten (*E. granulatus* und *E. muricatus*) wird dabei nicht unterschieden. Der relative Anteil an der Nahrungsaufnahme für den Nahrungsbestandteil j des Nahrungsspektrums i wird mit Z_{ij} bezeichnet. Der erste Index bezieht sich auf das Nahrungsspektrum, der zweite auf den Nahrungsbestandteil.

Die relativen Anteile ergeben 1 in der Summe für jedes Nahrungsspektrum:

$$Z_{11} + Z_{12} + Z_{13} = 1 \quad (2.1a)$$

(Hirschtrüffeln, Waldboden, sonstige Pflanzen im Wald)

$$Z_{24} + Z_{25} = 1 \quad (2.1b)$$

(Pflanzen auf Ackerflächen, Boden von Ackerflächen)

$$Z_{36} + Z_{37} = 1 \quad (2.1c)$$

(Gräser, Boden von Wiesen)

Um den Einfluss von Hirschtrüffeln nicht zu unterschätzen, beträgt der Anteil der Hirschtrüffeln an der Nahrungsaufnahme immer $100 \times Z_{11} = 5.5 \%$, wenn sich Wald im Lebensraum des Wildschweins befindet.

Die Zuordnung einer Fläche zu einem Lebensraum basiert auf den Rasterdaten (1 km x 1 km) der Datenbasis „CORINE Land Cover 2000 – Daten zur Bodenbedeckung Deutschland“. Zur Ermittlung der jeweiligen Anteile in den Flächenelementen wurden die Klassen des CORINE Land Cover (CLC) wie in Tabelle C2 im Anhang aufgeführt, zu den Bodenkategorien „Wald“ und „Landwirtschaft“ zusammengefasst. Jedes Flächenelement besteht aus neun CORINE Rasterelementen.

Tabelle 6: Nahrungsspektren mit den relativen Anteilen Z_{ij} an der Aufnahme der Nahrungsbestandteile; i = Index des Nahrungsspektrums, j = Index der Nahrungskategorie (Daten aus Fielitz 2005, Fielitz unveröffentlicht)

		Nahrungsspektrum S_1	Nahrungsspektrum S_2	Nahrungsspektrum S_3
	Landnutzung	Wald	Ackerflächen	Wiesen, Dauergrünland
j	Nahrungskategorie	Relativer Anteil Z_{ij} je Nahrungsbestandteil $\times 100$		
1	Hirschtrüffel	5,5	-	-
2	Waldboden	11,3	-	-
3	Pflanzen von Wald	83,2	-	-
4	Pflanzen u. Früchte von Ackerflächen	-	75	-
5	Boden von Ackerflächen	-	25	-
6	Pflanzen von Dauergrünland	-	-	80
7	Boden von Dauergrünland	-	-	20
	Summe	100	100	100

Beim Nahrungsspektrum S_1 wurde angenommen, dass sich die Nahrung, die nicht aus Hirschtrüffeln besteht, zu 12% aus Waldboden und zu 88% aus sonstigen Pilzen und Pflanzen des Waldes zusammensetzt, so dass gilt (mit $Z_{11} = 0,055$):

$$Z_{12} = 0,12 \times (1 - Z_{11}) \quad \text{für Waldboden} \quad (2.2a)$$

$$Z_{13} = 0,88 \times (1 - Z_{11}) \quad \text{für sonstige Pilze und Pflanzen des Waldes} \quad (2.2b)$$

2.1.3.2 Die räumliche Verteilung der Nahrungsspektren

Die ^{137}Cs -Kontamination eines Wildschweins ist von seinem Lebensraum abhängig, denn die bundesweit variierende Kontamination der Böden (Abbildung 1) führt zu örtlich unterschiedlicher ^{137}Cs -Aktivität der Nahrungsbestandteile. Auch das Nahrungsspektrum variiert räumlich (und zeitlich) aufgrund eines unterschiedlichen Nahrungsangebots.

Um eine Prognosekarte der ^{137}Cs -Kontamination von Wildschweinen im geografischen Informationssystem für ganz Deutschland zu erstellen, muss die Nahrungsaufnahme der Tiere räumlich modelliert werden.

Wildschweine halten sich gewöhnlich innerhalb eines bestimmten Streifgebietes (Homerange) auf. Die Größenangaben für Homeranges von Wildschweinen in Deutschland liegen zwischen einigen hundert bis mehreren tausend Hektar (z. B. Ebert 2008, Gruen 2002). Diese Unterschiede haben mehrere Ursachen: Zum einen bestehen in der Wissenschaft unterschiedliche Vorstellungen darüber, was eigentlich ein Homerange ist. Dessen Größe ist abhängig vom Lebensraum der Tiere und dem dort typischen Nahrungsangebot. Die Verfahren, mit denen die Aufenthaltsorte eines Tieres ermittelt werden, unterscheiden sich deutlich (z. B. konventionelle VHF-Telemetrie, GPS-Telemetrie, Spurenauswertung) und sind mit unterschiedlich großen methodischen Fehlern behaftet. Darüber hinaus existieren verschiedene Berechnungsverfahren zur Ermittlung eines Homeranges.

Im geografischen Informationssystem spielt bei der Behandlung der räumlichen Verteilung der Nahrungsspektren die Größe der kartografischen Flächenelemente eine Rolle. Je nachdem, wie groß die Flächenelemente gewählt werden, fallen unterschiedlich viele in das Homerange, d. h. den Lebensraum eines Wildschweins (Abbildung 10). Für das vorliegende Forschungsvorhaben wird ein durchschnittliches Homerange von 1000 ha angenommen, wodurch die Größe eines Flächenelements 3 km x 3 km beträgt. Jedes Flächenelement setzt sich sinnvollerweise aufgrund der Corine-Datenaufösung, aus neun 1 km x 1 km großen Rasterelementen zusammen. Jedem Rasterelement ist ein Nahrungsspektrum zugeordnet. Für die Häufigkeit der jeweiligen Rasterelemente im Homerange gilt:

$$P(S_1) = \frac{N_1}{N_1 + N_2 + N_3} \quad \text{für Nahrungsspektrum } S_1 \quad (2.3a)$$

$$P(S_2) = \frac{N_2}{N_1 + N_2 + N_3} \quad \text{für Nahrungsspektrum } S_2 \quad (2.3b)$$

$$P(S_3) = \frac{N_3}{N_1 + N_2 + N_3} \quad \text{für Nahrungsspektrum } S_3 \quad (2.3c)$$

N_1, N_2, N_3 : Anzahl der den Nahrungsspektren S_1, S_2 bzw. S_3 zugeordneten Flächenelemente im Homerange (Abbildung 10)

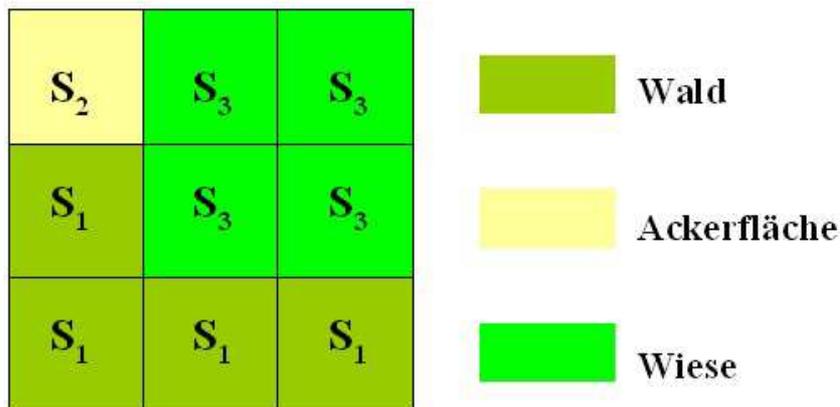


Abb. 10: Nahrungsspektren S im Homerange eines Wildschweins (kartografische Rasterelemente $1\text{ km} \times 1\text{ km}$)

Vereinfachend wird davon ausgegangen, dass sich der Wald innerhalb der $3\text{ km} \times 3\text{ km}$ großen Flächenelemente hinsichtlich des Hirschtrüffelvorkommens nicht unterscheidet. Zur Einschränkung des Rechenaufwands wird auch angenommen, dass innerhalb des Streifgebietes eines Wildschweins die ^{137}Cs -Aktivität der Nahrungsbestandteile auf einer dem Nahrungsspektrum S_i zugeordneten Fläche gleich ist. Dies setzt voraus, dass die auf dieser Fläche deponierte Aktivität gleich ist und die Bodentypen sich nicht unterscheiden.

Das Nahrungsspektrum für ein Rasterelement setzt sich dann aus den generischen Nahrungsspektren S_1 (Wald mit *E. granulatus* und *E. muricatus*), S_2 (Ackerflächen) und S_3 (Wiesen und Dauergrünland) zusammen, welche mit ihrem jeweiligen Flächenanteil am betrachteten Rasterelement gewichtet werden.

Der Vorteil dieser räumlichen Behandlung der Nahrungsspektren ist, dass durch die Zusammenfassung mehrerer Flächenelemente auch größere Aktionsbereiche modelliert werden können. Dabei wird angenommen, dass Hirschtrüffeln als Mykorrhizapilze von (Nadel-) Bäumen vom Typ „short distance“ nicht auf landwirtschaftlich genutzten Flächen und Wiesen vorkommen.

Die gesamte Aktivitätsaufnahme des Wildschweins ergibt sich dann durch Addition der Aktivitätsaufnahme über Hirschtrüffeln (ActIn_1), Pflanzen und sonstige Pilze von Wäldern (ActIn_2), Boden von Wäldern (ActIn_3) usw. eines jeden Flächenelements:

$$\text{ActIn}_j = I_j \cdot C_j \quad j = 1, \dots, 7 \quad (2.4)$$

j : Index des Nahrungsbestandteils

ActIn_j : Aktivitätszufuhr des Wildschweins ($\text{Bq} \cdot \text{d}^{-1}$) durch Aufnahme des Nahrungsbestandteils j

I_j : Nahrungsaufnahme des Nahrungsbestandteils j (in $\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$)

C_j : Spezifische Aktivität in $\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ von Nahrungsbestandteil j

Die gesamte Aktivitätsaufnahme $ActIn$ ergibt sich durch Summierung:

$$ActIn = ActIn_1 + ActIn_2 + ActIn_3 + ActIn_4 + ActIn_5 + ActIn_6 + ActIn_7 \quad (2.5)$$

Das vorgestellte Modell ist mit nur 3 generischen Nahrungsspektren bewusst einfach gehalten. Das Ziel war, die wesentlichen Prozesse abzubilden. Untergeordnete Prozesse, welche die Aussagekraft der Modellprognose nicht verbessern, sondern nur weitere Unsicherheiten einbringen, wurden bewusst nicht berücksichtigt.

2.1. 3.3 Worst-Case-Szenarien

Bei den Worst-Case-Szenarien wird die räumliche Verteilung der ^{137}Cs -Aktivität von Wildschweinen unter der Annahme pessimistischer, d. h. zu erhöhter Kontamination führender Modellparameterwerte berechnet. Für die Generierung von Worst-Case-Szenarien sind im Modell zwei Möglichkeiten der Berechnung programmiert: vorgegebenes Worst-Case-Szenario und nutzerdefiniertes Worst-Case-Szenario.

Vorgegebenes Worst-Case-Szenario: Es ist im radioökologischen Programm ein Modus „Worst Case“ implementiert, der auf der grafischen Benutzeroberfläche aktiviert werden kann. Dabei werden gegenüber der Standardberechnung die wichtigen Modellparameter Gesamtmenge der Nahrung pro Tag sowie der prozentuale Hirschtrüffelanteil der Nahrung erhöht, während alle anderen Modellparameter bei der Berechnung nicht verändert werden. Dadurch wird der ^{137}Cs -Input bei Wildschweinen vergrößert. Die Modellparameter im Worst-Case-Szenario I sind $1,8 \text{ kg}\cdot\text{d}^{-1}$ für die Nahrungsmenge und 10 % für den Anteil Hirschtrüffeln. Für Worst-Case-Szenario II erhöhen sich diese Werte auf $3 \text{ kg}\cdot\text{d}^{-1}$ und 20 %.

Nutzerdefiniertes Worst-Case-Szenario: In der Parameterdatei vorgegebene Modellparameterwerte werden auf der grafischen Benutzeroberfläche angezeigt und können dort vom Nutzer verändert werden. Die veränderbaren Modellparameterwerte sind: die Gesamtmenge der Nahrungsaufnahme je Tag und der Anteil von Hirschtrüffeln an der Nahrungsaufnahme. Der Nutzer hat dann die Möglichkeit, seinen Vorstellungen entsprechende Worst-Case-Szenarien berechnen zu lassen.

2.1 3.4 Berücksichtigung von Mastjahren

In bestimmten Jahren ernähren sich Wildschweine über einige Monate hinweg hauptsächlich von Bucheckern (z. B. im Bayerischen Wald), Maronen (z. B. im Pfälzer Wald) oder Eicheln. Dies führt regelmäßig zu einem deutlichen Abfall der ^{137}Cs -Kontamination der Wildschweine.

Zur Berücksichtigung dieser Mastjahre (wählbare Option) wird im Modell in den entsprechenden Monaten (zum Beispiel Oktober bis März) ausschließlich das Nahrungsspektrum für Mastjahre verwendet (s. Parameterdatei *parameters.txt*, Tabelle

C1 im Anhang C). Die standardmäßig benutzten Nahrungsspektren werden in diesen Monaten nicht berücksichtigt.

Das Nahrungsspektrum S_1 für Wald wird daher für die Monate der Mastjahre wie folgt abgeändert (Tabelle 7):

Tabelle 7: Nahrungsspektrum S_1 während der Mastmonate (Datenherkunft: Fielitz unveröffentlicht).

		Nahrungsspektrum S_1
	Landnutzung	Wald
	Nahrungsbestandteil	Relativer Anteil je Nahrungsbestandteil $\times 100$
1	Hirschtrüffeln	0
2	Waldboden	0
3	Sonstige Pflanzen im Wald	35
8	Eicheln	0 oder 65
9	Bucheckern	0 oder 65
10	Maronen	0 oder 65
	Summe	100

Ob im Wald Eicheln, Bucheckern oder Maronen vorkommen, ist in der Shape-datei der $3 \text{ km} \times 3 \text{ km}$ Flächenelemente angegeben.

Liegen die Mastjahre in der Vergangenheit, können Informationen zur Mast in der vom GIS verwendeten Shape-Datei angegeben werden (Jahr der Mast, Art der Mast). Bei Mastjahren, die in der Zukunft liegen, kann der Nutzer des GIS in der grafischen Benutzeroberfläche die Monate angeben, für die das veränderte Nahrungsspektrum zu verwenden ist, sowie die Gemeinden, in denen die Mast stattfindet, aus einer Liste auswählen.

Dabei wird die Mast-Berechnung nur für die Flächen durchgeführt, auf denen die Baumarten Buche, Marone oder Eiche vorkommen. Die digitalen Daten stammen aus der Access-Datenbank der Bundeswaldinventur. In der Abbildung 11 sind die Vorkommen von Buchen und Maronen dargestellt, wie sie als Datengrundlage im Rechenmodell Verwendung finden.

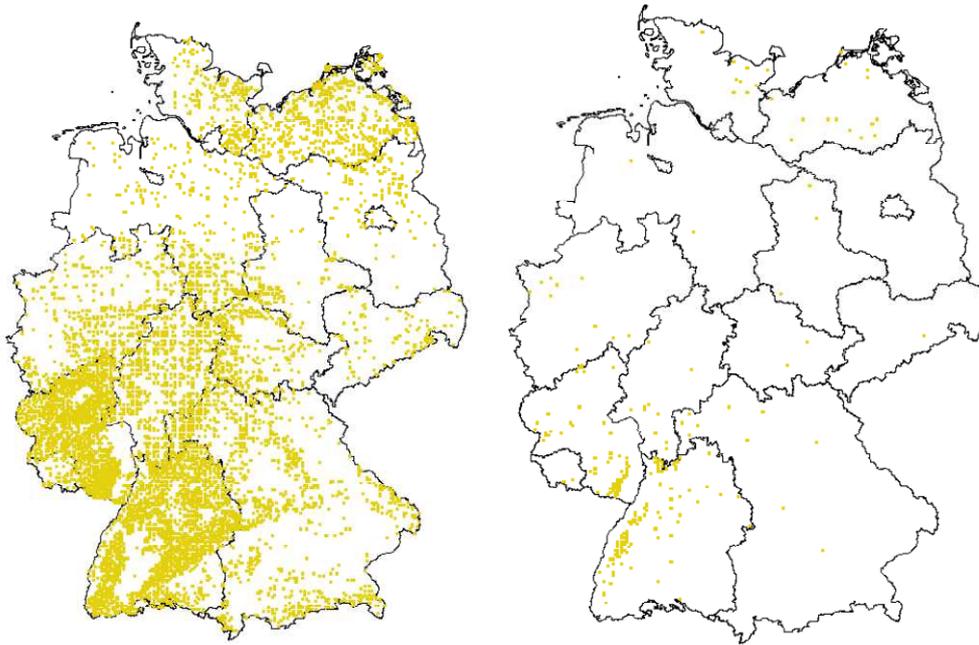


Abb. 11: Vorkommen von Buche (links) und Edelkastanie (Marone, rechts) in den 3 km x 3 km Flächenelementen

Die Kontamination der Früchte wird über das radioökologische Modell berechnet. Die den zeitlichen Verlauf betreffenden Parameter können in der Datei parameters.txt festgelegt werden.

2.1.4 Modellprogrammierung und Integration der Software in das GIS

Das geografische Informationssystem ArcView GIS 3.3 bietet die Möglichkeit, mit der auf ArcView zugeschnittenen Programmiersprache Avenue neue ArcView-Anwendungen zu entwickeln und ArcView nutzerorientiert anzupassen. Aus diesem Grund wurde Avenue verwendet, um die Ergebnisse des radioökologischen Modells in das geografische Informationssystem zu integrieren.

