

# **Migration von Iod-129 und Retrospektive Dosimetrie**

von der Naturwissenschaftlichen Fakultät  
der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover  
zur Erlangung des Grades

Doktor der Naturwissenschaften  
Dr. rer. nat.  
genehmigte Dissertation  
von

**M.Sc. Abdelouahed Daraoui**

geboren am 11.11.1974 in Casablanca (Marokko)

2010

Referentin: Frau Prof. Dr. Carla Vogt  
Korreferent: Herr Prof. Dr. Rolf Michel  
Tag der Promotion: 25.05.2010

## Kurzfassung

Die natürlichen Vorkommen des langlebigen Radionuklids  $^{129}\text{I}$  ( $T_{1/2} = 15,7 \text{ Ma}$ ) wurden durch den Fallout der oberirdischen Kernwaffenexplosionen, durch Freisetzungen aus nuklearen Unfällen und durch Emissionen aus Wiederaufarbeitungsanlagen nachhaltig verändert.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war  $^{127}\text{I}$ ,  $^{129}\text{I}$ ,  $^{40}\text{K}$  und  $^{137}\text{Cs}$  in Bodenprofile aus Bayern, Chile, Ukraine und die retrospektiv Dosimetrie des Fallouts von  $^{131}\text{I}$  nach dem Unfall von Tschernobyl zu bestimmen. Zusätzlich wurden die folgenden Proben analysiert: Proben aus Norddeutschland (Niederschlag, Oberflächen-, Grundwasser, Aerosolfilter, Boden, Bewuchs und Milch), Wasserproben aus Nordsee, Nordatlantik, Spitzbergen, Indischen Ozean, Mittelmeer, Hawaii, Tahiti und aus Ägypten, sowie prä nukleare Sedimentproben aus der Ost- und Nordsee. Die  $^{127}\text{I}$ -Gehalte wurden mittels induktiv gekoppelte Plasma-Massenspektrometrie (ICP-MS) und die  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Verhältnisse mit Hilfe Beschleunigermassenspektrometrie (AMS) bestimmt.

In den bayrischen Bodenprofilen war der geometrische Mittelwert der  $^{129}\text{I}$  Depositionsdichte  $109 \times 1,5^{\pm 1} \text{ mBq m}^{-2}$ . Hier waren als Quelle von  $^{129}\text{I}$  nicht der Reaktorunfall von Tschernobyl, sondern die beiden europäischen Wiederaufarbeitungsanlage dominant. Die  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ - Isotopenverhältnisse in den bayrischen Bodenprofilen liegen zwischen  $10^{-7}$  und  $10^{-10}$  und damit um das 100- bis 1000-fach höher als in den chilenischen Böden. Die integralen  $^{129}\text{I}$  Depositionsdichten liegen in Chile (Festland), auf der Osterinsel und in Antarktis nur zwischen 0,3 und  $2 \text{ mBq m}^{-2}$ . In diesen Bodenprofilen wurden  $^{127}\text{I}/^{129}\text{I}$  Isotopenverhältnisse in der Pedosphäre erstmals bei  $10^{-12}$  beobachtet. Diese Verhältnisse können in Übereinstimmung mit Untersuchungen rezenter mariner Sedimente als prä nukleare Gleichgewichtsisotopenverhältnisse angesehen werden. Die chilenischen Profile erlauben demnach auch die Bestimmung des  $^{129}\text{I}$  Fallout aus den oberirdischen Kernwaffenexplosionen, ungestört von Kontaminationen durch die Freisetzungen aus Wiederaufarbeitungsanlagen.

Die Untersuchungen von Bodenprofilen aus der Ukraine zeigen, dass noch immer mehr als 90 % der  $^{129}\text{I}$ -Konzentration in den oberen 40 cm der Bodenprofile zu lokalisieren sind. Dies erlaubt die  $^{129}\text{I}$ -Inventare in den Profilen als Näherungen für das gesamte anthropogene  $^{129}\text{I}$ -Inventare zu betrachten. Die  $^{129}\text{I}$  Inventare sind mit den  $^{137}\text{Cs}$  Inventaren in den hoch kontaminierten Gebieten korreliert. Allerdings ist die Variabilität der  $^{129}\text{I}/^{137}\text{Cs}$  Verhältnisse groß, so dass für die retrospektive Dosimetrie auf die  $^{129}\text{I}$ -Daten zurückzugreifen ist. In mehr als 35 Orten in der (heute evakuierten) Kontaminationszone II lagen die mittleren Schilddrüsendosen bei  $1,9 \times 3,2^{\pm 1} \text{ Gy}$  für 5-jährige Kinder und bei  $0,45 \times 3,2^{\pm 1} \text{ Gy}$  für Erwachsene. In mehr als 26 Orten in der Kontaminationszone III lagen die mittleren Schilddrüsendosen bei  $0,75 \times 1,9^{\pm 1} \text{ Gy}$  für 5-jährige Kinder und  $0,18 \times 1,9^{\pm 1} \text{ Gy}$  für Erwachsene.

Die  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse in den untersuchten Proben aus Nordsee und Nordatlantik lagen in der Größenordnung von  $10^{-9}$ . Sie sind damit bis zu 1000-mal höher als in Proben aus dem Indischen und Pazifischen Ozean und dem Oberflächenwasser aus Ägypten. Es wurden auch ganz niedrige  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse von  $22 \times 10^{-12}$  in prä nuklearen Proben aus der Ostsee beobachtet. Sie sind 2mal niedriger als in den prä nuklearen Proben aus Nordsee. Trotzdem bleiben diese Werte größer als das natürliche  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnis.

Die  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse nahmen vom Meer über den Niederschlag zum Oberflächenwasser und bis Grundwasser von  $10^{-6}$  auf  $10^{-10}$  ab. Es wurde ein deutlicher Einfluss der Nordsee auf das Oberflächenwasser des Großen Meeres und auf die Niederschläge auf Nordeuropa beobachtet. Die  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse in Milchproben lagen zwischen  $77 \times 10^{-10}$  und  $32 \times 10^{-08}$ . Die  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse in Böden aus Gorleben lagen bei etwa  $75 \times 10^{-9}$  und sind bis zu 3mal kleiner als im zugehörigen Bewuchs. Die  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse von Aerosolen lagen zwischen  $1,8 \times 10^{-7}$  und  $2,0 \times 10^{-7}$ .

**Schlüsselwörter:**  $^{129}\text{I}$ , AMS, retrospektive Dosimetrie

## Abstract

The naturally occurring of the long-lived radionuclide  $^{129}\text{I}$  ( $T_{1/2} = 15.7 \text{ Ma}$ ) have been substantially increased by the fallout from atmospheric nuclear explosions, by releases from nuclear accidents and by emissions from reprocessing plants.

The aim of this study was to determine the  $^{127}\text{I}$ ,  $^{129}\text{I}$ ,  $^{40}\text{K}$  and  $^{137}\text{Cs}$  in Soils from Northern Ukraine, Chile, Bavaria and the Retrospective Dosimetry of the  $^{131}\text{I}$  Exposure after the Chernobyl Accident. In addition, water samples from North Germany (precipitation, surface and ground waters, Aerosol, soils, Humus and milk), North Sea, North Atlantic, Spitzbergen, Indian Ocean, Mediterranean, Hawaii, Tahiti, Egypt and pre-nuclear sediment samples of the Baltic Sea and the North Sea were analysed.  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$  was analysed by accelerator mass spectrometry (AMS) and  $^{127}\text{I}$  was determined by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS).

The geometric mean deposition density of  $^{129}\text{I}$  in these soils was  $109 \times 1.5^{\pm 1} \text{ mBq m}^{-2}$ , that the dominant sources of  $^{129}\text{I}$  in the region are the reprocessing plants (La Hague and Sellafield) and not the Chernobyl fallout. The  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$  isotopic ratios of the Bavarian soils are measured between  $10^{-7}$  and  $10^{-10}$  what is 100- to 1000-time higher than as the ratios obtained for the Chilean samples. The  $^{129}\text{I}$  integral deposition densities in Chile, Easter Island and Antarctica were between 0.3 and  $2 \text{ mBq m}^{-2}$ . In these soils the observed  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$  ratios are about  $10^{-12}$  low measured Value in the pedosphere. This value is consistent with the results from the marine sediments assumed to represent the pre-nuclear equilibrium ratios. The soils from Chile also allow the determination of the  $^{129}\text{I}$  fallout from the atmospheric nuclear weapons explosions undisturbed from contaminations due to the releases from reprocessing plants.

The results from the soil profiles show that more than 90 % of the  $^{129}\text{I}$ -concentration in the soil profiles are still in the top 40 cm of the profiles is located. This allows the  $^{129}\text{I}$  inventories in the profiles as approximations for the total anthropogenic  $^{129}\text{I}$  inventories. The  $^{129}\text{I}$ - and  $^{137}\text{Cs}$ - inventories are correlated in the highly contaminated areas. However, the variability of the ratios  $^{129}\text{I}/^{137}\text{Cs}$  is large, so that for the retrospective dosimetry of  $^{129}\text{I}$ -data is drawn. In more than 35 villages in the contamination zone II, the mean thyroid doses were  $1.9 \times 3.2^{\pm 1} \text{ Gy}$  for 5-year-old children and  $0.45 \times 3.2^{\pm 1} \text{ Gy}$  for adults. In more than 26 locations in the contamination zone III, the mean thyroid doses were  $0.75 \times 1.9^{\pm 1} \text{ Gy}$  for 5-year-old child and  $0.18 \times 1.9^{\pm 1} \text{ Gy}$  for the adults.

The  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse in the examined samples from the North Sea and North Atlantic were in the order of  $10^{-9}$ . They are up to 1000 times higher than in the samples from the Indian and Pacific oceans and as surface water from Egypt. There have also been observed very low  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse of  $22 \times 10^{-12}$  in prä-nuklearen samples from the Baltic Sea. They are 2 times lower than in the prä-nuklearen samples from the North Sea. Nevertheless, these values remain greater than the natural  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnis.

The  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse took of the sea about the rainfall to the surface water till ground water from  $10^{-6}$  to  $10^{-10}$  up. It was observed a clear influence of the North Sea on the surface waters in the Great Sea and on the rainfall in Norderney. The  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse in milk samples ranged between  $77 \times 10^{-10}$  and  $32 \times 10^{-08}$ .  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse the soils of Gorleben stood at  $75 \times 10^{-9}$  and are up to 3 times smaller than with the associated vegetation. The  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse of aerosols ranged between  $1.8 \times 10^{-7}$  and  $2.0 \times 10^{-7}$ .

**Keywords:**  $^{129}\text{I}$ , AMS, Retrospective dosimetry

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1. Iod in der Umwelt .....	2
1.1.1. $^{127}\text{I}$ in der Biosphäre, Hydrosphäre und Atmosphäre .....	5
1.1.2. $^{127}\text{I}$ in der Lithosphäre .....	7
1.1.3. Natürliche Vorkommen von $^{129}\text{I}$ .....	9
1.1.4. Anthropogene Vorkommen von $^{129}\text{I}$ .....	10
1.1.5. $^{131}\text{I}$ und retrospektive Dosimetrie .....	13
1.2. Cäsium in der Umwelt .....	16
1.3. Widerarbeitungsanlagen Sellafield und La Hague .....	21
1.4. Reaktorunfall von Tschernobyl .....	23
1.5. Die Sorption von Radionukliden .....	25
1.5.1. Kationensorption .....	26
1.5.2. Anionensorption .....	27
<b>2. Aufgabenstellung</b> .....	<b>29</b>
<b>3. Herkunft der Proben und Probenahme</b> .....	<b>30</b>
3.1. Bodenprofile aus Chile .....	30
3.2. Bodenprofile aus Bayern .....	31
3.3. Bodenproben aus Ukraine .....	33
3.4. Exotische Proben .....	34
3.4.1. Nordsee und Nordatlantik .....	34
3.4.2. Rezente Proben weitab von Emittenten .....	35
3.4.3. Pränukleare Proben .....	36
3.5. Proben aus Norddeutschland .....	37
3.5.1. Niederschlag, Oberflächen- und Grundwasser aus Niedersachsen .....	38
3.5.2. Böden, Bewuchs, Milch und Aerosolfilter aus Niedersachsen .....	39
<b>4. Die experimentelle Quantifizierung von <math>^{137}\text{Cs}</math>, <math>^{127}\text{I}</math>, <math>^{129}\text{I}</math> und Aufbereitungs- und Untersuchungsproben</b> .....	<b>41</b>
4.1. Bestimmung $^{137}\text{Cs}$ mittels $\gamma$ -Spektrometrie .....	41
4.1.1. Grundlagen der $\gamma$ -Messung .....	41
4.1.2. Experimentelles .....	43
4.1.2.1. Nachweisvermögen (efficiency) .....	44
4.1.2.2. Nulleffekt .....	46
4.1.3. Auswertung der Spektrum .....	47
4.2. Bestimmung von $^{127}\text{I}$ mittels ICP-MS .....	48
4.2.1. Grundlagen der ICP-MS .....	48
4.2.1.1. Zerstäubung .....	49

4.2.1.2. Ionenquelle im induktiv gekoppelten Plasma.....	49
4.2.1.3. Interface.....	50
4.2.1.4. Quadrupol.....	51
4.2.1.5. Detektor.....	51
4.2.2. Experimentelles.....	51
4.2.3. Auswertung.....	52
4.3. Bestimmung des Gehaltes <sup>129</sup> I mittels AMS.....	55
4.3.1. Grundlage der AMS.....	55
4.3.1.1. Ionenquelle.....	56
4.3.1.2. Niederenergie-Massenspektrometer.....	57
4.3.1.3. Beschleuniger „Tandy“.....	57
4.3.1.4. Hochenergie-Massenspektrometer.....	58
4.3.1.5. Detektor.....	58
4.3.2. Experimentelles.....	60
4.3.3. Auswertung.....	61
4.4. Abschließende Berechnung des <sup>127</sup> I und <sup>129</sup> I.....	61
4.5. Berechnung der <sup>131</sup> I-Schilddrüsendosen.....	62
4.6. Bodenchemische und -physikalische Untersuchungen.....	63
4.6.1. Bestimmung der Bodendichte.....	63
4.6.2. Bestimmung der pH-Werte.....	63
4.6.3. Bestimmung der Eisen-, Aluminium- und Manganoxide.....	63
4.6.4. Bestimmung der Tongehalte.....	64
4.7. Aufbereitung fester Proben.....	64
4.8. Aufbereitung flüssiger Proben.....	65
4.8.1. Wasserproben.....	66
4.8.2. Milchproben.....	67
4.8.3. Aerosolfilterprobe.....	67
<b>5. Ergebnisse und Diskussion.....</b>	<b>69</b>
5.1. Qualitätskontrolle.....	69
5.1.1. Messunsicherheiten und charakteristische Grenzen.....	69
5.1.2. Blindwerte.....	71
5.1.3. Analyse von Referenzmaterialien.....	73
5.1.3.1. Referenzmaterial IAEA-Soil-375.....	73
5.1.3.2. Referenzmaterial IAEA-Soil-385.....	75
5.2. Bodenprofile aus Bayern.....	76
5.2.1. <sup>137</sup> Cs in Bodenprofile aus Bayern.....	76
5.2.1.1. <sup>137</sup> Cs-Aktivität.....	76
5.2.1.2. Vertikale Verteilung von <sup>137</sup> Cs.....	76

5.2.2. $^{40}\text{K}$ in Bodenprofile aus Bayern .....	81
5.2.2.1. $^{40}\text{K}$ -Aktivität .....	81
5.2.2.2. Vertikale Verteilung von $^{40}\text{K}$ .....	82
5.2.3. $^{129}\text{I}$ in Bodenprofile aus Bayern .....	83
5.2.3.1. $^{129}\text{I}$ -Aktivität .....	83
5.2.3.2. Vertikale Verteilung von $^{129}\text{I}$ .....	84
5.2.4. $^{127}\text{I}$ in Bodenprofile aus Bayern .....	86
5.2.4.1. $^{127}\text{I}$ -Gehalte .....	86
5.2.4.2. Vertikale Verteilung von $^{127}\text{I}$ .....	87
5.2.5. $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Verhältnisse in Bodenprofile aus Bayern .....	88
5.2.6. Vergleich zwischen den Isotopen .....	89
5.3. Bodenprofile aus Chile .....	93
5.3.1. $^{137}\text{Cs}$ in Bodenprofile aus Chile .....	93
5.3.2. $^{129}\text{I}$ in Bodenprofile aus Chile .....	95
5.3.3. $^{127}\text{I}$ in Bodenprofilen aus Chile .....	97
5.3.4. $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Verhältnisse in Bodenprofile aus Chile .....	98
5.4. Korrelation von Iod- und Cäsium-Gehalt mit den Parameter der Böden .....	100
5.4.1. Cäsium .....	100
5.4.2. Iod .....	102
5.5. Bodenproben aus Ukraine .....	107
5.5.1. Bodenprofile aus Schurba, Dowgij und Christinowka .....	107
5.5.2. Bodenproben aus 62 Siedlungen der nördlichen Ukraine aus Kontaminations zone II und III .....	110
5.5.3. Vergleich diese Arbeit mit andern Arbeiten .....	119
5.6. Retrospektive Dosimetrie von $^{131}\text{I}$ -Depositionen .....	120
5.6.1. $^{131}\text{I}$ -Schilddrüsendosen mit $^{131}\text{I}$ -Depositionsdichte aus Messungen der $^{129}\text{I}$ -Depositionsdichte .....	121
5.6.2. $^{131}\text{I}$ -Schilddrüsendosen aus $^{131}\text{I}$ -Depositionsdichte aus Messungen der $^{137}\text{Cs}$ -Depositionsdichte .....	122
5.6.3. Vergleich der beide Methoden .....	123
5.6.4. Vergleich von berechneten und gemessenen Schilddrüsendosen .....	124
5.7. Exotische Proben .....	129
5.7.1. Rezente Proben weitab von Emittenten .....	129
5.7.2. Pränukleare Proben (Ost- und Nordseesedimente) .....	130
5.8. Nordsee und Nordatlantik .....	132
5.9. Proben aus Niedersachsen .....	135
5.9.1. Niederschlag, Oberflächen- und Grundwasser .....	135
5.9.1.1. Niederschlag .....	135
5.9.1.2. Oberflächenwasser .....	139

5.9.1.3. Grundwasser .....	141
5.9.1.4. Zusammenfassung der Messdaten für Wasserproben.....	143
5.9.2. Aerosolfilter, Boden, Bewuchs und Kuhmilch.....	145
5.9.2.1. Kuhmilch .....	145
5.9.2.2. Boden und Bewuchs.....	146
5.9.2.3. Aerosolfilter.....	147
<b>6. Zusammenfassung.....</b>	<b>149</b>
6.1. Migration und Verhalten von $^{137}\text{Cs}$ und $^{129}\text{I}$ in den Bodenprofilen .....	150
6.2. Retrospektive Dosimetrie durch $^{131}\text{I}$ mittels $^{129}\text{I}$ -Depositionsdichte.....	151
6.3. Aktuelle Situation von anthropogenem $^{129}\text{I}$ in der Norddeutschland.....	152
<b>7. Ausblick.....</b>	<b>153</b>
<b>8. Anhang .....</b>	<b>154</b>
<b>9. Literaturverzeichnis .....</b>	<b>195</b>
<b>10. Abkürzungen.....</b>	<b>206</b>
<b>11. Danksagung .....</b>	<b>208</b>
<b>12. Publikationen .....</b>	<b>210</b>
<b>13. Lebenslauf.....</b>	<b>212</b>



## Abbildungsverzeichnis

Abb.1-1: Potential-pH-Diagramm für Iod in wässrige Lösung (25 °C). Die dunkle Fläche entspricht den normalen natürlichen Bedingungen [Bowen, 1979; Whitehead, 1984; Fuge und Johnson, 1986].	4
Abb.1-2: Austausch von Iod zwischen der Umweltkompartimenten.	6
Abb.1-3: Einfacher geochemische Austausch von Iod.	7
Abb.1-4: Zerfallsschema des $^{129}\text{I}$ .	10
Abb.1-5: Freisetzung von dem anthropogenen $^{129}\text{I}$ aus verschiedener Quelle.	11
Abb.1-6: Zerfallschema aus $^{131}\text{I}$ [ICR, 1983].	13
Abb.1-7: mittlere Dosis $^{131}\text{I}$ von Kindern und Jugendlichen in der Ukraine und	14
Abb.1-8: $^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}$ Aktivität in ukrainischen, weißrussischen und russischen Orten [UNSCEAR, 2000].	15
Abb.1-9: Zerfallsschema von $^{137}\text{Cs}$ .	17
Abb.1-10: Bodenkontamination mit $^{137}\text{Cs}$ in Deutschland im Mai 1986 [SSk 2006].	18
Abb.1-11: Bodenkontamination mit $^{137}\text{Cs}$ in Weißrussland, Russland und der Ukraine im Jahr 1986 durch den Reaktorunfall von Tschernobyl [SSK 2006].	20
Abb.1-12: $^{129}\text{I}$ -Emissionen aus den Wiederaufarbeitungsanlagen La Hague und Sellafield [Reisbeck und Yioul., 1995; Michel et al., 2004; GRNC, 1999; BNFL; 2001].	22
Abb.1-13: Block 4 des Kernkraftwerks von Tschernobyl nach dem Reaktorunfall.	23
Abb.1-14: Computersimulation der Strahlenwolken nach dem Unfall am 28. Mai (links) und in den Tagen danach (recht).	24
Abb.3-1: Chile-Festland, Osterinsel und Antarktis auf die Karte.	31
Abb.3-2: Namen und Lage der untersuchten Ortschaften in Bayern.	32
Abb.3-3: Lage von 58 der untersuchten 62 Ortschaften in der nördlichen Ukraine. Die Probenahmeorte der Tiefenprofile sind rot gedruckt.	33
Abb.3-4: Probe von Sedimenten aus Ostesee	37
Abb.3-5: Probenahmeorte für Niederschlag,, Oberflächenwasser und Grundwasser. Einteilung in Regionen nach Szidat 2000.	38
Abb.4-1: schematische Darstellung einer $\gamma$ -Spektrometer.	42
Abb.4-2: Aufbau eines $\gamma$ -Spektrometrischen Messsystems	42
Abb.4-3: Verlauf der Efficiency für Boden „SAWA“	45
Abb.4-4: Nulleffektspektrum von Detektor Benno. Die Messzeit lag bei 72 Stunden	46
Abb.4-5: Schematischer Aufbau eines ICP-MS-Spektrometers	48
Abb.4-6: Schematische Darstellung des Interfaces.	50
Abb.4-7: Schematischer Aufbau der AMS-Anlage an der ETH Zürich, Höggerberg.	56
Abb.4-8: Schematischer Aufbau dem Gasionisationskammer	59
Abb.4-9: Schematischer Aufbau der Verbrennungsappatur	65
Abb.5-1: Daten von $^{129}\text{I}$ von Blankproben in Femtogramm gegen das Datum der Probensverbrennung.	72

Abb.5-2: $^{129}\text{I}$ -Konzentration der Standard IAEA-375 mit unterschiedlichen Versuchen dieser Arbeit (Kreise) und dem Mittelwert dieser Versuche (Quadrat).....	74
Abb.5-3: Tiefenabhängigkeit der $^{137}\text{Cs}$ -Aktivität in fünf Bodenprofilen von Bayern. ....	76
Abb.5-4: Tiefenabhängigkeit der $^{137}\text{Cs}$ Depositionsdichten in fünf Bodenprofilen von Bayern.....	77
Abb.5-5: Tiefenabhängigkeit der $^{137}\text{Cs}$ spezifischen Aktivität in fünf Bodenprofilen aus Bayern.....	81
Abb.5-6: Tiefenabhängigkeit der $^{137}\text{Cs}$ Depositionsdichten in fünf Bodenprofilen aus Bayern.....	82
Abb.5-7: Tiefenabhängigkeit der $^{129}\text{I}$ spezifische Aktivität in fünf Bodenprofilen aus Bayern. ....	83
Abb.5-8: Tiefenabhängigkeit der $^{129}\text{I}$ Depositionsdichten Isotopenverhältnisse in fünf.....	84
Abb.5-9: Tiefenabhängigkeit der $^{127}\text{I}$ spezifische Aktivität in fünf Bodenprofilen aus Bayern. ....	86
Abb.5-10: Tiefenabhängigkeit der $^{129}\text{I}$ Depositionsdichten Isotopenverhältnisse in fünf Bodenprofilen aus Bayern. ....	87
Abb.5-11: $^{129}\text{I}$ / $^{127}\text{I}$ -Verhältnisse in fünf Bodenprofilen aus Bayern. ....	88
Abb.5-12: Tiefenabhängigkeit der $^{137}\text{Cs}$ spezifische Aktivität in acht Bodenprofilen aus Chile. ....	93
Abb.5-13: Tiefenabhängigkeit der $^{137}\text{Cs}$ Depositionsdichten in acht Bodenprofilen aus Chile .....	94
Abb.5-14: Tiefenabhängigkeit der $^{129}\text{I}$ -Aktivität in acht Bodenprofilen von Chile. ....	95
Abb.5-15: Tiefenabhängigkeit der $^{129}\text{I}$ Depositionsdichten in acht Bodenprofilen aus Chile.....	96
Abb.5-16: Tiefenabhängigkeit der $^{127}\text{I}$ spezifische Aktivität in acht Bodenprofilen aus Chile.....	97
Abb.5-17: Tiefenabhängigkeiten der $^{127}\text{I}$ Depositionsdichten in acht Bodenprofilen aus Chile. ....	98
Abb.5-18: $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Verhältnisse in acht chilenische Böden. ....	99
Abb.5-19: Gehalt an organischen Bodenbestandteilen und $^{137}\text{Cs}$ -Konzentrationen in den Böden aus Bayern und Chile.....	101
Abb.5-20: Organische Bestandteil- und $^{127}\text{I}$ -Gehalt in den Böden aus Bayern und Chile.....	104
Abb.5-21: Organischen Bestandteil- und $^{129}\text{I}$ -Gehalt in den Böden aus Bayern und Chile.....	104
Abb.5-22: Aluminiumoxid-Gehalte und $^{129}\text{I}$ -Gehalte in den Böden aus Bayern und Chile.....	105
Abb.5-23: Aluminiumoxid-Gehalte und $^{127}\text{I}$ -Gehalte in den Böden aus Bayern und Chile.....	105
Abb.5-24: Tiefenabhängigkeit der $^{129}\text{I}$ Depositionsdichten in den Bodenprofilen aus Christinowka, Dowigij-Lis und Schrba. ....	108
Abb.5-25: Geometrische Mittelwerte der 5 Bodenproben in den einzelnen Ortschaften aus der Ukraine für die $^{137}\text{Cs}$ -Aktivitätskonzentrationen (oben) und für die $^{40}\text{K}$ -Aktivitätskonzentrationen (unten). ....	111
Abb.5-26: Geometrische Mittelwerte der 5 Bodenproben in den einzelnen Ortschaften der Ukraine für die $^{129}\text{I}$ -Aktivitätskonzentrationen (oben) und für die $^{127}\text{I}$ -Konzentrationen (unten).....	112
Abb.5-27: Geometrische Mittelwerte der 5 Bodenproben in den einzelnen Ortschaften der Ukraine für die $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse. ....	113
Abb.5-28: Geometrischer Mittelwert der 5 Bodenproben in einzelnen Ortschaften.....	114
Abb.5-29: Depositionsdichte von $^{137}\text{Cs}$ und $^{129}\text{I}$ in 310 Böden aus Ukraine.....	117
Abb.5-30: Depositionsdichte von $^{137}\text{Cs}$ und $^{129}\text{I}$ in 62 Orten aus Ukraine. ....	117
Abb.5-31: Häufigkeiten der geometrischen Standardabweichungen der jeweils 5 Bödenproben in der einzelnen Ortschaft für $^{137}\text{Cs}$ (oben) und $^{129}\text{I}$ (unten). ....	118
Abb.5-32: Depositionsdichten von $^{137}\text{Cs}$ und $^{129}\text{I}$ in verschiedenen Orten.....	119

Abb.5-33: Berechnete Schilddrüsendosen durch $^{131}\text{I}$ mittels $^{129}\text{I}$ -Depositionsdichte für 5-jährige Kinder .....	121
Abb.5-34: Berechnete Schilddrüsendosen durch $^{131}\text{I}$ mittels $^{137}\text{Cs}$ -Depositionsdichte für 5-jährige Kinder .....	122
Abb.5-35: Berechnete Schilddrüsendosen durch $^{131}\text{I}$ für 5-jährige Kinder .....	123
Abb.5. 36: Geschätzte Messungen von einzeln Schilddrüsendosen und berechneten mittleren Dosen (Histogramm) für die ukrainischen Dorf Rudka [Likhtarev et al., 1994].....	125
Abb.5-37: Gemessene und berechnete Schilddrüsendosen durch $^{131}\text{I}$ für 5-jährige Kinder.....	127
Abb.5-38: Gemessene und berechnete Schilddrüsendosen durch $^{131}\text{I}$ für 10-jährige Kinder.....	127
Abb.5-39: Gemessene und berechnete Schilddrüsendosen durch $^{131}\text{I}$ für Erwachsene. ....	128
Abb.5-40: Depositionsdichten von $^{127}\text{I}$ pro Quartal.....	137
Abb.5-41: Depositionsdichten von $^{129}\text{I}$ pro Quartal.....	137
Abb.5-42: $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse im Quartalsniederschlag.....	138
Abb.5-43: $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse in niedersächsischen Oberflächenwässern.....	141
Abb.5-44: Zeitlicher Verlauf der $^{127}\text{I}$ - (Oben), $^{129}\text{I}$ -Konzentrationen (Mitte) und $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Verhältnisse (Unten) in niedersächsischen Grundwässern. ....	142
Abb.5-45: $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse und $^{127}\text{I}$ -Gehalte (Oben) bzw. $^{129}\text{I}$ -Gehalte (Unten) im Wasseraus Niedersachsen .....	144

## Tabellenverzeichnis

Tab.1-1: Physikalisch-chemischen Daten des Iods [Fuge und Johnson, 1986].	2
Tab.1-2: Oxidationsstufe und entsprechenden chemische Spezies	3
Tab.1-3: Iod in Böden aus verschiedene Teilen der Welt [Mimidies et al., 2005].	8
Tab.1-4: Physikalisch-chemischen Daten des Cäsiums	16
Tab.1-5: Bindungstypen und –Energie bei der Bodenadsorption [Sigg und Stumm, 1989; ICR, 1983]	25
Tab.3-1: Namen von 58 der untersuchten 62 Ortschaften in der nördlichen Ukraine.	34
Tab.3-2: Beschreibung der Proben aus Nordsee und Nordatlantik.	35
Tab.3-3: Beschreibung der einzahlen Proben.	36
Tab.3- 4: Beschreibung der Pränukeare Proben aus Ost- und Nordsee.	37
Tab.3-5: Beschreibung der einzelnen Proben der untersuchten Wasserproben nach Szidat [Szidat, 2000].	39
Tab.4- 1: Technische Daten der Verwendeten HPGe-Detektoren.	43
Tab.4-2: Multi-Element-Standard QCY-48, Referenzdatum 01.06.2004.	45
Tab.4-3: Verdünnung der Aliquote vor der ICP-MS Messung in dieser Arbeit	52
Tab.4-4: Einige Daten des Niederenergiemagneten, elektrostatische Analysator und Hochenergiemagnet.	57
Tab. 5-1: Erkennungsgrenzen für die $^{129}\text{I}$ -Bestimmung für verschiedene Probenmatrices nach DIN 25482-10 und durchschnittliche Proben Menge in Gramm mit typische $^{127}\text{I}$ - Konzentrationen dieser Materialien.	70
Tab. 5-2: $^{129}\text{I}$ -, und $^{127}\text{I}$ -Konzentrationen in Standardreferenzmaterial IAEA-Soil-375	74
Tab. 5-3: $^{129}\text{I}$ -, und $^{127}\text{I}$ -Konzentrationen in Standardreferenzmaterial IAEA-Soil-385	75
Tab. 5-4: Aktivitätskonzentration und Prozentuale Verteilung von $^{137}\text{Cs}$ in verschiedenen Tiefenbereichen der untersuchten Böden (bezogen auf 30 cm Tiefe).	80
Tab. 5-5: Prozentuale Verteilung von $^{129}\text{I}$ in verschiedenen Tiefenbereichen der untersuchten Böden (bezogen auf 30 cm Tiefe).	85
Tab. 5-6: Vergleich der in dieser Arbeit berechneten Halbwertstiefen für $^{129}\text{I}$ in Bodentiefen mit Literaturwerten.	85
Tab. 5-7: Mathematische Equation der Tiefenverlauf von Radionuklide (Depositionsdichte in jeder Tiefe) in fünf Bodenprofilen von Süddeutschland.	90
Tab. 5-8: Depositionsdichten von $^{137}\text{Cs}$ und $^{129}\text{I}$ und Flächendichte von $^{127}\text{I}$ im untersuchten Tiefenbereich. Die $^{137}\text{Cs}$ Aktivitäten beziehen sich auf das Datum 01.05.1999 (WAWA auf 01.08.1998).	92
Tab. 5-9: Eigenschaften von Böden, die Steigerung durch Abschnitt-Kurve (a/b) und Bestimmtheitsmaß der verschiedenen Kurven (siehe Abb.nn im Anhang)	106
Tab. 5-10: Prozentuale Verteilung von $^{127}\text{I}$ , $^{129}\text{I}$ und $^{137}\text{Cs}$ in verschiedenen Tiefenbereichen der untersuchten Böden.	109

Tab. 5-11: $^{127}\text{I}$ - und $^{129}\text{I}$ -Konzentrationen und $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ Isotopenverhältnisse in wässrige Proben und Lehmziegel.....	130
Tab. 5-12: $^{127}\text{I}$ - und $^{129}\text{I}$ -Konzentrationen und $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ Isotopenverhältnisse in prä nuklearen Sedimenten aus Ost- und Nordsee.....	131
Tab. 5-13: Ergebnisse von $^{127}\text{I}$ - und $^{129}\text{I}$ -Konzentrationen und $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ Isotopenverhältnisse in Wasserproben aus Nordsee und Nordatlantik.....	134
Tab. 5-14: Geometrische Mittelwerte und Standardabweichungen der $^{127}\text{I}$ - und $^{129}\text{I}$ -Konzentrationen und der $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse in Niederschlagswässern aus Niedersachsen. Die Ergebnisse zwischen Zeitraum 1997 und 2005 wurden von der Arbeit [Klipsch 2005 und Michel et al., 2004] genommen.....	136
Tab. 5-15: Jährliche Depositionsdichte von $^{127}\text{I}$ und $^{129}\text{I}$ ermittelt aus den logarithmische Mittelwerten der Quartalsdepositionsdichten und den Niederschlagshöhen der Gebiete. Die Ergebnisse zwischen Zeitraum 1997 und 2005 wurden von der Arbeit [Klipsch 2005 und Michel et al., 2004] genommen.....	138
Tab. 5-16: Geometrischer Mittelwerte und geometrische Standardabweichungen der $^{127}\text{I}$ - und $^{129}\text{I}$ -Konzentrationen und der $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ - Isotopenverhältnisse in Oberflächenwässern aus Niedersachsen gemittelt über die Jahre von 1997 bis 2009 im Vergleich mit den entsprechenden Daten für Niederschlag und Nordseewasser. ....	140
Tab. 5-17: Zusammenfassung der Ergebnisse von Kuhmilch. Die Konzentrationsangaben beziehen sich auf das Frischgewicht. Die Ergebnisse der Regionen I und III wurden von der Arbeit [Klipsch 2005 und Michel et al., 2004] genommen. ....	145
Tab. 5-18: Ergebnisse von $^{127}\text{I}$ -, $^{129}\text{I}$ -Konzentration und $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse in den Boden und Bewuchs aus den Messpunkte MP1 und MP5 in der Region IV in Niedersachsen. ...	147
Tab. 5-19: Ergebnisse von $^{127}\text{I}$ -, $^{129}\text{I}$ -Konzentration und $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse in Aerosolfilter im Messhaus 2 und Messhaus 4 in der Region IV in Niedersachsen zwischen Zeitraum 2002 und 2009 .....	148



## 1. Einleitung

Wir leben in der Umwelt mit natürlichen radioaktiven Stoffen. Es handelt sich um primordiale, fissionogene und kosmogene Radionuklide. Aber seit der Nutzung von Uran und Plutonium für zivile oder militärische Zwecke stellen die Freisetzungen der anthropogenen Radionuklide eine Umweltbelastung dar. So waren die oberirdischen Kernwaffenexplosionen, Wiederaufbereitungsanlagen für Kernsprengstoffe und kern-technische Unfälle die Hauptquellen der Freisetzung der anthropogenen Nuklide in die Umwelt. Von diesen Radionukliden sind vor allem die langlebigen Radionuklide von radiologischer Bedeutung. Zwei relevante Nuklide sind das  $^{129}\text{I}$  und das  $^{137}\text{Cs}$ .

In dieser Arbeit sind die Bestimmungen von  $^{129}\text{I}$  und  $^{127}\text{I}$  in den Umweltproben aus verschiedenen Gründen von Interesse. Erstens können Hinweise auf die Migration der Iod-Isotope durch die Untersuchung von Bodenprofilen gewonnen werden. Zweitens ist die Bestimmung der integralen Depositionsdichten von  $^{129}\text{I}$  sowohl im Hinblick auf die Bilanzierung der anthropogenen Veränderungen, als auch für die retrospektive Dosimetrie der Strahlenexposition durch  $^{131}\text{I}$  nach dem Unfall von Tschernobyl möglich. Drittens ist die Untersuchung der Tiefenverteilung von Iod in Böden im Hinblick auf den Transfer des Iods in die Vegetation und die Abhängigkeit von bodenkundlichen Parametern von Bedeutung. Schließlich erlaubt die Untersuchung prä-nuklearer Böden, Informationen über die natürlichen  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Gleichgewichts-isotopenverhältnisse in der terrestrischen Biosphäre zu gewinnen.

Diese Arbeit umfasst auch die Bestimmungen von  $^{137}\text{Cs}$  und  $^{40}\text{K}$  in Böden. Der Grund dafür ist nicht nur die Kontrolle der Verteilung von  $^{137}\text{Cs}$  in der Umwelt, sondern auch der Versuch der Rekonstruktion von  $^{131}\text{I}$ -Gesamtdepositionsdichten in der Umgebung von Tschernobyl. Die Untersuchung und Messung von  $^{137}\text{Cs}$  ist sehr einfach und schnell im Vergleich zu  $^{129}\text{I}$ . In dieser Arbeit wird die Voraussetzung dafür diskutiert und betrachtet, welche Methode von den beiden Messungen für die retrospektive Dosimetrie geeignet ist.

## 1.1. Iod in der Umwelt

Iod ist das 4. Element der VII. Hauptgruppe des Periodensystems. Es wurde im Jahre 1811 vom französischen Chemiker Bernard Courtois entdeckt und im Jahre 1814 von Joseph Louis Gay-Lussac als neues Element identifiziert [Breuer, 1981]. Dieses Halogen steht an 47. Stelle der Elementhäufigkeiten. Es ist chemisch weniger aktiv als Chlor und Brom und ist ein mildes Oxidationsmittel. Iod sublimiert merklich bereits bei Raumtemperatur. Seine physikalisch-chemischen Daten sind in Tabelle 1-1 dargestellt. Nach seiner Elektronenkonfiguration kann es ein Elektron einfangen, um die stabile Konfiguration von Inertgas zu erreichen. Das Halogen Iod tritt gegenüber weniger elektronegative Elementen immer einwertig auf.

**Tab.1-1:** Physikalisch-chemischen Daten des Iods [Fuge und Johnson,1986].

Eigenschaften	
Ordnungszahl	53
Atommasse	126,9 g mol <sup>-1</sup>
Elektronenkonfiguration	[Kr]4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup> 5p <sup>5</sup>
Elektronenaffinität	295,5 kJ mol <sup>-1</sup>
Schmelzpunkt	113,6 °C
Siedpunkt	185,2 °C
Kovalenter Radius	133 pm
Van der Waals Radius	215 pm
Oxidationszustände	-1, 0, 1, 5, 7

Wegen seiner zahlreichen Oxidationszuständen ist die Chemie des Iods sehr komplex. Tabelle 1-2 zeigt unterschiedliche chemische Iodspezies mit unterschiedlichen Oxidationsstufen. In der Abb. 1-1 wird das Potential-pH-Diagramm dargestellt, es zeigt die Stabilitätsbereiche von Iod in einer flüssigen Lösung, was von pH und Redoxpotenzial von dieser Lösung für eine bestimmte Konzentration des Iods abhängt [Bowen, 1979; Fuge und Johnson, 1986]. Iod wird in Form von Iodid als Hauptspezies und als Iodat in alkalischer Bedingung vorkommt. Elementares Iod ist unter normaler Bedienung sehr flüchtig und wird zu Iodat im sauren Medium oxidiert. Aus diesem Grund ist es sehr wichtig seinen Oxidationszustand zu kontrollieren. Nach der Goldschmidt Klassifikation gehört Iod in der Geochemie zu den lithophilen Elementen. Diese Klassifikation basiert auf der Affinität des Elements und dem Prinzip des



HSAP-Konzepts (hard and soft acid and bases) [Ernst, 2003]. Auf der anderen Seite ist Iod ein biophiles Element und findet sich in organischen Materialien wie Seetang, Algen und anderen Meersorganismen [Santschi und Schwehr, 2004].

**Tab.1-2:** Oxidationsstufen von Iod und entsprechenden chemische Spezies

Oxidations- stufe	Chemische Spezies	Name	Eigenschaften
	HI	Iodwasserstoffsäure	sehr wenig flüchtig
-1	I <sup>-</sup>	anorganische Iodide	flüchtig, sehr gut wasserlöslich
	CH <sub>3</sub> I	organische Iodide	flüchtig
0	I <sub>2</sub>	elementares Iod	flüchtig
1	HOI	Hypoiodige Säure	flüchtig, unbeständig
5	HIO <sub>3</sub>	Iodsäure	-
	IO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Iodate	sehr wenig flüchtig
7	HIO <sub>4</sub>	Periodsäure	-
	IO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Periodate	sehr wenig flüchtig

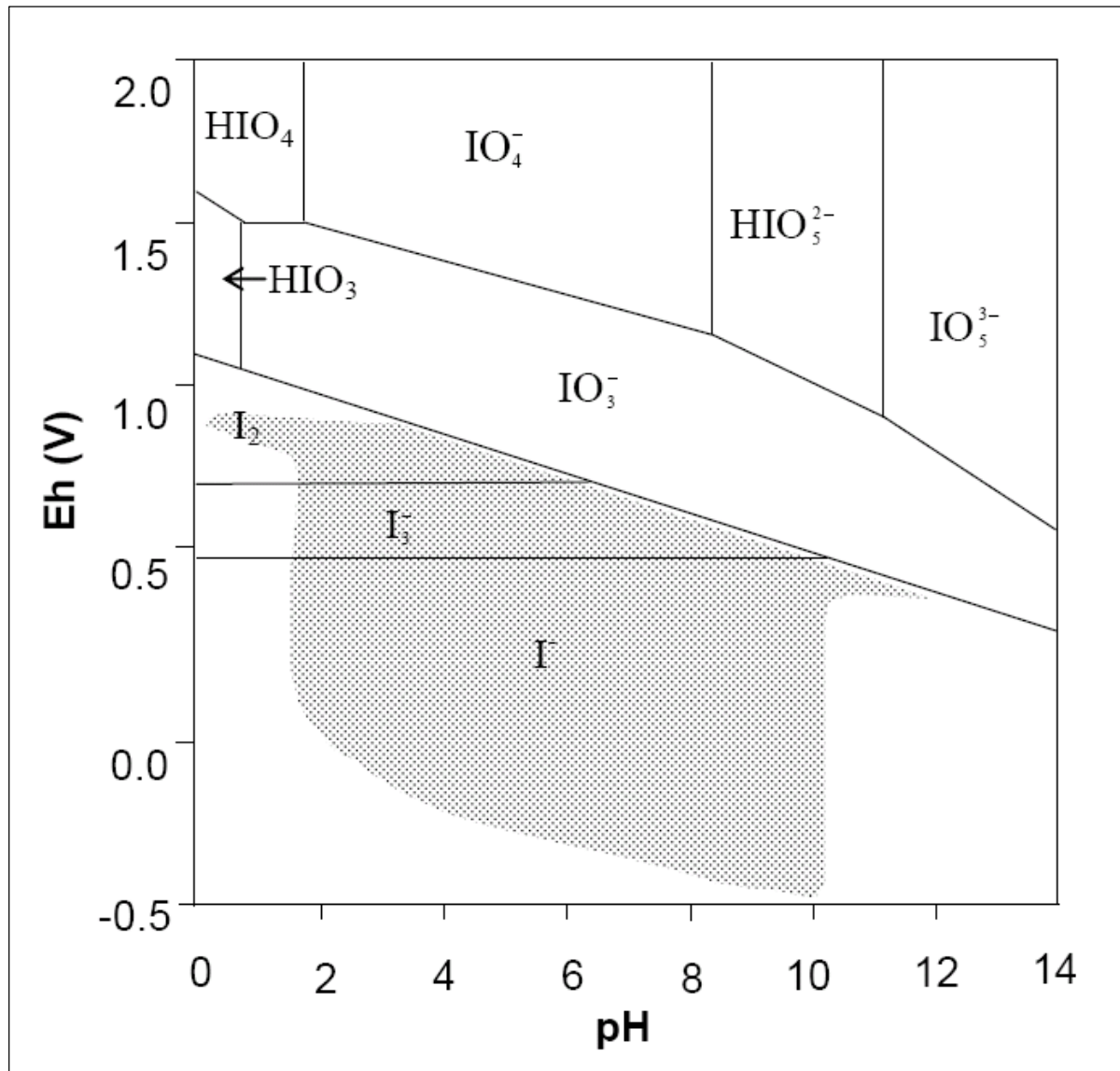
In der Natur gibt es nicht nur das stabile Isotop <sup>127</sup>I (99,9 %), das eine Atommasse von 126,9 g mol<sup>-1</sup> hat, sondern auch das radioaktive Isotop <sup>129</sup>I (0,01 %), mit einer Atommasse von 128,9 g mol<sup>-1</sup> und 15,7 Ma Halbwertszeit. Weltweit liegen die abbaubaren Iodvorkommen hauptsächlich als Kalziumiodate vor.

Die wichtigsten Iod-Mineralien sind [Ericksen, 1981]:

- Lautarit, Ca(IO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>,
- Brüggerit, Ca(IO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·H<sub>2</sub>O,
- Dietzeit, Ca<sub>2</sub>[(IO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>(CrO<sub>4</sub>)]·H<sub>2</sub>O.

Bis in die Mitte des 20 Jahrhunderts wurde Iod in großen Mengen aus Algen extrahiert. Heute erfolgt die Gewinnung fast ausschließlich aus Chilesalpeter, welcher bis 0,2 % Iod enthält. Die durchschnittliche Iodkonzentration in der Erde liegt bei

300  $\mu\text{g kg}^{-1}$ , diejenige in der Luft bei ungefähr  $0,7 \mu\text{g m}^{-3}$ . Der Regen enthält mehr Iod als Luft nämlich zwischen  $1,8 - 8,5 \mu\text{g L}^{-1}$ . Damit kann er die Erdoberflächen mit Iod anreichern [Fuge und Lang, 1989; Hetzel, 1991].



**Abb.1-1:** Potential-pH-Diagramm für Iod in wässriger Lösung (25 °C). Die dunkle Fläche entspricht den normalen natürlichen Bedingungen [Bowen, 1979; Whitehead, 1984; Fuge und Johnson, 1986].

Iod hat insgesamt 37 radioaktive Isotope. Diese sind von  $^{108}\text{I}$  bis  $^{144}\text{I}$  bekannt. Einige dieser radioaktiven Isotope werden in verschiedenen diagnostischen und medizinischen Anwendungen gebraucht oder zu Markierungszwecken bei der Aufklärung chemischer Reaktionsmechanismen eingesetzt. Als Beispiel wird  $^{131}\text{I}$  aufgrund seiner kurzen Halbwertszeit (8 d) und seiner Emission von  $\beta$ -Strahlung in der Radioiodtherapie angewendet. In Abschnitt 1.1.5 werden weitere Eigenschaften von  $^{131}\text{I}$  bespro-

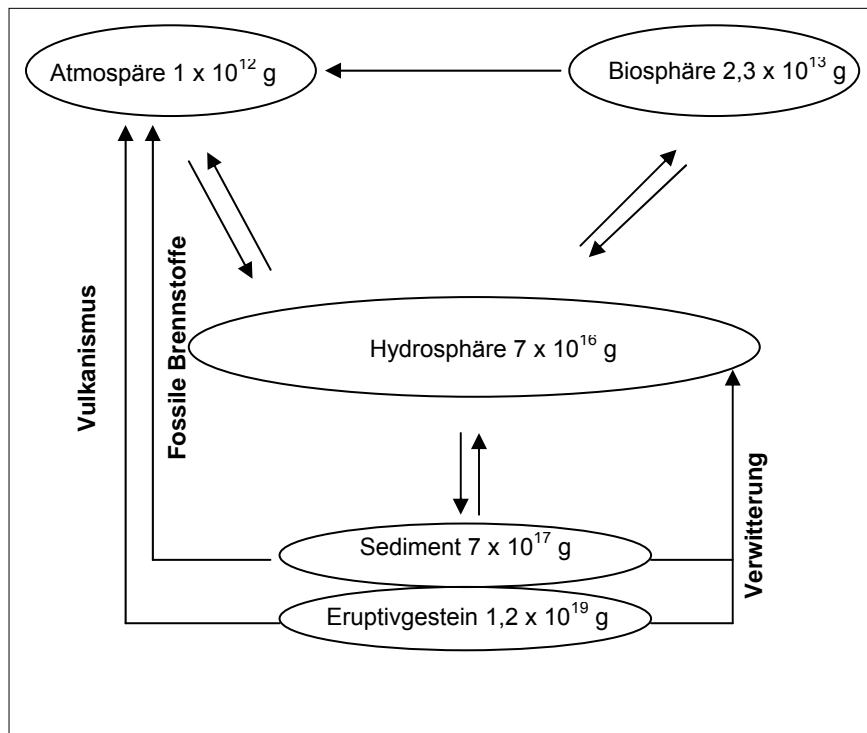
chen.  $^{123}\text{I}$  ( $t_{1/2} = 13 \text{ h}$ ) wird in der medizinischen Tomographie verwendet,  $^{124}\text{I}$  ( $t_{1/2} = 4$ ) und  $^{125}\text{I}$  ( $t_{1/2} = 60 \text{ d}$ ) finden Anwendung in der Immuntherapie und Krebsbehandlung. Sie werden auch in der Forschung für Markierungszwecke oft benutzt.

Für Mensch und Tier stellt Iod ein essentielles Spurenelement dar und wird durch Inhalation oder durch Ingestion aufgenommen. Die biologische Bedeutung des Iods beruht darauf, dass Iod ein wichtiger Bestandteil der Schilddrüsenhormone L-Tyroxin ( $\text{T}_4$ ), L-Triiodthyronin ( $\text{T}_3$ ) und anderer Iodaminosäuren ist. Beide Hormone spielen eine große Rolle bei der Regulierung des Wachstums und der Entwicklung des Körpers. In den Iodmangelgebieten kommt es oftmals zu einer Iodunterversorgung der Bevölkerung, die zu Schilddrüsenstörungen führen kann [Melchert et al., 2002]. Im Abschnitt 1.1.2 wurde die Ursache von den Iodmangelgebieten und Unhomogenität der Iodverteilung auf der Erde beschrieben.

#### **1.1.1. $^{127}\text{I}$ in der Biosphäre, Hydrosphäre und Atmosphäre**

Abbildung 1-2 zeigt den Iod-Austausch zwischen Geosphäre (Gestein und Sediment), Hydrosphäre, Atmosphäre und Biosphäre [Edward und Rey, 1969; Fabrika Martin et al., 1984; Bonka, 2000]. Iod wird durch den Vulkanismus in der Biosphäre eingetragen und durch die Mechanismen der Erosion und Sedimentation freigesetzt bzw. fixiert. Die Hydrosphäre ist der Hauptspeicher des Iods. Etwa 99 % dieses Halogenen befindet sich in den Ozeanen, die gleichzeitig die Iodquelle der Atmosphäre sind [Whitehead, 1984]. Die Konzentration des Iods ist groß im Meerwasser und nimmt in Atmosphäre und Lithosphäre mit der Entfernung vom Ozean ab [Fuge und Lang, 1989].

Die Iod-Konzentration liegt in marine Pflanzen bei bis zu  $10\,000 \text{ mg kg}^{-1}$ . Im Süßwasser erreicht der Gehalt des Iods von 1 bis  $20 \mu\text{g L}^{-1}$  und im ozeanischen Meerwasser liegt er im Bereich von  $60 \mu\text{g L}^{-1}$ . Iod wird hauptsächlich in Form von Iodat, Iodid und in sehr kleinen Mengen in organischer Form, insbesondere in Oberflächewässern gefunden. Iodat ist die stabilste thermodynamische Form des Iods [Fuge und Johnson, 1986; Wong, 1991; Hou et al., 2000b; Oktay et al., 2001; Moran et al., 2002; Schwehr et al., 2003].



**Abb.1-2:** Berechnetes Gehalt und Austausch von Iod zwischen der Umweltkompartimenten.

Die Atmosphäre kann über den Meeren jedes Jahr zwischen  $1 \times 10^9 \text{ g}$  und  $4 \times 10^9 \text{ g}$  des Iods durch direkt Sea Spray, durch das flüchtige Iod und durch Organoiod (VOI-Verbindungen) aufnehmen. Das flüchtige Iod bildet durch photochemische Oxidation von Iodid zu Iodat und das flüchtige Organoiod bildet durch biologische Verfahren. Die wichtigsten Formen von Iod in der Umwelt sind Methyljodid, Iodid und Iodat. Sie werden in der Atmosphäre auf den Aerosolen adsorbiert, so dass das Iod mit den nassen oder trockenen Fallout auf die Erde zurückkommt (Abb. 1-3) [Singh, 1983; Wong, 1991; Fuge, 1996; Jeffers et al., 1998; Moore und Groszko, 1999; Allanic und Rossi, 1999; Cox et al., 1999; Aldahan et al., 2006].

Der Iod-Gehalt der Niederschläge ist im Sommer höher als im Winter und nimmt mit zunehmender Entfernung von der Küste ab. Von dem höheren Iodanteil im Regen profitieren die küstennahen Gebiete, deren Böden besonders iodreich sind [Michel et al., 2002]. Niederschläge können aber auch zur Iod-Verarmung der Erde durch schwere Regenfälle führen. Über Bäche und Flüsse wird das Iod somit wieder in die Meere zurückgebracht. Im Gegensatz hierzu wird es stark an organischem Material in den Böden und Sedimenten zurückhalten [Baker et al., 2001]. Auch Lithosphäre kann durch die Verbrennung der fossilen Brennstoffe, Vulkanismus und die Verflüch-

tungen von Iod aus Böden als Iod-Quelle für die Atmosphäre dienen. Diese Prozesse entsprechen jedoch nur 2 % des Beitrages von Iod pro Jahr.

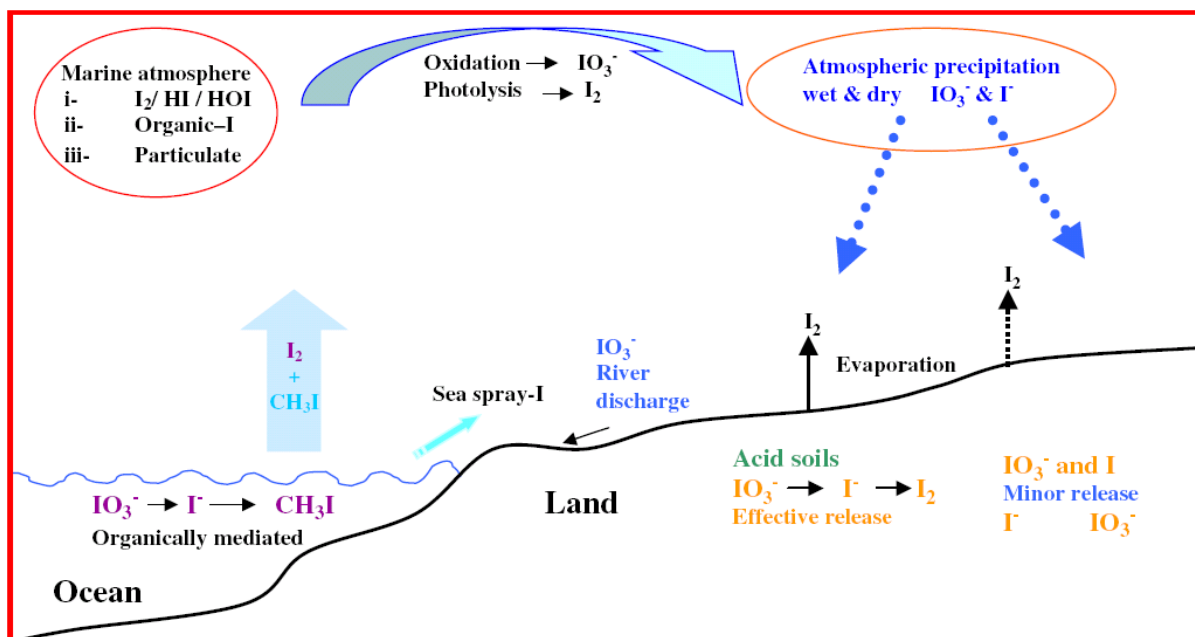


Abb.1-3: Einfaches Schema für den geochemischen Austausch von Iod [Aldahan et al., 2006].

### 1.1.2. $^{127}\text{I}$ in der Lithosphäre

Vor 10 000 Jahren war Iod auf der Erde überall gleichmäßig verteilt. Danach wurden die Böden im Laufe Eiszeiten durch Gletscher überdeckt, aufgrund von Gletscherbewegungen wurden Humus und iodhaltige Böden durch Bodenerosion fortgerissen. Als Folge wurde das Iod in den obersten Bodenschichten durch die Gletscherschmelze entfernt. Aus diesem Grund unterscheidet man zwischen den starken Iodmangelgebieten, die sehr lange von Gletschern bedeckt waren, und unvereisten Gebieten. In Tabelle 1-3 sind die Iod-Gehalte in Böden aus verschiedenen Ländern aufgelistet. Mimiedes (2005) erläutert, dass die Iod-Gehalte von Sandböden im Vergleich zu einem Torfboden, für jedes in der Tabelle gezeigte Land, voraussichtlich niedrig sind. Dadurch kann man erklären, dass es in einigen Fällen geringe Iod-Gehalte ziemlich nah an dem Meer gefunden sind. In der gleichen Tabelle wird gezeigt, dass einige Länder niedrigere Iod-Gehalte in Böden haben. Dies hat deutlichen Einfluss auf die stark variablen Iod-Gehalte in Pflanzen, die vom Verhältnis des Iods in den Böden und im Wasser abhängen. Iod kann sowohl als organische als auch als anorganische Verbindung im Boden vorliegen. Im Boden selbst wird dieses chemische Verhalten vom Redoxpotenzial und von den pH-Bedingungen bestimmt. Allge-

mein liegt der pH-Bereich in Böden zwischen 3 und 11 und das Redoxpotenzial zwischen  $-0,35\text{ V}$  und  $+0,8\text{ V}$ . Wenn der pH-Wert in Böden kleiner als 5 ist, wird dieser Boden stark sauer. Wenn der pH-Wert größer als 9 ist, wird dieser Boden stark alkalisch [Scheffer und Schachtschabel, 1998]. Etwa 90 % aller landwirtschaftlichen Oberböden haben einen pH-Wert zwischen 6 und 7 und das durchschnittliche Redoxpotenzial liegt bei  $0,30\text{ V}$  und  $0,35\text{ V}$ . In diesem Fall ist das Iodid die vorherrschende Iodspezies im Boden sein. Im Gegensatz dazu ist das Iodat die vorherrschende Iodspezies im alkalischen Boden sein [Schnell, 1997]. Diese Beobachtung findet sich auch in der Arbeit von Ernst. Er hat gezeigt, dass die Bildung von flüchtigem  $\text{I}_2$  nur in sauren Böden mit hohem Redoxpotential möglich ist und Iodid die vorherrschende Iodspezies in diesem Boden ist [Ernst, 2003]. Andererseits berichteten Amatschi und Mitarbeiter (2003), dass es eine direkt Anhängigkeit zwischen der Bildung von flüchtigem Methyljodid und den Bakterien des Bodens gibt [Amatschi et al. 2003]. In den Arbeiten von Dertinger (1986); Muramatsu (1989) und Bors (1989) wurde festgestellt, dass die Sorption von Iod nicht nur von Anteil der Metaloxiden (Eisenoxid, Aluminiumoxid oder Manganoxid) und vom organischen Anteil (Humus) sondern auch von Spezies des Iods abhängt [Dertinger et al., 1986; Muramatsu et al., 1989; Bors et al., 1989]. Im Abschnitt 1.5 werden detaillierte Informationen zur Sorption wiedergegeben.

**Tab.1-3:** Iod in Böden aus verschiedene Teilen der Welt [Mimidies et al., 2005].

Länder	Durchschnitt der Iod in $\mu\text{g g}^{-1}$
Argentinien	0,14 – 2,8
Großbritannien	0,06 - 37
ehem. Tschechoslowakei	0,2 – 6,5
Frankreich	1,6 - 16
Deutschland	0,19 - 28
Irland	0,7 - 83
Japan	0,49 - 63
Südafrika	0,19 – 7,5
Spanien	0,4 - 52
USA (Texas)	1,7 - 11

### 1.1.3. Natürliche Vorkommen von $^{129}\text{I}$

Das langlebige Radionuklid  $^{129}\text{I}$  entsteht in der Natur kontinuierlich durch Spontanspaltung von Uran in der Erdkruste und im Ozean (sog. fissiogenes) und durch Wechselwirkung der galaktischen kosmischen Strahlung mit Xenon in der Erdatmosphäre (sog. kosmogenes)  $\text{Xe}(n,x)^{129}\text{I}$ ;  $\text{Xe}(p,x)^{129}\text{I}$ .

Die Abschätzung des gesamten  $^{129}\text{I}$ -Inventars der Erde ergibt etwa 50 000 kg bzw. 326,8 TBq. Davon sind nur 262 kg bzw. 1,7 TBq als freies Inventar in Atmosphäre, Hydrosphäre, Biosphäre und Pedosphäre zu finden. Es entstehen etwa 55 % bzw.  $142 \text{ kg a}^{-1}$  des natürlichen  $^{129}\text{I}$  bei der Spontanspaltung von  $^{238}\text{U}$  und 45 % bzw.  $120 \text{ kg a}^{-1}$  bei Spallationsreaktionen von Xenon mit kosmischer Strahlung [Whitehead, 1984; Fabryka-Martin, 1984; Schmidt et al., 1998; Szidat, 2000; Buraglio, 2000; Ernst, 2003; Reithmeier, 2005].

Die Gesamtkonzentrationen von Iod in der Natur, wie oben beschrieben, sind sehr unterschiedlich.  $^{129}\text{I}$  vermischt sich in der Atmosphäre, Hydrosphäre und Biosphäre mit stabilem  $^{127}\text{I}$ . Als natürliches Isotop liegt  $^{129}\text{I}$  mit einem prä nuklearen  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Verhältnis in prä nuklearen Marinesedimenten (Kontinentalhang in der Nähe von Cape Hatteras) von  $(1,3 \pm 0,3) \times 10^{-12}$  und in ozeanischem Tiefenwasser bis 1510 m aus Golf von Mexico von  $(1,4 \pm 0,9) \times 10^{-12}$  vor [Fehn et al., 1986; Moran et al., 1998; Schink et al., 1995].

$^{129}\text{I}$  ist ein  $\beta$ -Strahler, das unter Emission von Elektronen von 150 keV mit einer Halbwertszeit von 15,7 Ma Jahren überwiegend in einen kurzlebigen angeregten (metastabilen) Zustand von  $^{129}\text{Xe}^*$  zerfällt. Danach geht  $^{129}\text{Xe}^*$  mit einer Halbwertszeit von 8,89 Tagen unter Aussendung von Gammastrahlen in das stabile  $^{129}\text{Xe}$  über. Der Zerfall von  $^{129}\text{Xe}^*$  in das stabile  $^{129}\text{Xe}$ , bei dem niederenergetische Photonen von 39,58 keV emittiert werden, kann im  $\gamma$ -Spektrometer gemessen werden.

Das Zerfallsschema ist in Abbildung 1-4 dargestellt.  $^{129}\text{I}$  hat wegen seiner langen Halbwertszeit eine geringe spezifische Aktivität von  $6,5 \text{ Bq } \mu\text{g}^{-1}$ . Deswegen ist eine direkte Messung sowohl der  $\beta$ - als auch der  $\gamma$ -Strahlung nur bei einem hohen Gehalt an  $^{129}\text{I}$  möglich.

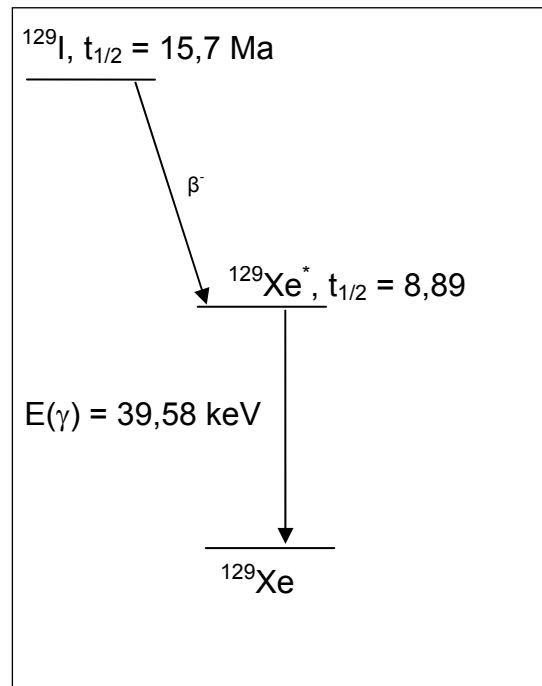


Abb.1-4: Zerfallsschema des  $^{129}\text{I}$

#### 1.1.4. Anthropogene Vorkommen von $^{129}\text{I}$

Anthropogenes  $^{129}\text{I}$  wird bei der Spaltung von  $^{235}\text{U}$  und  $^{239}\text{Pu}$  mit thermischen Neutronen mit einer Spaltausbeute von 0,74 % bzw. 1,6 % erzeugt [England und Rider, 1994; Reithmeier, 2006]. Durch oberirdische Kernwaffenexplosionen, Abteilungen aus Wiederaufarbeitungsanlage und kerntechnische Unfälle wurde das anthropogene  $^{129}\text{I}$  in die Umwelt freigesetzt. Als Folge veränderten sich die natürlichen  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Gleichgewichtsverhältnisse nachhaltig.

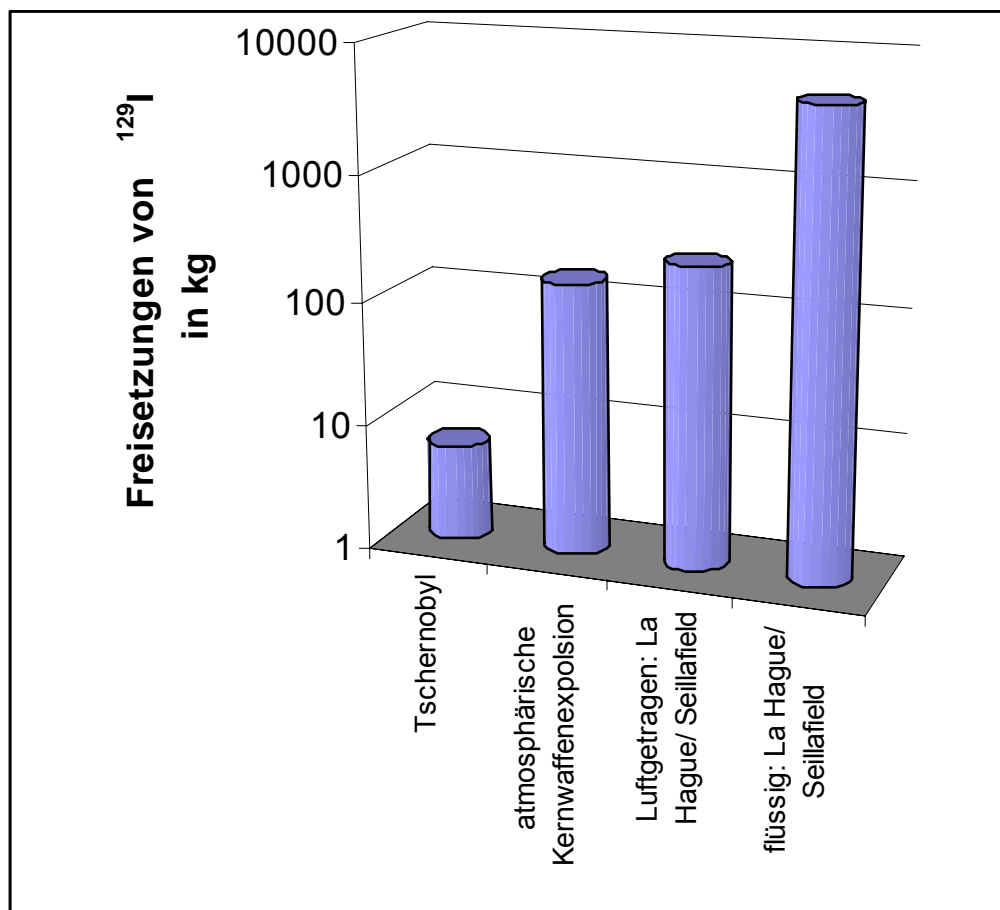
Abbildung 1-5 zeigt verschiedene anthropogene Quellen des  $^{129}\text{I}$  in Europa. Als Hauptquelle ist die Emission der Wiederaufarbeitungsanlagen anzusehen. Über 90 % der Emission von  $^{129}\text{I}$  stammt aus den Wiederaufarbeitungsanlagen (Sellafield in England und La Hague in Frankreich). Das durch oberirdische Kernwaffentest in den 50er und 60er Jahren und anschließenden Kernwaffen-Fallout freigesetzte  $^{129}\text{I}$  wurde in verschiedenen Arbeiten zwischen 50 kg [Raisbeck et al., 1995], 80 kg [Eisenbud und Gesell, 1997; Carter und Moghissi, 1997] und 150 kg [Eisenbud und Gesell, 1997; UNSCEAR, 1982] geschätzt. Eine genauere Abschätzung ist aufgrund fehlender zugänglicher Daten über die Sprengkräfte der Bomben nicht möglich.

Die Freisetzung von  $^{129}\text{I}$  durch Kernkraftwerke bei normalem Betrieb ist unbedeutend. Reithmeier und Mitarbeiter (2006) haben gezeigt, dass die durchschnittliche Freisetzung von  $^{129}\text{I}$  aus aller Kernkraftwerke in Deutschland zwischen 1995 und 1999 bei



$5 \times 10^{-9}$  kg lag (also bei  $10^{-9}$  kg pro Jahr) [Reithmeier et al., 2006]. Aber bei einem Reaktorunfall kann die Freisetzung extrem groß sein. Zum Beispiel wurden geschätzte 2 kg bis 6 kg an  $^{129}\text{I}$  durch den Reaktorunfall von Tschernobyl freigesetzt [Schmidt, 1998; Aldahan et al., 2007]. Im Gegensatz dazu hat die Wiederaufarbeitungsanlage Hanford im Nordwesten der USA zwischen 1944 und 1972 etwa 260 kg in die Atmosphäre emittiert (also 9,3 kg pro Jahr). Das hohe Gefährdungspotenzial des Reaktorunfalls von Tschernobyl lag daran, dass vor allem kurzlebige Iod-Radionuklide wie  $^{131}\text{I}$  neben anderen Radionukliden in kurzer Zeit freigesetzt wurden.

Von 1952 bis 2005 emittierten Sellafield und La Hague 4720 kg  $^{129}\text{I}$  als flüssige Ableitungen und 251 kg  $^{129}\text{I}$  als gasförmige Ableitungen in die Umwelt [Raisbeck et al., 1995; Gray et al., 1995; Parker, 2001; Webmaster Cogema, 2001-2003; BNFL, 1999; Groupe Radio-écologie Nord-Cotentin, 1999; Areva, 2003-2005; Environment Agency, 2005-2006].



**Abb.1-5:** Freisetzung von anthropogenem  $^{129}\text{I}$  aus verschiedenen Quellen.

Wagner (1996) und Reithmeier (2006) berichteten, dass in zwei untersuchten Eisbohrkernen vom Fischerhorn aus den Schweizer Alpen (1988 und 2002) deutliche Anstiege des Fallouts von  $^{129}\text{I}$  seit 1950 beobachtet wurden [Wagner et al., 1996; Reithmeier et al., 2006].

Bis 1986 wurden  $(2,4 \pm 0,1) \times 10^8$  Atome  $\text{L}^{-1}$  im Eisbohrkern aus dem Jahr 1988 und  $(3,1 \pm 0,2) \times 10^8$  Atome  $\text{L}^{-1}$  im Eisbohrkern aus dem Jahr 2002 gemessen. Reithmeier und Mitarbeiter (2006) erklärten diesen Anstieg der  $^{129}\text{I}$  (13 %) in dem Eisbohrkern von 2002 aufgrund der unterschiedlichen Wassermenge der Eisbohrkerne. So hat der Eisbohrkern von 1988 eine Länge von 18,6 m und der Eisbohrkern von 2002 eine Länge von 19,7 m. Reithmeier und Mitarbeiter (2006) berichteten auch, dass es eine gute Übereinstimmung zwischen der zeitlichen Entwicklung der Ablagerung von  $^{129}\text{I}$  auf der Fischerhorn und der geschätzten Emission von  $^{129}\text{I}$  in der Luft gab. Sie haben aber keine gute Übereinstimmung mit den flüssigen Freisetzungen der  $^{129}\text{I}$  aus den Wiederaufarbeitungsanlagen (Sellafield und La Hague) beobachtet. Schnabel (2001) und Reithmeier (2005) vermuten, dass die Emission der  $^{129}\text{I}$  aus Sellafield und La Hague die Hauptquelle für atmosphärische  $^{129}\text{I}$  in Europa sind [Schnabel et al., 2001; Reithmeier et al., 2005 und 2006].

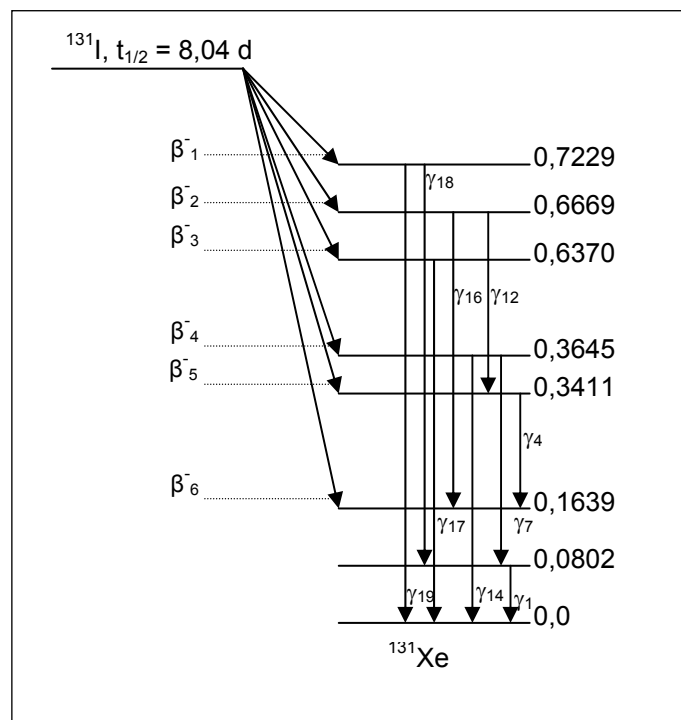
Durch diese anthropogenen Emissionen von  $^{129}\text{I}$  wurde das Gleichgewicht von  $^{127}\text{I}$  und  $^{129}\text{I}$  verändert und damit stieg das  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Verhältnis in der Umwelt an. Das nimmt in folgender Reihe ab:

Meerwasser > Regenwasser > Oberflächenwässer > Grundwasser

Die prä nuklearen  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Verhältnisse liegen in dem Bereich von  $10^{-13}$ , heutzutage erreichen die  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Verhältnisse im Bereich der Umgebung von kerntechnischen Anlagen von  $10^{-12}$  bis  $10^{-6}$ . Das höchste  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Verhältnis wurde in einer Schilddrüse eines Goldfisches in einem Teich bei Hanford in USA gemessen und lag bei  $1,2 \times 10^{-2}$  [Kilius et al., 1994]. Trotz des Anstiegs von  $^{129}\text{I}$  in der Umwelt ist dieses für die Strahlenexposition noch nicht relevant. Aber aufgrund seiner langen Halbwertszeit von 15,7 Millionen Jahren wird  $^{129}\text{I}$  als Tracer für die Umwelt, besonders bei meteorologischen, ozeanographischen, hydrologischen Untersuchung, angewendet [Santschi und Schwehr, 2004]. Die Depositionsdichte von  $^{129}\text{I}$  wurde für die retrospektive Dosimetrie der Strahlenexposition durch  $^{131}\text{I}$  nach dem Unfall von Tschernobyl herangezogen.

### 1.1.5. $^{131}\text{I}$ und retrospektive Dosimetrie

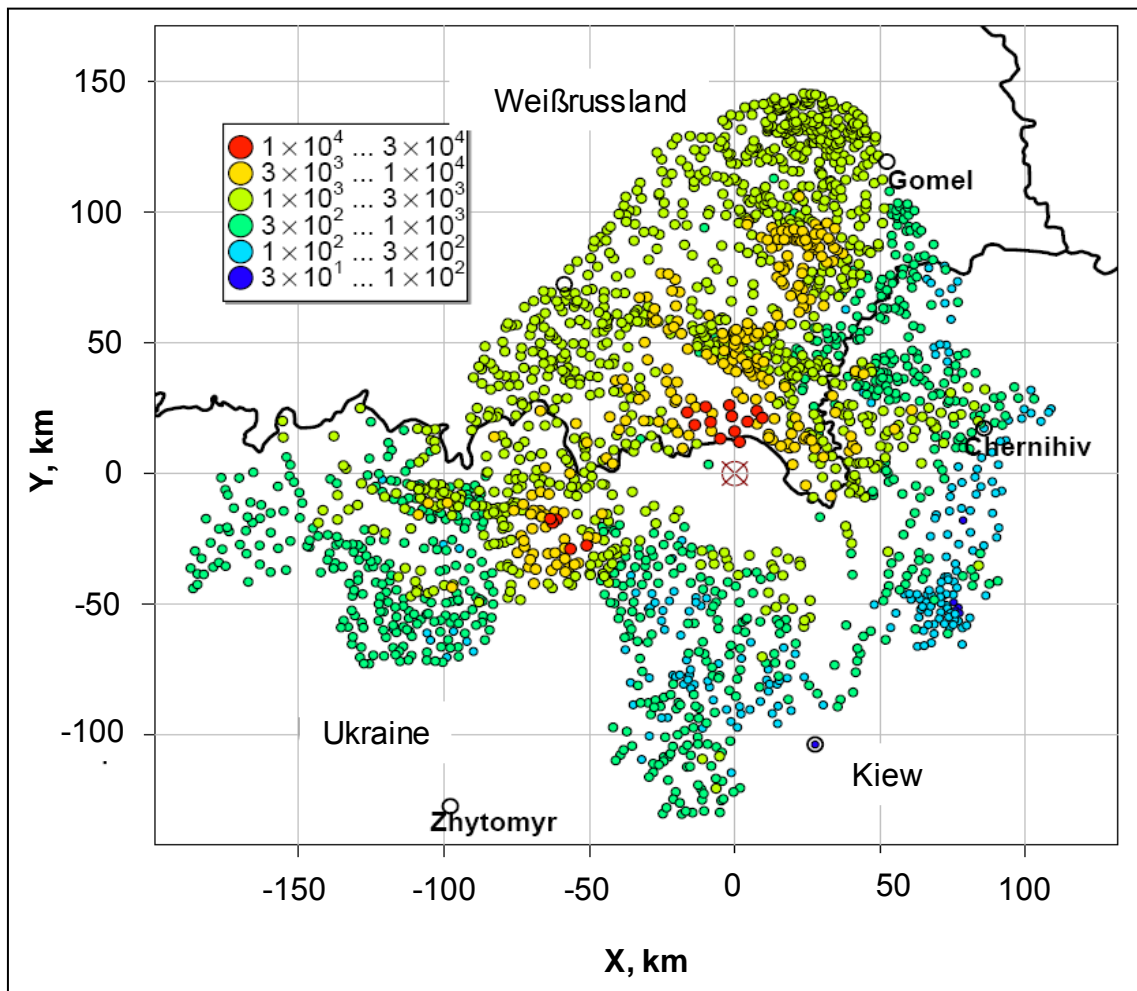
Das kurzlebige anthropogene  $^{131}\text{I}$  ( $t_{1/2} = 8 \text{ d}$ ) entsteht als eines der Spaltprodukte aus  $^{235}\text{U}$ , welches in Reaktoren zur Energie Erzeugung genutzt wird. Es emittiert  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlung und gehört nach Aktivitätsfreisetzungen bei Kernkraftwerksunfällen zu den dosisrelevanten Nukliden. Es wird auch im Rahmen der diagnostischen, therapeutischen, medizinischen Anwendung und anderer Markierungszwecke gebraucht. Abbildung 1-6 zeigt den Zerfallschema von  $^{131}\text{I}$ .



**Abb.1-6:** Zerfallschema des  $^{131}\text{I}$  [ICR, 1983].

Durch den Reaktorunfall von Tschernobyl wurde ca. 1150 PBq  $^{131}\text{I}$  freigesetzt. Die höchsten großflächigen Kontaminationen lagen in der Ukraine, Weißrussland und Russland. In den Folgejahren stiegen in diesen Regionen die Fälle von Schilddrüsenkrebs dramatisch an, vor allem bei Jugendlichen, die als Kinder der  $^{131}\text{I}$  Strahlenexposition ausgesetzt waren. Bis zum Jahr 2004 gab es ca. 4000 Fälle [Jacob et al., 2004]. Abbildung 1-7 zeigt die mittlere Dosis von Kindern und Jugendlichen in 1034 ukrainischen und weißrussischen Orten, in denen jeweils mehr als 10 Messungen der Iodaktivität in der menschlichen Schilddrüse durchgeführt wurden. In mehr

als 30 Orten lagen die mittleren Schilddrüsendosen über 3 Gy. Ungefähr 100 000 Personen erhielten Schilddrüsendosen von über 0,3 Gy.

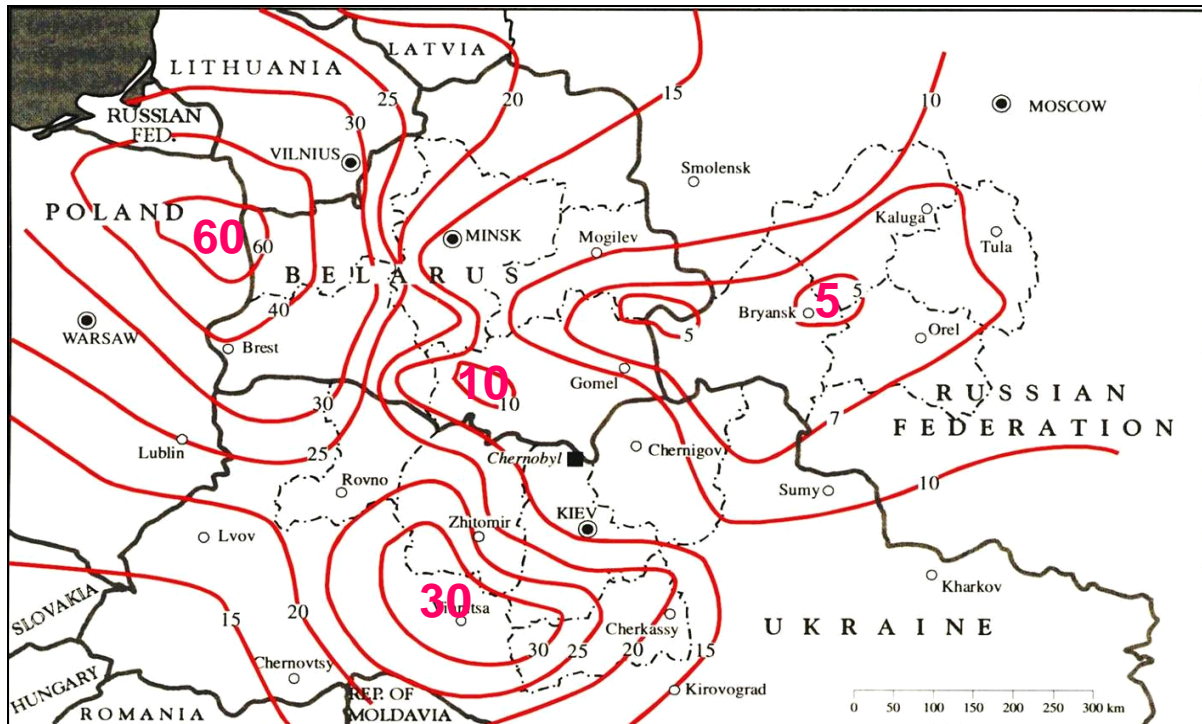


**Abb.1-7:** mittlere Schilddrüsendosis von Kindern und Jugendlichen durch  $^{131}\text{I}$  in der Ukraine und Weißrussland [Jacob et al., 2004].

Aufgrund der mangelhaften Informationen über die Strahlenexpositionen in den ersten Tagen nach dem Unfall und zu wenig direkten Messungen der Schilddrüsenaktivitäten ist die Dosimetrie der  $^{131}\text{I}$  Exposition nicht befriedigend. Es gibt zwei Methoden, die  $^{131}\text{I}$ -Depositionsdichte in der Zeit des Unfalls zu rechnen. Entweder wird die  $^{131}\text{I}$ -Depositionsdichte mit Hilfe von Messung der  $^{129}\text{I}$ -Depositionsdichte oder anhand der Messung der  $^{137}\text{Cs}$ -Depositionsdichte bestimmt. Um die Messung von  $^{137}\text{Cs}$ -Depositionsdichten benutzen zu können, darf keine Fraktionierung zwischen Iod und Cäsium stattfinden.

Abbildung 1-8 zeigt, dass es eine starke Fraktionierung von  $^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}$  in der Umgebung von Tschernobyl gab. Dieses kann man dadurch erklären, dass Iod und

Cäsium sich bei Emission, Transport und Deposition wegen ihrer verschiedenen chemischen Eigenschaften unterschiedlich verhalten. Die beiden Isotope  $^{131}\text{I}$  und  $^{129}\text{I}$  haben hingegen gleiche chemische Eigenschaften. Auf diesem Grund werden in dieser Arbeit die  $^{129}\text{I}$ -Depositionsdichten zur Rekonstruktion von  $^{131}\text{I}$ -Depositionsdichte benutzt. Eine detaillierte Diskussion der Voraussetzungen dieser Verwendung von  $^{129}\text{I}$  findet sich im Abschnitt 4.5 „Berechnung der  $^{131}\text{I}$ -Schilddrüsendosen“.



**Abb.1-8:**  $^{131}\text{I}/^{137}\text{Cs}$  Aktivitätsverhältnisse in ukrainischen, weißrussischen und russischen Orten [UNSCEAR, 2000].

## 1.2. Cäsium in der Umwelt

Cäsium ist das 6. Element der I. Gruppe des Periodensystems. Dieses Alkalimetall steht an 42. Stelle der Elementhäufigkeit. Seine physikalisch-chemischen Daten sind in Tabelle 1-4 dargestellt. In der Natur besitzt Cäsium nur ein stabiles Isotop ( $^{133}\text{Cs}$ ), alle anderen sind radioaktiv. Diese instabilen Nuklide werden durch Kernspaltung oder andere Kernreaktionen erzeugt.

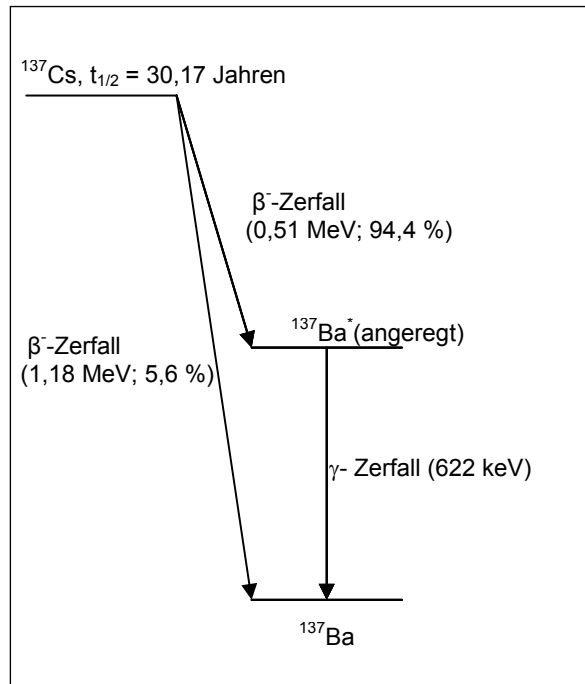
**Tab.1-4:** Physikalisch-chemischen Daten des Cäsiums

<b>Eigenschaften</b>	
Ordnungszahl	55
Atommasse	$132,9054 \text{ g mol}^{-1}$
Elektronenkonfiguration	$[\text{Xe}]6\text{S}^1$
Schmelzpunkt	$28,45 \text{ }^\circ\text{C}$
Siedpunkt	$671 \text{ }^\circ\text{C}$
Kovalenter Radius	225 pm
Dichte	$1,879 \text{ g cm}^{-3}$
Oxidationszustand	1

Cäsium verteilt sich in Organismen ähnlich wie Kalium. Im Gegensatz zu Iod verteilt Cäsium im ganzen Körper des Menschen. Im Boden liegt die Konzentration des Cäsium zwischen  $0,3$  bis  $25 \mu\text{g g}^{-1}$  (mit einem Durchschnitt von  $5 \mu\text{g g}^{-1}$ ) und im ozeanischen Meerwasser bei  $0,4 \mu\text{g L}^{-1}$ . Die Kenntnisse der Migration und Fixierung des Cäsiums im Boden sind sehr wichtig für uns, um die Nahrungskette von Menschen darzustellen. Im Abschnitt 1.5 werden die Migration und die Sorption von Cäsium diskutiert. Die radiologisch wichtigsten Radionuklide des Cäsiums sind  $^{134}\text{Cs}$  und  $^{137}\text{Cs}$  mit einer Halbwertszeit von 2,06 bzw. 30,17 Jahren. Das Letzte hat wegen der relativ langen Halbwertszeit eine große ökologische Bedeutung.

Abbildung 1-9 zeigt das Zerfallsschema von  $^{137}\text{Cs}$ . Die Zahlen in Klammern geben entweder die Gammaenergie oder die maximale Betaenergie, sowie die relativen Häufigkeiten der jeweiligen Übergänge an.  $^{137}\text{Cs}$  ist ein Beta-Strahler und zerfällt unter der Emission von Elektronen von 510 keV zu einem kurzlebigen angeregten (me-

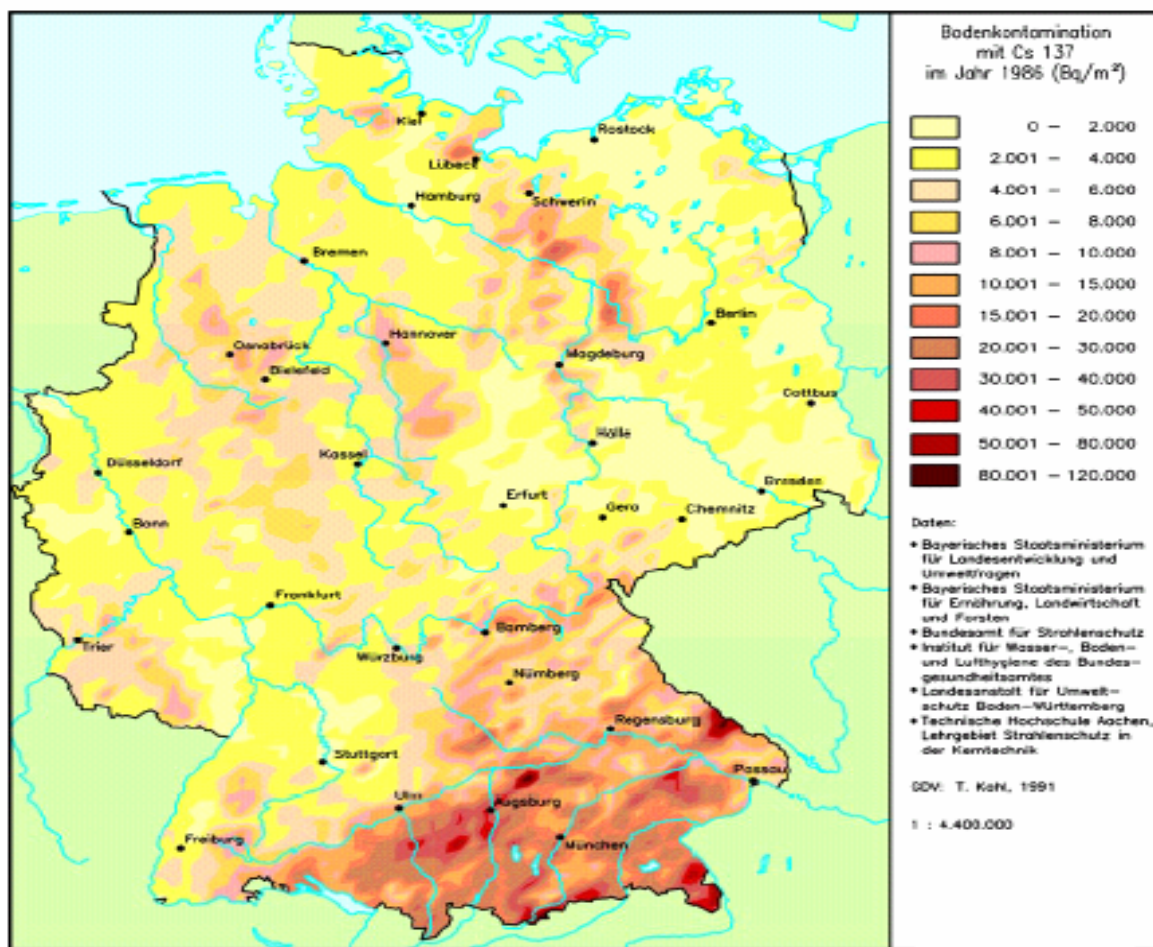
tastabilen) Zustand  $^{137\text{m}}\text{Ba}$ , der mit einer Halbwertszeit von 2,55 Minuten unter Aussendung von Gammastrahlen in das stabile  $^{137}\text{Ba}$  übergeht. Dieser Zerfall, bei dem Photonen einer Energie von 661 keV emittiert werden, wird im  $\gamma$ -Spektrometer gemessen. Zusätzlich zeigt Abbildung 1-9, dass ein Teil des  $^{137}\text{Cs}$  (5,6 %) unter Aussendung von Betastrahlen in  $^{137}\text{Ba}$  direkt zerfällt.



**Abb.1-9:** Zerfallsschema von  $^{137}\text{Cs}$ .

$^{137}\text{Cs}$  entsteht als Spaltprodukt des  $^{235}\text{U}$  mit einer Ausbeute von ca. 6 %. In der Folge der Oberirdischen Kernwaffentest in den 50er und 60er Jahren und später des Reaktorunfalls in Tschernobyl wurde eine große Menge von radioaktiver Stoffe in die Umwelt freigesetzt und weiträumig über großen Teilen Europas und der ganzen Welt verteilt.  $^{137}\text{Cs}$ , wie  $^{90}\text{Sr}$ , ist fast in der ganzen Welt einheitlich verteilt und das  $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$  Aktivitätsverhältnis beträgt 1,5. In den Bayerischen Böden, die in dieser Arbeit untersucht wurden, wurde  $^{137}\text{Cs}$  bis zu  $4 \text{ kBq m}^{-2}$  durch globalen „Fallout“ von atmosphärischen Kernwaffentests abgelagert [BstMLU, 1987]. Die beobachtete höhere Kontamination dieser Böden in Süddeutschland wurde durch den Tschernobyl-Fallout verursacht.

Abbildung 1-10 zeigt einem Überblick über die regionale Verteilung der Bodenkontamination mit  $^{137}\text{Cs}$  in Deutschland im Mai 1986. Es gab eine starke Kontamination südlich der Donau und im Bayerischen Wald, die typischerweise im Bereich von 10 bis 50  $\text{kBq m}^{-2}$  lag. Die Inhomogenität dieser Kontamination geht auf die damals sehr unterschiedlichen Witterungsbedingungen in den Regionen zurück. Der Südosten Bayern wurde als Folge von Niederschlägen z.B bis 100  $\text{kBq m}^{-2}$  belastet. Selbst diese Kontamination ist jedoch sehr niedrig in Vergleich mit der Bodenkontamination der Umgebung von Tschernobyl.



**Abb.1-10:** Bodenkontamination mit  $^{137}\text{Cs}$  in Deutschland im Mai 1986 [SSk, 2006].



Abbildung 1-11 zeigt die Kontamination des Bodens mit  $^{137}\text{Cs}$  durch den Reaktorunfall von Tschernobyl in Weißrussland, Russland und der Ukraine im Jahre 1986. Dabei wurden die hoch belasteten Flächen in vier Kontaminationszonen eingeteilt:

- Zone I: mehr als  $1480 \text{ kBq m}^{-2}$
- Zone II:  $555 - 1480 \text{ kBq m}^{-2}$
- Zone III:  $185 - 555 \text{ kBq m}^{-2}$
- Zone IV:  $37 - 185 \text{ kBq m}^{-2}$

Wegen der höheren Kontamination in der Zone I und II wurden die Bewohner dieser Zonen zwangsevakuiert. Die Bewohner der Zone III hatten die Wahl dort zu verbleiben oder freiwillig umzusiedeln. Der Zone IV wurde als Zone für radiologische Kontrolle gezeichnet.

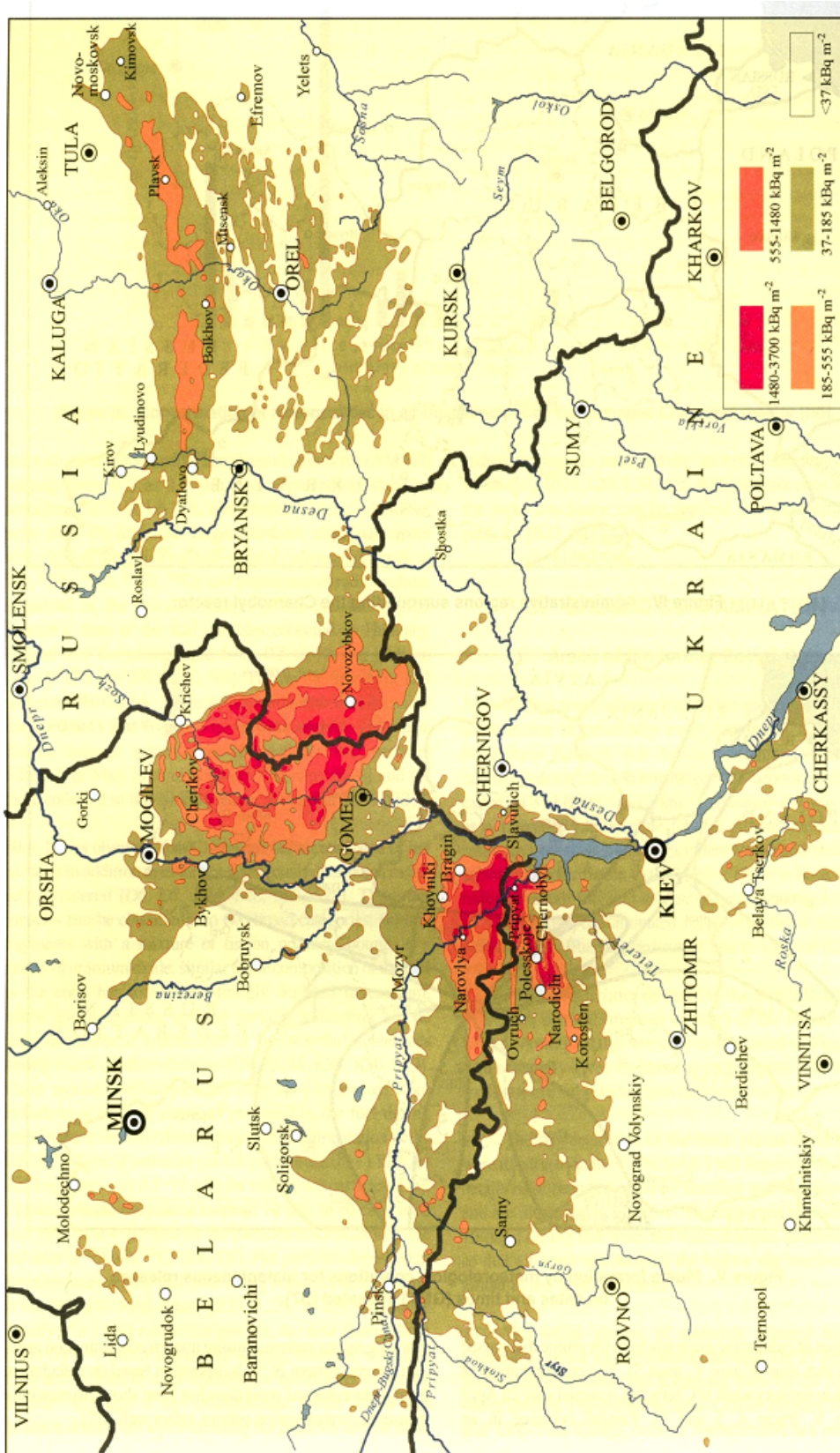


Abb.1-11: Bodenkontamination mit  $^{137}\text{Cs}$  in Weißrussland, Russland und der Ukraine im Jahr 1986 durch den Reaktorunfall von Tschernobyl [SSK, 2006].

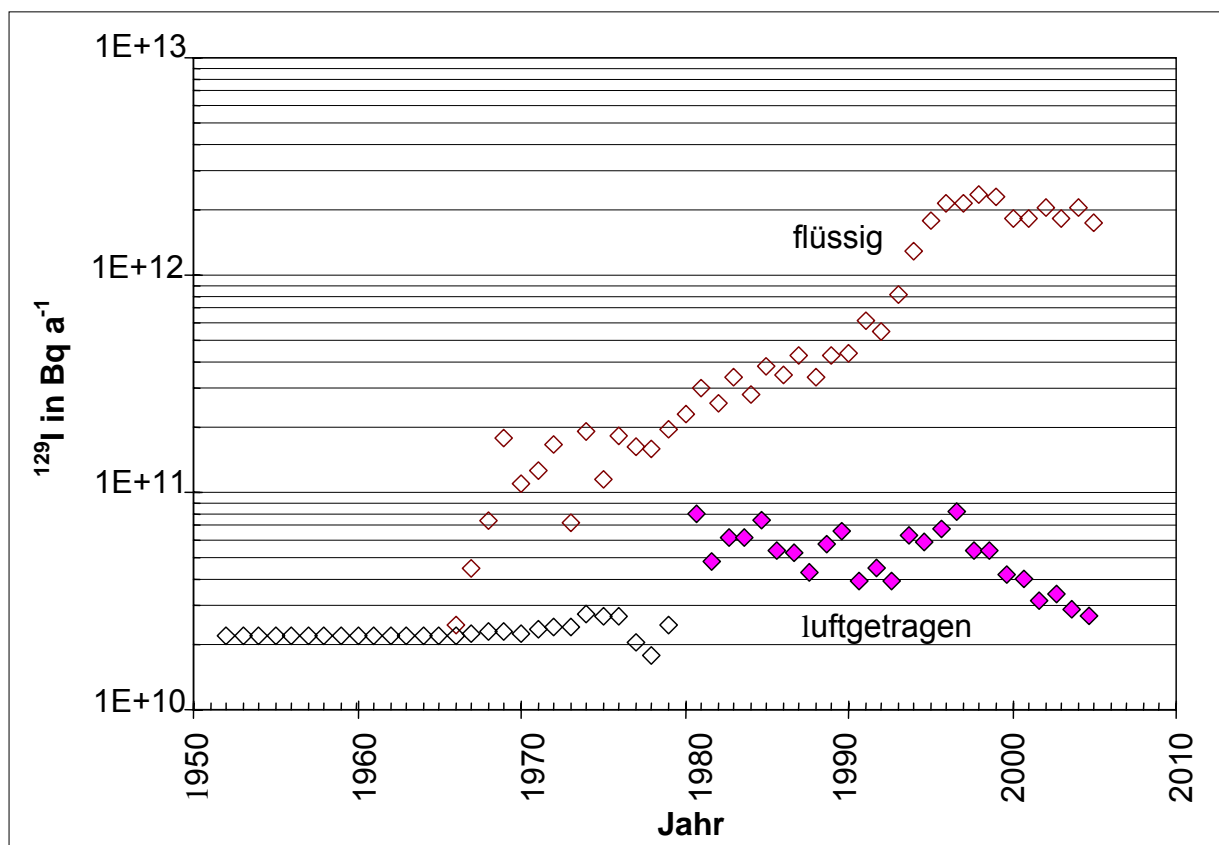
### 1.3. Widerarbeitungsanlagen Sellafield und La Hague

Das Ziel der Widerarbeitungsanlagen ist die Gewinnung  $^{235}\text{U}$  und  $^{239}\text{Pu}$  zur Herstellung von Kernwaffen und als Brennstoff ziviler Reaktoren aus abgebrannten Brennelementen. Die zwei großen Standorte europäischen Wiederaufbereitungsanlagen sind Sellafield ( $54^{\circ}25'7''\text{N}$ ,  $3^{\circ}29'51''\text{W}$ ) in England und La Hague ( $49^{\circ}40'42''\text{N}$ ,  $1^{\circ}52'46''\text{W}$ ) in Frankreich.

Am Standort La Hague sind zwei Anlagen (UP2-800 und UP3) in Betrieb. Sie sind speziell für die Wiederaufarbeitung von oxidischem Brennstoff aus Leichtwasserreaktoren ausgelegt. Die Anlage UP2-800 ist für den französischen Bedarf, UP3 für die Wiederaufarbeitung ausländischer Brennelemente vorgesehen. Am Standort Sellafield sind auch zwei Anlagen in Betrieb (ältere Anlage B205 und neuere Anlage THORP). Die Anlage B205 verarbeitet abgebrannte Brennelemente aus den britischen Gas-Graphit-Reaktoren. Die Anlage THORP ist für die Wiederaufarbeitung oxidischer Brennstoffe aus britischen und ausländischen Reaktoren ausgelegt.

Bis zum Jahr 2005 wurden 4971 kg  $^{129}\text{I}$  von beiden Anlage in die Umwelt abgeleitet. Ungefähr 90 % des Iod aus der Wiederaufarbeitung wurde als Flüssigkeit in die Irische See und in den Englischen Kanal geleitet [Baetsle et al., 1990]. In den Arbeiten von Ernst (2003), Michel und Mitarbeiter (2004) und Tosch (2010) finden sich die detaillierte Daten über die  $^{129}\text{I}$ -Emissionen aus den beiden Wiederaufbereitungsanlagen Sellafield und La Hague [Ernst, 2003; Michel et al., 2004; Tosch, 2010].

Abbildung 1-12 zeigt die Zunahme der  $^{129}\text{I}$ -Emissionen mit der Zeit. Die luftgetragenen Ableitungen variierten seit 1950 innerhalb einer Größenordnung und erreichten ihr Maximum im Jahr 1996 mit 63 GBq. Danach wurden die Emissionen in beiden Anlagen kontinuierlich gesenkt und lagen im Jahr 2005 bei 21 GBq. Die flüssigen Ableitungen in den Englischen Kanal und in die Irische See sind seit 1966 kontinuierlich um etwa zwei Größenordnungen angestiegen. Im Jahr 1995 erreichten sie ca. 2 TBq und sind seitdem in etwa konstant. Im Jahr 2002 entfielen auf La Hague 64 % der flüssigen und 24 % der luftgetragenen Ableitungen und emittierte im Jahr 2005 83 % der flüssigen und 86 % der luftgetragenen Ableitungen. Sellafield hat im Jahr 2005, im Vergleich zu 2004, die flüssigen Ableitungen um mehr als einen Faktor 2 und die luftgetragenen Ableitungen um den Faktor 15 verringert.



**Abb.1-12:**  $^{129}\text{I}$ -Emissionen aus den Wiederaufarbeitungsanlagen La Hague und Sellafield [Raisbeck und Yiou, 1995; GRNC, 1999; BNFL, 2001; Michel et al., 2004].

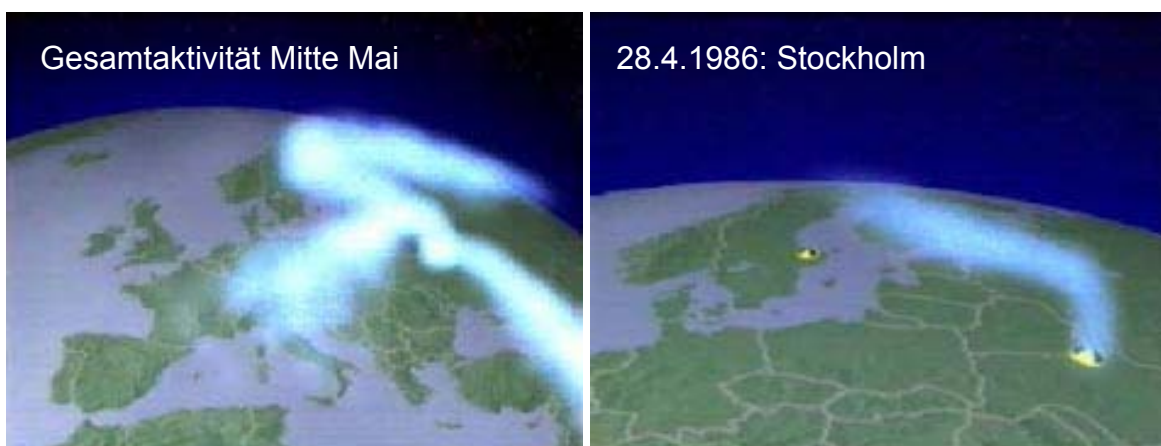
#### 1.4. Reaktorunfall von Tschernobyl

Das Reaktorunglück von Tschernobyl gehört neben den Unfällen in den chemischen Anlagen von Bhopal (Indien), Seveso (Italien) und in den kernchemischen Anlagen von Idaho (Forschungsreaktor), im Reaktor Three Mile Island (Harrisburg), in Gore (USA) und in der Uranverarbeitungsanlage Tokaimura (Japan) zu den schwerwiegendsten Unglücken in der Anwendung technologischer Verfahren. Das Reaktor liegt in einem Waldgebiet (Polesje) bei  $51^{\circ} 23' N$   $30^{\circ} 6' E$  etwa 110 km nördlich von Kiew, unmittelbar am Ufer des Pripjat Flusses. Der Reaktorunfall fand am 26. April 1986 im Block 4 des Kernkraftwerks vom Typ RBMK (auf Russisch: Reaktor Bol'schoi Moschtschnotsi Kanalny, auf Deutsch: Reaktor hoher Leistung vom Kanaltyp) statt.



**Abb.1-13:** Block 4 des Kernkraftwerks von Tschernobyl nach dem Reaktorunfall [Tschernobyl, 2006].

Während eines technischen Tests bei niedriger Leistung in diesem Block ereignete sich der Unfall (Siehe Abbildung 1-13). In der Zeit des Tests waren die Sicherheitssysteme abgeschaltet worden und instabiler Betrieb des Reaktors führte zu einer unkontrollierbaren Leistungsexkursion, als deren Konsequenz sich Dampfexplosionen ereigneten, die das Reaktorgebäude schwer beschädigten und den Reaktor vollständig zerstörten. Es wurde einer großen Menge vom radioaktiven Material in die Umwelt freigesetzt. Der Unfall hatte eine hohe Belastung durch Brennstoffpartikel und Spaltprodukte nicht nur in der direkten Umgebung sondern auch allgemein auf der Nordhalbkugel verursacht.



**Abb.1-14:** Computersimulation der radioaktiven Wolken nach dem Unfall am 28. April (rechts) und in den Tagen danach (links) [Tschernobyl, 2006].

Abbildung 1-14 zeigt eine Computersimulation der Strahlenwolken nach dem Unfall am 28. April (recht) und in den Tagen danach (links). Erst bei Eintreffen der Wolke in Stockholm (Schweden) wurde das Austreten der Radioaktivität in Westeuropa erkannt. Die Freisetzung wurde aufgrund der Wetterbedingungen weiträumig über großes Teil Europas und der Nordhalbkugel bis zu einigen 1000 km Entfernung verteilt. Diese Freisetzung erfolgte nach Meinung der Experten über zehn Tagen und in vier Phasen. Im Bericht der Strahlenschutzkommission [SSK, 2006] sind weitere und detaillierte Information über dieses Unfall zu finden.

## 1.5. Die Sorption von Radionukliden

Die Sorption von Radionukliden in Böden wird durch verschiedene Faktoren beeinflusst. Wobei sich die Mechanismen dieses Radionuklidüberganges aus den unterschiedlichen physikalischen, chemischen und biologischen Prozessen zusammensetzen. Sorption bzw. Ionenaustausch gehören zu den abiotischen Prozessen. Zu den biotischen Prozessen zählen die Anreicherungen von Radionukliden an der Oberfläche oder in den Zellen von Organismen [BMI, 1985; Mattheß, 1990].

Die Mechanismen bei Sorption basieren generell auf Chemi- und Physisorption. Die letzte, die auch als unspezifische Sorption genannt wird, ist eine physikalischen Kraftbindung, die meinst schwach und reversibel ist. Dagegen ist die Chemisorption, die auch als spezifische Sorption genannt wird, eine echte chemische Bindungen, die deutlich höher Bindungsenergie aufzeigen und teilweise irreversibel sind [Ernst, 2003].

**Tab.1-5:** Bindungstypen und –Energie bei der Bodenadsorption [Sigg und Stumm, 1989; ICR, 1983]

<b>Bindungstyp</b>	<b>Bindungsenergie kJ mol<sup>-1</sup></b>
Van der Waals Kräfte	4 - 8
Dipol-Dipol-Wechselwirkungen	< 10
Wasserstoffbrückenbindungen	2 - 60
Hydrophobe Bindung	~ 4
- Chemisorption:	125-800
- Kovalente Bindung	
- Koordinative Bindung	
- Ionenaustausch	bis 210

Tabelle 1-5 zeigt unterschiedliche Bindungsenergie für verschiedene Bindungstypen. Nach Stumm und Morgan (1996) werden unter unspezifische Sorption alle elektrostatischen Bindungsformen verstanden, in die die variablen und permanenten Ladungen der Bodenteilchen reagiert sind [Stumm und Morgan, 1996]. Darunter sind Van der Waals Kräfte, Dipolkräfte und Dispersionskräfte gezählt. Bei der spezifischen Sorpti-

on findet diese Sorption vor allem über koordinative und kovalente Kräfte statt [Mattheß, 1990; Stumm und Morgan, 1996; Schinner und Sonnleitner, 1997b].

Zu Sorbenten von Böden zählt man Tonminerale, organische Substanzen, Eisen-, Mangan- und Aluminiumoxide sowie –hydroxide, Pflanzen und Mikroorganismen [Mattheß, 1990]. Im Folgenden werden die oben genannten Faktoren genau beschrieben. Deren Kenntnis ist zum Verständnis der in dieser Arbeit gewonnenen Ergebnisse notwendig. Einer Seite muss die Sorption für Iod als Anion und Cäsium als Kation beschrieben werden und anderer Seite wurde der Einfluss von organischen Substanz, Eisen- und Aluminiumoxiden im Boden auf die Isotopen  $^{127}\text{I}$  und  $^{129}\text{I}$  bestimmt.

### 1.5.1. Kationensorption

Die Kationensorption im Boden ist ein Austausch zwischen gleichen äquivalenten Mengen von Kationen, wobei die Oberfläche des Bodens negative Ladungen hat. Die Kationenaustauschreaktionen sind schnell, stöchiometrisch und reversibel. Tonminerale und Huminstoffe sind die wichtigsten Kationenaustauscher in den Böden und haben einen Einfluss auf die Kationenaustauschkapazität (KAK, ausgedrückt in  $\text{mmol}_c \text{kg}^{-1}$ ) eines Bodens, die die maximal sorbierbare Kationenmenge entspricht.

Die Kationensorption steigt mit steigendem pH an. Die negative Ladung an der Oberfläche entsteht durch den Austausch meist höherwertiger Zentralkationen durch niederwertiges Kation wie z. B. der isomorphen Ersatz von  $\text{Si}^{4+}$  durch  $\text{Al}^{3+}$  in den Tetraedern oder  $\text{Al}^{3+}$  durch  $\text{Mg}^{2+}$  in den Oktaedern in den Silikatschichten der Böden [Scheffer, 1998]. Dieses bewirkt entweder eine variable oder auch permanente Ladung. Durch Dissoziation der Protonen von  $\text{SiOH}$ ,  $\text{AlOH}$  und  $\text{AlOH}_2$ -Gruppen entstehen variable Ladungen an den Seitenflächen der Tonminerale. Durch Dissoziation von Protonen von Carboxyl-, phenolischen OH- und Endol-Gruppen entstehen in Huminstoffen negative Ladungen. Bei anderen organischen Substanzen von Böden entsteht die negative Ladung durch Dissoziation der Protonen von COOH-Gruppen [König et al., 1986].

Da Cäsium ein Alkalimetall und im oxidierten Zustand einwertig positiv ist, werden Cäsium-Kationen durch Bodenminerale stark sorbiert. Deshalb ist Cäsium im Boden als wenig mobil anzusehen. Cäsium kann im Boden fixiert werden, indem die Cäsi-



um-Ionen in die Zwischenschichten von Zwei- oder Dreischichtenmineralen einwandern.  $\text{Cs}^+$ , wie  $\text{K}^+$  und  $\text{NH}_4^+$ , kann leicht dehydratisiert werden und passt gut in die Sauerstoffringe der Tetraederschichten [Scheffer, 1998]. Die Cäsium-Ionen stehen mit Kalium-Ionen in Konkurrenz um diese Bindungsplätze. Die Fixierung des Cäsiums im Boden steigt zu höherem Tongehalt, zu höherem pH-Wert und auch zu höherem Humusgehalt an [Heinrich, 1992]. Kruse-Irmer bestätigte diese Ergebnisse und zeigte, dass die spezifische und unspezifische  $^{137}\text{Cs}$ -Sorptions abhängig von der Kalium-Konkurrenz, von der Anzahl der spezifischen Bindungsplätze und vom Gehalt an Tonmineralen ist. Es gibt einen deutlichen Unterschied im  $^{137}\text{Cs}$ -Verhalten zwischen den einzelnen Böden in den oberen 10 cm und im Tiefenverlauf.  $^{137}\text{Cs}$  in Mineralböden wurde durch Illite mehr als durch Smectiten und Vermiculiten in Tonmineral fixiert. Da Illite sehr verwitterungsstabil sind und das fixierte  $^{137}\text{Cs}$  somit langfristig im Boden immobilisiert wird. Kruse Irmer (1998) hat auch ermittelt, dass sowohl die unspezifische als auch spezifische  $^{137}\text{Cs}$ -Sorptions und –Fixierung in erster Linie vom Cäsiumsorptionspotential der Tonminerale bestimmt werden. Es wird aber auch von vielen andern Faktoren, wie die Sorptionskinetik und die Wasserdynamik in Boden beeinflusst [Kruse-Irmer, 1998].

### 1.5.2. Anionensorbtion

Die Anionensorption ist analog der Kationensorption. Jedoch statt Kationen fungieren hier die Anionen als Austauschionen und die Oberfläche des Bodens hat positive Ladung. Für die Anionensorption sind die Oxide und Hydroxide neben dem organischen Anteil des Bodens von großer Bedeutung. Die positive Ladung an der Oberfläche des Bodens entsteht durch Anlagerung eines zusätzlichen Protons an eine (Al, Fe)-OH-Gruppe der Oberfläche.

Die durch elektrostatische Kräfte adsorbierten Anionen können leicht mit anderen Anionen ausgetauscht werden. Die Anionensorption steigt mit Abstieg des pH-Wertes. Zusätzlich basiert die Adsorption auf Wechselwirkungen zwischen einigen Anionen und Adsorbenten. Zu diesen gehören für Iodsorption vor allem Metalloxide (Oxide des Eisens, Aluminiums und Mangans), sowie organische Bodenbestandteile und einige Tonminerale.

In der Arbeit von Ernst (2003) wurden die grundlegenden Mechanismen der Migration des Iods im Boden diskutiert [Ernst, 2003]. Er unterscheidet zwischen stofflichen

Einflüssen am Bodenkörper und der Bewegung des in den Boden eingetragenen Bodenwassers und welche Art von Sorption des Iods im Boden (Chemisorption oder Physisorption) vorliegt. In der Arbeit von Schäffer und Mitarbeiter (1994) wurde die mögliche Beteiligung von Mikroorganismen bei Sorptionsprozessen von Iod an der Bodenmatrix diskutiert [Schäffer et al., 1994]. Sie haben gezeigt, dass Mikroorganismen den Gleichgewichtszustand der Rückhaltung von  $^{125}\text{I}$  (bzw.  $^{129}\text{I}$ ) im Boden beeinflussen können. Amatchi und Mitarbeiter (2001 und 2003) haben berichtet, dass die Bakterien das Iod in den Böden zu  $\text{CH}_3\text{I}$  methylieren und es somit aus dem Boden wieder in die Atmosphäre gelangen kann [Amatchi et al., 2001 und 2003].

Ernst (2003) unterscheidet zwischen spezifischer Sorption und unspezifischer Sorption, die weniger Energie als die spezifische Sorption braucht. Die unspezifischen Sorptionen treten im Boden auf, in dem es mehr Konkurrenz zwischen den Anionen um die Sorptionsplätze gibt. Die spezifische Sorption ist überall im Boden zu erwarten, wenn es eine chemische Wechselwirkungen zwischen Anion (in unserm Fall Iodid) und Adsorbenten gibt. Die Iod-Sorption an organischen Bodenbestandteilen und an Metalloxiden zählen somit zur Chemisorption. Diese Art der Bindung an Metalloxiden ist irreversibel und findet besonders im Unterboden, wo die Redoxpotenziale konstant sind. Im Gegensatz dazu befinden sich im Oberboden mehr unspezifische Sorptionplätze. Das hat einen Einfluss auf die Migration von  $^{129}\text{I}$  in der Bodentiefe. Trotz des gleichen physikalischen und chemischen Verhaltens der Isotope  $^{127}\text{I}$  und  $^{129}\text{I}$  unterscheiden sie sich bezüglich ihrer anscheinenden Sorption. Die Wahrscheinlichkeit der Sorption von  $^{127}\text{I}$  ist größer als von  $^{129}\text{I}$ . Dies hat seinen Grund darin, dass die Gesamtmenge des  $^{127}\text{I}$  über lange Zeiträume eingetragen wurde und zur Sorption zur Verfügung steht, während der überwiegende Teil des  $^{129}\text{I}$  in den letzten 50 Jahren eingetragen wurde und erst relativ kurz im Wettbewerb um die Sorptionsplätze steht [Ernst, 2003].

## 2. Aufgabenstellung

Seit 1990 werden im ZSR an der Leibniz Universität Hannover Umweltproben auf  $^{129}\text{I}$  untersucht. Dadurch sollen Informationen über die aktuelle Situation von anthropogenem  $^{129}\text{I}$  in der Umwelt, die retrospektive Dosimetrie von  $^{131}\text{I}$  in der Umgebung von Tschernobyl mittels  $^{129}\text{I}$ -Gesamtdepositionsichten und auch über den den Eintrag von  $^{129}\text{I}$  in prä nuklearen Materialien gewonnen werden. Die Aufgabenstellung dieser Dissertation schließt direkt an die Dissertationen von Schmidt (1998), Szidat (2000), Ernst (2003) und Klipsch (2005) an [Schmidt, 1998; Szidat, 2000; Ernst, 2003; Klipsch, 2005].

In dieser Arbeit soll weiterhin die Situation des Eintrages und der Verteilung von  $^{129}\text{I}$  in Norddeutschland und Süddeutschland untersucht werden, da es in Deutschland und ganz Europa, inklusiv Nordsee und Ostsee, durch die Wiederaufbereitungsanlage La Hague in Frankreich und Sellafield in England zu einer Kontamination kam. Zum Vergleich werden Proben aus Chile untersucht, um den Einfluss der  $^{129}\text{I}$  Kontaminationen in der Pedosphäre auf der Südhalbkugel zu studieren. Als weitere radioökologische Aufgabe galt es, den Einfluss von Bodenparametern und Bodenstruktur auf die Sorption und Migration von Iod und Cäsium zu beschreiben. Bei den entsprechenden Bodenparametern handelt es sich um Tonminerale, organische Bestandteile, pH-Werte, Eisen- und Aluminiumoxid.

Die Hauptaufgabe dieser Dissertation ist die Bestimmung von  $^{129}\text{I}$ - und auch  $^{137}\text{Cs}$ -Konzentrationen in Böden aus der Umgebung von Tschernobyl in der Ukraine. Diese Daten werden zur Rekonstruktionen der  $^{131}\text{I}$ -Dosen der dortigen Bevölkerung nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl im Rahmen der retrospektiven Dosimetrie benötigt.

Für die Quantifizierung von Iod in den Proben werden 2 analytische Verfahren benutzt. Mittels ICP-MS (Induktiv gekoppelte Plasma - Massenspektrometrie) kann man die  $^{127}\text{I}$ -Gehalte analysieren. Die Bestimmung der  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$  Isotopenverhältnisse erfolgt mittels AMS (Beschleunigermassenspektrometrie). Dazu muss das Iod zuvor aus der Probenmatrix abgetrennt werden. Die zu benutzenden Aufschluss- und Trennverfahren sollen hierbei optimiert werden.

### 3. Herkunft der Proben und Probenahme

In diesem Abschnitt wird die Herkunft der untersuchten Proben besprochen. Es folgen Details der durchgeführten Probenahme. Bei den untersuchten Umweltproben handelt es sich um verschiedene Probenarten und –orten. In Rahmen dieser Arbeit bestand die Möglichkeit, folgende Proben zu untersuchen:

- Bodenprofile aus Süddeutschland (Bayern), vom chilenischen Festland, von der chilenischen Osterinsel und aus der chilenischen Antarktis sowie aus der nördlichen Ukraine.
- Exotische Wasserproben aus Nordsee, Nordatlantik, Spitzbergen, Indische Ozean, Mittelmeer, Hawaii, Tahiti und aus Ägypten.
- Pränukleare Sedimentproben aus der Ostsee und der Nordsee.
- Proben aus Norddeutschland (Niederschlag, Oberflächen- und Grundwasser, Filter, Boden , Bewuchs und Milch).

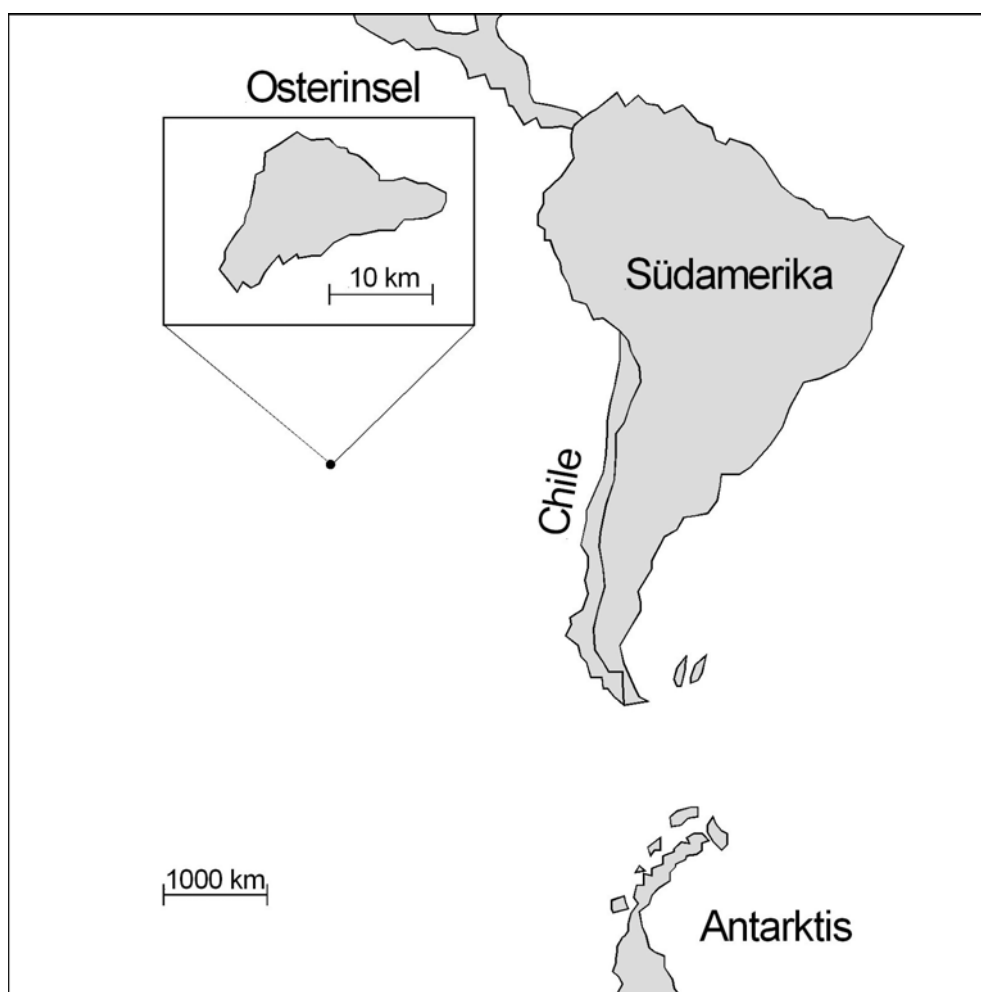
Bei der Untersuchung dieser Proben kann man 3 verschiedenen Quellen des <sup>129</sup>I in der Natur beobachten: Den Fallout von oberirdischen Kernwaffenexplosionen, die Freisetzungen durch nukleare Unfälle und die Ableitungen aus Wiederaufarbeitungsanlagen.

#### 3.1. Bodenprofile aus Chile

Die Bodenprofile aus Chile wurden an drei verschiedenen Standorten entnommen (Abbildung 3-1): Zwei Bodenprofile, mit Osterinsel 1 und 2 bezeichnet, wurden vom Herrn Josef Handl am 10.01.2003 auf Osterinsel bis zu einer Tiefe von 40 cm auf einer Grundfläche von 20 cm x 20 cm beprobt. Die Osterinsel ist eine Einzelinsel (27.1°S; 109.5°W) und liegt im Südpazifik. Auf der Insel sind nur ganz wenig Flächen vorhanden, auf denen man naturgewachsenen, ungestörten Boden, antrifft.

In der Antarktis aus der Basis Arctowski (62.4°S 58.9°W) wurden zwei Bodenprofile in Lago Pinguinera und Lado Base bis zu einer Tiefe von 8 cm mit der Grundfläche 20 cm x 20 cm am 10.01.1995 entnommen. Die Böden sind in diesem Ort extrem dünn. Sie sind mehrere Monate gefroren und tauen nur während der Sommermonate (Dezember bis Februar) auf.

Auf dem Festland von Chile wurden vier Bodenprofile bis zu einer Tiefe von 80 cm unter einer Grundfläche von 20 cm x 20 cm beprobt. Ein Bodenprofil von Curinanco Alto und 2 Bodenprofile von Curinanco Bajo 1 und 2 befinden sich in der 10. Region auf dem Gelände von 2 Milchfarmen dicht an der Pazifikküste ungefähr 30 km westlich von Valdivia. Die Probenentnahme von Curinanco Alto und Curinanco Bajo fanden am 18.11.1999 bzw. am 10.01.2003 statt. In der 9. Region wurden die Bodenprofile an der Küstenkordilliere am 09.01.2003 bis zu einer Tiefe von 40 cm gezogen. Man hat die Bodenproben nach deren Lufttrocknung in Keller vom ZSR gut verschlossen im Dunkeln gelagert.



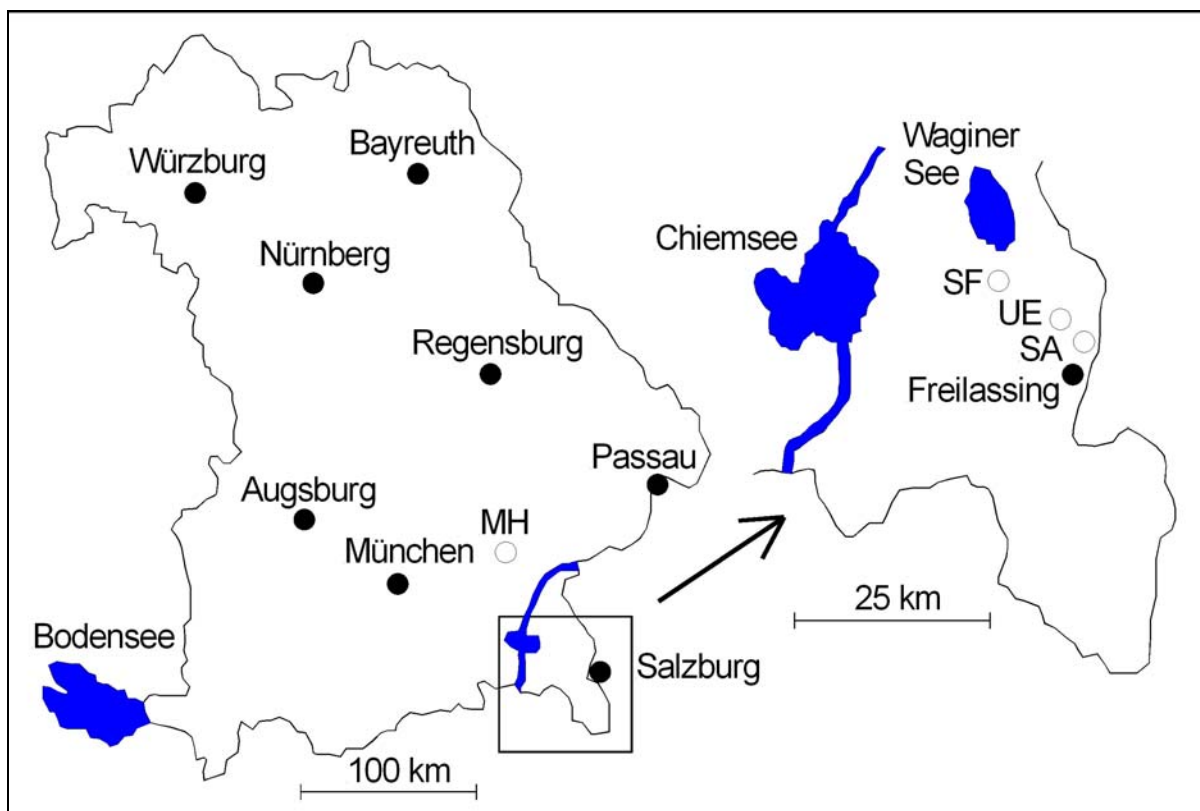
**Abb.3-1:** Das chilenische Festland, Osterinsel und Antarktis auf die Karte.

### 3.2. Bodenprofile aus Bayern

In Bayern wurden fünf Bodentiefenprofile im Sommer 1998 und 1999 bis zu einer Tiefe von 50 cm gezogen. Die ausgewählten Flächen sind weder landwirtschaftlich

noch ackerbaulich genutzt, so dass die vertikale Verteilung von Radionuklide an ungestörten Bodenprofilen untersucht werden konnte. Auf einer Fläche von ca. 50 – 100 m<sup>2</sup> wurden pro Standort vier Bodenprofile bis zu einer Tiefe von 50 cm entnommen. Bei diesen Profilen sind die einzelnen Schichten gleicher Tiefe vereinigt. Namen und Lage der untersuchten Ortschaften in Bayern finden sich in Abbildung 3-2.

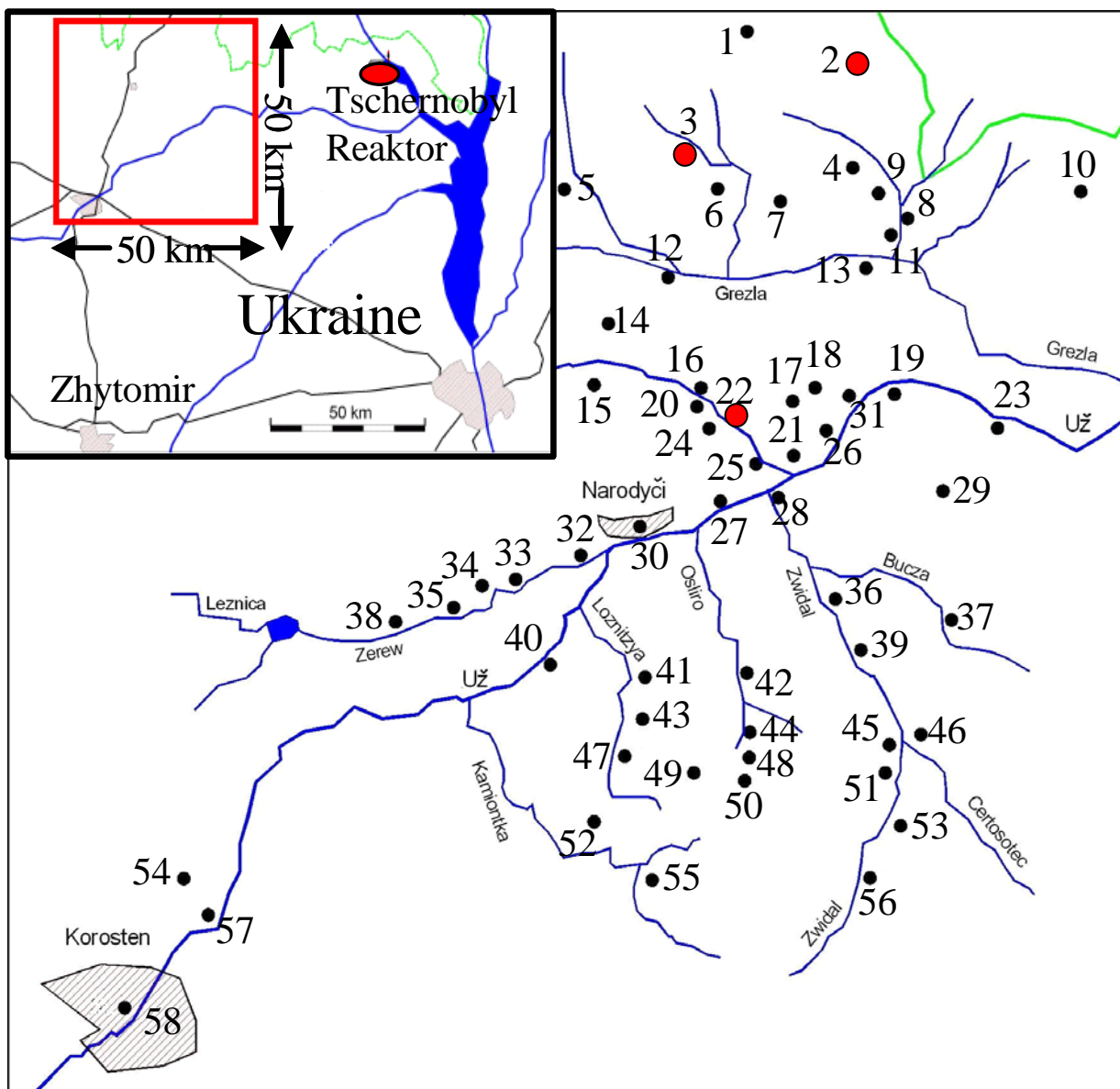
Im Mühlendorfer Hart (MH) wurde in einem Fichten- und Kiefernbestand eine dystrophe Braunerde (WAWA) beprobt. Am Standort Schönramer Filz (SF) bei Petting im Landkreis Berchtesgadener Land ist ein Hochmoor unter Wiesenvegetation (PEWI) entnommen. In einen ca. 200 Jahre alten Eichenbestand am Standort Unter-eicht (UE) im Landkreis Berchtesgadener Land, der z.T. mit Ahorn und Esche durchsetzt ist, beprobt man eine Pseudogley-Braunerde (UNWA), weniger als 50 m Entfernung von UNWA ist eine eutrophe Braunerde (UNWI) entnommen. Am Standort Salzburghofer im Landkreis Berchtesgadener Land wurde eine Parabraunerde-Braunerde unter Laubwald (SAWA) entzogen. Sie ist weniger als 1 km von den untersuchten Böden in UNWA und UNWI entfernt und wies einen Baumbestand aus Ulmen, Eschen und Ahorn auf.



**Abb.3-2:** Namen und Lage der untersuchten Ortschaften in Bayern.

### 3.3. Bodenproben aus Ukraine

Zwischen 2004 und 2007 wurden in der nördlichen Ukraine 310 Bodenproben aus 62 Siedlungen der Kontaminationszone II und III genommen. Jede Ortschaft wurde an je 5 Stellen bis zu einer Bodentiefe von 40 cm unter einer Grundfläche von 20 cm x 20 cm beprobt. Zusätzlich wurden 3 Bodenprofile aus Schurba, Dowgij-Lis und Christinowka in Kontaminationszone II bis einer Tiefe von 2 m untersucht. Namen und Lage der Probenahmeorte finden sich in Abbildung 3-3 und Tabelle 3-1. Die betrachteten Orte befinden sich auf einer Fläche von 50 x 50 km<sup>2</sup>, bis zu einer Entfernung von 50 km von Tschernobyl-Reaktor.



**Abb.3-3:** Lage von 58 der untersuchten 62 Ortschaften in der nördlichen Ukraine. Die Probenahmeorte der Tiefenprofile sind rot gedruckt.

**Tab.3-1:** Namen von 58 der untersuchten 62 Ortschaften in der nördlichen Ukraine.

1.Motyli	12.Nowig Dorogin	41.Loznitsya
2.Dolgiy Les	22.Hristiniwka	42.Mali Kleschtschi
3.Schurba	23.Poli'ski	43.Sewerewka
4.Melenki	24.Ordubi	44.Poliske
5.Stowiptsche	25.Yajberen	45.Listwinika
6.Perejzid	26.Salwenschtschina	46.Weliki Minki
7.Derevtsy	27.Nowo Scharno	47.Lyubarka
8.Nowa Radscha	28.StaraScharno	48.Nosdrischtsche
9.Stara Radscha	29.Vladimirovka	49.Rogi
10.Vil'cha	30.Naroditschi	50.Weliki Kleschtschi
11.Radscha	31.Stanowische	51.Basarska
12.Marjaniwka	32.Seletz	52.Jurawlina
13.Grezlya	33.Babinitschi	53.Bazar
14.Klotschki	34.Sakusili	54.Bechi
15.Lataschi	35.Jerew	55.Kaliniwka
16.Starig dorogin	36.Zwizdal	56.Brodrik
17.Motijik	37.Rudnya Ososdnya	57.Woronewe
18.Zalissy	38.Wjaziwka	58.Korosten'
19.Tarasy	39.Mali Minki	
20.Stintschtsche	40.Rozsochiwski	

### 3.4. Exotische Proben

Im Rahme eines Untersuchungsprojektes der Nordsee werden in dieser Arbeit auch einigen Proben mit zu erwartenden sehr niedrigen Konzentrationen von  $^{129}\text{I}$  untersucht. Es handelt sich um prä nukleare Sedimentproben von Nordsee und Ostsee, einige Meerwasserproben aus dem Nordatlantik und der Nordsee. Zusätzlich wurden die Konzentrationen von  $^{129}\text{I}$  in einzelnen Meerwasserproben aus dem Indischen Ozean, Mittelmeer, vor Spitzbergen, Hawaii und Tahiti sowie eine Lehmziegelprobe und Nil- und Safiwasserprobe aus Ägypten analysiert.

#### 3.4.1. Nordsee und Nordatlantik

In dieser Arbeit erfolgte die Untersuchung von fünfzehn Oberflächenwasserproben von verschiedenen Stationen in Nordatlantik und der Nordsee. Die gesamten Informationen von weiteren Oberflächenwässern der Nordsee und des Nordatlantik befindet sich in Vorhaben StSch 4481 und in Dissertation " $^{129}\text{I}$  in Nordsee" von Tosch (2010).



In Tabelle 3-2 wurden die Namen und die Koordinaten der untersuchten Proben dieser Arbeit zusammengefasst. Durch diese Proben gewinnen wir die Informationen der Iod-Gehalte in Nordatlantik und Nordsee. Zusätzlich wird die Verteilung des Iods mit der Tiefe des Meeres betrachtet.

**Tab.3-2:** Beschreibung der Proben aus Nordsee und Nordatlantik.

<b>Name der Probe</b>	<b>Bezeichnung, Entnahmetiefe</b>	<b>Koordinate</b>
Nordatlantik 1	CTD Station 280, 2m	78°49.74'N 5°01.44'E
Nordatlantik 2	CTD Station 280, 200m	78°49.74'N 5°01.44'E
Nordatlantik 3	Seewasserpumpe, 11m	78°22.50'N 8°2.84'E
Nordatlantik 4	CTD Station 339, 10m	78°49.98'N 4°20.04'W
Nordatlantik 5	CTD Station 339 200m	78°49.98'N 4°20.04'W
Nordatlantik 6	Seewasserpumpe, 11m	76°49.13'N 8°49.15'W
Nordatlantik 7	Seewasserpumpe, 11m	74°48.39'N 1°58.84'E
Nordatlantik 8	Seewasserpumpe, 11m	69°39.71'N 11°37.09'E
Nordatlantik 9	Seewasserpumpe, 11m	64°57.73'N 6°15.82'E
Nordatlantik 10	Seewasserpumpe, 11m	59°50.52'N 4°13.40'E
Nordsee 1	Station 906, 0m	49°0'N -6°0'W
Nordsee 2	Station 906, 50m	49°0'N -6°0'W
Nordsee 3	Station 907, 0m	48°23'59.9"N -5°0'W
Nordsee 4	Station 907, 50m	48°23'59.9"N -5°0'W
Nordsee 5	Station 907, 100m	48°23'59.9"N -5°0'W

### 3.4.2. Rezente Proben weitab von Emittenten

Tabelle 3-3 zeigt einige Informationen der Proben, die nicht für eine wissenschaftliche Arbeit entnommen wurden, sondern von Personen, die im betroffenen Ort gewesen waren, wobei alle Voraussetzungen der Probenahme berücksichtigt wurden. Durch die Ergebnisse dieser Proben können wir den Iod-Gehalt weltweit beobachten.

**Tab.3-3:** Beschreibung der einzelnen Proben

<b>Name der Probe</b>	<b>Probenart</b>	<b>Koordinate</b>
Indischer Ozean	Meerwasser	6°22S 103°15E
Spitzbergen	Meerwasser	78°35N 11°31E
Maui / Hawaii	Meerwasser	20°23N 156°17E
Tahiti	Meerwasser	17°41S 149°27W 38°20N 9°39W
Atlantischer Ozean	Meerwasser	37°85N 9°30,2W 35°58N 6°5,9W
Mittelmeer	Meerwasser	36°39,4N 4°25W
Lemziegel, Ägypten	Boden	-
Nil, Ägypten	Wasser	-
Safi Oasen, Ägypten	Wasser	26°00'18"N 32°49'06"E

### 3.4.3. Pränukleare Proben

Pränukleare Umweltproben dürfen nicht mit anthropogenem  $^{129}\text{I}$  kontaminiert werden. Auf diesem Grund ist es zurzeit schwierig, solche Proben zu finden. Deshalb interessieren wir uns für die Proben, die vor den 1950er Jahren entnommen wurden. In den Lagern des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) in Hamburg gab es solche Proben. Es handelt sich um 5 Ost- und 3 Nordseesedimentproben, die zwischen den Jahren 1937 und 1939 für wissenschaftliche Forschung entnommen wurden (Tabelle. 3-4). Um Kontamination zu vermeiden, wurden die Proben nach damaligen Vorstellungen gut verschlossen gelagert. Abbildung 3-4 zeigt eine Probe von Sedimenten aus Ostsee.



**Abb.3-4:** Probe von Sedimenten aus Ostesee

**Tab.3- 4:** Beschreibung der Pränukleare Proben aus Ost- und Nordsee.

Name der Probe	Datum der Entnahme	Koordinate
Ostsee 1	10.05.1938	55°8,0 N 16°45,0 E
Ostsee 2	20.08.1937	59°3,5 N 19°0,0 E
Ostsee 3	15.07.1939	55°32,5 N 18°3,0 E
Ostsee 4	21.09.1938	55°13,5 N 17°43,0 E
Ostsee 5	1939	(56° N 16° E)*
Nordsee 6	20.07.1937	(54° N 5° E)*
Nordsee 7	1937	(55° N 1° E)*
Nordsee 8	10.06.1937	(54° N 1° E)*
Nordsee 9	08.06.1937	(54° N 0° E)*

\* Die Koordinate dieser Proben stimmen nicht genau.

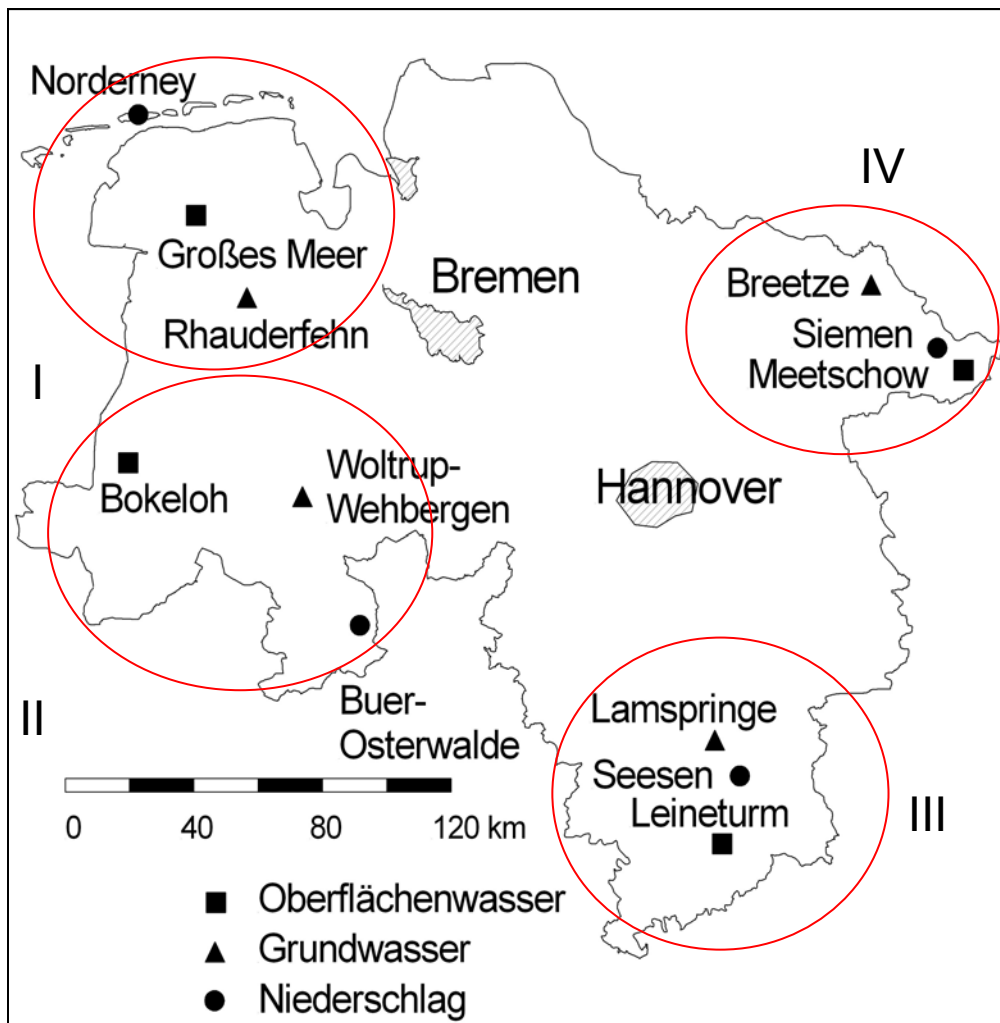
### 3.5. Proben aus Norddeutschland

Zur Untersuchung der Entwicklung der  $^{129}\text{I}$ -Kontamination in Niedersachsen (Norddeutschland) werden die  $^{129}\text{I}$ - und  $^{127}\text{I}$ -Konzentrationen in Niederschlägen, Oberflächenwässern, Grundwässern, Aerosolen, Milch, Böden, Bewuchsproben am Zentrum für Strahlenschutz und Radioökologie untersucht. Die zu untersuchenden Proben

wurden von Mitarbeitern des Niedersächsischen Landesamts für Ökologie (NLÖ) entnommen.

### 3.5.1. Niederschlag, Oberflächen- und Grundwasser

Die Probenahmeorte von Oberflächen- und Grundwasserproben sind Bestandteil des Integrierten Mess- und Informationssystems des Bundes (IMIS) [NLÖ, 1997]. Die Namen und Lagen der beprobten Ortschaften sind in Abbildung 3-5 dargestellt. Nach Szidat (2000) wurde Niedersachsen in vier Gebiete (I-IV) eingeteilt. Region I liegt in Küstennähe (Ostfriesland), Region II im Weser-Emsgebiet. Region III beinhaltet Südniedersachsen und das Harzvorland und Region IV im Nordosten Niedersachsens schließt das Elbetal und das Wendland ein [Szidat, 2000]. In Tabelle 3-5 sind die detaillierten Daten der untersuchten Wasserproben zusammengefasst.



**Abb.3-5:** Probenahmeorte für Niederschlag, Oberflächenwasser und Grundwasser. Einteilung in Regionen nach Szidat (2000) [Szidat, 2000].

Oberflächenwasser wurde als Einzelprobe einmal im Quartal, Grundwasser einmal pro Halbjahr, zwischen 2 L und 10 L entnommen. Zur Konservierung hat man direkt 10 mL Natronlauge ( $7 \text{ mol L}^{-1}$ ) zugegeben. Die Proben wurden bis zur Aufbereitung im Dunkeln gelagert. Weitere Details hierzu befinden sich bei Schmidt (1998), Szidat (2000), Ernst (2003) und Klipsch (2005) [Schmidt, 1998; Szidat, 2000; Ernst, 2003; Klipsch, 2005].

**Tab.3-5:** Beschreibung der einzelnen Proben der untersuchten Wasserproben nach Szidat [Szidat, 2000].

Gebiet	Probennahmeort	Koordinaten	Probenart
I: Küstennahes Ostfriesland	Norderney	07°14'O 53°48'N	Niederschlag
	Großes Meer	07°18'O 53°27'N	Oberflächenwasser
	Rhauderfehn	07°34'O 53°07'N	Grundwasser
II: Weser-Emsgebiet	Buer-Ostenwalde	08°21'O 52°15'N	Niederschlag
	Bokeloh	07°22'O 52°42'N	Oberflächenwasser
	Woltrup Wehbergen	07°57'O 52°32'N	Grundwasser
III: Harz-Vorland	Seesen	10°11'O 51°03'N	Niederschlag
	Leineturm	09°58'O 51°43'N	Oberflächenwasser
	Lamspringe	10°01'O 51°57'N	Grundwasser
IV: Elbetal / Wend- land	Siemen	11°13'O 53°03'N	Niederschlag
	Meetschow	11°23'O 53°04'N	Oberflächenwasser
	Breetze	10°43'O 53°16'N	Grundwasser

### 3.5.2. Böden, Bewuchs, Milch und Aerosolfilter aus Niedersachsen

Boden- und Bewuchsproben stammen aus Gorleben in der Region IV (Elbetal / Wendland). Die Entnahme von Bodenproben bis 10 cm Tiefe und von Bewuchs in Form Weidegrafschnitt fand jeweils im Mai statt. Die luftgetrockneten Bodenproben wurden durch 2 mm Porenweite gesiebt und in luftdicht verschlossenen 1-Liter-Polyethylenflaschen im Dunkeln gelagert. Die luftgetrockneten Bewuchs wurden in Teilmengen der homogenisierten Proben mit einer Küchenmaschine (Firma Moulinex)

fein zerkleinert, gemahlen und gesiebt. Die Aufbewahrung der Proben erfolgte in verschlossenen Polyethylenflaschen (100 mL bis 500 mL). Aus der gleichen Region IV wurden Milchproben von drei Bauernhöfen (G., W. und J.) untersucht. Die Entnahme der Milchproben erfolgte direkt aus dem Milchsammeltank des jeweiligen Betriebes. Die Proben wurden noch am selben Tag in 1-Liter-Polyethylenflaschen eingefroren und bis zur Aufbereitung gelagert. Die Entnahme von Aerosolen erfolgte ebenfalls in Raum Gorleben. In der Arbeit von Ernst (2003) wurde die detaillierte Grundlage und Voraussetzung der Aerosolfilter beschrieben.