Avenue ist eine Programmiersprache, die auf die Bearbeitung von interaktiven Karten (Views), Thementabellen, Legenden usw. ausgerichtet ist, sich jedoch nicht zur Software-Entwicklung für komplexe wissenschaftliche Modelle eignet. Zur Programmierung des radioökologischen Modells wurde daher Visual Basic verwendet, eine objektorientierte Programmiersprache, die sich zur Entwicklung von grafischen Benutzeroberflächen (Graphical User Interface, GUI) eignet. Mit dieser objektorientierten Programmiersprache wurden auch die grafischen Benutzeroberflächen im GIS-Projekt realisiert. Die Integration des radioökologischen Modells in ArcView ist in der Abbildung 12 dargestellt.

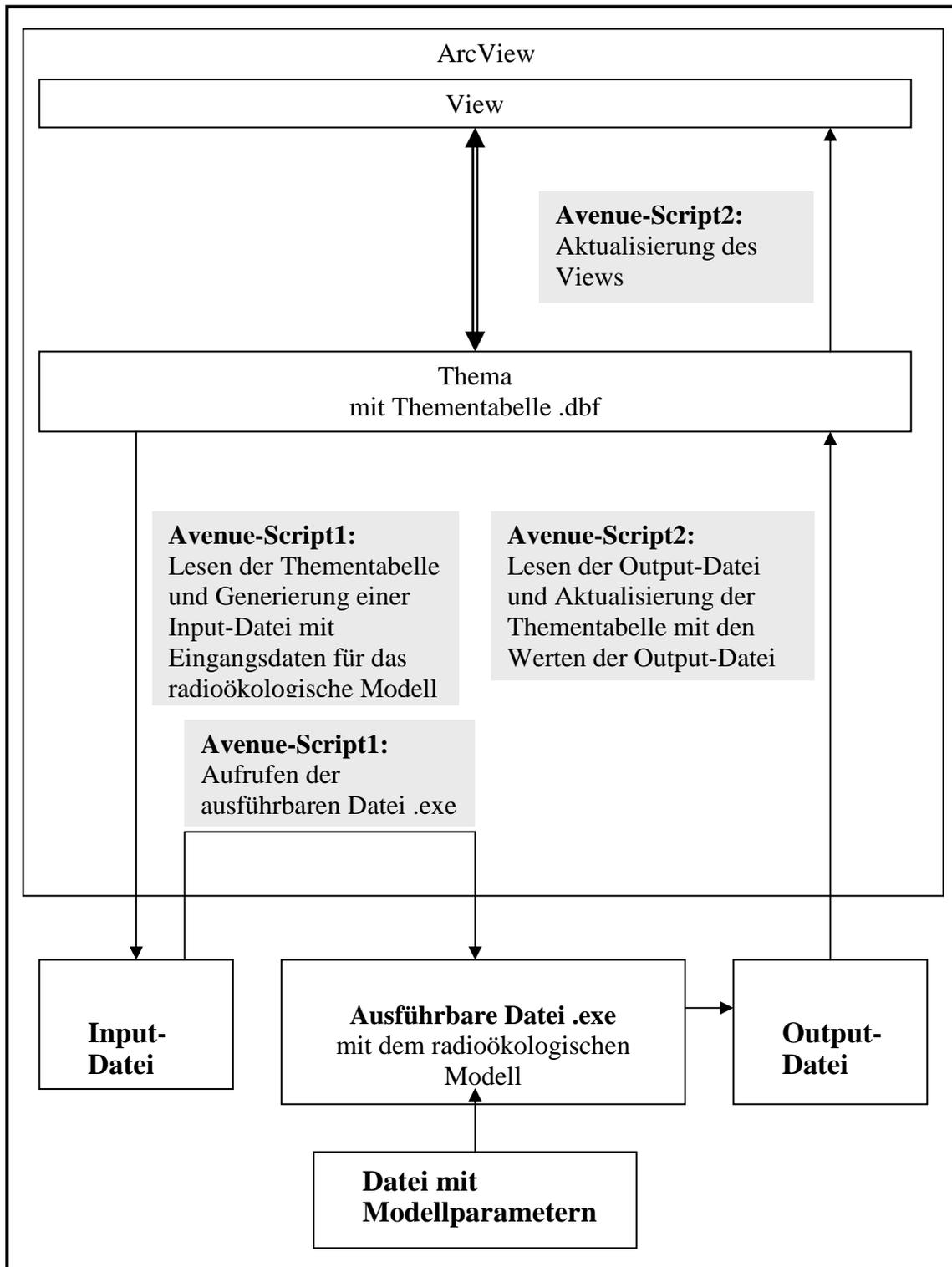


Abb. 12: Integration des radioökologischen Modells in das GIS

Mit Visual Basic wurde eine ausführbare Datei (.exe) des radioökologischen Modells generiert. Die Visualisierung der räumlichen Verteilung der ^{137}Cs -Kontamination von Wildschweinen erfolgte durch eine Shape-Datei, deren Thementabelle die folgenden Felder enthält (Tabelle 8).

Tabelle 8: Thementabelle für die Ein- und Ausgabeparameter der .exe-Datei zur Berechnung der ¹³⁷Cs-Kontamination von Wildschweinen

Feldname	Beschreibung	Eingabe-/Ausgabewerte für die ausführbare Datei (.exe)
Cs137	Deponierte Aktivität am 01. Mai 1986 in Bq m ⁻²	Eingabewerte
CLC	Landnutzung	Eingabewerte
COUNTW, COUNTL, COUNTG,	Angaben zur Gewichtung des Nahrungsspektrums (Wald, Landwirtschaft/Ackerfläche, Wiese)	Eingabewerte
Trueffel	Hirschtrüffel Vorkommen (ja/nein)	Eingabewerte
Cs137W	¹³⁷ Cs-Aktivität des Wildschweins zu einem vom Nutzer ausgewählten Zeitpunkt	Ausgabewerte des radioökologischen Modells

Zur Einbindung der ausführbaren Datei .exe in ArcView wird mit einem Avenue-Script eine Input-Datei mit Eingangsdaten für das radioökologische Modell erstellt (z. B. die Werte des Feldes „Cs137“ mit der räumlichen Verteilung der flächenbezogenen ¹³⁷Cs-Aktivität am 01. Mai 1986). Die ausführbare Datei .exe wird anschließend von diesem Avenue-Script aufgerufen und es erscheint eine Oberfläche, in die vom Nutzer z. B. der Zeitpunkt eingegeben werden kann, für den die Kontamination der Wildschweine berechnet werden soll. Letztere wird mit einem weiteren Avenue-Script in die Thementabelle geschrieben (Feld „Cs137W“) und das View aktualisiert.

Zur Ausführung des Programms werden eine Parameterdatei und eine Input-Datei benötigt. Die Parameter des radioökologischen Modells sind in der Datei parameters.txt abgelegt, die im Anhang C, Tabelle1 angegeben ist. Sie enthält:

- Depositionsdatum
- Physikalische Halbwertszeit
- Transferfaktor Nahrung → Wildschwein
- Biologische Halbwertszeit
- Transfer- bzw. Wichtungsfaktor Boden → Nahrungsbestandteil
- Migrationsraten, Fixierungsraten und Desorptionsraten
- Verzehrrate und Massenanteile der Nahrungskategorien für verschiedene Nahrungsspektren

Herkunft der Daten: Migrationsraten aus Fielitz (2005), Bodendichten von Ackerflächen und Dauergrünland: Müller & Pröhl (1993), Dichte Waldboden: Fielitz (2005). Die

Daten zu Nahrungsspektren sind ortsabhängig, da sie von der Zusammensetzung der 3 km x 3 km Flächenelemente bestimmt werden.

Die ausführbare Datei (.exe) wird anschließend von diesem Avenue-Script aufgerufen. Für den Nutzer erscheint jetzt auf dem Desktop ein Eingabefeld, in dem z. B. der Zeitpunkt und der Ort eingegeben werden können, für den die ^{137}Cs -Aktivität der Wildschweine berechnet werden soll. Mit einem weiteren Avenue-Script wird die von der ausführbaren Datei ausgegebene und in einer Output-Datei gespeicherte ^{137}Cs -Aktivität der Wildschweine in die Themen-Tabelle geschrieben (Feld „Cs137W“) und der View aktualisiert.

Die Skript-Ausführungen können über neu generierte Buttons in der Symbolleiste der ArcView-Oberfläche gestartet werden. Hat der Nutzer nach Ausführung der Skripts das View aktualisiert, kann er mit ArcView die Shape-Datei mit den berechneten Werten für die Aktivität von Wildschweinen wie gewohnt unter einem anderen Namen speichern (Thema > in Shape Datei umwandeln).

Das Modells arbeitet in ArcView unter den folgenden Annahmen:

- Es gibt Flächenelemente ohne Zeitverlauf, sonstige Flächen, auf denen weder Wald noch landwirtschaftliche Flächen vorhanden sind, weil angenommen wird, dass Wildschweine hier kein Futter suchen.
- Die Wichtung der Nahrungsspektren erfolgt nach der Anzahl der 1 km x 1 km Gitterzellen (gemäß CORINE Landnutzung) in den 3 km x 3 km Flächenelementen. Beispiel: Enthält ein Flächenelement 4 x Wald und 3 x Landwirtschaft und 2 x sonstige Flächen, wird das Nahrungsspektrum Wald mit 4/7 und das Nahrungsspektrum Landwirtschaft mit 3/7 gewichtet.

Die Input-Datei **input.txt** wird von ArcView bereitgestellt. Sie enthält mehrere Spalten: eine Spalte mit den Werten der Aktivitätsflächenkonzentration zum Bezugszeitpunkt in $\text{Bq}\cdot\text{m}^{-2}$ und weitere Spalten mit Angaben über Hirschtrüffelvorkommen, Bodenkategorie (Anteil Wald bzw. landwirtschaftliche Flächen) und Bodenart. Die Anzahl der Zeilen dieser Datei entspricht der Anzahl der Elemente (Polygone) der Shape-Datei, die zur Darstellung der ^{137}Cs -Aktivität von Wildschweinen verwendet wird.

Das Programm erzeugt eine Output-Datei **output.txt**, welche die Werte für die räumliche Verteilung der ^{137}Cs -Kontamination von Wildschweinen zu einem vom Nutzer spezifizierten Zeitpunkt enthält. Die Datei enthält daher nur eine Spalte, wobei die Anzahl der Zeilen wieder der Anzahl der Elemente der Shape-Datei entspricht.

2.2 Ergebnisse

2.2.1 Installation der Software

Für die Berechnung und Darstellung der ^{137}Cs -Kontamination von Wildschweinen wurde das ArcView-Projekt EcoWild.apr entwickelt. Die Software ist weitestgehend selbsterklärend. Um EcoWild.apr in Hauptordner FV5461 aufrufen und damit korrekt arbeiten zu können, müssen sich die Shape- und Eingabe-Textdateien in den vorgesehenen Verzeichnissen befinden:

<i>EcoWild.apr</i>	C:\FV4561
<i>d_3kmz.shp</i>	C:\FV4561\EcoWild
<i>municipi32.shp</i>	C:\FV4561\EcoWild
<i>region32.shp</i>	C:\FV4561\EcoWild
<i>parameters.txt</i>	C:\FV4561\EcoWild
<i>input.txt</i>	C:\FV4561\EcoWild
<i>Gemeinden_alphabetisch.txt</i>	C:\FV4561\EcoWild

2.2.2 Die Benutzeroberflächen in EcoWild.apr

Die Modellrechnungen zur ^{137}Cs -Kontamination von Wildschweinen werden in ArcView über die Eingabe- und Befehlsfelder von Benutzeroberflächen gesteuert, die jeweils durch eine Werkzeug-Schaltfläche aufgerufen werden. Wenn das Projekt EcoWild.apr in ArcView geöffnet wird, erscheint das View1. Die Standard-Werkzeugleiste wurde um 3 Schaltflächen erweitert, die grün unterlegt sind (Abbildung 13).

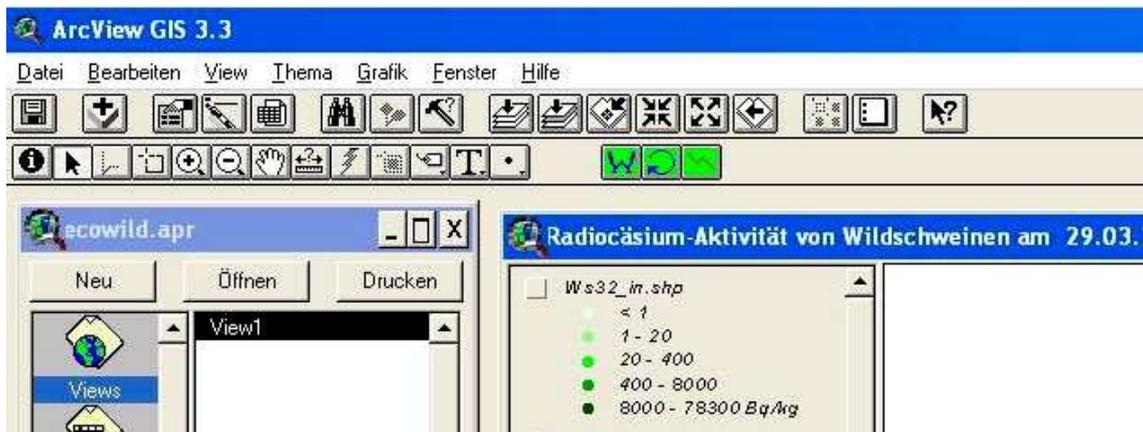


Abb. 13: Teilansicht des geöffneten ArcView-Projekts EcoWild.apr, grün dargestellt sind die Schaltflächen zur Berechnung der ^{137}Cs -Kontamination von Wildschweinen

Mit diesen drei Werkzeug-Schaltflächen lassen sich die Modellrechnungen zu der ^{137}Cs -Kontamination von Wildschweinen starten. Dargestellt werden der berechnete Höchstwert der Radiocäsiumkontamination als Text, eine Karte mit der räumlichen Verteilung und ein Zeitdiagramm der Kontamination für einen ausgewählten Ort.

2.2.2.1 Die Werkzeug-Schaltfläche „GUI“

Der Aufruf der grafischen Benutzeroberfläche (GUI) des Programms erfolgt mit der ersten Werkzeug-Schaltfläche (Abbildung 14).

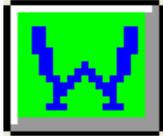


Abb. 14: Werkzeug-Schaltfläche GUI

Nach Anklicken dieser Schaltfläche erscheint die grafische Benutzeroberfläche (Abbildung 14a). Mit diesem Werkzeug wird die radioaktive Kontamination für ganz Deutschland auf einem Gitter mit 3 km x 3 km Flächenelementen berechnet.



Abb. 14a: Grafische Oberfläche nach Anklicken der Werkzeug-Schaltfläche GUI

Der Zeitpunkt, für den die räumliche Verteilung der radioaktiven Kontamination der Wildschweine berechnet werden soll, wird im oberen Textfeld eingegeben (Abbildung 14b).



Abb. 14b: Eingabe des Bezugsdatums der Rechnung in GUI

Mit der Schaltfläche „Start“ wird die Berechnung für den Bezugszeitpunkt gestartet (Abbildung 14c). Es wird die Wildschweinkontamination für alle 3 km x 3 km Flächenelemente und alle Gemeinden berechnet. Der zum Bezugszeitpunkt höchste Wert der Wildschweinkontamination bei den Flächenelementen, die eine Gemeindefläche berühren, wird als Wildschweinkontamination dieser Gemeinde zugewiesen (Standardberechnung).



Abb. 14c: Startbutton für die Berechnung in GUI

Die Ortsauswahl bestimmt den Zoom, der nach der Berechnung der Wildschweinkontamination mit der Werkzeug-Schaltfläche „Refresh“ ausgeführt wird. Es können alle Bundesländer, d. h. ganz Deutschland, einzelne Bundesländer oder eine oder mehrere Gemeinden ausgewählt werden (Abbildungen 14d und 14e).

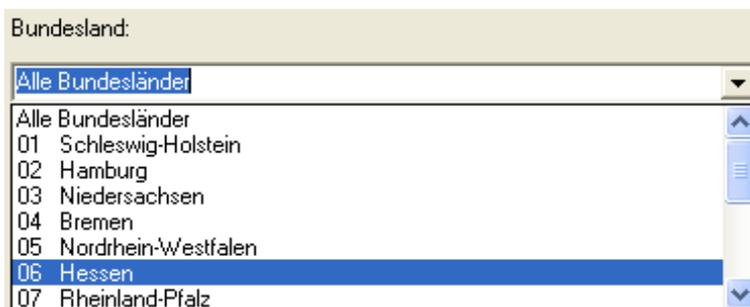


Abb. 14d: Auswahl eines Bundeslandes in GUI



Abb. 14e: Auswahl einer Gemeinde in GUI

2.2.2.1.1 Berücksichtigung von Mastjahren

Bei der Mast fressen Wildschweine besonders Waldfrüchte, die im Allgemeinen niedriger kontaminiert sind als die Nahrung aus Wäldern, die sie sonst aufnehmen. Der Zeitraum der Mast kann in EcoWild.apr vom Benutzer optional unter dem Reiter „Extras“ gewählt werden und ist auf 6 Monate beschränkt (Abbildung 15).

2.2.2.1.2 Berücksichtigung von Worst-Case-Szenarien

Die grafische Benutzeroberfläche für die Berechnung von Worst-Case-Szenarien ist ebenfalls in der Abbildung 15 wiedergegeben. Es kann zwischen zwei vorgegebenen Worst-Case-Szenarien ausgewählt werden. Außerdem besteht die Möglichkeit, ein benutzerdefiniertes Szenario zu erstellen. Folgende Parameter werden bei den Szenarien verändert:

- Nahrungsaufnahme je Tag in $\text{kg}\cdot\text{d}^{-1}$
- Prozentualer Anteil der Hirschtrüffel an der Nahrungsaufnahme

The screenshot shows a software interface for calculating radiocesium activity. The window title is "Radioökologisches Modell: Spezifische Radiocäsium-Aktivität von Wildschweinen". It features two tabs: "Zeitpunkt und Ort" and "Extras". Under "Zeitpunkt und Ort", there is a section for "Mast (Buheckern, Eicheln, Maronen)" with a checkbox "Mast von" and date pickers for "08.2010" and "11.2010" followed by "MM.JJJJ". Under "Extras", there is a section for "Worst-Case-Szenarien" with three radio buttons: "Szenario #1:", "Szenario #2:", and "Benutzerdefiniert:". "Szenario #1:" has "Nahrungsaufnahme: 1.8 kg/d" and "Anteil Hirschtrüffelaufnahme: 10%". "Szenario #2:" has "Nahrungsaufnahme: 3.0 kg/d" and "Anteil Hirschtrüffelaufnahme: 20%". "Benutzerdefiniert:" has "Nahrungsaufnahme: 1.8 kg/d" and "Anteil Hirschtrüffelaufnahme: 5.5 %". There is a "Zurücksetzen" button below the scenarios. At the bottom of the window are "Start" and "Beenden" buttons.