## 4. Die experimentelle Quantifizierung von $^{137}\text{Cs}$ , $^{127}\text{I}$ , $^{129}\text{I}$ und Aufbereitungs- und Untersuchungsproben

In diesem Kapitel werden gründliche Erläuterungen zu den durchgeführten Messungen gegeben. Es erfolgt jedes Mal eine grundsätzliche Beschreibung des Aufbaus der Geräte. Es werden die Messungen und die Grundlagen der Auswertung der Daten dargestellt. Zuerst erfolgte die Bestimmung der Aktivitätskonzentrationen von  $^{137}\text{Cs}$  und  $^{40}\text{K}$  mittels  $\gamma$ -Spektrometrie. Dann wurden der Gehalt von  $^{127}\text{I}$  mittels ICP-MS und die  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Verhältnisse mittels AMS bestimmt. Zusätzlich wurden die Bodendichte, pH-Werte, Tongehalte, Eisen-, Aluminium- und Manganoxiden untersucht.

### 4.1. Bestimmung $^{137}\text{Cs}$ mittels $\gamma$ -Spektrometrie

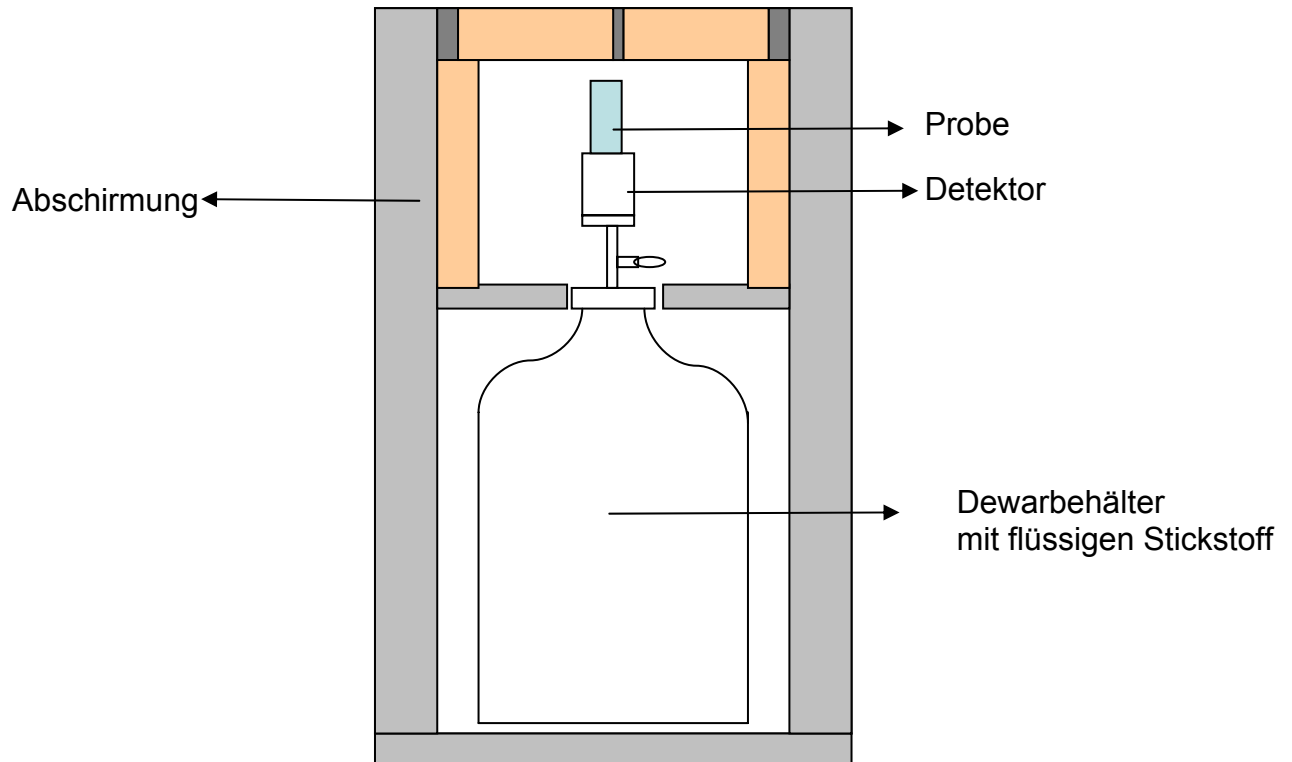
In Abschnitt 1.2 wurden die Eigenschaften des Cäsiums gezeigt. Obwohl das  $^{137}\text{Cs}$  ein  $\beta$ -Strahler ist, kann die Aktivitätskonzentration von  $^{137}\text{Cs}$  mittels  $\gamma$ -Spektrometrie indirekt bestimmt werden.  $^{137}\text{Cs}$  zerfällt zu einem kurzlebigen angeregten (metastabilen) Zustand  $^{137\text{m}}\text{Ba}$ . Dieses geht mit einer Halbwertszeit von 2,55 Minuten unter Aussendung von  $\gamma$ -Strahlen der Energie von 661 keV in das stabile  $^{137}\text{Ba}$  über. Ein schematischer Zerfall des  $^{137}\text{Cs}$  ist in Abbildung 1-9 (S. 17) dargestellt. Zusätzlich kann der  $^{40}\text{K}$ -Gehalt aus dem gleichen Spektrum (1460 keV) berechnet werden.

#### 4.1.1. Grundlagen der $\gamma$ -Messung

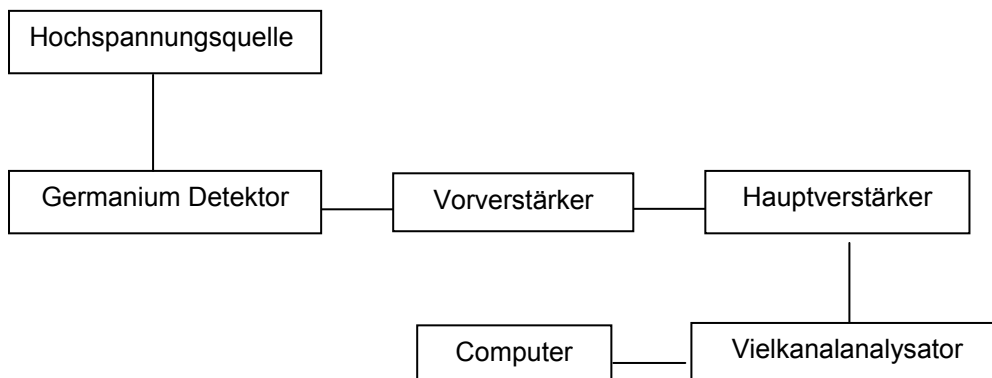
Die Durchführung der  $\gamma$ -Spektrometrie soll im Folgenden nur kurz beschrieben werden, da dieses Verfahren im Prinzip ausgereift und in der Literatur hinreichend behandelt worden ist. Im Überblick soll daher auf die Charakteristiken des benutzten HP-Ge-Detektors, die Kalibrierung mittels Standards und die Auswertung eingegangen werden. Für die Messung der  $\gamma$ -Strahlung der Bodenproben wurden ausschließlich Messsysteme mit Reinstgermanium-Detektoren eingesetzt.

In Abbildung 4-1 wird ein  $\gamma$ -Messplatz mit den wichtigsten Elementen dargestellt. Zusätzlich zeigt Abbildung 4-2 den prinzipiellen Aufbau des Messsystem des  $\gamma$ -Spektrometers. Es besteht aus Hochspannungsquelle, Detektor aus Germanium, Vorverstärker, Hauptverstärker, Vielkanalanalysator mit Pufferspeicher und einem Computer für die Auswertungen. Der Detektor ist ein Kristall aus hochreinem Germa-

nium (engl. high purity germanium, HPGe). Dieser Kristall hat ungefähr ein Fremdatom pro  $10^{12}$  Germanium-Atome. Es gibt zwei Typen von diesem Detektor: p-Type-Germanium, wenn die verbleibenden Fremdatome Elektronenakzeptoren sind, und n-Type-Germanium, wenn die verbleibenden Fremdatome Elektronendonoren sind. Wenn ein  $\gamma$ -Quant in den Detektor eintrifft, werden durch Wechselwirkungseffekte Elektron-Loch-Paare erzeugt.



**Abb.4-1:** Schematische Darstellung einer  $\gamma$ -Spektrometerschaltung.



**Abb.4-2:** Aufbau eines  $\gamma$ -spektrometrischen Messsystems



#### 4.1.2. Experimentelles

In Rahmen dieser Arbeit wurden drei Detektoren am ZSR benutzt. Es handelt sich um die Detektoren mit der Namenbeschreibung Benno, Karl und Curt. Die Tabelle 4-1 zeigt die technischen Daten der Detektoren.

**Tab.4- 1:** Technische Daten der Verwendeten HPGe-Detektoren

Detektors	Benno	Karl	Curt
Typ	n-type, koaxial	p-type, Koaxial	p-type, Koaxial
Hersteller	Ortec	PGT	Ortec
Modell	GMX-30200-P	IGC 54	GMX 50195-P
Seriennummer	34 TN20508A	DI 596	29-TP30439A
Bias	-2500 V	+ 4000 V	+ 2000 V
Relative Efficiency	30 %	53,9 %	58,8 %
Länge des Kristalls	53,5 mm	74 mm	82,0 mm
Durchmesser des Kristalls	59,9 mm	65 mm	64,5 mm
Fenster	Beryllium	Aluminium	Aluminium
Totschicht	0,3 $\mu\text{m}$	-	0,7 mm
FWHM (1332 keV), $^{60}\text{Co}$	1,8 keV	2,10 keV	1,87 keV
FWHM (122 keV), $^{57}\text{Co}$		920 keV	849 eV
FWHM (59,5 keV), $^{55}\text{Fe}$	792	-	-
Peak / compton (1332 keV)	48	63,6	76,1

Wobei:

**Bias:** am Kristall anliegende Hochspannung

**Relative Efficiency:** Nachweiswahrscheinlichkeit für die 1332 keV Linie von  $^{60}\text{Co}$  relative zu einem 3" x 3"- NAI-Detektor

**Totschicht:** Schichtdicke des inaktiven Germaniums

**FWHM :** Halbwertbreite eines Peaks bei der angegebenen Energie.

**Peak / Compton:** Verhältnis der Höhe des Photopeaks zu der des Comptonuntergrundes bei der angegebenen Energie.

Beim Detektor Benno können auch Peaks mit niedrigen Energien (low energy) gemessen werden. Im Gegensatz dazu können die Detektoren Karl und Curt nur die hohen Energien (high Energie) messen. Das heißt, sie können z. B. nicht  $^{210}\text{Pb}$  messen. Grund dafür ist: das Fenster des Detektors Benno besteht aus Beryllium aber

das der Detektoren Carl und Curt besteht aus Aluminium. Im Gegensatz zu Beryllium absorbiert Aluminium die niedrigen Energien gut. Für diese Arbeit spielt das jedoch keine Rolle, weil  $^{137}\text{Cs}$  und  $^{40}\text{K}$  mit großen Energien von 660 keV bzw. 1460 keV gemessen werden. Der Detektor wird mit flüssigem Stickstoff gekühlt, um das Rauschen zu verringern und damit die Auflösung zu verbessern. In Tabelle 4-1 steht die wichtigste Daten der drei Detektoren, die aus den Datenblättern der Hersteller entnommen wurden. Bei der Messung von  $\gamma$ -Strahlung spielen die Nachweisvermögen (Efficiency) und Nulleffekt eine große Rolle für Quantifizierung der Ergebnisse.

#### 4.1.2.1. Nachweisvermögen (efficiency)

Das Nachweisvermögen oder die Efficiency ist definiert als das Verhältnis zwischen der Emissionsrate der Photonen mit einer spezifischen Energie und der gemessenen Zählensrate an dieser spezifischen Energie. Sie wird nach Gl. 1 berechnet:

$$\varepsilon(E) = \frac{n(E)}{R(E)} \quad \text{Gl. (1)}$$

Dabei sind  $n(E)$  Zählimpulsrate in der Spitze.  $E$  entspricht die Energie.  $R(E)$  sind Rate, an den Photonen von Energie  $E$  ausgestrahlte Form die Quelle.

Um die Aktivität der Probe berechnen zu können, ist die Messung einer Vergleichsprobe in identischer Geometrie mit bekannter Aktivität notwendig. In dieser Arbeit wurde dazu ein Boden ähnlicher Dichte mit einem flüssigen Multi-Element-Standard (QCY48) versetzt und 4 Stunden gemessen. Tabelle 4-2 zeigt exemplarisch die Daten der für die meisten Standards dieser Arbeit verwendeten Multi-Elementlösung. Mit Hilfe der Peakflächen des Standardspektrums wird das absolute Ansprechvermögen (Efficiency) des Detektors berechnet.

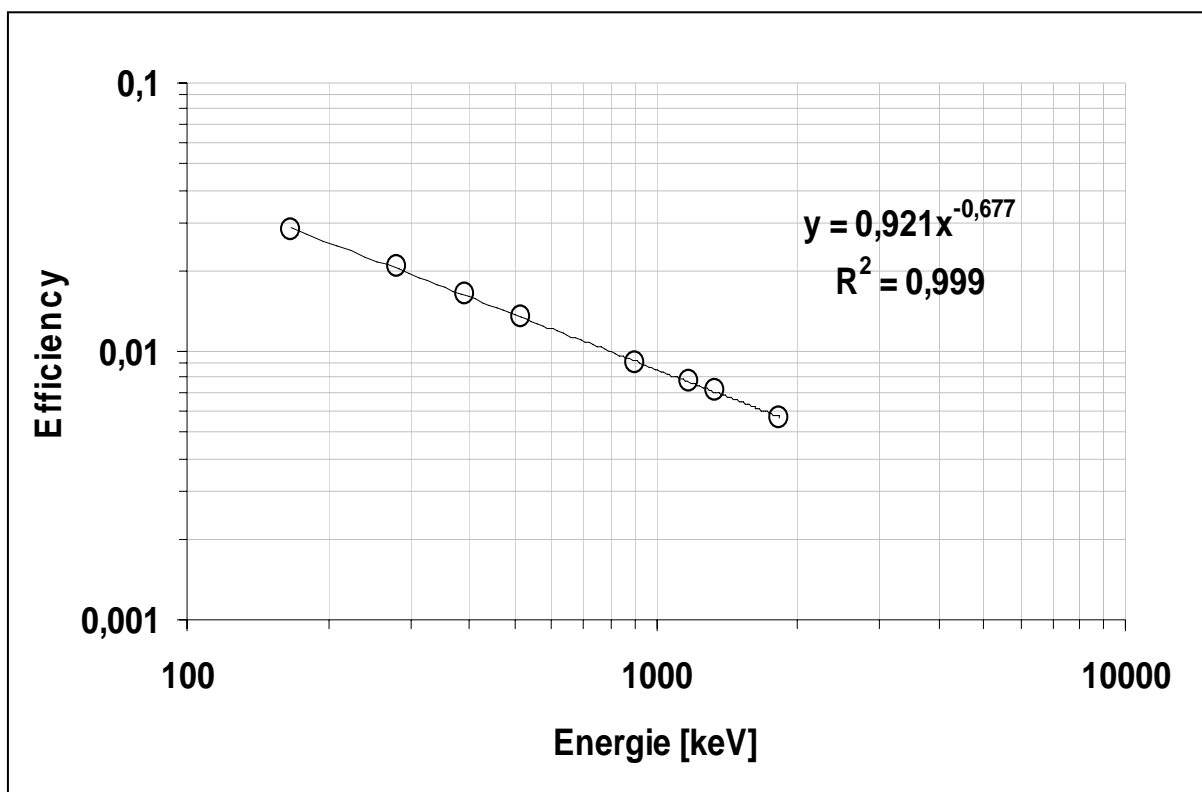
Die Efficiency hängt mit einer spezifischen Quelle-Detektor-Geometrie zusammen. Abbildung 4-3 zeigt den Verlauf der Efficiency-Kurve für den zu dieser Messung gehörenden Standard. Für die betrachtete Energie von 662 keV liegt die Efficiency bei 1,33 % und die Intensität bei 0,8521, sowie für die betrachtete Energie von 1460 keV liegt die Efficiency bei 0,66 % und die Intensität bei 0,1067.

**Tab.4-2:** Multi-Element-Standard QCY-48<sup>(a)</sup>, Referenzdatum 01.06.2005.

Nuklid	Energie (keV)	$T_{1/2}$ in d <sup>(b)</sup>	Aktivität (Counts / (s g))	Erweiterte relative Standardunsicherheit
<b>Am-241</b>	59,5	$1,58 \times 10^5$	1128	2,60 %
<b>Cd-109</b>	88,03	462,1	649	6,20 %
<b>Co-57</b>	122,1	271,83	590	1,50 %
<b>Ce-139</b>	165,9	137,66	682	1,40 %
<b>Hg-203</b>	279,2	46,6	1948	1,40 %
<b>Sn-113</b>	391,7	115,09	2123	3,20 %
<b>Sr-85</b>	514	64,85	3867	2,50 %
<b>Cs-137</b>	661,6	$1,10 \times 10^4$	2511	2,00 %
<b>Y-88</b>	898	106,63	6238	1,60 %
<b>Co-60</b>	1173	1925,3	3327	1,50 %
<b>Co-60</b>	1333	1925,3	3329	1,50 %
<b>Y-88</b>	1836	106,63	6593	1,40 %

(a) Die Daten stammen aus dem von AEAT mitgelieferten „Certificate of calibration of mixed radionuclide gamma-ray reference solution“.

(b) nach Schötzig und Schrader entnommen [Schötzig und Schrader, 1998b].

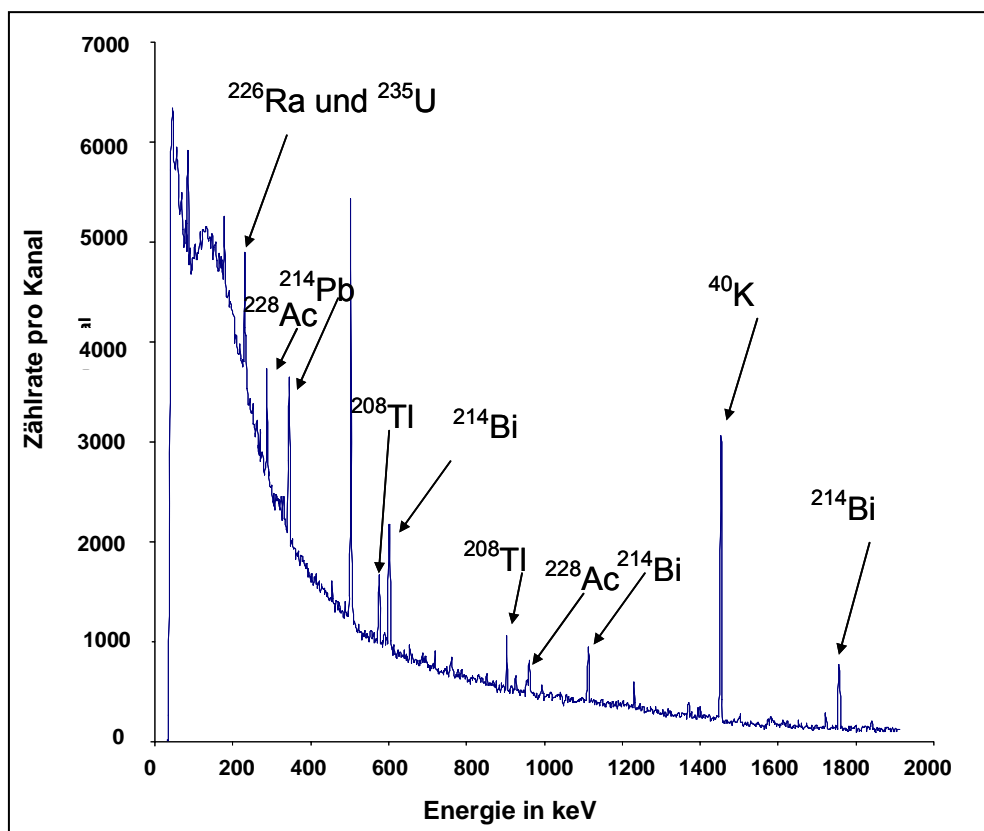


**Abb.4-3:** Verlauf der Efficiency für Boden „SAWA“.

#### 4.1.2.2. Nulleffekt

Vor der Messung der eigentlichen Probe muss der Pegel der  $\gamma$ -Strahlung aus Quellen außerhalb der Probe, der sog. Nulleffekt, gemessen werden. Als Probe der Nulleffekt wurde destilliertes Wasser verwendet. Die Messung des Nulleffekts dauert üblicherweise mehrere Tage, weil die  $\gamma$ -Hintergrundstrahlung in der Abschirmung des Detektors relativ gering ist. Nach Knoll (2000) unterscheidet man fünf verschiedene Quellen des Nulleffektes [Knoll, 2000]:

1. Radioaktive Folgeprodukte in der Luft um den Detektor.
2. Terrestrische Strahlung.
3. Radioaktives Material des Detektors
4. Natürliche radioaktive Substanzen in der unmittelbaren Umgebung des Detektors.
5. Die primäre und sekundäre Komponente der kosmischen Strahlung.



**Abb.4-4:** Nulleffektspektrum von Detektor Benno. Die Messzeit lag bei 72 Stunden

Abbildung 4-4 zeigt ein typisches Untergrundspektrum. Auch eine mögliche Kontamination des Detektors kann durch Messung des Hintergrundes erkannt werden. Am ZSR wurde alle zwei bis drei Monate ein Nulleffektspektrum für jeden Detektor aufgenommen, um eventuelle Verunreinigungen des Detektors oder des Inneren der Bleiburg schnell zu erkennen und um die Konstanz des Nulleffektes zu verifizieren.

### 4.1.3. Auswertung der Spektrum

Nach der Berechnung der Efficiency und des Nulleffekts können die Aktivitäten  $A$  von Radionukliden in Bq bzw. spezifische Aktivität in  $\text{Bq kg}^{-1}$  aus den Nettozählraten ihrer zugehörigen Linien im Spektrum der Proben nach Gleichung. 2 berechnet werden:

$$A_{\text{spez}} = \frac{\left[ \left( \frac{N_{\text{peak,Netto}}}{t_{\text{peak}}} \right) - \left( \frac{N_{\text{Nulleffekt,Netto}}}{t_{\text{Nulleffekt}}} \right) \right]}{mI\varepsilon} \quad \text{Gl. (2)}$$

$$u^2(A_{\text{spez}}) = A_{\text{spez}}^2 \left[ \left( \frac{u^2(I)}{I_P^2} + \frac{u^2(\varepsilon_P)}{\varepsilon^2} + \frac{u^2(m)}{m_P^2} \right) + \left( \frac{1}{mI\varepsilon} \right)^2 \left( \frac{u^2(N_P)}{t_P^2} + \frac{u^2(N_O)}{t_O^2} \right) \right] \quad \text{Gl. (3)}$$

Dabei sind  $A_{\text{spez}}$  die spezifische Aktivität in  $\text{Bq kg}^{-1}$ ,  $N_{\text{peak,Netto}}$  die Nettozählrate des zu bestimmenden Nuklids im Probe-Spektrum,  $t_{\text{peak}}$  Zeit der Messung in s,  $N_{\text{Nulleffekt,Netto}}$  die Nettozählrate im Nulleffekt-Spektrum an der gleichen Energie,  $t_{\text{Nulleffekt}}$  Zeit der Messung von Nulleffekt in s,  $m$  die Masse der Probe in kg,  $I$  die Intensität des zu bestimmenden Nuklids und  $\varepsilon$  das Nachweisvermögen (Efficiency).

Die Berechnung der Depositionsdichten in gesamten Bodenprofilen gibt nicht nur die Informationen über das Inventar des zu bestimmenden Nuklids auf den untersuchten Boden, sondern auch die Möglichkeit des Vergleichs der Tiefenverteilung des Nuklids in verschiedenen Böden untereinander. Die Depositionsdichte  $A(d)$  ist definiert als die Summe der Einzelaktivitäten von Bodenschichten  $A_i(d)$  (Gleichung 4). Die Einheit ist für Radionuklide  $\text{Bq m}^{-2}$  oder für stabile Nuklide  $\text{g m}^{-2}$ .

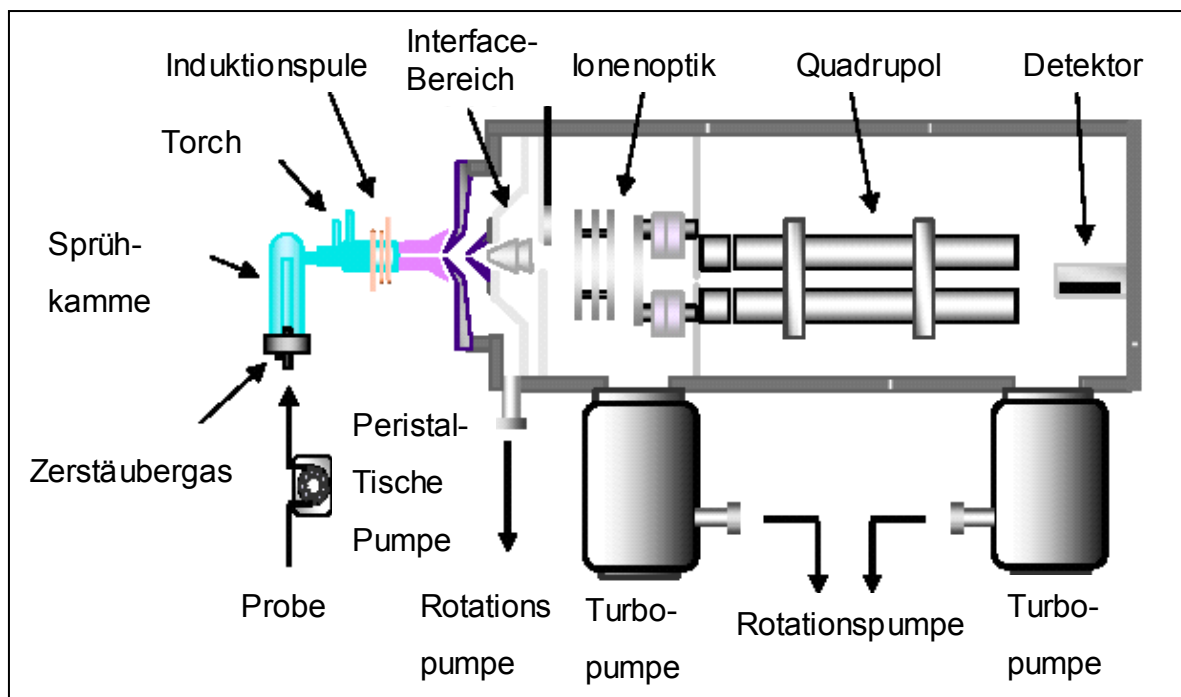
$$A(d) = \sum_{i=d \text{ max}}^{i=d \text{ min}} A_i(d) \quad \text{Gl. (4)}$$

## 4.2. Bestimmung von $^{127}\text{I}$ mittels ICP-MS

Für die Bestimmung der  $^{127}\text{I}$  gibt es viele Methoden, zum Beispiel: Ionenchromatographie, Methode nach Sandell-Kolthoff, DPD-Methode, GC-ECD-Kopplung, GC-MS-Kopplung, Iodometrie und ICP-MS. Auf Grund der niedrigen Nachweisgrenze (in den ppb-Bereich) und der hohen Empfindlichkeit für Iodid wird ICP-MS in dieser Arbeit benutzt.

### 4.2.1. Grundlagen der ICP-MS

ICP-MS ist die Abkürzung für Induktiv gekoppelte Plasma-Massenspektrometrie. Mit Massenspektrometern lassen sich die Ionen nach ihrem Verhältnis von Masse zu Ladung auftrennen und detektieren. Davor muss die Probe atomisiert und ionisiert werden. Dieser Prozess findet im ICP-Teil statt. Die ICP-MS-Geräte bestehen aus vier Untereinheiten: Zerstäuber, ICP, Massenfilter, Detektorsystem. Einen schematischen Aufbau zeigt die Abb. 4-5.



**Abb.4-5:** Schematischer Aufbau eines ICP-MS-Spektrometers [Daraoui, 2004].

#### 4.2.1.1. Zerstäubung

Die Aufgabe des Zerstäubers ist die Überführung der flüssigen Probe in ein Aerosol. Die Zerstäubung kann entweder pneumatisch oder mit Ultraschall erfolgen. Beim Einsatz von verschiedenen Zerstäuber muss darauf geachtet werden, dass der Zerstäuber:

- eine hohe Effektivität besitzt,
- schnell arbeitet,
- hohe Salzlasten verkraften kann,
- reproduzierbar arbeitet.

Es gibt verschiedene Typen von Zerstäubern (z. B.  $\mu\text{Flow}$ -Zerstäuber, Babington-Zerstäuber, Cross-Flow-Zerstäuber, Meinhardt-Zerstäuber). In dieser Arbeit wird ein Meinhardt-Zerstäuber benutzt.

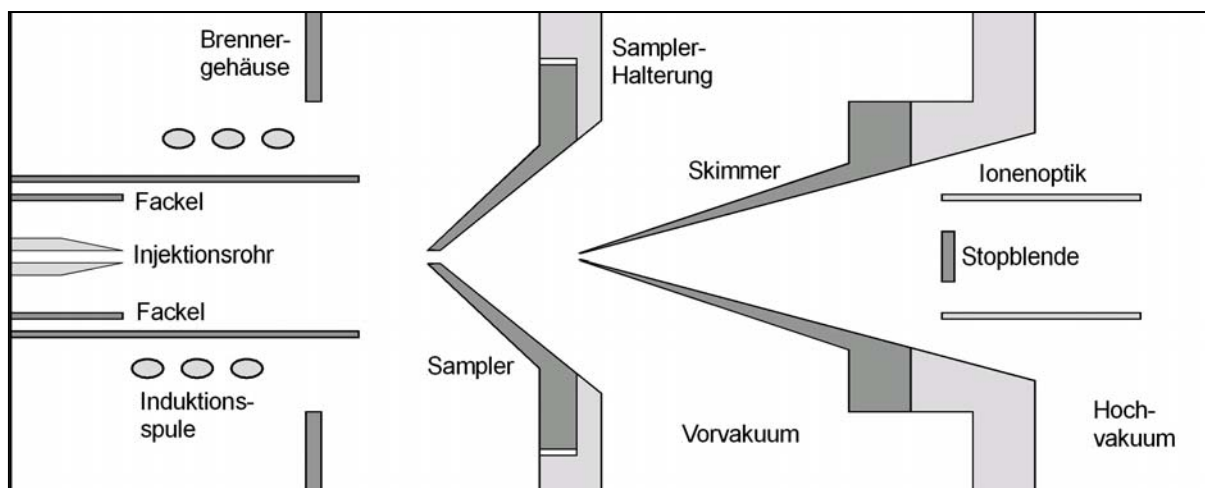
#### 4.2.1.2. Ionenquelle im induktiv gekoppelten Plasma

Ein Plasma ist definiert als eine elektrisch leitende gasförmige Mischung von Kationen und Elektronen. Das induktiv gekoppelte Plasma wird in einer Plasmafackel oder einem Plasmabrenner erzeugt. Der besteht im Allgemeinen aus drei konzentrischen Quarzrohren, durch die Argonströme mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten fließen. Im innersten Rohr erfolgt der Transport des Proben-Aerosols im Argonstrom in das Plasma, im mittleren Rohr strömt Argon als Hilfsgas ( $0 - 1 \text{ L min}^{-1}$ ) in das heiße Plasma hinein, während der Hauptgasstrom im äußeren Rohr als Plasmagas, mit einer Gesamtfließgeschwindigkeit von  $11 \text{ bis } 17 \text{ L min}^{-1}$  zugeführt wird. Am oberen Ende des Brenners befindet sich eine wassergekühlte Kupferspule, durch die das Plasma mittels Hochfrequenz (HF-Generator,  $2000 \text{ W}$ ) stabilisiert wird. Die Anfangsionisierung des Argonstroms erfolgt durch den Teslafunken einer Spule in einem Magnetfeld. Die erzeugten Ionen und Elektronen treten mit diesem Magnetfeld in Wechselwirkung auf. Danach bewegen sich die Ionen und Elektronen innerhalb der Spule auf geschlossenen Kreisbahnen, besonders in der axialen Zone des Plasmas. Der Widerstand der Ionen und Elektronen gegen diese Bewegung führt zu ohmscher Aufheizung des Plasmas bis  $10\,000 \text{ K}$ . Aufgrund dieser hohen Temperaturen ist die Benutzung eines Kühlgases sehr wichtig. Es kühlt nicht nur den Brenner, sondern zentriert auch das Plasma.

#### 4.2.1.3. Interface

Um die Analytionen zu extrahieren und um die Druckdifferenz zwischen dem unter Normaldruck betriebenen Plasma und dem unter Vakuumbedingungen arbeitenden Massenfilter auszapfen, ist die Anwesenheit des Interfaces notwendig. Eine schematische Darstellung des Interfaces zeigt die Abb. 4-6.

Das Interface besteht aus zwei hintereinander angeordneten metallischen Lochblenden, Sampler Cone, der mit Wasser gekühlt wird, und einem Skimmer Cone. Sie sind kegelförmig und bestehen aus Aluminium, Nickel, Kupfer oder Platin und haben in der Mitte ein ca. 1 mm großes Loch, durch welches das Gas mit den Ionen angesaugt wird. Atome und Ionen aus dem Plasma werden bereits in so genanntem Vorvakuum, das zwischen Sampler und Skimmer anliegt, extrahiert. Da sich die Spitze des Skimmer Cones sich innerhalb dieses Kegels befindet, so in diesem Bereich alle Ionen die gleiche Geschwindigkeit aufweisen. In der zweiten Kammer befinden sich die Ionenoptik und ein oder zwei Photonenstops. Diese Photonenstops sollen verhindern, dass Photonen aus dem ICP bis zum Detektor gelangen, da dieser nicht nur auf Ionen, sondern auch auf Photonen anspricht. Bei der Ionenoptik handelt es sich um eine Reihe von Zylindern und Scheiben, an denen elektrische Potentiale angelegt werden. Dadurch können die Ionen, die aufgrund des Druckabfalls eine divergierende Flugbahn haben, auf den Eingang des Massenspektrometers fokussiert werden.



**Abb.4-6:** Schematische Darstellung des Interfaces [Daraoui, 2004].



#### 4.2.1.4. Quadrupol

Bevor die Ionen den Detektor erreichen, fliegen sie in Mitte eines Quadrupol-Massenseparators. Dies sind zurzeit die am häufigsten eingesetzten Systeme. Sie sind kompakter, billiger und robuster als Magnetfeld-Geräte, und weisen hierzu kürzere Scanzeiten ( $< 100$  ms) auf. Ein Quadrupol besteht aus vier parallelen Stäben, wobei jeweils die beiden diagonal zueinander stehenden Stäbe das gleiche elektrische Potential haben. Zwischen den beiden Paaren wird eine Gleichspannung als auch Wechselspannung anliegt. Diese beiden Spannungen können so gewählt werden, dass nur Ionen eines bestimmten  $m/z$ -Verhältnisses auf einer spiralförmigen stabilen Flugbahn durch den Quadrupol hindurch gelassen werden. Alle anderen Ionen werden neutralisiert und verlassen als ungeladene Moleküle die Bahn und erreichen somit den Detektor nicht. Weil durch den Quadrupol Ionen selektiv entfernt werden, bezeichnet man ihn oft als Massenfilter anstatt als Massenanalysatoren.

#### 4.2.1.5. Detektor

Als Detektor dient ein Dynoden-Sekundärelektronenvervielfacher (SEV). Ein Ion trifft auf eine Dynode und dort werden Elektronen herausgeschlagen und verstärkt. Die Intensität der Elektronenkaskade, die schließlich als elektrischer Impuls registriert wird, ist ein Maß für die Häufigkeit der Detektion eines Ions des gerade gewählten  $m/z$ -Verhältnisses. Die Signale werden in einer Auswerteeinheit verarbeitet und können am PC weiter analysiert werden. Man erhält ein Massenspektrum, die Auftragung der Häufigkeit der Registrierung von Ionen gegen ihr  $m/z$ -Verhältnis.

#### 4.2.2. Experimentelles

Die Messungen dieser Arbeit wurden mittels ICP-MS Gerät (Thermo X7 vom Hersteller Thermo Electron Corp) an der Leibniz Universität Hannover durchgeführt. Sie fanden in der Anorganischen Chemie und an den Geräten der Arbeitsgruppe von Frau Prof. Dr. Carla Vogt statt.

Bevor man mit der Messung der Proben anfängt, soll man unbedingt die Geräteparameter, die oben beschrieben wurden, optimieren. Weil der Anteil der Ionen von der Ionisation bis zur Detektion von dieser Optimierung abhängt, wird dadurch die Nachweiswahrscheinlichkeit der untersuchten Ionen verbessert. Dafür benutzt man

eine Tuning-Lösung. Diese Lösung enthält 10 ppb von Beryllium, Indium und Uran. Zum Tuning wird für die Isotope  $^9\text{B}$ ,  $^{115}\text{In}$  und  $^{238}\text{U}$  eine maximale Nachweiswahrscheinlichkeit entweder durch ein manuelles oder automatisches Tuning-Programm erreicht. Man benutzt auch  $^{129}\text{Xe}$  und  $^{132}\text{Xe}$  als interne Standards, die im Argongas enthalten sind. Das Signal von  $^{129}\text{Xe}$  wurde nicht durch Signal von  $^{129}\text{I}$  der Probe stört, weil der Anteil des  $^{129}\text{I}$  in der Lösung sehr gering ist. Die Messung der verdünnten Proben erfolgt im Bereich der Kalibration [1 – 30 ppb]. Es wurde die gleiche Methode von Ernst (2003) und Klipsch (2005) benutzt [Ernst, 2003; Klipsch, 2005]. Zur Verbesserung dieser Methode wurde in dieser Arbeit Ammoniumtetramethyl statt Natronlauge (NaOH) benutzt. Dadurch konnten die Memory-Effekte minimiert und die Belastung des Detektors durch Natronlauge eliminiert werden. Jede Lösung wurde in einem Zyklus gemessen. Dieser besteht aus Salpetersäure ( $\text{HNO}_3$ , 2 %) für Spülung, Natronlauge oder Ammoniumtetramethyl (10 mmol) als Blank und entweder der Probe oder dem Standard. Bei jeder Messung wurden 6 Runs mit einer Dwell-time von 3 ms aufgenommen. Zur Kontrolle der Änderungen der Betriebsbedingungen wird ein externer Iodidstandard (5 ppb) nach jeder fünften Probe gemessen.

In Tabelle 4-3 sind die Verdünnungsfaktoren der verschiedenen Proben-Arten zusammengefasst.

**Tab.4-3:** Verdünnung der Aliquote vor der ICP-MS Messung in dieser Arbeit.

<b>Proben-Art</b>	<b>Verdünnungsfaktor</b>
Boden, Sediment	1 : 50 – 1 : 5000
Bewuchs	1 : 20
Regen- / Oberflächen- / Grundwässer	1 : 5 – 1 : 10
Filter	1 : 20
Milch	1 : 100

#### 4.2.3. Auswertung

In den Arbeiten von Ernst (2003) und Klipsch (2005) wurde die Auswertung ausführlich beschrieben [Ernst, 2003; Klipsch, 2005]. Hier werden nur kurz die zur Anwendung kommenden Formeln aufgeführt. Die Auswertung und die Bestimmung der charakteristischen Grenzen erfolgten nach DIN 25482-10.

Wie oben geschrieben jede Messung wurde 6 Mal gemessen.

$$Q = \frac{\sum Q_r}{6} \quad \text{Gl. (5)}$$

Dabei sind  $Q$  die Mittelwert der einzelnen Messung und  $Q_r$  das Verhältnis von  $\frac{^{127}\text{I}}{^{129}\text{Xe}}$ , das nach Gleichung 6 berechnet wird:

$$Q_r = \frac{N(^{127}\text{I})}{N(^{129}\text{Xe})} \quad \text{Gl. (6)}$$

Dabei entspricht  $N$  den counts pro Messintervall. Als Unsicherheit von  $u(Q)$  wird die Standardabweichung der  $Q$  gewählt:

$$u(Q) = \sqrt{\frac{n \sum Q_r^2 - (\sum Q_r)^2}{n(n-1)}} \quad \text{Gl. (7)}$$

An der ersten Linie muss der Geräteuntergrund, der mit der Messung der Proben variiert wird, abgezogen werden und das gilt sowohl für die Proben und als auch für die Standards.

Deswegen benutzt man NaOH oder Ammoniumtetramethyl als Blank:

$$Q_{corr} = Q - Q(\text{NaOH}) \quad \text{Gl. (8)}$$

Während einer langen Messzeit können die Betriebsbedingungen leicht schwanken. Deshalb benutzt man zur Normierung als letzte Messung den 5 ppb Iodidstandard ( $S_I$ ).

Dazu wird ein Normierungsfaktor  $f_N$  wie in Gleichung 9 berechnet:

$$f_N = \frac{Q_{corr}}{Q_{corr}(S_I)} \quad \text{Gl. (9)}$$

Das gemessene Verhältnis von  $\frac{^{127}\text{I}}{^{129}\text{Xe}}$  wird wie folgt in der Gleichung 10 normiert:

$$Q_{norm}(P; S) = \frac{Q_{corr}(P; S)}{f_N} \quad \text{Gl. (10)}$$

Mit Hilfe der Kalibrationsgerade kann die Konzentration der Proben nach Gleichung 11 berechnet werden:

$$C_{^{127}\text{I};\text{ICP-MS}} = f_{\text{ICP-MS}} \times \frac{Q_{\text{norm}}(P) - b}{m} \quad (11)$$

Dabei sind  $f_{\text{ICP-MS}}$  die Verdünnungsfaktoren,  $m$  die Steigung der Kalibrationsgerade und  $b$  der Achsenabschnitt der Kalibrationsgerade.

Die Unsicherheit der Konzentration  $C_{^{127}\text{I};\text{ICP-MS}}$  wird in der Gleichung 12 berechnet:

$$u(C_{^{127}\text{I};\text{ICP-MS}}) = \sqrt{\frac{u_{Q_{\text{norm}}}^2}{m^2} + \left(\frac{1}{-m}\right)^2 \times u_b^2 + \left(-\frac{Q_{\text{corr}} - b}{m^2}\right)^2 \times u_m^2} \quad \text{Gl. (12)}$$

### 4.3. Bestimmung des Gehaltes $^{129}\text{I}$ mittels AMS

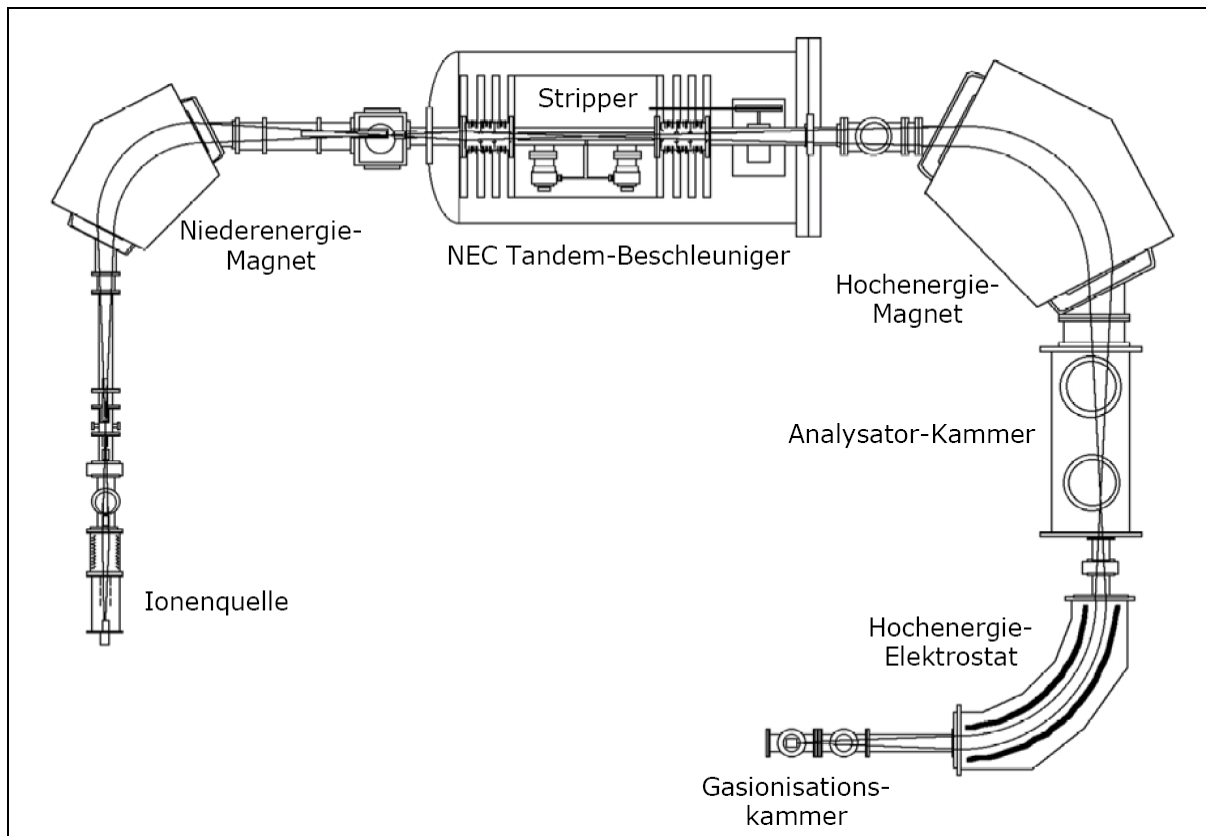
Mit der Beschleunigermassenspektrometrie (AMS) können die  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse im Bereich von  $10^{-10}$  bis  $10^{-15}$  mit Genauigkeiten im Promillebereich gemessen werden. Heutzutage ist es eine der wichtigsten Techniken zur Bestimmung extrem geringer Menge an langlebigen radioaktiven Nukliden wie beispielsweise  $^{10}\text{Be}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{26}\text{Al}$ ,  $^{32}\text{Si}$ ,  $^{36}\text{Cl}$ ,  $^{41}\text{Ca}$ ,  $^{141}\text{Pu}$  und  $^{129}\text{I}$ . In diesem Abschnitt werden zunächst die Grundlagen und der Aufbau der AMS erläutert. Es folgen einige experimentelle Details und die Auswertung der Daten.

#### 4.3.1. Grundlage der AMS

Die Messung dieser Arbeit wurde an dem ETH/PSI-AMS-Labor für Ionenstrahlphysik in Zürich betrieben. Es gibt dort drei Arten von AMS-Systemen: 6 MV ETH/PSI-Tandembeschleuniger, 500 kV ETH/PSI-Tandybeschleuniger und 200 kV „MICADAS“ [Synal et al., 1991 und 2007]. Der größte Unterschied zwischen dem „Tandem“ und „Tandy“ ist der Typ der Beschleuniger. Die Messungen mit „Tandem“ liefern sehr gute Resultate aber sind sehr aufwendig und komplex. Aus diesem Grund und nach vielen internen Forschungsarbeiten wurde eine kleine Maschine „Tandy“ für  $^{14}\text{C}$ -Messungen entwickelt. Aber sie konnten auch bei anderen Elementen des Periodensystems gute Ergebnisse liefern. So wurde „Tandy“ zur Bestimmung von  $^{10}\text{Be}$  [Grajcar, 2005],  $^{129}\text{I}$  [Alfimov und Synal, 2008] und  $^{240}\text{Pu}$  [Chamizo et al., 2006] erfolgreich eingesetzt. Bis Ende 2004 wurden die in ZSR vorbereiteten Proben im „Tandem“ untersucht. Ab 2005 wurden die Proben für diese Arbeit im „Tandy“ gemessen. Ausführliche Beschreibungen des Aufbaues von „Tandem“ finden sich in den Arbeiten von Ernst (2003) und Klipsch (2005). Nun soll kurz über den Aufbau von „Tandy“ berichtet werden [Ernst, 2003; Klipsch, 2005].

Die 500 kV Anlage „Tandy“ findet auf einer Fläche von 6 m x 4,5 m Platz. Ein schematischer Aufbau der AMS-Anlage ist in Abbildung 4-7 gezeigt. Sie besteht aus fünf Hauptbereichen und kann als Filtersystem angesehen wird:

1. Negative Ionenquelle (negative Ionen – Filter)
2. Niederenergie-Massenspektrometer (Impuls pro Ladung – Filter)
3. Tandy-Beschleuniger mit Umladungsprozess (Molekülfilter)
4. Hochenergie-Massenspektrometer (Energie pro Ladung – Filter)
5. Detektor (Isobarenfilter)



**Abb.4-7:** Schematischer Aufbau der AMS-Anlage an der ETH Zürich, Höggerberg.

#### 4.3.1.1. Ionenquelle

Als Ionenquelle wird eine Cäsium-Sputter-Ionenquelle (40 Sample MC-SNICS der Firma NEC) verwendet, die mit einem Probenrad von 40 Positionen ausgestattet ist. Der Wechsel von einer Probe zur anderen dauert einige Sekunden und nach einigen weiteren Sekunden erreicht die Strahlqualität erneut stabile Werte. Cäsium wird in einem Reservoir erhitzt und ionisiert. Die positiv geladenen Cäsiumionen werden beschleunigt und treffen auf die Proben targets, die auf einem negativen Potential liegen. Dort werden verschiedene geladene Ionen erzeugt und nur die negativ geladenen Ionen werden durch ein Extraktionselement in Richtung des Niederenergie-Massenspektrometers geleitet. In der Ionenquelle werden  $^{129}\text{Xe}$  und andere Atome, die keine stabilen negativen Ionen bilden, abgetrennt. Deshalb wirkt die Ionenquelle als erster Filter.

#### 4.3.1.2. Niederenergie-Massenspektrometer

Mit dem Niederenergie-Massenspektrometer können Teilchen einer bestimmten Masse bzw. eines bestimmten  $m/z$ - Verhältnisses detektiert werden. Die Ionen mit einem viel zu großen oder viel zu kleinen  $m/z$ - Verhältnisse werden im Magnet stärker abgelenkt. In unserer Messung wählt man  $m/z = 129$ . Hierbei handelt es sich um den zweiten Filter. In Faradaybechern, die sich vor und nach dem Beschleuniger befinden, wird ein Teil des gepulsten Ionenstroms, in diesem Fall der  $^{127}\text{I}$ -Strom, für die Berechnung der Transmission gemessen. Der Rest des Ionenstroms gelangt in den Beschleuniger. Weitere Informationen dazu findet man in der Arbeit von Synal und Mitarbeiter [Synal et al., 1991].

Der verwendete Magnet besitzt die in Tabelle 4-4 aufgelisteten charakteristischen Daten. Feldstärke und Ablenkradius erlauben die Ablenkung von Teilchen bis Masse 90 amu bei voller Quellenenergie (65 keV) bzw. die Ablenkung von  $^{129}\text{I}$  bis 45,8 keV Quellenenergie.

**Tab.4-4:** Einige Daten des Niederenergiemagneten, elektrostatische Analysator und Hochenergiemagnet.

	Niederenergie- magnet	Hochenergie- magnet	Elektrostatische Analysator
Typ	Doppel- Fokussieren	Doppel- Fokussieren	spherisch
Ablenkradius	500 mm	750 mm	750
Ablenkwinkel	90°	90°	90°
Maximale Feldstärke	700 mT	1100 mT	-
Ablenkvermögen $E/q$	-	-	0,2 MV
Polschuhabstand	42 mm	50 mm	40 mm

#### 4.3.1.3. Beschleuniger „Tandy“

Nach dem Niederenergie-Massenspektrometer gelangen die negativen Teilchen in den Beschleuniger. Es handelt sich um einen Beschleuniger vom Typ NEC 1.0 SDH Pelletron, der mit einer maximalen Terminalspannung von 600 kV betrieben werden kann. Dieser kompakte Beschleuniger „Tandy“, wie oben beschrieben, wird erst seit

2005 für die  $^{129}\text{I}$  Analytik in Zürich verwendet. Im Unterschied zum 6 MV Beschleuniger „Tandem“ geschieht der Ladungstransport dabei nicht über ein Ladungsband, sondern über eine Pelletron-Kette (einzeln isolierte Kettenglieder). Im Terminal befindet sich Argon-Gas als Stripper, welcher die negativen Ionen auf positive Ladungszustände umlädt. Wenn die negativen Ionen durch Stripper fliegen, verlieren sie durch Kollisionen mit dem Argon-Gas Elektronen und werden positiv geladen. Die spezielle Konstruktion des Stripperkanals erlaubt Stripperflächendichten von über  $2 \mu\text{g cm}^{-2}$ , so dass positiv geladene Moleküle im Ladungszustand 3+ oder höher nicht stabil sind und aufgebrochen werden. Deshalb wirkt hier der Beschleuniger als dritter Filter.

#### 4.3.1.4. Hochenergie-Massenspektrometer

Nach dem Umladen werden die nun positiven Ionen ein zweites Mal beschleunigt und im Hochenergie-Massenspektrometer analysiert, das somit als vierter Filter wirkt. Das Hochenergie-Massenspektrometer besteht aus einem Ablenkmagneten und einer elektrostatische Ablenkung. Dadurch kann der ganze Massenbereich des Periodensystems durch Wahl des Ladungszustands und der Terminalspannung abgedeckt werden. In Tabelle 4-4 sind die technischen Daten des Hochenergiemagneten aufgelistet. Zwischen Magnetfeld und Detektor steht ein Elektrostatischer Analysator (siehe Abbildung 4-7), dessen charakteristische Daten ebenfalls in Tabelle 4-4 angegeben sind.

#### 4.3.1.5. Detektor

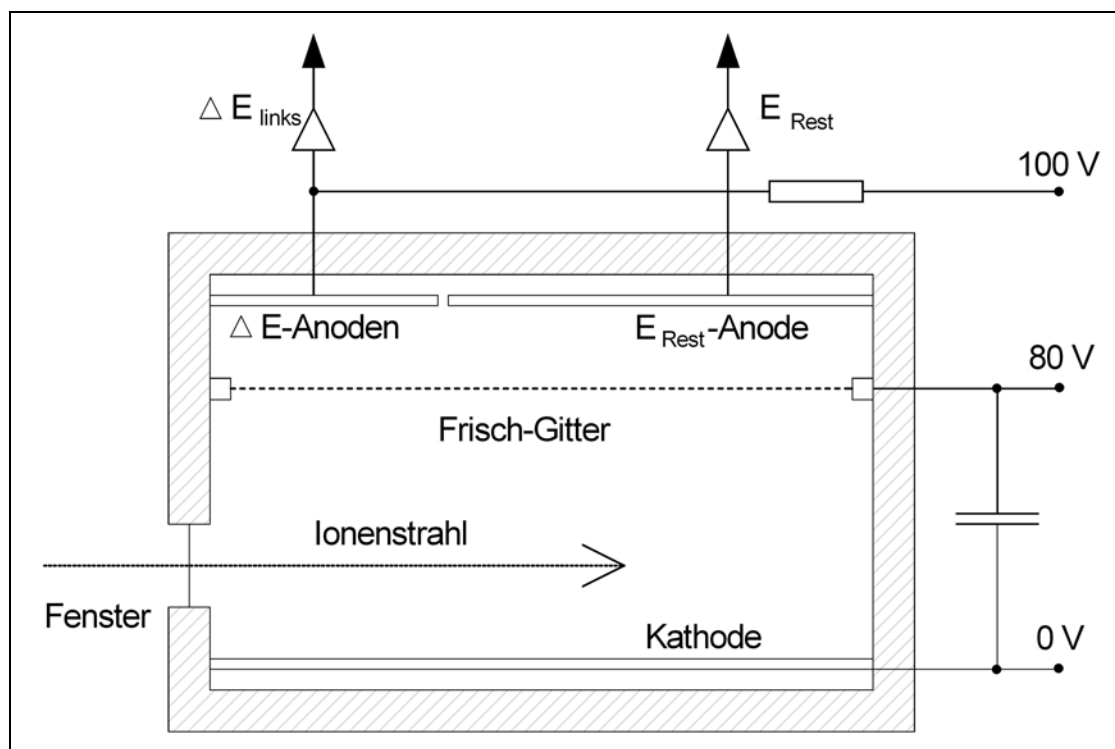
Zur Identifikation schneller Ionen werden kernphysikalische Methoden benutzt. Diese sind in der AMS meistens die Gesamtenergiemessung, die differentielle Energieverlustmessung ( $\frac{dE}{dx}$ ) und die Flugzeitmessung (TOF). In dieser Arbeit wird der Gasionisationsdetektor (GID) verwendet. Der ermittelt den Energieverlust der Teilchen in einer mit Gas gefüllten Kammer. Durch die verkürzte Bethe-Bloch-Formel [Bethe, 1930] kann der Energieverlust angegeben werden. Diese Formel (Gl. 13) zeigt, dass der Energieverlust  $dE$  pro Längeneinheit  $dx$  proportional zum Quadrat der Ladungszahl  $z$  und umgekehrt proportional zum Quadrat der Geschwindigkeit  $V$  des Teilchens ist.



$$\frac{dE}{dx} \approx \frac{Z^2}{V^2} \quad \text{Gl. (13)}$$

Durch diese Abhängigkeit vom Energieverlust und der Kernladung kann eine Separation von Isobaren gemacht werden. Die differentielle Energieverlustmessung kann mit der Gasionisationskammer als Detektor gemessen werden. Ein schematischer Aufbau der Gasionisationskammer ist in Abbildung 4-8 gezeigt. Dieser Detektor hat eine geteilte  $\Delta E$ -Anode und eine  $E_{\text{rest}}$ -Anode, so dass sowohl der spezifische Energieverlust als auch die laterale Position der einfallenden Teilchen gemessen werden können.

Der benutzte Detektor besteht aus einer Edelstahl-Kammer mit einer Größe von 6 cm x 6 cm x 6 cm und ist mit Isobutan bei einem Druck von 11 mbar gefüllt. Die Ionen dringen durch das Siliziumnitrid-Fenster und werden im Gas abgebremst. Dabei wird das Gas ionisiert und die erzeugten Ladungsträger werden mit Hilfe eines elektrischen Feldes senkrecht zum Ionenstrahl auf den Anoden und der Kathode gesammelt und können als Strom gemessen werden. Die Stärke des Stroms ist ein Maß für den Energieverlust des detektierten Teilchens.



**Abb.4-8:** Schematischer Aufbau der Gasionisationskammer

#### 4.3.2. Experimentelles

Das durch die Probenvorbereitung (Abschnitt 4.7) erhaltene getrocknete Silberiodid wird mit Silberpulver im Verhältnis von 1:4 vermischt, um die Leitfähigkeit zu erhöhen. Die Silberiodid-Proben hat man zusammen mit Titanpulver in kleine Titanbecher gepresst. Diese Probenvorbereitung erfolgte an ZSR in Hannover. Die Standards zur Kalibrierung und Woodward-Blanks zur Bestimmung des Untergrundes der Maschine werden in Zürich vorbereitet. Die Kalibration erfolgte bei fast allen unseren Messungen mittels zwei Standards. Ein alter Standard mit eine Verhältnis von  $48,1 \times 10^{-12}$  für die Routine Messung und ein neuer Standard von  $50,3 \times 10^{-12}$  für die niedrige Verhältnisse z.B. bei der Messung von prä nuklearen Proben.

Es wurden 40 Proben, davon 4 Standards und 4 Woodward-Blanks, in einem Probenrad mit 40 Positionen eingestellt und in die Ionenquelle montiert. Nach Einstellung des Vakuums und Optimierung aller Geräteparameter startet man die Messung. Vor Beginnung der eigentlichen Messung wird in einen Vor-Screen das Isotopenverhältnis der Proben gemessen und diese mit steigenden  $^{129}\text{I}$  genau bestimmt. Das hilft, den Untergrund des Geräts niedrig zu halten und Kontaminationen zwischen den Proben zu vermeiden. Für jede Probe wird mit bis zu 4 Zyklen (pro Zyklus 10 Messungen) über eine gewisse Messzeit die Anzahl der  $^{129}\text{I}$ -Ereignisse und der zugehörige  $^{127}\text{I}$ -Strom gemessen. Insgesamt wird jede Probe bis zu 40 Mal gemessen um ein stabiles Signal zu erhalten.

Die Messung der Proben erfolgte mittels 0,5 MV Tandembeschleuniger „Tandy“. Die zur Detektion herangezogenen Ladungszustände waren +5, +4 und +3, dies entspricht einer Gesamtenergie der Teilchen von 3 MV, 2,5 MV bzw. 2 MV.

In den langjährigen Messungen wurde, auf Grund der guten Ergebnisse, mit dem Ladungszustand +3 detektiert. Es liefert mehr Transmission (bis zu 9 %) und niedriger Untergrund ( $1 \times 10^{-13}$ ). Die Interferenzen von  $^{129}\text{I}^{3+}$  sind  $^{27}\text{Al}^{16}\text{O}^{+}$  und  $^{86}\text{Sr}^{2+}$  konnten im Gasionisationsdetektor separiert werden. Waren diese Interferenzen mehr als 5 %, wurde  $^{129}\text{I}^{4+}$  benutzt. Das in diesem Fall störende  $^{97}\text{Mo}^{3+}$  konnte im Gasionisationsdetektor von  $^{129}\text{I}^{4+}$  getrennt werden [Alfimov und Synal, 2008].

### 4.3.3. Auswertung

Die Auswertung der Messung ist sehr kompliziert. Sie wurde von Herrn Dr. Vasily Alfimov einem Mitarbeiter der ETH mittels einer internen Software durchgeführt. Die Modelle der Auswertung wurden bereits von Szidat (2000) ausführlich beschrieben. Nach der Messung bekommt man die Ergebnisse des Verhältnisses, die für Abschließende Auswertung des  $^{127}\text{I}$  und  $^{129}\text{I}$  benutzt wurden [Szidat, 2000].

### 4.4. Abschließende Berechnung des $^{127}\text{I}$ und $^{129}\text{I}$

Das Ziel ist die Bestimmung der Gehalt von  $^{127}\text{I}$ ,  $^{129}\text{I}$  und das  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Verhältnis in den Proben. Mittels ICP-MS wurde zunächst der  $^{127}\text{I}$ -Gehalt von einem Aliquot der Lösung (die Beschreibung dieser Bestimmung findet sich in den Kapitel 4.2 statt) gemessen, dann wurde das  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Verhältnis mittels AMS von Restlösung bestimmt (wie in den Kapitel 4.3 beschrieben). Durch die beiden Ergebnisse kann man der Gehalt des  $^{127}\text{I}$ ,  $^{129}\text{I}$  und das  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Verhältnis in den Proben umrechnen. Das  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Verhältnis, das mittels AMS bestimmt wurde, ist wie folgt gegeben:

$$\frac{{}^{129}\text{I}}{{}^{127}\text{I}} = \frac{m_{129}}{m_{127,ges}} \times \frac{M_{127}}{M_{129}} \quad \text{Gl. (14)}$$

Dabei sind  $m$  die Masse und  $M$  die Molare Masse. Die gesamte Masse  $m_{127,ges}$  ist die Summe der Masse von Proben ( $m_{127,Probe}$ ) im Aliquot der Absorptionslösung vor dem Moment der Trägerzugabe in der Lösung und der Masse dem Träger ( $m_{127,Träger}$ ).

$$m_{127,ges} = m_{127,Probe} + m_{127,Träger} \quad \text{Gl. (15)}$$

Die Masse  $m_{129}$  ist die Summe von  $m_{129,Probe}$  in der Probe und  $m_{129,Blind}$  in der Blindprobe.

$$m_{129} = m_{129,Probe} + m_{129,Blind} \quad \text{Gl. (16)}$$

Die Masse  $m_{127,Träger}$  ist bekannt und die Masse  $m_{127,Probe}$  wurde durch ICP-MS bestimmt. Die Masse  $m_{129}$  wurde durch Gleichung 14, 15 und 16 berechnet.

Die Blindwertproben haben das gesamte Probenaufbereitungsverfahren durchlaufen. Es wurden regelmäßig Blindproben untersucht und berechnet.

Schließlich ergibt sich das Isotopenverhältnis der Proben dann als:

$$\frac{{}^{129}\text{I}}{{}^{127}\text{I}} = \frac{m_{129,\text{Probe}}}{m_{127,\text{Probe}}} \times \frac{M_{127}}{M_{129}} \quad \text{Gl. (17)}$$

Dabei sind  $m_{129,\text{Probe}}$  und  $m_{127,\text{Probe}}$  die Iodmassen der GesamtabSORPTIONSLÖSUNG für feste Proben oder des Eluats für flüssige Proben. Unter Berücksichtigung der Ausbeuten und aller bis zum Bezugszeitpunkt durchgeführten Aliquotierungen sowie der ursprünglichen Probeneinwaage werden abschließend die Konzentrationen von  $^{129}\text{I}$  und  $^{127}\text{I}$  in den Ursprungsproben berechnet.

#### 4.5. Berechnung der $^{131}\text{I}$ -Schilddrüsendosen

Die Analyse der  $^{129}\text{I}$  von Umweltproben, insbesondere der Böden, bietet eine Möglichkeit die Strahlenexposition durch das kurzlebige Iodisotop  $^{131}\text{I}$  mittels retrospektiver Dosimetrie zu berechnen.

Böden stellen Archive dar, die den Fallout der anthropogenen Radionuklide, trotz Migration in tiefere Bodenschichten, lange bewahren. So konnte aus erhöhten  $^{129}\text{I}$  Vorkommen in den durch den Reaktorunfall von Tschernobyl hoch- und mittelekontaminierten Gebieten der Ukraine retrospektiv der Fallout von  $^{131}\text{I}$  nach dem Unfall bestimmt werden. Für die retrospektive Berechnung der  $^{131}\text{I}$ -Schilddrüsendosen aus der  $^{129}\text{I}$ -Depositionsdichte wird das Model nach Gleichung 18 benutzt:

$$H_{\text{thy}} = \left( D({}^{129}\text{I}) - D_{\text{prä-Tsch}}({}^{129}\text{I}) \right) \times \frac{A_{131}}{A_{129}} \times DC_{131} \times f(t) \quad \text{Gl. (18)}$$

Dabei sind  $H_{\text{thy}}$  die Schilddrüsenfolgedosis durch  $^{131}\text{I}$  in Sv,  $D_{\text{prä-Tsch}}({}^{129}\text{I})$  die integrale  $^{129}\text{I}$  prä-Tschernobyl Depositionsdichte in  $\text{mBq m}^{-2}$ ,  $D({}^{129}\text{I})$  die aktuelle integrale  $^{129}\text{I}$  Depositionsdichte in  $\text{mBq m}^{-2}$ ,  $\frac{A_{131}}{A_{129}}$  das Aktivitätsverhältnis von  $^{131}\text{I}$  zu  $^{129}\text{I}$  zum Zeitpunkt des Unfalls,  $DC_{131}$  der aggregierte Dosisfaktor für die  $^{131}\text{I}$  Schilddrüsendosis in

$\text{Sv Bq}^{-1} \text{ m}^2$  und  $f(t)$  ein Korrektionsfaktor für den Zerfall des  $^{131}\text{I}$  zwischen Emission und Ankunft am betrachteten Ort. Details bzgl. der Modellierung und der Festlegung der Parameter befindet sich in der Arbeit von Michel und Mitarbeiter [Michel et al., 2005].

#### 4.6. Bodenchemische und -physikalische Untersuchungen

Diese Untersuchungen erfolgten am Institut für Bodenkunde der Leibniz Universität Hannover. Die Bestimmung der Bodendichte wurde im ZSR vorgenommen.

##### 4.6.1. Bestimmung der Bodendichte

Die Bestimmung der Bodendichte der Minerale- und Organischenboden geschah im Laboratorium statt direkt auf dem Feld. So wurde die Dichte durch volumenbezogene Wägung des gesamten beprobten Materials ermittelt. Die Bodendichte wurde mittels Gleichung 19 errechnet:

$$D_B = \frac{V_B}{V_{Dest.W}} \quad \text{Gl. 19}$$

wobei ist  $V_B$  das Volumen der Böden für eine bestimmte Füllhöhe der PE-Flaschen und  $V_{dest.W}$  das Volumen des destillierten Wassers für gleiche Höhe.

##### 4.6.2. Bestimmung der pH-Werte

Die pH-Werte wurden nicht an feldfrischem Boden direkt gemessen, sondern im Laboratorium. 10,00 g Boden wurde mit 25 mL  $\text{CaCl}_2$  (0,01 M) versetzt und über Nacht stehen gelassen. Am nächsten Tag erfolgte in der Suspension nach dem Aufschütteln die Bestimmung des pH-Wertes mittels einer pH-Elektrode.

##### 4.6.3. Bestimmung der Eisen-, Aluminium- und Manganoxide

Die oxalatlöslichen Eisenoxide wurden nach Tamm (1932), modifiziert nach Schwertmann (1964), ermittelt; siehe hierzu Schlichting und Mitarbeiter. Diese Methode ist auch für Aluminium- und Manganoxide geeignet [Schlichting et al., 1995].

200 mg lufttrockener Feinboden wurden mit 50 ml Oxalat-Lösung ( $17,56 \text{ g L}^{-1}$  von  $[\text{COOH}]_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  +  $28,4 \text{ g L}^{-1}$  von  $[\text{COONH}_4]_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) in einer Flasche zwei Stunden in einem abgedunkelten Raum maschinell geschüttelt, zentrifugiert und über eine tro-

ckenes Filter in einen Erlenmeyerkolben filtriert. Die Bestimmung von Eisen, Aluminium und Mangan erfolgte mittels AAS [Schlichting et al., 1995].

#### **4.6.4. Bestimmung der Tongehalte**

Zur Tongehaltsbestimmung wurden 10,00 g Boden eingesetzt. Nach Zerstörung der organischen Substanz durch Wasserstoffperoxyd wurde 10 mL von Metaphosphat als Dispergierungsmittels eingegeben. Der Tongehalt wurde durch Sedimentation im Schwerefeld bestimmt.

#### **4.7. Aufbereitung fester Proben**

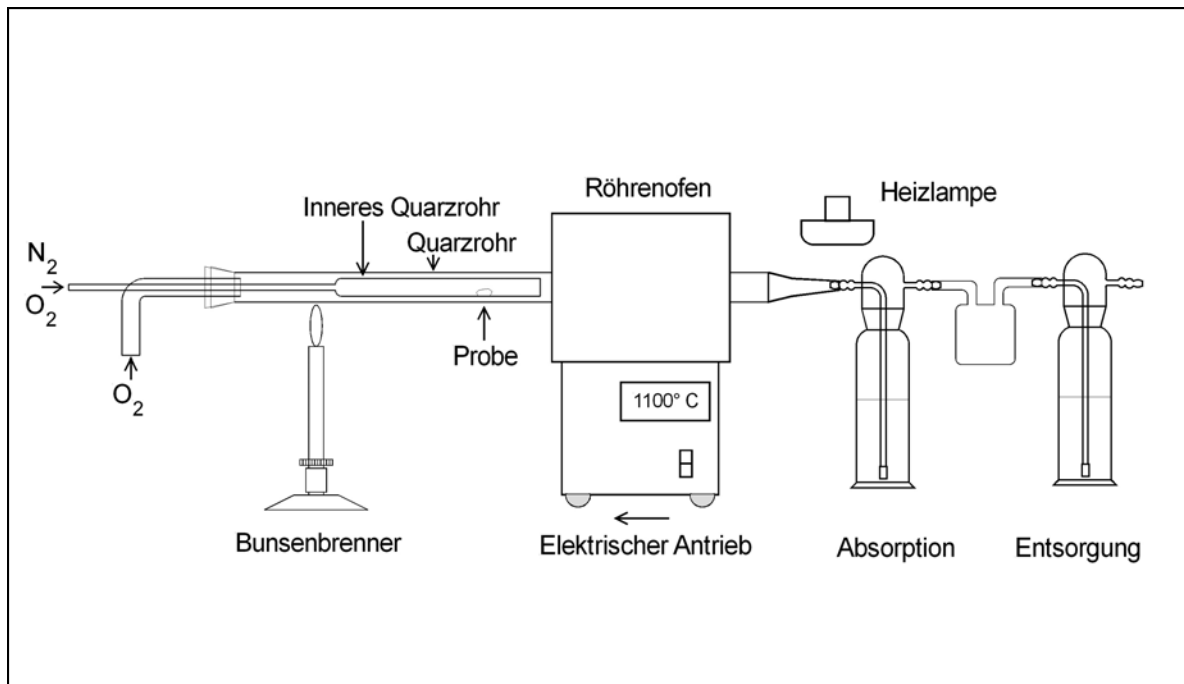
Für die Abtrennung von Iod aus festen Proben gibt es nur wenige Aufschlussverfahren. In dieser Arbeit wurde eine Trockenveraschung unter Sauerstoffüberschuss und eine alkalische Hydrogensulfit-Auffanglösung benutzt [Ernst, 1998].

Die Böden wurden luftgetrocknet, zerkleinert und durch ein Sieb von 2 mm Porenweite gesiebt. Nach  $\gamma$ -spektrometrischer Untersuchung auf  $^{137}\text{Cs}$  und  $^{40}\text{K}$  wurden die Proben in einer Verbrennungsapparatur unter Sauerstoffüberschuss verbrannt. Ein schematischer Aufbau ist in Abbildung 4-9 dargestellt. Die Apparatur besteht aus zwei ineinander verschiebbaren Quarzglasrohren mit Zuleitungen für Sauerstoff und Stickstoff. Die Bodenproben (10 – 50 g) wurden im verschiebbaren Innenquarzglasrohr platziert, mit einem Bunsenbrenner erwärmt und dieses Innenquarzrohr langsam in den auf 1100 °C aufgeheizten Röhrenofen geschoben. Das freigesetzte, elementare Iod wurde in einer alkalischen Lösung zu Iodid reduziert. Diese alkalische Lösung besteht aus 60 mL dest. Wasser, 6 mL Ammoniumbisulphidhydrat (1 M) und 0,4 mL Tetramethyl ammonium hydroxid (7 M). Die Bestimmung der chemischen Ausbeute erfolgte mittels  $^{125}\text{I}$ -Tracer. Ein Aliquot der Lösung (etwa 4 mL) wurde für die Bestimmung von  $^{127}\text{I}$  mittels ICP-MS entnommen. Die restliche Probenlösung wurde mit 100  $\mu\text{L}$  der Woodward-Iod-Lösung versetzt und zur Bestimmung der  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Verhältnisse mittels AMS als Silberiodid ausgefällt.

Um den  $^{129}\text{I}$ -Blindwert des Probenaufbereitungsverfahrens zu bestimmen wurden parallel zu den Bodenproben Blanks hergestellt. Dafür benutzte man ein Filterpapier als Träger, das nach Herstellerangaben iodfrei ist. Etwa 1 g von dem Filterpapier

wurde am Anfang mit oder ohne Zugabe einer 100  $\mu\text{L}$  1:1000 verdünnten WWI-Lösung verbrannt.

Zur Kontrolle der Analysenverfahren analysierte man der Referenzstandard IAEA-Soil-375 und IAEA-Soil-385 regelmäßig. Jeweils 5 g Referenzstandard wurden nach gleichen Verfahren wie die Bodenproben untersucht.



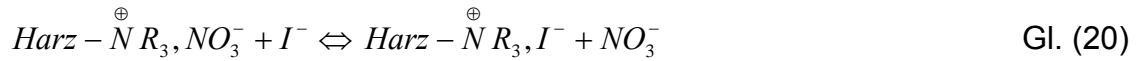
**Abb.4-9:** Schematischer Aufbau der Verbrennungsapparatur

#### 4.8. Aufbereitung flüssiger Proben

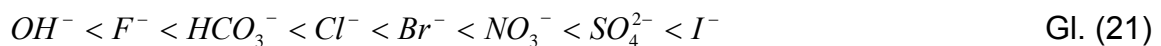
Für die Abtrennung von Iod aus flüssigen Proben wurde das Verfahren der Festphasenextraktion verwendet. In der Arbeit von Szidat (2000) und Klipsch (2005) findet man ausführliche Beschreibungen dieses Verfahrens. In diesem Abschnitt werden die wichtigste Information dieses Verfahrens dargestellt [Szidat, 2000; Klipsch, 2005].

Es handelt sich um einen Anionentaucher, der für Iod als Iodid selektiver als für andere Anionen ist. Dafür benutzt man ein stark basisches DOMEX<sup>®</sup> 1 x 18 der Firma SERVA Anionenaustauscherharz. Dieser Anionenaustauscher besteht aus einem Polymersubstrat, das als quartärer Ammoniumgruppe funktionalisiert ist. So wird wie

Gleichung 20  $\text{I}^-$  im Austausch gegen das  $\text{NO}_3^-$  an den quaternären Ammoniumgruppen gebunden.



Aufgrund unterschiedlicher Selektivitätskonstant der Ionen mit dem Anionenaustauscherharz wurden diese getrennt. Die Reihe in Gleichung 21 gibt einen Überblick über die relative Selektivität einiger wichtiger Anionen an einem stark basischen Anionenaustauscher:



Das Anionenaustauscherharz wurde in destilliertem Wasser aufgeschlämmt und in einer Glassäule vorgelegt. Zur Erhöhung der Selektivität des Austauschers mit Iodid gegen Chlorid wurde zuerst eine verdünnte Kaliumnitratlösung ( $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ ) zu dem Anionenaustauscherharz versetzt, damit ein Austausch des Chlorids durch Nitrat erfolgte. Nach Zugabe der Probe auf die Säule wurde Iodid gebunden und die anderen Anionen von der Säule gespült. Anschließend wurde das Iodid durch Zugabe von konzentrierter Kaliumnitratlösung ( $2,25 \text{ mol L}^{-1}$ ) eluiert. In der Praxis gibt es bei der Iod-Separation aus dem Wasser und aus der Milch einige Unterschiede. Im Folgenden werden die wichtigen Aufbereitungsschritte beschrieben.

#### 4.8.1. Wasserproben

In natürlichen Wässern liegt Iod, wie schon in dem Abschnitt 1.1 beschrieben, hauptsächlich in Form von Iodid und Iodat und in sehr kleinen Mengen in organischer Form vor. Das Ziel ist die Gewinnung des gesamten Iods als Iodid. Wir benutzen die Verfahren von Gabay (1974), die von Szidat (2000) validiert wurde [Gabay et al., 1974; Szidat, 2000]. Diese Verfahren basiert darauf, dass die Oxidation von alle Iod-Formen zuerst nach Zugabe von Calciumhypochlorid ( $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ ) zu Iodat erfolgte. Danach erfolgte die Zugabe von Hydroxylammoniumhydrochlorid ( $(\text{NH}_2\text{OH})\text{HCl}$ ) und Natriumhydrogensulfit ( $\text{NaHSO}_3$ ) Iodat wieder zu Iodid zu reduzieren.