Abb. 15: Benutzeroberfläche zur Berechnung von Mastjahren und Worst-Case-Szenarien in GUI

Die Anteile der übrigen Nahrungskategorien sind bei diesen Szenarien so gewichtet, dass in der Summe wieder 100 % der Nahrungsmenge erreicht werden. Die Parameterdateien, die zu den jeweiligen Szenarien gehören, sind:

- parameters_worstcase1.txt
- parameters_worstcase2.txt
- parameters_worstcase.txt

Die ersten zwei Dateien sind fest vorgegeben. Die Datei parameters_worstcase.txt enthält die Parameter für das benutzerdefinierte Szenario und wird neu erstellt, wenn diese Option ausgewählt wird. Nach Anklicken von „Start“ wird mit diesen

Parameterwerten die radioaktive Kontamination der Wildschweine für die 3 km x 3 km Flächenelemente und die Gemeinden bestimmt.

2.2.2.2 Die Werkzeug-Schaltfläche „Refresh“

Die Aktualisierung der ArcView-Ansicht (View1) wird mit der zweiten Werkzeug-Schaltfläche durchgeführt (Abbildung 16).

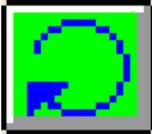


Abb. 16: Werkzeug-Schaltfläche Refresh

Durch die Aktualisierung (Refresh) werden die für den Berechnungszeitpunkt ermittelten Werte der radioaktiven Kontamination der Wildschweine in die Tabelle der Shapedatei mit den 3 km x 3 km Flächenelementen (d_3kmz.sh) und in die Tabelle der Shapedatei mit den Gemeinden (munici32.shp) geschrieben. Die räumliche Verteilung der radioaktiven Kontamination der Wildschweine wird im View dargestellt. Wurde eine Ortsauswahl getroffen, wurden zum Beispiel einzelne Gemeinden ausgewählt, erfolgt ein Zoom in das ausgewählte Gebiet.

2.2.2.3 Die Werkzeug-Schaltfläche „Zeitverlauf“

Die dritte Werkzeug-Schaltfläche dient dazu, den Zeitverlauf der Kontamination der Wildschweine in einem ArcView-Layout darzustellen (Abbildung 17):

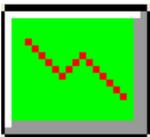


Abb. 17: Werkzeug-Schaltfläche Zeitverlauf

Nach Aufrufen dieser Schaltfläche kann der Ort, für den der Zeitverlauf dargestellt werden soll, im View ausgewählt werden, wozu mit dem Cursor auf ein Flächenelement in der Karte geklickt wird (Funktion wie das Identifizieren-Werkzeug „i“ bei ArcView). Nach kurzer Zeit erscheinen das ArcView-Layout mit dem Zeitverlauf für das ausgewählte 3 km x 3 km Flächenelement und der Name der Gemeinde.

2.2.3 Die Textdateien in EcoWild.apr

Die ausführbare Datei EcoWild.exe benötigt Eingabedateien im Textformat und erzeugt Ausgabedateien, die im ArcView-Projekt verarbeitet werden.

Eingabedateien:

<i>parameters.txt</i>	Modellparameter für das radioökologische Modell
<i>parameters_worstcase1.txt</i>	Modellparameter für zwei Worst-Case-Szenarien

<i>parameters_worstcase2.txt</i>	Modellparameter für ein benutzerdefiniertes Szenario (wird von EcoWild.exe selbst erstellt)
<i>parameters_worstcase.txt</i>	
<i>input.txt</i>	Koordinaten des Mittelpunkts der 3 km x 3 km Flächenelemente, deponierte ¹³⁷ Cs-Aktivität in Bq•m ⁻² zum Startzeitpunkt 01.05.1986, Index des Nahrungsspektrums, Index der Bodenart und Index Hirschtrüffelvorkommen (Datei wird von zScript1 erstellt)
<i>Gemeinden_alphabetisch.txt</i>	Amtlicher Gemeindegeschlüssel und Gemeindegennamen in alphabetischer Reihenfolge, Indizes der 3 km x 3 km Flächenelemente, die die Gemeindefläche berühren
Ausgabedateien:	
<i>output.txt</i>	Kontamination der Wildschweine in Bq•kg ⁻¹ für die 3 km x 3 km Elemente zum Bezugszeitpunkt
<i>moutput.txt</i>	Kontamination der Wildschweine in Bq•kg ⁻¹ für die Gemeinden zum Bezugszeitpunkt. Der Wert ist der Höchstwert der Kontamination der Flächenelemente, die die jeweilige Gemeinde berühren
<i>Ortsauswahl.txt</i>	Amtlicher Gemeindegeschlüssel und Gemeindegennamen der im GUI ausgewählten Gemeinden bzw. ausgewähltes Bundesland
<i>Zeitverlauf.txt</i>	Depositionszeitpunkt, Zeitpunkte (Anzahl der Tage nach dem Depositionszeitpunkt) und radioaktive Kontamination der Wildschweine in Bq•kg ⁻¹ für die 3 km x 3 km Flächenelemente zu den Zeitpunkten
<i>lmax.txt</i>	Index des 3 km x 3 km Flächenelements, das zum Bezugszeitpunkt für das in GUI unter „Ortsauswahl“ ausgewählte Gebiet die höchste radioaktive Kontamination der Wildschweine aufweist

Im Folgenden sind Beispiele dargestellt:

Gemeinden_alphabetisch.txt

```

09675111      Abtswind      # 11633 ; 11634 ; 11777 ; 11778 ; 11779 ; 11921 ;
07133001      Abtweiler     # 11421 ; 11567 ; 11568 ;
08436001      Achberg      # 305 ; 306 ; 396 ; 397 ; 503 ; 504 ;
08317001      Achern       # 5156 ; 5157 ; 5158 ; 5159 ; 5162 ; 5294 ; 5295 ; 52
03361001      Achim        # 32940 ; 32941 ; 32942 ; 32943 ; 33096 ; 33097 ; 330
03158001      Achim        # 26867 ; 26868 ; 26869 ; 27052 ; 27053 ; 27054 ; 272
09276111      Achslach     # 7405 ; 7406 ; 7544 ; 7545 ; 7546 ; 7691 ; 7692 ; 76
08426001      Achstetten  # 3424 ; 3425 ; 3426 ; 3554 ; 3555 ; 3556 ; 3686 ; 36
07137001      Acht         # 14960 ; 14961 ; 15106 ;
07134002      Achteilsbach # 10812 ; 10813 ; 10961 ; 10962 ; 10963 ; 11111 ;
01058001      Achterwehr   # 39637 ; 39638 ; 39639 ; 39640 ; 39720 ; 39721 ; 397

```

- Spalte #1: Amtlicher Gemeindegeschlüssel
- Spalte #2: Gemeindegennamen
- Spalte #3: Indizes der 3 km x 3 km Flächenelemente, die die Gemeindefläche berühren

input.txt

602500	5.2475e+006	22986	3	6	4	3	0
605500	5.2475e+006	23958	0	1	4	3	0
608500	5.2475e+006	22987	0	0	3	3	0
581500	5.2505e+006	25673	7	0	3	3	0
584500	5.2505e+006	24265	6	3	3	3	0
587500	5.2505e+006	25951	8	1	3	3	0
590500	5.2505e+006	27080	8	1	3	3	0
593500	5.2505e+006	26067	5	4	3	3	0
596500	5.2505e+006	28623	0	7	4	3	0
599500	5.2505e+006	26156	3	6	4	3	0
602500	5.2505e+006	26960	1	8	4	3	0

Spalte #1: X-Koordinate des Mittelpunkts des 3 km x 3 km Flächenelements
Spalte #2: Y-Koordinate des Mittelpunkts des 3 km x 3 km Flächenelements
Spalte #3: Deponierte Aktivität zum Bezugszeitpunkt (1.5.86) in Bq•m⁻²
Spalte #4: Anzahl der 1 km x 1 km CORINE-Gitterzellen im 3 km x 3 km Flächenelement mit Landnutzungsart „W“
Spalte #5: Anzahl der 1 km x 1 km CORINE-Gitterzellen im 3 km x 3 km Flächenelement mit Landnutzungsart „L“
Spalte #6: Index des dominierenden Nahrungsspektrums
Spalte #7: Index Bodenart = 3
Spalte #8: Index Hirschtrüffel = 0 (kein Hirschtrüffelvorkommen) oder 1 (Hirschtrüffelvorkommen)

2.2.4 Die Shapedateien in EcoWild.apr

Für die Modellrechnungen mit EcoWild.apr werden die folgende Shapedateien benötigt:

d_3kmz.shp Shapedatei mit 3 km x 3 km Flächenelementen. Die Tabelle der Shapedatei enthält u.a. ein Feld Cs137W mit Werten der radioaktiven Kontamination der Wildschweine. Dieses Feld wird nach Anklicken der Werkzeug-Schaltfläche „Refresh“ aktualisiert.

munici32.shp Shapedatei mit den Gemeinden in Deutschland. Die Tabelle der Shapedatei enthält u.a. ein Feld Cs137W mit Werten der radioaktiven Kontamination der Wildschweine. Dieses Feld wird nach Anklicken der Werkzeug-Schaltfläche „Refresh“ aktualisiert.

region32.shp Shapedatei mit den deutschen Bundesländern

tr32.shp Shapedatei (Punkte) mit Fundorten von Hirschtrüffeln

ws32.shp Shapedatei (Punkte) mit Messwerten der radioaktiven Kontamination von Wildschweinen

2.2.5 Das Schema des ArcView-Projekts

In der Abbildung 18 sind das Schema des Programmablaufs nach Anklicken der Werkzeug-Schaltflächen sowie die Textdateien, die als Eingabe- und Ausgabedateien dienen, gezeigt.

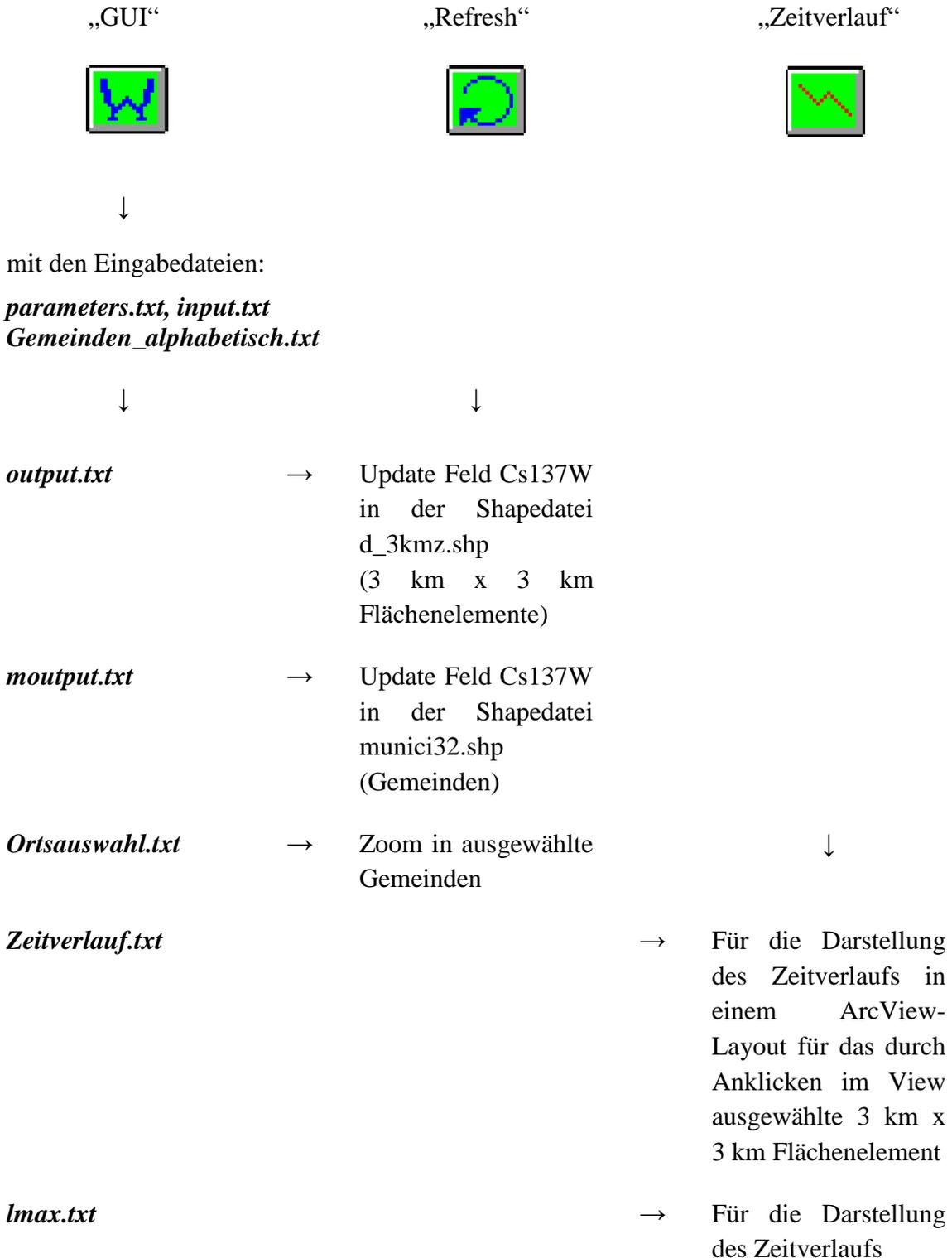


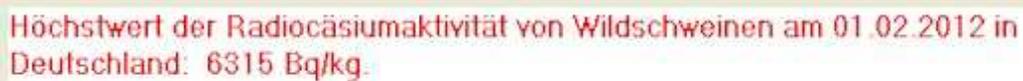
Abb. 18: Schematische Darstellung der Programmabläufe nach Anklicken der Werkzeug-Schaltflächen sowie der Eingabe- und Ausgabedateien

2.2.6 Darstellung der Ergebnisse

Die Ergebnisse, d. h. die berechneten Werte der radioaktiven Kontamination der Wildschweine, werden in EcoWild.apr wie folgt dargestellt.

2.2.6.1 Wildschwein-Kontamination als Text

Der Höchstwert der radioaktiven Kontamination der Wildschweine im ausgewählten Gebiet (alle Bundesländer, Bundesland oder Gemeinde) zum Bezugszeitpunkt wird als Text auf der grafischen Benutzeroberfläche angezeigt. Ein Beispiel ist in Abbildung 19 gezeigt.



Höchstwert der Radiocäsiumaktivität von Wildschweinen am 01.02.2012 in Deutschland: 6315 Bq/kg.

Abb. 19: Beispiel für die Textdarstellung des Höchstwertes der ^{137}Cs -Kontamination von Wildschweinen in Deutschland (Standardberechnung, Empirisches Bodenmodell = Soilmodel 23)

Dieser Höchstwert ist das Ergebnis der Standardberechnung. Wenn auf der Benutzeroberfläche unter dem Menüpunkt Extras (s. Abbildung 15) für die kartografische Darstellung der Wildschwein-Kontamination die Worst-Case-Szenarien ausgewählt werden, ergeben sich höhere Werte. Für das Szenario 2, das eine Futteraufnahme von $3 \text{ kg}\cdot\text{d}^{-1}$ und einen Anteil von 20 % Hirschtrüffeln vorsieht, resultiert eine ^{137}Cs -Höchstkontamination von $43.536 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ bei Wildschweinen in ganz Deutschland (Berechnungszeitpunkt Februar 01.02.2012).

2.2.6.2 Kartografische Darstellung der Wildschwein-Kontamination

Die räumliche Verteilung der radioaktiven Kontamination der Wildschweine zum Bezugszeitpunkt wird als Karte in einem View sowohl für die $3 \text{ km} \times 3 \text{ km}$ Flächenelemente als auch auf Gemeindeebene dargestellt. Einer Gemeinde wird der Wert des Flächenelements zugeordnet, das den höchsten Wert der radioaktiven Kontamination der Wildschweine aufweist. Die Abbildung 20 zeigt ein Beispiel.