Es wurde am Anfang ein Aliquot der Wasserprobe zur Bestimmung des gesamten Iod-Gehaltes mittels ICP-MS entnommen. Nun ist es wichtig, speziell bei Wasserproben mit einem geringen Iod-Gehalt, gleich am Anfang das Woodward-Iod als Träger für die Bestimmung des  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Verhältnis zuzugeben. Nach Zugabe des Woodward-



Iods und dem Oxidation-Reduktion-Schritt wurde die Wasserprobe auf die Säule gegeben und das Iod schließlich eluiert. Nach Ansäuern und Zugabe von Silbernitrat auf die gesammelte Eluat erfolgte die Ausfällung von einem gelben Silberiodid.

#### 4.8.2. Milchproben

Im Gegensatz zu Bearbeitung von Wasserproben ist die Abtrennung des Iods aus Milchproben sehr schwierig. Weil Milch eine Emulsion ist und ihre Zusammensetzung sich bei Änderung der äußeren Bedingungen schnell ändern kann. Es reicht nicht nur die Filtration der Milchprobe zur Abtrennung des gesamten Iods und zur Bestimmung mittels ICP-MS durchzuführen. Daher musste die Abtrennung des Iod von Milchproben erstmal mittels Festphasenextraktion erfolgen, dann wurde ein Aliquot für die ICP-MS-Messung entnommen und dann ist die Zugabe des Woodward-Iod-Trägers möglich. Es ist sehr wichtig,  $^{125}\text{I}$  als Tracer für die Ausbeute diesem Verfahren zu benutzen, weil der Rückhalt von Iodid und die Elution von der Säule nicht vollständig sind. Die Aufbereitung einer Milchprobe läuft folgendermaßen, wie in der Arbeit von Klipsch beschrieben [Klipsch, 2005], ab: Nach dem Auftauen der Probe wurden etwa 180 mL Milch entnommen und mit 100  $\mu\text{L}$  einer  $^{125}\text{I}$ -Lösung versetzt (etwa 1 kBq). Es wurde ein Dispergiergerät (20 min, 15 800  $\text{U min}^{-1}$ ) benutzt, um die Milchprobe zu homogenisieren. Nach Gabay (1974) und Hou (2000a) liegt Iod in Milch als Iodid vor, deswegen ist die Oxidation-Reduktion-Schritt, wie oben für Wasserproben beschrieben, nicht nötig [Gabay et al., 1974; Hou et al., 2000a]. Die Milchproben wurde auf die Säule gegeben und zunächst mit etwa 45 ml Kaliumnitrat ( $\text{KNO}_3$ , 0,5 mol  $\text{L}^{-1}$ ) und 50 mL dest. Wasser gespült. Anschließend wurde das Iodid in mehreren Fraktionen eluiert. Es wurde ein Aliquot für die ICP-MS-Messung abgenommen und ein weiteres für die Ausbeutebestimmung mittels  $^{125}\text{I}$ . Die übrige Lösung wurde mit Woodward-Iod-Träger versetzt. Danach erfolgte die Ausfällung von Silberiodid nach Ansäuern und durch Zugabe von Silbernitrat. Es wurde abfiltriert, getrocknet und mit Silberpulver für die AMS-Messung gepresst.

#### 4.8.3. Aerosolfilterprobe

Zur Iod-Gewinnung aus einer Aerosolfilterprobe wurde das von Szidat (2000) ausführlich beschriebene Verfahren der alkalischen Suspensionsmethode benutzt [Szidat, 2000]. Die Aufbereitung solcher Aerosolfilterprobe läuft folgendermaßen ab:

Nach der Überführung der Aerosolfilter in den 100 mL Erlenmeyerkolben wurden etwa 45 mL dest. Wasser, 5 mL Natriumlauge (NaOH, 7 M), 0,6 mL Natriumhydrogensulfit ( $\text{NaHSO}_3$ ) und 100  $\mu\text{L}$   $^{125}\text{I}$  als Tracer zugegeben. Zuerst hat man diese Suspension bis zum Sieden erhitzt, dann in abgedecktem Erlenmeyerkolben etwa 1,5 Stunden bei schwacher Hitze gekocht. Nach dem Abkühlen und der auf Wittschem Topf Abfiltrierung wurde das Filtrat mit langsamer Zugabe von 3 mL konzentrierten Salpetersäure ( $\text{HNO}_3$ ) neutralisiert und mit 2 mL Natriumnitrit ( $\text{NaNO}_2$ , 1 M) versetzt. Nach der Extraktion mit 20 mL Chloroform ( $\text{CHCl}_3$ ) vereint man die organische Phase. Man kann die wässrige Phase mehrfach extrahieren, besonders wenn man sehr niedrige Ausbeute hat. Um das Iodid aus der organischen Phase zurück zu extrahieren, benutzt man eine Absorptionslösung, die aus 30 mL dest. Wasser, 0,1 mL Natriumlauge (NaOH, 7 M) und 0,6 mL Natriumhydrogensulfit ( $\text{NaHSO}_3$ ) besteht.

Nach Auswiegen der gesamten wässrigen Phase wurde ein 4 mL Aliquot für Ausbeutebestimmung und ein 2 mL Aliquot für ICP-MS entnommen. Die restliche Probenlösung wurde mit 100  $\mu\text{L}$  der Woodward-Iod-Lösung versetzt und zur Bestimmung der  $^{127}\text{I}/^{129}\text{I}$ -Verhältnisse mittels AMS als Silberiodid, nach Zugabe von 200  $\mu\text{L}$  Salpetersäure  $\text{HNO}_3$ , mit 400  $\mu\text{L}$   $\text{AgNO}_3$ -Lösung ausgefällt.

## 5. Ergebnisse und Diskussion

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse in Form von Diagrammen und Tabellen vorgestellt. Im Anhang findet man die Zusammenfassung der gemessenen Werte für die  $^{137}\text{Cs}$ -,  $^{40}\text{K}$ -,  $^{127}\text{I}$ -,  $^{129}\text{I}$ -Gehalte, die  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Verhältnisse und die Bodendaten (pH-Wert, Organische Teil, Tonminerale, Eisen-, Aluminium-, und Manganoxid) für verschiedenen Proben sowie die Standardmessunsicherheiten.

### 5.1. Qualitätskontrolle

#### 5.1.1. Messunsicherheiten und charakteristische Grenzen

Zur Bestimmung der Messunsicherheiten wurden vollständige Standardmessunsicherheiten nach dem GUM „Guide to the expression of uncertainty in measurement; ISO, 1995“ bzw. nach DIN 1319 berechnet. Die Berechnung der charakteristischen Grenzen, im einzelnen Erkennungs- und Nachweisgrenzen sowie die Grenzen des Vertrauensbereichs erfolgte nach DIN 25482-10 bzw. ISO-FDIS 11929-7 statt nach Chemische Analytik DIN 32645. DIN 25482-10 hat gleiches Prinzip wie DIN 1319. Es gab eine gute Übereinstimmung für die beide DIN 25482-10 und 32645 im Rahmen der ICP-MS-Messung. Im Gegensatz wurde DIN 32645 nicht für AMS-Messung benutzt. Weil diese DIN auf wiederholten Leerwertmessungen oder einer Kalibration basiert. Die Leerwerte schwanken mittels AMS-Messung sehr stark von Messung zu Messung. Eine Kalibration durch Reihe von Standard wurde nicht durchgeführt. Weitere Informationen und ein Vergleich zwischen DIN 25482-10 und 32645 findet man in der Arbeit von Szidat [Szidat, 2000].

Für die Bestimmung der Erkennungs-, Nachweis- und Vertrauensgrenzen wurden die Fehler erster und zweiter Art gleich  $\alpha = \beta = 0,05$ ,  $k_{1-\alpha} = k_{1-\beta} = 1,645$  und  $\delta = 0,05$  gewählt. Als grobe Näherung wird die Nachweisgrenze als zwei Mal größer als die Erkennungsgrenze  $x^*$  angenommen. Die Erkennungsgrenze  $x^*$  ergibt sich gemäß:

$$x^* = k_{1-\alpha} \sqrt{2 \times u^2(0)} \quad \text{Gl. (22)}$$

Dabei ist  $u(0)$  Standardunsicherheit der Blindwertanalysen als Standardabweichung der Konzentrationen der Blindwertproben. Ausführliche Darstellungen hierzu sind bei Schmidt (1998), Szidat (2000), Ernst (2003), Michel (2004) und Klipsch (2005) zu finden [Schmidt, 1998; Szidat, 2000; Ernst, 2003; Michel et al., 2004; Klipsch, 2005].

In Tabelle 5-1 sind die spezifischen Erkennungsgrenzen für untersuchte Proben dieser Arbeit dargestellt. Sie ist eine Erkennungsgrenze der Blindproben, geteilt auf die Masse der Probe. In dem Fall von Bodenprobe wurde die Ausbeute der Verbrennungsprobe und der Masse von Absorptionslösung berücksichtigt.

Die spezifischen Erkennungsgrenzen lagen zwischen 2 und 30 fg kg<sup>-1</sup>. Das entspricht bis zu 60 fg als Nachweisgrenze dieses Verfahrens.

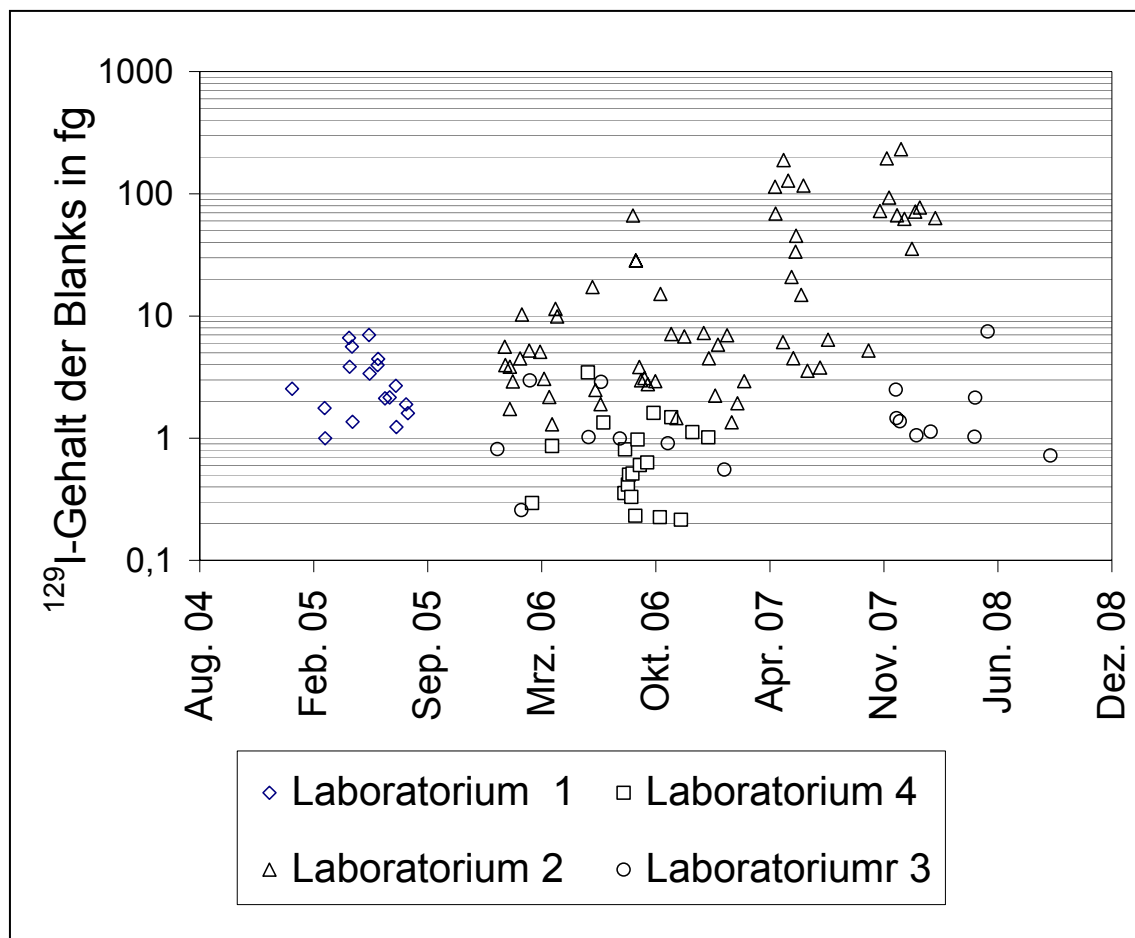
**Tab. 5-1:** Die Spezifischen Erkennungsgrenze für die <sup>129</sup>I-Bestimmung für verschiedene Probenmatrices nach DIN 25482-10 und durchschnittliche Proben Menge in Gramm mit typische <sup>127</sup>I-Konzentrationen dieser Materialien.

Probenmaterial	Masse in g	<sup>129</sup> I in fg kg <sup>-1</sup>	<sup>127</sup> I in mg kg <sup>-1</sup>
Boden Chile	25	6	1 – 110
Boden Bayern	30	9	1 – 27
Boden Ukraine	10 – 30	15	0,02 – 5
Bewuchs	5	30	0,5 – 1,4
Sediment, prä nuklear	70	2	2 – 20
Wasserproben	100 - 2000	2	(0,001 – 0,070)

### 5.1.2. Blindwerte

Parallel zu den Proben wurden Blanks hergestellt, um den  $^{129}\text{I}$ -Eintrag bei der Probenaufarbeitung zu bestimmen. Die Vorbereitungen der Proben erfolgten in zwei Laboratorien an den ZSR Standorten „Herrenhausen“ und „Am Kleinen Feld“. Die erwarteten niedrigen Isotopenverhältnisse der prä nuklearen Proben (auch chilenische Proben) wurden im Laboratorium 4 am Kleinen Feld durchgeführt. In Herrenhausen gibt es drei Laboratorien, in denen die entsprechenden Proben wie folgt bearbeitet wurden. Im Laboratorium 1 wurden die Proben aus Bayern untersucht. Die Vorbereitung der ukrainischen Proben geschah im Laboratorium 2. Die Extraktion der Wasserproben erfolgte im Laboratorium 3.

Die Blindwerte der Gesamtanalysen wurden mit Woodward-Iod ermittelt. Es ergaben sich maximale  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Blindwerte in den benutzten Laboratorien in Herrenhausen von  $(2,6 \times 1,8^{\pm 1}) 10^{-12}$  und am Kleinen Feld  $(2,5 \times 2,1^{\pm 1}) 10^{-13}$ . Der  $^{129}\text{I}$ -Eintrag der Blanks lag bei 0,85 fg als Mittelwert im Laboratorium am Kleinen Feld, 4,35 fg im Laboratorium 1, 32,67 fg im Laboratorium 2 und 1,72 fg im Laboratorium 3. Trotz großen Untergrunds im Laboratorium 2 fand man keinen Einfluss auf die Proben aus der Ukraine, weil diese mindestens 1000 Mal höher Gehalte als die Blindwerte aufwiesen. In Abbildung 5-1 wurden die Daten von  $^{129}\text{I}$  von Blankproben in Femtogramm gegen das Datum der Probenverbrennung dargestellt. Diese Abbildung ist zu entnehmen, dass der Untergrund in Herrenhausen größer als am Kleinen Felde ist. Das ist darauf zurückzuführen, dass die Proben, die im Laboratorium 2 in Herrenhausen behandelt wurden, 1000fach konzentrierter als die im Laboratorium 4 am kleinen Feld analysierten sind.



**Abb.5-1:** Daten von  $^{129}\text{I}$  von Blankproben in Femtogramm gegen das Datum der Probenverbrennung.

### 5.1.3. Analyse von Referenzmaterialien

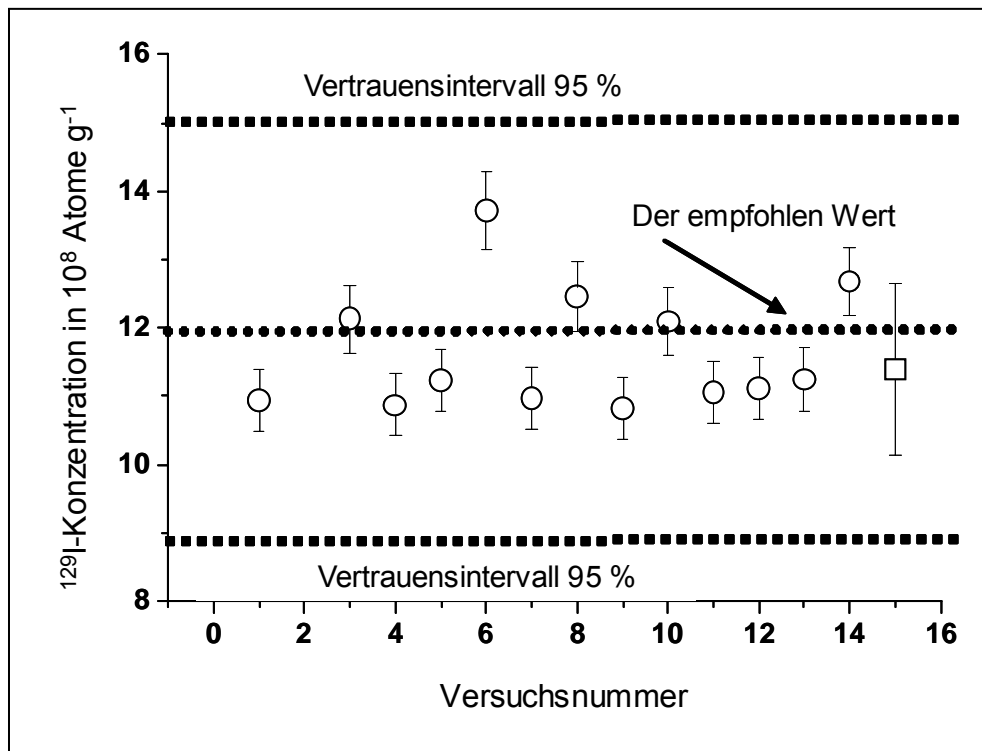
Die Kontrolle der Richtigkeit der eingesetzten Analysemethoden erfolgte durch die wiederholten Messungen von Referenzmaterialien und durch einige vergleichende Analysen mit anderen Arbeiten. In dieser Arbeit wurde das Referenzmaterial IAEA-Soil-375, das aus dem "Staryi Viskov" Kolchose in Novozybkov, Brjansk, Russland im Juli 1990 stammt, und das Referenzmaterial IAEA-Soil-385, das aus der Irischen See (54,3° N, 3,7°W) in Juli 1995 entnommen wurde, regelmäßig bei der Vorbereitung der Proben untersucht.

#### 5.1.3.1. Referenzmaterial IAEA-Soil-375

Jeweils 5 g IAEA Soil-375 wurden nach dem gleichen Verfahren wie die Bodenproben untersucht. In Abbildung 5-2 sieht man, dass  $^{129}\text{I}$ -Konzentrationen im von der IAEA angegebenen Vertrauensbereich lagen. Der Mittelwert des Standard IAEA-Soil-375 lag bei  $(1,58 \pm 0,18) \text{ mBq kg}^{-1}$ . Dieser Wert ist 12 % niedriger als der empfohlene Wert ( $1,7 \text{ mBq kg}^{-1}$ ), stimmt aber sehr gut mit den Ergebnissen von Songsheng (2005) ( $1,59 \pm 0,04 \text{ mBq kg}^{-1}$ ) überein (s. Tabelle 5.2). In seiner Arbeit wurde eine neue Qualitätssicherung des Referenzmaterials IAEA-Soil-375 durchgeführt [Songsheng, 2005].

Die  $^{127}\text{I}$ -Konzentration betrug  $(1,61 \pm 0,20) \mu\text{g g}^{-1}$ . Sie stimmt gut mit den Daten von Schmidt (1998) überein, die  $(1,68 \pm 0,04) \mu\text{g g}^{-1}$  ermittelte [Schmidt et al., 1998].

Bei dem Vergleich der Ergebnisse dieser Arbeit mit anderen Arbeiten, die ebenfalls Ergebnisse des Standardreferenzmaterials IAEA-Soil-375 berichteten, fällt auf, dass die gemessenen  $^{129}\text{I}$ -Konzentrationen gut mit den Vergleichsdaten übereinstimmen (s. Tabelle 5-2).



**Abb.5-2:**  $^{129}\text{I}$ -Konzentration der Standard IAEA-375 mit unterschiedlichen Versuchen dieser Arbeit (Kreise) und dem Mittelwert dieser Versuche (Quadrat).

**Tab. 5-2:**  $^{129}\text{I}$ - und  $^{127}\text{I}$ -Konzentrationen im Standardreferenzmaterial IAEA-Soil-375

Datenquelle	$^{129}\text{I}$ in $\text{ng kg}^{-1}$	$^{129}\text{I}$ in $\text{mBq kg}^{-1}$	$^{127}\text{I}$ in $\text{mg kg}^{-1}$	$^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ in $10^{-7}$
<b>diese Arbeit, 2009</b>	$0,24 \pm 0,03$	$1,58 \pm 0,18$	$1,61 \pm 0,20$	$1,49 \pm 0,15$
<b>Maramatsu, 1995</b>	$0,25 \pm 0,01$	$1,60 \pm 0,01$	$1,36 \pm 0,12$	$1,72 \pm 0,01$
<b>Strachnov, 1996</b>	$0,26 \pm 0,08$	$1,71 \pm 0,53$	$1,91 \pm 0,49$	$\sim 1,310$
<b>Marchetti, 1997</b>	$0,24 \pm 0,02$	$1,54 \pm 0,13$	$1,78 \pm 0,01$	$1,27 \pm 0,10$
<b>Schmidt, 1998</b>	$0,25 \pm 0,07$	$1,60 \pm 0,50$	$1,68 \pm 0,1$	1,47
<b>Songsheng, 2005</b>	$0,24 \pm 0,01$	$1,59 \pm 0,04$	-	-
<b>Osterc, 2007</b>	$0,31 \pm 0,08$	$2,03 \pm 0,56$	$1,73 \pm 0,07$	1,76
<b>Referenzwert, IAEA-Soil-375</b>	$0,26 \pm 0,03$	$1,71 \pm 0,19$ (1,3 – 2,1) <sup>a</sup>	(2)	$\sim 1,3$

<sup>a</sup> 95 % Vertrauensintervall (n = 10)



### 5.1.3.2. Referenzmaterial IAEA-Soil-385

Hier werden die Informationen über die Konzentrationen von  $^{127}\text{I}$  und  $^{129}\text{I}$  des Referenzmaterials IAEA-Soil-385 gegeben. Der Mittelwert der  $^{129}\text{I}$ -Konzentration lag bei  $(2,467 \pm 0,102) \text{ ng kg}^{-1}$  bzw.  $(16,123 \pm 0,664) \text{ mBq kg}^{-1}$ . Die  $^{127}\text{I}$ -Konzentration betrug  $(62,56 \pm 1,52) \text{ mg kg}^{-1}$ . Die  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnis lag bei  $(0,39 \pm 0,02) \times 10^{-7}$ .

Wenn man das Standardreferenzmaterial IAEA-Soil-385 mit dem Standardreferenzmaterial IAEA-Soil-375 vergleicht, sieht man, dass die Gehalte an  $^{127}\text{I}$  und  $^{129}\text{I}$  bei IAEA-Soil-385 ca. 10mal höher als bei IAEA-soil-375 sind.

**Tab. 5-3:**  $^{129}\text{I}$ - und  $^{127}\text{I}$ -Konzentrationen in Standardreferenzmaterial IAEA-Soil-385.

Versuchsnummer	$^{129}\text{I}$ in $\text{ng kg}^{-1}$	$^{129}\text{I}$ in $\text{mBq kg}^{-1}$	$^{127}\text{I}$ in $\text{mg kg}^{-1}$	$^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ in $10^{-7}$
1	$2,31 \pm 0,10$	$15,20 \pm 0,62$	$62,4 \pm 1,41$	$0,37 \pm 0,02$
2	$2,19 \pm 0,09$	$14,30 \pm 0,60$	$64,0 \pm 1,87$	$0,34 \pm 0,02$
3	$2,90 \pm 0,12$	$18,90 \pm 0,78$	$61,26 \pm 1,29$	$0,46 \pm 0,02$
<b>Mittelwert und Standardabweichung</b>	$2,47 \pm 0,10$	$16,12 \pm 0,66$	$62,56 \pm 1,52$	$0,39 \pm 0,02$

## 5.2. Bodenprofile aus Bayern

### 5.2.1. $^{137}\text{Cs}$ in Bodenprofile aus Bayern

#### 5.2.1.1. $^{137}\text{Cs}$ -Aktivität

Wie in Abbildung 5-3 ersichtlich, lagen die  $^{137}\text{Cs}$ -Aktivitäten der untersuchten Böden aus Bayern zwischen  $(201 \pm 7) \text{ Bq kg}^{-1}$  und  $(907 \pm 29) \text{ Bq kg}^{-1}$  an der Oberfläche und zwischen  $(0,51 \pm 0,16) \text{ Bq kg}^{-1}$  und  $(20,7 \pm 0,8) \text{ Bq kg}^{-1}$  in den tiefsten untersuchten Schichten.

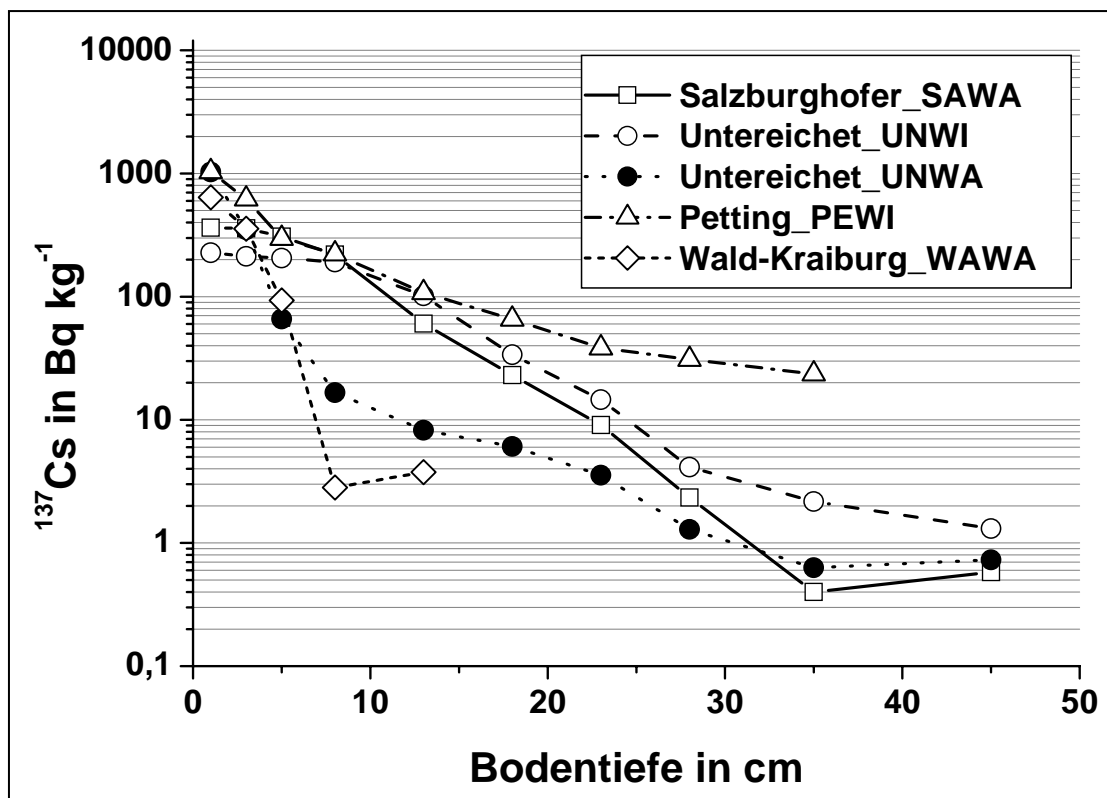
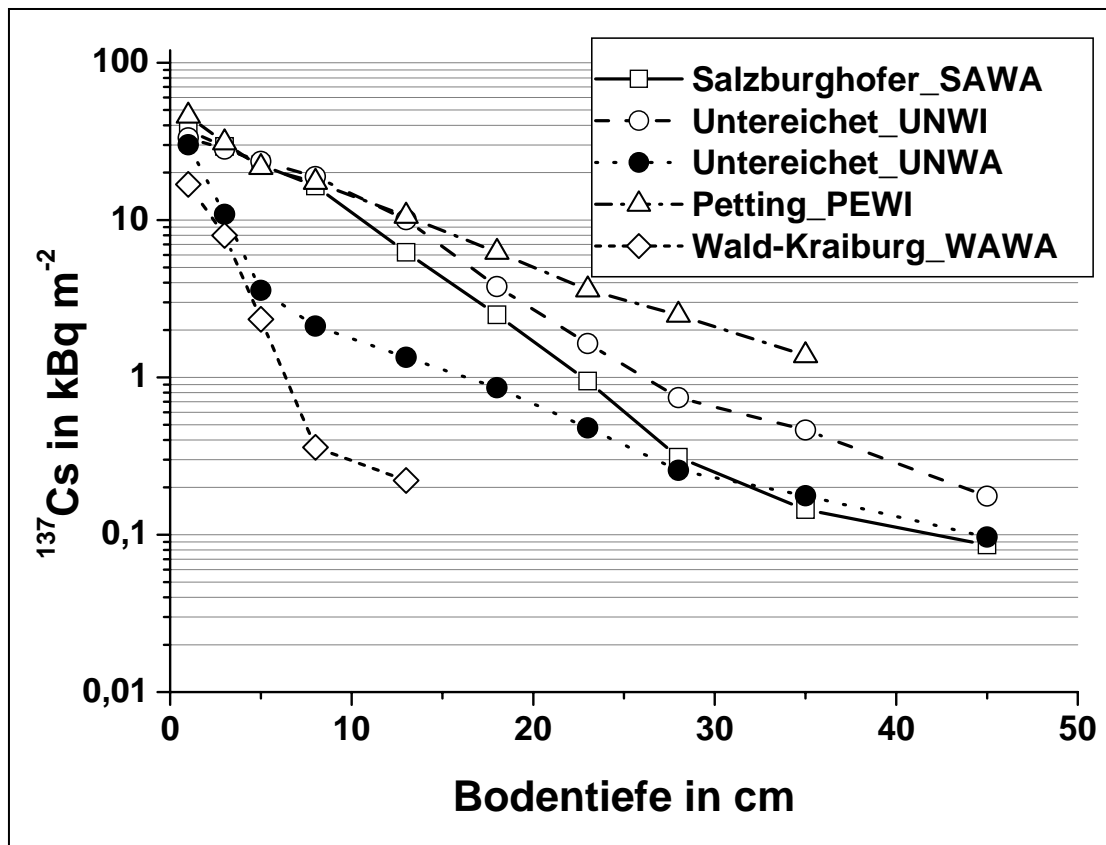


Abb.5-3: Tiefenabhängigkeit der  $^{137}\text{Cs}$ -Aktivität in fünf Bodenprofilen von Bayern.

#### 5.2.1.2. Vertikale Verteilung von $^{137}\text{Cs}$

Zur Vergleich der Tiefenverteilung des Nuklids in verschiedenen Böden ist die Aktivitätsangabe des Nuklids pro Masse Boden (spezifische Aktivität) nicht geeignet. Einen realistischen Vergleich ermöglicht die Angabe der in einer bestimmten Bodenfläche enthaltenen Nuklid Aktivität. Die Einheit ist  $\text{Bq m}^{-2}$  oder  $\text{g m}^{-2}$ .

In Abbildung 5-4 ist die Verteilung der  $^{137}\text{Cs}$  Depositionsdichten von 5 untersuchenden Böden aus Bayern in Form von Exponential-Kurven dargestellt. Die relative Unsicherheit lag bis zu 5 % für die Probe, die einen Wert größer als  $0,5 \text{ kBq m}^{-2}$  zeigten und bis zu 30 % für die Proben, die einen Wert kleiner als  $0,5 \text{ kBq m}^{-2}$  hatten.



**Abb.5-4:** Tiefenabhängigkeit der  $^{137}\text{Cs}$  Depositionsdichten in fünf Bodenprofilen von Bayern.

Der geometrische Mittelwert der  $^{137}\text{Cs}$  Depositionsdichten, die am 01.05.1986 auf dem Boden von Bayern deponiert wurden, betrug  $(41,67 \times 1,46^{\pm 1}) \text{ kBq m}^{-2}$ .

Es wurde  $22,26 \text{ kBq m}^{-2}$  als Minimum und  $62,04 \text{ kBq m}^{-2}$  als Maximum festgestellt. Der Median lag bei  $45,05 \text{ kBq m}^{-2}$ .

Nach den Untersuchungen von 1137 Standorte (1987) ermittelte das Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (BStMLU) eine durchschnittliche Kontamination von  $10,6 \text{ kBq m}^{-2}$  für  $^{137}\text{Cs}$  durch den Tschernobyl-Fallout, der Minimalwert lag bei Werten unter der Nachweisgrenze, der Maximalwert bei  $107,6 \text{ kBq m}^{-2}$ , 5 % der untersuchten Proben überschritten  $34,3 \text{ kBq m}^{-2}$ . Das BStMLU gibt für die Böden in Bayern die mittlere Kontamination von  $3,9 \text{ kBq m}^{-2}$

durch den Kernwaffen-Fallout an [BStMLU, 1987]. Die untersuchten Bodenproben in dieser Arbeit gehören mit durchschnittlich  $41,7 \text{ kBq m}^{-2}$  als aus dem Tschernobyl-Fallout zu den höchstbelasteten Gebieten Bayerns.

Die Verteilung der  $^{137}\text{Cs}$  Depositionsdichte in den Böden der untersuchten Proben war inhomogen. Die geringste Depositionsdichte wurde bei WAWA in Wald-Kraiburg (Nadelwald) mit  $22,3 \text{ kBq m}^{-2}$  gemessen. Die höchste Depositionsdichte erreichte bei PEWI in Petting (Hochmoor unter Wiese) mit  $62,0 \text{ kBq m}^{-2}$ . Es gab kleine Unterschiede der Aktivitätskonzentration zwischen UNWA (Pseudogley-Braunerde unter Laubwald) ( $40,7 \text{ kBq m}^{-2}$ ) und UNWI (Braunerde unter Wiese) ( $45,1 \text{ kBq m}^{-2}$ ), die nur weniger als 50 m entfernt sind, sowie auch zwischen SAWA (Parabraunerde-Braunerde unter Laubwald) ( $49,6 \text{ kBq m}^{-2}$ ) und UNWA / UNWI, die 1 km von einander entfernt sind. Diese Unterschiede der Depositionsdichte von  $^{137}\text{Cs}$  auf den Böden sind durch die kleinräumig wechselnden Niederschlagsverteilungen am 01.05.1986 und eventuell durch die Bioturbation verursacht. In diesen untersuchten Böden waren, bezogen auf 50 cm Bodentiefe, zwischen 85 % und 99 % der  $^{137}\text{Cs}$ -Aktivitäten in den oberen 10 cm lokalisiert (Tabelle 5-4). Diese Beobachtungen stimmen mit den Ergebnissen von anderer Untersuchungen überein [Rosen et al., 1996; Giani und Helmers, 1997; Hölgye und Maly, 2000; Kruse-Irmer und Giani, 2002].

Es gab verschiedene Verteilungen von  $^{137}\text{Cs}$  in Mineralböden und Hochmoorböden (PEWI). In mineralischen Böden konnten nach einer Tiefe von 30 cm nur maximal  $15 \text{ Bq kg}^{-1}$  gemessen werden, während in den Hochmoorböden (PEWI) noch bis zu  $73 \text{ Bq kg}^{-1}$  (bzw. 3 % der gesamte Aktivität  $2119 \text{ Bq kg}^{-1}$ ) in gleichen Tiefen gefunden wurden. Nach dem Vergleich aller Böden konnte im Hochmoorböden (PEWI) eine größere Tiefenverlagerung als in den anderen Mineralböden festgestellt werden, bei denen keine größere Unterschiede in der vertikalen  $^{137}\text{Cs}$ -Verteilung beobachtet wurde (Ausnahme UNWI). Das kann man dadurch erklären, dass die Hochmoorböden (PEWI) niedrige Tongehalte haben. Als Folge wird das Cäsium in Oberschichten nicht vollständig sorbiert. Der  $^{137}\text{Cs}$ -Gehalt wurde in den Böden, die hohen Anteile von Tonfraktion haben, lokalisiert. Die Sorptionseigenschaften des Cäsiums hängen nicht nur von der Tonfraktion, sondern aber auch von der organischen Substanz, der Austauschkapazität und vom pH-Wert des Bodens ab. Nach dem Vergleich beiden Hochtonböden (UNWA und UNWI) zeigten sich deutlich Unterschiede in der vertika-

len  $^{137}\text{Cs}$ -Verteilung. Während am UNWA 98 % des gesamten  $^{137}\text{Cs}$  in den obersten 10 cm lokalisiert waren, konnten am UNWI lediglich 85 % in diesem Tiefenbereich ermittelt werden. Dort waren schon über 13 % in einer Tiefe von 10 - 20 cm verlagert. Wahrscheinlich war am Standort UNWI eine rasche Versickerung der Niederschläge bis 10 - 20 cm Tiefe erfolgt.

Zwischen den Wald- und Wiesenböden (Waldstandorten: SAWA, UNWA und WA-WA; Wiesenstandorten: UNWI und PEWI) konnten deutlich Unterschiede in der vertikalen  $^{137}\text{Cs}$ -Verteilung beobachtet werden. Während an den Waldstandorten über 93 % des gesamten  $^{137}\text{Cs}$  in den oberen 10 cm lokalisiert waren, konnten an den Wiesenstandorten lediglich unter 90 % in diesem Tiefenbereich ermittelt werden.

In den sehr sandigen und carbonatreichen Waldböden SAWA konnten keine deutlichen Unterschiede in der vertikalen  $^{137}\text{Cs}$ -Verteilung beobachtet werden. Der  $^{137}\text{Cs}$ -Anteil im SAWA betrug 93 % in den obersten 10 cm, während 6 % im Tiefenbereich von 10 - 20 cm und fast 1 % im Tiefenbereich von 20 - 50 cm verlagert (s. Tabelle 5-4). Eine Erklärung hierfür ist, dass, wegen der sandigen Textur, die Niederschläge rasch in den Boden einsickerten.

Im Nadelwald war die Depositionsdichte von  $^{137}\text{Cs}$  fast um den Faktor zwei kleiner als die im Laubwald. Die Böden in Laubwald sind nicht direkt durch den Niederschlag aber auch durch herabfallendes Laub kontaminiert. Nadelwald stellt einen effektiven Filter für den Transport der Nuklide dar.

Es ist festzustellen, dass die vertikale Wanderungsgeschwindigkeit von  $^{137}\text{Cs}$  in ungestörten Boden relativ gering ist (mit Ausnahme von Sandböden). Die Ursache für diese geringe Tiefenverlagerung, wenn man sie später mit der des Iods vergleicht, ist die Fixierung von Cäsium in den Kristallgittern von Tonmineralen.

**Tab. 5-4:** Aktivitätskonzentrationen und prozentuale Verteilung von  $^{137}\text{Cs}$  in verschiedenen Tiefenbereichen der untersuchten Böden (bezogen auf 50 cm Tiefe).

<b>Die untersuchte Böden</b>					
	<b>SAWA</b>	<b>UNWI</b>	<b>UNWA</b>	<b>PEWI</b>	<b>WAWA</b>
<b>As(<math>^{137}\text{Cs}</math>) in Bq kg<sup>-1</sup></b>	1344	994	1481	2440	1095
<b>Tiefe in cm</b>	<b>Prozentuale Verteilung %</b>				
<b>0-10</b>	93	85	98	90	99
<b>10-20</b>	6	13	1	7	1
<b>20-50</b>	1	2	1	3	-

## 5.2.2. $^{40}\text{K}$ in Bodenprofile aus Bayern

### 5.2.2.1. $^{40}\text{K}$ -Aktivität

Die  $^{40}\text{K}$ -Aktivitäten der untersuchten Böden lagen im Bereich von  $(12 \pm 1) \text{ Bq kg}^{-1}$  bis  $(637 \pm 25) \text{ Bq kg}^{-1}$  an der Oberfläche sowie im Bereich von  $(6,6 \pm 0,4) \text{ Bq kg}^{-1}$  bis  $(822 \pm 28) \text{ Bq kg}^{-1}$  in den tiefsten Schichten (s. Abbildung 5-5). Wenn man das mit  $^{137}\text{Cs}$ -Aktivitäten vergleicht, zeigen die  $^{40}\text{K}$ -Aktivitäten eine geringe Variation mit der Bodentiefe. Im Gegensatz zum  $^{137}\text{Cs}$ -Aktivitätskonzentration waren die  $^{40}\text{K}$ -Aktivitätskonzentrationen bei mineralischen Böden in den oberen Schichten am höchsten und nahmen mit der Bodentiefe noch etwas zu. In den nachfolgenden Schichten variierte der  $^{40}\text{K}$ -Aktivitätskonzentration nur noch wenig. In den oberen Schichten war die  $^{40}\text{K}$ -Aktivitätskonzentration bei organischen Böden 100 Mal niedriger als bei mineralischen Böden und nahm mit der Bodentiefe leicht ab.

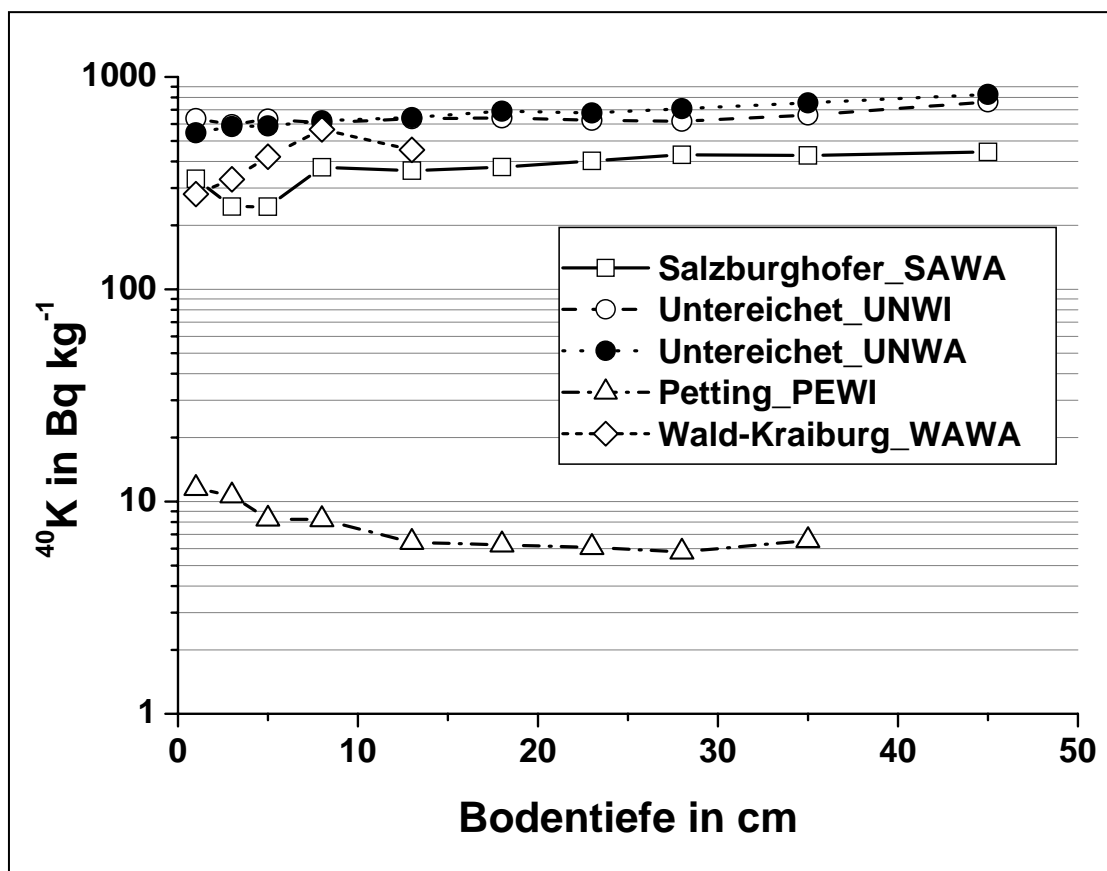
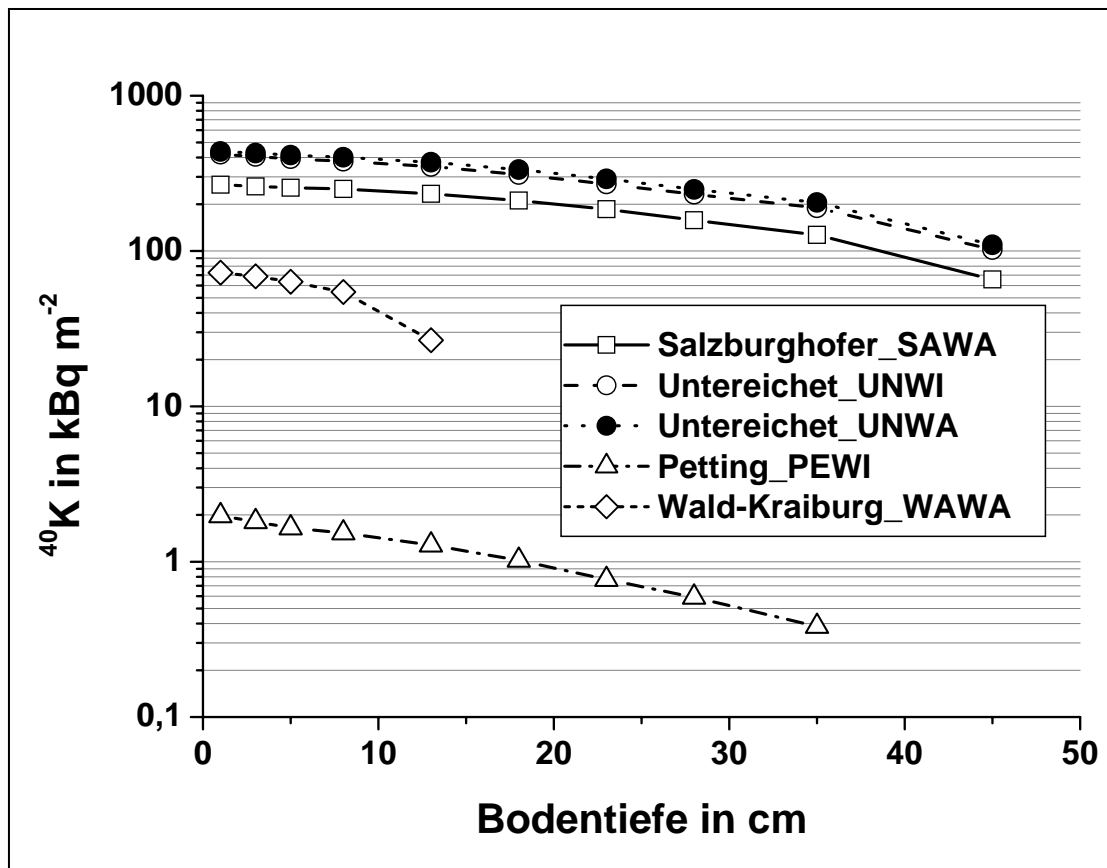


Abb.5-5: Tiefenabhängigkeit der  $^{137}\text{Cs}$  spezifischen Aktivität in fünf Bodenprofilen aus Bayern.

### 5.2.2.2. Vertikale Verteilung von $^{40}\text{K}$

In Abbildung 5-6 ist die Verteilung der  $^{40}\text{K}$ -Depositionsdichten von fünf untersuchten Böden aus Bayern, in Form von Linear-Kurven, veranschaulicht. Die relative Unsicherheit der  $^{40}\text{K}$ -Aktivitätskonzentration lag meistens bei 5 %.



**Abb.5-6:** Tiefenabhängigkeit der  $^{137}\text{Cs}$  Depositionsdichten in fünf Bodenprofilen aus Bayern

Ohne die Werte für organische Böden und Böden aus Nadelwald betrug der geometrische Mittelwert der  $^{40}\text{K}$ -Depositionsdichte ( $366 \times 1,31^{\pm 1}$ )  $\text{kBq m}^{-2}$ . Es wurde  $268 \text{ kBq m}^{-2}$  als Minimum und  $437 \text{ kBq m}^{-2}$  als Maximum festgestellt. Der Median lag bei  $420 \text{ kBq m}^{-2}$ . Die Verteilung der  $^{40}\text{K}$  Depositionsdichte war in den mineralischen Böden größer als in den organischen Böden. Der geringste Depositionsdichte wurde bei PEWI in Petting (Hochmoor unter Wiese) mit  $1,97 \text{ kBq m}^{-2}$  gemessen. Die höchste Depositionsdichte erreichte bei UNWA in Untereicht (Pseudogley-Braunerde unter Laubwald) mit  $437 \text{ kBq m}^{-2}$ . Es gab praktisch keinen Unterschied der Depositionsdichte zwischen UNWA ( $437 \text{ kBq m}^{-2}$ ) und UNWI in Untereicht (Braunerde unter Wiese) ( $420 \text{ kBq m}^{-2}$ ). Deutlich unterschieden sich hingegen SAWA in Salzburg-



hofer (Parabraunerde-Braunerde unter Laubwald) ( $267 \text{ kBq m}^{-2}$ ) und UNWA / UNWI, obwohl die Probenahmeorte nur 1 km von einander entfernt sind.

### 5.2.3. $^{129}\text{I}$ in Bodenprofile aus Bayern

#### 5.2.3.1. $^{129}\text{I}$ -Aktivität

Die  $^{129}\text{I}$  Aktivitätskonzentrationen der gleichen untersuchten Böden aus Bayern lagen zwischen  $(0,62 \pm 0,02) \text{ mBq kg}^{-1}$  und  $(5,33 \pm 0,17) \text{ mBq kg}^{-1}$  an der Oberfläche sowie zwischen  $(0,18 \pm 0,01) \text{ mBq kg}^{-1}$  und  $(0,011 \pm 0,005) \text{ mBq kg}^{-1}$  in den tiefsten untersuchten Schichten, was in Abbildung 5-7 grafisch veranschaulicht wird.

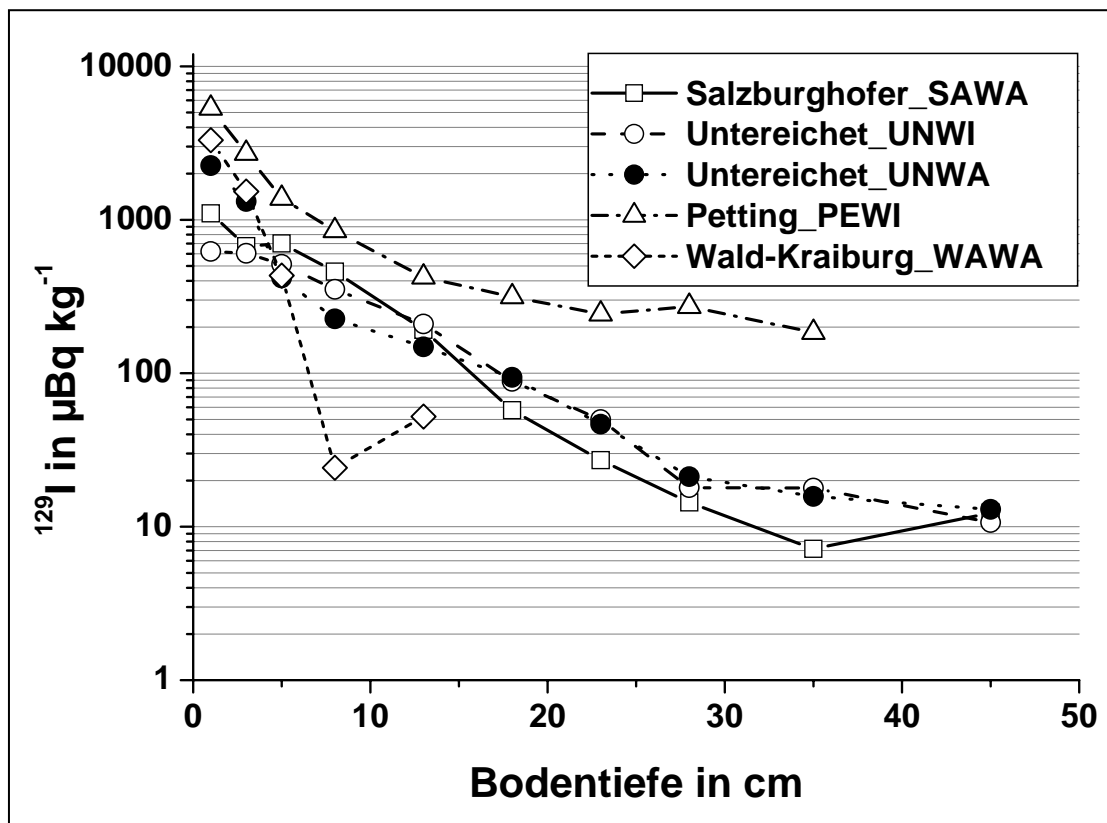


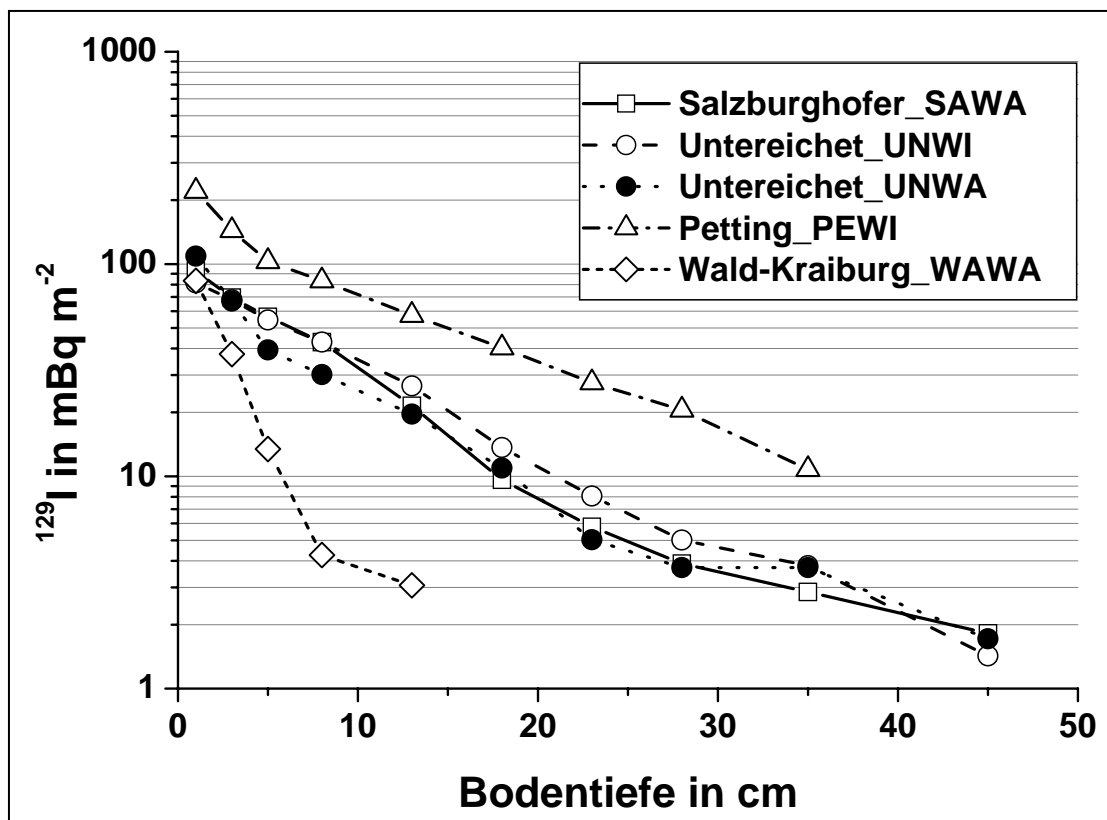
Abb.5-7: Tiefenabhängigkeit der  $^{129}\text{I}$  spezifische Aktivität in fünf Bodenprofilen aus Bayern.

### 5.2.3.2. Vertikale Verteilung von $^{129}\text{I}$

Der geometrische Mittelwert  $^{129}\text{I}$ -Depositionsdichte betrug  $(108,6 \times 1,51^{\pm 1}) \text{ mBq m}^{-2}$ . Es wurden  $81,3 \text{ mBq m}^{-2}$  als Minimum und  $221 \text{ mBq m}^{-2}$  als Maximum festgestellt. Der Median lag bei  $92,9 \text{ mBq m}^{-2}$  (s. Abbildung 5-8).

Die Verteilung der Gehalte von  $^{129}\text{I}$  war auch, wie bei  $^{137}\text{Cs}$ , nicht homogen. Die höchste  $^{129}\text{I}$ -Depositionsdichte wurde bei den organischen Böden PEWI mit ( $221 \text{ mBq m}^{-2}$ ) gemessen, In diesem Boden gab es einen hohen Humusgehalt.

In den mineralischen Böden konnten nur geringe Unterschiede der Depositionsdichten zwischen der Böden UNWI ( $81,3 \text{ mBq m}^{-2}$ ), WAWA ( $83,3 \text{ mBq m}^{-2}$ ), SAWA ( $92,9 \text{ mBq m}^{-2}$ ) und bei UNWA ( $108,9 \text{ mBq m}^{-2}$ ) festgestellt werden. Man kann diese Unterschiede der  $^{129}\text{I}$ -Depositionsdichten zwischen diesen Böden, die nahe zu einander lagen, dadurch erklären, dass die kontaminierten Blätter der Bäume untergefallen sind und auf der Erde geblieben sind.



**Abb.5-8:** Tiefenabhängigkeit der  $^{129}\text{I}$  Depositionsdichten Isotopenverhältnisse in fünf Bodenprofilen aus Bayern.

In den untersuchten Böden waren, bezogen auf 50 cm Bodentiefe (s. Tab. 5-5), zwischen 84 % und 99 % der  $^{129}\text{I}$ -Aktivitäten in den obersten 10 cm lokalisiert. Zwischen 2 % bis 6 % des gesamten  $^{129}\text{I}$ -Fallout wurde unter 20 cm gefunden. Die prozentualen  $^{129}\text{I}$ -Gehalte in PEWI (Hochmoor unter Wiese) waren, wie beim  $^{137}\text{Cs}$ , größer als in der mineralischen Böden.

**Tab. 5-5:** Prozentuale Verteilung von  $^{129}\text{I}$  in verschiedenen Tiefenbereichen der untersuchten Böden (bezogen auf 50 cm Tiefe).

<b>Die untersuchte Böden</b>					
	<b>SAWA</b>	<b>UNWI</b>	<b>UNWA</b>	<b>PEWI</b>	<b>WAWA</b>
<b>As(<math>^{129}\text{I}</math>) in mBq kg<math>^{-1}</math></b>	3,24	2,49	4,52	11,69	5,34
<b>Tiefe in cm</b>	<b>Prozentuale Verteilung %</b>				
<b>0-10</b>	90	84	92	87	99
<b>10-20</b>	8	12	5	7	1
<b>20-50</b>	2	4	3	6	-

**Tab. 5-6:** Vergleich der in dieser Arbeit berechneten Halbwertstiefen für  $^{129}\text{I}$  in Bodentiefen mit Literaturwerten.

<b>Standort</b>	<b>Halbwerttiefe</b>		<b>Art der Deposition</b>	<b>Quelle</b>
	<b>Mittelwert in cm</b>	<b>Spannweite in cm</b>		
<b>Moskau (Rußland)</b>	5,9	5,6 - 6,1	glabaler Fallout	[Schmidt, 1998]
<b>Nermirowka (Ukraine)</b>	3,3	-	Tschernobyl	[Schmidt, 1998]
<b>Karlsruhe (Deutschland)</b>	7,6	4,2 - 10,9	WAA	[Robens, 1989]
<b>Bayern (Deutschland)</b>	7,7	2,3 – 8,3	glabaler Fallout	diese Arbeit
<b>Aiken(USA)</b>	7	3,8 - 9,9	WAA	[Kantelo, 1982]

In Tabelle 5-6 sind die Mittelwerte der Halbwertstiefen dargestellt, die an den verschiedenen Standorten bestimmt wurden. Die Halbwertstiefen lagen für diese Böden zwischen 3,3 cm und 7,7 cm. Sie unterschieden sich aufgrund der großen Spannweite der Werte nicht signifikant voneinander, weil die Böden unterschiedliche Depositionsdichten haben und verschiedenen klimatischen Bedingungen ausgesetzt sind. (siehe auch Tabelle 5-7, S. 89).

#### 5.2.4. $^{127}\text{I}$ in Bodenprofile aus Bayern

##### 5.2.4.1. $^{127}\text{I}$ -Gehalte

Abbildung 5-9 zeigt die  $^{127}\text{I}$ -Konzentrationen in untersuchten Böden aus Bayern, die im Bereich von  $(1,6 \pm 0,1) \text{ mg kg}^{-1}$  bis  $(14,3 \pm 0,3) \text{ mg kg}^{-1}$  an der Oberfläche sowie im Bereich von  $(7,8 \pm 0,2) \text{ mg kg}^{-1}$  bis  $(1,61 \pm 0,08) \text{ mg kg}^{-1}$  in den tiefsten Schichten lagen. Im Gegensatz zum  $^{129}\text{I}$  war die Konzentration von  $^{127}\text{I}$  bei allen Böden in den oberen Schichten am geringsten und nahm mit der Bodentiefe leicht zu.

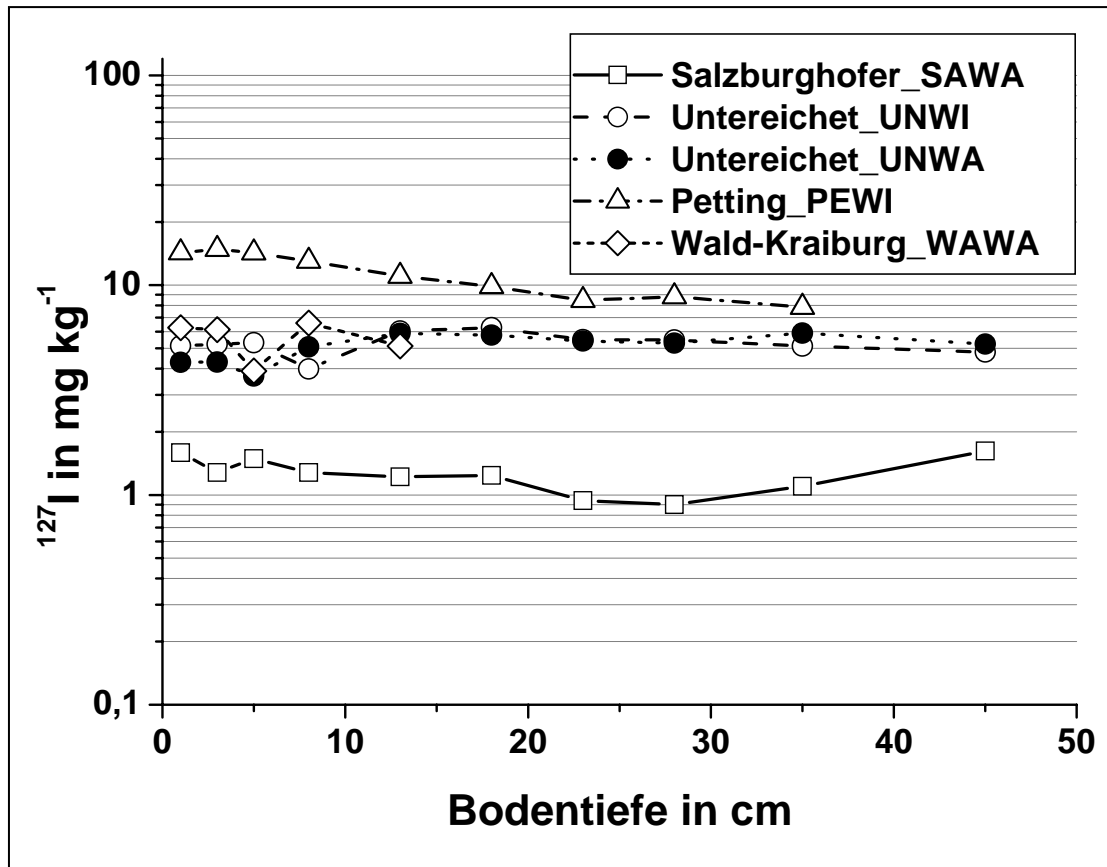
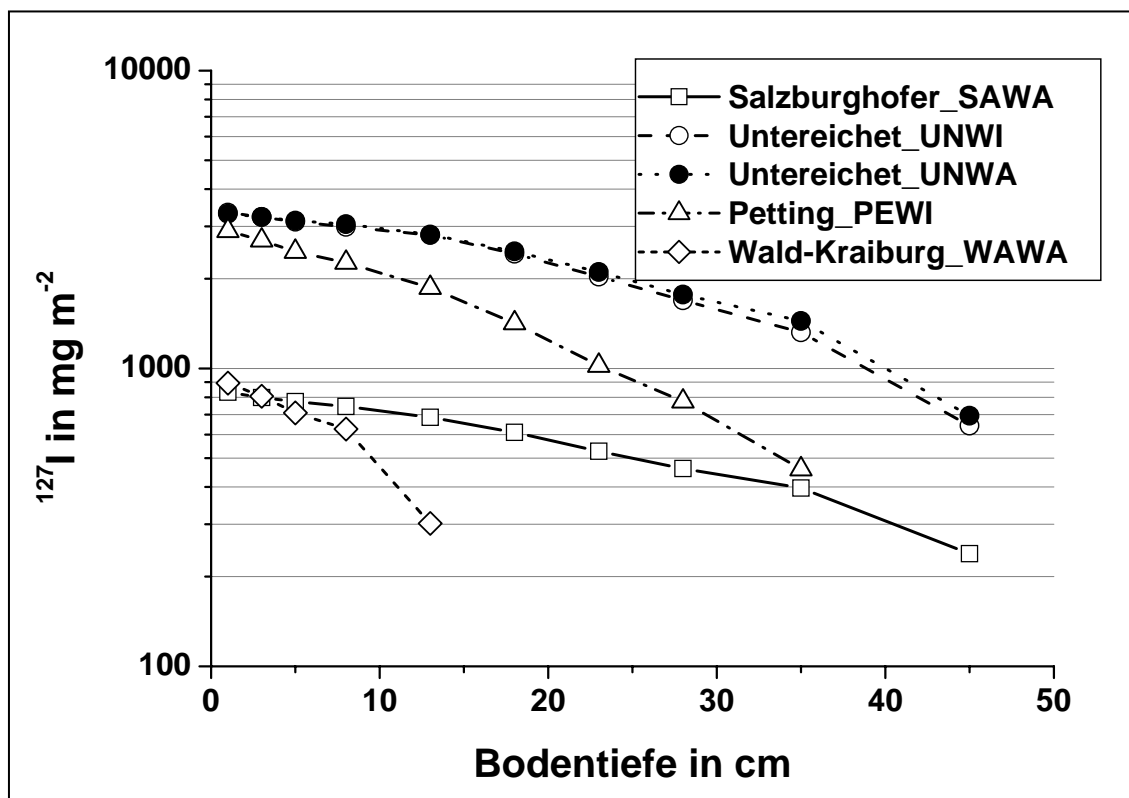


Abb.5-9: Tiefenabhängigkeit der  $^{127}\text{I}$  spezifische Aktivität in fünf Bodenprofilen aus Bayern.

### 5.2.4.2. Vertikale Verteilung von $^{127}\text{I}$

Der geometrische Mittelwert von  $^{127}\text{I}$  Aktivität betrug  $(1,88 \times 2,04^{\pm 1}) \text{ g m}^{-2}$ . Es wurde als Minimum  $0,83 \text{ g m}^{-2}$  und als Maximum  $3,34 \text{ g m}^{-2}$  festgestellt. Der Median lag bei  $2,89 \text{ g m}^{-2}$  (s. Abbildung 5-10).

Die höchste Konzentration wurde bei mineralischen Böden für UNWI und UNWA mit  $3,34 \text{ g m}^{-2}$  gefunden. Die geringste Konzentration lag im mineralischen Boden SAWA bei  $0,89 \text{ g m}^{-2}$ . Man kann diesen Unterschied der  $^{127}\text{I}$ -Gehalte zwischen den nahe zu einander liegenden Proben (UNWA, UNWI und SAWA) dadurch erklären, dass die  $^{127}\text{I}$  in der sandigen Struktur der Probe SAWA wahrscheinlich durch Sickerwasserfluss entfernt wurde.



**Abb.5-10:** Tiefenabhängigkeit der  $^{129}\text{I}$  Depositionsdichten Isotopenverhältnisse in fünf Bodenprofilen aus Bayern.

### 5.2.5. $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ - Verhältnisse in Bodenprofile aus Bayern

Abbildung 5-11 zeigt die  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$  Isotopenverhältnisse in den untersuchten Bodenprofilen aus Bayern. Man beobachtet eine Abnahme der  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$  Isotopenverhältnisse für alle Proben von etwa zwei Zehnerpotenzen zwischen den Oberflächen und der Tiefe. Die  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$  Isotopenverhältnisse lagen zwischen  $10^{-07}$  in Oberfläche und  $10^{-10}$  in der Tiefe von 50 cm.

Abbildung 5-11 zeigt auch eine schnellere Abnahme der  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$  Isotopenverhältnisse im Oberboden als im Unterboden, wo fast ein Plateau (besonders bei dem organischen Böden PEWI) beobachtet wird. Man kann dies dadurch erklären, dass  $^{129}\text{I}$  im Oberboden mehr als im Unterboden lokalisiert ist. Im Gegensatz dazu ist  $^{127}\text{I}$  in Unterboden mehr als im Oberboden lokalisiert.

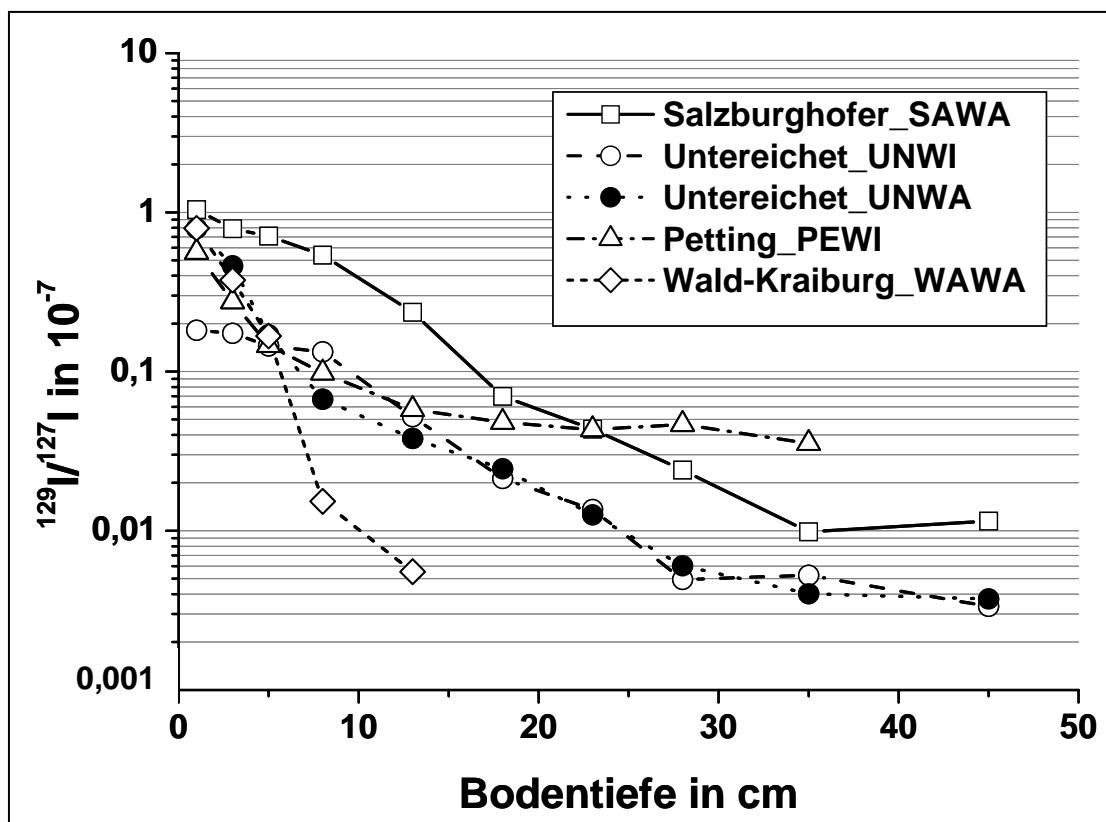


Abb.5-11:  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Verhältnisse in fünf Bodenprofilen aus Bayern.

### 5.2.6. Vergleich zwischen den Isotopen

Vergleicht man die  $^{137}\text{Cs}$ -,  $^{127}\text{I}$ -, und  $^{129}\text{I}$ -Tiefenverläufe (Abb. 5-3; Abb. 5-7 und Abb. 5-9) miteinander, so zeigt sich nur für  $^{137}\text{Cs}$  und  $^{129}\text{I}$  ein auffälliges voneinander abweichendes Migrationsverhalten zwischen Ober- und Unterboden. Die Konzentrationen der Depositionsdichten des  $^{127}\text{I}$  nahmen linear mit der Tiefe ab, gleichzeitig nahmen die Depositionsdichte der Aktivitäten von  $^{129}\text{I}$  und  $^{137}\text{Cs}$  exponentiell mit der Tiefe ab.

Die Wanderungsgeschwindigkeiten von  $^{137}\text{Cs}$  und  $^{129}\text{I}$  in Böden sind unterschiedlich wegen des Einflusses verschiedener Bodenparameter und der Anwesenheit von gleichen oder ähnlichen Ionen und auch wegen der unterschiedlichen Menge der Nuklide. Man kann feststellen, dass die Halbwertstiefe (bzw. Wanderungsgeschwindigkeit) von  $^{129}\text{I}$  höher ist als die Halbwertstiefe von  $^{137}\text{Cs}$  von  $1,4 \times 1,1^{\pm 1}$  cm (s. Tabelle 5-7). Die Ursache ist wahrscheinlich der Transport mit dem nach unten gerichteten Strom von Regenwasser und auch wahrscheinlich die Aktivität von Bodenlebewesen und mikrobiellen Prozessen. Zusätzlich tragen natürlich die chemische Eigenschaft des Radionuklids und die Zusammensetzung der Boden zu Unterschieden in der Migration bei. Man kann nach den Ergebnissen dieser Arbeit annehmen, dass  $^{129}\text{I}$  durch Diffusion migriert, während  $^{137}\text{Cs}$  in Oberfläche mehr sorbiert wird. Tabelle 5-7 ist zusammenfassend der Verlauf von Radionukliddepositionsdichten mit der Tiefe zu entnehmen. Dabei geht man von einer exponentiellen Abnahme der Aktivitätskonzentration mit der Bodentiefe aus. Die Halbwertstiefe von Iod ist größer als von Cäsium. Der größte Wert liegt bei den Wiesenböden im Vergleich zu den Waldböden und auch bei den organischen Böden im Vergleich zu den mineralischen Böden.

Je größer Halbwertstiefe bei gleicher Depositionsdichte ist, umso schneller ist die Migration des Nuklids. Man sieht das deutlich bei der organischen Probe PEWI.  $^{137}\text{Cs}$  und  $^{129}\text{I}$  in den organischen Proben haben eine schnellere Migration als in den mineralischen Proben. Man kann das für  $^{137}\text{Cs}$  mit Anwesenheit von Humus in organischen Proben statt Tonmineralen erklären. Die Fixierung von  $^{137}\text{Cs}$  an Humus ist, wenn man mit der an Tonmineralen vergleicht, eher schwach. Bei letzteren wird  $^{137}\text{Cs}$  in Dreischichttonmineralen irreversibel fixiert. Im Gegensatz dazu wird  $^{137}\text{Cs}$  an

der organischen Substanz lediglich durch elektrostatische Kräfte reversibel und sehr schwach sorbiert.

**Tab. 5-7:** Mathematische Gleichungen für den Tiefenverlauf der Radionuklide (Depositionsdichte in jeder Tiefe) in fünf Bodenprofilen aus Bayern.

$$D(\text{Nuklide}) = D(0) \exp\left(-\frac{d}{d_{1/2}} \ln(2)\right)$$

Name der Orte	<sup>137</sup> Cs in kBq m <sup>-2</sup>		<sup>129</sup> I in mBq m <sup>-2</sup>		$\frac{d_{1/2}({}^{129}\text{I})}{d_{1/2}({}^{137}\text{Cs})}$
	D(0)	d <sub>1/2</sub>	D(0)	d <sub>1/2</sub>	
<b>WAWA</b>	18	1,7	81	2,3	1,4
<b>SAWA</b>	36	4,5	78	7,4	1,6
<b>UNWA</b>	38	5,9	72	7,8	1,3
<b>UNWI</b>	36	6,8	83	7,3	1,5
<b>PEWI</b>	35	5,6	180	8,5	1,2
<b>Geometrischer Mittelwerte</b>	<b>36,22</b>	<b>5,6</b>	<b>96</b>	<b>7,7</b>	<b>1,4</b>
<b>Geometrische Standardabweichung</b>	<b>1,0<sup>±1</sup></b>	<b>1,2<sup>±1</sup></b>	<b>1,5<sup>±1</sup></b>	<b>1,1<sup>±1</sup></b>	<b>1,1<sup>±1</sup></b>

*d* : Tiefe in cm

*D*(0) : Extrapolierte Depositionsdichte an der Bodenoberfläche (d = 0 cm)

*d*<sub>1/2</sub> : Halbwertstiefe in cm

Die weiteren Details der Ergebnisse für <sup>137</sup>Cs und Iodisotope wurden im Zusammenhang mit den Bodenparametern in Abschnitt 5.4 diskutiert. In Tabelle 5-8 (S. 91) sind die Depositionsdichten von <sup>137</sup>Cs und <sup>129</sup>I und die Flächendichte von <sup>127</sup>I in Deutschland und weltweit im Vergleich dargestellt.

Ein Vergleich der Bayerischen „<sup>137</sup>Cs-Depositionsdichte“ mit Böden aus Niedersachsen und aus der Ukraine bei Zhitomir und aus Russland bei Moskau (die beiden Regionen wurden nicht durch Tschernobyl-Unfall beeinflusst) macht deutlich, dass es eine erhöhte Kontamination der Bayerischen Böden um Faktoren zwischen 4 und 9 relativ zu den Böden aus Niedersachsen, Moskau und Zhitomir gab.



Die Depositionsdichte von WAWA zeigt nur die Hälfte der Werte, die man in den anderen Proben von Bayern findet. Man kann das dadurch erklären, dass Nadelwälder effektive Filter für Nuklide darstellen.

Trotz der größeren Entfernung von Bayern zu den Wiederaufarbeitungsanlagen „Sellafield“ und „La Hague“ zeigt die Kontamination von  $^{129}\text{I}$  in Bayern keine signifikanten Unterschiede, wenn man sie mit der Kontamination von  $^{129}\text{I}$  in Niedersachsen vergleicht. Beide wurden durch den Einfluss von „Sellafield“ und „La Hague“ stark kontaminiert und sind dreimal höher als die Proben aus Osteuropa und sogar 10 000 Mal höher als die prä nuklearen Proben.

**Tab. 5-8:** Depositionsdichten von  $^{137}\text{Cs}$  und  $^{129}\text{I}$  und Flächendichte von  $^{127}\text{I}$  im untersuchten Tiefenbereich. Die  $^{137}\text{Cs}$  Aktivitäten beziehen sich auf das Datum 01.05.1999 (WAWA auf 01.08.1998).

	$D(^{137}\text{Cs})$ in $\text{kBq m}^{-2}$	$D(^{127}\text{I})$ in $\text{mg m}^{-2}$	$D(^{129}\text{I})$ in $\text{mBq m}^{-2}$
<b>SAWA: Parabraunerde Braunerde unter Laubwald</b>	$36,8 \pm 2,0$	$832 \pm 90$	$93 \pm 5$
<b>UNWI: Braunerde unter Wiese</b>	$33,4 \pm 1,9$	$3336 \pm 195$	$81 \pm 5$
<b>UNWA: Pseudogley-Braunerde unter Laubwald</b>	$30,1 \pm 1,6$	$3294 \pm 151$	$109 \pm 7$
<b>PEWI: Hochmoor unter Wiese</b>	$46,0 \pm 2,2$	$2896 \pm 113$	$221 \pm 13$
<b>WAWA: Braunerde unter Nadelwald</b>	$16,8 \pm 0,8$	$893 \pm 138$	$83 \pm 4$
	Geometrische Mittelwerte und geometrische Standardabweichungen		
<b>Bayern, diese Arbeit</b>	$31,0 \times 1,4^{\pm 1}$	$1883 \times 2,0^{\pm 1}$	$109 \times 1,5^{\pm 1}$
<b>Niedersachsen [Ernst et al., 2003]</b>	$4,8 \times 1,4^{\pm 1}$	$3500 \times 1,6^{\pm 1}$	$168 \times 1,5^{\pm 1}$
<b>Moskau (1996) und Zhitomir (1997) [Michel et al., 2004]</b>		$520 \times 2,1^{\pm 1}$	$40 \times 1,6^{\pm 1}$
<b>Ukraine, Zone III (1997) [Michel et al., 2004]</b>	$4,6 \times 1,3^{\pm 1}$	$440 \times 1,3^{\pm 1}$	$38 \times 1,7^{\pm 1}$
<b>Moskau (1996) [Szidat et al., 2000]</b>	$4,1 \times 1,2^{\pm 1}$	$719 \times 1,5^{\pm 1}$	$49 \times 1,5^{\pm 1}$
<b>Pränuklear Russland (1939) [Szidat et al., 2000b]</b>	-	-	$0,084 \pm 0,017$

### 5.3. Bodenprofile aus Chile

#### 5.3.1. $^{137}\text{Cs}$ in Bodenprofilen aus Chile

Die  $^{137}\text{Cs}$ -Aktivitäten der untersuchten Böden in der Antarktis lagen zwischen  $0,50$  und  $26,8 \text{ Bq kg}^{-1}$  auf der ganzen Tiefe von  $8 \text{ cm}$ , davon befindet sich mehr als  $95 \%$  des  $^{137}\text{Cs}$  bis zu einer Tiefe von  $4 \text{ cm}$ . Die Böden aus Osterinsel zeigten zwischen  $0,49 \text{ Bq kg}^{-1}$  und  $16,2 \text{ Bq kg}^{-1}$  an  $^{137}\text{Cs}$ -Aktivität. Auf dem chilenischen Festland lag der  $^{137}\text{Cs}$ -Gehalt zwischen  $0,53 \text{ Bq kg}^{-1}$  und  $18,2 \text{ Bq kg}^{-1}$  (Abb. 5-12).

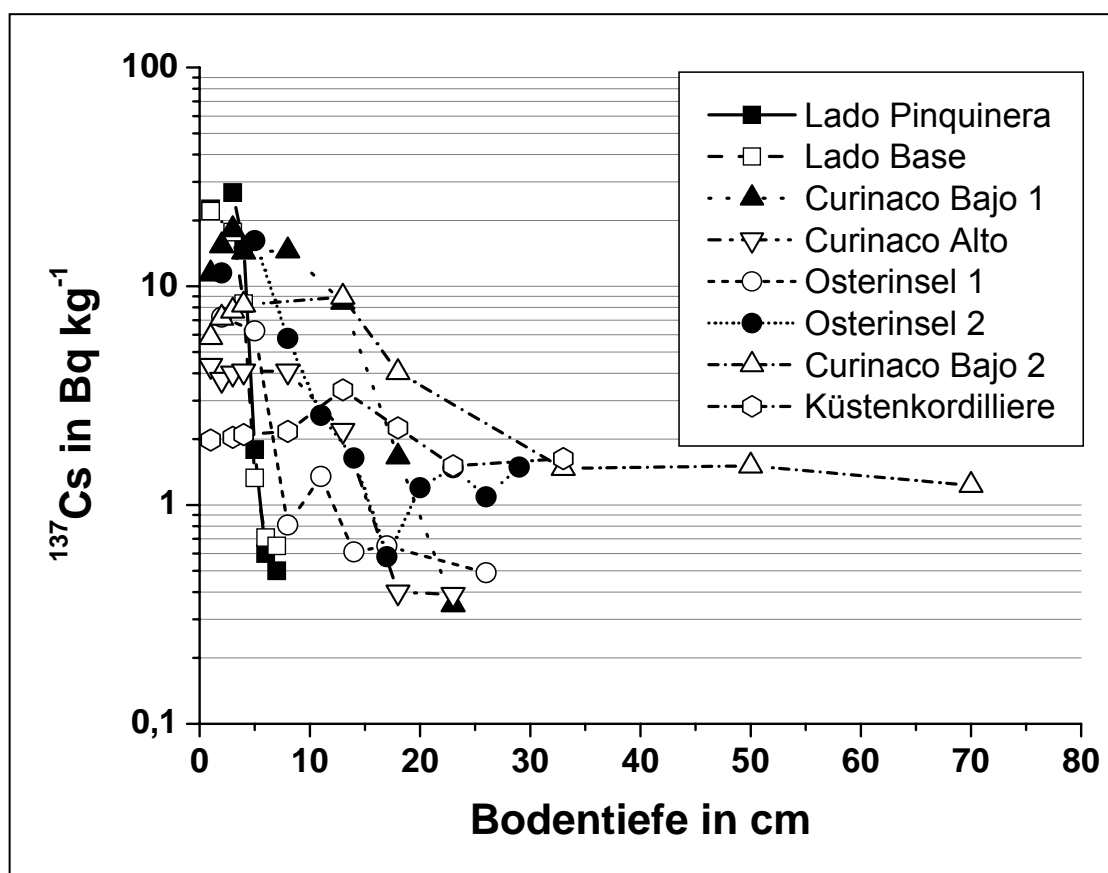
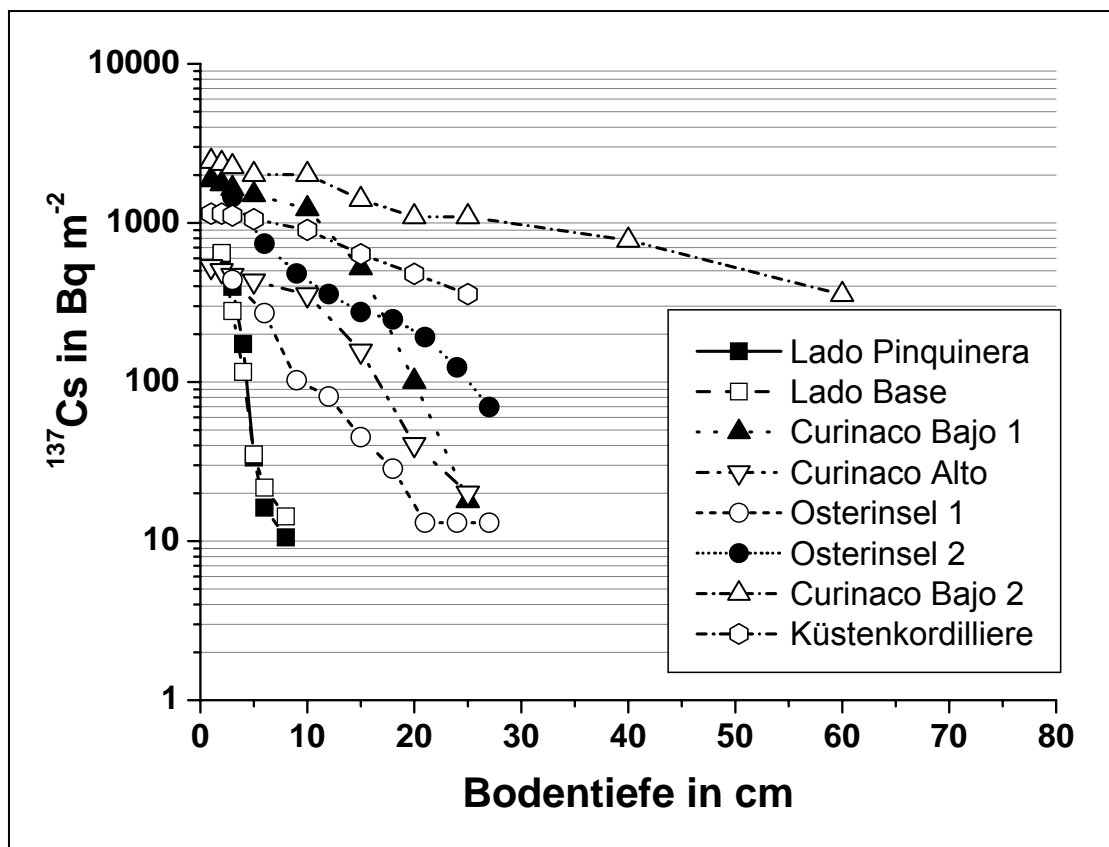


Abb.5-12: Tiefenabhängigkeit der  $^{137}\text{Cs}$  spezifische Aktivität in acht Bodenprofilen aus Chile.

In Abbildung 5-13 ist die Depositionsdichte des  $^{137}\text{Cs}$  der untersuchenden Böden aus Chile, Antarktis und Osterinsel gegen die Bodentiefe dargestellt. Die relative Unsicherheit lag meistens bei  $5 \%$  für die Depositionsdichte der  $^{137}\text{Cs}$  für Proben, die einen Wert größer als  $0,2 \text{ kBq m}^{-2}$  zeigten, und bis zu  $40 \%$  für die Proben, die einen Wert kleiner als  $0,1 \text{ kBq m}^{-2}$  hatten. Der geometrische Mittelwert der Depositionsdichte des  $^{137}\text{Cs}$  zum Entnahmedatum betrug  $(1,09 \times 1,81^{\pm 1}) \text{ kBq m}^{-2}$ . Es wurde als

Minimum  $0,44 \text{ kBq m}^{-2}$  und  $2,48 \text{ kBq m}^{-2}$  als Maximum festgestellt. Der Median lag bei  $0,47 \text{ kBq m}^{-2}$ .

Diese Böden zeigen ganz niedrige Kontaminationen, wenn man sie mit den Böden aus Bayern vergleicht. Diese Kontaminationen werden als Resultat des globalen Waffentest in der Südhemisphäre verstanden. Man beobachtet auch keine  $^{137}\text{Cs}$  Aktivität in diesen Böden, die auf den Unfall von Tschernobyl zurückzuführen wäre. Auf dem Festland Chile wurde fast 2mal  $^{137}\text{Cs}$  Aktivität gefunden als in der Antarktis und auf der Osterinsel beobachtet.



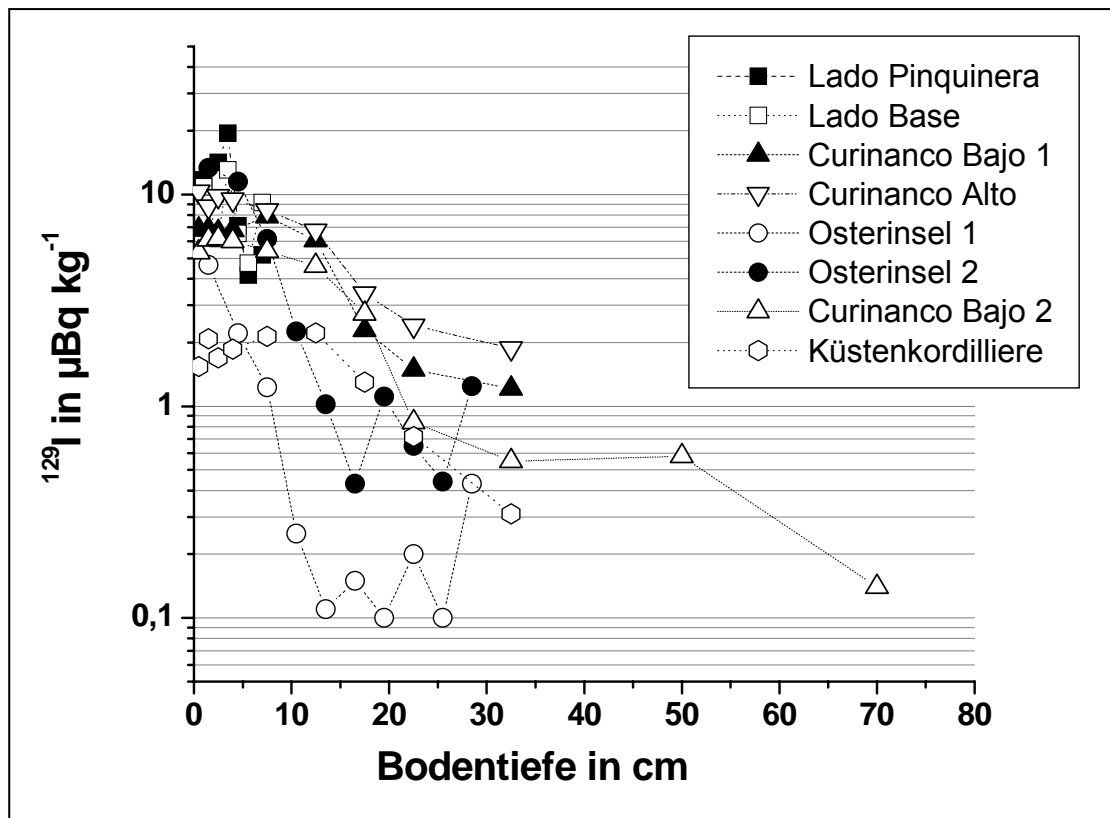
**Abb.5-13:** Tiefenabhängigkeit der  $^{137}\text{Cs}$  Depositionsdichten in acht Bodenprofilen aus Chile

Die Resultate dieser Arbeit stimmen mit der Arbeiten von Schuller (1996 und 2002), die die gleich Orten untersucht haben, gut überein [Schuller et al., 1996 und 2002]. Es wurde festgestellt, dass die Verteilung des  $^{137}\text{Cs}$  von den geographischen Orten und vom Regenfall abhängig sind. Handl (2008) und Schuller (1996 und 2006) haben gezeigt, dass  $^{137}\text{Cs}$  Depositionsdichte mit der Regenfall, sowie auch mit der geographischen Lage in Brasilien und Chile positiv korreliert sind [Handl et al., 2008; Schuller et al., 1996 und 2006].

### 5.3.2. $^{129}\text{I}$ in Bodenprofile aus Chile

In Abbildung 5-14 sind die  $^{129}\text{I}$ -Aktivitätskonzentrationen gegen die Bodentiefe dargestellt. Die  $^{129}\text{I}$  Aktivitätskonzentrationen der Böden aus der Antarktis lagen zwischen  $(4,16 \pm 0,18) \mu\text{Bq kg}^{-1}$  und  $(19,5 \pm 0,8) \mu\text{Bq kg}^{-1}$  über die gesamte Profiltiefe von 8 cm. Auf dem Festland von Chile sind die  $^{129}\text{I}$  Aktivitätskonzentrationen kleiner als in der Antarktis und lagen zwischen  $(11,3 \pm 0,8) \mu\text{Bq kg}^{-1}$  an der Oberfläche und  $(0,14 \pm 0,11) \mu\text{Bq kg}^{-1}$  in den tiefsten untersuchten Schichten von 60 - 80 cm.

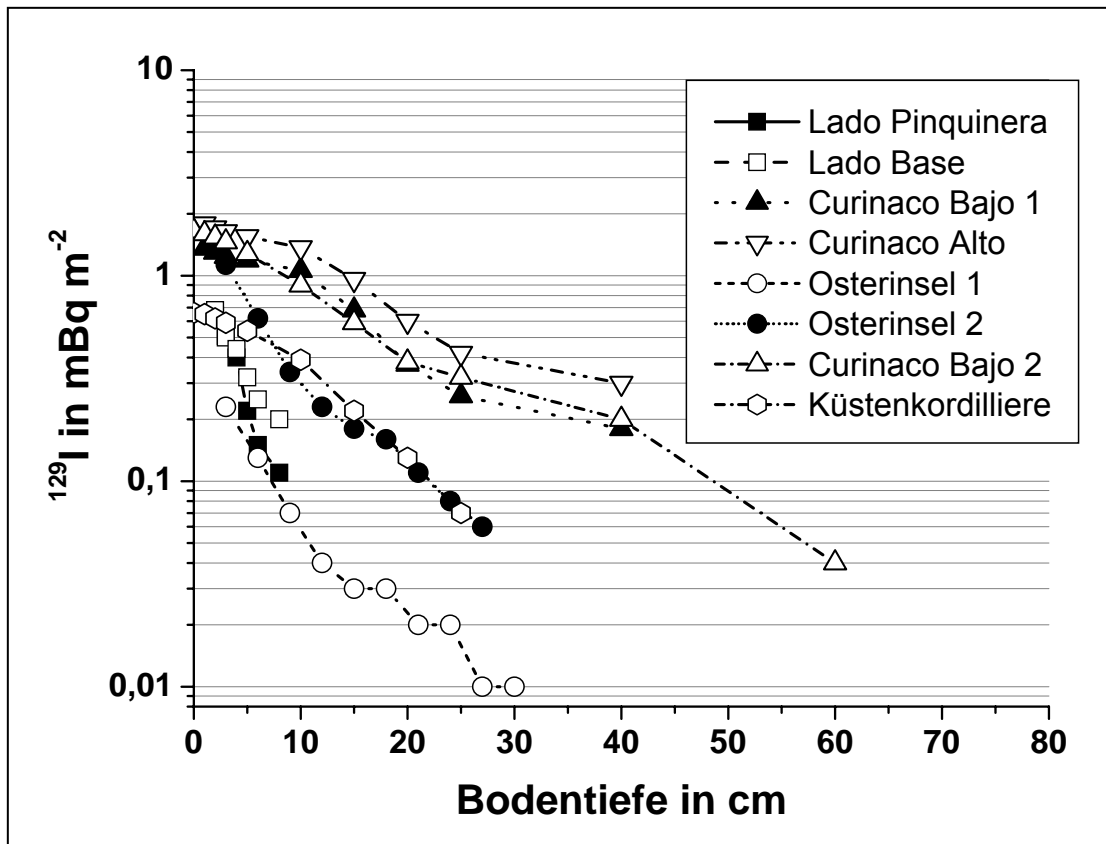
Die  $^{129}\text{I}$  Aktivitätskonzentrationen der Böden auf der Osterinsel betragen zwischen  $(0,10 \pm 0,04) \mu\text{Bq kg}^{-1}$  und  $(13,4 \pm 1,4) \mu\text{Bq kg}^{-1}$  über die gesamte Tiefe von 30 cm.



**Abb.5-14:** Tiefenabhängigkeit der  $^{129}\text{I}$ -Aktivität in acht Bodenprofilen von Chile.

Bei allen untersuchten Proben beobachtet man, dass sie gegen die Bodentiefe eine exponentielle Kurve mit einer Korrelationskoeffizienten von 0,9 zeigen. Statt des exponentiellen Verlaufes zeigten die Proben aus der Antarktis und von der Küstenkordillieren einen linearen Verlauf. Der geometrische Mittelwert der Depositionsdichte von  $^{129}\text{I}$  in den chilenischen Bodenprofile betrug  $(1,03 \times 1,9^{\pm 1}) \text{ mBq m}^{-2}$ . Es wurde ein Minimum von  $0,25 \text{ mBq m}^{-2}$  und  $2,01 \text{ mBq m}^{-2}$  als Maximum festgestellt. Der Median

lag bei  $1,27 \text{ mBq m}^{-2}$  (s. Abbildung 5-15). Dieser Wert ist sehr viel kleiner als in Bayern. Dies zeigt deutlich, dass die  $^{129}\text{I}$  Depositionsdichten in der Nordhemisphäre sehr viel größer sind als in der Südhemisphäre.



**Abb.5-15:** Tiefenabhängigkeit der  $^{129}\text{I}$  Depositionsdichten in acht Bodenprofilen aus Chile.

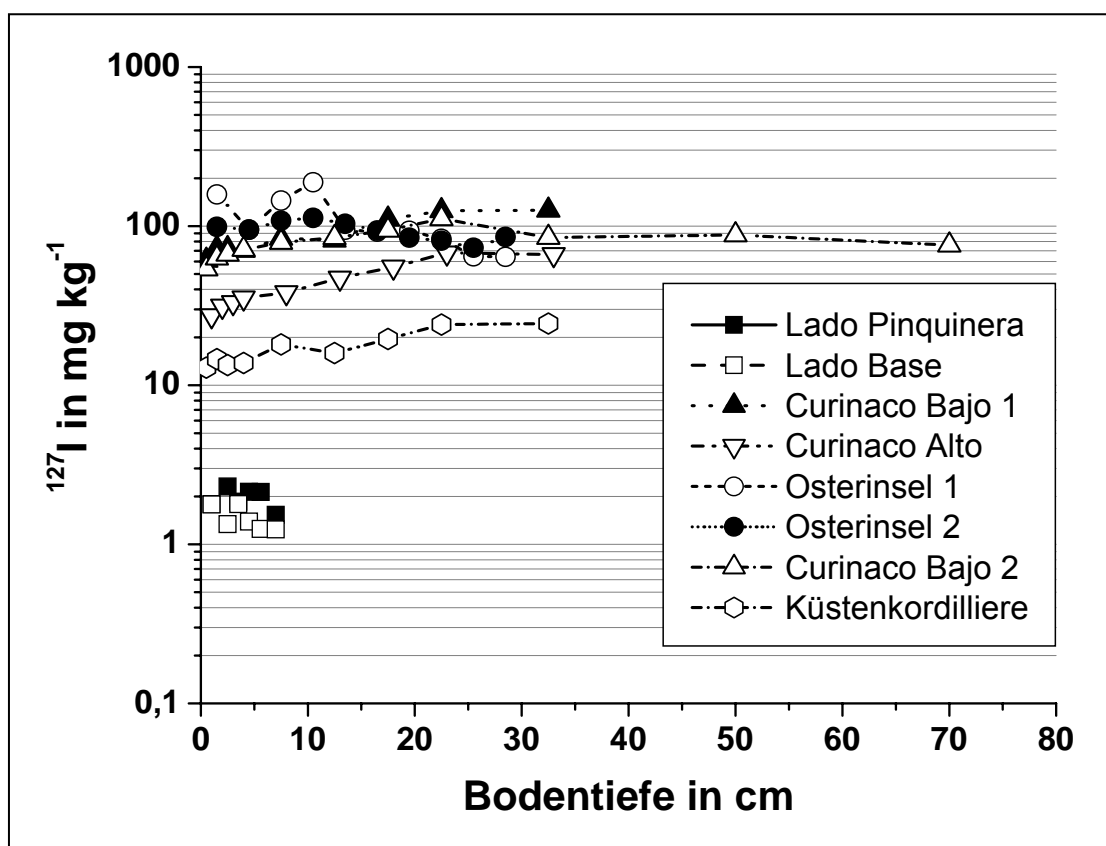
Obwohl die Böden von der Osterinsel zum gleichen Ort gehören, ist die  $^{129}\text{I}$ -Depositionsdichte auf der Osterinsel 2 fünfmal größer als auf der Osterinsel 1. Die Curinanco Bajo 2 (2004) zeigte eine leichte Erhöhung der  $^{129}\text{I}$ -Depositionsdichte von einem Faktor 0,07, wenn man sie mit dem Boden Curinanco Bajo 1 (1998) vergleicht. Es gab aber eine leichte Erhöhung (von einem Faktor 0,2) in der  $^{129}\text{I}$ -Depositionsdichte in Curinanco Alto gegenüber von Curinanco Bajo. Man kann dies dadurch erklären, dass Curinanco Alto höher als Curinanco Bajo liegt. Die beiden Böden Lado Pinguinera und Lado Base aus der Antarktis zeigten gleiche Werte von  $0,65 \text{ mBq m}^{-2}$  (ohne den Beitrag der Werte für Humus).

Diese Beobachtung zeigt, dass die Verteilung des  $^{129}\text{I}$  auf der Osterinsel und auf dem Festland in Chile inhomogen ist. Die Unterschiede sind abhängig nicht nur von den klimatischen Bedingungen, sondern auch von der Höhe der Probenahmeorte über dem Meerspiegel.

### 5.3.3. $^{127}\text{I}$ in Bodenprofilen aus Chile

Abbildung 5-16 zeigt die  $^{127}\text{I}$ -Konzentrationen gegen die Bodentiefe. Sie lagen im Bereich von  $(1,3 \pm 0,1)$   $\text{mg kg}^{-1}$  in der Antarktis bis  $(188 \pm 8)$   $\text{mg kg}^{-1}$  auf der Osterinsel. Die Werte aus der Antarktis lagen zwischen  $1,24$   $\text{mg kg}^{-1}$  und  $2,31$   $\text{mg kg}^{-1}$  und nahmen mit der Bodentiefe mit einem Korrelationskoeffizienten von  $0,8$  ab.

Die  $^{127}\text{I}$ -Konzentrationen steigen auf der Osterinsel mit der Bodentiefe an und lagen zwischen  $64,1$   $\text{mg kg}^{-1}$  und  $188$   $\text{mg kg}^{-1}$ .



**Abb.5-16:** Tiefenabhängigkeit der  $^{127}\text{I}$  spezifische Aktivität in acht Bodenprofilen aus Chile.

Im Gegensatz zu  $^{129}\text{I}$  steigen die  $^{127}\text{I}$ -Konzentrationen mit der Bodentiefe auf dem Festland von Chile. Der geometrische Mittelwert der Depositionsdichte von  $^{127}\text{I}$  betrug  $(33,3 \times 2,0^{\pm 1})$   $\text{g m}^{-2}$  (ohne Berücksichtigung des kleinsten Wertes der Böden aus der Antarktis  $(0,16 \times 1,0^{\pm 1})$   $\text{g m}^{-2}$ . Es wurden  $95$   $\text{g m}^{-2}$  als Maximum und  $19$   $\text{g m}^{-2}$  als Minimum festgestellt. Der Median lag bei  $35$   $\text{g m}^{-2}$  (Abbildung 5-17).

Wenn man diese Ergebnisse mit den Ergebnissen der Proben aus Bayern vergleicht, findet man, dass die  $^{127}\text{I}$  Konzentration in Chile 1000mal größer als in Bayern ist. Im Gegensatz zum  $^{129}\text{I}$  war die Aktivitätskonzentration von  $^{127}\text{I}$  bei allen Böden in oberen Schichten am geringsten und nahm mit der Bodentiefe deutlich zu.

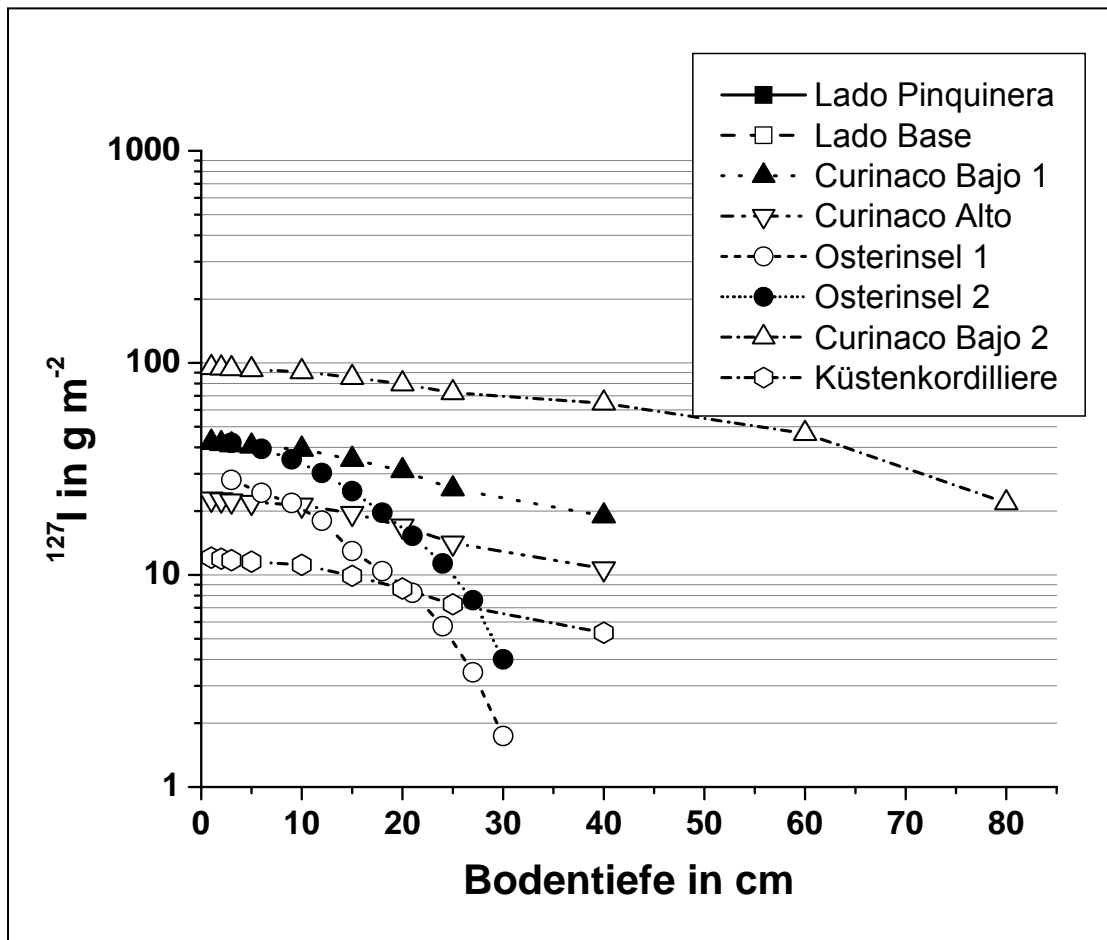


Abb.5-17: Tiefenabhängigkeiten der  $^{127}\text{I}$  Depositionsdichten in acht Bodenprofilen aus Chile.

#### 5.3.4. $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Verhältnisse in Bodenprofile aus Chile

Abbildung 5-18 zeigt die  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse in den Bodenprofilen aus der Antarktis, von der Osterinsel und vom Festland in Chile. Man beobachtet, dass die  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$  Isotopenverhältnisse für alle Proben um etwa eine Zehnerpotenz zwischen Oberfläche und den tiefsten Bodenschichten abnehmen. So lagen die  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$  Isotopenverhältnisse auf der Osterinsel und auf dem Festland in Chile zwischen  $10^{-10}$  und  $10^{-12}$  (an der Oberfläche bzw. in 50 cm Tiefe). Die  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$  Isotopenverhältnisse in den Proben aus der Antarktis waren hoch ( $10^{-09}$ ). Der Grund hier für diese Proben ist die geringen  $^{127}\text{I}$ -Konzentrationen in diesen Proben (s. Abbildung 5-16).



Abbildung 5-18 zeigt auch eine schnelle Abnahme der  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$  Isotopenverhältnisse vom Oberboden zu dem Unterboden. Man kann das dadurch erklären, dass  $^{129}\text{I}$  mehr im Oberboden als im Unterboden lokalisiert ist. Im Gegensatz dazu ist im Unterboden mehr  $^{127}\text{I}$  vorhanden als im Oberboden. Das bis 80 cm beprobte Profil Curinanco Bajo 2 zeigte ein Plateau von  $10^{-12}$ .

Bei den chilenischen Bodenprofilen wurden somit in der Pedosphäre erstmals  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$  Isotopenverhältnisse von  $10^{-12}$  beobachtet. Diese Verhältnisse können in Übereinstimmung mit Untersuchungen rezenter mariner Sedimente  $(1,3 \pm 0,3) \times 10^{-12}$  als prä nukleare Gleich-gewichtsisotopenverhältnisse angesehen werden [Fehn et al., 1986]. Die chilenischen Profile erlauben auch die Bestimmung des  $^{129}\text{I}$  Fallout aus den oberirdischen Kernwaffenexplosionen.

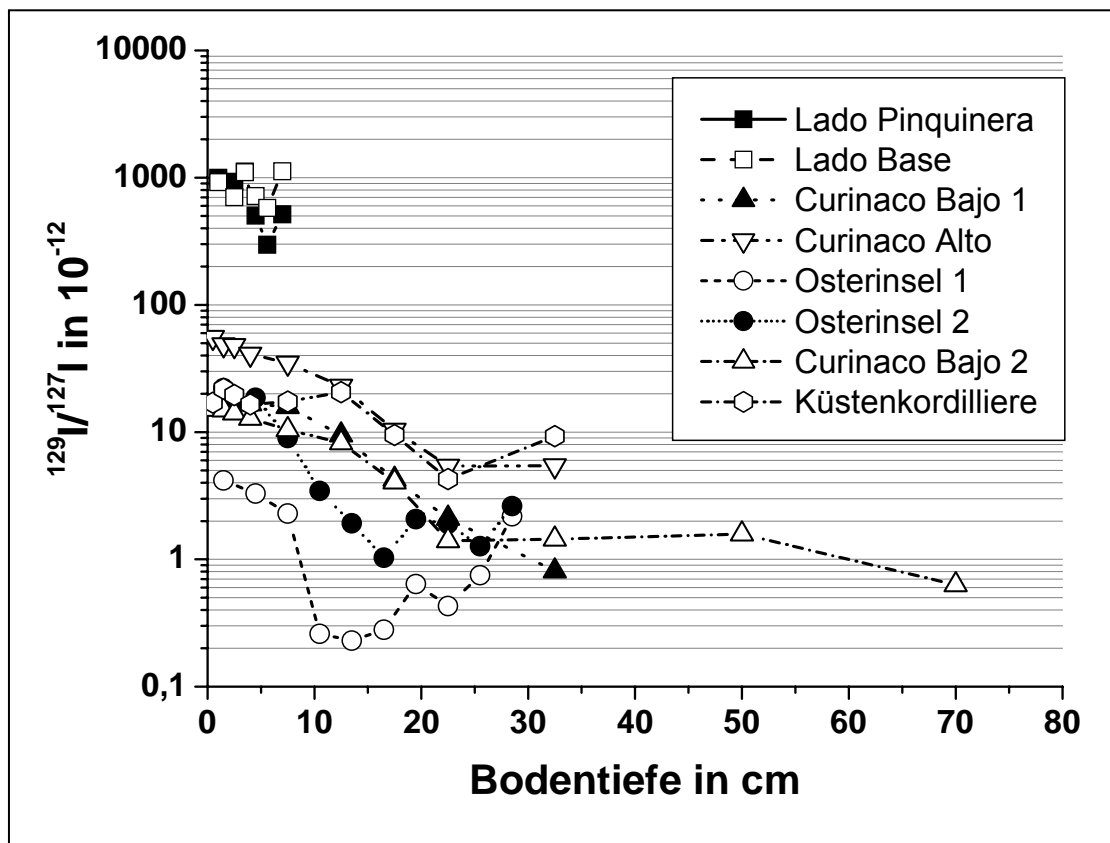


Abb.5-18:  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Verhältnisse in acht chilenische Böden.

#### 5.4. Korrelation von Iod- und Cäsium-Gehalt mit den Parameter der Böden

In diesem Abschnitt wird der Einfluss von Bodenparametern und Bodenstruktur auf den Sorptionsprozess von Iod und Cäsium diskutiert. Dafür wurden die Parameter wie Tonminerale, Organische Bestandteile, pH-Wert, Eisen-, Aluminium- und Manganoxid mit den  $^{137}\text{Cs}$ -,  $^{127}\text{I}$ - und  $^{129}\text{I}$ -Gehalte verglichen.

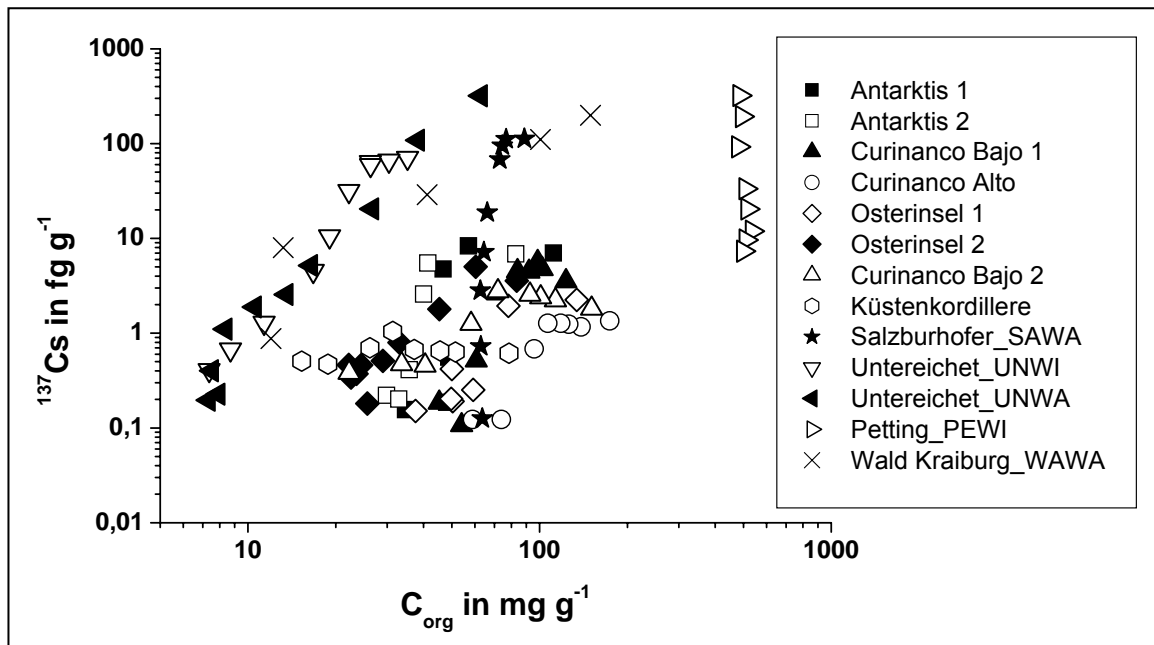
##### 5.4.1. Cäsium

In Abbildung 5-19 sind die Verteilung der  $^{137}\text{Cs}$ -Gehalte gegen die Verteilung der  $C_{\text{org}}$ -Gehalte (organische Bestandteile) der untersuchenden Böden aus Bayern und Chile dargestellt. Wie schon beschrieben, zeigten die bayrischen Bodenprofile einen höheren  $^{137}\text{Cs}$ -Gehalt (22,3 – 61,0  $\text{kBq m}^{-2}$ ) als die chilenischen Bodenprofile (0,44 – 2,48  $\text{kBq m}^{-2}$ ). Die Kurven in Abbildung 5-19 sind linear und zeigen eine gute Korrelation zwischen  $^{137}\text{Cs}$ -Gehalt und  $C_{\text{org}}$ -Gehalt, aber nicht für alle dieser untersuchten Böden.

Trotz höherer Tongehalte (7 - 28 %) (s. Tabelle 5-9, S. 105) in den mineralische Böden aus Bayern (UNWI, UNWA, WAWA und SAWA) zeigen sie aber eindeutliche Klare positive Korrelation zwischen  $^{137}\text{Cs}$ -Gehalt und  $C_{\text{org}}$ -Gehalt besonders für Tiefen von 10 cm. Der  $^{137}\text{Cs}$ -Gehalt steigt in diesen Böden deutlich mit Zunahme des  $C_{\text{org}}$ -Gehalts. Im Gegensatz dazu sieht man keine positive Korrelation zwischen den  $^{137}\text{Cs}$ -Gehalten und den  $C_{\text{org}}$ -Gehalten in den organischen Böden (PEWI), die höher  $C_{\text{org}}$ -Gehalte (501  $\text{mg g}^{-1}$ ) und ganz niedrige Tongehalte (2 %) haben. Um das zu erklären, vermute ich, dass  $^{137}\text{Cs}$  in den mineralischen Böden nicht direkt an Tonminerale fixiert ist, sondern im organischen Teil. Andererseits kann man es auch mit der Konkurrenz von Kalium und Cäsium begründen. Alle Sorptionsplätze in Tonmineralen sind durch Kalium besetzt. Aufgrund der höheren organischen Anteile in den Hochmoorböden (PEWI) ist  $^{137}\text{Cs}$  mehr im Oberboden fixiert.

Im Gegensatz dazu haben die chilenischen Böden keine Korrelation zwischen  $^{137}\text{Cs}$ -Gehalt und  $C_{\text{org}}$ -Gehalt gezeigt. Die  $^{137}\text{Cs}$ -Gehalte sind mit großer Wahrscheinlichkeit im Oberboden, in der die höheren Tongehalte gemessen wurden, zwischen Schichten des Tonminerals fixiert. Es gibt aber eine positive Korrelation zwischen den  $^{137}\text{Cs}$ -Gehalten und den  $C_{\text{org}}$ -Gehalten im Unterboden bei Proben der Orte Curinanco

Bajo 1, 2 und Curinanco Alto. In diesen Böden lagen die Tongehalt bei 7 %, 9 % bzw. 18 %. Bei den Böden der Osterinsel und der Antarktis, die nur 4 % Tongehalt haben, zeigen die  $^{137}\text{Cs}$ -Gehalte und  $C_{\text{org}}$ -Gehalte positive Korrelationen.



**Abb.5-19:** Gehalt an organischen Bodenbestandteilen und  $^{137}\text{Cs}$ -Konzentrationen in den Böden aus Bayern und Chile

Man kann feststellen, dass je mehr Tonminerale im Boden vorhanden sind, auch mehr  $^{137}\text{Cs}$  mit organischen Bestandteilen in Tonmineralen fixiert ist. Diese Fixierung hängt nicht nur vom Tongehalt und  $^{137}\text{Cs}$ -Gehalt, sondern auch von der Qualität der Tonminerale ab. Es gibt keinen direkten Einfluss des pH-Wertes auf das  $^{137}\text{Cs}$  Verhalten in den Böden.

In Tabelle 5-9 sind die Steigungen und Achsenabschnitte der Kurven ( $a/b$ ) und die Korrelationskoeffizienten ( $r$ ) der verschiedenen Kurven zusammengefasst.  $a/b$  liegt in mineralischen Böden bei  $0,66 \times 1,4^{\pm 1}$  und zeigt eine positive Korrelation mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,4 bis 0,98. Im Gegensatz dazu findet man einen Abfall der Kurven in organischen Böden (PEWI). Man kann dadurch feststellen, dass die Korrelation zwischen den  $C_{\text{org}}$ -Gehalten und den  $^{137}\text{Cs}$ -Gehalten positiv und bis zu zweimal größer als in Bayern und als in Chile ist. Der geometrische Mittelwert aller untersuchten Böden liegt bei  $0,61 \times 1,4^{\pm 1}$ .

### 5.4.2. Iod

Trotz verschiedener Orte und Arte von Böden zeigen Abbildungen 5-20 bis 5-23 fast gleiche Fakten: die  $^{129}\text{I}$ -Gehalte korrelieren positiv mit den  $C_{\text{org}}$ -Gehalten. Dagegen sind die  $^{127}\text{I}$ -Gehalte mit den  $C_{\text{org}}$ -Gehalten kaum oder negativ korreliert. Aber sie korrelieren mit den Gehalten von Eisen-, Aluminium- und Manganoxiden positiv. In diesem Abschnitt wird versucht, dieses unterschiedliche Verhalten der Isotope von Iod mit den Böden zu erklären. Die Werte für mögliche Korrelationen mit Eisen- und Manganoxiden finden sich in Tabelle A4 im Anhang.

Abbildung 5-20 zeigt, dass es keine Korrelation zwischen den  $^{127}\text{I}$ -Gehalten und Gehalten an organischen Bestandteilen in den bayerischen Bodenprofilen, sowie auch in den chilenischen Bodenprofilen gibt. Die Böden aus der Antarktis 1 und 2, sowie aus Salzburghofer (SAWA) in Bayern zeigen eine leichte Erhöhung der  $^{127}\text{I}$ -Gehalte mit den Gehalten an organischen Bestandteilen. In diesen Bodenprofilen liegen die  $^{127}\text{I}$ -Gehalte unter  $3 \text{ mg kg}^{-1}$ . Man kann aber die Hypothese der Abhängigkeit der  $^{127}\text{I}$ -Gehalte von den organischen Bestandteilen ausschließen. Weil die Bodenprofile aus Petting, trotz ihrer höheren  $^{127}\text{I}$ -Konzentration mehr als  $3 \text{ mg kg}^{-1}$  und über  $400 \text{ mg g}^{-1}$  Gehalt an organischen Bestandteilen keine Korrelation gezeigt haben.

Im Gegenteil zu  $^{127}\text{I}$  zeigten die  $^{129}\text{I}$ -Gehalte eine positive Korrelation mit Gehalten der organischen Bestandteile. Die Ausnahmen bilden hier die beiden Bodenprofile aus der Antarktis und aus Petting. Man kann dieses unterschiedliche Verhalten der Iodisotope nur erklären, wenn es neben den besprochenen Parametern weitere Einflussgrößen gibt. So ein Parameter ist z.B. die Alterung von Iod im Boden. So verbindet Iod (als biophiles Element) am Anfang an organische Bestandteile, aber mit der Zeit kann dieses Iod von organischen Bestandteilen zu Mineralen wechseln. Insbesondere weiß man, dass  $^{127}\text{I}$  über einen Zeitraum von mehr als 10 000 Jahren in die Böden eingetragen wurde, während der überwiegende Anteil von  $^{129}\text{I}$  ganz jung ist. Es ist in größeren Mengen nur in der nuklearen Zeit in Böden eingelagert worden [Michel et al., 2005]. Abbildung 5-23 zeigt deutlich positive Korrelationen zwischen den  $^{127}\text{I}$ -Gehalten und Aluminiumoxiden bzw. Eisenoxiden (Abbildung A1 im Anhang). Hingegen gibt es keine Korrelationen zwischen den  $^{129}\text{I}$ -Gehalten und diesen Oxiden (Abb. 5-22 und Abb. A2 im Anhang).

In Tabelle 5-9 sind die Eigenschaften von Böden, die Steigungen und Achsenabschnitte ( $a/b$ ) und die Bestimmtheitsmaße der verschiedenen Kurven zusammengefasst. So wie bei  $^{137}\text{Cs}$  liegt  $a/b$  in mineralischen Böden bei  $0,65 \times 1,6^{\pm 1}$  und ist positiv mit Korrelationskoeffizienten von 0,75 bis 0,97 korreliert (ohne Berücksichtigung von den Böden aus Antarktis). Die  $^{129}\text{I}$ -Gehalte der Böden aus Wald-Kraiburg korrelieren mit den Gehalten organischen Bestandteilen negativ. In Tabelle 5-9 sieht man auch die positive Korrelation zwischen  $^{127}\text{I}$ -Gehalten und Aluminiumoxid in erste Linie mit 0,74 als  $a/b$  bzw. Eisenoxiden in zweite Linie mit 0,12 als  $a/b$ . Aber für einige Proben war diese Korrelation negativ, besonders in den Proben aus der Antarktis, von der Osterinsel sowie in UNWA, PEWI und WAWA.

Die gesamten Ergebnisse zeigen, dass die Sorption der Nuklide in den untersuchten Böden sehr komplex ist. Viele Parameter beeinflussen die Migrationsverhaltens. Zu nennen sind die chemischen und physikalischen Eigenschaften der Nuklide sowie die Charakteristika der Böden und das Klima.

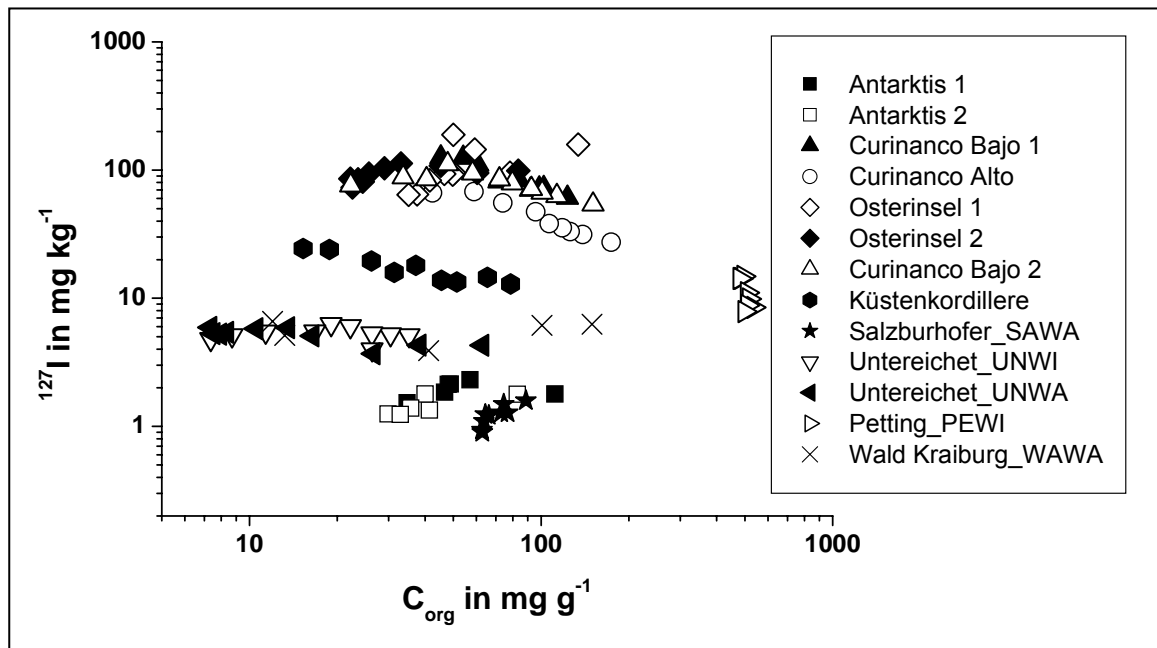


Abb.5-20: Organische Bestandteil- und  $^{127}I$ -Gehalt in den Böden aus Bayern und Chile.

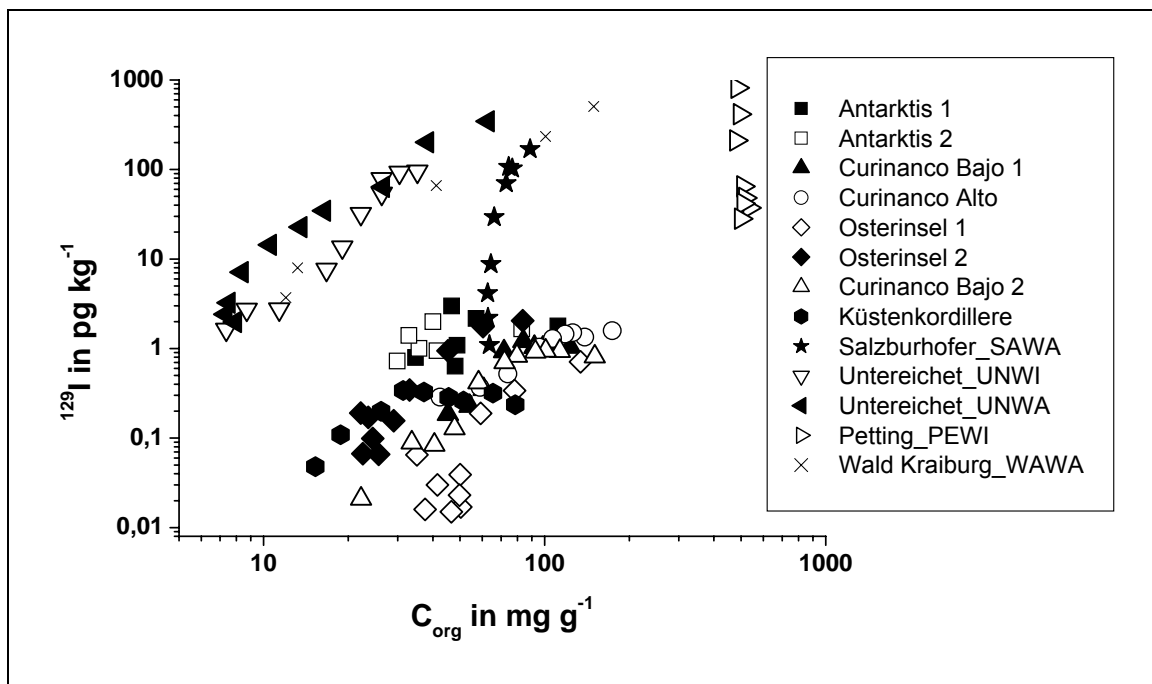


Abb.5-21: Organischen Bestandteil- und  $^{129}I$ -Gehalt in den Böden aus Bayern und Chile.

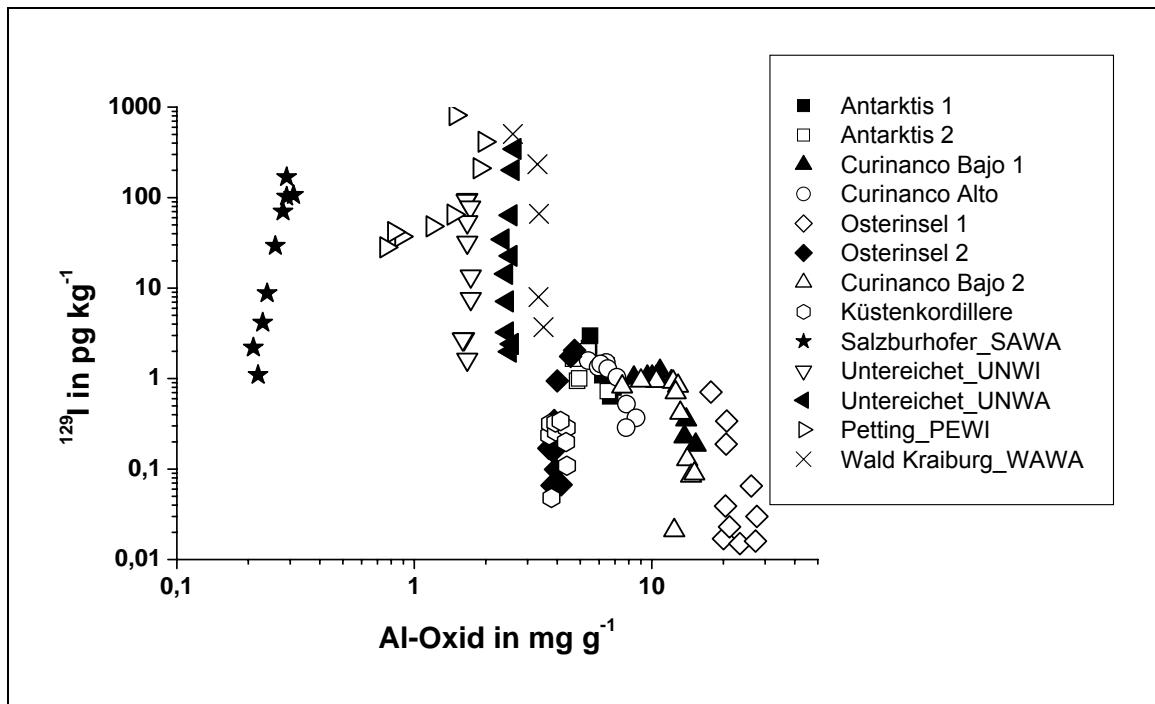


Abb.5-22: Aluminiumoxid-Gehalte und  $^{129}\text{I}$ -Gehalte in den Böden aus Bayern und Chile.

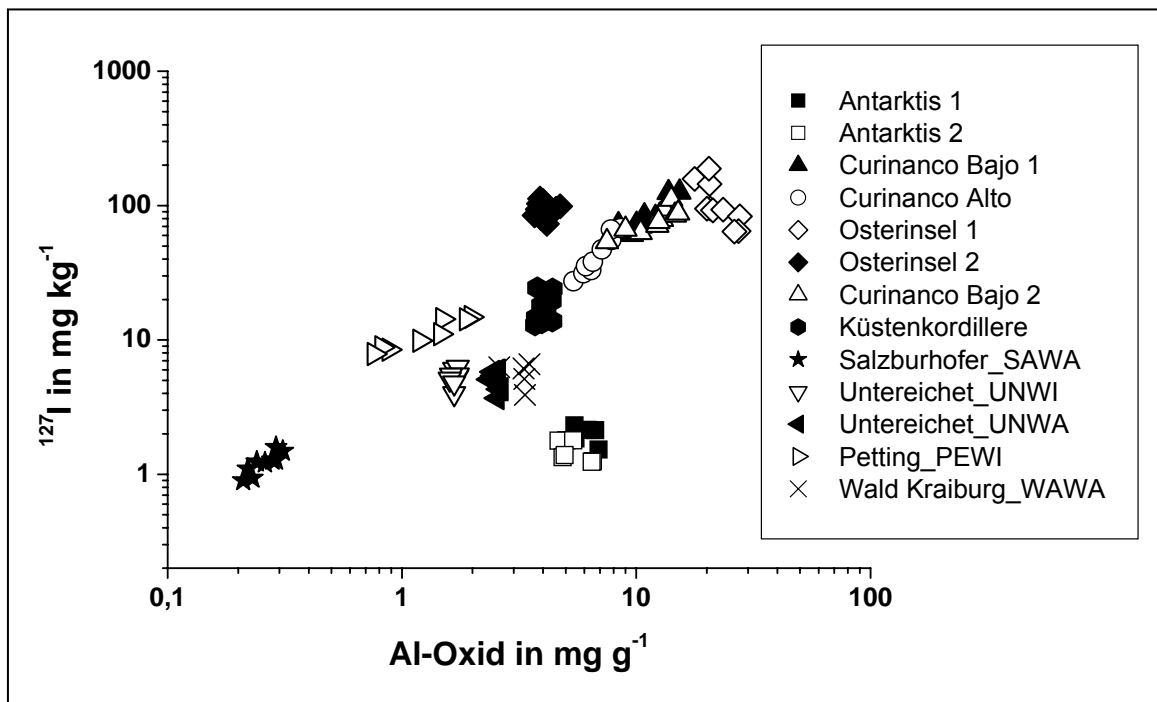


Abb.5-23: Aluminiumoxid-Gehalte und  $^{127}\text{I}$ -Gehalte in den Böden aus Bayern und Chile.

**Tab. 5-9:** Eigenschaften von Böden, die Steigungen und Achsenabschnitte (a/b) und die Bestimmtheitsmaße der verschiedenen Kurven

	Tiefe in cm	pH- Wert	Tongehalt %	<sup>137</sup> Cs/Corg a/b ( r )	<sup>129</sup> I/Corg a/b ( r )	<sup>127</sup> I/Al-Oxide a/b ( r )	<sup>127</sup> I/Fe-Oxide a/b ( r )
<b>Lado Pinguinera</b>	0- 8	3,93	4	0,59 (0,66)	0,62 (0,46)	0,49 (-0,19)	0,11 (-0,35)
<b>Lado Base</b>	0- 8	3,75	4	0,63 (0,78)	0,66 (0,47)	1,03 (-0,61)	0,06 (-0,95)
<b>Curinaco Bajo 1</b>	0- 50	4,67	23 – 9	0,54 (0,88)	0,50 (0,89)	1,88 (0,9)	1,25 (0,88)
<b>Curinanco Alto</b>	0-50	4,23	29 – 18	0,48 (0,88)	0,50 (0,96)	0,13 (0,97)	0,11 (0,88)
<b>Osterinsel 1</b>	0-30	4,44	9 – 4	0,52 (0,90)	0,46 (0,82)	0,41 (-0,77)	0,06 (0,97)
<b>Osterinsel 2</b>	0-30	4,95	5	0,63 (0,92)	0,58 (0,93)	0,04 (0,04)	0,02 (-0,44)
<b>Curinanco Bajo 2</b>	0-80	4,66	23 – 7	0,58 (0,88)	0,49 (0,94)	0,79 (0,86)	0,07 (0,7)
<b>Küstenkordiller</b>	0-50	5,06	35 – 54	0,35 (0,31)	0,43 (0,75)	1,42 (0,27)	0,21 (0,77)
<b>Salzburghofer</b>	0-50	7,18	9 – 7	0,56 (0,80)	0,57 (0,87)	1,52 (0,88)	1,27 (0,7)
<b>Untereicht</b>	0-50	6,18	23 – 28	1,01 (0,98)	1,20 (0,97)	3,05 (0,27)	0,35 (0,73)
<b>Untereicht</b>	0-50	3,86	22 – 26	0,99 (0,98)	1,6 (0,97)	1,24 (-0,38)	0,05 (-0,72)
<b>Petting</b>	0-30	3,67	2	0,36 (-0,69)	0,36 (0,72)	0,67 (0,95)	0,03 (-0,69)
<b>Wald-Kraiburg</b>	0-15	3,55	11 – 18	1,18 (0,94)	1,46 (-0,99)	0,48 (-0,26)	0,08 (-0,66)
<b>Geometrischer Mittelwert x geometrische Standabweichung</b>				0,61 x 1,44 <sup>±1</sup>	0,65 x 1,61 <sup>±1</sup>	0,74 x 2,14 <sup>±1</sup>	0,12 x 3,69 <sup>±1</sup>

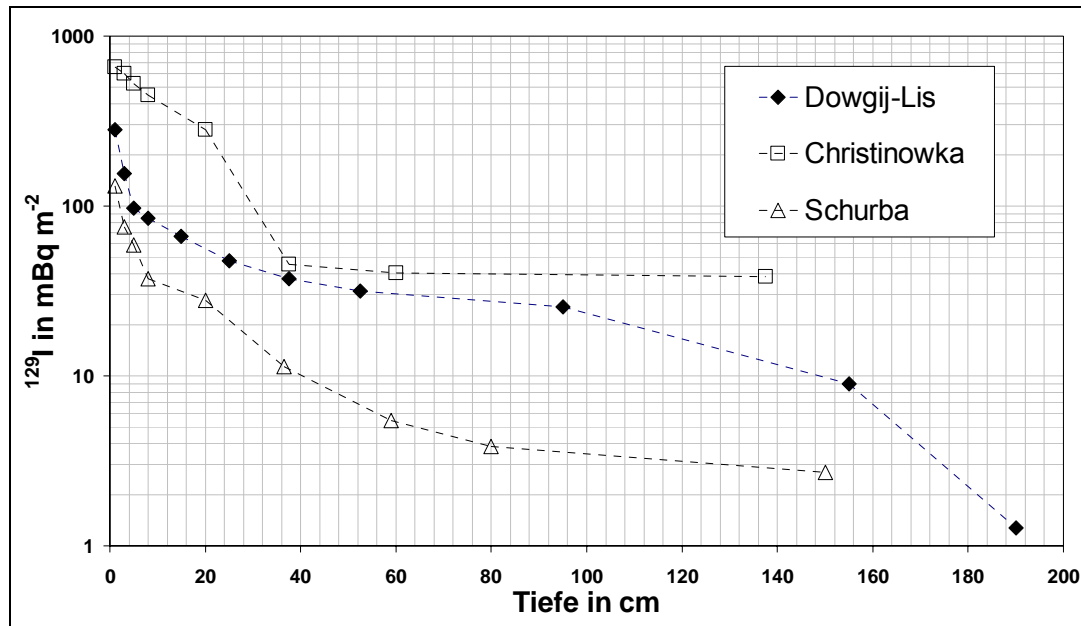


## 5.5. Bodenproben aus Ukraine

### 5.5.1. Bodenprofile aus Schurba, Dowgij und Christinowka

Die detaillierten Ergebnisse der Untersuchung dieser drei ukrainischen Tiefenbodenprofile finden sich in der Diplomarbeit von Korntheuer am ZSR [Korntheuer, 2009]. Hier wird eine Zusammenfassung im Hinblick auf der Migration von  $^{127}\text{I}$ ,  $^{129}\text{I}$  und  $^{137}\text{Cs}$  in tiefere Bodenhorizonte bis zu zwei Metern gegeben. Diese Profile sind von Interesse, da man die Verlagerung dieser Nuklide bis in ganz tiefe Bodenschichten verfolgt. Von den drei ukrainischen Profilen hat das aus Christinowka die höchste  $^{127}\text{I}$ -Depositionsdichte. Das Gesamtinventar beträgt  $2,4 \text{ g m}^{-2}$ . Das Profil aus Dowgij-Lis besitzt mit  $1,26 \text{ g m}^{-2}$  ein nur etwa halb so großes  $^{127}\text{I}$ -Inventar. In Zhurba findet man mit  $0,63 \text{ g m}^{-2}$  die geringste  $^{127}\text{I}$ -Depositionsdichte. Die großen Unterschiede der  $^{127}\text{I}$ -Depositionsdichten in den ukrainischen Böden sind mit den verschiedenen Bodenbeschaffenheiten und hydrologischen Bedingungen zu erklären.

Die  $^{129}\text{I}$ -Depositionsdichte der Böden in Christinowka liegt bei  $660 \text{ mBq m}^{-2}$ . In Dowgij-Lis beträgt die  $^{129}\text{I}$ -Deposition  $281 \text{ mBq m}^{-2}$ . Im Schurba-Profil ist die Depositionsdichte mit  $132 \text{ mBq m}^{-2}$  die geringste der drei Profile. Diesen Werten stimmen gut mit den gefundenen Werten bei der Arbeit von Michel (2005) überein. Sie haben berichtet, dass die Böden mit hohen  $^{127}\text{I}$ -Depositionsdichte auf einen geringeren Anteil der Migration und eine höhere Sorptionsrate schließen lassen und die Böden mit geringen  $^{127}\text{I}$ -Depositionsdichten über die Zeit einen signifikanten Verlust des stabilen Iods erlitten haben [Michel et al., 2005]. Korntheuer (2009) hat ermittelt, dass die Abnahme der Depositionsdichte in Schurba und Dowgij-Lis schneller mit der Tiefe als in Christinowka ist [Korntheuer, 2009]. Dies wird dadurch erklärt, dass in Christinowka der Transport von der Oberfläche in tiefere Schichten schneller als in den beiden anderen Tiefenprofilen verläuft (Abbildung 5-24).



**Abb.5-24:** Tiefenabhängigkeit der  $^{129}\text{I}$  Depositionsdichten in den Bodenprofilen aus Christinowka, Dowgij-Lis und Schurba.

Tabelle 5-10 zeigt, dass diese drei Nuklide ( $^{127}\text{I}$ ,  $^{129}\text{I}$  und  $^{137}\text{Cs}$ ) in den Oberböden lokalisiert sind. Diese Resultate stimmen mit den Ergebnissen von Böden aus Bayern und Chile, die in dieser Arbeit untersucht wurden, überein. So findet man mehr als 96 % bis 99 % von  $^{137}\text{Cs}$  bzw. mehr als 92 % bis 97 % von  $^{129}\text{I}$  in der oberen 50 cm. Unter dieser Tiefe lagen die  $^{129}\text{I}$ -Gehalte in Dowgij-Lis bis zu 8 % und in Christinowka und Schurba sogar nur bis zu 3 %. Man beobachtet eine exponentielle Kurve für die Verteilung in Prozent der  $^{137}\text{Cs}$  und  $^{129}\text{I}$  gegen die Tiefe (s. Abbildungen. A3 bis A5 im Anhang, S. 165). Im Gegensatz dazu wurde die prozentual Verteilung des  $^{127}\text{I}$  in der Bodentiefe bis 50 cm als fast stabil beobachtet. In der Bodentiefe zwischen 50 cm und 200 cm lokalisiert 20 % von  $^{127}\text{I}$  in Dowgij-Lis und Zhurba und nur 10 % in Christinowka. Man kann feststellen, dass  $^{129}\text{I}$  mobiler als  $^{137}\text{Cs}$  ist. Mit der Untersuchung dieser 2 m Tiefenprofile wird der Verbleib von mehr als 90 % des  $^{129}\text{I}$ -Inventars in den oberen 40 cm bestätigt, sodass diese als Nahrung für das gesamt  $^{129}\text{I}$ -Inventar herangezogen werden könnte.

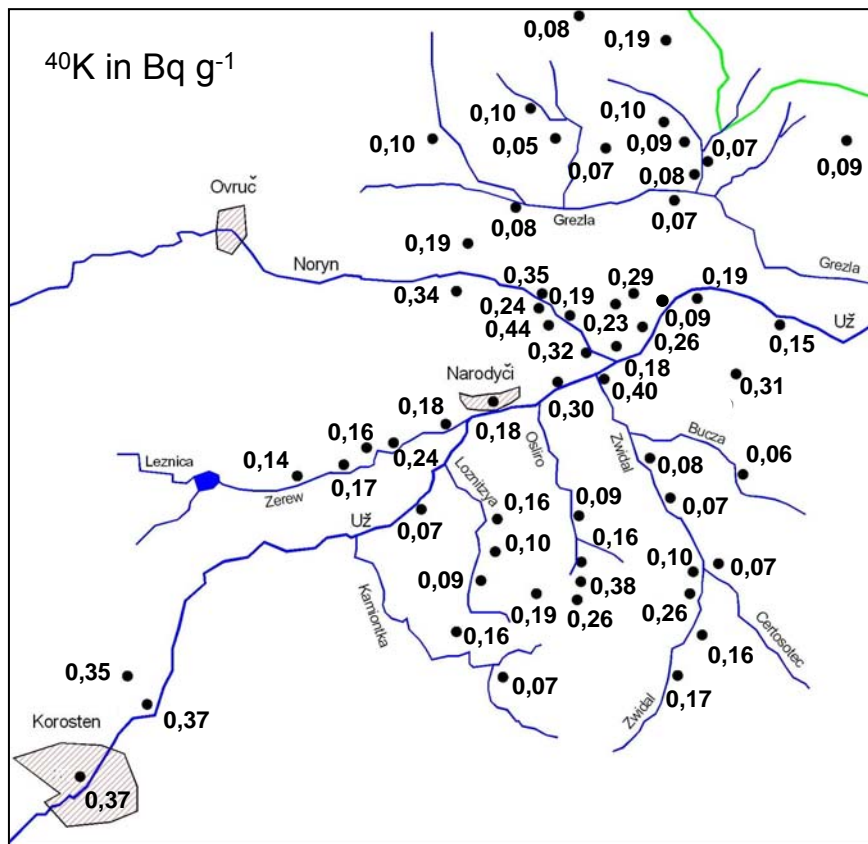
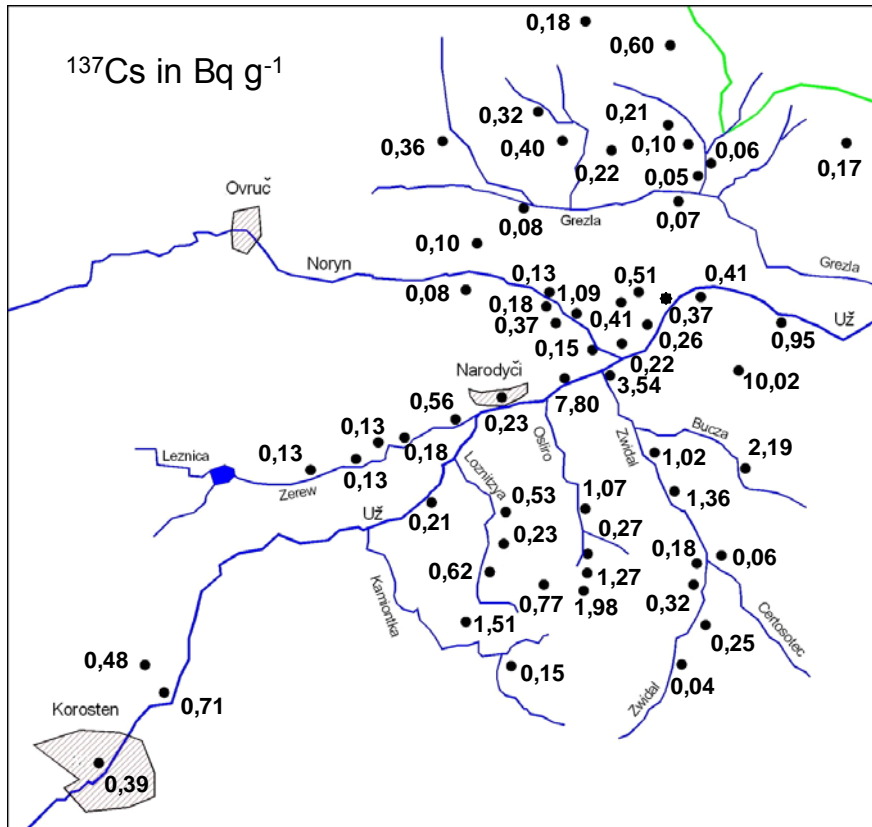
**Tab. 5-10:** Prozentuale Verteilung von  $^{127}\text{I}$ ,  $^{129}\text{I}$  und  $^{137}\text{Cs}$  in verschiedenen Tiefenbereichen der untersuchten Böden aus der Ukraine.

<b>Orte</b>	<b>Tiefe in cm</b>	<b>% <math>^{127}\text{I}</math> in der Schicht</b>	<b>% <math>^{129}\text{I}</math> in der Schicht</b>	<b>% <math>^{137}\text{Cs}</math> in der Schicht</b>
<b>Dowigij-Lis</b>	0 - 2	13,2	33,5	60,8
	2 - 4	12,5	18,6	23,8
	4 - 6	11,7	11,6	7,4
	6 - 10	11,4	10,1	3,0
	10 - 20	10,8	8,0	1,6
	20 - 30	9,9	5,7	1,0
	30 - 45	8,9	4,4	0,8
	45 - 60	8,1	3,8	0,7
	60 - 130	7,4	3,0	0,6
	130 - 180	4,6	1,1	0,2
180 - 200	1,4	0,2	0,2	
<b>Christinowka</b>	0 - 2	17,4	25,0	27,0
	2 - 4	16,9	22,8	24,0
	4 - 6	16,4	20,0	20,9
	6 - 10	15,9	17,0	17,3
	10 - 30	14,7	10,6	10,5
	30 - 45	9,0	1,7	0,3
	45 - 75	6,5	1,5	0,1
	75 - 200	3,3	1,5	0,1
<b>Schurba</b>	0 - 2	14,6	37,2	57,9
	2 - 4	14,3	21,2	23,6
	4 - 6	14,0	16,7	8,9
	6 - 10	13,7	10,5	3,1
	10 - 30	13,1	7,9	1,9
	25 - 48	10,5	3,2	1,3
	48 - 70	8,1	1,5	1,2
	71 - 99	6,7	1,1	1,1
	100 - 200	5,0	0,8	1,1

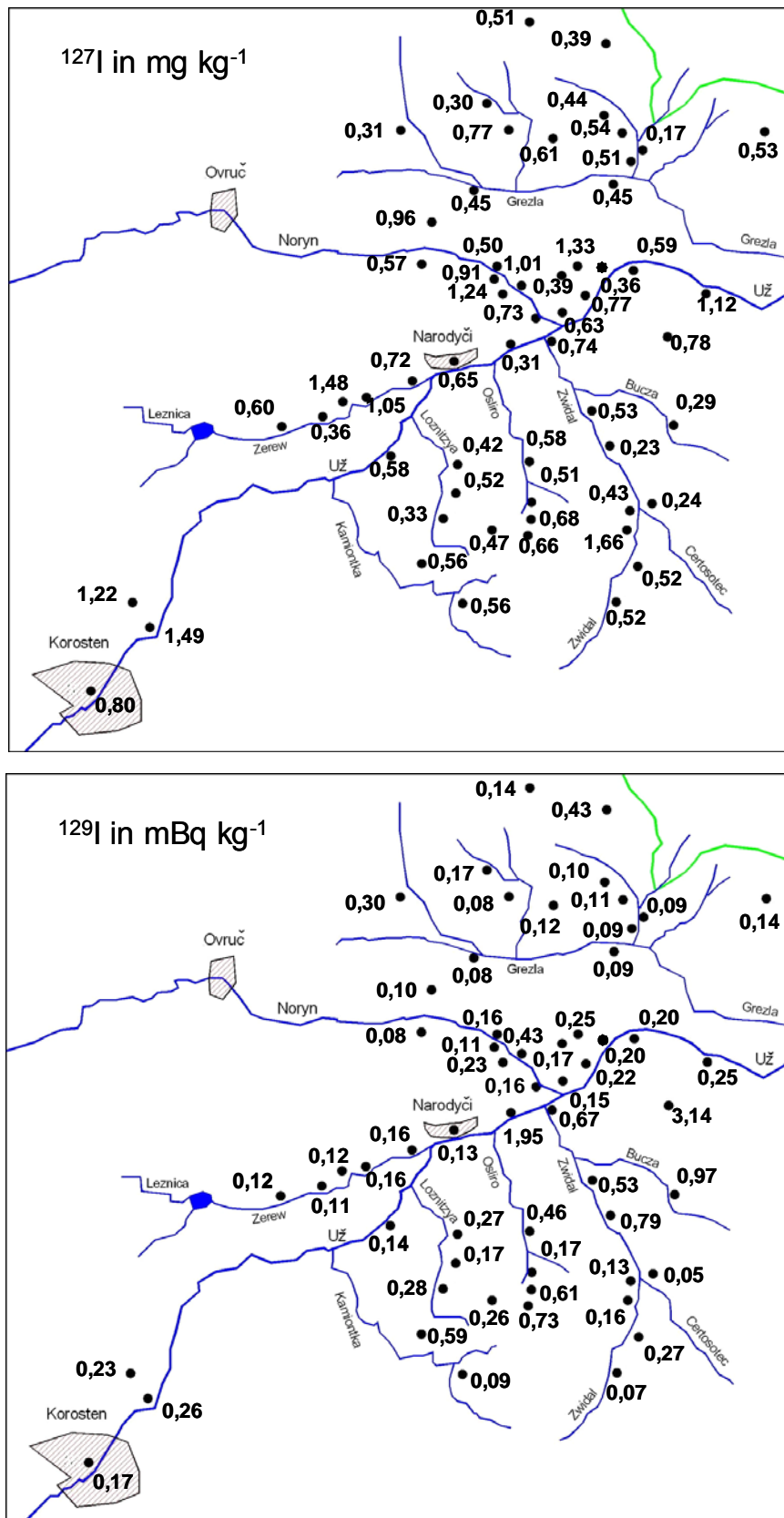
### 5.5.2. Bodenproben aus 62 Siedlungen der nördlichen Ukraine aus Kontaminationszone II und III

Die untersuchten Bodenproben aus der Nordukraine stammen aus der Kontaminationszone II und III, die ungefähr 50 km bis 100 km von Tschernobyl entfernt sind. In der Kontaminationszone II und III lagen die  $^{137}\text{Cs}$ -Depositionsdichte zwischen 1480 – 555  $\text{kBq m}^{-2}$  bzw. 555 – 185  $\text{kBq m}^{-2}$ . Die Bewohner der Kontaminationszone II wurden zwangsevakuiert und die der Kontaminationszone III freiwillig evakuiert. Tabelle A-5 (Teil 3 und 4 im Anhang, S. 165-166) zeigt das Datum der Evakuierung und die Einwohnerzahl der Orte. Die Evakuierung erfolgte in verschiedener Zeit, zwischen 1986 und 2004. In der Kontaminationszone III gab fast keine Evakuierung der Bewohner außer in Polis'ke und Rundnya Basars'ka in den Jahren 1990 und 1991. Ab Anfang Mai 1986 wurden die Personen, die in stark kontaminierte Orten in der Kontaminationszone II wohnten, evakuiert und zwar die aus den Orten Derkatschi, Wolodmiriwka, Nowe Scharno, Stare Scharno, Dowgij Lis, Omelniki, Motili und Polis'ke. Insgesamt wohnten 108 163 Personen in der Umgebung der untersuchten Böden. Davon sind nur 30 624 Personen der Kontaminationszone II sicher evakuiert worden. 5126 Personen in der Kontaminationszone III sind in ihren Häusern geblieben. Es gab keine Informationen von Verbleib der restlichen 72 413 Personen, die meistens in der Kontaminationszone III wohnten.