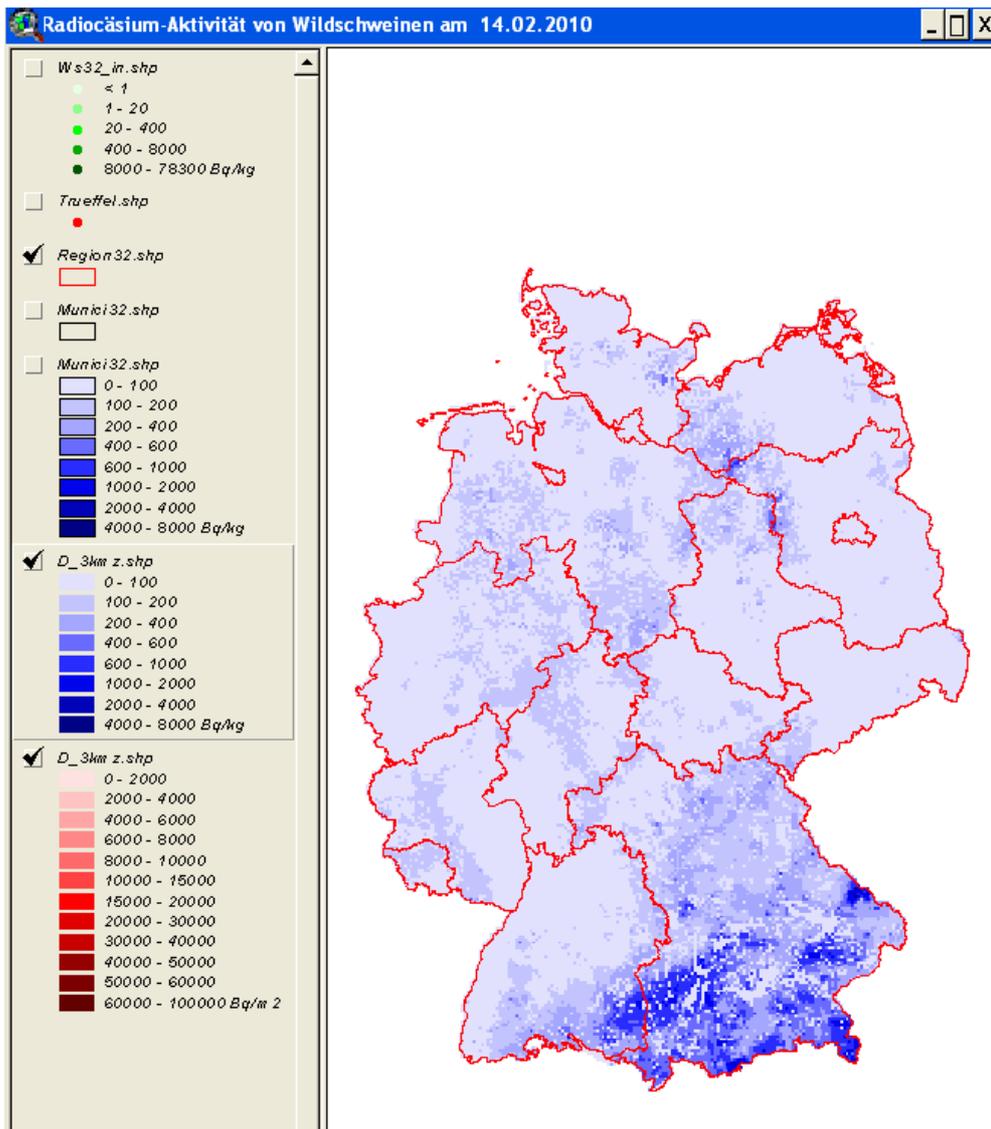


Abb. 20: Kartografische Darstellung der Ergebnisse der Modellrechnung zur Radiocäsiumkontamination nach Gemeinden

2.2.6.3 Wildschwein-Kontamination als Zeitverlauf

Das radioökologische Modell liefert zudem eine Grafik zur zeitlichen Entwicklung der ^{137}Cs -Aktivität von Wildschweinen für ausgewählte Orte (Abbildung 14a). Der Zeitverlauf wird als Grafik in einem ArcView-Layout dargestellt. Neben dem Zeitverlauf wird außerdem eine blaue Linie angezeigt, die den Grenzwert von $600 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ darstellt. Die Abbildung 21 zeigt den Zeitverlauf der Radiocäsiumkontamination von Wildschweinen aus Bodenmais von 1986 bis 2050.

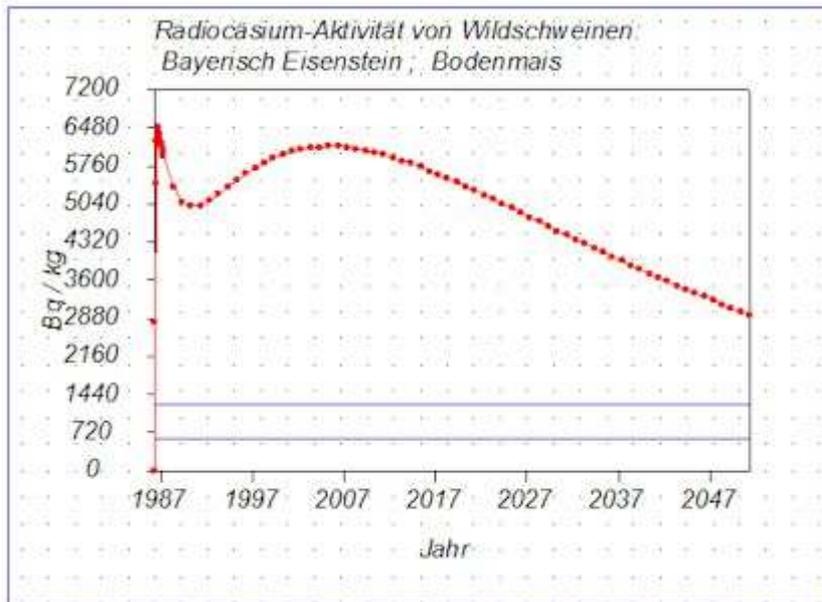
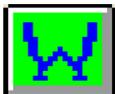


Abb. 21:
Darstellung der
Modellrechnung zur
Radiocäsiumkonta-
mination als
Zeitverlauf für die
Gemeinde Bayerisch
Eisenstein

2.2.7 Die ArcView-Skripte

Zu jeder Werkzeug-Schaltfläche gehört ein ArcView-Skript, das nach Auswahl der Werkzeug-Schaltfläche in ArcView ausgeführt wird. Im Folgenden sind die Skripte mit ihren wesentlichen Funktionen aufgeführt:



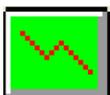
zScript1

Erzeugung der Textdatei input.txt mit der auf den 3 km x 3 km Flächenelementen deponierten Aktivität, Aufruf der ausführbaren Datei EcoWild.exe



zScript2

Update der Felder Cs137W in den Shapedateien d_3kmz.shp und munici32.shp, Update des Views, Zoom in die im GUI ausgewählte Gemeinde oder in das im GUI ausgewählte Bundesland



zScript3

Bestimmung des 3 km x 3 km Flächenelements durch Anklicken im View, Erzeugung eines Layouts und Darstellung des Zeitverlaufs in diesem Layout

Die Skripte können im ArcView-Projekt eingesehen werden.

3 Arbeitspaket 3: Validierung der Kontaminationskarte

3.1 Material und Methoden

Das Ziel dieses Arbeitspakets war die Validierung der prognostizierten ortsspezifischen ^{137}Cs -Kontamination von Wildschweinen durch stichprobenartige Messungen des Muskelfleisches in fünf ausgesuchten, bisher nicht systematisch beprobten Gebieten. In jedem Untersuchungsgebiet wurde von ca. 60 Wildschweinproben die ^{137}Cs -Aktivität bestimmt.

Für die Validierung war ursprünglich geplant, die realen ^{137}Cs -Messwerte mit den Werten zu vergleichen, die mit EcoWild für den jeweiligen Erlegungsort (bzw. das betreffende Flächenelement) eines Wildschweins berechnet werden. Zur Erinnerung: In EcoWild wird die ^{137}Cs -Aktivität von Wildschweinen für Flächenelemente mit der Größe von $3\text{ km} \times 3\text{ km}$ berechnet. Mit ArcView wurde deshalb unter Verwendung der Programmiersprache Avenue ein Skript erstellt, mit dem das Polygon identifiziert wird, in das der Ort des Abschusses fällt.

Leider konnten 2011 aus organisatorischen Gründen keine geografischen Koordinaten für die Erlegungsorte der Wildschweine beschafft werden, weshalb für die geplante, ortsgenaue Validierung nicht genügend Datensätze zur Verfügung standen. Deshalb wurden für die Validierung der Kontaminationskarte die gemessenen und im Modell berechneten spezifischen ^{137}Cs -Aktivitäten der Wildschweine anhand der Mittelwerte, der Mediane und der Streuung der Messwerte verglichen. Des Weiteren wurde zum Vergleich von Messung und Modell die folgende Größe verwendet:

$$M_i = \left| \frac{\mu_{\text{Messung}} - \mu_{\text{Modell}}}{\mu_{\text{Messung}}} \right| \quad (2.6)$$

μ Mittelwert für das betrachtete Modellgebiet

M_i Kenngröße für Modellgebiet i

3.1.1 Auswahl der Untersuchungsgebiete

Für die Beprobung wurden die folgenden Gebiete ausgewählt:

- Göhrde (Niedersachsen)
- Hochharz (Niedersachsen)
- Arnsberg (Nordrhein-Westfalen)
- Ohrdruf (Thüringen)
- Schönbrunn (Thüringen)

Die Auswahl erfolgte aufgrund der in AP1 erstellten Karte zur ^{137}Cs -Aktivität im Boden und weiteren kontaminationsbestimmenden Faktoren. In jedem Gebiet ist die Bodenkontamination so hoch, dass bei Wildschweinen als Maximalwert ein zwei- oder dreistelliger ^{137}Cs -Messwert pro Kilogramm Muskelfleisch zu erwarten ist. Aufgrund

der Boden- und Waldverhältnisse sollten Hirschtrüffeln vorkommen und auch eine Baumstamm möglich sein.

Bisher lagen keine Informationen vor, ob sich die beiden häufigsten Hirschtrüffelarten *Elaphomyces granulatus* und *Elaphomyces muricatus* hinsichtlich der ^{137}Cs -Kontamination unterscheiden. Deshalb wurden repräsentative Proben beider Spezies und zusätzlich zur Bestimmung von Transferfaktoren auch Bodenproben entnommen und gamma-spektrometrisch gemessen.

3.1.2 Probenahme und Probenaufbereitung

Hirschtrüffeln: Hirschtrüffeln wurden in jedem Untersuchungsgebiet in Flächenelementen mit vergleichbarer ^{137}Cs -Bodenkontamination (Inventar) gesucht um die Daten gebietsübergreifend vergleichen zu können. Infrage kamen Wühlstellen von Wildschweinen oder andere Plätze, die aufgrund einer Merkmalskombination aus verschiedenen Standortbedingungen geeignet waren. Dort wurden im Radius von 100 m wenn möglich 5 verschiedene Hirschtrüffelaufsammlungen gesucht, davon jeweils 2 Hirschtrüffeln entnommen und zu einer Mischprobe vereinigt (1 Mischprobe = 10 einzelne Hirschtrüffeln).

In den Arbeitsjahren 2009/2010 und 2010/2011 wurden in 5 Untersuchungsgebieten jeweils 10 Mischproben *Elaphomyces granulatus* entnommen, um die ^{137}Cs -Aktivität der Hirschtrüffeln in einem Gebiet möglichst repräsentativ zu erfassen. Darüber hinaus wurden, um eventuelle Unterschiede im Radiocäsiumtransfer bei *Elaphomyces granulatus* und *Elaphomyces muricatus* festzustellen, in den 5 Untersuchungsgebieten jeweils zusätzlich 3 Mischproben *Elaphomyces muricatus* entnommen.

Die Hirschtrüffeln wurden bis in 22 cm Bodentiefe gefunden. Die Lage im Boden wurde vermessen und die Trüffelart bestimmt. Hirschtrüffeln wurden im frischen Zustand gemessen, weshalb sich die Aktivitätsangaben immer auf $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ Frischsubstanz (FS) beziehen.

Boden: Um Transferfaktoren für den Übergang von Radiocäsium Boden \rightarrow Hirschtrüffel zu berechnen, wurden an den Fundstellen von Hirschtrüffeln jeweils drei Mischproben Boden entnommen. Bei jedem 1., 3. und 5. Fund wurde der Boden in einem Radius von 3 cm um die Hirschtrüffeln entnommen und genau wie bei den Hirschtrüffeln zu einer Mischprobe vereinigt (die Ektomykorrhiza der Hirschtrüffeln ist ein Short-Distance-Explorationstyp, siehe Kap. 1.2.5.2).

Das Probenmaterial wurde in Polyäthylenbeuteln aufbewahrt und bei Standardbedingungen (105 °C) getrocknet. Anschließend wurde es durch ein Sieb mit 2 mm Maschenweite gesiebt, der Feinboden und der auf dem Sieb verbliebene Skelettanteil gewogen und Letzterer danach verworfen. Zur Aktivitätsbestimmung wurde der Feinboden pulverisiert und in 500 ml bzw. 120 ml Messbecher eingewogen. Die Aktivitätsangaben bei Boden beziehen sich immer auf $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ Trockensubstanz (TS).

Wildschwein: Die Muskelfleischproben der Wildschweine wurden direkt nach einer Jagd vom Personal des Forstamtes entnommen. Die Proben stammten immer vom

Unterarm (Musculus flexor digitorum superficiales/profundus) und wurden bis zum Versand an das Messlabor tiefgefroren. Die Versendung der Proben erfolgte per Schnelldienst.

Im Labor wurde das Muskelfleisch von anhaftenden Sehnen und Fett befreit, homogenisiert und in 120 ml Messbecher eingewogen. Die Aktivitätsangaben bei Wildschweinen beziehen sich immer auf $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ Frischsubstanz (FS).

3.1.3 Aktivitätsbestimmung

Die Aktivitätsmessungen der Proben wurden im **Labor für Radioisotope am Institut für Forstbotanik der Universität Göttingen** durchgeführt. Die Messungen erfolgten an zwei Standard-Reinstgermanium-Detektoren, zusätzlich wurde während des gesamten Untersuchungszeitraums ein Reinstgermanium-Bohrloch-Detektor verwendet.

Gemessen wurde die Aktivität von ^{137}Cs . Als Messgefäße dienten handelsübliche Plastikbecher. Das Messvolumen betrug, je nach vorhandener Probemenge 500 ml, 180 ml, 120 ml oder 10 ml. Für die verschiedenen Messvolumina wurde die Nachweiswahrscheinlichkeit durch Kalibrierung der Anlage mit einer 8-Nuklide-Standardlösung bestimmt.

Die Aktivitätsmessungen von ^{137}Cs wurden i.d.R. so lange durchgeführt, bis eine statistische **Unsicherheit von ± 5 %** für einen **Vertrauensbereich von 95 %** erreicht war. Für Bodenproben, die aus Tiefen unter 15 cm stammten und teilweise $< 5 \text{ Bq } ^{137}\text{Cs}\cdot\text{kg}^{-1}$ enthielten, bedeutete das Messzeiten > 200.000 Sekunden. In dem Aktivitätsbereich $0-2 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ lag die zählstatistische Unsicherheit für ^{137}Cs bei 5-20%.

Die Messwerte der Wildschweinproben aus den beiden Untersuchungsgebiete in Thüringen wurden uns freundlicherweise vom Thüringer Ministerium für Soziales, Familie und Gesundheit, Erfurt zur Verfügung gestellt.

3.2 Ergebnisse

3.2.1 ^{137}Cs Aktivität und Transferfaktor Boden - Hirschtrüffeln

Die beiden Trüffelarten unterscheiden sich sowohl äußerlich als auch im Inneren deutlich voneinander. *Elaphomyces muricatus* ist als ausgewachsene Trüffel kleiner als *E. granulatus* und hat längere und spitzere Warzen (Abbildung 22).

Am deutlichsten wird der Unterschied im Querschnitt: *E. muricatus* hat eine von dunkleren Palisaden durchzogene Peridie, die marmoriert erscheint, während bei *E. granulatus* eine glatte, durchgehend gelblich-weiße Rinde vorliegt.

Die Ergebnisse der ^{137}Cs Aktivität aller im Projekt erhobenen Proben von Hirschtrüffeln ($n=133$) und Boden ($n=39$) sind in den Tabellen C3 - C7 im Anhang C angegeben. Die Fundorte der Proben wurden geokartiert, georeferenziert und mit den Aktivitätswerten in EcoWild als eigene Shapefile (tr_4561.shp) integriert. Zusätzlich wurden die Fundortdaten auch in die Datei Tri_muni.shp aufgenommen, welche die Fundorte im GIS, nach den Recherchen in AP1 für *E. granulatus* und *E. muricatus*, für ganz Deutschland in einer Übersicht anzeigt.

Insgesamt wurden 106 Mischproben von *E. granulatus* und 27 von *E. muricatus* untersucht. Dazu wurden von 39 Trüffel-Aufsammlungen parallel Bodenproben entnommen, damit aus den ^{137}Cs Messwerten Transferfaktoren berechnet werden konnten.



Abb. 22: *Elaphomyces muricatus* (links) mit dunkler, marmorierter Peridie und *Elaphomyces granulatus* (rechts) mit weißlicher Rinde und größerem Fruchtkörper mit feineren, flachen und hellen Warzen

Die höchste ^{137}Cs Aktivität kam mit $6.655 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ bei einer Probe *E. granulatus* aus dem Untersuchungsgebiet Harz vor. Auffällig war, dass auch die folgenden Werte mit $5.520 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$, $4.838 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ und $3.995 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ aus dem Harz stammten.

Bei *E. muricatus* kam der Maximalwert mit $3.291 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ aus dem Untersuchungsgebiet Schönbrunn. Aber auch in den Untersuchungsgebieten Görde und im Harz kamen mit $3.099 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ bzw. $2.553 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ höhere Werte vor.

Niedrige ^{137}Cs -Werte bei *E. granulatus* wurden im Harz ($31 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$), in der Görde ($81 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$) und in Ohrdruf ($96 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$) festgestellt. Eine Probe von *E. muricatus* aus Ohrdruf hatte $99 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$, alle anderen Proben lagen über $100 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Werden die ^{137}Cs Messwerte aller Hirschtrüffelproben klassifiziert, ergibt sich die folgende Verteilung:

- 0 - $100 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1} = 3,0\%$ (n=4)
- 100 - $1.000 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1} = 56,4\%$ (n=75)
- 1.000 - $7.000 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1} = 40,6\%$ (n=54)

Die Histogramme der logarithmierten und nicht-logarithmierten Werte lassen darauf schließen, dass die Werte log-normalverteilt sind. Der arithmetische bzw. geometrische Mittelwert der untersuchten Hirschtrüffel liegt bei $1.227 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ bzw. $843 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$. Der arithmetische Mittelwert war für *E. granulatus* $1.197 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ und für *E. muricatus* $1.344 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$. Der geometrische Mittelwert betrug bei *E. granulatus* $816 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ und bei *E. muricatus* $957 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Aus den gemessenen ^{137}Cs -Werten von Hirschtrüffeln und Böden wurden Transferfaktoren berechnet. Die logarithmierten Transferfaktoren zeigten eine Normalverteilung. Die Prüfung der Daten mit dem t-Test ergab, dass sich die Mittelwerte der Transferfaktoren von *E. granulatus* und *E. muricatus* weder auf dem 99%-Niveau noch auf dem 95%-Niveau signifikant unterscheiden. Diese Aussage gilt auch dann, wenn die Mittelwerte für jedes Untersuchungsgebiet getrennt analysiert werden.