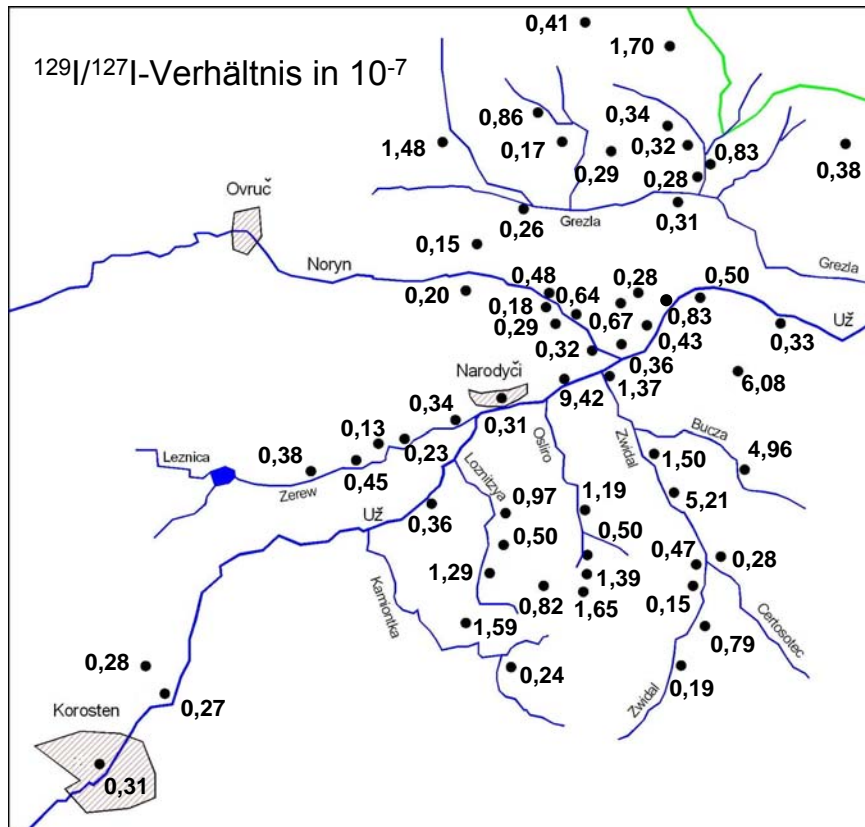
Auf der ukrainischen Karte wurden in Abbildung 5-25 bis 5-27 die  $^{137}\text{Cs}$ -,  $^{40}\text{K}$ -,  $^{129}\text{I}$ -Aktivität,  $^{127}\text{I}$ -Konzentration und  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse als geometrische Mittelwerte der fünf Bodenproben in den einzelnen Ortschaften dargestellt. Man beobachtet fast eine Homogenität der Verteilung von  $^{40}\text{K}$  und  $^{127}\text{I}$  sowohl in den einzelnen Ortschaften als auch in den gesamten untersuchten Orten. Ganz anders stellen sich  $^{137}\text{Cs}$  und  $^{129}\text{I}$  dar. Die  $^{137}\text{Cs}$ -Aktivitäten lagen in den beiden Kontaminationszonen II und III zwischen 10 und 20 582  $\text{Bq kg}^{-1}$ . Die  $^{40}\text{K}$ -Aktivitäten betragen von 19 bis 826  $\text{Bq kg}^{-1}$ . Die  $^{129}\text{I}$ -Aktivitäten variieren von 0,01 und 6,7  $\text{mBq kg}^{-1}$ . Die  $^{127}\text{I}$ -Konzentrationen schwanken zwischen 0,02  $\text{mg kg}^{-1}$  und 7,1  $\text{mg kg}^{-1}$ . Die  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse lagen zwischen  $1,51 \times 10^{-9}$  und  $1,15 \times 10^{-6}$ .



**Abb.5-25:** Geometrische Mittelwerte der 5 Bodenproben in den einzelnen Ortschaften aus der Ukraine für die  $^{137}\text{Cs}$ -Aktivitätskonzentrationen (oben) und für die  $^{40}\text{K}$ -Aktivitätskonzentrationen (unten).



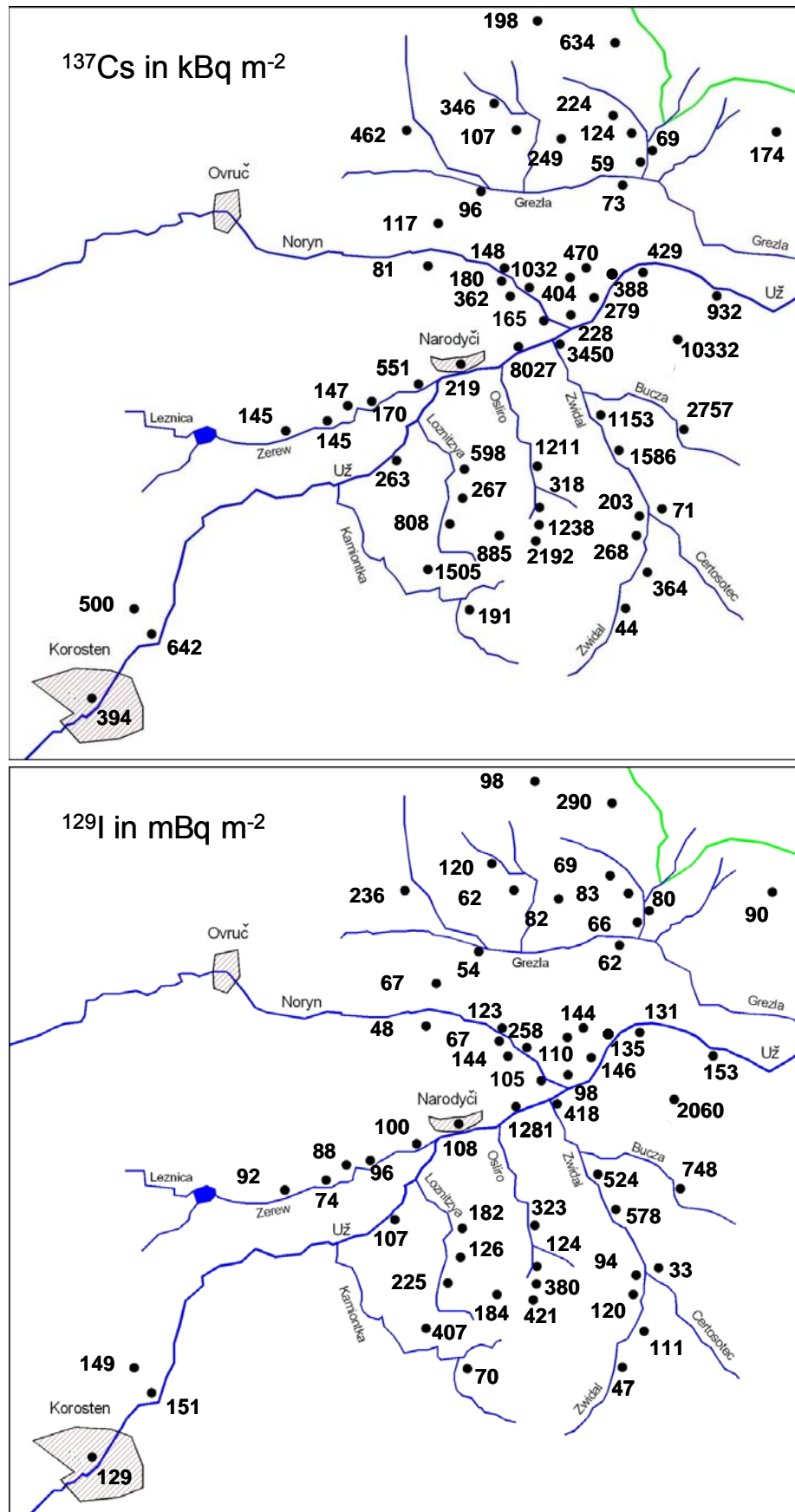
**Abb.5-26:** Geometrische Mittelwerte der 5 Bodenproben in den einzelnen Ortschaften der Ukraine für die  $^{129}\text{I}$ -Aktivitätskonzentrationen (oben) und für die  $^{127}\text{I}$ -Konzentrationen (unten).



**Abb.5-27:** Geometrische Mittelwerte der 5 Bodenproben in den einzelnen Ortschaften der Ukraine für die <sup>129</sup>I/<sup>127</sup>I-Isotopenverhältnisse.

Für die weitere Diskussion in dieser Arbeit wurden die oben angegebenen Daten für die Berechnung der Depositionsdichten benutzt. In Abbildung 5-28 sind die Daten jedes Orts dargestellt. Die einzelnen Ergebnisse für die 5 Bodenproben der Orte sind in Tabelle A6 im Anhang (S. 169 – 175) zusammengefasst.

In der Kontaminationszone II lagen die <sup>137</sup>Cs-Depositionsdichten des untersuchten Boden, bezogen auf 1986, zwischen 16 und 21 293 kBq m<sup>-2</sup>. Dieses Maximum der fünf Bodenproben in den einzelnen Ortschaften wurde in Wolodimiriwka mit Mittelwerten von (11 943 ± 6709) kBq m<sup>-2</sup> bzw. (10 332 × 1,9<sup>±1</sup>) kBq m<sup>-2</sup> als geometrischer Mittelwert gefunden. Rossochiws'ke zeigte das Minimum mit einem Wert von 16 kBq m<sup>-2</sup>, der Mittelwert dieses Ortes lag bei (466 ± 329) kBq m<sup>-2</sup> bzw. (262 × 5,1<sup>±1</sup>) kBq m<sup>-2</sup> als geometrischer Mittelwert.



**Abb.5-28:** Geometrischer Mittelwert der 5 Bodenproben in einzelnen Ortschaften der Ukraine für  $^{137}\text{Cs}$ - (Oben) und für  $^{129}\text{I}$ -Depositionsdichte (Unten).



In der Kontaminationszone III lagen die  $^{137}\text{Cs}$ -Depositionsdichten der untersuchten Böden, bezogen auf das Jahr 1986, zwischen 27 und 1300  $\text{kBq m}^{-2}$ . Dieses Maximum der fünf Bodenproben pro Ort wurde in Korosten mit einem Mittelwert von  $(681 \pm 79) \text{ kBq m}^{-2}$  bzw.  $(394 \times 3,3^{\pm 1}) \text{ kBq m}^{-2}$  als geometrischer Mittelwert gemessen. Lataschi zeigte das Minimum ( $27 \text{ kBq m}^{-2}$ ). Der Mittelwert dieses Ortes lag bei  $(108 \pm 56) \text{ kBq m}^{-2}$  ( $81 \times 2,9^{\pm 1}$  als geometrischem Mittelwert). Hier sieht man ganz deutlich die Inhomogenität der Kontamination in den jeweiligen Ortschaften.

In der Kontaminationszone II lagen die  $^{129}\text{I}$ -Depositionsdichte zwischen 9  $\text{mBq m}^{-2}$  und 4409  $\text{mBq m}^{-2}$ . Sie sind bis zu 6mal größer als die in der Kontaminationszone III. In Wolodimiriwka findet man das Maximum der Kontamination von  $^{129}\text{I}$ , wie auch für die Kontamination von  $^{137}\text{Cs}$ . Der entsprechende Wert lag bei 4409  $\text{mBq m}^{-2}$ . Der niedrigste Wert der  $^{129}\text{I}$ -Depositionsdichte wurde mit 9  $\text{mBq m}^{-2}$  in Korosten gefunden. Diese große Variabilität ist darauf zurückzuführen, dass es keine einheitliche atmosphärische Ausbreitung sowohl von  $^{129}\text{I}$  als auch von  $^{137}\text{Cs}$  gab. Im Gegensatz zu den  $^{129}\text{I}$ -Depositionsdichten sind die  $^{127}\text{I}$ -Depositionsdichten auf der gesamten Fläche des gleichen Orts fast homogen. Man findet als Minimum 12  $\text{mg m}^{-2}$  und als Maximum 4994  $\text{mg m}^{-2}$ . Die  $^{127}\text{I}$ -Depositionsdichte in der Kontaminationszone III war bis zu 1,7mal geringer als die in der Kontaminationszone II.

Wenn man die  $^{137}\text{Cs}$ - und den  $^{129}\text{I}$ - Depositionsdichten der 310 Bodenproben vergleicht, findet man eine positive Korrelation mit einem Korrelationskoeffizienten von 0,88 (Abbildung 5-29). In Abbildung 5-30 wurden die geometrischen Mittelwerte und die geometrische Standardabweichung der  $^{137}\text{Cs}$ - und  $^{129}\text{I}$ -Depositionsdichte von jeweils 5 Bodenproben in den einzelnen Ortschaften dargestellt. Der Korrelationskoeffizient zwischen  $^{137}\text{Cs}$  und  $^{129}\text{I}$  lag bei 0,95. Die Steigung, das heißt  $^{129}\text{I}/^{137}\text{Cs}$ , betrug  $2,81 \times 10^{-7}$ . Dieser Wert stimmt mit dem Wert  $2,75 \times 10^{-7}$  überein, der in der Arbeit von Mironov (2002) als  $^{129}\text{I}/^{137}\text{Cs}$  zum Zeitpunkt der Explosion des Tschernobyl-Reaktors berechnet wurde [Mironov et al., 2002].

Abbildung 5-31 (S. 117) zeigt die Häufigkeiten der geometrischen Standardabweichungen der  $^{137}\text{Cs}$ - bzw.  $^{129}\text{I}$ -Aktivitätskonzentrationen der jeweils 5 Bodenproben in den einzelnen Ortschaften. So findet man, dass die Häufigkeiten der Standardabweichung von  $^{137}\text{Cs}$  der 33 Orte unter 2, der 17 Orte unter 3 und in den restlichen 62 Orten bis zu 6 lagen. Das bedeutet, dass  $^{137}\text{Cs}$ -Verteilung in jeder einzelnen Ortschaft nicht homogen ist. Dagegen zeigen die Ergebnisse von  $^{129}\text{I}$  eine bessere

homogene Verteilung in den einzelnen Ortschaften. Die Häufigkeiten der Standardabweichung von  $^{129}\text{I}$  lagen für 40 Orte unter 2, bei 18 Orten unter 3 und bei 4 Orten bis zu 4,5. Insgesamt sind die Häufigkeiten der entsprechenden geometrischen Standardabweichung der  $^{137}\text{Cs}$ -Aktivitätskonzentrationen deutlich höher als die für  $^{129}\text{I}$ . Daher ist für die retrospektive Dosimetrie auf die  $^{129}\text{I}$ -Daten zurückzugreifen.

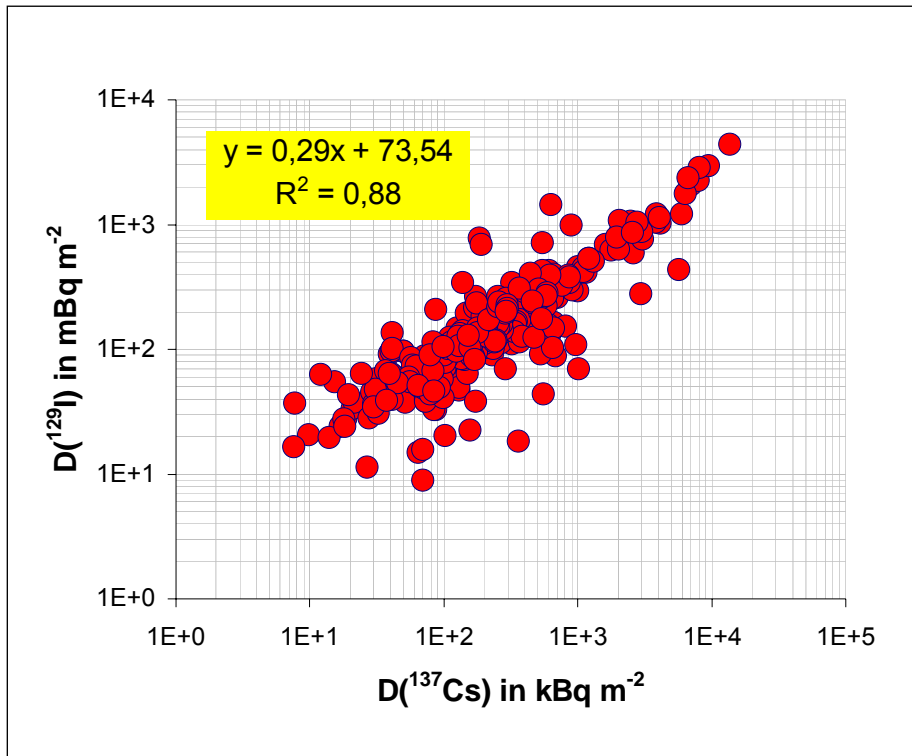


Abb.5-29: Depositionsdichte von  $^{137}\text{Cs}$  und  $^{129}\text{I}$  in 310 Böden aus Ukraine.

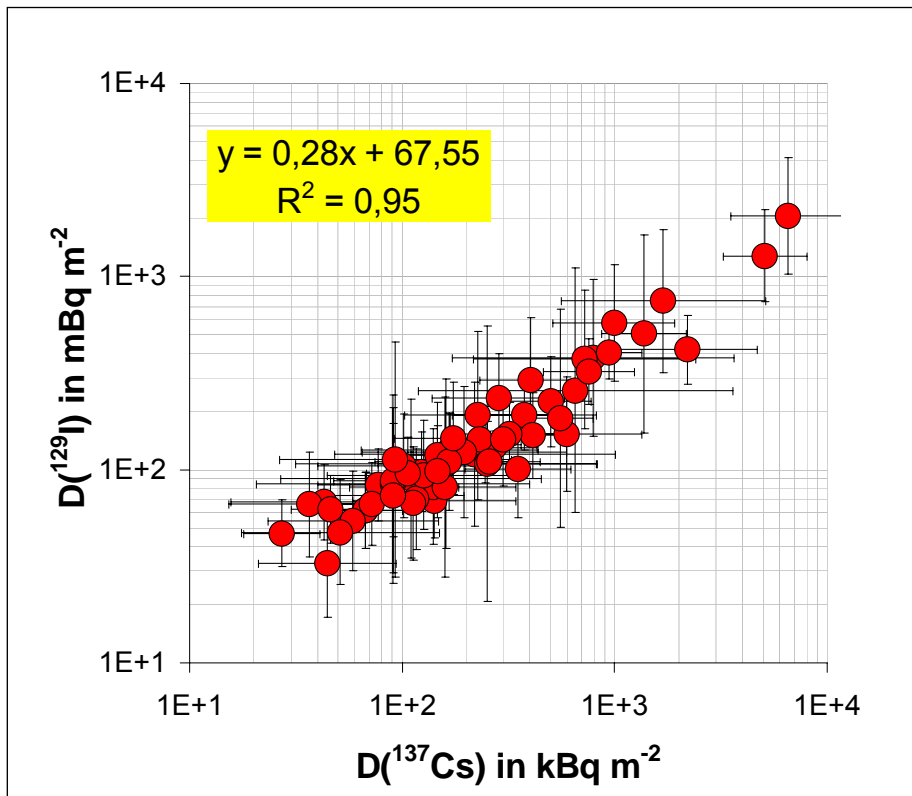
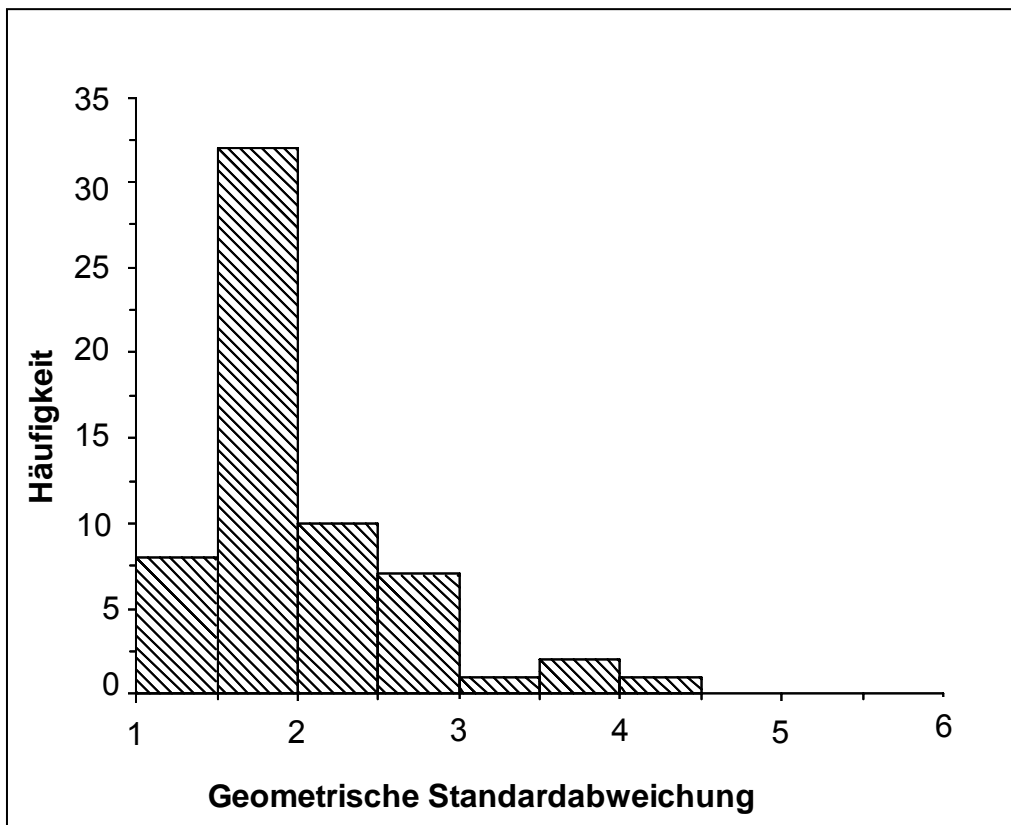
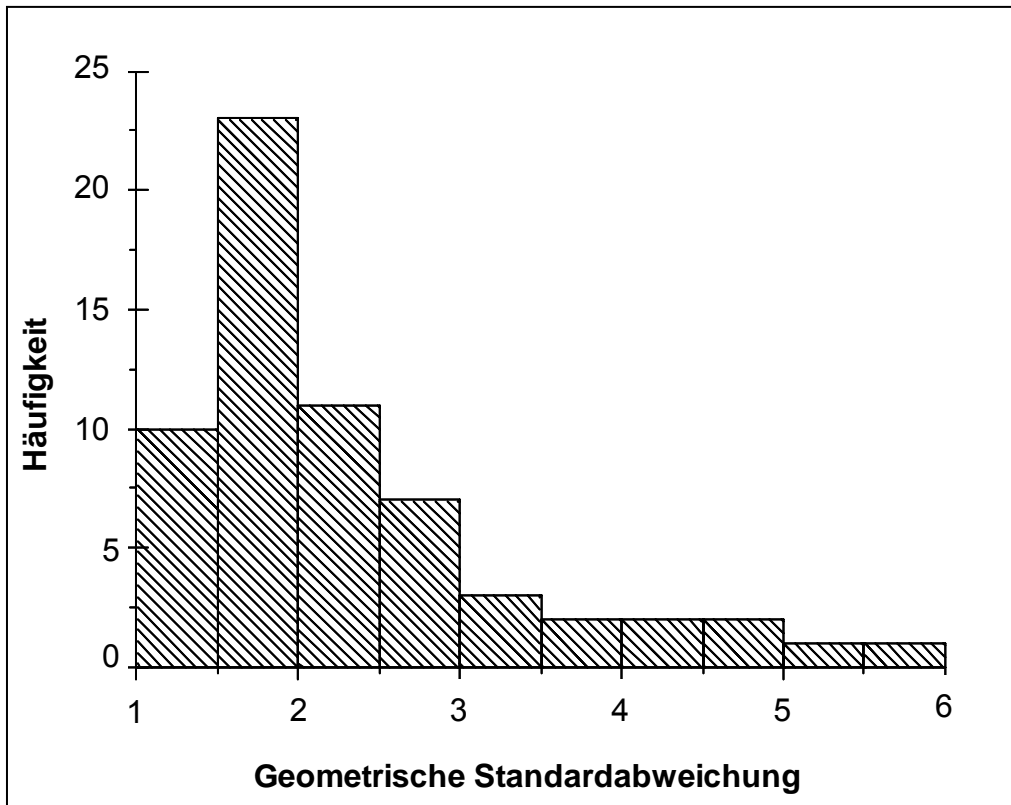


Abb.5-30: Depositionsdichte von  $^{137}\text{Cs}$  und  $^{129}\text{I}$  in 62 Orten aus Ukraine.

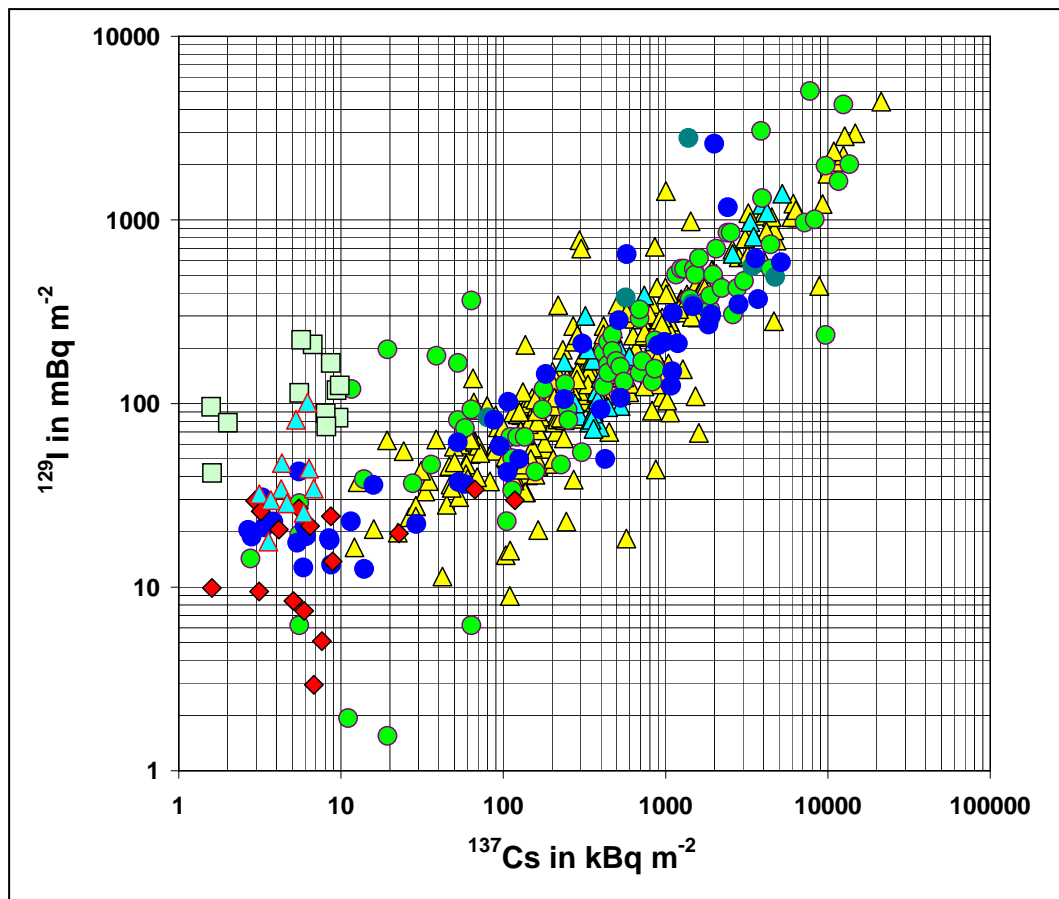


**Abb.5-31:** Häufigkeiten der geometrischen Standardabweichungen der jeweils 5 Bödenproben in der einzelnen Ortschaft für  $^{137}\text{Cs}$  (oben) und  $^{129}\text{I}$  (unten).

### 5.5.3. Vergleich diese Arbeit mit andern Arbeiten

In Abbildung 5-32 sind die Daten dieser Arbeit und andern Arbeiten von verschiedenen Orten (Ukraine, Weißrussland, Kasachistan und Polen) verglichen.

Michel und Mitarbeiter (2005) untersuchten 48 Bodenprofile bis zu einer Tiefe von 40 cm, die in Russland und der Ukraine in den Jahren 1995 and 1997 entnommen wurden [Michel et al., 2005]. Mironov (2002) und Straume (1996 und 2006) analysierten Bodenproben aus Weißrussland [Mironov et al., 2002; Straume et al., 1996 und 2006], Pietrzak-Flis und Mitarbeiter (2003) entnahmen die Bodenproben aus Polen [Pietrzak-Flis et al., 2003]. Endo und Mitarbeiter (2005) untersuchten die Böden aus Dolon, einem Dorf nahe dem Nuklearwaffentestgebiet von Semipalatinsk in Kasachstan [Endo et al., 2008].



**Abb.5-32:** Depositionsdichten von  $^{137}\text{Cs}$  und  $^{129}\text{I}$  in verschiedenen Orten.

Das Ziel dieser Arbeiten war die Möglichkeit der retrospektiven Dosimetrie von  $^{131}\text{I}$  mittels  $^{129}\text{I}$ - oder  $^{137}\text{Cs}$ -Depositionsdichte nach dem Unfall von Tschernobyl. Endo und Mitarbeiter (2000) haben die retrospektive Dosimetrie von  $^{131}\text{I}$  mittels  $^{129}\text{I}$ -Depositionsdichte nach den 450 Atomwaffentest, die zwischen 1949 und 1989 durch die Sowjetunion gezündet wurden, durchgeführt [Endo et al., 2008].

Die Proben, die aus der Umgebung von Tschernobyl in Ukraine, Weißrussland und Polen stammen, zeigen fast gleiche Steigung der  $^{129}\text{I}$ - und  $^{137}\text{Cs}$ -Depositionsdichte. Das bedeute, dass die  $^{129}\text{I}$ - und  $^{137}\text{Cs}$ -Kontaminationen in diesen Orten gleiche Quellen haben und zwar den Unfall von Tschernobyl. Im Gegensatz dazu zeigen die Proben aus Kazakhstan große Variabilität zwischen  $^{129}\text{I}$  und  $^{137}\text{Cs}$ . Endo und Mitarbeiter zeigten, dass  $^{129}\text{I}$  und  $^{137}\text{Cs}$  aus der Spaltung von  $^{239}\text{Pu}$  und damit von den Kernwaffentests stammt [Endo et al., 2000].

### 5.6. Retrospektive Dosimetrie von $^{131}\text{I}$ -Depositionen

Für die Berechnung der Dosimetrie von  $^{131}\text{I}$  in den Schilddrüsen benutzt man zwei Methoden. Entweder eine sofortige direkte Messung des  $^{131}\text{I}$  in den Schilddrüsen der betroffenen Personen oder durch indirekte Messung der  $^{129}\text{I}$ - oder  $^{137}\text{Cs}$ -Depositionsdichten in der Umgebung des Reaktorunfalls von Tschernobyl. Die retrospektive Dosimetrie ist besonders gut in den mittel- und hochkontaminierten Zonen II und III durchführbar. In der Kontaminationszone IV kann man diese Methode nicht nutzen, weil diese Zone nur leicht kontaminiert wurde und der Eintrag an unfallbedingte  $^{129}\text{I}$  in gleicher Größenordnung oder geringer ist als die Prä-Tschernobyl  $^{129}\text{I}$ -Depositionsdichte.

Für die indirekte Messung der  $^{131}\text{I}$ -Depositionsdichte benutzt man das mathematische Model von Gleichung 18. Diese Gleichung hat viele Parameter, die durch Modellierung berechnet wurden, und sie haben einen großen Einfluss auf die Ergebnisse. In dieser Arbeit wurde nicht jeder Parameter berechnet, sondern die entsprechenden Werte der Literatur entnommen. So wurden die aggregierte Dosiskoeffizienten von Pietrzak-Flis (2003) für die Berechnung  $^{131}\text{I}$ -Schilddrüsendosen mittels  $^{129}\text{I}$ -Depositionsdichte benutzt. Diese aggregierte Dosiskoeffizienten sind abhängig vom Alter und betragen für 5-jährige Kinder  $2,47 \times 10^{-7} \text{ Sv Bq}^{-1} \text{ m}^2$ , für 10-jährige Kinder

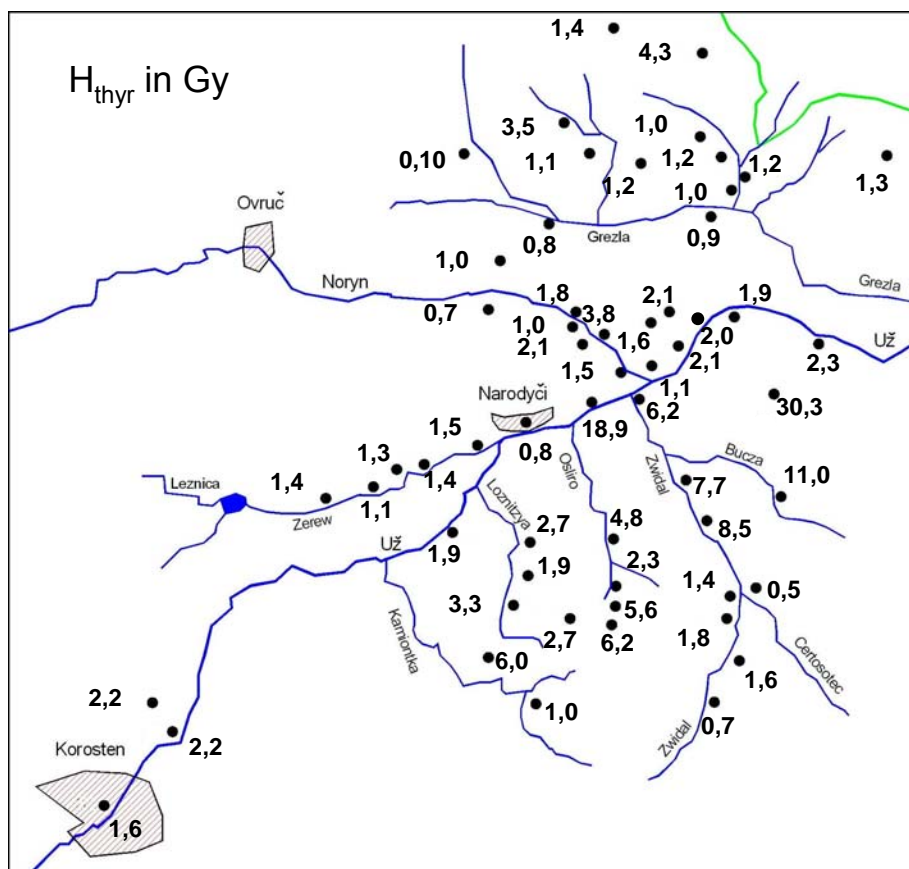
$1,67 \times 10^{-7} \text{ Sv Bq}^{-1} \text{ m}^2$  und für Erwachsene  $5,92 \times 10^{-8} \text{ Sv Bq}^{-1} \text{ m}^2$  [Pietrzak-Flis et al., 2003; Michel et al., 2005].

Für die Berechnung  $^{131}\text{I}$ -Schilddrüsendosen mittels  $^{137}\text{Cs}$ -Depositionsdichten wurden die Dosiskoeffizienten von Kruck benutzt. Sie betragen 3,6; 2,3 und  $1,5 \text{ Sv MBq}^{-1} \text{ m}^2$  für die Gruppen der 5- und 10-jährigen Kinder und Erwachsene [Kruck et al., 2004].

Die aggregierte Dosiskoeffizienten bei Kindern sind größer als die bei Erwachsenen und nahmen auch mit steigendem Alter ab, weil Kinder und ebenso wie Heranwachsende also sehr sensibel auf Strahlung reagieren.

### 5.6.1. $^{131}\text{I}$ -Schilddrüsendosen mit $^{131}\text{I}$ -Depositionsdichte aus Messungen der $^{129}\text{I}$ -Depositionsdichte

In Abbildung 5-33 wurden die berechneten, durch  $^{131}\text{I}$  verursachten Schilddrüsendosen für 5-jährige Kinder dargestellt. Für die 10-jährige Kinder und Erwachsene sind die Schilddrüsendosen in Tabelle A7 im Anhang (S. 176 - 178) angegeben.



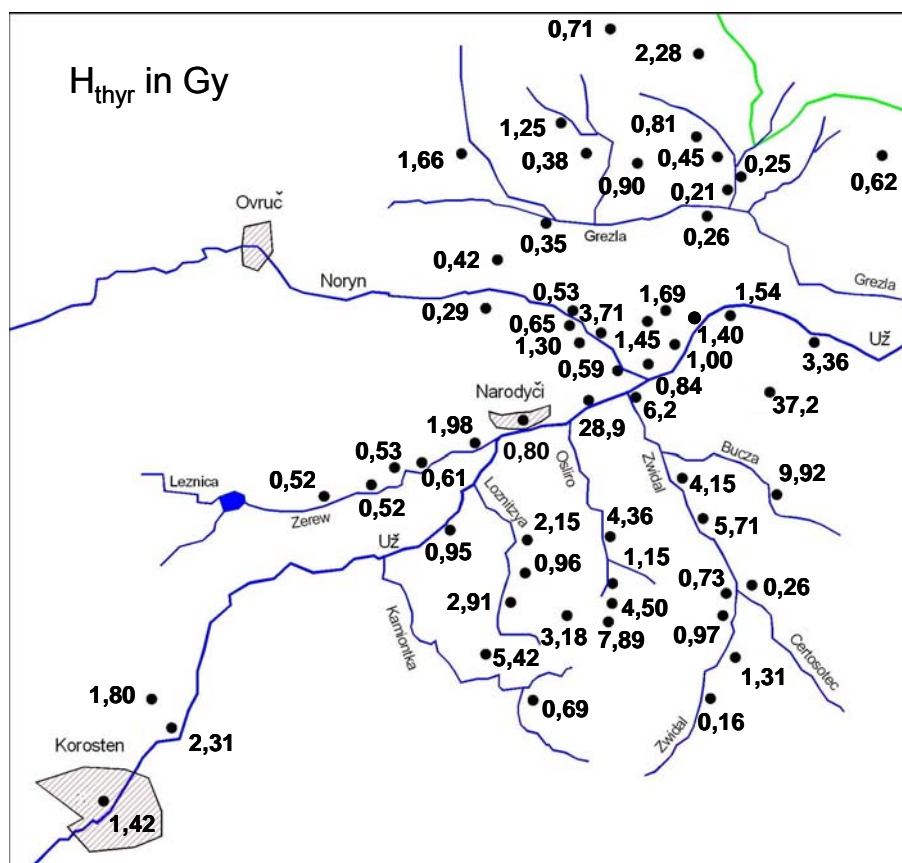
**Abb.5-33:** Berechnete Schilddrüsendosen durch  $^{131}\text{I}$  mittels  $^{129}\text{I}$ -Depositionsdichte für 5-jährige Kinder

In den 35 Orten der Kontaminationszone II wurde eine mittlere Schilddrüsenedosis von  $(1,9 \times 3,2^{\pm 1})$  Gy für 5-Jährige Kinder errechnet (0,12 bis 30 Gy). Für Erwachsene lagen die mittleren Schilddrüsenedosen dort bei  $(0,45 \times 3,2^{\pm 1})$  Gy (0,03 bis 7 Gy).

In den 25 Orten der Kontaminationszone III berechneten sich die mittleren Schilddrüsenedosen zu  $(0,75 \times 1,9^{\pm 1})$  Gy für 5-jährige Kinder (0,22 bis 2 Gy). Für Erwachsene lagen die mittleren Schilddrüsenedosen bei  $(0,18 \times 1,9^{\pm 1})$  Gy (0,05 bis 0,4 Gy).

### 5.6.2. $^{131}\text{I}$ -Schilddrüsenedosen aus $^{131}\text{I}$ -Depositionsdichte aus Messungen der $^{137}\text{Cs}$ -Depositionsdichte

In Abbildung 5-34 wurden die durch  $^{131}\text{I}$  verursachten berechneten Schilddrüsenedosen für 5-jährige Kinder dargestellt. Für die 10-jährige Kinder und Erwachsene sind die Schilddrüsenedosen in Tabelle A7 im Anhang (S. 176 - 178) angegeben.



**Abb.5-34:** Berechnete Schilddrüsenedosen durch  $^{131}\text{I}$  mittels  $^{137}\text{Cs}$ -Depositionsdichte für 5-jährige Kinder

In den 35 Orten der Kontaminationszone II wurde eine mittlere Schilddrüsenedosis von  $(2,0 \times 3,2^{\pm 1})$  Gy für 5-Jährige Kinder errechnet (0,26 bis 38 Gy). Für Erwachsene



lagen die mittleren Schilddrüsendosen bei  $(0,83 \times 3,2^{\pm 1})$  Gy (0,11 bis 16 Gy). In den 25 Orten der Kontaminationszone III berechneten sich die mittleren Schilddrüsendosen bei  $(0,64 \times 2,2^{\pm 1})$  Gy für 5-jährige Kinder (0,16 bis 3 Gy). Die Berechnung für Erwachsene ergaben die mittleren Schilddrüsendosen von  $(0,27 \times 2,2^{\pm 1})$  Gy (0,07 bis 1 Gy).

### 5.6.3. Vergleich der beide Methoden

Abbildung 5-35 gibt einen Überblick über die Korrelationskoeffizienten zwischen den Schilddrüsendosen, die nach den beiden Methoden bestimmt wurden. Es sind die berechneten Schilddrüsendosen durch  $^{131}\text{I}$  mittels  $^{137}\text{Cs}$ -Depositionsdichte gegen die mittels  $^{129}\text{I}$ -Depositionsdichte als geometrische Mittelwerte der einzelnen Orte aufgetragen. Die geometrischen Standardabweichungen der Schilddrüsendosen durch  $^{131}\text{I}$  liegen für  $^{137}\text{Cs}$ -Depositionsdichte zwischen 1,1 und 5,5 und für  $^{129}\text{I}$ -Depositionsdichte zwischen 1,1 und 4,3. Die eingezeichnete Gerade mit Steigung eins ist die Ortlinie gleicher Schilddrüsendosis für die beiden Methoden. Man beobachtet, dass die berechnete Schilddrüsendosen für die beide Methoden nur ab 2 Gy gleiche Werte haben.

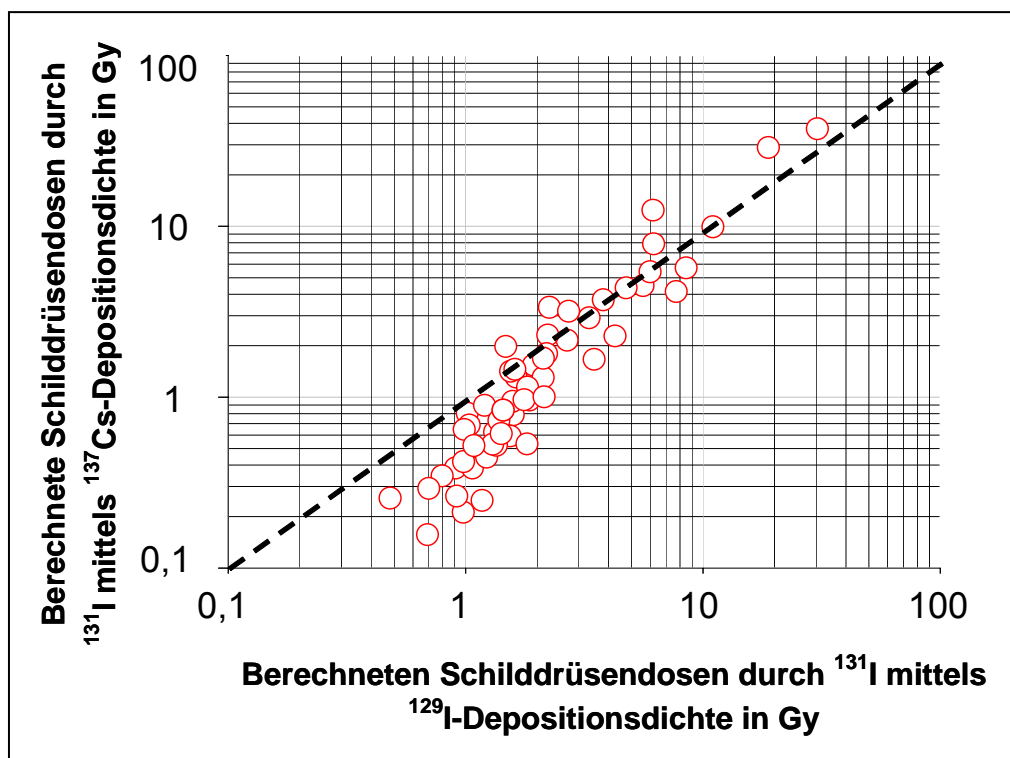


Abb.5-35: Berechnete Schilddrüsendosen durch  $^{131}\text{I}$  für 5-jährige Kinder

Für die mehr als 80 % der Orte, in der die berechneten Schilddrüsensdosen kleiner als 2 Gy sind, sind die mittels  $^{129}\text{I}$ -Depositionsdichten berechneten Schilddrüsensdosen bis zu 5mal höher als die mittels  $^{137}\text{Cs}$ -Depositionsdichte ermittelten. Abbildung 5-35 lässt erkennen, dass teilweise signifikante Unterschiede zwischen den mittels  $^{137}\text{Cs}$ - und  $^{129}\text{I}$ -Depositionsdichten berechneten Schilddrüsensdosen existieren. Die Ursache dafür ist nicht nur die unterschiedliche atmosphärische Ausbreitung von  $^{129}\text{I}$  und  $^{137}\text{Cs}$ , sondern auch die Benutzung verschiedener radioökologischer Modelle, die unterschiedliche Dosiskoeffizienten haben (Siehe Abschnitt 5.6).

#### 5.6.4. Vergleich von berechneten und gemessenen Schilddrüsensdosen

Um die Daten dieser Arbeit mit gemessenen Ergebnissen zu vergleichen, wurden die „Rohdaten“, die aus der Ukraine bekommen haben (private Kommunikation mit P. Jacob), weiter berechnet. Dafür benutzt man Gleichung 23 [Likhtarev et al., 1994]:

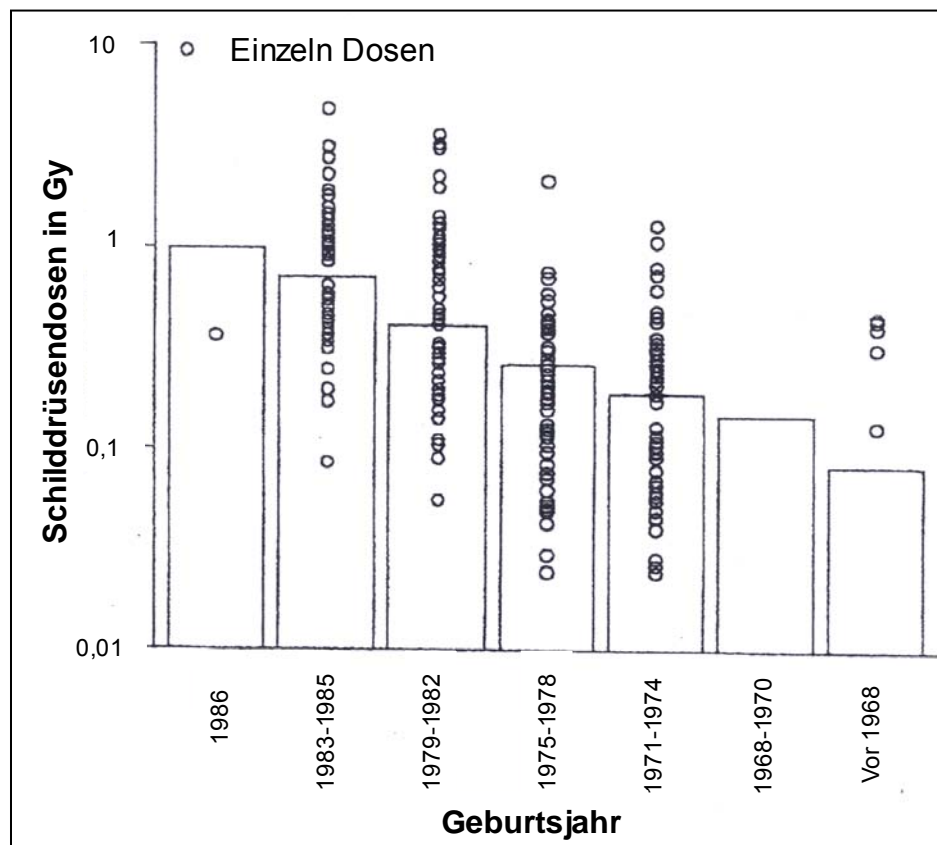
$$D = \frac{E}{m} Q \quad \text{Gl. 23}$$

Dabei ist  $D$  die Schilddrüsensdose in Gy.  $E$  ist die Energie der Spaltung von  $^{131}\text{I}$  in  $\text{J decay}^{-1}$  und entspricht  $3,68 \cdot 10^{-14}$ .  $Q$  ist die zeitintegrierte  $^{131}\text{I}$ -Aktivität in der Schilddrüse in  $\text{Bq s}$ . Mit  $m$  wird die Masse der Schilddrüse in kg bezeichnet. Sie hängt vom Alter der untersuchten Personen ab. Das Schilddrüsenmasse liegt bei 3,45 g für die 5-Jährige Kinder, bei 7,93 g für die 10-Jährige Kinder und bei 20 g für Erwachsene [ICPR, 1989].

Die gesamten Daten finden sich in Tabelle A5-A im Anhang (S. 163 – 164). In den Abbildungen 5-37; 5-38 und 5-39 sind die mittels der  $^{129}\text{I}$ -Depositionsdichten berechneten Schilddrüsensdosen (im Folgenden: berechnete Schilddrüsensdosen) gegen die aus gemessenen Schilddrüsenaktivitäten berechneten Schilddrüsensdosen (im Folgenden: gemessene Schilddrüsensdosen) für 5-, 10-Jährige Kinder und Erwachsene dargestellt.

Die eingezeichneten Geraden gleicher Schilddrüsensdosen zeigen deutlich, dass die berechneten Dosen für 5-jährige Kinder als untere Grenze der tatsächlichen Schilddrüsensdosen angesehen werden müssen. Für 10-Jährige Kinder und Erwachsene lie-

gen die berechneten Schilddrüsendosen im Bereich der gemessenen, wobei allerdings eine deutliche Tendenz zu höheren gemessenen Schilddrüsendosen besteht. Insgesamt ist die Variabilität der Daten hoch. Dies deckt sich mit Beobachtungen von Likhtarev (Abb.5-36), der die individuellen Schilddrüsendosen im Ort Rudka mit Modellrechnungen [ECOSYS-87; Müller und Pröhl, 1993] verglichen hat.



**Abb.5. 36:** Geschätzte Messungen von einzeln Schilddrüsendosen und berechneten mittleren Dosen (Histogramm) für die ukrainischen Dorf Rudka [Likhtarev et al., 1994].

Man muss bei gegebener Fallout-Situation davon ausgehen, dass die radioökologischen Gegebenheiten hohen Einfluss auf die Dosiskoeffizienten haben.

Relevante Parameter sind hier u.a. die Versorgung mit Trinkwasser über Brunnen-, Zisternen- oder Flusswasser, die Verfügbarkeit und der tatsächliche Verzehr von Blattgemüse im fraglichen Zeitraum sowie der Weidezustand von Milchkühen und Ziegen und die Verzehrsmengen der Milch. Eine weitergehende Untersuchung der resultierenden Dosiskoeffizienten würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen.

Hier werden stattdessen lediglich einige empirische Ansätze in der Diskussion verfolgt. Die drei Abbildungen 5-37; 5-38 und 5-39 zeigen drei Kategorien von Korrelationen zwischen gemessenen und berechneten Schilddrüsendosen. In der ersten Kategorie beobachtet man, dass 25 % der Orte eine gute Überstimmung der berechneten Schilddrüsendosen für 5-jährige Kinder aus dieser Arbeit mit den gemessenen Schilddrüsendosen haben (Abbildung 5-37, rote Punkte). In einer zweiten Kategorie sieht man, dass die gemessenen Schilddrüsendosen von 1,2- bis zu 2,7-mal höher als die berechneten Schilddrüsendosen für 45 % Orte sind (Abbildung 5-37; blaue Punkte). 30 % der Orte der dritten Kategorie zeigen sogar 3,4- bis 7,8-fach höhere gemessene Schilddrüsendosen gegenüber den berechneten Schilddrüsendosen (Abbildung 5-37; grüne Punkte).

Für 10-jährige Kinder findet man in der ersten Kategorie eine Steigung der berechneten Schilddrüsendosen gegen die gemessenen Schilddrüsendosen von 1,25 zu 1,49 bei gleichen Orten (Abbildung 5-37 und 5-38; rote Punkte), von 0,73 zu 1,13 (Abbildungen 5-37 und 5-38; blaue Punkte) und von 0,20 zu 0,31 (Abbildungen 5-37 und 5-38; grüne Punkte). Für die Erwachsene findet man auch bei der ersten Kategorie eine Steigung der berechneten Schilddrüsendosen gegen die gemessenen Schilddrüsendosen von 1,25 zu 1,74 bei gleichen Orten (Abbildungen 5-37 und 5-39; rote Punkte), von 0,73 zu 1,02 (Abbildungen 5-37 und 5-39; blaue Punkte) und von 0,20 zu 0,27 (Abbildungen 5-37 und 5-39; grüne Punkte).

Um diese verschiedenen Ergebnisse zu erklären, wurde auch die Entfernung der Orte von Tschernobyl beobachtet. Es wurde aber keine systematische Beziehung zwischen diesen drei Kategorien der Orte mit ihrer Entfernung von Tschernobyl gefunden. Andererseits sind die berechneten Schilddrüsendosen eher unterschätzend. Weil die Gleichung der Berechnung viele Parameter aufweist, die nicht unbedingt als konstant angesehen werden können, in dieser Arbeit aber als konstant angenommen wurden. Aus diesem Grund sollte man auch diese Parameter noch näher untersuchen.

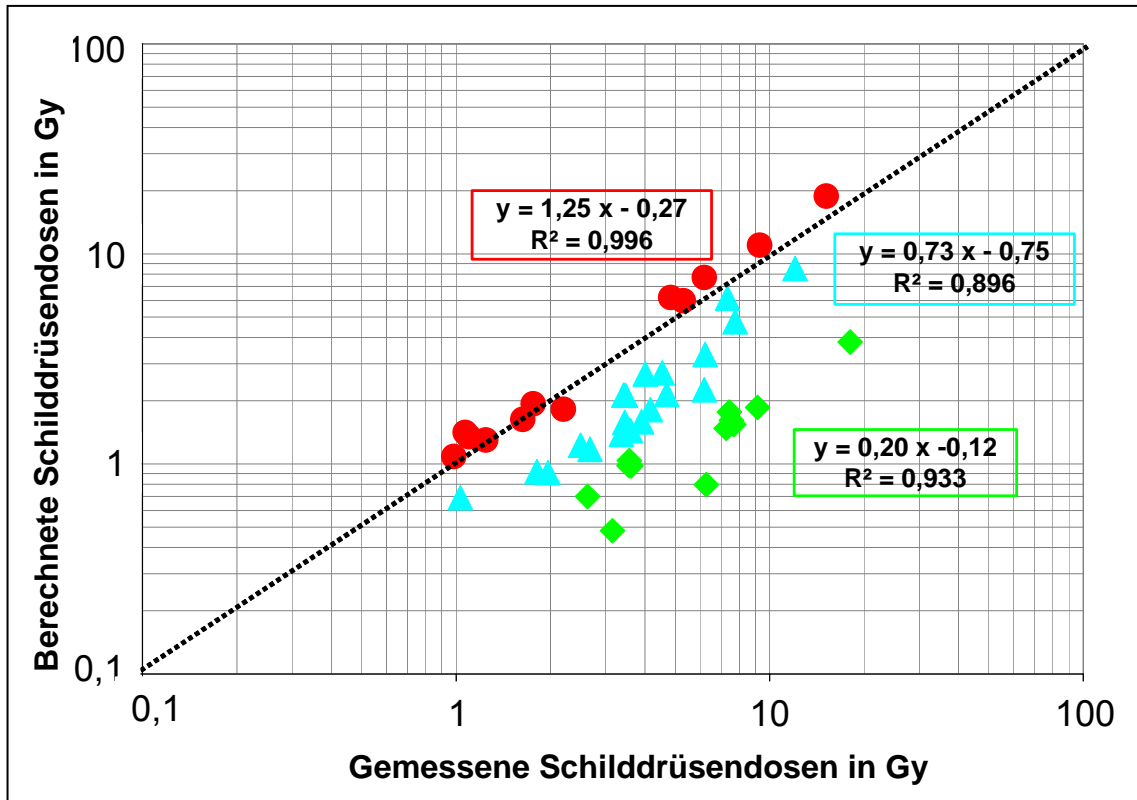


Abb.5-37: Gemessene und berechnete Schilddrüsendosen durch  $^{131}\text{I}$  für 5-jährige Kinder.

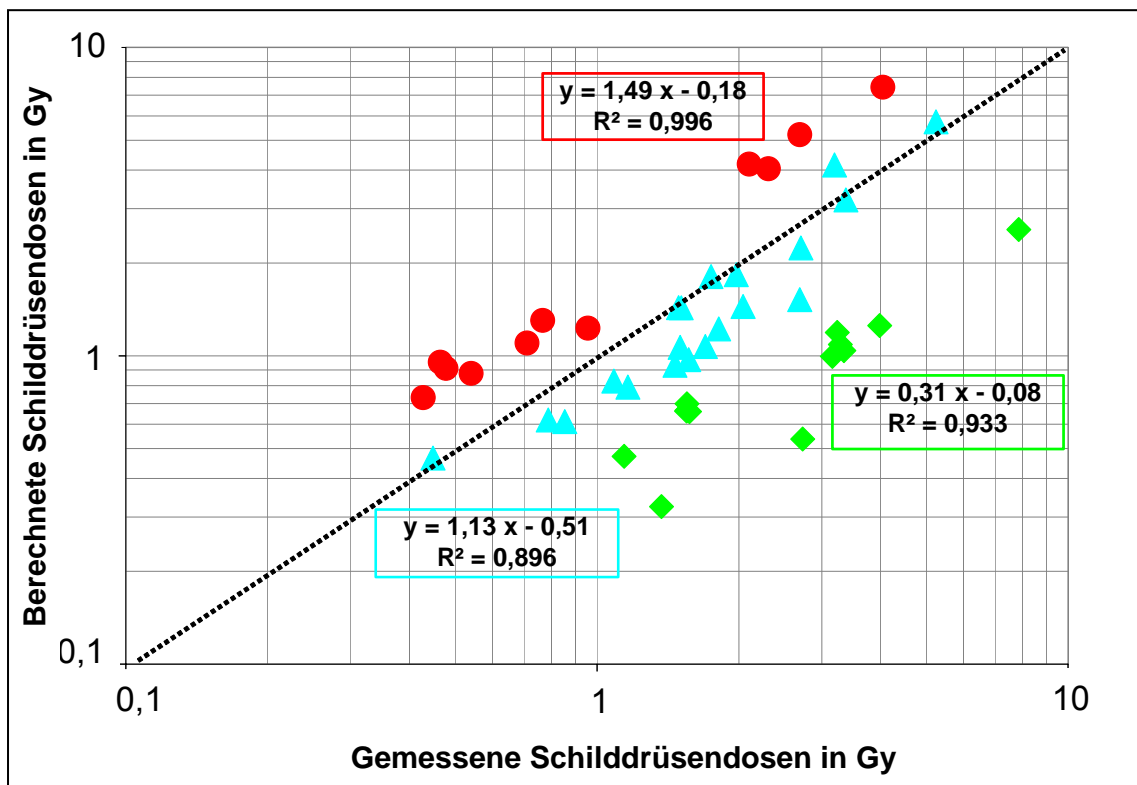


Abb.5-38: Gemessene und berechnete Schilddrüsendosen durch  $^{131}\text{I}$  für 10-jährige Kinder.

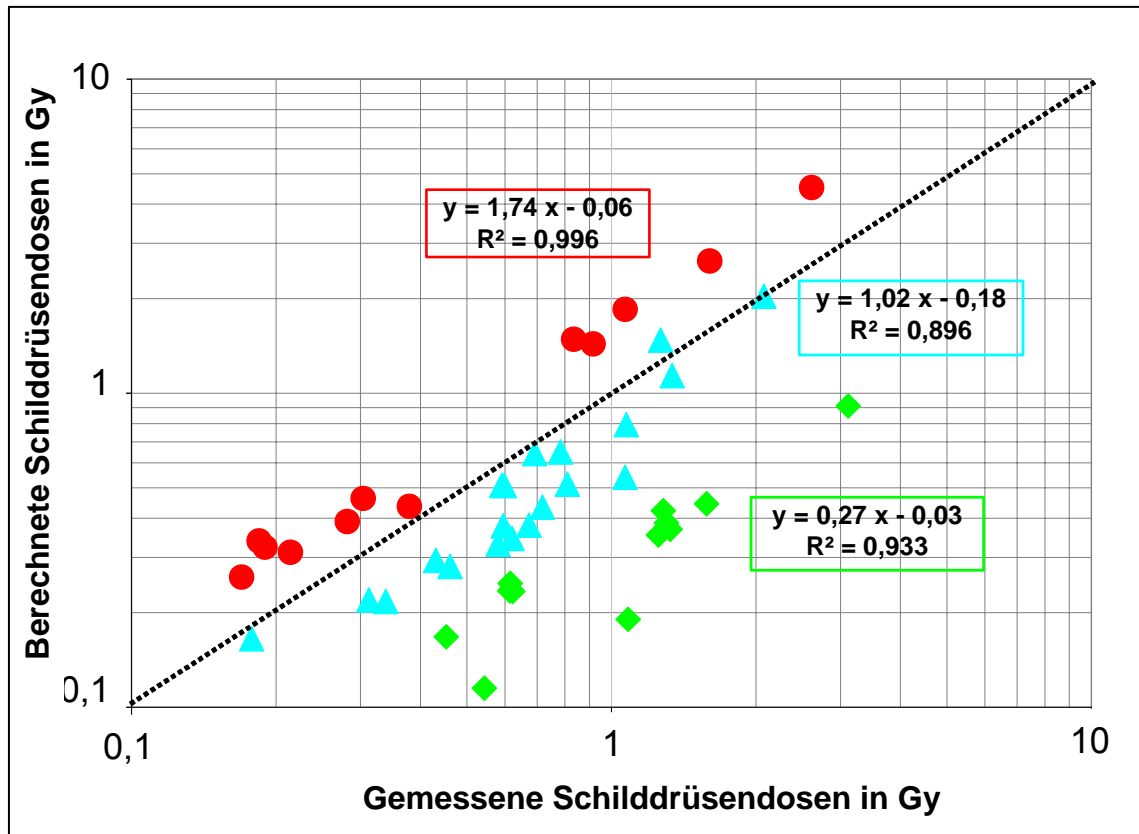


Abb.5-39: Gemessene und berechnete Schilddrüsendosen durch  $^{131}\text{I}$  für Erwachsene.

## 5.7. Exotische Proben

### 5.7.1. Rezente Proben weitab von Emittenten

In Tabelle 5-11 wurden die Ergebnisse der Wasserproben aus verschiedenen Ozeanen und Lehmziegel aus Ägypten zusammengefasst.

Die  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse sind ebenfalls im Arktischen Ozean bei „Spitzbergen“ um den Faktor 2 größer als das Oberflächenwasser in Ägypten oder das Meerwasser im Mittelmeer, im Indischen und Pazifischen Ozean. Diese Erhöhung der  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse bzw. der  $^{129}\text{I}$ -Konzentrationen könnte durch den direkten Einfluss der Wiederaufarbeitungsanlage Sellafield und La Hague erklärt werden.

Die unterschiedlichen  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse im Pazifischen Ozean, in Hawaii mit einem Wert von  $159 \times 10^{-12}$  und Tahiti mit einer Wert von  $371 \times 10^{-12}$ , sind nicht nur durch die  $^{129}\text{I}$ -Konzentrationen zu erklären, sondern auch durch die unterschiedlichen  $^{127}\text{I}$ -Konzentrationen in diesen Proben. Die  $^{127}\text{I}$ -Konzentration in Hawaii liegt bei  $49 \text{ ng g}^{-1}$  und ist damit bis zu 4mal höher als die in Tahiti. Der Grund dafür könnte sein, dass die Probe aus Tahiti vom Strand entnommen wurde.

Safi Ägypten ist ein Mineralwasser, das als ohne chemische Bearbeitung in Flaschen gefüllt wird, die frei verkäuflich sind. Es zeigt niedrige Werte von  $^{127}\text{I}$  und  $^{129}\text{I}$ . Sein  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnis mit einem Wert von  $166 \times 10^{-12}$  ist kleiner als Nil Wasser ( $786 \times 10^{-12}$ ), aber größer als natürliches Isotopenverhältnis ( $2 \times 10^{-13}$ ). Daher kann man vermuten, dass dieses Wasser durch Kontakt zum Oberflächenwasser leicht kontaminiert ist. Die  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse der Lehmziegel haben einen Mittelwert von  $22 \times 10^{-12}$  und die  $^{129}\text{I}$ -Konzentrationen liegen bei  $55 \text{ fg kg}^{-1}$ . Diese Werte sind signifikant niedriger als in den Böden in der nördlichen Hemisphäre, aber wesentlich höher als die von Böden des chilenischen Festlandes und von der Osterinsel. Daraus folgt, dass man die Isotopenverhältnisse der ägyptischen Proben, die auch zu nördliche Hemisphäre gehören, aber so weit von europäischer nuklearer Wiederaufarbeitungsanlage entfernt liegen, nicht als natürliche  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse annehmen kann.

**Tab. 5-11:**  $^{127}\text{I}$ - und  $^{129}\text{I}$ -Konzentrationen und  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$  Isotopenverhältnisse in wässrigen Proben und Lehmziegeln.

	Koordinate	Name der Ort	$^{127}\text{I}$ in $\text{ng g}^{-1}$	$^{129}\text{I}$ in $\text{fg kg}^{-1}$	$^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ - Verhältnis in $10^{-12}$
<b>Indischer Ozean</b>	6°22S 103°15W	1	41,6 ± 0,7	6,9 ± 0,8	163 ± 18
	6°22S 103°15W	2	41,5 ± 0,9	13,6 ± 3,8	322 ± 89
<b>Pazifischer Ozean</b>	20°23N 156°17E	Hawaii	49,0 ± 3,9	7,9 ± 1,7	159 ± 36
	17°41'S 149°27W	Tahiti	13,5 ± 0,5	5,01 ± 3,5	371 ± 26
<b>Arktischer Ozean</b>	78°35N 11°31W	Spitzbergen 1	35,7 ± 1,1	544 ± 23	14998 ± 777
	78°35N 11°31W	Spitzbergen 2	35,5 ± 1,0	518 ± 22	14389 ± 707
<b>Atlantischer Ozean</b>	38°20N 9°39W	-	55,9 ± 2,0	47,8 ± 1,7	843 ± 42
	37°85N 9°30,2W	Sagres	49,8 ± 1,8	41,8 ± 1,7	827 ± 45
	35°58N 6°5,9W	Gibraltar	49,6 ± 2,1	13,5 ± 1,6	267 ± 34
<b>Mittelmeer</b>	36°39,4N 4°25W	Malaga	51,1 ± 1,5	25,9 ± 1,5	498 ± 32
<b>Oasis Wasser</b>	26°00'18"N 32°49'06"E	Safi	7,2 ± 0,2	1,2 ± 0,5	166 ± 64
<b>Flußwasser</b>	Ägypten	Nil	8,1 ± 0,2	6,5 ± 1,5	786 ± 189
<b>Lehmziegel</b>	Ägypten	altes Haus 1	2968 ± 127	52,2 ± 16,0	17,31 ± 5,3
	Ägypten	altes Haus 2	2268 ± 82	60,1 ± 18,3	26,11 ± 7,9

### 5.7.2. Pränukleare Proben (Ost- und Nordseesedimente)

In Tabelle 5-12 sind die ermittelten Daten der  $^{127}\text{I}$ -,  $^{129}\text{I}$ -Konzentrationen und die  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse der pränuklearen Sedimentproben aus der Ost- und Nordsee zusammengefasst.

Die  $^{127}\text{I}$ -Konzentrationen in den Ostseesedimenten sind kleiner als in den Nordseesedimenten: Ausnahme die Probe Ostsee 3.  $^{129}\text{I}$ -Konzentration in den Nordseesedimenten sind bis zu 10 Mal höher als in den Ostseesedimenten; hier ist die Probe Ostsee 1 die Ausnahme. Das  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnis von pränuklearen Nordseesedimenten liegt bei  $(31,7 \times 1,43^{\pm 1}) \times 10^{-12}$ . Es ist bis zu vier Mal höher als das von pränuklearen Ostseesedimenten  $(3,9 \times 3,13^{\pm 1}) \times 10^{-12}$ , ohne Berücksichtigung der Ergebnisse von Ostsee 1.



Wenn man die  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse dieser Arbeit mit den prä nuklearen marinen Sedimenten  $(1,3 \pm 0,3) \times 10^{-12}$  [Fehn et al., 1986] und ozeanischen Tiefenwasser  $(1,4 \pm 0,9) \times 10^{-12}$  [Schnik et al., 1995b] vergleicht, ist festzustellen, dass nur die Ostseesedimente 3 und 4 mit diesen Ergebnissen übereinstimmen. Die erhöhten  $^{129}\text{I}$ -Konzentrationen bzw.  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse im Ostsedimenten 1 und in den Nordseesedimenten könnte durch Kontamination mit anthropogenem  $^{129}\text{I}$  während der Lagerung in Pappschachteln (s. Abb. 3-4, S. 37) erklärt werden.

**Tab. 5-12:**  $^{127}\text{I}$ - und  $^{129}\text{I}$ -Konzentrationen und  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse in prä nuklearen Sedimenten aus Ost- und Nordsee.

Name der Proben	Datum der Entnahme	$^{127}\text{I}$ in mg kg <sup>-1</sup>	$^{129}\text{I}$ in fg kg <sup>-1</sup>	$^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ - Verhältnis in 10 <sup>-12</sup>
Ostsee 1	10.05.1938	2,84 ± 0,06	395 ± 16	137 ± 6
Ostsee 2	20.08.1937	3,04 ± 0,10	106 ± 6	34 ± 2
Ostsee 3	15.07.1939	197 ± 7	242 ± 49	1,2 ± 0,3
Ostsee 4	21.09.1938	16,5 ± 0,6	69 ± 12	4,1 ± 0,7
Ostsee 5	1939	5,1 ± 0,2	60 ± 6	11,7 ± 1,2
<b>Geometrischer Mittelwerte × Standardabweichung</b>		<b>14,9 × 6,4<sup>±1</sup></b>	<b>102 × 1,9<sup>±1</sup></b>	<b>6,67 × 4,2<sup>±1</sup></b>
Nordsee 6	20.07.1937	14,9 ± 0,3	621 ± 25	41 ± 2
Nordsee 7	1937	13,2 ± 0,2	465 ± 19	35 ± 1
Nordsee 8	10.06.1937	13,3 ± 0,3	253 ± 13	19 ± 1
Nordsee 9	08.06.1937	14,4 ± 0,5	560 ± 23	38 ± 2
<b>Geometrischer Mittelwerte × Standardabweichung</b>		<b>13,9 × 1,1<sup>±1</sup></b>	<b>446 × 1,5<sup>±1</sup></b>	<b>32 × 1,43<sup>±1</sup></b>

## 5.8. Nordsee und Nordatlantik

Die gesamten eigenen und weiteren Ergebnisse für Nord- und Ostsee finden sich in der Dissertation "Untersuchung von Wasserproben aus der Nordsee auf I-129" [Tosch, 2010] und im Vorhaben StSch 4481 [Nies et al., 2009]. In dieser Arbeit werden nur die Proben aus der Nordsee und aus dem Nordatlantik angesprochen, die vom Autor selbst untersucht oder berechnet wurden.

In Tabelle 5-13 sind die Ergebnisse von  $^{127}\text{I}$ -,  $^{129}\text{I}$ -Konzentrationen und  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnissen zusammengefasst. Zusätzlich sind das Entnahmedatum und die Koordinaten der Stationen beschrieben. Aufgrund eines zu hohen Molybdänuntergrundes bei der AMS-Messung konnten die  $^{129}\text{I}$ -Konzentrationen und  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse der Stationen Atlantik 4 und 6 nicht ausgewertet werden.

Die Station 906 und 907 liegen zwar in der Nordsee aber nahe zum Nordatlantik und in der Umgebung von Wiederaufbereitungsanlage „La Hague“. Die Wasserproben aus dem Nordatlantik sind ganz aus der Nähe zur Wiederaufbereitungsanlage „Sellafield“. Durch Vergleich zwischen den Stationen kann man erkennen, welche Einflüsse die beiden Wiederaufbereitungsanlagen „La Hague oder Sellafield“ auf Nordsee und Nordatlantik haben. Zusätzlich erhält man durch die untersuchten Tiefenprofile auch Informationen über den Transport und die Verteilung des  $^{129}\text{I}$  aus den beiden Wiederaufbereitungsanlagen „La Hague und Sellafield“.

Bei den Stationen 906 und 907 sind die  $^{127}\text{I}$ -Konzentrationen an der Oberfläche und bis zu einer Tiefe von 100 m fast stabil und liegen zwischen 30 und 50  $\mu\text{g kg}^{-1}$ . Die  $^{129}\text{I}$ -Konzentrationen ( $300 \text{ fg kg}^{-1}$ ) sind an der Oberfläche und in 100 m Tiefe etwa 2mal größer als in 50 m. Die  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse liegen an der Oberfläche bei  $8 \times 10^{-9}$  und bei  $4 \times 10^{-9}$  von 100 m in der Tiefe. Man kann diese Ergebnisse dadurch erklären, dass diese Station eine hohe Komplexität der Strömungen am Einlass des Englischen Kanals zeigt.

Bei den Stationen aus dem Nordatlantik sind die  $^{127}\text{I}$ -Konzentrationen nahezu konstant nicht nur an der Oberfläche, sondern auch in der Tiefe. Sie lagen bei 34  $\mu\text{g kg}^{-1}$ . Im Gegensatz dazu sind die  $^{129}\text{I}$ -Konzentrationen an der Oberfläche grö-

ßer als in der Tiefe (Station 208). Bis zu einer Tiefe von 11 m sind die  $^{129}\text{I}$ -Konzentrationen in den gesamten Stationen nicht homogen; sie lagen zwischen 189 und  $8\,435\text{ fg kg}^{-1}$ . Die höchsten Konzentrationen dieser Kontaminationen von diesen Stationen liegen an der Südostküste Norwegens. Als Folge variierten die  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse zwischen  $4 \times 10^{-9}$  und  $169 \times 10^{-9}$ .

Um zu erklären, dass diese Stationen durch die Emissionen aus den Wiederaufbereitungsanlage La Hague oder aus Sellafield kontaminiert wurden, muss man unbedingt neben  $^{129}\text{I}$  auch andere Radionuklide (z.B.  $^{99}\text{Tc}$  und  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239,240}\text{Pu}$  und  $^{241}\text{Am}$ ) untersuchen. Durch die Verhältnisse der verschiedenen Radionuklide kann man eine Einschätzung geben, aus welchen Wiederaufbereitungsanlagen diese Radionuklide stammen. Im Vorhaben Stsch 4481 finden sich die gesamten Daten dieser Nuklide. Die Autoren dieses Vorhabens berichten, dass die deutsche Nordseeküste in großem Maß von den Emissionen aus Wiederaufbereitungsanlage La Hague beeinflusst wird. Sie haben 2 Stationen (Borkumriff und Elbe 1) als Überwachungspunkt empfohlen.

**Tab. 5-13:** Ergebnisse von  $^{127}\text{I}$ - und  $^{129}\text{I}$ -Konzentrationen und  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$  Isotopenverhältnissen in Wasserproben aus Nordsee und Nordatlantik.