Aus diesem Grund wurde bei der Berechnung des im Modell verwendeten Transferfaktors für ^{137}Cs Boden \rightarrow Hirschtrüffeln nicht mehr zwischen den beiden Trüffelarten unterschieden.

In der Tabelle 9 sind die Transferfaktoren als arithmetische Mittelwerte, getrennt nach Untersuchungsgebieten, angegeben. Der aus diesen Werten berechnete durchschnittliche Transferfaktor beträgt 13,7 für die 5 Untersuchungsgebiete.

Im Forschungsvorhaben St.Sch. 4324 (Fielitz 2005) wurde für den Raum Bayerischer Wald (Bodenmais, Bayerisch Eisenstein, Nationalpark Bayerischer Wald) ein Transferfaktor für ^{137}Cs von 14,3 bei dem Übergang Boden \rightarrow Hirschtrüffeln ermittelt. Wird dieses Untersuchungsgebiet zusätzlich mit einbezogen, ergibt sich für die Modellierung der TF von 13,8 (siehe paramterdatei.txt).

Tabelle 9: Transferfaktoren und Standardabweichungen für ^{137}Cs Boden \rightarrow Hirschtrüffeln aus den 5 Untersuchungsgebieten

Untersuchungs- gebiet	Probenzahl	Transfer- faktor	s
Arnsberg	6	10,0	2,6
Göhrde	10	27,8	26,5
Harz	8	15,1	13,4
Ohrdruf	7	4,3	1,6
Schönbrunn	8	11,2	4,6

3.2.2 ^{137}Cs -Aktivität von Wildschweinen

3.2.2.1 ^{137}Cs -Messwerte der Wildschweinproben

Insgesamt wurden aus den 5 Untersuchungsgebieten Muskelfleisch-Proben von 296 Wildschweinen gemessen. In der Tabelle 10 sind die Daten statistisch aufbereitet angegeben, wobei sich die ^{137}Cs -Aktivitätsangaben immer auf das Frischfleischgewicht beziehen.

Aufgrund von ungünstigen Faktoren konnten im Untersuchungsgebiet Arnsberg nur 35 Wildschweinproben gemessen werden. Der wesentliche Grund war die schlechte Jagdstrecke 2010 und 2011. Bundesweit ging die Zahl der erlegten Wildschweine 2010,

im Vergleich zu 2009, um rund 200.000 Stück, etwa 30%, zurück (http://www.jagd-online.de/news/?meta_id=2356).

Tabelle 10: ^{137}Cs -Aktivität von Muskelfleischproben von 296 Wildschweinen aus den Untersuchungsgebieten 2009 - 2011

Untersuchungs- gebiet	Proben- zahl	^{137}Cs		s
		Median [Bq•kg ⁻¹ FS]	Minimum [Bq•kg ⁻¹ FS]	
Arnsberg	35	6,5	2,2	97
Göhrde	69	50,6	2,0	121
Harz	65	53,9	2,4	272
Ohrdruf	60	213	1,0	328
Schönbrunn	67	155	0,9	251

Bezogen auf alle Proben kamen 18 Überschreitungen des Grenzwertes von 600 Bq•kg⁻¹ vor, davon stammten allein 15 Proben aus den beiden thüringischen Untersuchungsgebieten. Der Maximalwert betrug 1.790 Bq•kg⁻¹, der Minimalwert 0,9 Bq•kg⁻¹. Die Verteilung der ^{137}Cs -Messdaten der untersuchten Wildschweine ist als Histogramm in Abbildung 23 dargestellt.

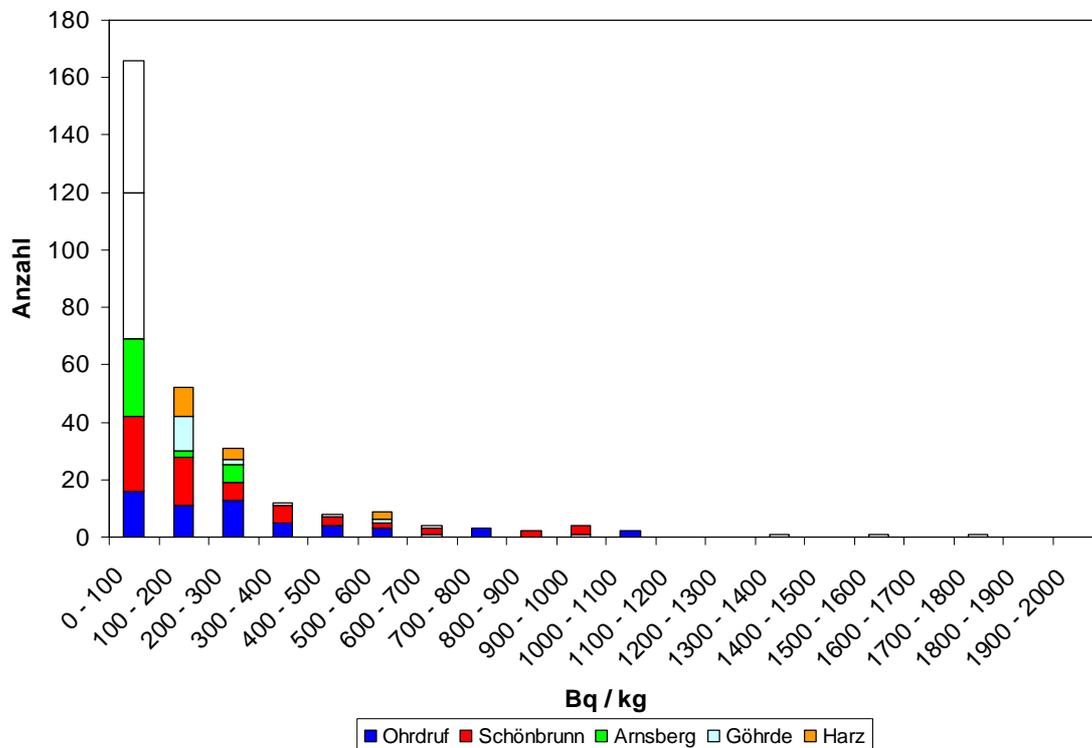


Abb. 23: Histogramm der ^{137}Cs -Messwerte von Wildschweinen aus Ohrdruf $n = 60$, Schönbrunn $n = 67$, Arnsberg $n = 35$, Göhrde $n = 69$, Harz $n = 65$ (2009 - 2011)

Es wird deutlich, dass der überwiegende Teil der Messwerte (84,2%) zwischen 0 und $300 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ liegt. Über die Hälfte der Proben (56,1 %) befinden sich im Bereich von $0 - 100 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$. In der Klasse $300 - 400 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ sind 4,1 % und 11,8% der Proben sind höher als $400 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ kontaminiert. Der Median beträgt $75,6 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$.

3.2.2.2 Validierung der Prognosekarte

Zur Validierung der Prognosekarte wurden die tatsächlich gemessenen mit den vom Modell berechneten ^{137}Cs -Aktivitäten verglichen. Zunächst wurde die gesamte Fläche eines Untersuchungsgebietes als Polygon digitalisiert (die Dateien befinden sich im Unterordner EcoWild: Dateiname jeweils Untersuchungsgebiet.shp, also z. B. Arnsberg.shp). Mit ArcView wurden dann die Flächenelemente bestimmt, die ganz oder teilweise im jeweiligen Untersuchungsgebiet liegen. Als Beispiel sind in der Abbildung 24 die ausgewählten Flächenelemente für das Untersuchungsgebiet Harz dargestellt.

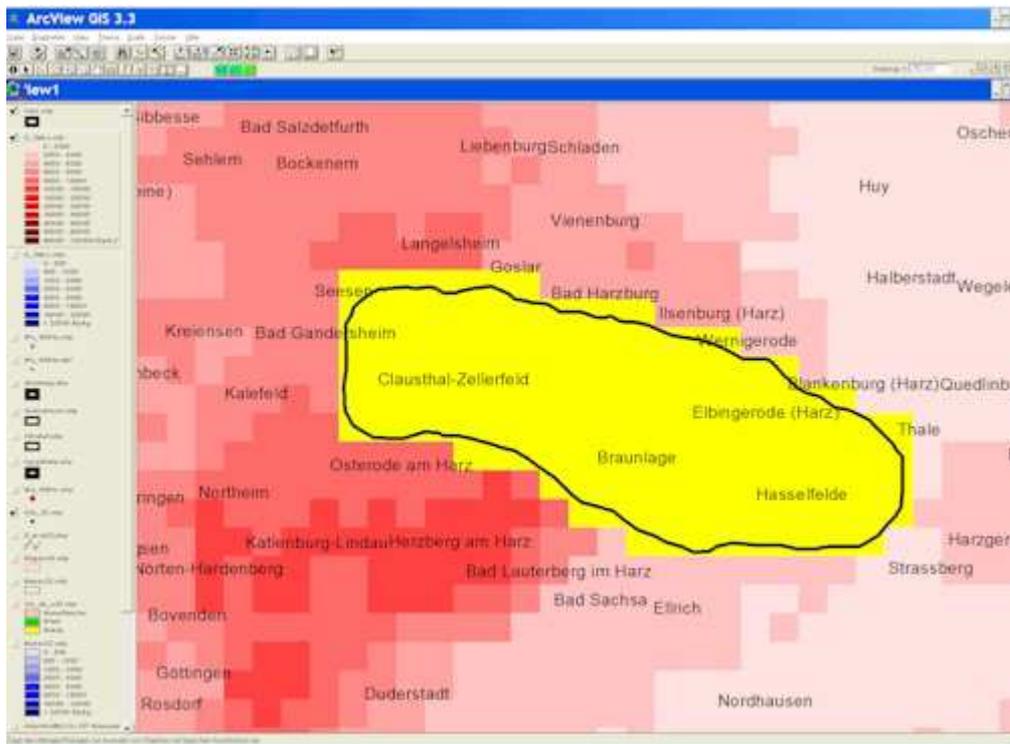


Abb. 24: Umriss des Untersuchungsgebietes Harz (schwarze Linie) und die zur Modellberechnung ausgewählten $3 \text{ km} \times 3 \text{ km}$ Flächenelemente mit gelber Unterlegung

Für das Untersuchungsgebiet Ohrdruf ergeben sich 68 Flächenelemente, für Schönbrunn 63, für Arnsberg 61, für Görzde 268 und für das Untersuchungsgebiet Harz 136 Flächenelemente. Für jedes Flächenelement wurde mit EcoWild die ^{137}Cs -Aktivität der Wildschweine über das Konvektions-Diffusions-Bodenmodell (Soilmodel 22) berechnet. Als Bezugszeitpunkt wurde der 01. Juli 2010 gewählt, um den Rechenaufwand möglichst gering zu halten und weil innerhalb des Untersuchungszeitraums die Veränderung der ^{137}Cs -Kontamination der Wildschweine aufgrund des radioaktiven Zerfalls nur gering ist.

Die berechneten sowie die gemessenen Werte wurden für jedes Untersuchungsgebiet statistisch ausgewertet, die Ergebnisse sind in den Tabellen C8 – C12 im Anhang C1 und in den Abbildungen 25 - 29 angegeben.

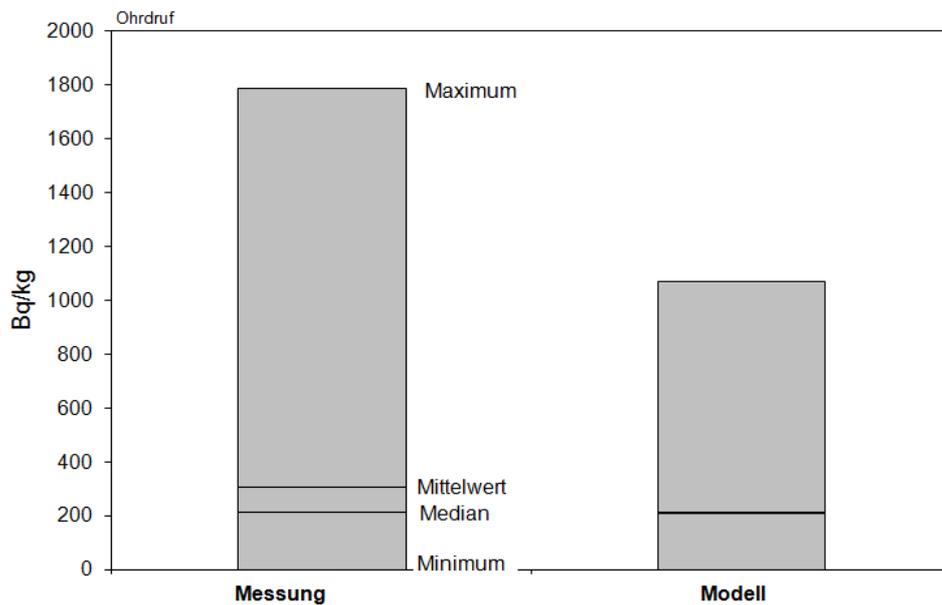


Abb. 25: Grafische Darstellung von statistischen Größen der gemessenen (n=60) und der berechneten (n=68) ¹³⁷Cs-Aktivität von Wildschweinen aus Ohrdruf. Details s. Text

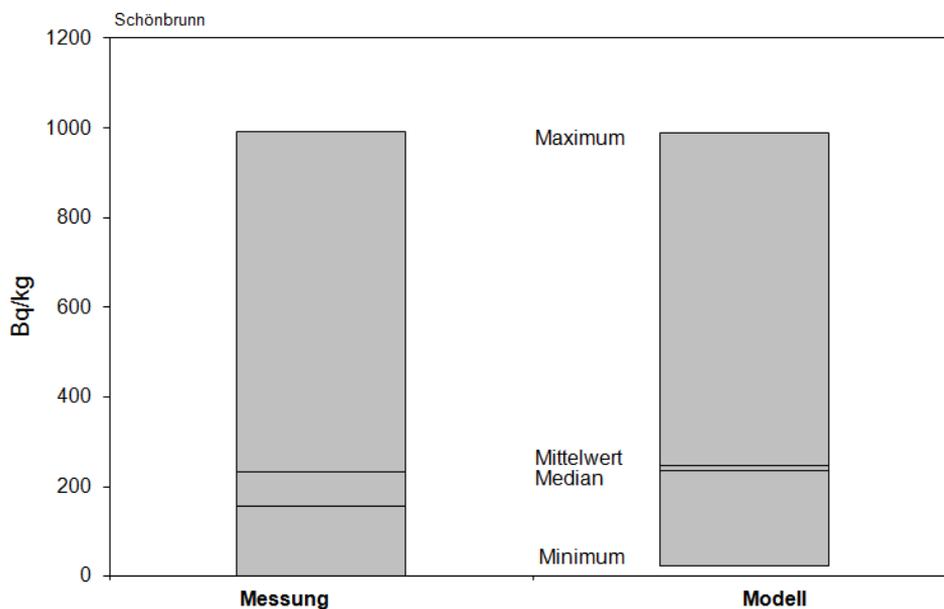


Abb. 26: Grafische Darstellung von statistischen Größen der gemessenen (n=67) und der berechneten (n=63) ¹³⁷Cs-Aktivität von Wildschweinen aus Schönbrunn

Die Abbildung 25 zeigt die Gegenüberstellung von der realen und der berechneten ¹³⁷Cs-Kontamination von Wildschweinen aus dem Untersuchungsgebiet Ohrdruf. Die linke Box stellt die Daten für die gemessenen Wildschweinproben dar. In der rechten Box sind die Daten (Minimum, Median, Mittelwert) aus der Modellberechnung im Standard-Modus (Modell mit Nahrungsaufnahme 1,8 kg•Tag⁻¹ und 5,5% Hirschtrüffeln)

dargestellt. Der Maximalwert wurde mit dem Worst-Case-Szenario I ermittelt, um Ausreißer mit einzubeziehen (Worst-Case-Szenario I: Modell mit Nahrungsaufnahme $1,8 \text{ kg} \cdot \text{Tag}^{-1}$ und 10% Hirschtrüffeln).

Für die Untersuchungsgebiete Göhrde, Ohrdruf und Schönbrunn stimmen die gemessenen Mittel- und Medianwerte der ^{137}Cs -Aktivität mit den berechneten gut überein. So beträgt in Ohrdruf der Median der gemessenen Werte $213 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ und der Median der mit EcoWild berechneten Werte $212 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$, für Schönbrunn betragen die Mediane $155 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ (gemessene Werte) und $236 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ (berechnete Werte).

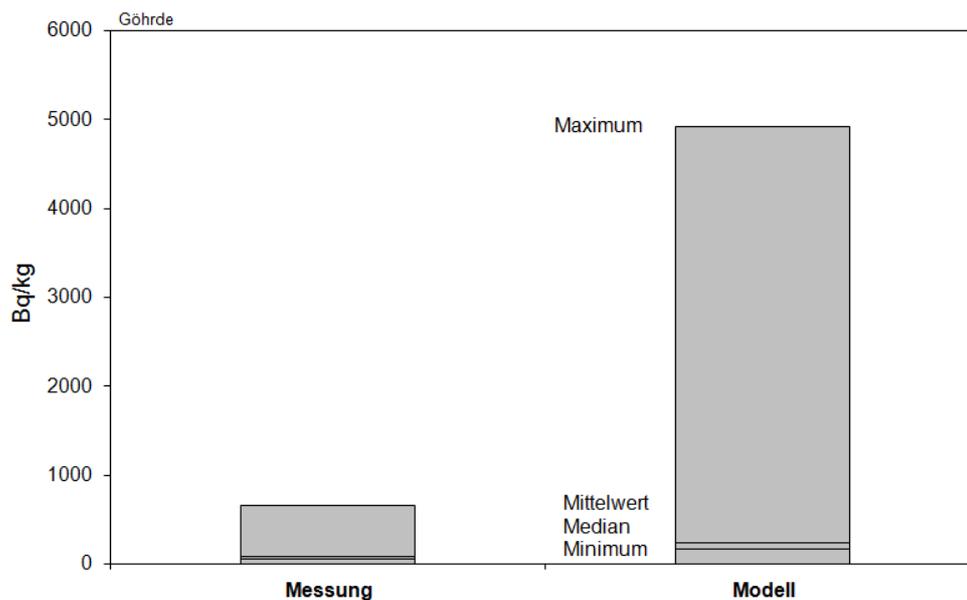


Abb. 27: Grafische Darstellung von statistischen Größen der gemessenen ($n=69$) und berechneten ($n=268$) ^{137}Cs -Aktivität von Wildschweinen aus Göhrde. Details s. Text

Größer waren die Unterschiede in den Untersuchungsgebieten Arnsherg und Harz (Abbildungen 28 und 29). So ergibt sich aus den Messwerten für den Harz ein Median von $53,9 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$, aus den berechneten Werten $502 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$. Für Arnsherg liegen die Ergebnisse mit $6,5 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ (gemessene Werte) und $379 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ (berechnete Werte) weit auseinander.

Bei den Untersuchungsgebieten Arnsherg, Göhrde und Ohrdruf fällt die große Differenz zwischen den Maximalwerten der Messwerte und den mit dem Worst-Case-Szenario I berechneten Werten auf. Für Arnsherg ergibt sich aus den gemessenen Werten $297 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$, der berechnete Maximalwert ist $1.128 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$, für Göhrde sind es $665 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ (gemessen) und $4.914 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ (berechnet). Umgekehrt ist in Ohrdruf der gemessene Maximalwert mit $1.790 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ höher als der berechnete Wert von $1.073 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$.

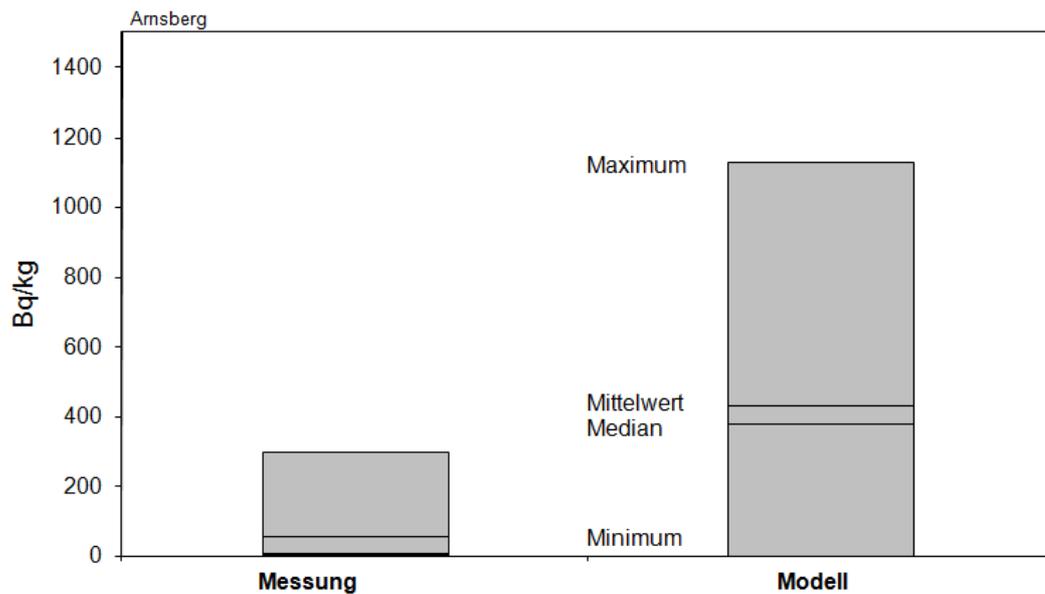


Abb. 28: Grafische Darstellung von statistischen Größen der gemessenen ($n=35$) und der berechneten ($n=61$) ^{137}Cs -Aktivität von Wildschweinen aus Amsberg. Details s. Text

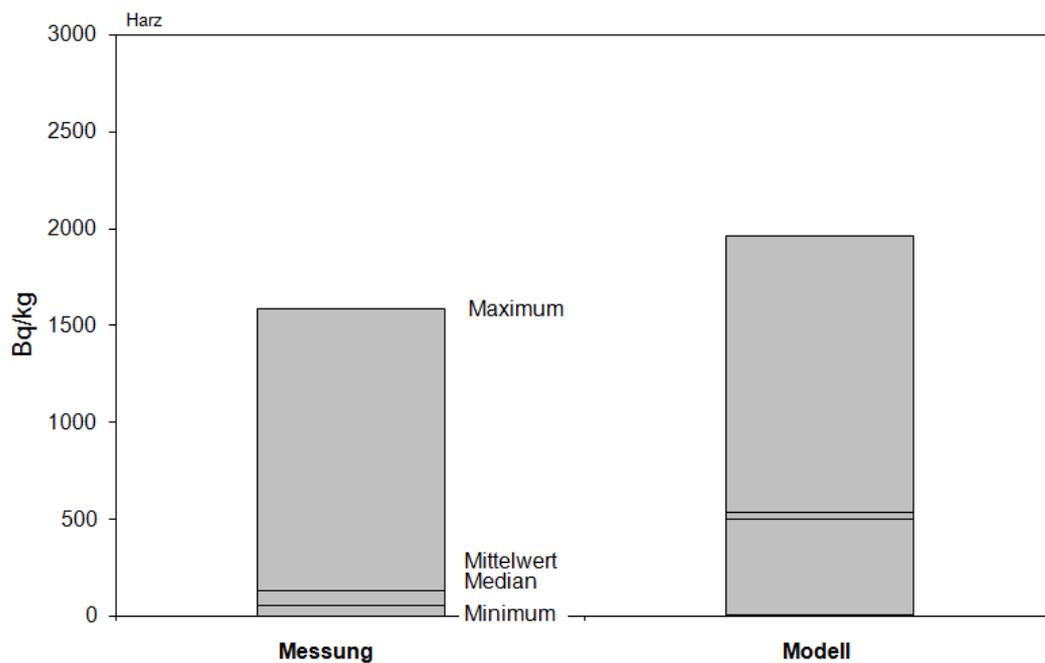


Abb. 29: Grafische Darstellung von statistischen Größen der gemessenen ($n=65$) und der berechneten ($n=136$) ^{137}Cs -Aktivität von Wildschweinen aus dem Harz. Details s. Text

Die Übereinstimmungen und Unterschiede zwischen der mit EcoWild prognostizierten und der tatsächlich ermittelten ^{137}Cs -Kontamination von Wildschweinen lässt sich auch numerisch ausdrücken. In der Tabelle 11 ist die Kenngröße M, berechnet nach Gleichung 2.6, angegeben.

Es gilt: Je kleiner die Kenngröße ist, umso besser ist die Übereinstimmung zwischen den Mittelwerten aus Messung und Modell. Es zeigt sich, dass mit dem Standardmodell eine gute Übereinstimmung erzielt wird, für die Untersuchungsgebiete Ohrdruf und Schönbrunn beträgt M 0,31 und 0,03, was auch durch die Darstellung der statistischen Größen in den Abbildungen 25 und 26 deutlich wird.

Tabelle 11: Zusammenfassender Vergleich der Mess- und Prognosedaten für die 5 Untersuchungsgebiete anhand der Kenngröße M (s. Kap. 3.1)

Untersuchungsgebiet	Kenngröße M
Ohrdruf	
Standard	0,31
Worst Case #1	1,23
Worst Case #2	6,34
Schönbrunn	
Standard	0,03
Worst Case #1	1,31
Worst Case #2	6,57
Arnsberg	
Standard	4,82
Worst Case #1	13,70
Worst Case #2	47,19
Göhrde	
Standard	1,60
Worst Case #1	11,73
Worst Case #2	41,01
Harz	
Standard	2,50
Worst Case #1	6,07
Worst Case #2	22,11

Bei allen Untersuchungsgebieten überschätzen die nach den beiden Worst-Case-Szenarien I und II berechneten Mittelwerte die real gemessenen Proben. Das gilt ganz besonders für die Untersuchungsgebiete Arnsberg und Göhrde. Die Worst-Case-Szenarien wurden allerdings nicht in EcoWild integriert um Mittelwerte zu prognostizieren, sondern um mögliche ¹³⁷Cs-Ausreißer mit zu erfassen. Wie die Abbildungen 25 – 29 zeigen, liefern die Standard Modellberechnungen akzeptable Daten um Mittelwerte der ¹³⁷Cs-Kontamination von Wildschweinen in den Untersuchungsgebieten Ohrdruf, Schönbrunn und Göhrde abzuschätzen. Bei Wildschweinen aus Arnsberg und dem Harz liefert das Modell dagegen zu hohe Werte.

3.2.2.3 Diskussion

Die Größenordnung der in den Untersuchungsgebieten gemessenen und mit EcoWild berechneten Werte der ^{137}Cs -Kontamination von Wildschweinen stimmt überein.

Dies gilt besonders für Ohrdruf und Schönbrunn. In beiden Gebieten wurden die Wildschweine fast gleichmäßig über das Jahr verteilt erlegt und stammen aus relativ vielen unterschiedlichen Arealen. Die Anzahl der Flächenelemente (= Anzahl berechneter ^{137}Cs -Werte) und die Zahl der Proben von Wildschweinen (= Anzahl gemessener ^{137}Cs -Werte) sind vergleichbar hoch, in Ohrdruf wurden 60 Proben gemessen und mit 68 Flächenelementen gerechnet, in Schönbrunn waren es sogar 67 gemessene Proben und nur 63 berechnete Flächenelemente.

Größere Abweichungen bei den ^{137}Cs -Mittelwerten treten insbesondere in den Untersuchungsgebieten Arnsberg ($M=4,8$) und Harz ($M=2,5$) auf.

Die Unterschiede sind vermutlich verursacht durch:

- Unterschiedliche Anzahl Datensätze zwischen Modell und Messwerten
- Geringe Flächenabdeckung bei den realen Messwerten im Vergleich zu den Modellwerten innerhalb eines Untersuchungsgebietes
- Einfluss der Erlegungszeitpunkte der Wildschweine im Jahresverlauf

In Arnsberg und im Harz war die Verteilung der Proben im Jahresverlauf deutlich ungünstiger als in Ohrdruf und Schönbrunn. Darüber hinaus wurden dort bei Gesellschaftsjagden häufig mehrere Wildschweine gleichzeitig erlegt. Dadurch kamen die Proben aus vergleichbar wenig Arealen.

Besonders ungünstig war die Verteilung in Arnsberg: Hier stammten die 35 Wildschweinproben aus 6 Gesellschaftsjagden (= 6 Flächenelemente), die jeweils im Herbst stattfanden. Für die Validierung wurden dagegen in EcoWild ^{137}Cs -Werte für 61 Flächenelemente berechnet, weshalb Mittelwert und Median deutlich höher ausfallen als bei den tatsächlichen Messwerten. Berechnet wurden aus den im Standardmodus ermittelten Daten $325 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Mittelwert) und $379 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Median) während die gemessenen Daten $55,9 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Mittelwert) und $6,5 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Median) ergaben.

Im Harz stammten 24 der 65 gemessenen Proben von 4 Gesellschaftsjagden, die Modellrechnung wurde für 136 Flächenelemente durchgeführt. Auch hier waren Mittelwert ($470 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$) und Median ($502 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$) aus den berechneten Daten deutlich höher als aus den gemessenen, mit $134 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Mittelwert) und $54 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Median).

Bei der Validierung der Modellwerte mit realen Messwerten von nicht repräsentativen Probenkontingenten liefert das Modell „vermeintlich“ zu hohe ^{137}Cs -Werte.

Die nach den Worst-Case-Szenarien I und II berechneten Maximalwerte liegen in allen 5 Gebieten deutlich höher als die realen Messwerte. Nur für Ohrdruf ist der nach dem Worst-Case-Szenario I berechnete Maximalwert mit $1.073 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ niedriger als der reale Messwert von $1.790 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Maximalwert nach Worst-Case Szenario II = 3495). Auch dieses Ergebnis aus Ohrdruf spricht für die Praxistauglichkeit des Modells.

In jedem Untersuchungsgebiet variierte die ^{137}Cs -Kontamination der Wildschweine um 2 bis 3 Größenordnungen. In Anbetracht dieser Streuung liefert EcoWild sowohl bei der Abschätzung der mittleren ^{137}Cs -Aktivität als auch bei der maximalen Kontamination zufriedenstellende Daten.

4 LITERATUR

- Agerer, R. (2001): Exploration types of ectomycorrhizae. *Mycorrhiza* 11: 107-114.
- Agerer, R., Grote, R., Raidl, S. (2002): The new method 'micromapping', a means to study species specific associations and exclusions of ectomycorrhizae. *Mycol. Progress* 1 (2): 155-166.
- Anonymous (1855): Donations to the Museum of the Linnean Society. *Trans. Linn. Soc. London* 21: 347-353.
- Benkert, D. (1975): *Elaphomyces* und *Cordyceps* in Brandenburg. *Gleditschia* 3: 189-194.
- Blaschke, H., Bäumler, W. (1989): Mycophagy and Spore Dispersal by Small Mammals in Bavarian Forests. *Forest Ecology and Management*, 26: 237-245.
- Bommer, E., Rousseau, M. (1884): Florule Mycologique des Environs de Bruxelles. *Bulletin de la société royale de botanique de Belgique* 23:15-365.
- Bossey, P., Kirchner, G. (2004): Modelling the vertical distribution of radionuclides in soil. Part 1: the convection–dispersion equation revisited. *Journal of Environmental Radioactivity* 73, 127–150.
- Bucholtz, F. (1901): Hypogaeen aus Russland. *Hedwigia* 40: 304-322.
- Bundesamt für Strahlenschutz, 2006: Tschernobly - 20 Jahre danach. Broschüre.
- Calonge, F.D., de la Torre, M., Lawrynowicz, M. (1977): Contribución del estudio de los hongos hipogeos de España. *Anal. Inst. Bot. Cavanilles* 34 (1) 15-31.
- Castellano, M.A., Bougher, N.L. (1994): Consideration of the taxonomy and biodiversity of Australian ectomycorrhizal fungi. *Plant and Soil* 159: 37-46.
- De Vries, G.A. (1971): De fungi van nederland. III. Hypogaea. Truffels & schijntruffels. *Wetenschappelijke meddelingen koninklijke nederlandse natuurhistorische vereniging* 88: 1-63.
- Ebert, C., 2008: mündl. Mitteilung.
- Eckblad, F.-E. (1961): Studies in the Hypogaeen Fungi of Norway II. Revision of the Genus *Elaphomyces*. *Nytt. Mag. Bot.* 9: 199-210.
- Fielitz, U. (2005): Untersuchungen zum Verhalten von Radiocäsium in Wildschweinen und anderen Biomedien des Waldes. Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz, BMU, 675.
- Fielitz, U. unveröffentlicht: Daten aus Untersuchungen von Wildschweinmägen 1996-2005.
- Fischer, E. (1897): Plectascinae. In: Engler, Prantl (Hrsg.): Die natürlichen Pflanzenfamilien. Bd. 1.1. S.290-320.
- Gomez, D.M., Anthony, R.G., Trappe, J.M. (2003): The Influence of Thinning on Production of Hypogeous Fungus Sporocarps in Douglas-fir Forests in the Northern Oregon Coast Range. *Northwest Science Abstracts* 77 #4: 2.
- Gomez, D.M., Anthony, R.G., Hayes, J.P. (2005): Influence of thinning of douglas-fir Forests on Population Parameters and diet of northern flying squirrels. *Journal of Wildlife Management* 69(4):1679-1682.

- Grönwall, O., Pehrson, Å. (1984): Nutrient content in fungi as a primary food of the red squirrel *Sciurus vulgaris* L. *Oecologia* (Berlin) 64: 230-231.
- Gruen, M. (2002): Raumnutzung von Schwarzwild (*Sus scrofa*) im Zusammenhang mit der Jagdstrategie. Diplom-/ Magisterarbeit Inst. f. Wildbiologie und Jagdwirtschaft (IWJ) der Universität für Bodenkultur Wien.
- Hansen, L., Knudsen, H. (2000): Nordic Macromycetes Vol. 1. Ascomycetes. Kopenhagen.
- Hawker L.E. (1954): British hypogeous fungi. *Phil. Trans. Roy. Soc. London* 237: 429-546.
- Helfer, W. (1991): Pilze auf Pilzfruchtkörpern. Untersuchungen zur Ökologie, Systematik und Chemie. *Libri Botanici* 1. Eching.
- Hesse, R. (1894): Die Hypogaeen Deutschlands. Bd. II. Die Tuberaceen und Elaphomyceten. Halle a. S.
- Hesse, R. (1989): Zur Entwicklungsgeschichte der Tuberaceen und Elaphomyceten. *Bot. Zentralblatt* 10: 553-557.
- Jahn (1949): Pilze rundum. Hamburg.
- Klugkist, C.E. (1905): Discomyceten, Elaphomyceten und Gasteromyceten aus Nordwestdeutschland. *Abhandlungen des Naturwissenschaftlichen Vereins zu Bremen* 18: 376-383.
- Kotter, M.M., Farentinos, R.C. (1984): Formation of Ponderosa pine ectomycorrhiza after inoculation with feces of tassel-eared squirrels. *Mycologia* 76 (4): 758-760.
- Kraigher, H., Petkovšek, S.A.S., Grebenc, T., Simončič, P. (2007): Types of Ectomycorrhiza as Pollution Stress Indicators: Case Studies in Slovenia. *Environ. Monit. Assess.* 128:31-45.
- Kreisel, H. (1996): Hirschtrüffel – Stiefkinder der Mykologen? *Botanischer Rundbrief für Mecklenburg-Vorpommern* 29: 163-166.
- Lange, M. (1956): Danish Hypogeous Macromycetes. *Dansk Bot. Ark.* 16 (1): 5-84.
- LoBuglio, K.F., Berbee, M.L., Taylor, J.W. (1996): Phylogenetic Origins of the Asexual Mycorrhizal Symbiont *Cenococcum geophilum* Fr. and Other Mycorrhizal Fungi among the Ascomycetes. *Mol. Phyl. Evol.* 6 (2): 287-294.
- Luoma, D.L., Frenckel, R.E., Trappe, J.M. (1991): Fruiting of hypogeous fungi in Oregon Douglas-fir forests: seasonal and habitat variation. *Mycologia* 83 (3): 335-353.
- Luoma, D.L., Trappe, J.M., Claridge, A.W., Jacobs, K.M., Cázares, E. (2003): Relationships among fungi and small mammals in forested ecosystems. In: Zabel, C.J, Anthony, R.K. (Hrsg.): *Mammal Community Dynamics. Management and Conservation in the Coniferous Forests of Western North America.* Cambridge, New York, Singapur: 343-373.
- Maia, L.C., Yano, A.M., Kimbrough, J.W. (1996): Species of Ascomycota forming ectomycorrhizae. *Mycotaxon* 57: 371-390.