	Stationsnummer	Koordinate	Tiefe in m	$^{127}\text{I}$ in $\mu\text{g kg}^{-1}$	$^{129}\text{I}$ in $\text{fg kg}^{-1}$	$^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Verhältnis in $10^{-9}$
Nordsee	Nordsee 1 St. 906	49°N 6°W	0	41,7 ± 1,1	364 ± 15	8,6 ± 0,4
	Nordsee 2 St. 906	49°N 6°W	50	38,5 ± 1,3	147 ± 6	3,7 ± 0,2
	Nordsee 3 St. 907	48°4N 5°W	0	33,8 ± 0,9	253 ± 10	7,4 ± 0,4
	Nordsee 4 St. 907	48°4N 5°W	50	31,1 ± 0,9	110 ± 5	3,5 ± 0,2
	Nordsee 5 St. 907	48°4N 5°W	100	50,1 ± 0,8	242 ± 10	4,8 ± 0,2
Nordatlantik	Atlantik 1 St. 280	78°49,7N 5°0,1E	2	37,9 ± 0,6	526 ± 22	13,6 ± 0,6
	Atlantik 2 St. 280	78°49,7N 5°0,1E	200	42,8 ± 1,9	231 ± 12	5,3 ± 0,4
	Atlantik 3	78°22,5N 8°2,84E	11	42,5 ± 1,9	600 ± 31	13,9 ± 0,9
	Atlantik 4 St. 339	78°22,5N 4°20,0W	100	40,9 ± 1,9	-	-
	Atlantik 5 St. 339	78°22,5N 4°20,1W	200	37,1 ± 0,9	276 ± 11	7,3 ± 0,3
	Atlantik 6	76°49,1N 8°49,1W	11	37,9 ± 0,8	-	-
	Atlantik 7	74°48,3N 1°58,8E	11	42,7 ± 0,7	189 ± 8	4,4 ± 0,2
	Atlantik 8	69°39,7N 11°37,1E	11	44,2 ± 1,0	1227 ± 52	27,3 ± 1,3
	Atlantik 9	64°57,7N 6°15,8E	11	45,7 ± 0,9	965 ± 41	20,8 ± 0,9
	Atlantik 10	59°50,5N 4°13,4E	11	49,2 ± 1,1	8435 ± 357	168 ± 8

## 5.9. Proben aus Niedersachsen

Hier handelt es um eine kontinuierliche Untersuchung von Niederschlägen, Oberflächenwässern, Grundwässern, Aerosolen, Milch, Böden und Bewuchsproben in Niedersachsen, die seit 1997 am ZSR der Leibniz Universität Hannover bestimmt werden. In diesem Abschnitt werden die experimentellen Ergebnisse der Arbeit vorgestellt und im Zusammenhang mit den von andern Autoren veröffentlichten Daten diskutiert. Es wird nicht jede einzelne Probe von jedem Ort diskutiert, sondern auf die gesamten Regionen (s. Abschnitt 3.5.1) eingegangen. Die detaillierten Daten sind in Tabellen A8 bis A22 (S. 179 – 194) im Anhang zusammengefasst.

Die Ergebnisse bis 2004 wurden im Abschlussbericht zum Vorhaben StSch 4285 des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) mit dem Titel "Ableitung von radioökologischen Parametern aus dem langfristigen Eintrag von Iod-129" [Michel et al., 2004] und in den Dissertationen von Szidat (2000), Ernst (2003) und Klipsch (2005) publiziert [Szidat, 2000; Ernst, 2003; Klipsch, 2005].

### 5.9.1. Niederschlag, Oberflächen- und Grundwasser

Im Rahmen dieser Arbeit wurden insgesamt 50 Proben von Niederschlagswässern, 58 Proben von Oberflächenwässern und 20 Proben von Grundwässern untersucht. Eine Zusammenstellung aller bisher gewonnenen Ergebnisse ist in Tabellen A8 - A18 im Anhang (S. 179 - 190) gegeben.

#### 5.9.1.1. Niederschlag

In Tabelle 5-14 sind die Geomittelwerte der  $^{127}\text{I}$ - und  $^{129}\text{I}$ -Konzentrationen und der  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse angegeben.

Wenn man die Regionen in Niedersachsen vergleicht, findet man, dass die  $^{127}\text{I}$ - und  $^{129}\text{I}$ -Konzentrationen sowie die  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Verhältnisse in der Region I höher als in den anderen Regionen sind. Da die Proben von der Nordseeinsel Norderney (Region I) naturgemäß in Küstennähe liegen, haben sie höhere  $^{127}\text{I}$ - und  $^{129}\text{I}$ -Konzentrationen, die durch den Einfluss von Seaspray erklärt werden können.

Die  $^{127}\text{I}$ - und  $^{129}\text{I}$ -Konzentrationen in Traufregen der Region II und III zeigen eine Erhöhung um etwa den Faktor 4 im Vergleich zum Freilandregen. Diese höheren Kon-

zentrationen im Traufregen könnten durch den Einfluss der Blätter der Bäume, die als Filter bezeichnet werden können, als trockene Deposition von Iod-Isotopen erklärt werden.

Trotzdem gibt es keine signifikanten Unterschiede der Mittelwerte der  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Verhältnisse zwischen die Freilandregen und Traufregen. Das  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Verhältnis liegt bei  $4 \times 10^{-7}$ . Das ist dahingehend von Bedeutung, dass das  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Verhältnis bei trockener und nasser Deposition praktisch gleich ist.

**Tab. 5-14:** Geometrische Mittelwerte und Standardabweichungen der  $^{127}\text{I}$ - und  $^{129}\text{I}$ -Konzentrationen und der  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse in Niederschlagswässern aus Niedersachsen. Die Ergebnisse für den Zeitraum 1997 und 2005 wurden von den Arbeiten Michel (2004) und Klipsch (2005) entnommen [Klipsch, 2005; Michel et al., 2004].

Region	Name der Ort	Zeitraum	$^{127}\text{I}$ in ng g <sup>-1</sup>	$^{129}\text{I}$ in fg g <sup>-1</sup>	$^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ - Verhältnis in 10 <sup>-7</sup>
I	Norderney Freilandregen	99 - 09	$3,5 \times 1,5^{\pm 1}$	$2,1 \times 1,4^{\pm 1}$	$5,9 \times 1,4^{\pm 1}$
II	Buer-Ostenwald Freilandregen	99 - 09	$2,0 \times 1,7^{\pm 1}$	$0,7 \times 1,6^{\pm 1}$	$3,1 \times 1,9^{\pm 1}$
II	Buer-Ostenwald Traufregen	99 - 09	$6,9 \times 1,5^{\pm 1}$	$2,7 \times 1,4^{\pm 1}$	$3,8 \times 1,5^{\pm 1}$
III	Sessen Freilandregen	97 - 00	$1,6 \times 1,4^{\pm 1}$	$0,6 \times 1,6^{\pm 1}$	$4,0 \times 1,7^{\pm 1}$
III	Sessen Traufregen	97 - 00	$5,1 \times 1,2^{\pm 1}$	$2,2 \times 1,3^{\pm 1}$	$4,3 \times 1,3^{\pm 1}$
IV	Siemen Freilandregen	97 - 09	$2,2 \times 1,5^{\pm 1}$	$0,5 \times 1,5^{\pm 1}$	$2,4 \times 1,8^{\pm 1}$

Die vorliegenden Ergebnisse werden zur Berechnung der jährlichen  $^{127}\text{I}$  und  $^{129}\text{I}$  Depositionsdichten benutzt, um den Eintrag des Iods aus dem Niederschlag in die Pedosphäre und Biosphäre zu beschreiben. Die Quartalsdaten sind für  $^{127}\text{I}$  in der Abbildung 5-40, für  $^{129}\text{I}$  in Abbildung 5-41 und für  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse in der Abbildung 5-42 dargestellt. Die Variabilität der  $^{129}\text{I}$ -Daten ist deutlich größer als die

der  $^{127}\text{I}$ -Daten. Die Isotopenverhältnisse liegen zwischen  $10^{-7}$  und  $10^{-8}$  und nehmen ganz langsam mit der Zeit ab.

In diesen Abbildungen werden die Abweichenden Proben markiert. Nach der wiederholten Messung blieb das Ergebnis gleich. Es wird vermutet, dass entweder bei der Entnahme der Probe eine Kontamination (Buer-Osterwald Traufe, 2 Quartal 2005) oder ein Verlust des Iods während der Lagerung (Buer-Osterwald Freiland, 2 Quartal 2007) erfolgten.

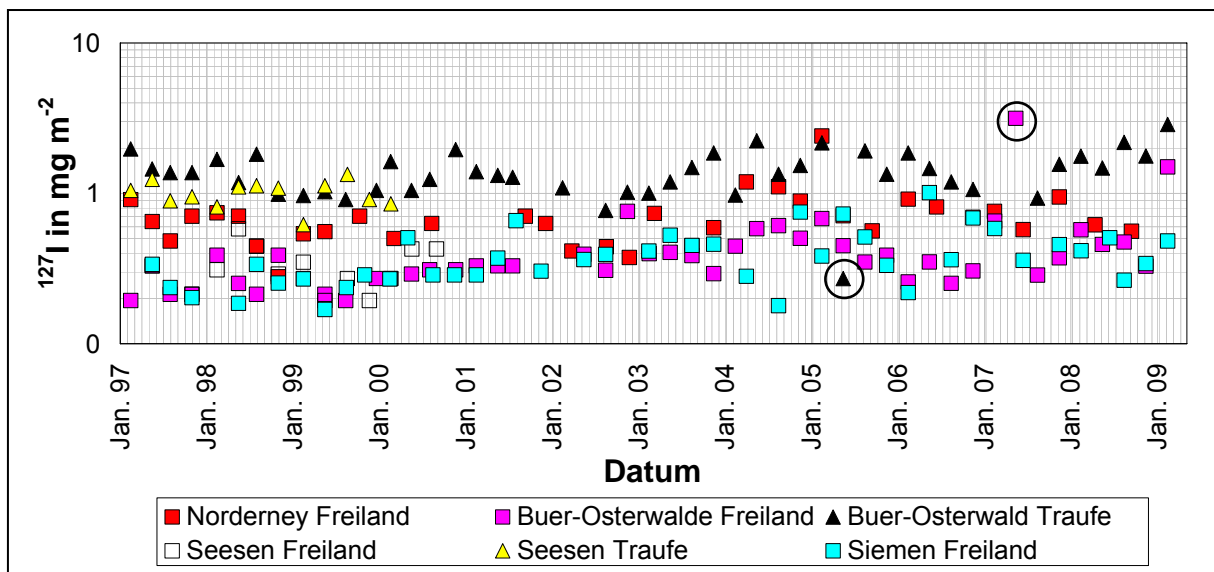


Abb.5-40: Depositionsdichten von  $^{127}\text{I}$  pro Quartal.

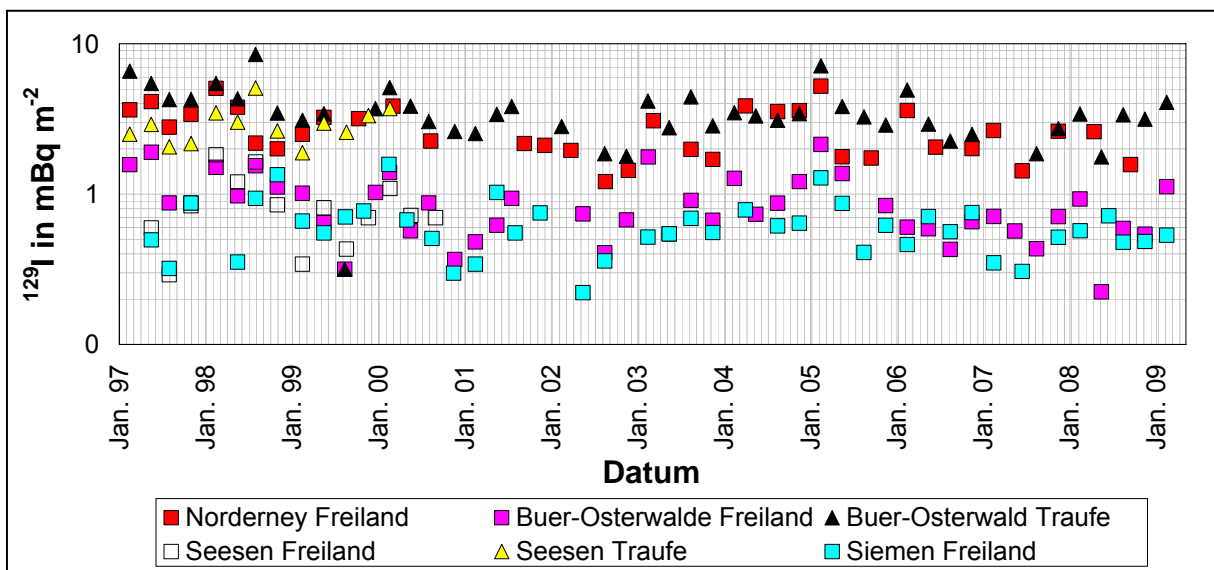
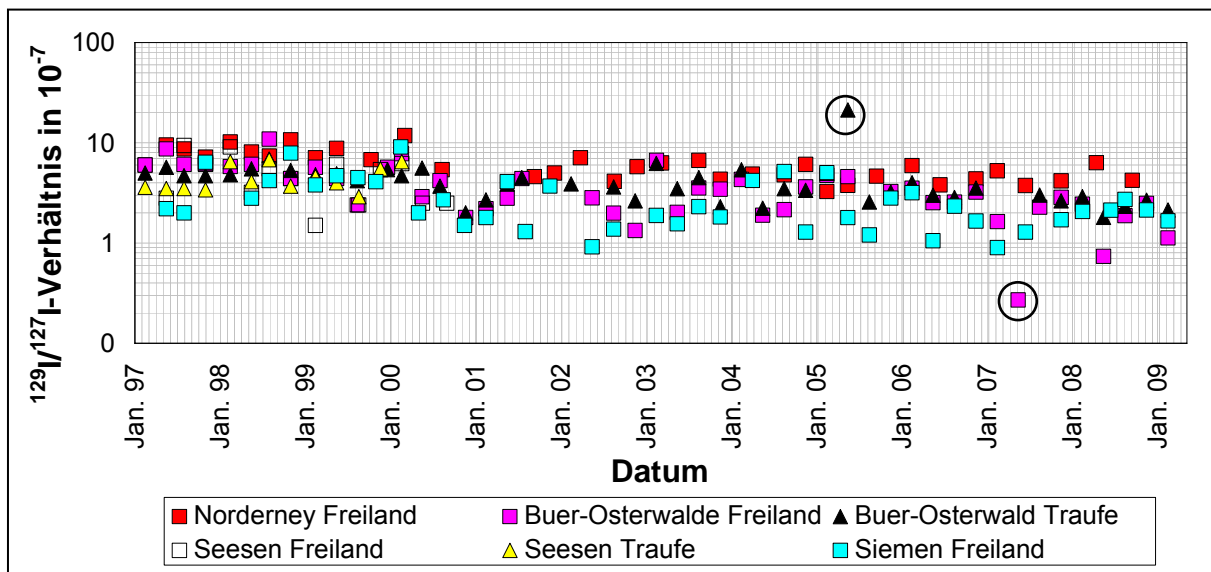


Abb.5-41: Depositionsdichten von  $^{129}\text{I}$  pro Quartal.



**Abb.5-42:**  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse im Quartalsniederschlag.

**Tab. 5-15:** Jährliche Depositionsdichten von  $^{127}\text{I}$  und  $^{129}\text{I}$  ermittelt aus den logarithmischen Mittelwerten der Quartalsdepositionsdichten und den Niederschlagshöhen der Gebiete. Die Ergebnisse für den Zeitraum 1997 und 2005 wurden von den Arbeiten von Michel (2004) und Klipsch (2005) entnommen [Klipsch, 2005; Michel et al., 2004].

Regionen	Name der Ort und der Probe	Zeitraum	Niederschlag in $\text{mm a}^{-1}$	Jährliche $^{127}\text{I}$ -Depositionsdichte $\text{mg m}^{-2}$	Jährliche $^{129}\text{I}$ -Depositionsdichte $\text{mBq m}^{-2}$
I	Norderney Freilandregen	99 - 09	742	$2,6 \times 1,5^{\pm 1}$	$10,3 \times 1,4^{\pm 1}$
II	Buer-Ostenwald Freilandregen	99 - 09	775	$1,5 \times 1,6^{\pm 1}$	$3,4 \times 1,6^{\pm 1}$
II	Buer-Ostenwald Traufregen	99 - 09	775	$5,1 \times 1,4^{\pm 1}$	$13,9 \times 1,4^{\pm 1}$
III	Sessen Freilandregen	97 - 00	775	$1,2 \times 1,4^{\pm 1}$	$3,0 \times 1,6^{\pm 1}$
III	Sessen Traufregen	97 - 00	775	$4,0 \times 1,2^{\pm 1}$	$11,4 \times 1,3^{\pm 1}$
IV	Siemen Freilandregen	97 - 09	675	$1,5 \times 1,5^{\pm 1}$	$2,4 \times 1,5^{\pm 1}$



Die ausführlichen Ergebnisse sind in den Tabellen A8 - A13 im Anhang angegeben. Eine Zusammenfassung dieser Ergebnisse ist auch in Tabelle 5-15 zu finden.

Für die küstenfernen Gebiete II bis IV wurden die jährliche Depositionsdichten für  $^{127}\text{I}$  zu  $1,5 \text{ mg m}^{-2}$  und für  $^{129}\text{I}$  zu  $2,4$  bis  $3,4 \text{ mBq m}^{-2}$  bestimmt. Im Gebiet I sind die Depositionsdichten für  $^{127}\text{I}$  mit  $2,6 \text{ mg m}^{-2} \text{ a}^{-1}$  und für  $^{129}\text{I}$  mit  $10,3 \text{ ng m}^{-2} \text{ a}^{-1}$  signifikant höher.

Für das anthropogene Radionuklid  $^{129}\text{I}$  bedeutet, dass in Niedersachsen im Gebiet II bis IV, fern ab von der Nordseeküste, durch nasse Deposition jährlich zwischen  $2,4 \text{ mBq m}^{-2}$  und  $3,5 \text{ mBq m}^{-2}$   $^{129}\text{I}$  in die Pedosphäre und in die Biosphäre eingetragen werden und durch trockene Deposition zwischen  $11,4$  und  $13,9 \text{ mBq m}^{-2}$   $^{129}\text{I}$ . Im küstennahen Gebiet I, liegt die nasse Deposition jährlich bei  $10,4 \text{ mBq m}^{-2}$   $^{129}\text{I}$ .

#### 5.9.1.2. Oberflächenwasser

In Tabelle 5-16 sind die geometrischen Mittelwerte und geometrischen Standardabweichungen der  $^{127}\text{I}$ - und  $^{129}\text{I}$ -Konzentrationen und der  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse angegeben. Fernab der Nordseeküste sind die  $^{127}\text{I}$ -Konzentrationen in den Oberflächenwässern der Regionen II bis IV sehr ähnlich und zwar liegen sie im Durchschnitt bei  $7 \text{ ng g}^{-1}$ . Diese Konzentrationen zeigen die gleichen Werte wie der Traufregen der gleichen Regionen, aber sie sind gegenüber dem Freilandregen um etwa den Faktor 4 erhöht.

Das lässt den Schluss zu, dass die Niederschlagswässer nicht die einzige Quelle des Iod sind, sondern dass auch Austauschprozesse zwischen Oberflächenwässern und Boden und Bewuchs relevant sein können.

Das Große Meer, das nur etwa  $15 \text{ km}$  von Nordseeküste entfernt ist, zeigt mit  $23 \text{ ng g}^{-1}$  eine höhere  $^{127}\text{I}$ -Konzentration gegenüber den andern Regionen. Diese Konzentration im Großen Meer beträgt die Hälfte des Wertes für Nordseewasser.

Dies bedeutet, dass es eine langfristige Akkumulation von stabilem Iod gegenüber dem Niederschlag oder eine direkte Beeinflussung durch Nordseewasser gibt. Im Gegensatz zu den  $^{127}\text{I}$ -Konzentrationen sind die  $^{129}\text{I}$ -Konzentrationen in allen vier Regionen deutlich geringer als in den entsprechenden Niederschlagswässern.

Dies kann dadurch erklärt werden, dass  $^{129}\text{I}$  auf dem Weg vom Niederschlag zum Oberflächenwasser mit Boden und Bewuchs wechselnd wirkt. Dabei wird durch mo-

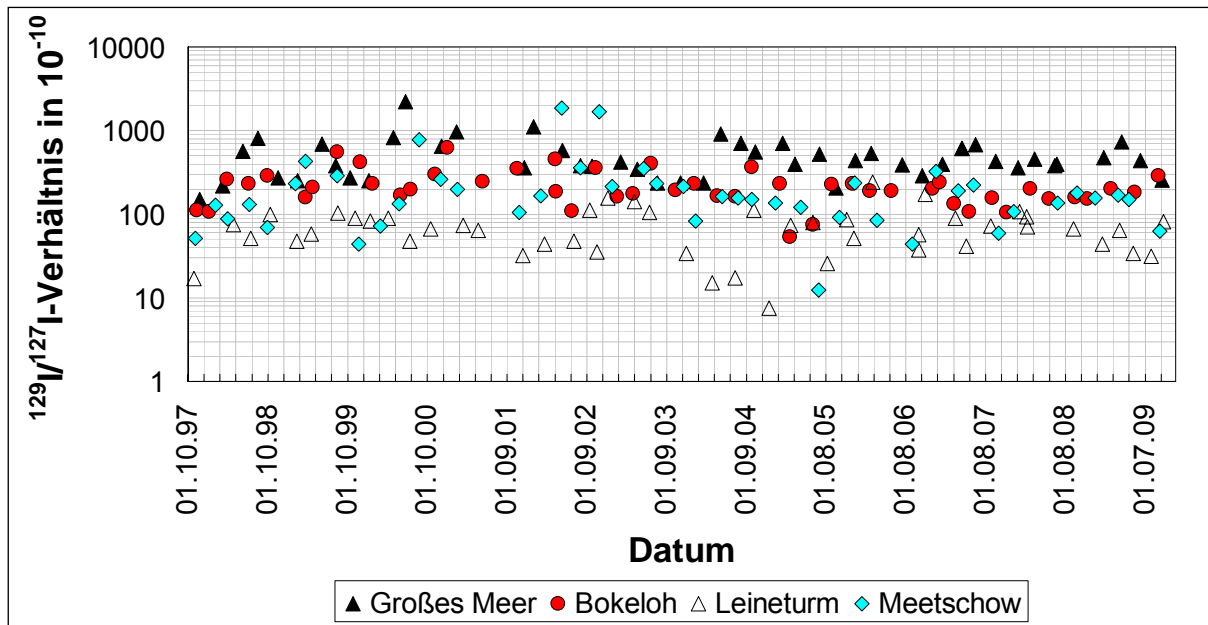
biles  $^{127}\text{I}$  verdünnt. Dies zeigt einen großen Einfluss auf die  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ - Isotopenverhältnisse, die im Oberflächenwasser um mehr als eine Zehnerpotenz kleiner als im Niederschlagswasser sind. Die Ergebnisse dieser Arbeit stimmen mit den Arbeiten von Ernst (2003), Michel (2004) und Klipsch (2005) gut überein.

**Tab. 5-16:** Geometrische Mittelwerte und geometrische Standardabweichungen der  $^{127}\text{I}$ - und  $^{129}\text{I}$ -Konzentrationen und der  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ - Isotopenverhältnisse in Oberflächenwässern aus Niedersachsen gemittelt über die Jahre von 1997 bis 2009 im Vergleich mit den entsprechenden Daten für Niederschlag und Nordseewasser.

Region		Probenahmeort	$^{127}\text{I}$ in ng g <sup>-1</sup>	$^{129}\text{I}$ in fg g <sup>-1</sup>	$^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ - Verhältnis in 10 <sup>-09</sup>
I	<b>Oberflächenwasser</b>	<b>Großes Meer</b>	<b>23 × 1,6<sup>±1</sup></b>	<b>1,1 × 2,0<sup>±1</sup></b>	<b>44,6 × 1,8<sup>±1</sup></b>
	Nordseewasser*		45 × 1,6 <sup>±1</sup>	66 × 1,7 <sup>±1</sup>	1500 × 1,4 <sup>±1</sup>
	Freilandregen	Norderney	3,5 × 1,5 <sup>±1</sup>	2,1 × 1,4 <sup>±1</sup>	590 × 1,4 <sup>±1</sup>
II	<b>Oberflächenwasser</b>	<b>Bokeloh</b>	<b>7,7 × 1,3<sup>±1</sup></b>	<b>0,16 × 1,5<sup>±1</sup></b>	<b>20 × 1,6<sup>±1</sup></b>
	Freilandregen	Buer-	2,0 × 1,7 <sup>±1</sup>	0,7 × 1,6 <sup>±1</sup>	310 × 1,9 <sup>±1</sup>
	Traufregen	Ostenwald	6,9 × 1,5 <sup>±1</sup>	2,7 × 1,4 <sup>±1</sup>	380 × 1,5 <sup>±1</sup>
III	<b>Oberflächenwasser</b>	<b>Leineturm</b>	<b>7,1 × 1,6<sup>±1</sup></b>	<b>0,043 × 2<sup>±1</sup></b>	<b>6,0 × 2,2<sup>±1</sup></b>
	Freilandregen	Sessen	1,6 × 1,4 <sup>±1</sup>	0,6 × 1,6 <sup>±1</sup>	400 × 1,7 <sup>±1</sup>
	Traufregen		5,1 × 1,2 <sup>±1</sup>	2,2 × 1,3 <sup>±1</sup>	430 × 1,3 <sup>±1</sup>
IV	<b>Oberflächenwasser</b>	<b>Meetschow</b>	<b>7,8 × 1,7<sup>±1</sup></b>	<b>0,14 × 3,1<sup>±1</sup></b>	<b>18,7 × 3,5<sup>±1</sup></b>
	Freilandregen	Siemen	2,2 × 1,5 <sup>±1</sup>	0,5 × 1,5 <sup>±1</sup>	240 × 1,8 <sup>±1</sup>

\* Arbeit von Michel et al. (2004).

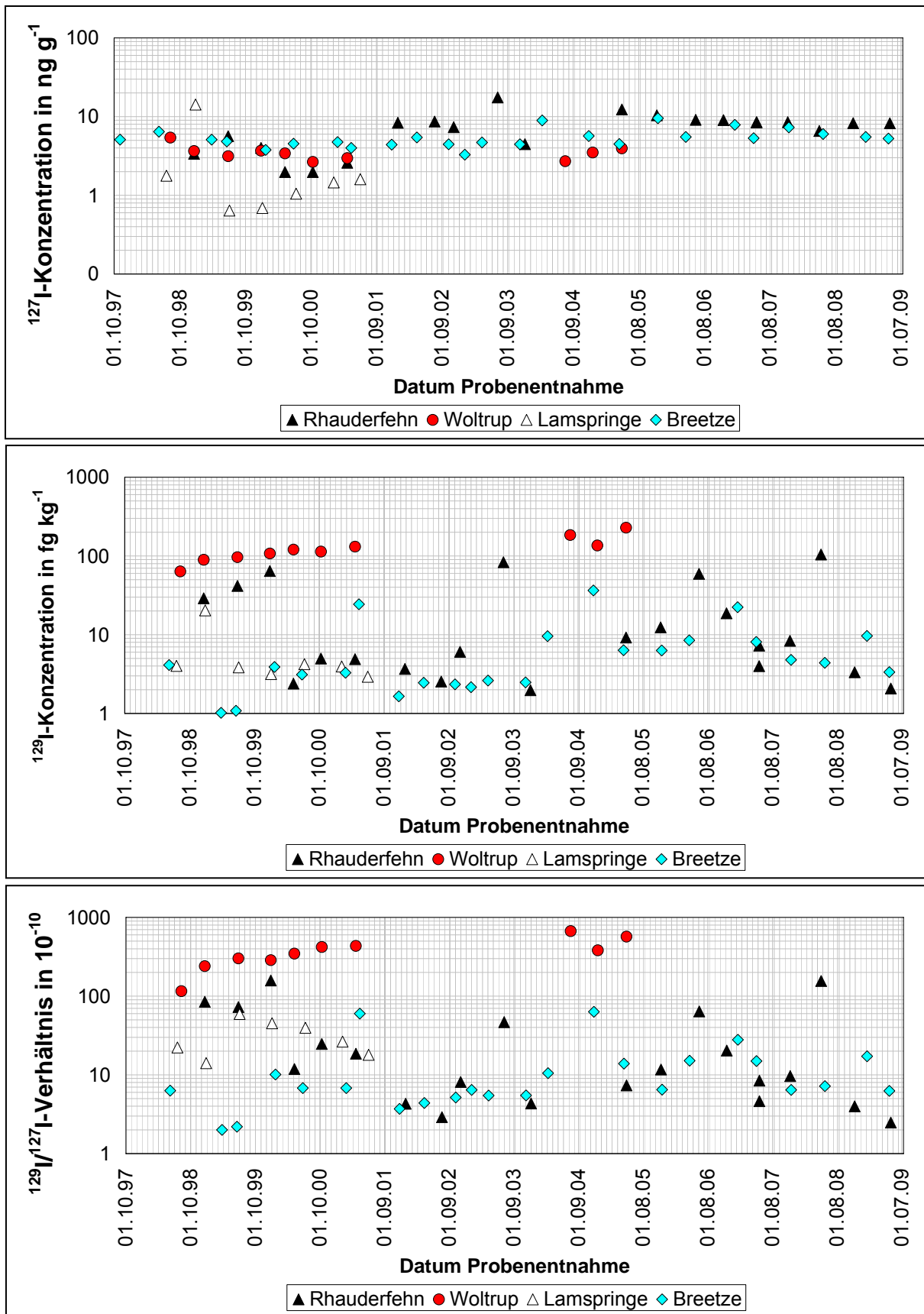
Nach 12 Jahren der Beobachtungen des zeitlichen Verlaufs der  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse in Oberflächenwasser sieht man keine großen Variationen dieser Isotopenverhältnisse (Abbildung 5-43). In niedersächsischen Oberflächenwässern liegen die  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse zwischen  $1 \times 10^{-9}$  und  $1 \times 10^{-7}$ .



**Abb.5-43:**  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse in niedersächsischen Oberflächenwässern.

### 5.9.1.3. Grundwasser

In Tabelle A18 im Anhang (S. 190) werden alle Ergebnisse von 1997 bis 2009 am ZSR untersuchten Grundwässer zusammengefasst. Während die  $^{127}\text{I}$ -Konzentrationen in den Grundwässern der Regionen I bis IV kaum Variation im betrachteten Zeitraum zeigen, unterliegen die  $^{129}\text{I}$ -Konzentrationen größeren Schwankungen, was sich in den  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnissen niederschlägt. Abbildung 5-44 zeigt einen kontinuierlichen Anstieg der  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse bei den Werten für Woltrup-Wehbergen (Region II) bis 2005. In Rauderfehn (Region I) und Breetze (Region IV) hingegen beobachtet man einen alternierenden Rhythmus von vierjährigen Ab- und Ansteigen der  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse. Im gesamten Zeitraum sanken die  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse um ca. eine Zehnerpotenz. Man kann nur vermuten, dass es eine starke Abhängigkeit des Verhaltens der Iod-Isotope und der hydrologischen Bedingungen vor Ort gibt. Als Beispiel seien hier Filtrationstiefe, Art des Bodens und Bewuchs und andern hydrologische Parameter genannt.



S

**Abb.5-44:** Zeitlicher Verlauf der  $^{127}\text{I}$ - (Oben),  $^{129}\text{I}$ -Konzentrationen (Mitte) und  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Verhältnisse (Unten) in niedersächsischen Grundwässern.

#### 5.9.1.4. Zusammenfassung der Messdaten für Wasserproben

Hier sollen die  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse in Abhängigkeit von  $^{127}\text{I}$ - bzw.  $^{129}\text{I}$ -Konzentrationen mit Daten für Oberflächenwässer, Grundwässern und Niederschlagwässer dargestellt werden (Abb. 5-45).

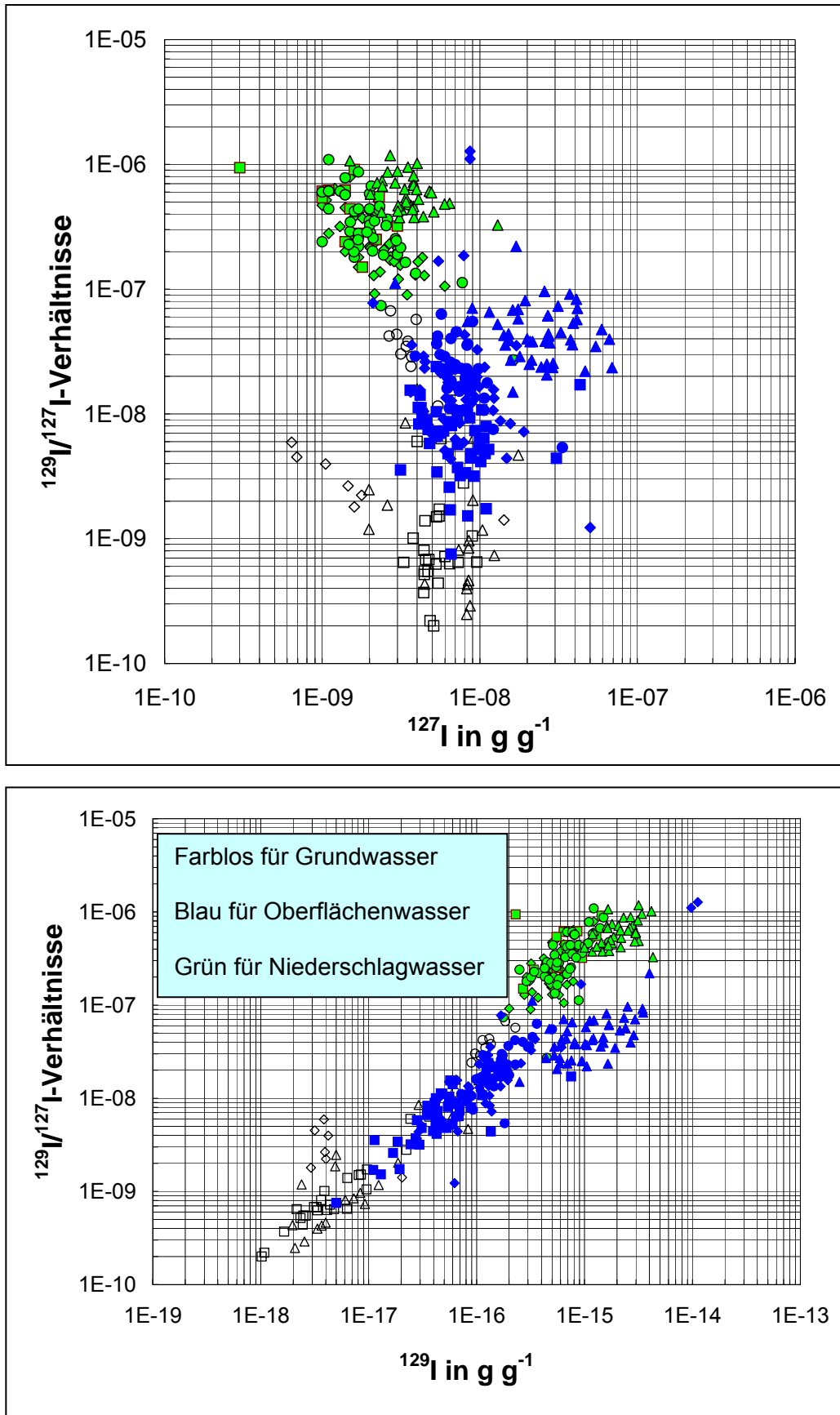
Die  $^{127}\text{I}$ -Konzentrationen liegen in natürlichen Wasserproben aus Niedersachsen zwischen  $1 \text{ ng g}^{-1}$  und  $1000 \text{ ng g}^{-1}$ . Eine Ausnahme beim Oberflächenwasser sind die höchsten  $^{127}\text{I}$ -Konzentrationen im Großen Meer von ca.  $10 \mu\text{g g}^{-1}$ ; die kann man dadurch erklären, dass es eine weitere Iodquelle über den Einfluss des Tidewasser auf das Große Meer gibt. Es gibt bisher kein Modell, das das Verhalten von  $^{127}\text{I}$  im Grundwasser beschreibt (s. Abbildung 5-45, Oben). Wegen mangelnder Information über die hydrologischen Bedingungen für jede einzelne Probe kann man diese Ergebnisse nicht im Detail interpretieren.

Im Gegensatz dazu sieht man eine klare Korrelation zwischen den  $^{129}\text{I}$ -Konzentrationen und den  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse (Abbildung 5-45, Unten). Es gibt eine Verdünnung von  $10^{-6}$  auf  $10^{-10}$  der  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse vom Meer über den Niederschlag zum Oberflächenwasser bis Grundwasser. Man beobachtet auch den Einfluss der Nordsee auf die Daten für das Große Meer und Norderney. Dort zeigen die  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse eine leichte Zunahme trotz Anstieg der  $^{129}\text{I}$ -Konzentrationen.

Trotz der größeren Variabilität der hydrologischen Bedingungen der unterschiedlichen Grundwässer sieht man auch eine Zunahme der  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse und  $^{129}\text{I}$  in verschiedenem Grundwässern.

Symbole und Name der Proben sind unter eingegeben für Abbildung 5-45. R ist die Abkürzung von Region gemäß Abbildung 3-5:

- |                       |                         |                   |
|-----------------------|-------------------------|-------------------|
| △ Rhaudefehn, R1      | ○ Woltrup Wehbergen, R2 | ◇ Lamspringe, R3  |
| □ Breetze, R4         | ◆ Siemen, R4            | ■ Sessen, R3      |
| ● Buer Ostenwalde, R2 | ▲ Norderney, R1         | ▲ Großes Meer, R1 |
| ● Bokeloh, R2         | ■ Leineturm, R3         | ◆ Meetschow, R4   |



**Abb.5-45:**  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse und  $^{127}\text{I}$ -Gehalte (Oben) bzw.  $^{129}\text{I}$ -Gehalte (Unten) im Wasser aus Niedersachsen.

## 5.9.2. Aerosolfilter, Boden, Bewuchs und Kuhmilch

### 5.9.2.1. Kuhmilch

Kuhmilch spielt eine besondere Bedeutung in der Kette des Transfers von radioaktiven Iod-Isotopen, besonders  $^{131}\text{I}$ , aus der Umwelt zum Menschen.

Aus der Region IV wurden Kuhmilchproben von Bauernhöfen G. und W. (ab 2006 mit J. gewechselt) zur Untersuchung mitgebracht. Die Einzelergebnisse sind in Tabelle A22 im Anhang (S. 194) aufgeführt. Für eine ausführliche Diskussion werden die Ergebnisse dieser Arbeit und die früher am ZSR gemessenen Daten in Tabelle 5-17 zusammengefasst.

**Tab. 5-17:** Zusammenfassung der Ergebnisse von Kuhmilch. Die Konzentrationsangaben beziehen sich auf das Frischgewicht. Die Ergebnisse der Regionen I und III wurden von den Arbeiten von Michel (2004) und Klipsch (2005) entnommen.

Region, Zahlproben	Probenahmestort	$^{127}\text{I}$ in $\mu\text{g g}^{-1}$	$^{129}\text{I}$ in $\text{fg g}^{-1}$	$^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Verhältnis in $10^{-10}$
I, n=4	Neßmerpolder 2001-2003	$0,02 \times 1,6^{\pm 1}$	$4,9 \times 1,5^{\pm 1}$	$2362 \times 1,2^{\pm 1}$
III, n=3	HLW 2001-2003	$0,01 \times 1,6^{\pm 1}$	$2,3 \times 2,2^{\pm 1}$	$2479 \times 1,5^{\pm 1}$
IV, n=3	Marleben 1998-2001	$0,02 \times 2,0^{\pm 1}$	$1,7 \times 1,3^{\pm 1}$	$761 \times 2,6^{\pm 1}$
IV, n=4	Meetschow 1998-2001	$0,10 \times 2,9^{\pm 1}$	$2,8 \times 1,5^{\pm 1}$	$278 \times 3,0^{\pm 1}$
IV, n=4	Meetschow 2002-2005	$0,08 \times 1,8^{\pm 1}$	$1,31 \times 1,3^{\pm 1}$	$171 \times 3,0^{\pm 1}$
IV, n=7	Marleben 2002-2008	$0,02 \times 1,9^{\pm 1}$	$2,24 \times 2,3^{\pm 1}$	$555 \times 2,0^{\pm 1}$
IV, n=3	Gorleben 2006-2008	$0,01 \times 1,8^{\pm 1}$	$0,97 \times 1,2^{\pm 1}$	$702 \times 1,5^{\pm 1}$

Man beobachtet, dass es eine große Variabilität bei den  $^{127}\text{I}$ - und  $^{129}\text{I}$ -Konzentrationen sowie bei den  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse in den Milchproben aus Niedersachsen gibt. Die  $^{127}\text{I}$ -Konzentrationen der Kuhmilchproben lagen zwischen 0,004 und

0,113  $\mu\text{g g}^{-1}$ , die  $^{129}\text{I}$ -Konzentrationen zwischen 0,7 und 11  $\text{fg g}^{-1}$  und die  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse zwischen  $105 \times 10^{-10}$  und  $3210 \times 10^{-10}$ . Die  $^{127}\text{I}$ -Konzentrationen der Kuhmilchproben aus den Regionen I, III und IV haben ähnliche geometrische Mittelwerte (s. Tabelle 5.17). Man beobachtet eine fünffach höhere  $^{127}\text{I}$ -Konzentrationen in Meetschow als in Marleben und in Gorleben.

Für die  $^{129}\text{I}$ -Konzentrationen der Kuhmilchproben sind die geometrischen Mittelwerte der Proben aus der Region I zwei bis viermal höher als die aus den Regionen III und IV. Bei den  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnissen sind die Mittelwerte für die Region IV bis achtmal kleiner als in den Regionen I und III. Das zeigt eine große Komplexität des Transfers der Iod-Isotope in der Kuhmilch.

### 5.9.2.2. Boden und Bewuchs

Boden- und Bewuchsproben wurden in Gorleben in der Region IV (Elbetal/Wendland) entnommen. Für die Überwachung der Kontamination der Umwelt wurden dort im Frühsommer meistens im Mai die oberen 10 cm von Boden sowie Bewuchs in Form von Weidegräßschnitt an festgelegten Messpunkten MP1 und MP5 entnommen.

In Tabelle 5-18 sind die Ergebnisse dieser Proben von 2002 bis 2008 als geometrischer Mittelwert zusammengefasst. Man beobachtet, dass die  $^{127}\text{I}$ -Konzentrationen in den Bodenproben fast 2 Mal größer als in den Bewuchsproben sind.

Die  $^{127}\text{I}$ -Konzentrationen lagen bei 1  $\mu\text{g g}^{-1}$ . Die  $^{129}\text{I}$ -Konzentration zeigen in den beiden Boden keinen großen Unterschied (0,5  $\mu\text{Bq g}^{-1}$ ). Die  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse in diesen Bodenproben lagen bei etwa  $75 \times 10^{-9}$  und somit bis zu dreimal kleiner als in den Bewuchsproben. Die durch kleinen Beitrag von  $^{127}\text{I}$  und höher Beitrag von  $^{129}\text{I}$  (besonders in MP1) in den Bewuchs wurden erklärt. Insgesamt zeigen die beiden Messpunkte keinen großen Unterschied. Die Einzelergebnisse pro Jahr sind in Tabelle A21 im Anhang (S. 193) zu finden.



**Tab. 5-18:** Ergebnisse von  $^{127}\text{I}$ -,  $^{129}\text{I}$ -Konzentrationen und  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnissen in den Boden- und Bewuchsproben an den Messpunkte MP1 und MP5 in der Region IV in Niedersachsen im Zeitraum 2002 - 2008.

Region	$^{127}\text{I}$ in $\mu\text{g g}^{-1}$	$^{129}\text{I}$ in $\mu\text{Bq g}^{-1}$	$^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ - Verhältnis in $10^{-9}$
Boden MP1	$1,05 \times 1,1^{\pm 1}$	$0,51 \times 1,1^{\pm 1}$	$73 \times 1,1^{\pm 1}$
Boden MP5	$0,92 \times 1,2^{\pm 1}$	$0,48 \times 1,5^{\pm 1}$	$78 \times 1,5^{\pm 1}$
Bewuchs MP1	$0,63 \times 1,6^{\pm 1}$	$0,72 \times 1,5^{\pm 1}$	$214 \times 1,5^{\pm 1}$
Bewuchs MP5	$0,39 \times 2,0^{\pm 1}$	$0,39 \times 2,1^{\pm 1}$	$134 \times 1,3^{\pm 1}$

### 5.9.2.3. Aerosolfilter

Hier handelt es sich um Proben aus einer kontinuierlichen Messung. Die Filterproben stammen aus zwei Messhäusern (2 und 4) in Niedersachsen. Von 2002 bis 2009 zeigten die  $^{127}\text{I}$ - und  $^{129}\text{I}$ -Konzentrationen keinen großen Unterschied. In Tabelle 5-19 wurde die jährliche Variabilität der  $^{127}\text{I}$ -,  $^{129}\text{I}$ -Konzentrationen und der  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ - Isotopenverhältnisse dargestellt.

Die einzelnen Ergebnisse sind in den Tabellen A19 und A20 im Anhang (S. 191 und 192) zusammengefasst. Für die beiden Messhäuser liegen die  $^{127}\text{I}$ -Konzentrationen bei  $0,70 \times 1,2^{\pm 1} \text{ ng m}^{-3}$  bzw. für die  $^{129}\text{I}$ -Konzentrationen bei  $1 \times 1,3^{\pm 1} \text{ ng m}^{-3}$ . Die  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ - Isotopenverhältnis betragen  $(1,78 \times 1,6^{\pm 1}) \times 10^{-7}$  für das Messhaus 2 und in gleicher Ordnung für das Messhaus 4  $(2,03 \times 1,1^{\pm 1}) \times 10^{-7}$ . Im Laufe von 11 Jahren beobachtet man keine große Variation der beiden Iod-Isotope  $^{127}\text{I}$  und  $^{129}\text{I}$ .

**Tab. 5-19:** Ergebnisse von  $^{127}\text{I}$ -,  $^{129}\text{I}$ -Konzentrationen und  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnissen in Aerosolfiltern im Messhaus 2 und Messhaus 4 in der Region IV in Niedersachsen für den Zeitraum 2002 bis 2009

Region	Probenahme Datum	$^{127}\text{I}$ in $\text{ng m}^{-3}$	$^{129}\text{I}$ in $\text{nBq m}^{-3}$	$^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ - Verhältnis in $10^{-7}$
Messhaus 2	2002	$0,78 \times 1,5^{\pm 1}$	$0,99 \times 1,4^{\pm 1}$	$1,91 \times 1,3^{\pm 1}$
	2003	$0,59 \times 1,5^{\pm 1}$	$0,69 \times 1,5^{\pm 1}$	$1,76 \times 1,6^{\pm 1}$
	2004	$0,53 \times 1,5^{\pm 1}$	$1,05 \times 2,1^{\pm 1}$	$3,00 \times 1,6^{\pm 1}$
	2005	$0,75 \times 1,4^{\pm 1}$	$0,88 \times 1,8^{\pm 1}$	$0,99 \times 3,0^{\pm 1}$
	2006	$0,93 \times 1,3^{\pm 1}$	$1,53 \times 2,0^{\pm 1}$	$2,47 \times 1,7^{\pm 1}$
	2007	$0,68 \times 1,5^{\pm 1}$	$1,09 \times 1,6^{\pm 1}$	$2,42 \times 1,3^{\pm 1}$
	2008	$0,58 \times 1,8^{\pm 1}$	$0,75 \times 2,6^{\pm 1}$	$2,06 \times 1,4^{\pm 1}$
	2009	$0,58 \times 1,9^{\pm 1}$	$1,10 \times 1,8^{\pm 1}$	$0,84 \times 1,1^{\pm 1}$
	<b>2002 - 2009</b>	<b><math>0,66 \times 1,2^{\pm 1}</math></b>	<b><math>0,98 \times 1,3^{\pm 1}</math></b>	<b><math>1,78 \times 1,6^{\pm 1}</math></b>
Messhaus 4	2002	$0,61 \times 1,3^{\pm 1}$	$0,79 \times 1,5^{\pm 1}$	$1,95 \times 1,6^{\pm 1}$
	2003	$0,52 \times 1,3^{\pm 1}$	$0,60 \times 1,1^{\pm 1}$	$1,72 \times 1,4^{\pm 1}$
	2004	$0,81 \times 1,3^{\pm 1}$	$1,20 \times 1,4^{\pm 1}$	$2,23 \times 1,6^{\pm 1}$
	2005	$0,94 \times 1,5^{\pm 1}$	$1,23 \times 2,2^{\pm 1}$	$1,96 \times 2,0^{\pm 1}$
	2006	$0,88 \times 1,5^{\pm 1}$	$1,16 \times 1,4^{\pm 1}$	$1,98 \times 1,4^{\pm 1}$
	2007	$0,89 \times 1,4^{\pm 1}$	$1,35 \times 1,9^{\pm 1}$	$2,27 \times 1,4^{\pm 1}$
	2008	$0,98 \times 1,3^{\pm 1}$	$1,39 \times 1,7^{\pm 1}$	$2,11 \times 1,5^{\pm 1}$
	2009	$0,69 \times 1,1^{\pm 1}$	$1,30 \times 1,7^{\pm 1}$	$2,82 \times 1,6^{\pm 1}$
	<b>2002 - 2009</b>	<b><math>0,76 \times 1,2^{\pm 1}</math></b>	<b><math>1,04 \times 1,3^{\pm 1}</math></b>	<b><math>2,03 \times 1,1^{\pm 1}</math></b>

## 6. Zusammenfassung

Natürliches  $^{129}\text{I}$  ( $T_{1/2} = 15,7 \text{ Ma}$ ) entsteht durch Spontanspaltung von Uran in der Erdkruste und im Ozean und durch Wechselwirkung der galaktischen kosmischen Strahlung mit Xenon in der Erdatmosphäre. Anthropogenes  $^{129}\text{I}$  wird bei der Spaltung von  $^{235}\text{U}$  und  $^{239}\text{Pu}$  mit thermischen Neutronen erzeugt. Durch oberirdische Kernwaffenexplosionen, Abteilungen aus Wiederaufarbeitungsanlage und kerntechnische Unfälle wurde das anthropogene  $^{129}\text{I}$  in die Umwelt freigesetzt. Als Folge wurden die natürlichen  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Gleichgewichtsisotopenverhältnisse in den letzten 70 Jahren nachhaltig verändert.

Der Iod-Gehalt in Böden ist das Ergebnis des Eintrags durch nasse und trockene Deposition von atmosphärischem Iod. Die Bestimmung von  $^{129}\text{I}$  und  $^{127}\text{I}$  in diesen Umweltproben war aus verschiedenen Gründen von Interesse. Erstens, man hat Hinweise auf die Mechanismen der Migration der Iod-Isotope durch die Untersuchung von Bodenprofilen gewonnen. Zweitens, die Bestimmung der integralen Depositionsdichten von  $^{129}\text{I}$  erlaubte sowohl eine Bilanzierung der anthropogenen Veränderungen als auch die retrospektive Dosimetrie der Strahlenexposition durch  $^{131}\text{I}$  nach dem Unfall von Tschernobyl. Drittens, die Untersuchung der Tiefenverteilung von Iod in Böden war von Bedeutung, um Zusammenhänge mit den bodenkundlichen Parametern zu untersuchen. Schließlich ergab die Untersuchung prä-nuklearer Böden Informationen über die natürliche  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Gleichgewichtsisotopenverhältnisse in der terrestrischen Biosphäre.

In Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden die Gehalte von  $^{127}\text{I}$ ,  $^{129}\text{I}$  und  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse, zusätzlich  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$  und Bodenparameter (pH-Werte, Bodendichte, Tongehalte, Eisen-, Aluminium- und Manganoxide) in Umweltproben bestimmt.

Für die Quantifizierung von Iod, Cäsium und Kalium in den Proben hat man drei analytische Verfahren benutzt:  $\gamma$ -Spektrometrie, ICP-MS (Induktiv gekoppelte Plasma – Massenspektrometrie) und AMS (Beschleunigermassenspektrometrie). Die Untersuchung der Nuklide  $^{137}\text{Cs}$  und  $^{40}\text{K}$  erfolgte mittels  $\gamma$ -Spektrometrie. Mittels ICP-MS wurden die  $^{127}\text{I}$ -Gehalte analysiert. Die Bestimmung der  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$  Isotopenverhältnisse erfolgte mittels AMS. Dazu musste das Iod zuvor aus der Probenmatrix abgetrennt

werden. Für die Untersuchung von  $^{127}\text{I}$  und  $^{129}\text{I}$  in Böden wurde eine Trockenveraschung unter Sauerstoffüberschuss und eine alkalische Hydrogensulfit Auflösung benutzt. Für die Analyse von  $^{127}\text{I}$  und  $^{129}\text{I}$  in Wässern wurde nach Umsetzung von oxidierten Iodspezies zu Iodid eine Festphaseextraktion benutzt.

Man kann die Ergebnisse dieser Arbeit in drei wichtigste Punkte zusammenfassen: Migration und Verhalten von Iod und Cäsium mit den Bodenprofile aus Bayern und Chile, retrospektive Dosimetrie durch  $^{131}\text{I}$  nach Tschernobyl-Unfall und die aktuelle Situation von anthropogenem  $^{129}\text{I}$  in der Norddeutschland.

### **6.1. Migration und Verhalten von $^{137}\text{Cs}$ und $^{129}\text{I}$ in den Bodenprofilen**

Die Böden aus Bayern sind im Wesentlichen durch den Unfall von Tschernobyl mit insgesamt  $31 \text{ kBq m}^{-2}$  an  $^{137}\text{Cs}$  kontaminiert. Davon sind ca.  $4 \text{ kBq m}^{-2}$  dem Fallout der oberirdischen Kernwaffenexplosionen zuzuschreiben. In Chile und auf den Osterinseln sieht man mit  $1 \text{ kBq m}^{-2}$  nur den Einfluss aus den oberirdischen Kernwaffenexplosionen und keinen  $^{137}\text{Cs}$ -Fallout aus dem Tschernobyl-Unfall. In den bayrischen Bodenprofilen lag die mittlere  $^{129}\text{I}$ -Depositionsdichte bei  $(109 \times 1,5^{\pm 1}) \text{ mBq m}^{-2}$  (geometrischer Mittelwert und geometrische Standardabweichung). In diesem Fall sind die europäischen Wiederaufarbeitungsanlagen Sellafield und La Hague die dominierende Quelle von  $^{129}\text{I}$  und nicht der Reaktorunfall von Tschernobyl.

Die  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse in den bayrischen Bodenprofilen liegen zwischen  $10^{-7}$  und  $10^{-10}$  und sind damit um das 100- bis 1000-fach höher als in den chilenischen Böden. Die integralen  $^{129}\text{I}$  Depositionsdichten liegen auf dem chilenischen Festland, auf der Osterinsel und in der Antarktis nur zwischen  $0,3$  und  $2 \text{ mBq m}^{-2}$ . In diesen Bodenprofilen wurden erstmals  $^{127}\text{I}/^{129}\text{I}$  Isotopenverhältnisse in der Pedosphäre von  $10^{-12}$  beobachtet. Dieses Verhältnis kann in Übereinstimmung mit Untersuchungen rezenter mariner Sedimente als prä nukleares Gleichgewichts isotopenverhältnis angesehen werden.

Für Osteuropa wurde ein Mittelwert von  $40 \text{ mBq m}^{-2}$  für Moskau (Russland) und Zhitomir (Ukraine) bestimmt. Diese Werte sind signifikant niedriger als in Deutschland, aber wesentlich höher als die vom chilenischen Festland und von der Osterinsel. Die chilenischen Profile erlaubten die Bestimmung des  $^{129}\text{I}$  Fallout aus den oberirdischen Kernwaffenexplosionen in der südlichen Hemisphäre ungestört von

Kontaminationen durch die Ableitungen aus Wiederaufarbeitungsanlagen zu etwa  $1 \text{ mBq m}^{-2}$ .

Es wurde in dieser Arbeit auch gezeigt, dass  $^{129}\text{I}$  und  $^{137}\text{Cs}$  immer noch in den oberen 40 cm der Bodenprofile lokalisiert sind. Die Depositionsdichten von  $^{127}\text{I}$  und  $^{40}\text{K}$  nahmen linear mit der Tiefe ab, wie es einer weitgehend homogenen Verteilung entspricht. Dagegen nahmen die Depositionsdichte von  $^{129}\text{I}$  und  $^{137}\text{Cs}$  exponentiell mit der Tiefe ab. Das  $^{137}\text{Cs}$  ist weitgehend an Tonminerale fixiert; die  $^{137}\text{Cs}$ -Gehalte korrelieren aber auch mit den organischen Bestandteilen. Es gab in den Bodenprofilen eine gute Korrelation zwischen  $^{129}\text{I}$  und den organischen Bestandteilen. Die  $^{127}\text{I}$ -Gehalte korrelieren positiv mit den Aluminium-, Mangan- und Eisenoxide.

## **6.2. Retrospektive Dosimetrie durch $^{131}\text{I}$ mittels $^{129}\text{I}$ -Depositionsdichte**

Durch den Reaktorunfall von Tschernobyl wurde zwischen dem 26. April und 5. Mai 1986 ein riesiges radioaktives Inventar, darunter auch ca.  $1150 \text{ PBq } ^{131}\text{I}$ , freigesetzt. Die höchsten großflächigen Kontaminationen lagen in der Ukraine, Weißrussland und Russland. In den Folgejahren stiegen in diesen Regionen die Fälle von Schilddrüsenkrebs vor allem bei Jugendlichen, die als Kinder der  $^{131}\text{I}$  Strahlenexposition ausgesetzt waren, dramatisch an. Mit Hilfe des langlebigen  $^{129}\text{I}$  wurde in dieser Arbeit in den hoch- und mittelkontaminierten Gebieten der Ukraine retrospektiv der Fallout von  $^{131}\text{I}$  nach dem Unfall bestimmt.

Untersuchungen an ukrainischen Bodenprofilen bis zu 200 cm Tiefe zeigen, dass noch immer mehr als 90 % der  $^{129}\text{I}$ -Konzentration in den oberen 40 cm der Bodenprofile zu lokalisieren sind. Dies erlaubt die  $^{129}\text{I}$ -Inventare in Proben bis 40 cm Tiefe als Näherungen für die gesamten anthropogenen  $^{129}\text{I}$ -Inventare zu betrachten. Die  $^{129}\text{I}$  Inventare sind mit den  $^{137}\text{Cs}$  Inventaren in den hoch kontaminierten Gebieten korreliert. Allerdings ist die Variabilität der  $^{129}\text{I}/^{137}\text{Cs}$  Verhältnisse groß, sodass für die retrospektive Dosimetrie auf die  $^{129}\text{I}$ -Daten zurückzugreifen ist. Allgemein gab es eine gute Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen dieser Arbeit und direkten Messungen der Schilddrüsendosen bei betroffenen Menschen in der Umgebung von Tschernobyl.

In 35 Orten in der (heute evakuierten) Kontaminationszone II lagen die mittleren Schilddrüsendosen bei  $1,9 \times 3,2^{\pm 1}$  Gy für 5-jährige Kinder und bei  $0,45 \times 3,2^{\pm 1}$  Gy für Erwachsene. In 25 Orten in der Kontaminationszone III lagen die mittleren Schilddrüsendosen bei  $0,75 \times 1,9^{\pm 1}$  Gy für 5-jährige Kinder und  $0,18 \times 1,9^{\pm 1}$  Gy für Erwachsene.

### 6.3. Aktuelle Situation von anthropogenem $^{129}\text{I}$ in der Norddeutschland

Seit 1997 wird am ZSR der Leibniz Universität Hannover eine kontinuierliche Untersuchung von  $^{129}\text{I}$  und  $^{127}\text{I}$  in Niederschlägen, Oberflächenwässern, Grundwässern, Aerosolen, Milch, Böden und Bewuchsproben aus Niedersachsen bestimmt. Um die radioökologische Situation des Iods in diesen verschiedenen Proben zu beschreiben, ist das  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnis geeignet. Die  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse nahmen vom Meer über den Niederschlag zum Oberflächenwasser und bis Grundwasser von  $10^{-6}$  auf  $10^{-10}$  ab. Es wurde ein deutlicher Einfluss der Nordsee auf das Oberflächenwasser des Großen Meeres und auf die Niederschläge in Norderney beobachtet.

Die  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse in Milchproben liegen zwischen  $105 \times 10^{-10}$  und  $32 \times 10^{-08}$ . Bei den  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnissen sind die Mittelwerte für die Region IV bis achtmal geringer als in den Regionen I und III. Die  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse in Böden aus Gorleben liegen bei etwa  $75 \times 10^{-9}$  und sind damit bis zu dreimal kleiner als im zugehörigen Bewuchs. Die  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse von Aerosolen betragen bei  $2,0 \times 10^{-7}$ .

Die  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse in den untersuchten Proben aus Nordsee und Nordatlantik liegen in Größenordnung von  $10^{-9}$ . Sie sind damit bis zu 1000-mal höher als in Proben aus dem Indischen und Pazifischen Ozean und als Oberflächenwasser aus Ägypten. Es wurden auch ganz niedrige  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse von  $22 \times 10^{-12}$  in prä nuklearen Proben aus der Ostsee beobachtet. Sie sind zweimal niedriger als in den prä nuklearen Proben aus Nordsee. Trotzdem bleiben diese Werte größer als das natürliche  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnis.

## 7. Ausblick

Mit Hilfe von ICP-MS und AMS wurden  $^{129}\text{I}$ ,  $^{127}\text{I}$  und  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse in dieser Arbeit untersucht. Durch die Entwicklung einer neuen Generation von AMS-Geräten kann man nun  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse mit wesentlich geringerem Aufwand als früher bis hinab zu  $10^{-14}$  bestimmen.

Das gibt uns die Möglichkeit die natürlichen  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse präziser als in der Vergangenheit zu messen. Dies ist wichtig, da inzwischen in verschiedenen Arbeiten wurden die Werte kleiner als  $1,5 \times 10^{-12}$  gefunden, die als der kanonische Werte des prä-nukleare Isotopenverhältnisses angesehen werden [Moran et al., 1998; Gückel (2009) und die chilenischen Proben in dieser Arbeit]. Es sollte besonders eine intensive Untersuchungen tiefer Bodenprofile und Sedimente von der Südhalbkugel durchgeführt werden.

Es sollte auch das Verhalten der Sorption der beiden Isotope ( $^{127}\text{I}$  und  $^{129}\text{I}$ ) mit den Bodenparametern weiter untersucht werden (Batch-Versuch) und ein besseres Verständnis der Sorption dieser Isotope zu erlangen.

Im Bezug auf die retrospektive Dosimetrie des  $^{131}\text{I}$  sind detaillierte Untersuchungen des aggregierten Dosisfaktors für die  $^{131}\text{I}$  Schilddrüsendosis  $DC_{131}$  und den Korrektionsfaktor  $f(t)$  für den Zerfall des  $^{131}\text{I}$  zwischen Emission und Ankunft am betrachteten erforderlich.

Seit 13 Jahre wurden am ZSR der Leibniz Universität Hannover die Einträge des  $^{127}\text{I}$  und  $^{129}\text{I}$  kontinuierlich in Niedersachsen bestimmt. Es wäre wertvoll, wenn  $^{127}\text{I}$  und  $^{129}\text{I}$  im gesamten Deutschland untersucht würden. Damit könnte man den Einfluss der Nordsee auf die Niederschläge und die Flüsse im gesamten Deutschland umfassend untersuchen.

## 8. Anhang

**Tab. A1:** Daten von  $^{129}\text{I}$  von Blankproben in Femtogramm gegen das Datum der Probensversuch (Teil 1).

	Datum der Versuch	$^{129}\text{I}$ im Ausfällungsanteil in fg		Datum der Versuch	$^{129}\text{I}$ im Ausfällungsanteil in fg
<b>Blank für die Proben aus Bayern</b>	10.01.2005	2,54	<b>Blankprobe für die Proben aus der Ukraine</b>	18.01.2006	5,61
	08.03.2005	1,76		19.01.2006	3,96
	09.03.2005	1,00		27.01.2006	3,85
	20.04.2005	6,64		27.01.2006	1,73
	21.04.2005	3,85		01.02.2006	2,92
	25.04.2005	5,62		14.02.2006	4,49
	26.04.2005	1,36		17.02.2006	10,29
	25.05.2005	6,99		02.03.2006	5,21
	26.05.2005	3,38		21.03.2006	5,10
	09.06.2005	3,97		28.03.2006	3,06
	10.06.2005	4,45		06.04.2006	2,17
	22.06.2005	2,12		11.04.2006	1,30
	30.06.2005	2,16		17.04.2006	11,43
	11.07.2005	2,69		20.04.2006	9,91
	12.07.2005	1,23		21.06.2006	17,26
	29.07.2005	1,89		26.06.2006	2,48
01.08.2005	1,60	05.07.2006	1,90		
<b>Blankprobe für die Proben aus Chile</b>	07.03.2006	0,29	31.08.2006	66,51	
	11.04.2006	0,86	05.09.2006	28,44	
	13.06.2006	3,46	05.09.2006	28,44	
	10.07.2006	1,34	11.09.2006	3,82	
	16.08.2006	0,36	14.09.2006	2,97	
	17.08.2006	0,81	20.09.2006	3,10	
	22.08.2006	0,42	26.09.2006	2,77	
	24.08.2006	0,50	09.10.2006	2,93	
	28.08.2006	0,33	18.10.2006	15,16	
	30.08.2006	0,51	06.11.2006	7,12	
	04.09.2006	0,23	15.11.2006	1,46	
	08.09.2006	0,97	29.11.2006	6,81	
	12.09.2006	0,60	02.01.2007	7,25	
	25.09.2006	0,63	11.01.2007	4,51	
	06.10.2006	1,61	22.01.2007	2,23	
	17.10.2006	0,23	27.01.2007	5,82	
	06.11.2006	1,48	12.02.2007	6,95	
	23.11.2006	0,22	20.02.2007	1,35	
	13.12.2006	1,12	02.03.2007	1,93	
			14.03.2007	2,93	



**Tab. A1:** Daten von  $^{129}\text{I}$  von Blankproben in Femtogramm gegen das Datum der Probensversuch (Teil 2).

	Datum der Versuch	$^{129}\text{I}$ im Ausfällungsanteil in fg		Datum der Versuch	$^{129}\text{I}$ im Ausfällungsanteil in fg
<b>Blankprobe für die wässrige Proben</b>	05.01.2006	0,82	<b>Blankprobe für die Proben aus der Ukraine</b>	21.05.2007	6,12
	16.02.2006	0,26		30.05.2007	128,19
	03.03.2006	2,97		08.06.2007	4,52
	14.06.2006	1,02		12.06.2007	33,61
	06.07.2006	2,89		22.06.2007	14,89
	08.08.2006	1,00		08.05.2007	68,96
	31.10.2006	0,91		22.05.2007	188,89
	07.02.2007	0,55		05.06.2007	20,86
	05.12.2007	2,50		13.06.2007	45,34
	06.12.2007	1,46		26.06.2007	116,80
	12.12.2007	1,38		03.07.2007	3,56
	10.01.2008	1,06		25.07.2007	3,79
	04.02.2008	1,13		08.08.2007	6,39
	21.04.2008	1,03		18.10.2007	5,22
	22.04.2008	2,15		07.11.2007	72,25
	14.05.2008	7,47		19.11.2007	194,88
	01.09.2008	0,72		23.11.2007	93,09
			07.12.2007	66,71	
			14.12.2007	232,03	
			20.12.2007	62,37	
			02.01.2008	35,50	
			08.01.2008	71,58	
			16.01.2008	77,28	

**Tab. A2:**  $^{129}\text{I}$ - und  $^{127}\text{I}$ -Konzentrationen in Standardreferenzmaterial IAEA-Soil-375.

Versuchsnummer	$^{127}\text{I}$	$^{129}\text{I}$			$^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ - Verhältnis in $10^{-7}$
	mg kg <sup>-1</sup>	fg g <sup>-1</sup>	Atom kg <sup>-1</sup> in $10^{12}$	mBq kg <sup>-1</sup>	
1	1,65 ± 0,03	234 ± 10	1,09 ± 0,05	1,53 ± 0,06	1,40 ± 0,06
2	1,17 ± 0,04	175 ± 07	0,82 ± 0,03	1,14 ± 0,05	1,48 ± 0,08
3	1,56 ± 0,05	260 ± 11	1,21 ± 0,05	1,70 ± 0,07	1,64 ± 0,08
4	1,87 ± 0,05	233 ± 10	1,09 ± 0,05	1,52 ± 0,06	1,22 ± 0,06
5	1,37 ± 0,04	240 ± 10	1,12 ± 0,05	1,57 ± 0,07	1,73 ± 0,09
6	1,98 ± 0,05	293 ± 12	1,37 ± 0,06	1,92 ± 0,08	1,46 ± 0,07
7	1,70 ± 0,10	235 ± 10	1,10 ± 0,05	1,53 ± 0,06	1,36 ± 0,10
8	1,51 ± 0,07	266 ± 11	1,24 ± 0,05	1,74 ± 0,07	1,74 ± 0,11
9	1,53 ± 0,08	232 ± 10	1,08 ± 0,04	1,51 ± 0,06	1,49 ± 0,10
10	1,60 ± 0,07	259 ± 11	1,21 ± 0,05	1,69 ± 0,07	1,59 ± 0,10
11	1,70 ± 0,06	237 ± 10	1,11 ± 0,05	1,55 ± 0,06	1,37 ± 0,08
12	1,62 ± 0,08	238 ± 10	1,11 ± 0,05	1,55 ± 0,06	1,45 ± 0,09
13	1,65 ± 0,06	241 ± 10	1,12 ± 0,05	1,57 ± 0,07	1,44 ± 0,08
<b>Mittelwert der gesamten Versuche</b>	<b>1,61 ± 0,20</b>	<b>242 ± 27</b>	<b>1,13 ± 0,13</b>	<b>1,58 ± 0,18</b>	<b>1,49 ± 0,15</b>

**Tab. A3:** Abkürzung, Name, Koordinate, pH-Wert, organische Bestandteil der Böden aus Bayern und Chile.

Name	Koordinate	Tiefe cm	pH [CaCl <sub>2</sub> ]	O.M. %	Clay abs %
<b>Bayern</b>					
Wald-Kraiburg (WAWA)	48,1°N 12,2°E	8	3,1	19,6	11,2
		45	4,0	4,0	17,7
Untereicht (UNWA)	47,5°N 12,6°E	28	5,4	9,1	23,3
		46	6,1	5,0	28,0
Untereicht (UNWI)	47,5°N 12,9°E	4	3,7	17,2	21,5
		30	3,9	5,9	25,8
Salzburghofer (SAWA)	47,5°N 13,01°E	18	7,0	6,3	8,5
		32	7,1	3,3	6,9
		64	7,1	1,9	9,3
Petting (PEWI)	47,5°N 12,5°E	25	3,6	78,9	2,2
		60	3,8	81,9	6,4
<b>Chile, Antarktis</b>					
Lado Pinguinera (BAAD)	62°09'S 58°29'W	8	4	8,9	4,4
Lado Base (BAAB)	62°09'S 58°29'W	8	4	6,7	4,3
<b>Chile, Festland</b>					
Curinanco Alto (CUA)	39,4°S 73,2°W	20	4	22,38	29,2
		40	4	11,18	17,6
Curinanco Bajo1 (CUB)	39,4°S 73,2°W	25	5	17,58	22,6
		40	5	10,36	9,0
Curinanco Bajo2 (BCN)	39,4°S 73,2°W	20	5	17,1	23,5
		80	5	8,96	6,8
Küstenkordiller (BBA)	-	20	5	8,78	35,6
		40	5	3,58	53,9
<b>Chile, Osterinsel</b>					
Osterinsel 1 (BVT)	27,1°S 109,5°W	6	4	10,78	9,0
		30	5	6,26	4,1
Osterinsel 2 (BGN)	27,1°S 109,5°W	9	5	5,9	5,0
		30	5	4,1	5,1

O.M. organischer Bestandteil

Tab. A4: Messdaten der verschiedenen Elemente im Boden aus Bayern und Chile (Teil 1).

Tiefe cm	Dichte mg g <sup>-1</sup>	pH [CaCl <sub>2</sub> ]	N mg g <sup>-1</sup>	C <sub>org</sub> mg g <sup>-1</sup>	S mg g <sup>-1</sup>	Ton- gehalt %	Al-Oxide mg g <sup>-1</sup>	Fe-Oxide mg g <sup>-1</sup>	Mn-Oxide µg g <sup>-1</sup>	<sup>137</sup> Cs Bq kg <sup>-1</sup>	<sup>40</sup> K Bq kg <sup>-1</sup>	<sup>127</sup> I mg kg <sup>-1</sup>	<sup>129</sup> I µBq kg <sup>-1</sup>	<sup>129</sup> I/ <sup>127</sup> I 10 <sup>-12</sup>
<b>Bayern: WAWA; Braunerde unter Nadelwald</b>														
00-02	0,69 ± 0,02	3,0	7,87 ± 0,39	149 ± 8	0,97 ± 0,05	11	2,6 ± 0,18	4,88 ± 0,17	46 ± 2	640 ± 21	280 ± 12	6,2 ± 0,9	3305 ± 105	794 ± 12
02-04	0,79 ± 0,02	3,1	5,39 ± 0,27	101 ± 5	0,68 ± 0,03	11	3,3 ± 0,19	5,95 ± 0,18	39 ± 2	357 ± 12	329 ± 14	6,1 ± 0,2	1528 ± 48	375 ± 16
04-06	1,06 ± 0,03	3,4	2,52 ± 0,13	41,1 ± 2,1	0,36 ± 0,02	11	3,35 ± 0,06	6,66 ± 0,05	98 ± 2	93 ± 3	421 ± 15	3,9 ± 0,1	433 ± 14	167 ± 07
06-10	1,23 ± 0,03	4,2	0,77 ± 0,04	11,9 ± 0,6	0,16 ± 0,01	11	3,35 ± 0,05	4,70 ± 0,29	44 ± 4	2,8 ± 0,3	566 ± 20	6,6 ± 0,2	24,2 ± 0,8	15,3 ± 0,6
10-15	1,18 ± 0,03	4,1	0,93 ± 0,05	13,2 ± 0,7	0,66 ± 0,01	18	3,33 ± 0,14	4,70 ± 0,37	48 ± 2	3,8 ± 0,3	453 ± 16	5,1 ± 0,1	52,2 ± 1,7	5,5 ± 0,2
<b>Bayern: UNWA; Pseudogley-Braunerde unter Laubwald</b>														
00-02	0,93 ± 0,03	3,7	4,92 ± 0,25	62,8 ± 3,1	0,65 ± 0,03	18	2,65 ± 0,05	7,26 ± 0,71	628 ± 4	227 ± 8	637 ± 25	5,1 ± 0,2	622 ± 12	182 ± 8
02-04	1,04 ± 0,03	3,7	3,23 ± 0,16	38,3 ± 1,9	0,51 ± 0,03	22	2,60 ± 0,08	7,63 ± 0,16	598 ± 5	213 ± 7	596 ± 23	5,2 ± 0,1	605 ± 22	174 ± 8
04-06	1,11 ± 0,03	3,8	2,31 ± 0,12	26,6 ± 1,3	0,41 ± 0,02	26	2,55 ± 0,05	6,95 ± 0,34	667 ± 6	206 ± 7	633 ± 25	5,3 ± 0,1	513 ± 16	145 ± 6
06-10	1,17 ± 0,03	3,9	1,65 ± 0,08	16,4 ± 0,82	0,37 ± 0,02	26	2,36 ± 0,08	6,13 ± 0,25	603 ± 7	191 ± 6	608 ± 24	4,0 ± 0,1	352 ± 11	133 ± 6
10-15	1,17 ± 0,03	3,9	1,48 ± 0,07	13,5 ± 0,68	0,33 ± 0,02	26	2,55 ± 0,11	6,00 ± 0,26	750 ± 3	101 ± 4	636 ± 24	6,1 ± 0,2	209 ± 07	52,1 ± 2,1
15-20	1,26 ± 0,04	3,9	1,19 ± 0,06	10,6 ± 0,53	0,33 ± 0,02	26	2,44 ± 0,01	5,19 ± 0,33	771 ± 20	34 ± 2	642 ± 24	6,3 ± 0,2	88,5 ± 3,5	21,3 ± 1,0
20-25	1,25 ± 0,04	4,0	1,18 ± 0,06	8,37 ± 0,42	0,32 ± 0,02	26	2,46 ± 0,15	5,00 ± 0,23	787 ± 5	15 ± 1	624 ± 22	5,5 ± 0,2	49,8 ± 1,6	13,6 ± 0,7
25-30	1,23 ± 0,03	3,9	1,01 ± 0,05	7,52 ± 0,38	0,32 ± 0,02	26	2,46 ± 0,15	4,63 ± 0,20	473 ± 16	4,1 ± 0,3	618 ± 23	5,5 ± 0,1	18,0 ± 0,7	4,9 ± 0,2
30-40	1,27 ± 0,04	3,9	1,09 ± 0,05	7,33 ± 0,37	0,32 ± 0,02	26	2,58 ± 0,15	4,25 ± 0,18	910 ± 30	2,2 ± 0,3	661 ± 24	5,1 ± 0,8	17,9 ± 0,6	5,3 ± 0,8
40-50	1,32 ± 0,04	4,0	0,99 ± 0,05	7,92 ± 0,40	0,29 ± 0,01	-	2,53 ± 0,16	3,63 ± 0,15	832 ± 17	1,3 ± 0,2	763 ± 26	4,8 ± 0,7	10,7 ± 0,5	3,4 ± 0,5
<b>Bayern: UNWI; Braunerde unter Wiese</b>														
00-02	1,10 ± 0,03	5,9	3,25 ± 0,16	35,2 ± 1,8	0,50 ± 0,03	23	1,67 ± 0,01	5,06 ± 0,43	627 ± 7	1028 ± 33	546 ± 21	4,3 ± 0,1	2255 ± 80	792 ± 31
02-04	1,10 ± 0,03	5,8	2,88 ± 0,14	30,4 ± 1,5	0,46 ± 0,02	23	1,66 ± 0,03	5,33 ± 0,12	627 ± 5	349 ± 11	584 ± 21	4,3 ± 0,1	1317 ± 42	461 ± 17
04-06	1,14 ± 0,03	5,7	2,57 ± 0,13	26,3 ± 1,3	0,44 ± 0,02	23	1,72 ± 0,03	5,38 ± 0,16	660 ± 7	66 ± 2	588 ± 21	3,7 ± 0,1	417 ± 13	170 ± 7
06-10	1,15 ± 0,03	5,8	2,59 ± 0,13	26,3 ± 1,1	0,44 ± 0,02	23	1,67 ± 0,04	5,58 ± 0,14	680 ± 7	17 ± 1	622 ± 23	5,1 ± 0,1	226 ± 07	67,0 ± 2,5
10-15	1,24 ± 0,04	6,3	2,13 ± 0,11	22,2 ± 0,9	0,42 ± 0,02	23	1,67 ± 0,04	5,33 ± 0,04	700 ± 7	8,2 ± 0,4	644 ± 23	5,9 ± 0,2	149 ± 05	38,0 ± 1,6
15-20	1,26 ± 0,04	6,5	1,85 ± 0,09	19,1 ± 0,8	0,38 ± 0,02	23	1,73 ± 0,04	5,63 ± 0,10	737 ± 5	6,1 ± 0,3	690 ± 24	5,8 ± 0,1	94,0 ± 3,0	24,5 ± 1,0
20-25	1,23 ± 0,03	6,5	1,62 ± 0,08	16,7 ± 0,6	0,36 ± 0,01	23	1,73 ± 0,02	5,13 ± 0,04	677 ± 4	3,6 ± 0,2	677 ± 24	5,4 ± 0,2	46,6 ± 2,1	12,6 ± 0,6
25-30	1,36 ± 0,04	6,6	1,22 ± 0,06	11,4 ± 0,6	0,29 ± 0,01	23	1,62 ± 0,03	4,75 ± 0,90	631 ± 3	1,3 ± 0,2	709 ± 22	5,3 ± 0,1	21,2 ± 1,1	6,0 ± 0,3
30-40	1,32 ± 0,04	6,3	1,03 ± 0,05	8,71 ± 0,44	0,27 ± 0,01	28	1,60 ± 0,06	4,75 ± 0,16	665 ± 2	0,6 ± 0,2	755 ± 22	5,9 ± 0,1	15,8 ± 0,8	4,0 ± 0,2
40-50	1,34 ± 0,04	6,3	0,90 ± 0,04	7,36 ± 0,37	0,26 ± 0,01	28	1,67 ± 0,06	4,00 ± 0,13	582 ± 2	0,7 ± 0,2	828 ± 26	5,2 ± 0,1	13,0 ± 0,7	3,7 ± 0,2
<b>Bayern: SAWA; Parabraunerde Braunerde unter Laubwald</b>														
00-02	1,05 ± 0,03	6,9	3,62 ± 0,18	88,7 ± 4,4	0,54 ± 0,03	9	0,29 ± 0,01	1,98 ± 0,01	211 ± 2	363 ± 12	331 ± 12	1,6 ± 0,1	1102 ± 35	1040 ± 76
02-04	0,96 ± 0,03	7,0	2,51 ± 0,13	76,8 ± 3,8	0,45 ± 0,02	9	0,29 ± 0,01	1,98 ± 0,02	206 ± 2	359 ± 12	245 ± 11	1,3 ± 0,1	672 ± 21	789 ± 65
04-06	0,97 ± 0,03	7,0	2,33 ± 0,12	74,5 ± 3,7	0,42 ± 0,02	9	0,31 ± 0,01	2,20 ± 0,02	222 ± 2	307 ± 10	245 ± 11	1,5 ± 0,1	700 ± 31	710 ± 59
06-10	1,16 ± 0,03	7,1	2,17 ± 0,11	72,9 ± 3,7	0,39 ± 0,02	9	0,28 ± 0,02	2,04 ± 0,16	224 ± 12	220 ± 07	375 ± 13	1,3 ± 0,1	460 ± 15	539 ± 32
10-15	1,24 ± 0,03	7,3	1,33 ± 0,07	66,1 ± 3,3	0,31 ± 0,02	9	0,26 ± 0,01	1,88 ± 0,02	235 ± 4	60 ± 2	362 ± 13	1,2 ± 0,1	192 ± 06	236 ± 12
15-20	1,34 ± 0,04	7,2	1,04 ± 0,05	64,4 ± 3,2	0,27 ± 0,01	9	0,24 ± 0,01	1,75 ± 0,01	239 ± 2	23 ± 1	376 ± 14	1,2 ± 0,1	57,4 ± 3,7	69,9 ± 5,4
20-25	1,40 ± 0,04	7,3	0,78 ± 0,04	62,7 ± 3,1	0,25 ± 0,01	7	0,23 ± 0,01	1,76 ± 0,02	258 ± 4	9,1 ± 0,4	402 ± 15	1,0 ± 0,1	27,2 ± 1,0	43,5 ± 2,3
25-30	1,42 ± 0,04	7,5	0,62 ± 0,03	62,8 ± 3,1	0,24 ± 0,01	7	0,21 ± 0,01	1,78 ± 0,02	260 ± 2	2,3 ± 0,2	430 ± 15	0,9 ± 0,1	14,4 ± 0,7	24,1 ± 1,6
30-40	1,44 ± 0,04	7,4	0,72 ± 0,04	63,6 ± 3,2	0,26 ± 0,01	7	0,22 ± 0,01	1,96 ± 0,12	266 ± 6	0,4 ± 0,1	427 ± 15	1,1 ± 0,1	7,17 ± 1,1	9,8 ± 1,7
40-50	1,48 ± 0,04	-	-	-	-	7	-	-	-	0,6 ± 0,2	443 ± 15	1,6 ± 0,1	12,3 ± 1,4	11,5 ± 1,4

Tab. A4: Messdaten der verschiedenen Elemente im Boden aus Bayern und Chile (Teil 2).