- Maser, C., Trappe, J.M., Nussbaum, R.A. (1978): Fungal-small mammal interrelationships with emphasis on Oregon coniferous forests. *Ecology* 59 (4): 799-809.
- Meyer, M.D., North, M.P. (2005): Truffle abundance in riparian and upland mixed conifer forest of California's southern Sierra Nevada. *Can. J. Bot.* 83:1015-1020.
- Migula, E.F.A.W. (1912): Kryptogamen-Flora. Bd. III. Pilze. 3.Tl. 1.Abt. In: Direktor Prof. Dr. Thomé's Flora von Deutschland, Österreich und der Schweiz. Bd.X.Abt.1. Gera.
- Müller, H., Pröhl, G. (1993): ECOSYS-87: A dynamic model for assessing radiological consequences of nuclear accidents. *Health Physics* 64 (3): 232-252.
- North, M., Trappe, J.M., Franklin, J. (1997): Standing crop and animal consumption of fungal sporocarps in Pacific Northwest forests. *Ecology* 78 (5): 1543-1554.
- North, M., Greenberg, J. (1998): Stand conditions associated with truffle abundance in western hemlock/Douglas-fir forests. *Forest Ecology and Management* 112: 55-66.
- Pegler, D.N., Spooner, B.M., Young, T.W.K. (1993): British truffles. A revision of British hypogeous fungi. Kew.
- Rancken, H. (1910): Korrektur zu Med. Soc. pro F. et Fl. Fenn. 34 p. 112. Meddelanden af Societas pro Fauna et Flora Fennica 43: 4.
- Reddell, P., Spain, A.V. (1991): Earthworms as vectors of viable propagules of ectomycorrhizal fungi. *Soil Biol. Biochem.* 23 (8): 767-774.
- Reess, H., Fisch, C. (1887): Untersuchungen über Bau und Lebensgeschichte der Hirschtrüffel, *Elaphomyces*. Abhandlungen aus dem Gesamtgebiete der Botanik 7: 1-24.
- Schultheis, B., Tholl, M.-T. (2003): Journées luxembourgeoises de mycologie vernale 2001. *Bull. Soc. Nat. Luxemb.* 104: 21-39.
- Schurig, B. (2002): „Trollhand“ und Anis-Sägeblättling bei Ludwigslust gefunden. *Mitteilungen der NGM* 2 (2): 110.
- Statistisches Bundesamt: Gemeindeverzeichnis (2007): GV2000 – Gebietsstand 30.09.2007 (3. Quartal), CD-ROM.
- Sung, G.-H., Hywel-Jones, N.L., Sung, J.-M., Luangsa, J.J., Shrestha, B., Spatafora, J.W. (2007): Phylogenetic classification of *Cordyceps* and the clavicipitaceous fungi. *Stud. Mycol* 57: 5-59.
- Szemere, L. (1965): Die unterirdischen Pilze des Karpatenbeckens. Budapest.
- Törnig W.; 1979: Numerische Mathematik für Ingenieure und Physiker. Band 2: Eigenwertprobleme und numerische Methoden der Analysis. Berlin: Springer Verlag.
- Trappe, J.M. (1972) Mycorrhiza-forming Ascomycetes. In: *Mycorrhizae*. Proc. 1st NACOM April 1969, Illinois. Ed. E. Hacskeylo. pp 19-37. USDA For. Serv. Misc. Publ. Zit in Castellano & Bougher 1994.
- <http://www.dur.ac.uk/resources/its/info/guides/94Avenue.pdf> (Juli 2008)

Persönliche Kommunikation:

Agerer, R.: Professor für Systematische Mykologie, LMU München, Gespräch vom 28.01.09.

Ebert, C.: Doktorandin, Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft Forstliche, Trippstadt. Gespräch und e-mail vom 17.07.2008.

Hensel, G.: Bearbeiter Hypogäen Pilzflora Sachsen-Anhalt, E-Mail vom 4.12.08.

Stielow, B.: Wiss. Mitarbeiter DSMZ Braunschweig, E-Mail vom 5.12.08.

Anhang

Anhang A Tabellen der Shape- und Grid-Dateien

Tabelle A1: Beschreibung der Shape Datei für das Projekt EcoWild

Shape-Datei	Attribut	Beschreibung
D_r3kmu 3km x 3km	s.Text.	s.Text.

Tabelle A2: Beschreibung der Shape Datei zu Hirschtrüffel-Vorkommen Daten

Shape-Datei	Attribute	Beschreibung
tr_u32 Punkte	FINDER	Datenquelle
	Source	Abkürzung Datenquelle
	SATZNR	Gattung und Art
	FUNDORT	Fundort
	u.a.	

Tabelle A2a: Beschreibung der Shape Datei zu Hirschtrüffeln (Gemeinden)

Shape-Datei	Attribut	Beschreibung
Tr_muni: Polygone	Name und andere	Gemeindenname. Die Shape-Datei enthält nur die Polygone der Gemeinden mit Hirschtrüffel-vorkommen.
Tr_post: Polygone	Id und andere	Postleitzahl. Die Shape-Datei enthält nur die Postleitzahlbezirke mit Hirschtrüffel-vorkommen.
Tr_3kma	s.o.	s.o.

Tabelle A3: Beschreibung der Shape und Grid Datei zu Boden CORINE Projekt

Shape-Datei	Attribut	Beschreibung
Clc_de_u32: Polygone	Code2000	CLC-Class
	CLCCAT	Bodenkategorie „W“ oder „L“; W: Wald u.ä., L: Landwirtschaft u.ä., s. Tabelle S. 14

Grid-Datei	Attribut	Beschreibung
C00_1k_u32	Value	CLC-Class, Auflösung 1km x 1km
C00_250u32	Value	CLC-Class, Auflösung 250m x 250m
C00_100u32	Value	CLC-Class, Auflösung 100m x 100m
		Hinweis: Grid-Datei, in ArcView nur mit Spatial Analyst darstellbar.

Tabelle A4: Beschreibung der Shape und Grid Datei zu Boden der IMIS Daten

Shape-Datei	Attribute	Beschreibung
im_bo32 Punkte	Diverse	Daten zu Bodeneigenschaften (Quelle: IMIS)

Tabelle A5: Beschreibung der Shape Datei zu Boden der BZE Daten

Daten	Shape-Datei	Tabelle	Spalte	dazugehörige x_Tabelle
Koordinaten		BZENETZ		
I.1. Substratgruppen	Bze_allg	ALLG_DAT	SUBSTYP	x_substrat.ncode
I.2. Hauptbodentypen	Bze_allg	ALLG_DAT	HAUPTBODENTYP	x_bodtyp_zusam1.code
I.3. Podsoligkeit	Bze_allg	ALLG_DAT	PODS	x_Podsoligkeit.code
I.4. Bestockungstyp	Bze_allg	ALLG_DAT	BAUANT	x_bauant.code
I.5. Höhe über NN	Bze_allg	ALLG_DAT	HOEHE	
II.1. pH(H ₂ O)-Werte	Bze_t3 / Bze_t5	T3_Humus / T5_Ake	PHH2O	
II.2. pH(KCl)-Werte	Bze_t3 / Bze_t5	T3_Humus / T5_Ake	PHKCL	
II.3. Säurebelastungsrisiko	Bze_t9	T9_Saeurebelastungsrisiko_02	SÄUREBELAS	x_saeurebelastungsrisiko
III.1. Humusform	Bze_t2	T2_Humusauflage	HUFORM	x_huform
III.2. Kohlenstoffvorräte	Bze_t2	T2_Humusauflage	CORGHU	
III.3. Stickstoffvorräte	Bze_t2	T2_Humusauflage	NVHU	
III.4. Phosphorvorräte	Bze_t2	T2_Humusauflage	PVHU	

III.5. C/N-Verhältnis	Bze_t3	T3_Humus	CNHU	
III.6. C/P-Verhältnis	Bze_t3	T3_Humus	CPHU	
IV.1. Basensättigung	Bze_t8	T8_Kationen	BS	
IV.2. Mangansättigung	Bze_t8	T8_Kationen	MN	
IV.3. Aluminiumsättigung	Bze_t8	T8_Kationen	AL	
IV.4. Eisensättigung	Bze_t8	T8_Kationen	FE	
IV.5. Protonensättigung	Bze_t8	T8_Kationen	H	
IV.6. Summe Eisen-/Protonensättigung	Bze_t8	T8_Kationen	ACEBACL / ACE	
V.1. Aluminiumvorräte	Bze_t4	T4_Mineralboden	ALV	
V.1. Eisenvorräte	Bze_t4	T4_Mineralboden	FEV	
V.1. Kaliumvorräte	Bze_t4	T4_Mineralboden	KV	
V.1. Magnesiumvorräte		T4_Mineralboden	MGV	
V.1. Manganvorräte		T4_Mineralboden	MNV	
V.1. Protonenvorräte		T4_Mineralboden	HV	
V.2. Calciumvorräte		T4_Mineralboden	CAV	
	Rendzina	Anmerkung: wie Shapedatei BZE_allg, Hauptbod = „R“		

Beispiel: Soll der Hauptbodentyp dargestellt werden (Punkt I.2.), ist die Shape-Datei Bze_allg zu aktivieren und das Attribut „Hauptbod“ bei der Themenbearbeitung auszuwählen. Die Erläuterung der Einträge unter „Hauptbod“ findet man in der Excel-Datei x_bodytyp_zusam1.

Tabelle A6: Beschreibung der Shape Datei zu Bodendaten der Bundeswaldinventur

Shape-Datei	Attribute	Beschreibung
ba_u32 Punkte	Ba, anteilba	Baumartschlüssel, relativer Anteil der Baumart
al_u32 Punkte	ba, alter	Baumartschlüssel, Alter
wr_u32 Punkte	waldrand	Waldrandcode

Tabelle A7: Beschreibung der Shape Datei Administrativ

Shape-Datei	Beschreibung
D_u32	Deutschland (Quelle: ESRI)
Eu_32	Europa (Quelle: ESRI)
Eu_wod32	Europa ohne Deutschland (Quelle: ESRI)
City_32	Städte in Deutschland (Quelle: GfK)
Region32	Deutsche Bundesländer (Quelle: GfK)
Postal32 (8233 Polygone)	Postleitzahlbezirke 5stellig (Quelle: GfK)
niedersa	Niedersachsen (Quelle: GfK)
Munici32 (12323 Polygone)	Gemeinden (Quelle: GfK)
Ci100k32	Städte in Deutschland ab 100 000 Einwohnern (Quelle: GfK)

Anmerkung: Die originalen Shape-Dateien von ESRI und GfK liegen in geographischen Koordinaten vor und wurden nach UTM32 projiziert.

Anhang B Übersicht verfügbarer Mess- und Fundortdaten

Tabelle B1: Datensätze der ¹³⁷Cs Aktivität von Boden

Daten- quelle	Koordi- -naten	Landnutzung / Baumart	Bodentyp / Boden- material	Beschrei- bung der Bodentief e	Gemeinde - name	Amtlicher Gemeinde -schlüssel	Orts- name	Datum oder Jahres- angabe	Cs-137	Cs-134	Sonstiges
CS	Geo					8stellig	X	1986	X in Bq/m ²	X in Bq/m ²	
IM	UTM	Ackerboden, Waldboden, Weideboden u.a. / -	z.B. Sand, lehmig / Braunerde		X	8stellig		?	F in Bq/kg (?) oder Bq/m ²		
BY	GK	Ackerland, Grünland oder Sonderstandort / -		X		letzte 3 Ziffern		zurück- gerechnet auf den 01.05.2008	X in Bq/kg und Bq/m ²	X in Bq/kg und Bq/m ²	
NF	GK	- / Eiche, Buche, Kiefer, Fichte, Douglasie	z.B. Podsolige Braunerde / z.B. Flugsand					1992 – 2002 zurück- gerechnet auf den 01.05.2008	X in Bq/m ²		pH-Werte f. Bodenhorizo nte (Ol, Of, Oh)
SN	GK	Ackerboden, Weideboden / -				8stellig	X	1999 - 2008	F (in ?)		

F = mit Angabe Messfehler; Geo = Geographische Koordinaten; UTM = Universal Transverse Mercator; GK = Gauß-Krüger.

Daten über Bodeneigenschaften stammen von den Forstlichen Forst- und Versuchsanstalten des Bundes und der Länder der Bundesrepublik Deutschland. Georeferenzierung über Gauß-Krüger-Koordinaten.

Tabelle B2: Datensätze der ¹³⁷Cs Aktivität von Wildschweinen

Date n- quell e	Koordi -naten	Forstamt (FA), Revierförsterei (RF) / Distrikt / Abteilung	Gemeinde - name	Amtlicher Gemeinde -schlüssel	Ortsname	Orts- beschrei- -bung	PLZ	Datum oder Jahres- angabe	Cs-137 Bq/kg	Cs-134 Bq/kg	K-40 Bq/kg	Angaben zum Wildschwein oder zur Probe
IM	UTM		X	8stellig	Ursprungsort (tw)			1994 - 2007	F (tw)			Fleischteilstück oder Tierkörper
BW	GK	FA (tw) / tw / tw	tw	11stellig (tw), letzte 3 Ziffern entfernen	tw			2000 -2007	F			Alter, Geschlecht, Gewicht, Äsung
BR					X			1986 - 1998	X			normal, sehn- und fettreich
BB		- / - / -	X	8stellig		X		1994 - 2007	F			Fleischteilstück oder Fettgewebe
NI		FA, RF / - / tw			Landkreis			2000 - 2007	X	X	X	
RP		Revier, Gemarkung / - / -		8stellig				2001 - 2007	X	X		Alter, Geschlecht, Gewicht (tw); Besonderes: Radiocäsiumwerte für Schwarzwildnahrung
SL					X			2000 - 2007	X			Teilstück: Fleischteilstück, Herz, Muskelfleisch u.a.
SN	GK			8stellig	X			2000 - 2008	F			Teilstück (tw): Schulter, Keule u.a.
ST					X			2000 - 2008	X			
SH		FA, Försterei / - /						2001	F		F	Alter, Biotop, Co-60

		-										
TH		FA (tw) / - / -			Veterinäramt , Entnahmeort (tw)			2000 - 2008	X	X		Teilstück, Geschlecht (tw), Alter (tw) u.a.
ES	GK (tw)	FA, Forstort (tw) / - / tw	tw	6stellig	X		tw	1986 - 1992	X	X		Wildschwein, Schwarzwild

tw = in den Datensätzen teilweise vorhanden; F = mit Angabe Messfehler; UTM = Universal Transverse Mercator; GK = Gauß-Krüger; PLZ = Postleitzahl.

Tabelle B3: Datensätze der ¹³⁷Cs Aktivität von Pilzen

Datenquelle	Koordinaten	Gemeinde-name	Amtlicher Gemeindegchlüssel	Ortsname	Ortsbeschreibung	Datum oder Jahresangabe	Art / Gattung / Trivialname / Botanischer Name	Cs-137 Bq/kg	Cs-134 Bq/kg	K-40 Bq/kg
IM	UTM	X	6stellig	Ursprungsort (tw)	Tw	1994 - 2007	- / - / X / X; außerdem: Wildpilze oder Kulturpilze	F (tw)		
BB		X	8stellig	X	X	2000 - 2006	X / X / X / X	F		F
SL				X		1986 - 2006	- / - / X / -	X		
TH				Veterinäramt, Ortschaft (tw)	X	1994 - 2007	- / - / X / tw	X	X	

tw = in den Datensätzen teilweise vorhanden; UTM = Universal Transverse Mercator.

Tabelle B4: Daten der Bundeswaldinventur

Datenquelle	Koordinaten	Gemeindename	Amtlicher Gemeindegemeinschaftsschlüssel	Ortsname	Ortsbeschreibung	Datum oder Jahresangabe	Baumartenschlüssel / Baumartanteil / Alter / Waldrand			
BI	GK						X / X / X / X			

GK = Gauß-Krüger.

Tabelle B5: Daten zum Hirschtrüffel-Vorkommen

Datenquelle	Gattung und Art	Fundort (oft Gemeindename)	MTB (Messtischblattnr., Quadrant)	Datum	Sonstiges	
PK	Elaphomyces granulatus oder ohne Angabe	X			Anmerkungen zum Fundort	
GB	Elaphomyces granulatus	X			Anmerkungen zum Fundort	
DM	E. granulatus, E. muricatus, und E. spec.	X	X	X	Anmerkungen zum Fundort, Name des Bearbeiters bzw. der Bearbeitungsstelle, Bodendaten sowie ökologische Daten	
UA	Elaphomyces granulatus	X				
GH	Elaphomyces muricatus	X	X	X	Anmerkungen zum Fundort, Name des Sammlers und Bestimmers, Bodenbeschaffenheit und Waldbeschreibung	

Anhang C Tabellen zu AP 2 und AP 3

Tabelle C1: Die Modellparameterdatei (Name der Datei: *parameters.txt*)

```
*****
*      Modellparameter für das radioökologische Modell EcoWild
*      zur Berechnung der spezifischen Cs-137 Aktivität von Wildschweinen
*****
```

*Date of deposition (dd.mm.yyyy)

Date: 30.04.1986

*Radioactive half-life of Cs-137 (d)

rhl: 11023

*Animal transfer factor (d/kg):

atf: 2.0

*Biological half-life (d):

bhl: 20.0

*Nahrungsbestandteile

Number: 10

Feedstuff:	Hirschtrüffel	Waldboden	Waldpflanzen	LPflanzen	LBoden	Gräser	GBoden	Bucheckern	Eicheln	Maronen
------------	---------------	-----------	--------------	-----------	--------	--------	--------	------------	---------	---------

# Feedstuff:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
--------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

*Transfer factor / Weighting factor for each feedstuff

Transfer factor:

,	27.0	1.0	0.8	0.2	1.0	0.2	1.0	0.2	0.2	0.2
---	------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

*Bodenmodell (Soildensity = Bodendichte in kg m⁻³; Rootdepth = Wurzeltiefe in m)

*Soilmodel = 1: Bodenmodell mit Migration, Fixierung und Desorption

*Soilmodel = 21: Mehrschichten-Bodenmodell

*Soilmodel = 22: Konvektions-Diffusions-Bodenmodell nach Bossew & Kirchner (2004)

*Soilmodel = 23: Semi-empirisches Bodenmodell

*Parameter1: Konvektionsgeschwindigkeit im Konvektions-Diffusionsmodell, in cm/a

*Parameter2: Diffusionskoeffizient im Konvektions-Diffusionsmodell, in cm²/a

*Parameter3: Parameter im semi-empirischen Bodenmodell, in 1/a

# Soilmodel:	23	1	1	1	1	1	1	1	1	1	'
# Soildensity:	182	182	182	1400	1400	1400	1400	182	182	182	'
# Rootdepth:	0.18	0.18	0.18	0.25	0.25	0.10	0.10	0.14	0.14	0.14	'
# Parameter1:	0.27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	'
# Parameter2:	0.20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	'
# Parameter3:	0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	'

*Migration rate (1/a) for each feedstuff

Migration rate:

0.30	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	'
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	---

*Fixation rate (1/a) for each feedstuff

Fixation rate:

0.59	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	'
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	---

*Desorption rate (1/a) for each feedstuff

Desorption rate:

0.68	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	'
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	---

*Nahrungsaufnahme in kg/d; Anteile der Nahrungsbestandteile in %

*Nahrungsspektrum S1: (Wald)

Spectrum S1

1.8	5.5	11.34	83.16	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	'
-----	-----	-------	-------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	---

*Nahrungsaufnahme in kg/d; Anteile der Nahrungsbestandteile in %

*Nahrungsspektrum S2: (Landwirtschaft und Ackerland)

Spectrum S2

1.8	0.0	0.0	0.0	75.0	25.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	'
-----	-----	-----	-----	------	------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	---

*Nahrungsaufnahme in kg/d; Anteile der Nahrungsbestandteile in %

*Nahrungsspektrum S3: (Wiesen und Weiden)

Spectrum S3

1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	80.0	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	'
-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	-----	-----	-----	-----	---

*Nahrungsspektren für Wald während Mastmonate

*Nahrungsaufnahme in kg/d; Anteile der Nahrungsbestandteile in %

* kg/d, Hirschtrüffel, Waldboden, Waldpflanzen, LPflanzen, LBoden, Gräser, GBoden, Bucheckern, Eicheln, Maronen '

Mast M1

1.80	0.0	0.0	35.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	65.0	0.0	0.0	'
------	-----	-----	------	-----	-----	-----	-----	-----	------	-----	-----	---

Mast M2

1.80	0.0	0.0	35.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	65.0	0.0	'
------	-----	-----	------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	-----	---

Mast M3

1.80	0.0	0.0	35.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	65.0	'
------	-----	-----	------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	---

END

Tabelle C2: Zuordnung der CLC-Klassen zu den Bodenkategorien „Wald“ → Nahrungsspektrum S_1 , „Ackerfläche“ → Nahrungsspektrum S_2 und „Wiese“ → Nahrungsspektrum S_3 .

CLC Code	CLC Class	Anzahl km ²	Zuordnung
111	Flächen durchgängig städtischer Prägung	224	
112	Flächen nicht-durchgängig städtischer Prägung	22350	
121	Industrie- und Gewerbeflächen	3075	
122	Straßen und Eisenbahn	177	
123	Hafengebiete	128	
124	Flughäfen	459	
131	Abbauflächen	1035	
132	Deponien und Abraumhalden	171	
133	Baustellen	70	
141	Städtische Grünflächen	415	
142	Sport und Freizeitanlagen	956	
211	Nicht bewässertes Ackerland	13746 3	Ackerfläche
212	Permanent bewässertes Ackerland (nicht im Datensatz vorkommend)	0	
213	Reisfelder (nicht im Datensatz vorkommend)	0	
221	Weinbauflächen	1304	Ackerfläche
222	Obst- und Beerenobstbestände	1223	Ackerfläche
223	Olivenhaine (nicht im Datensatz vorkommend)	0	
231	Wiesen und Weiden	45645	Wiese
241	Mischung einjähriger Früchte mit Dauerkulturen (nicht im Datensatz vorkommend)	0	
242	Komplexe Parzellenstrukturen	20715	Ackerfläche
243	Landwirtschaft mit natürlicher Bodenbedeckung	8738	Wiese
244	Agroforstlich genutzte Flächen (nicht im Datensatz vorkommend)	0	
311	Laubwald	24208	Wald
312	Nadelwald	56807	Wald
313	Mischwald	23874	Wald
321	Natürliches Grasland	1826	Wiese
322	Heiden und Moorheiden	577	Wald
323	Hartlaubgewächse (nicht im Datensatz vorkommend)	0	
324	Wald-Strauch-Übergangsstadien	2220	Wald
331	Strände, Dünen und Sandflächen	169	
332	Felsflächen ohne Vegetation	204	
333	Flächen mit spärlicher Vegetation	520	Wiese
334	Brandflächen	0	
335	Gletscher und Dauerschneegebiete	0	
411	Sümpfe	498	Wald

412	Torfmoore	888	Wald
421	Salzwiesen	177	Wiese
422	Salinen (nicht im Datensatz vorkommend)	0	
423	In der Gezeitenzone liegende Flächen	2905	
511	Gewässerläufe	839	
512	Wasserflächen	3365	
521	Lagunen	1143	
522	Mündungsgebiet	285	
523	Meere und Ozeane	24862	
999	Flächen außerhalb des Bearbeitungsgebietes	56316	

Anhang C: ^{137}Cs Messwerte von Boden und Hirschtrüffeln aus den 5 Untersuchungsgebieten

Tab. C3: ^{137}Cs -Messwerte von Hirschtrüffeln und Boden, Untersuchungsgebiet Arnsberg, Entnahme 2009 - 2010

Hirschtrüffel- art	Gebiet	Trüffel ^{137}Cs [Bq•kg ⁻¹ FS]	Boden ^{137}Cs [Bq•kg ⁻¹ TS]	TF
E. granulatus	Arnsberg	108		
E. granulatus		127		
E. granulatus		225		
E. granulatus		260		
E. granulatus		286		
E. granulatus		314		
E. granulatus		325		
E. granulatus		339		
E. granulatus		364		
E. granulatus		394		
E. granulatus		490		
E. granulatus		526		
E. granulatus		680		
E. granulatus		694	91,4	7,6
E. granulatus		719		
E. granulatus		826	84,8	9,7
E. granulatus		865		
E. granulatus		983		
E. granulatus		1314	88,5	14,8
E. granulatus		1582		
E. muricatus		98,7		
E. muricatus		219		
E. muricatus		877	111	7,9
E. muricatus		991	120	8,3
E. muricatus		1307	110	11,9

Tab. C4: ^{137}Cs -Messwerte von Hirschtrüffeln und Boden, Untersuchungsgebiet Göhrde, Entnahme 2009 - 2010

Hirschtrüffel- art	Gebiet	Trüffel ^{137}Cs [Bq•kg ⁻¹ FS]	Boden ^{137}Cs [Bq•kg ⁻¹ TS]	TF
	Göhrde			
E. granulatus		80,9		
E. granulatus		213		
E. granulatus		395	130	3,0
E. granulatus		398	63,7	6,3
E. granulatus		478		
E. granulatus		610		
E. granulatus		638		
E. granulatus		669		
E. granulatus		841		
E. granulatus		1160	94,5	12,3
E. granulatus		1194	75,4	15,8
E. granulatus		1446		
E. granulatus		1527		
E. granulatus		1626		
E. granulatus		1648	57,3	28,8
E. granulatus		1780		
E. granulatus		1806	18,2	99,2
E. granulatus		1865		
E. granulatus		1919		
E. granulatus		2093		
E. granulatus		2575		
E. granulatus		2584		
E. granulatus		2647	76,2	34,7
E. granulatus		2841		
E. granulatus		2863		
E. muricatus		228		
E. muricatus		712		
E. muricatus		887	75,4	11,8
E. muricatus		2384	94,5	25,2
E. muricatus		3099	76,2	40,7

Tab. C5: ^{137}Cs -Messwerte von Hirschrüffeln und Boden, Untersuchungsgebiet Harz, Entnahme 2009 - 2010

Hirschrüffel- art	Gebiet	Trüffel ^{137}Cs [Bq•kg ⁻¹ FS]	Boden ^{137}Cs [Bq•kg ⁻¹ TS]	TF
NP Harz				
E. granulatus		31,1		
E. granulatus		353		
E. granulatus		585		
E. granulatus		593		
E. granulatus		614		
E. granulatus		632		
E. granulatus		702		
E. granulatus		780	167	4,7
E. granulatus		972		
E. granulatus		1038		
E. granulatus		1283	338	3,8
E. granulatus		1536		
E. granulatus		1832		
E. granulatus		1847	230	8,0
E. granulatus		1863	40,5	46,0
E. granulatus		1957		
E. granulatus		1983		
E. granulatus		2830		
E. granulatus		3995		
E. granulatus		4838		
E. granulatus		5520		
E. granulatus		6655		
E. muricatus		217		
E. muricatus		1323	143	9,3
E. muricatus		1585	131	12,1
E. muricatus		2041		
E. muricatus		2424	227	10,7
E. muricatus		2353		
E. muricatus		2553	97,3	26,2

Tab. C6: ^{137}Cs -Messwerte von Hirschtrüffeln, Untersuchungsgebiet Ohrdruf, Entnahme 2009 - 2010

Hirschtrüffel- art	Gebiet	Trüffel ^{137}Cs [Bq•kg ⁻¹ FS]	Boden ^{137}Cs [Bq•kg ⁻¹ TS]	TF
E. granulatus	Ohrdruf	96		
E. granulatus		183		
E. granulatus		381	116	3,3
E. granulatus		873	188	4,6
E. granulatus		370		
E. granulatus		570		
E. muricatus		588	222	2,7
E. granulatus		595		
E. granulatus		644		
E. granulatus		661		
E. granulatus		677		
E. granulatus		734		
E. granulatus		758		
E. granulatus		765		
E. granulatus		847		
E. granulatus		888		
E. granulatus		903		
E. granulatus		946	118	8,0
E. granulatus		1202		
E. granulatus		1597		
E. muricatus		301		
E. muricatus		558		
E. muricatus		678	156	4,3
E. muricatus		745	244	3,2
E. granulatus		1513	401	3,8

Tab. C7: ^{137}Cs -Messwerte von Hirschrüffeln, Untersuchungsgebiete Ohrdruf und Schönbrunn, Entnahme 2009 - 2010

Hirschrüffel- art	Gebiet	Trüffel ^{137}Cs [Bq•kg ⁻¹ FS]	Boden ^{137}Cs [Bq•kg ⁻¹ TS]	TF
E. granulatus	Schönbrunn	290		
E. granulatus		386		
E. granulatus		390		
E. granulatus		396		
E. granulatus		403		
E. granulatus		411		
E. granulatus		507		
E. granulatus		510		
E. granulatus		588		
E. granulatus		781		
E. granulatus		863		
E. granulatus		1051		
E. granulatus		1208		
E. granulatus		1558		
E. granulatus		1748		
E. granulatus		2480	163	15,2
E. granulatus		2587		
E. muricatus		2834	255	11,1
E. granulatus		3814	216	17,7
E. muricatus		509	144	3,5
E. muricatus		738	115	6,4
E. muricatus		2147	280	7,7
E. muricatus		2680	204	13,1
E. granulatus		3128	213	14,7

Tab. C8: ¹³⁷Cs-Messwerte und statistische Daten von Wildschweinen, Untersuchungsgebiet Arnsberg 2009 - 2011

<i>Messung - Arnsberg</i>	
Mittelwert	55,9
Median	6,5
Standardabweichung	96,9
Bereich	295,2
Minimum	2,2
Maximum	297,4
Anzahl	35,0

<i>Modell - Arnsberg</i>	
Mittelwert	325,3
Median	379,3
Standardabweichung	183,3
Bereich	641,4
Minimum	1,9
Maximum	643,3
Anzahl	61,0

<i>Modell Worst Case #1 - Arnsberg</i>	
Mittelwert	821,7
Median	797,2
Standardabweichung	149,5
Bereich	650,9
Minimum	477,2
Maximum	1128,1
Anzahl	61,0

<i>Modell Worst Case #2 - Arnsberg</i>	
Mittelwert	2694,3
Median	2612,2
Standardabweichung	487,3
Bereich	2088,5
Minimum	1587,5
Maximum	3676,0
Anzahl	61,0

Tab. C9: ¹³⁷Cs-Messwerte und statistische Daten von Wildschweinen, Untersuchungsgebiet Göhrde 2009 - 2011

<i>Messung - Göhrde</i>	
Mittelwert	89,9
Median	50,6
Standardabweichung	120,7
Bereich	662,6
Minimum	2,0
Maximum	664,6
Anzahl	69,0

<i>Modell - Göhrde</i>	
Mittelwert	234,0
Median	167,3
Standardabweichung	261,8
Bereich	1895,9
Minimum	1,8
Maximum	1897,7
Anzahl	268,0

<i>Modell Worst Case #1 - Göhrde</i>	
Mittelwert	1144,5
Median	1078,0
Standardabweichung	516,0
Bereich	4473,9
Minimum	440,5
Maximum	4914,4
Anzahl	268,0

<i>Modell Worst Case #2 - Göhrde</i>	
Mittelwert	3778,3
Median	3548,6
Standardabweichung	1697,2
Bereich	14664,8
Minimum	1457,8
Maximum	16122,6
Anzahl	268,0

Tab. C10: ¹³⁷Cs-Messwerte und statistische Daten von Wildschweinen, Untersuchungsgebiet Harz 2009 - 2011

<i>Messung - Harz</i>	
Mittelwert	134,4
Median	53,9
Standardabweichung	271,9
Bereich	1587,7
Minimum	2,4
Maximum	1590,1
Anzahl	65,0

<i>Modell - Harz</i>	
Mittelwert	470,4
Median	501,5
Standardabweichung	250,6
Bereich	1026,5
Minimum	7,1
Maximum	1033,6
Anzahl	136,0

<i>Modell Worst Case #1 - Harz</i>	
Mittelwert	950,8
Median	1026,2
Standardabweichung	399,3
Bereich	1612,1
Minimum	200,6
Maximum	1812,7
Anzahl	136,0

<i>Modell Worst Case #2 - Harz</i>	
Mittelwert	3106,3
Median	3344,0
Standardabweichung	1304,6
Bereich	5247,1
Minimum	659,6
Maximum	5906,7
Anzahl	136,0

Tab. C11: ¹³⁷Cs-Messwerte und statistische Daten von Wildschweinen, Untersuchungsgebiet Ohrdruf 2009 - 2010

<i>Messung - Ohrdruf</i>	
Mittelwert	306,0
Median	213,1
Standardabweichung	327,7
Bereich	1789,0
Minimum	1,0
Maximum	1790,0
Anzahl	60,0

<i>Modell – Ohrdruf</i>	
Mittelwert	209,7
Median	211,9
Standardabweichung	153,2
Bereich	548,6
Minimum	2,3
Maximum	550,9
Anzahl	68,0

<i>Modell Worst Case #1 – Ohrdruf</i>	
Mittelwert	683,9
Median	635,1
Standardabweichung	211,2
Bereich	827,7
Minimum	245,7
Maximum	1073,4
Anzahl	68,0

<i>Modell Worst Case #2 – Ohrdruf</i>	
Mittelwert	2245,8
Median	2100,7
Standardabweichung	694,8
Bereich	2683,6
Minimum	811,9
Maximum	3495,5
Anzahl	68,0

Tab. C12: ¹³⁷Cs-Messwerte und statistische Daten von Wildschweinen, Untersuchungsgebiet Schönbrunn 2009 – 2010

<i>Messung - Schönbrunn</i>	
Mittelwert	231,4
Median	155,0
Standardabweichung	250,5
Bereich	992,1
Minimum	0,9
Maximum	993,0
Anzahl	67,0

<i>Modell - Schönbrunn</i>	
Mittelwert	224,3
Median	235,7
Standardabweichung	114,1
Bereich	466,0
Minimum	21,6
Maximum	487,6
Anzahl	63,0

<i>Modell Worst Case #1 - Schönbrunn</i>	
Mittelwert	535,5
Median	516,1
Standardabweichung	163,3
Bereich	654,7
Minimum	295,3
Maximum	950,0
Anzahl	63,0

<i>Modell Worst Case #2 - Schönbrunn</i>	
Mittelwert	1750,4
Median	1680,7
Standardabweichung	528,6
Bereich	2120,8
Minimum	972,8
Maximum	3093,6
Anzahl	63,0

| Verantwortung für Mensch und Umwelt |

Kontakt:

Bundesamt für Strahlenschutz

Postfach 10 01 49

38201 Salzgitter

Telefon: + 49 30 18333 - 0

Telefax: + 49 30 18333 - 1885

Internet: www.bfs.de

E-Mail: ePost@bfs.de

Gedruckt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier.



Bundesamt für Strahlenschutz