Tiefe cm	Dichte mg g <sup>-1</sup>	pH [CaCl <sub>2</sub> ]	N mg g <sup>-1</sup>	C <sub>org</sub> mg g <sup>-1</sup>	S mg g <sup>-1</sup>	Ton- gehalt %	Al-Oxide mg g <sup>-1</sup>	Fe-Oxide mg g <sup>-1</sup>	Mn-Oxide µg g <sup>-1</sup>	<sup>137</sup> Cs Bq kg <sup>-1</sup>	<sup>40</sup> K Bq kg <sup>-1</sup>	<sup>127</sup> I mg kg <sup>-1</sup>	<sup>129</sup> I µBq kg <sup>-1</sup>	<sup>129</sup> I/ <sup>127</sup> I 10 <sup>-12</sup>
<b>Bayern: PEWI; Hochmoor unter Wiese</b>														
00-02	0,72 ± 0,02	3,7	27,6 ± 1,4	484 ± 24	1,43 ± 0,07	2	1,49 ± 0,08	2,63 ± 0,28	211 ± 2	1035 ± 33	12 ± 1	14,3 ± 0,3	5326 ± 168	562 ± 21
2-04	0,76 ± 0,02	3,7	22,8 ± 1,1	494 ± 25	1,49 ± 0,07	2	1,97 ± 0,11	2,58 ± 0,26	63,8 ± 1,8	620 ± 20	11 ± 1	14,8 ± 0,2	2708 ± 120	275 ± 13
04-06	0,70 ± 0,02	3,6	24,9 ± 1,2	479 ± 24	0,93 ± 0,05	2	1,88 ± 0,01	2,95 ± 0,03	93,8 ± 1,8	298 ± 10	8,3 ± 0,5	14,3 ± 0,2	1379 ± 44	146 ± 5
06-10	0,77 ± 0,02	3,7	-	-	-	2	-	-	-	222 ± 7	8,2 ± 0,5	13,0 ± 0,2	848 ± 27	98 ± 4
10-15	0,81 ± 0,02	3,8	16,8 ± 0,8	508 ± 25	1,50 ± 0,07	2	1,46 ± 0,06	13,9 ± 0,2	18 ± 0,5	108 ± 4	6,4 ± 0,4	11,0 ± 0,3	424 ± 14	58 ± 3
15-20	0,81 ± 0,02	3,7	14,4 ± 0,7	516 ± 26	1,57 ± 0,08	2	1,19 ± 0,04	9,95 ± 0,20	13 ± 0,5	66 ± 2	6,3 ± 0,4	9,9 ± 0,4	315 ± 12	48 ± 2
20-25	0,58 ± 0,02	3,6	15,4 ± 0,7	534 ± 27	1,41 ± 0,07	2	0,88 ± 0,03	11,9 ± 0,2	13 ± 1	38 ± 1	6,1 ± 0,4	8,5 ± 0,3	243 ± 09	43 ± 2
25-30	0,72 ± 0,02	3,6	14,7 ± 0,7	509 ± 26	1,29 ± 0,06	-	0,82 ± 0,03	10,7 ± 0,1	13 ± 0,4	31 ± 1	5,8 ± 0,4	8,8 ± 0,2	273 ± 09	47 ± 2
30-40	0,58 ± 0,02	3,5	14,0 ± 0,7	499 ± 25	0,20 ± 0,01	-	0,76 ± 0,03	5,55 ± 2,83	14 ± 2,5	23 ± 1	6,6 ± 0,4	7,9 ± 0,2	184 ± 6,6	35 ± 2
<b>Chile: Antarktis; Lado Pinguinera</b>														
Humus	0,29 ± 0,02	4,8	17,3 ± 0,8	237 ± 12	2,51 ± 0,13	4	3,30 ± 0,04	3,63 ± 0,19	501 ± 2	6,4 ± 0,6	419 ± 13	2,1 ± 0,1	16,1 ± 0,7	12 ± 1
00-02	0,52 ± 0,02	4,0	9,76 ± 0,49	112 ± 6	0,87 ± 0,04	4	5,03 ± 0,18	5,47 ± 0,14	156 ± 2	22,6 ± 0,7	595 ± 16	1,8 ± 0,1	11,7 ± 0,5	10 ± 1
02-03	0,83 ± 0,01	3,8	5,16 ± 0,26	57,1 ± 2,8	0,89 ± 0,04	4	5,45 ± 0,17	7,20 ± 0,59	139 ± 5	26,8 ± 0,8	504 ± 13	2,3 ± 0,1	14,2 ± 0,6	9 ± 1
03-04	0,91 ± 0,01	3,6	4,04 ± 0,20	46,7 ± 2,3	0,79 ± 0,04	4	5,5 ± 0,05	7,00 ± 0,27	106 ± 2	15,3 ± 0,5	551 ± 15	1,9 ± 0,1	19,5 ± 0,8	11 ± 1
04-05	0,96 ± 0,01	3,7	4,22 ± 0,21	48,8 ± 2,4	0,72 ± 0,04	4	6,2 ± 0,08	7,13 ± 0,17	94 ± 2	1,8 ± 0,2	505 ± 13	2,1 ± 0,1	7,1 ± 0,3	5 ± 0,2
05-06	0,95 ± 0,01	3,8	4,11 ± 0,21	48,0 ± 0,24	0,68 ± 0,04	4	6,67 ± 0,12	7,13 ± 0,17	84 ± 5	0,6 ± 0,2	451 ± 13	2,1 ± 0,1	4,2 ± 0,2	3 ± 0,1
06-08	1,05 ± 0,01	3,8	3,31 ± 0,17	34,7 ± 1,74	0,55 ± 0,03	4	6,9 ± 0,09	7,33 ± 0,07	110 ± 10	0,5 ± 0,3	493 ± 14	1,5 ± 0,1	5,2 ± 0,2	5 ± 0,2
<b>Chile: Antarktis; Lado Base</b>														
Humus	0,46 ± 0,02	4,3	13,4 ± 0,7	197 ± 10	2,04 ± 0,10	4	3,22 ± 0,01	3,13 ± 0,16	239 ± 5	17 ± 1	507 ± 15	2,2 ± 0,1	16,2 ± 0,7	11 ± 1
00-02	0,83 ± 0,01	3,7	6,23 ± 0,31	82,9 ± 4,1	0,85 ± 0,04	4	4,66 ± 0,69	4,79 ± 0,93	81,3 ± 1,8	22 ± 1	415 ± 12	1,8 ± 0,1	10,8 ± 0,5	9 ± 0,4
02-03	0,92 ± 0,01	3,6	3,62 ± 0,18	41,4 ± 2,1	0,71 ± 0,04	4	4,85 ± 0,03	5,50 ± 0,17	71,3 ± 1,8	17 ± 1	475 ± 13	1,3 ± 0,1	6,2 ± 0,3	7 ± 0,4
03-04	0,97 ± 0,01	3,7	3,53 ± 0,18	40,0 ± 2,0	0,77 ± 0,04	4	5,37 ± 0,02	6,25 ± 0,18	75 ± 3,5	8,3 ± 0,4	459 ± 13	1,8 ± 0,1	13,1 ± 0,6	11 ± 0,5
04-05	1,00 ± 0,01	3,6	3,19 ± 0,16	35,7 ± 1,8	0,74 ± 0,04	4	4,95 ± 0,06	5,38 ± 0,49	78,8 ± 1,8	1,3 ± 0,3	490 ± 13	1,4 ± 0,1	6,6 ± 0,3	7 ± 0,3
05-06	1,04 ± 0,01	3,6	2,72 ± 0,14	29,9 ± 1,5	0,59 ± 0,03	4	6,53 ± 0,49	6,48 ± 0,99	118 ± 2	0,7 ± 0,2	493 ± 14	1,3 ± 0,1	4,7 ± 0,2	6 ± 0,3
06-08	1,10 ± 0,01	3,7	2,99 ± 0,15	32,9 ± 0,16	0,71 ± 0,04	4	6,45 ± 0,11	6,20 ± 0,25	107 ± 4	0,7 ± 0,2	506 ± 14	1,2 ± 0,1	9,2 ± 0,5	11 ± 0,7
<b>Chile: Festland; Curinaco Bajo 1</b>														
Humus	0,60 ± 0,01	5,0	10,2 ± 0,5	218 ± 11	1,75 ± 0,09	23	7,68 ± 0,72	7,54 ± 0,33	417 ± 1	-	-	44,7 ± 1,8	11,9 ± 0,8	36 ± 3
00-01	0,91 ± 0,01	4,6	7,88 ± 0,39	123 ± 0,6	0,63 ± 0,03	23	9,58 ± 0,17	9,88 ± 0,27	420 ± 5	11,4 ± 0,8	161 ± 7	60,9 ± 1,8	6,82 ± 0,45	15 ± 1
01-02	0,79 ± 0,01	4,5	6,83 ± 0,34	102 ± 0,5	0,79 ± 0,04	23	10,0 ± 0,20	9,50 ± 0,23	418 ± 4	15,3 ± 1,0	207 ± 8	72,5 ± 2,0	6,82 ± 0,55	16 ± 2
02-03	0,75 ± 0,01	4,5	6,47 ± 0,32	98,5 ± 4,9	0,72 ± 0,04	23	8,40 ± 0,04	7,25 ± 0,16	323 ± 3	18,2 ± 1,1	235 ± 9	72,0 ± 2,3	6,66 ± 0,52	17 ± 1
03-05	0,97 ± 0,01	4,5	6,13 ± 0,31	91,9 ± 4,6	0,57 ± 0,03	23	10,5 ± 0,2	11,1 ± 0,2	420 ± 3	14,4 ± 0,8	196 ± 7	70,3 ± 2,0	6,79 ± 0,38	16 ± 1
05-10	0,97 ± 0,01	4,6	5,62 ± 0,28	83,9 ± 4,2	0,74 ± 0,04	23	10,8 ± 0,2	11,5 ± 0,1	408 ± 1	14,5 ± 0,8	199 ± 8	83,8 ± 1,8	7,89 ± 0,41	15 ± 1
10-15	0,99 ± 0,01	4,6	4,50 ± 0,23	71,7 ± 3,6	0,64 ± 0,03	23	12,1 ± 0,1	13,8 ± 0,2	310 ± 1	8,46 ± 0,68	191 ± 7	81,6 ± 2,2	6,07 ± 0,26	9,5 ± 0,7
15-20	1,00 ± 0,01	4,6	3,58 ± 0,18	60,7 ± 3,1	0,57 ± 0,03	23	13,9 ± 0,9	15,3 ± 0,3	244 ± 1	1,66 ± 0,63	199 ± 8	110 ± 3	2,29 ± 0,22	4,3 ± 1,1
20-25	1,04 ± 0,01	4,8	3,05 ± 0,15	54,0 ± 2,7	0,51 ± 0,03	9	13,7 ± 0,1	16,0 ± 0,2	158 ± 4	0,35 ± 0,18	198 ± 6	125 ± 2	1,49 ± 0,18	2,1 ± 0,4
25-40	1,01 ± 0,01	4,9	2,7 ± 0,14	45,3 ± 2,3	0,55 ± 0,03	9	15,3 ± 0,1	16,3 ± 0,1	318 ± 2	-	180 ± 6	126 ± 3	1,21 ± 0,17	0,8 ± 0,3

**Tab. A4:** Messdaten der verschiedenen Elemente im Boden aus Bayern und Chile (Teil 3).

Tiefe cm	Dichte mg g <sup>-1</sup>	pH [CaCl <sub>2</sub> ]	N mg g <sup>-1</sup>	C <sub>org</sub> mg g <sup>-1</sup>	S mg g <sup>-1</sup>	Ton- gehalt %	Al-Oxide mg g <sup>-1</sup>	Fe-Oxide mg g <sup>-1</sup>	Mn-Oxide µg g <sup>-1</sup>	<sup>137</sup> Cs Bq kg <sup>-1</sup>	<sup>40</sup> K Bq kg <sup>-1</sup>	<sup>127</sup> I mg kg <sup>-1</sup>	<sup>129</sup> I µBq kg <sup>-1</sup>	<sup>129</sup> I/ <sup>127</sup> I 10 <sup>-12</sup>
<b>Chile: Festland; Curinaco Bajo 2</b>														
00-01	0,83 ± 0,01	4,8	8,26 ± 0,41	150 ± 07	1,11 ± 0,06	23	7,50 ± 0,30	6,95 ± 0,29	463 ± 4	5,84 ± 0,25	67 ± 2	53,8 ± 2,4	5,32 ± 0,24	15 ± 1
01-02	1,01 ± 0,01	4,7	7,01 ± 0,35	113 ± 06	0,97 ± 0,05	23	10,5 ± 2,3	10,1 ± 2,9	558 ± 11	7,16 ± 0,31	64 ± 3	62,9 ± 3,5	6,13 ± 0,28	15 ± 1
02-03	1,39 ± 0,01	4,6	6,45 ± 0,32	101 ± 05	0,88 ± 0,04	23	9,00 ± 0,27	7,83 ± 0,04	485 ± 5	7,71 ± 0,28	86 ± 2	66,6 ± 3,0	6,18 ± 0,27	14 ± 1
03-05	1,47 ± 0,01	4,6	6,09 ± 0,30	92,7 ± 4,6	0,87 ± 0,04	23	12,3 ± 0,17	14,0 ± 0,14	673 ± 4	8,22 ± 0,30	85 ± 2	71,2 ± 3,2	6,00 ± 0,27	13 ± 1
05-10	1,40 ± 0,01	4,5	5,43 ± 0,27	79,7 ± 4,0	0,82 ± 0,04	23	12,9 ± 0,74	13,8 ± 0,50	656 ± 2	-	-	78,9 ± 2,3	5,41 ± 0,29	10 ± 1
10-15	1,37 ± 0,01	4,6	4,86 ± 0,24	72,0 ± 3,6	0,80 ± 0,04	23	12,6 ± 1,2	16,0 ± 0,01	650 ± 2	8,93 ± 0,31	189 ± 5	84,7 ± 2,3	4,59 ± 0,20	8,2 ± 0,4
15-20	1,54 ± 0,01	4,7	3,86 ± 0,19	58,2 ± 2,9	0,67 ± 0,03	23	13,2 ± 1,0	15,8 ± 0,04	558 ± 2	4,04 ± 0,21	190 ± 5	94,2 ± 1,0	2,73 ± 0,20	4,0 ± 0,7
20-25	1,38 ± 0,01	4,7	3,11 ± 0,16	47,8 ± 2,4	0,68 ± 0,03	7	14,1 ± 1,3	16,5 ± 0,04	473 ± 2	-	-	111 ± 3	0,84 ± 0,16	1,4 ± 1
25-40	1,43 ± 0,01	4,8	2,53 ± 0,13	40,5 ± 2,0	0,65 ± 0,03	7	14,6 ± 1,3	16,6 ± 0,13	470 ± 2	1,47 ± 0,15	186 ± 5	84,9 ± 2,0	0,55 ± 0,13	1,4 ± 0,5
40-60	1,40 ± 0,01	4,7	2,35 ± 0,12	33,7 ± 1,7	0,68 ± 0,03	7	15,1 ± 1,4	19,7 ± 0,09	413 ± 2	1,51 ± 0,15	200 ± 5	87,9 ± 4,1	0,58 ± 0,17	1,6 ± 0,4
60-80	1,44 ± 0,01	4,7	1,59 ± 0,08	22,2 ± 1,1	0,66 ± 0,03	7	12,4 ± 0,6	18,1 ± 0,18	401 ± 5	1,23 ± 0,16	213 ± 6	75,9 ± 1,2	0,14 ± 0,11	0,6 ± 0,5
<b>Chile: Festland; Curinaco Alto</b>														
Humus	0,39 ± 0,03	4,8	11,7 ± 0,6	377 ± 19	1,90 ± 0,09	29	2,24 ± 0,13	4,20 ± 0,17	715 ± 45	6,11 ± 0,68	237 ± 8	14,2 ± 1,4	11,3 ± 0,8	148 ± 18
00-01	0,69 ± 0,01	4,2	9,55 ± 0,48	174 ± 09	0,49 ± 0,02	29	5,40 ± 0,09	10,8 ± 0,03	400 ± 4	4,34 ± 0,30	241 ± 7	27,4 ± 5,6	10,3 ± 0,5	56 ± 12
01-02	0,88 ± 0,01	4,1	8,03 ± 0,40	139 ± 07	0,78 ± 0,04	29	5,95 ± 0,31	12,3 ± 0,01	283 ± 4	3,75 ± 0,24	266 ± 8	31,4 ± 5,2	8,79 ± 0,53	49 ± 7
02-03	0,92 ± 0,01	4,0	7,48 ± 0,37	126 ± 06	0,70 ± 0,04	29	6,43 ± 0,05	12,6 ± 0,01	270 ± 2	4,00 ± 0,24	260 ± 8	33,1 ± 5,6	9,83 ± 0,62	48 ± 9
03-05	0,95 ± 0,01	4,1	7,01 ± 0,35	118 ± 06	0,82 ± 0,04	29	6,10 ± 0,08	12,1 ± 0,01	285 ± 2	4,09 ± 0,23	269 ± 8	35,4 ± 6,6	9,49 ± 0,61	41 ± 8
05-10	0,97 ± 0,01	4,1	6,33 ± 0,32	107 ± 05	0,75 ± 0,04	29	6,53 ± 0,03	13,1 ± 0,01	315 ± 2	4,09 ± 0,23	279 ± 8	38,2 ± 5,7	8,44 ± 0,56	35 ± 6
10-15	1,06 ± 0,01	4,1	5,49 ± 0,27	95,9 ± 4,8	0,63 ± 0,03	29	7,13 ± 0,09	13,2 ± 0,01	295 ± 2	2,19 ± 0,18	269 ± 7	47,2 ± 5,1	6,76 ± 0,53	23 ± 3
15-20	1,03 ± 0,01	4,3	4,15 ± 0,21	73,9 ± 3,7	0,58 ± 0,03	18	7,83 ± 0,03	13,7 ± 0,01	230 ± 2	0,40 ± 0,15	274 ± 8	55,4 ± 5,0	3,41 ± 0,25	10 ± 2
20-25	1,02 ± 0,01	4,3	3,19 ± 0,16	58,9 ± 2,9	0,48 ± 0,02	18	8,58 ± 1,31	13,6 ± 0,02	205 ± 2	0,3 ± 0,21	286 ± 8	68,0 ± 6,1	2,40 ± 0,21	5,4 ± 0,9
25-40	1,08 ± 0,01	4,4	2,52 ± 0,13	42,4 ± 2,1	0,46 ± 0,02	18	7,80 ± 0,11	14,7 ± 0,01	220 ± 2	-	291 ± 8	66,4 ± 5,4	1,88 ± 0,14	5,4 ± 0,7
<b>Chile: Festland; Küstenkordiller</b>														
00-01	1,07 ± 0,02	5,4	5,59 ± 0,28	78,5 ± 3,9	0,79 ± 0,04	36	3,70 ± 0,09	7,81 ± 0,42	1504 ± 542	1,98 ± 0,23	82 ± 2	12,9 ± 0,3	1,54 ± 0,13	17 ± 3
01-02	1,33 ± 0,02	5,3	4,79 ± 0,24	65,5 ± 3,3	0,77 ± 0,04	36	3,73 ± 0,02	8,38 ± 0,04	113 ± 1	-	-	14,6 ± 0,4	2,08 ± 0,09	22 ± 1
02-03	1,48 ± 0,02	5,0	3,86 ± 0,19	51,4 ± 2,6	0,57 ± 0,03	36	3,95 ± 0,05	9,08 ± 0,09	122 ± 1	2,04 ± 0,17	78 ± 2	13,4 ± 0,4	1,69 ± 0,19	20 ± 2
03-05	1,36 ± 0,02	4,9	3,50 ± 0,18	45,5 ± 2,3	0,63 ± 0,03	36	4,38 ± 0,39	9,20 ± 0,17	1184 ± 2	2,10 ± 0,16	97 ± 3	13,8 ± 0,4	1,86 ± 0,12	17 ± 3
05-10	1,40 ± 0,02	5,0	2,85 ± 0,14	37,2 ± 1,8	0,51 ± 0,03	36	3,93 ± 0,02	8,75 ± 0,17	125 ± 1	2,17 ± 0,17	83 ± 2	18,1 ± 0,6	2,14 ± 0,10	17 ± 2
10-15	1,60 ± 0,02	5,0	2,44 ± 0,12	31,3 ± 1,6	0,39 ± 0,02	36	4,13 ± 0,06	9,25 ± 0,31	123 ± 1	3,36 ± 0,19	151 ± 4	15,9 ± 0,6	2,22 ± 0,24	21 ± 1
15-20	1,39 ± 0,02	5,0	2,01 ± 0,10	26,2 ± 1,3	0,51 ± 0,03	36	4,35 ± 0,03	10,3 ± 0,11	1825 ± 14	2,25 ± 0,15	138 ± 4	19,5 ± 1,5	1,30 ± 0,18	9,5 ± 2,3
20-25	1,60 ± 0,02	5,0	1,50 ± 0,08	18,8 ± 0,9	0,36 ± 0,02	54	4,39 ± 0,40	9,79 ± 1,36	1255 ± 64	1,51 ± 0,16	133 ± 4	24,0 ± 1,1	0,72 ± 0,11	4,3 ± 1,6
25-40	1,46 ± 0,02	5,0	1,21 ± 0,06	15,3 ± 0,7	0,39 ± 0,02	54	3,78 ± 0,05	10,4 ± 0,09	973 ± 4	1,63 ± 0,14	114 ± 3	24,4 ± 1,4	0,31 ± 0,08	9,3 ± 1,6

**Tab. A4:** Messdaten der verschiedenen Elemente im Boden aus Bayern und Chile (Teil 4).

Tiefe cm	Dichte mg g <sup>-1</sup>	pH [CaCl <sub>2</sub> ]	N mg g <sup>-1</sup>	C <sub>org</sub> mg g <sup>-1</sup>	S mg g <sup>-1</sup>	Ton- gehalt %	Al-Oxide mg g <sup>-1</sup>	Fe-Oxide mg g <sup>-1</sup>	Mn-Oxide µg g <sup>-1</sup>	<sup>137</sup> Cs Bq kg <sup>-1</sup>	<sup>40</sup> K Bq kg <sup>-1</sup>	<sup>127</sup> I mg kg <sup>-1</sup>	<sup>129</sup> I µBq kg <sup>-1</sup>	<sup>129</sup> I/ <sup>127</sup> I 10 <sup>-12</sup>
<b>Chile: Osterinsel 1</b>														
Humus	0,36 ± 0,03	5,3	5,86 ± 0,29	49 ± 23	1,36 ± 0,07	9	-	0,09 ± 0,01	579 ± 42	-	-	2,79 ± 0,60	0,96 ± 0,76	52 ± 4,1
00-03	0,77 ± 0,01	4,3	7,18 ± 0,36	134 ± 07	0,66 ± 0,03	9	17,7 ± 0,2	13,5 ± 0,2	538 ± 5	7,22 ± 0,49	59 ± 2	158 ± 8	4,64 ± 0,36	4,2 ± 0,6
03-06	0,90 ± 0,01	4,3	5,38 ± 0,27	78,2 ± 3,9	0,53 ± 0,03	9	20,7 ± 1,2	13,9 ± 0,2	410 ± 77	6,25 ± 0,44	42 ± 2	95,2 ± 2,1	2,21 ± 0,26	3,3 ± 1,0
06-09	0,88 ± 0,01	4,5	4,70 ± 0,24	59,2 ± 2,9	0,65 ± 0,03	4	20,5 ± 1,1	16,5 ± 0,2	469 ± 10	0,81 ± 0,28	42 ± 2	145 ± 6	1,23 ± 0,15	2,3 ± 0,2
09-12	0,89 ± 0,01	4,4	4,04 ± 0,20	50,0 ± 2,5	0,71 ± 0,04	4	20,4 ± 0,4	16,8 ± 0,3	338 ± 2	1,35 ± 0,30	34 ± 1	189 ± 8	0,25 ± 0,12	0,3 ± 0,2
12-15	0,89 ± 0,01	4,4	3,95 ± 0,20	50,3 ± 2,5	0,70 ± 0,03	4	20,0 ± 0,3	18,0 ± 0,4	340 ± 2	0,61 ± 0,28	36 ± 1	94,9 ± 7,0	0,11 ± 0,07	0,2 ± 0,1
15-18	0,79 ± 0,01	4,5	3,6 ± 0,18	49,7 ± 2,5	0,57 ± 0,03	4	21,2 ± 0,3	17,5 ± 0,2	248 ± 4	0,65 ± 0,32	25 ± 1	92,2 ± 6,	0,15 ± 0,06	0,3 ± 0,2
18-21	0,89 ± 0,01	4,5	3,06 ± 0,15	46,6 ± 2,3	0,64 ± 0,03	4	23,5 ± 0,3	15,6 ± 0,1	107 ± 1	-	41 ± 2	93,3 ± 6,9	0,10 ± 0,05	0,6 ± 0,2
21-24	0,90 ± 0,01	4,5	2,46 ± 0,12	41,5 ± 2,1	0,59 ± 0,03	4	27,7 ± 0,6	11,6 ± 0,1	23 ± 0,1	-	43 ± 2	83,2 ± 6,4	0,20 ± 0,05	0,4 ± 0,3
24-27	0,90 ± 0,01	4,5	1,94 ± 0,10	37,5 ± 1,9	0,55 ± 0,03	4	27,3 ± 0,4	7,63 ± 0,1	5,5 ± 0,2	0,49 ± 0,27	52 ± 2	64,6 ± 5,0	0,10 ± 0,04	0,8 ± 0,6
27-30	0,90 ± 0,01	4,4	1,64 ± 0,08	35,1 ± 1,8	0,49 ± 0,02	4	26,2 ± 1,5	7,10 ± 0,4	9,3 ± 2,3	-	65 ± 2	64,1 ± 5,2	0,43 ± 0,07	2,2 ± 0,7
<b>Chile: Osterinsel 2</b>														
00-03	0,90 ± 0,01	4,8	5,96 ± 0,30	83,5 ± 4,2	1,55 ± 0,08	5	4,73 ± 0,26	8,54 ± 0,46	2575 ± 2	11,5 ± 0,4	20 ± 1	98,9 ± 4,5	13,4 ± 1,4	22 ± 1,4
03-06	1,48 ± 0,01	4,8	4,94 ± 0,25	60,3 ± 3,0	1,13 ± 0,06	5	4,55 ± 0,06	9,50 ± 0,04	2500 ± 2	16,2 ± 0,4	14 ± 0,4	94,9 ± 3,3	11,5 ± 0,6	19 ± 1,2
06-09	1,50 ± 0,01	4,7	4,01 ± 0,20	45,3 ± 2,3	0,79 ± 0,04	5	4,00 ± 0,01	10,4 ± 0,3	2600 ± 4	5,77 ± 0,24	16 ± 0,5	108 ± 4	6,16 ± 0,48	9,0 ± 0,8
09-12	1,60 ± 0,01	4,9	3,19 ± 0,16	33,1 ± 1,6	0,82 ± 0,04	5	3,88 ± 0,03	12,1 ± 0,2	2625 ± 2	2,57 ± 0,17	20 ± 0,6	113 ± 3	2,25 ± 0,36	3,5 ± 0,5
12-15	1,67 ± 0,01	4,9	2,68 ± 0,13	29,0 ± 1,5	0,78 ± 0,04	5	3,84 ± 0,15	11,9 ± 0,8	2448 ± 1	1,64 ± 0,14	22 ± 0,6	103 ± 3	1,02 ± 0,22	1,9 ± 0,3
15-18	1,55 ± 0,01	5,1	2,34 ± 0,12	25,7 ± 1,3	0,79 ± 0,04	5	3,80 ± 0,04	13,6 ± 0,3	2383 ± 5	0,58 ± 0,13	134 ± 0,4	93,8 ± 2,5	0,43 ± 0,16	1,0 ± 0,2
18-21	1,57 ± 0,01	5,1	2,11 ± 0,11	23,6 ± 1,2	0,72 ± 0,04	5	3,68 ± 0,04	13,1 ± 0,2	2283 ± 2	1,20 ± 0,30	7,7 ± 0,4	84,7 ± 3,2	1,11 ± 0,16	2,1 ± 0,3
21-24	1,53 ± 0,01	5,1	2,19 ± 0,11	24,5 ± 1,2	0,77 ± 0,04	5	3,93 ± 0,03	13,3 ± 0,3	2245 ± 7	1,48 ± 0,26	13 ± 0,3	81,0 ± 2,9	0,65 ± 0,11	1,9 ± 0,6
24-27	1,64 ± 0,01	5,1	1,94 ± 0,10	22,6 ± 1,1	0,64 ± 0,03	5	4,15 ± 0,07	13,8 ± 0,3	1745 ± 2	1,09 ± 0,28	12 ± 0,5	73,1 ± 1,1	0,44 ± 0,08	1,3 ± 0,3
27-30	1,56 ± 0,01	5,1	1,68 ± 0,08	22,2 ± 1,1	0,62 ± 0,03	5	3,99 ± 1,23	10,3 ± 0,4	1153 ± 1	1,49 ± 0,30	6,8 ± 0,3	85,5 ± 2,5	1,24 ± 0,19	2,6 ± 0,3

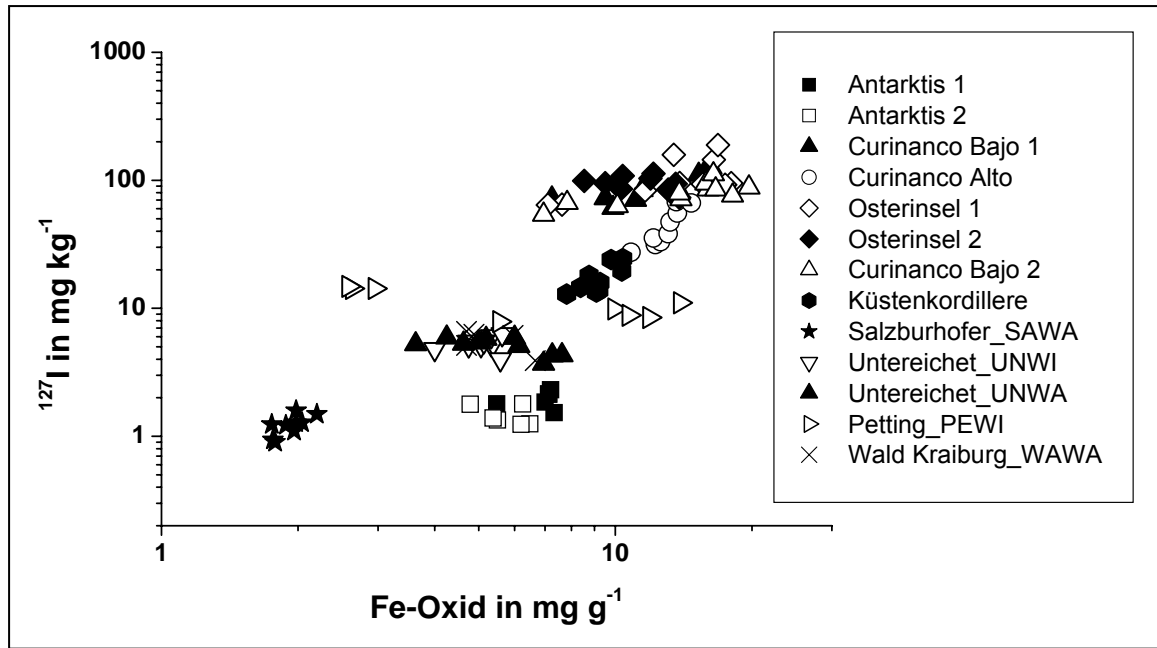


Abb. A1: Eisenoxid-Gehalte und <sup>127</sup>I-Gehalte in den Böden aus Bayern und Chile

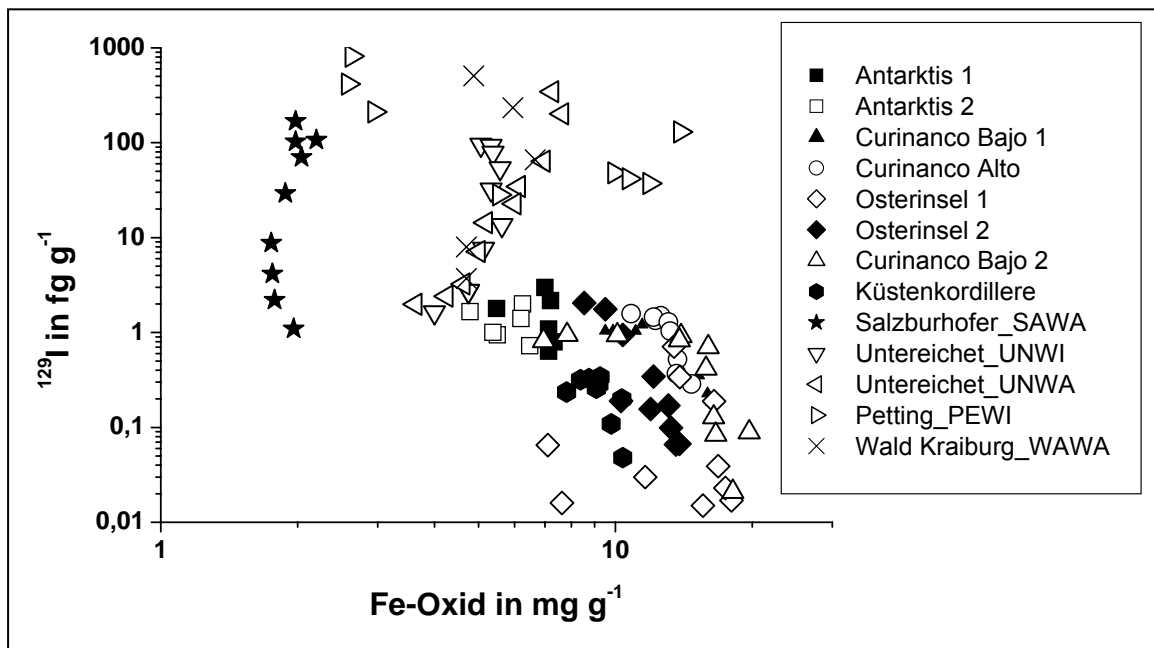


Abb. A2: Eisenoxid-Gehalte und <sup>129</sup>I-Gehalte in den Böden aus Bayern und Chile



**Tab. A5:** Rohdaten der Proben aus Ukraine (Teil 1).

Name der Orte	Zone	Rajon	Oblast'	Ntot	Lat	Lon	X	Y	AM	SD
<b>Seletz</b>	2	Naroditschi	Jitomir	218	51	29	-73	-24	7878	9032
<b>Nowe Scharno</b>	2	Naroditschi	Jitomir	48	51	29	-63	-19	16438	13581
<b>Stare Scharno</b>	2	Naroditschi	Jitomir	69	51	29	-65	-20	7964	7910
<b>Naroditschi</b>	2	Naroditschi	Jitomir	1546	51	29	-70	-21	4234	6629
<b>Hristiniwka</b>	2	Naroditschi	Jitomir	64	51	29	-61	-18	19591	28247
<b>Zwizdal'</b>	2	Naroditschi	Jitomir	33	51	29	-59	-25	6720	7013
<b>Perejisd</b>	2	Owrutsch	Jitomir	15	51	29	-66	-2	2130	1962
<b>Tarasi</b>	2	Poliske	Kiew	53	51	29	-54	-15	1912	2643
<b>Polis'ke</b>	2	Naroditschi	Jitomir	33	51	29	-61	-35	6715	7514
<b>Rossochiws'ke</b>	2	Naroditschi	Jitomir	12	51	29	-75	-30	3743	2150
<b>Loznitsya</b>	2	Naroditschi	Jitomir	37	51	29	-69	-31	4353	4632
<b>Sewerinivka</b>	2	Naroditschi	Jitomir	4	51	29	-70	-33	9928	35197
<b>Lyubarka</b>	2	Naroditschi	Jitomir	104	51	29	-71	-36	6756	6848
<b>Jurawlina</b>	2	Naroditschi	Jitomir	7	51	29	-74	-38	5762	3269
<b>Weliki Klischi</b>	2	Naroditschi	Jitomir	111	51	29	-63	-37	5249	7020
<b>Rogi</b>	2	Naroditschi	Jitomir	4	51	29	-69	-37	4928	3456
<b>Kaliniwka</b>	2	Naroditschi	Jitomir	144	51	29	-69	-42	3870	2872
<b>Mali Klischi</b>	2	Naroditschi	Jitomir	46	51	29	-64	-31	8418	8910
<b>Mali Min'ki</b>	2	Naroditschi	Jitomir	29	51	29	-57	-29	13073	9195
<b>Rudnya O-soschnya</b>	2	Naroditschi	Jitomir	37	51	29	-51	-28	10083	18598
<b>Weliki Min'ki</b>	2	Naroditschi	Jitomir	19	51	29	-54	-34	3419	3787
<b>Listiniwka</b>	2	Naroditschi	Jitomir	8	51	29	-55	-35	3651	1857
<b>Basar</b>	2	Naroditschi	Jitomir	514	51	29	-55	-39	1771	2576
<b>Odrubi</b>	3	Naroditschi	Jitomir	12	51	29	-68	-15	3763	2681
<b>Motijki</b>	3	Naroditschi	Jitomir	57	51	29	-59	-15	8191	9649
<b>Zalissya</b>	3	Naroditschi	Jitomir	97	51	29	-62	-15	3716	4210

**Tab. A5:** Rohdaten der Proben aus Ukraine (Teil 2).

Name	Zone	Rajon	Oblast'	Ntot	Lat	Lon	X	Y	AM	SD
Nowij Dorogin'	3	Naroditschi	Jitomir	64	51	29	-67	-14	3904	2247
Yagberen'	3	Naroditschi	Jitomir	83	51	29	-66	-17	8338	10166
Nowa Radtscha	3	Naroditschi	Jitomir	57	51	29	-55	-5	2900	2990
Stara Radtscha	3	Naroditschi	Jitomir	89	51	29	-55	-2	2708	3088
Radtscha	3	Naroditschi	Jitomir	9	51	29	-56	-5	3920	4217
Greslya	3	Naroditschi	Jitomir	30	51	29	-57	-8	1964	1495
Marjaniwka	3	Naroditschi	Jitomir	9	51	29	-70	-8	6814	5205
Klotschki	3	Naroditschi	Jitomir	43	51	29	-73	-12	3863	2775
Lataschi	3	Naroditschi	Jitomir	41	51	29	-73	-14	2847	1447
Snitische	3	Naroditschi	Jitomir	33	51	29	-70	-16	3875	1790
Wjasiwka	3	Naroditschi	Jitomir	118	51	29	-85	-27	1193	1172
Sakusili	3	Naroditschi	Jitomir	59	51	29	-79	-26	1348	1080
Babinitschi	3	Naroditschi	Jitomir	147	51	29	-77	-25	1160	1100
Jerew	3	Naroditschi	Jitomir	74	51	29	-81	-27	1066	1089
Brodniki	3	Naroditschi	Jitomir	20	51	29	-56	-43	1119	914
Polis'ke	3	Poliske	Kiew	54	51	29	-53	-22	2386	2786
Rudnya Basars'ka	3	Naroditschi	Jitomir	52	51	29	-57	-36	8068	13835
Slawinschina	3	Naroditschi	Jitomir	33	51	29	-65	-16	5092	2849
Starij Dorogin	3	Naroditschi	Jitomir	81	51	29	-69	-14	4519	3046

Wobei:

<b>Ntot</b>	Total number of measured individuals
<b>Lat</b>	Latitude, decimal degrees
<b>Lon</b>	Longitude, decimal degrees
<b>X</b>	Rectangular coordinates relative to release point (West->East), km
<b>Y</b>	Rectangular coordinates relative to release point (South->North), km
<b>AM</b>	Settlement-average integrated thyroidal activity of <sup>131</sup> I, kBq day
<b>SD</b>	Arithmetic standard deviation of the AM

**Tab. A5:** Rohdaten der Proben aus Ukraine (Teil 3).

Name der Orte	Zone	Rajon	Oblast'	Evakuierungsdatum	Bewohnerzahl von Evakuierung
<b>Seletz</b>	2	Naroditschi	Jitomir	Keine Evakuierung	633
<b>Nowe Scharno</b>	2	Naroditschi	Jitomir	28.05.1986	135
<b>Stare Scharno</b>	2	Naroditschi	Jitomir	26.05.1986	538
<b>Naroditschi</b>	2	Naroditschi	Jitomir	Teilevakuierung	6400
<b>Hristiniwka</b>	2	Naroditschi	Jitomir	20.05.1989	358
<b>Zwizdal'</b>	2	Naroditschi	Jitomir	14.12.1989	300
<b>Perejisd</b>	2	Owrutsch	Jitomir	25.04.1986	133
<b>Tarasi</b>	2	Poliske	Kiew	1986-1994	538
<b>Polis'ke</b>	2	Naroditschi	Jitomir	1986-2001	11900
<b>Rossochiws'ke</b>	2	Naroditschi	Jitomir	Keine Evakuierung	294
<b>Loznitsya</b>	2	Naroditschi	Jitomir	1990-1991	387
<b>Sewerinivka</b>	2	Naroditschi	Jitomir	1991-1992	69
<b>Lyubarka</b>	2	Naroditschi	Jitomir	1991-1992	404
<b>Jurawlina</b>	2	Naroditschi	Jitomir	1991-1992	72
<b>Weliki Klischi</b>	2	Naroditschi	Jitomir	1990	550
<b>Rogi</b>	2	Naroditschi	Jitomir	1991-1992	47
<b>Kaliniwka</b>	2	Naroditschi	Jitomir	1991-1992	743
<b>Mali Klischi</b>	2	Naroditschi	Jitomir	1990	425
<b>Mali Min'ki</b>	2	Naroditschi	Jitomir	1990	189
<b>Rudnya O-soschnya</b>	2	Naroditschi	Jitomir	1990	248
<b>Weliki Min'ki</b>	2	Naroditschi	Jitomir	1991-1992	121
<b>Listiniwka</b>	2	Naroditschi	Jitomir	1991-1992	53
<b>Basar</b>	2	Naroditschi	Jitomir	1991	1523
<b>Wistupovitschi</b>	3	Naroditschi	Jitomir	1989	838(55 illegal geblieben)
<b>Motijki</b>	3	Naroditschi	Jitomir	Keine Evakuierung	504
<b>Zalissya</b>	3	Naroditschi	Jitomir	Keine Evakuierung	572

**Tab. A5:** Rohdaten der Proben aus Ukraine (Teil 4).

<b>Name der Orte</b>	<b>Zone</b>	<b>Rajon</b>	<b>Oblast'</b>	<b>Evakuierungsdatum</b>	<b>Bewohnerzahl von Evakuierung</b>
<b>Nowij Dorogin'</b>	3	Naroditschi	Jitomir	Keine Evakuierung	400
<b>Yagberen'</b>	3	Naroditschi	Jitomir	Keine Evakuierung	348
<b>Nowa Radtscha</b>	3	Naroditschi	Jitomir	Keine Evakuierung	215
<b>Stara Radtscha</b>	3	Naroditschi	Jitomir	Teilevakuierung	55
<b>Radtscha</b>	3	Naroditschi	Jitomir	Keine Evakuierung	626
<b>Greslya</b>	3	Naroditschi	Jitomir	Keine Evakuierung	100
<b>Marjaniwka</b>	3	Naroditschi	Jitomir	1990-1991	96
<b>Klotschki</b>	3	Naroditschi	Jitomir	Keine Evakuierung	360
<b>Lataschi</b>	3	Naroditschi	Jitomir	Keine Evakuierung	470
<b>Snitische</b>	3	Naroditschi	Jitomir	Keine Evakuierung	224
<b>Wjasiwka</b>	3	Naroditschi	Jitomir	Keine Evakuierung	622
<b>Sakusili</b>	3	Naroditschi	Jitomir	Keine Evakuierung	420
<b>Babinitschi</b>	3	Naroditschi	Jitomir	Keine Evakuierung	511
<b>Jerew</b>	3	Naroditschi	Jitomir	Keine Evakuierung	426
<b>Brodniki</b>	3	Naroditschi	Jitomir	Keine Evakuierung	90
<b>Polis'ke</b>	3	Poliske	Kiew	1990	120
<b>Rudnya Basars'ka</b>	3	Naroditschi	Jitomir	1991	239
<b>Slawinschina</b>	3	Naroditschi	Jitomir	Keine Evakuierung	135
<b>Starij Dorogin</b>	3	Naroditschi	Jitomir	Keine Evakuierung	341
<b>Odrubi</b>	3	Naroditschi	Jitomir	Keine Evakuierung	72

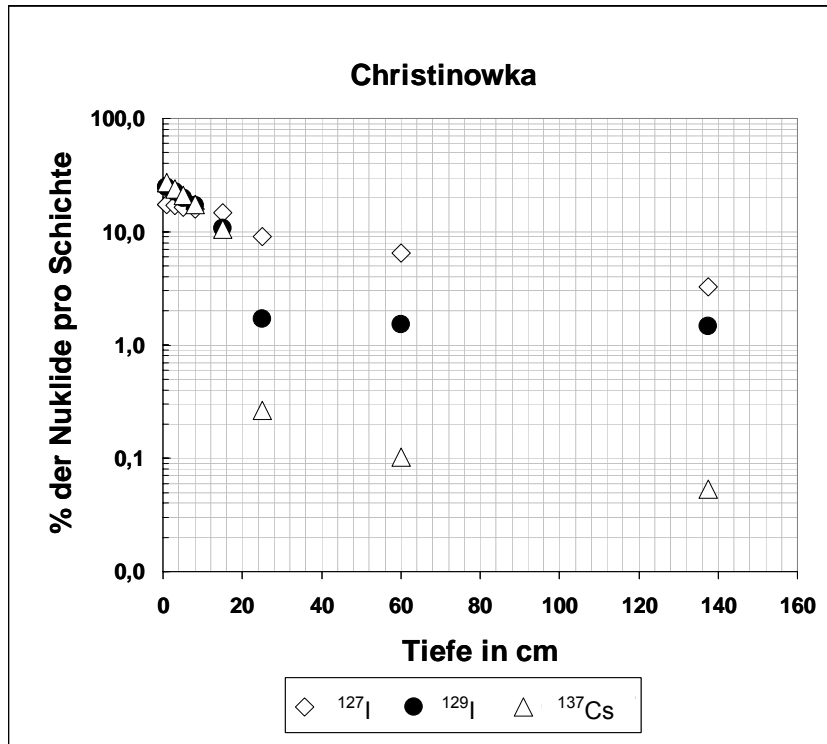


Abb. A3. Tiefenabhängigkeit der Prozentual  $^{127}\text{I}$ -,  $^{129}\text{I}$ - und  $^{137}\text{Cs}$ - Depositionsdichten in den Bodenprofilen aus Christinowka.

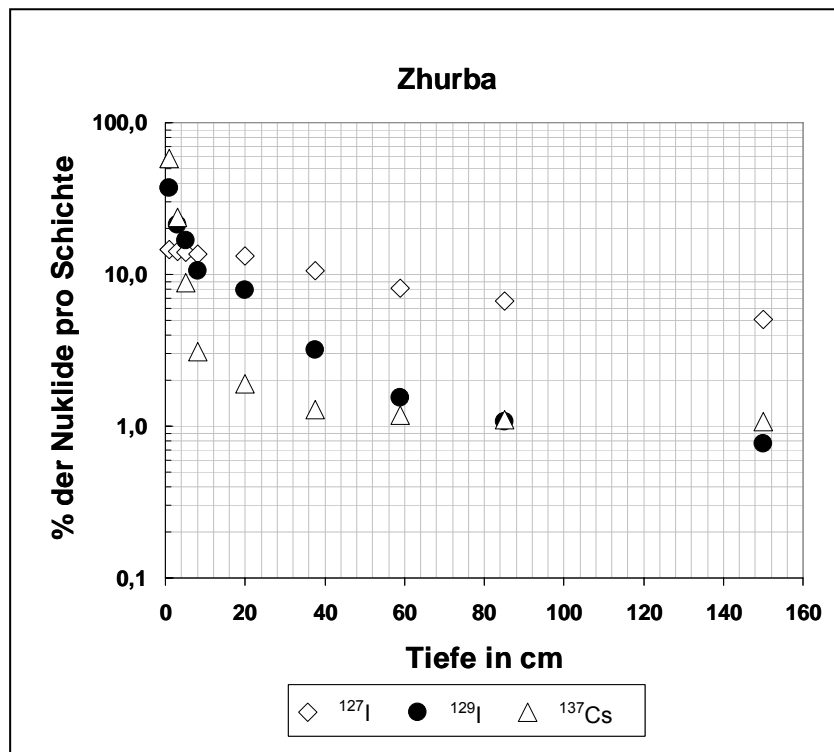
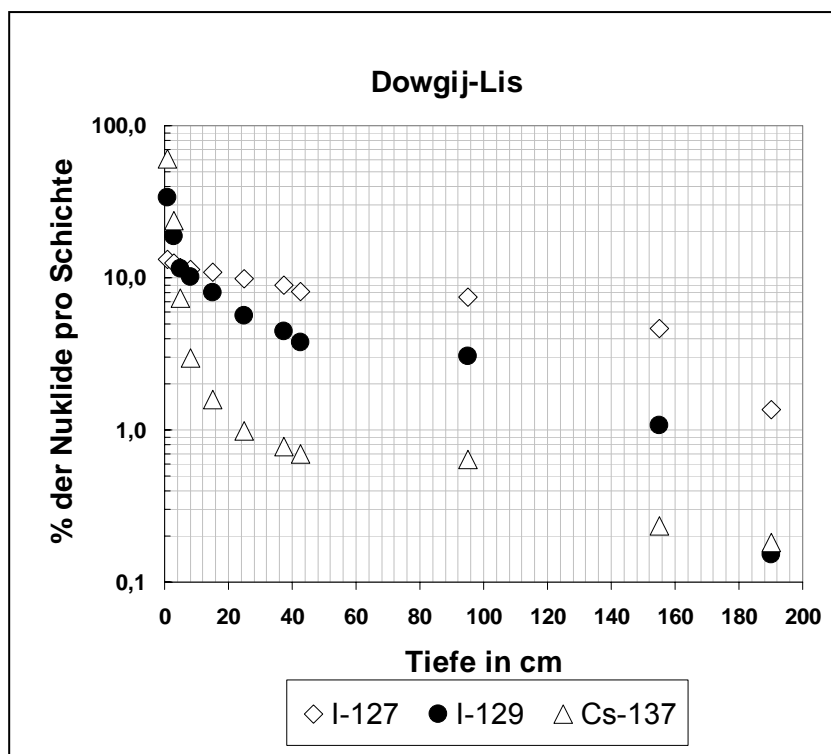


Abb. A4: Tiefenabhängigkeit der Prozentual  $^{127}\text{I}$ -,  $^{129}\text{I}$ - und  $^{137}\text{Cs}$ - Depositionsdichten in den Bodenprofilen aus Zhurba.



**Abb. A5:** Tiefenabhängigkeit der Prozentual  $^{127}\text{I}$ -,  $^{129}\text{I}$ - und  $^{137}\text{Cs}$ - Depositionsdichten in den Bodenprofilen aus Dowgij-Lis.

Tab. A6: Messdaten von verschiedenen Elemente in Böden aus der Ukraine (Teil 1).

Name	Zone	Dichte g cm <sup>-2</sup>	Ausbeute%	A( <sup>137</sup> Cs) Bq kg <sup>-1</sup>	A( <sup>40</sup> K) Bq kg <sup>-1</sup>	A( <sup>127</sup> I) mg kg <sup>-1</sup>	A( <sup>129</sup> I) mBq/kg	<sup>129</sup> I/ <sup>127</sup> I in 10 <sup>-8</sup>	D( <sup>137</sup> Cs) kBq m <sup>-2</sup>	D( <sup>40</sup> K) k Bq m <sup>-2</sup>	D( <sup>127</sup> I) m <sup>-2</sup>	D( <sup>129</sup> I) mBq m <sup>-2</sup>
Seletz: 1	2	1,43 ± 0,04	98,60	237 ± 08	343 ± 18	0,67 ± 0,02	0,12 ± 0,04	2,76 ± 0,13	135 ± 06	196 ± 12	382 ± 17	70,0 ± 3,5
Seletz: 2	2	1,52 ± 0,04	46,80	911 ± 29	142 ± 12	0,74 ± 0,01	0,07 ± 0,00	1,46 ± 0,07	553 ± 24	86,2 ± 7,6	450 ± 15	43,8 ± 2,3
Seletz: 3	2	1,38 ± 0,04	62,20	733 ± 24	214 ± 14	1,00 ± 0,03	0,28 ± 0,01	4,26 ± 0,21	406 ± 17	118 ± 9	556 ± 22	157 ± 08
Seletz: 4	2	1,73 ± 0,05	92,30	470 ± 15	165 ± 12	0,72 ± 0,02	0,19 ± 0,01	3,94 ± 0,21	325 ± 14	114 ± 9	500 ± 21	131 ± 07
Seletz: 5	2	1,82 ± 0,05	81,90	738 ± 24	117 ± 11	0,53 ± 0,02	0,22 ± 0,01	6,26 ± 0,34	537 ± 23	85,0 ± 8,1	387 ± 18	161 ± 08
Nowe Scharno 1	2	1,62 ± 0,05	90,80	4004 ± 129	228 ± 14	0,14 ± 0,00	0,91 ± 0,04	97 ± 5	2592 ± 111	148 ± 10	91,2 ± 3,5	590 ± 30
Nowe Scharno 2	2	1,66 ± 0,05	86,40	6179 ± 199	194 ± 13	0,30 ± 0,01	1,55 ± 0,06	77 ± 5	4109 ± 176	129 ± 10	202 ± 11	1030 ± 52
Nowe Scharno 3	2	1,66 ± 0,05	81,10	10505 ± 337	329 ± 17	0,38 ± 0,01	3,12 ± 0,13	122 ± 7	6987 ± 299	219 ± 13	256 ± 12	2072 ± 104
Nowe Scharno 4	2	1,66 ± 0,05	90,80	8872 ± 285	332 ± 18	0,40 ± 0,02	1,84 ± 0,08	69 ± 4	5901 ± 253	221 ± 13	266 ± 14	1221 ± 61
Nowe Scharno 5	2	1,59 ± 0,04	79,70	12497 ± 401	483 ± 23	0,45 ± 0,02	3,54 ± 0,15	118 ± 08	7935 ± 340	307 ± 17	285 ± 16	2246 ± 112
Stare Scharno 1	2	1,57 ± 0,04	62,30	1595 ± 51	412 ± 21	0,65 ± 0,01	0,73 ± 0,03	16,9 ± 0,8	1003 ± 043	259 ± 15	410 ± 15	461 ± 23
Stare Scharno 2	2	1,50 ± 0,04	86,80	4920 ± 158	392 ± 20	0,54 ± 0,02	0,47 ± 0,02	13,1 ± 0,7	2959 ± 127	236 ± 14	324 ± 16	281 ± 14
Stare Scharno 3	2	1,57 ± 0,04	83,50	4872 ± 157	383 ± 19	0,71 ± 0,02	1,23 ± 0,05	26,0 ± 1,3	3063 ± 131	241 ± 14	448 ± 17	773 ± 39
Stare Scharno 4	2	1,57 ± 0,04	68,30	8951 ± 288	339 ± 18	0,77 ± 0,03	0,69 ± 0,03	13,5 ± 0,7	5628 ± 241	213 ± 13	486 ± 22	437 ± 22
Stare Scharno 5	2	1,53 ± 0,04	95,90	1626 ± 52	464 ± 21	1,18 ± 0,02	0,48 ± 0,02	6,13 ± 0,27	0997 ± 043	285 ± 15	721 ± 23	294 ± 15
Nosdrische 1	2	1,44 ± 0,04	85,00	1807 ± 58	474 ± 22	0,60 ± 0,04	0,71 ± 0,03	18,0 ± 1,5	1041 ± 045	274 ± 15	344 ± 27	412 ± 21
Nosdrische 2	2	1,47 ± 0,04	74,60	1429 ± 46	503 ± 23	0,58 ± 0,02	0,53 ± 0,02	13,8 ± 0,7	840 ± 36	296 ± 16	342 ± 15	313 ± 16
Nosdrische 3	2	1,57 ± 0,04	88,10	138 ± 05	262 ± 15	0,45 ± 0,02	0,33 ± 0,21	11,2 ± 2,3	86,9 ± 3,8	164 ± 10	281 ± 25	208 ± 10
Nosdrische 4	2	1,65 ± 0,05	87,40	1005 ± 032	429 ± 20	1,19 ± 0,04	0,25 ± 0,01	3,17 ± 0,16	662 ± 28	282 ± 16	784 ± 32	165 ± 08
Nosdrische 5	2	1,73 ± 0,05	97,20	9129 ± 293	309 ± 16	0,81 ± 0,02	2,58 ± 0,04	48,3 ± 2,3	6311 ± 270	214 ± 13	557 ± 21	1785 ± 89
Dowgij Lis 1	2	1,68 ± 0,05	26,70	255 ± 08	359 ± 19	0,16 ± 0,01	0,39 ± 0,02	37,9 ± 2,1	171 ± 07	241 ± 14	105 ± 05	265 ± 13
Dowgij Lis 2	2	1,73 ± 0,05	78,90	981 ± 32	148 ± 12	0,38 ± 0,01	0,13 ± 0,01	5,10 ± 0,23	679 ± 29	103 ± 09	264 ± 09	89 ± 5
Dowgij Lis 3	2	1,65 ± 0,05	86,30	790 ± 26	224 ± 15	0,24 ± 0,01	0,53 ± 0,02	33,2 ± 2,4	520 ± 22	147 ± 11	158 ± 11	348 ± 17
Dowgij Lis 4	2	1,59 ± 0,04	85,00	506 ± 16	173 ± 13	0,62 ± 0,01	0,54 ± 0,02	13,1 ± 0,6	321 ± 14	110 ± 09	397 ± 13	346 ± 17
Dowgij Lis 5	2	1,71 ± 0,05	68,80	796 ± 26	122 ± 01	0,94 ± 0,05	1,04 ± 0,04	16,7 ± 1,08	545 ± 23	83,7 ± 8,0	645 ± 37	715 ± 36
Omelniki 1	2	1,73 ± 0,05	90,30	85 ± 3	100 ± 07	0,84 ± 0,03	0,09 ± 0,00	1,66 ± 0,09	58,6 ± 2,6	69,1 ± 5,5	580 ± 24	64 ± 3
Omelniki 2	2	1,73 ± 0,05	73,50	151 ± 05	94 ± 7	0,27 ± 0,02	0,07 ± 0,00	3,68 ± 0,27	104 ± 05	64,9 ± 5,4	187 ± 12	46 ± 2
Omelniki 3	2	1,66 ± 0,05	62,20	922 ± 30	109 ± 08	0,13 ± 0,02	0,20 ± 0,01	22,5 ± 4,31	613 ± 26	72,2 ± 5,6	88 ± 17	132 ± 07
Omelniki 4	2	1,75 ± 0,05	83,70	150 ± 05	98 ± 7	0,29 ± 0,01	0,07 ± 0,00	3,50 ± 0,21	105 ± 05	68,1 ± 5,4	206 ± 11	48 ± 2
Omelniki 5	2	1,76 ± 0,05	35,90	210 ± 07	114 ± 08	1,88 ± 0,05	0,12 ± 0,01	0,97 ± 0,05	148 ± 06	80,2 ± 5,9	1328 ± 53	86 ± 4
Motili 1	2	1,75 ± 0,05	54,30	160 ± 05	81 ± 5	0,45 ± 0,02	0,08 ± 0,04	2,68 ± 0,18	112 ± 05	56,5 ± 3,9	318 ± 18	57 ± 3
Motili 2	2	1,80 ± 0,05	92,90	175 ± 06	76 ± 5	0,55 ± 0,01	0,21 ± 0,04	5,67 ± 0,26	126 ± 05	54,9 ± 3,8	395 ± 13	149 ± 07
Motili 3	2	1,75 ± 0,05	85,20	161 ± 05	72 ± 5	0,52 ± 0,05	0,09 ± 0,04	2,54 ± 0,28	112 ± 05	50,2 ± 3,6	361 ± 38	61 ± 3
Motili 4	2	1,62 ± 0,05	93,60	258 ± 08	99 ± 6	1,61 ± 0,06	0,21 ± 0,04	2,01 ± 0,12	167 ± 07	64,2 ± 4,2	1042 ± 51	139 ± 07
Motili 5	2	1,90 ± 0,05	98,20	144 ± 05	63 ± 4	0,17 ± 0,01	0,16 ± 0,04	14,5 ± 0,8	110 ± 05	48,1 ± 3,5	130 ± 06	125 ± 06
Naroditschi 1	2	1,34 ± 0,04	80,90	77 ± 3	266 ± 13	1,08 ± 0,03	0,26 ± 0,01	3,58 ± 0,18	41 ± 2	143 ± 08	578 ± 24	137 ± 07
Naroditschi 2	2	1,54 ± 0,04	69,30	521 ± 17	140 ± 09	0,97 ± 0,04	0,18 ± 0,01	2,78 ± 0,16	322 ± 14	86,2 ± 6,0	600 ± 29	111 ± 06
Naroditschi 3	2	1,75 ± 0,05	64,80	187 ± 06	123 ± 09	0,45 ± 0,05	0,07 ± 0,21	2,26 ± 0,48	30 ± 06	85,6 ± 6,6	312 ± 38	47 ± 3
Naroditschi 4	2	1,33 ± 0,04	88,80	649 ± 21	212 ± 12	0,88 ± 0,03	0,29 ± 0,04	4,97 ± 0,28	345 ± 15	113 ± 07	466 ± 22	154 ± 08
Naroditschi 5	2	1,66 ± 0,05	69,30	132 ± 04	201 ± 11	0,28 ± 0,02	0,05 ± 0,00	2,70 ± 0,23	87,5 ± 3,8	133 ± 08	183 ± 14	33 ± 2
Hristiniwka 1	2	1,52 ± 0,04	84,30	6228 ± 200	176 ± 10	1,83 ± 0,04	1,71 ± 0,07	14,0 ± 0,7	3783 ± 162	107 ± 07	1113 ± 39	1036 ± 52
Hristiniwka 2	2	1,59 ± 0,05	46,40	6103 ± 196	169 ± 12	1,86 ± 0,17	1,93 ± 0,08	15,6 ± 1,6	3885 ± 166	108 ± 08	1185 ± 115	1228 ± 61
Hristiniwka 3	2	1,21 ± 0,03	89,50	269 ± 09	206 ± 13	0,64 ± 0,05	0,16 ± 0,01	3,84 ± 0,34	130 ± 06	99,1 ± 6,6	309 ± 26	78,8 ± 4,0
Hristiniwka 4	2	1,55 ± 0,04	90,30	793 ± 26	376 ± 17	4,58 ± 0,12	0,37 ± 0,02	1,22 ± 0,06	491 ± 21	233 ± 12	2834 ± 108	230 ± 12
Hristiniwka 5	2	1,68 ± 0,05	80,10	192 ± 06	116 ± 08	0,11 ± 0,00	0,07 ± 0,04	10,5 ± 0,5	129 ± 06	77,9 ± 5,8	72 ± 3	49,8 ± 2,5

Tab. A6: Messdaten von verschiedenen Elemente in Böden aus der Ukraine (Teil 2).

Name	Zone	Dichte g cm <sup>-2</sup>	Ausbeute%	A( <sup>137</sup> Cs) Bq kg <sup>-1</sup>	A( <sup>40</sup> K) Bq kg <sup>-1</sup>	A( <sup>127</sup> I) mg kg <sup>-1</sup>	A( <sup>129</sup> I) mBq/kg	<sup>129</sup> I/ <sup>127</sup> I in 10 <sup>-8</sup>	D( <sup>137</sup> Cs) kBq m <sup>-2</sup>	D ( <sup>40</sup> K) k Bq m <sup>-2</sup>	D ( <sup>127</sup> I) m <sup>-2</sup>	D ( <sup>129</sup> I) mBq m <sup>-2</sup>
Zwizdal' 1	2	1,82 ± 0,05	100,87	1072 ± 34	83 ± 6	1,05 ± 0,02	0,51 ± 0,04	7,30 ± 0,33	782 ± 33	60,4 ± 4,4	762 ± 25	370 ± 19
Zwizdal' 2	2	1,80 ± 0,05	96,32	128 ± 4	105 ± 06	0,40 ± 0,01	0,13 ± 0,04	5,02 ± 0,24	92 ± 4	75,6 ± 5,0	287 ± 08	96 ± 22
Zwizdal' 3	2	1,73 ± 0,05	87,13	3013 ± 97	113 ± 06	1,02 ± 0,02	1,28 ± 0,04	18,9 ± 0,90	2086 ± 089	78,4 ± 4,7	708 ± 24	886 ± 44
Zwizdal' 4	2	1,87 ± 0,05	90,25	1620 ± 52	74 ± 5	0,19 ± 0,00	0,71 ± 0,04	58,1 ± 2,80	1215 ± 052	55,4 ± 3,8	139 ± 05	536 ± 27
Zwizdal' 5	2	1,64 ± 0,05	97,60	1641 ± 53	42 ± 5	0,52 ± 0,02	0,66 ± 0,04	19,2 ± 0,90	1077 ± 046	27,4 ± 3,1	341 ± 15	434 ± 22
Jurba 1	2	1,83 ± 0,05	76,20	953 ± 31	87 ± 7	0,15 ± 0,01	0,36 ± 0,01	35,8 ± 3,80	698 ± 30	63,9 ± 5,4	110 ± 11	261 ± 13
Jurba 2	2	1,73 ± 0,05	98,40	689 ± 22	87 ± 7	0,31 ± 0,01	0,23 ± 0,01	11,4 ± 0,70	476 ± 20	60,2 ± 5,1	212 ± 12	160 ± 08
Jurba 3	2	1,80 ± 0,05	81,30	026 ± 01	107 ± 08	0,31 ± 0,01	0,04 ± 0,00	1,84 ± 0,09	18 ± 1	77,4 ± 6,0	225 ± 09	28 ± 1
Jurba 4	2	1,75 ± 0,05	69,10	859 ± 28	112 ± 07	0,33 ± 0,03	0,23 ± 0,01	10,4 ± 0,90	600 ± 26	78,3 ± 5,9	229 ± 19	158 ± 08
Jurba 5	2	1,56 ± 0,04	90,50	225 ± 09	112 ± 08	0,55 ± 0,02	0,22 ± 0,01	6,04 ± 0,33	140 ± 06	69,5 ± 5,3	342 ± 15	137 ± 07
Derkatschi 1	2	1,75 ± 0,05	66,40	265 ± 07	51 ± 6	0,23 ± 0,00	0,16 ± 0,01	10,7 ± 0,50	185 ± 08	35,2 ± 4,2	158 ± 06	112 ± 06
Derkatschi 2	2	1,65 ± 0,05	90,00	349 ± 11	71 ± 6	0,21 ± 0,01	0,14 ± 0,01	9,94 ± 0,53	230 ± 10	46,5 ± 4,4	137 ± 06	91 ± 5
Derkatschi 3	2	1,33 ± 0,04	37,30	1128 ± 036	56 ± 6	1,28 ± 0,03	0,20 ± 0,01	2,40 ± 0,11	600 ± 26	29,6 ± 3,3	679 ± 24	108 ± 06
Derkatschi 4	2	1,57 ± 0,04	81,50	425 ± 14	106 ± 08	0,56 ± 0,01	0,26 ± 0,01	7,13 ± 0,34	267 ± 11	66,6 ± 5,2	351 ± 13	166 ± 08
Derkatschi 5	2	1,66 ± 0,05	41,60	223 ± 07	69 ± 6	0,35 ± 0,04	0,30 ± 0,01	12,7 ± 1,40	148 ± 06	45,7 ± 4,4	234 ± 24	196 ± 10
Perejisd 1	2	1,60 ± 0,05	97,30	187 ± 06	63 ± 5	0,50 ± 0,02	0,15 ± 0,04	4,57 ± 0,22	120 ± 05	40,0 ± 3,5	320 ± 17	97 ± 5
Perejisd 2	2	1,92 ± 0,05	67,40	95 ± 3	55 ± 4	0,96 ± 0,01	0,05 ± 0,04	0,82 ± 0,04	73 ± 3	42,3 ± 3,2	738 ± 24	40 ± 2
Perejisd 3	2	1,87 ± 0,05	34,80	98 ± 3	52 ± 4	0,38 ± 0,03	0,05 ± 0,04	2,04 ± 0,10	73 ± 3	39,1 ± 3,5	281 ± 21	38 ± 2
Perejisd 4	2	1,98 ± 0,06	90,40	53 ± 2	54 ± 4	1,32 ± 0,02	0,08 ± 0,04	0,89 ± 0,04	42 ± 2	42,4 ± 3,6	1043 ± 34	62 ± 3
Perejisd 5	2	1,73 ± 0,05	60,30	72 ± 2	41 ± 4	1,17 ± 0,02	0,14 ± 0,04	1,80 ± 0,08	50 ± 2	28,4 ± 2,7	811 ± 28	97 ± 29
Derewzi 1	2	1,78 ± 0,05	81,60	218 ± 07	66 ± 6	0,66 ± 0,03	0,03 ± 0,00	0,73 ± 0,05	156 ± 07	46,9 ± 4,7	471 ± 26	23 ± 1
Derewzi 2	2	1,68 ± 0,05	74,10	204 ± 07	89 ± 7,	0,54 ± 0,02	0,12 ± 0,01	3,41 ± 0,20	137 ± 06	59,9 ± 5,1	362 ± 18	82 ± 4
Derewzi 3	2	1,84 ± 0,05	97,74	266 ± 09	72 ± 6	0,70 ± 0,01	0,20 ± 0,04	4,34 ± 0,20	196 ± 08	52,8 ± 5,0	512 ± 17	147 ± 07
Derewzi 4	2	1,94 ± 0,05	53,30	223 ± 07	70 ± 6	0,62 ± 0,04	0,05 ± 0,00	1,21 ± 0,09	173 ± 07	54,0 ± 5,2	480 ± 32	39 ± 2
Derewzi 5	2	1,62 ± 0,05	26,10	214 ± 07	75 ± 6	0,55 ± 0,05	0,53 ± 0,01	14,5 ± 1,30	139 ± 06	48,6 ± 4,4	357 ± 33	343 ± 10
Kolisniki 1	2	1,81 ± 0,05	91,70	195 ± 06	63 ± 4	0,29 ± 0,01	0,14 ± 0,04	7,40 ± 0,38	142 ± 06	45,8 ± 3,5	213 ± 22	105 ± 5
Kolisniki 2	2	1,80 ± 0,05	95,29	193 ± 06	45 ± 4	0,45 ± 0,01	0,16 ± 0,04	5,19 ± 0,26	139 ± 06	32,4 ± 2,9	327 ± 13	113 ± 6
Kolisniki 3	2	1,92 ± 0,05	101,10	102 ± 03	51 ± 4	0,61 ± 0,01	0,09 ± 0,04	2,22 ± 0,10	78 ± 3	38,8 ± 3,1	470 ± 16	69 ± 3
Kolisniki 4	2	1,93 ± 0,05	72,50	105 ± 03	56 ± 4	0,40 ± 0,01	0,11 ± 0,04	4,20 ± 0,22	81 ± 4	43,0 ± 3,3	310 ± 13	86 ± 4
Stanowische 1	2	1,66 ± 0,05	97,36	308 ± 10	98 ± 7	0,38 ± 0,01	0,15 ± 0,04	6,15 ± 0,28	205 ± 09	65,1 ± 5,2	252 ± 09	103 ± 05
Stanowische 2	2	1,68 ± 0,05	82,40	349 ± 11	97 ± 7	0,16 ± 0,00	0,17 ± 0,01	16,2 ± 0,80	234 ± 10	65,3 ± 5,2	104 ± 04	112 ± 06
Stanowische 3	2	1,75 ± 0,05	68,40	218 ± 07	100 ± 08	0,28 ± 0,01	0,12 ± 0,01	6,15 ± 0,30	152 ± 07	70,0 ± 5,6	199 ± 08	81 ± 4
Stanowische 4	2	1,75 ± 0,05	63,70	601 ± 19	95,1 ± 7,3	0,40 ± 0,06	0,28 ± 0,01	10,7 ± 1,60	419 ± 18	66,4 ± 5,4	279 ± 40	198 ± 10
Stanowische 5	2	1,59 ± 0,04	42,60	474 ± 15	73 ± 7	0,92 ± 0,02	0,38 ± 0,02	6,17 ± 0,29	301 ± 13	46,0 ± 4,3	586 ± 20	240 ± 12
Vil'cha 1	2	1,73 ± 0,05	40,00	24 ± 1	84 ± 7	0,98 ± 0,15	0,03 ± 0,00	0,53 ± 0,08	17 ± 1	57,8 ± 5,0	678 ± 105	24,0 ± 1,3
Vil'cha 2	2	1,49 ± 0,04	99,00	831 ± 27	93 ± 7	0,57 ± 0,04	0,43 ± 0,02	11,2 ± 1,00	495 ± 21	55,5 ± 4,7	341 ± 27	254 ± 13
Vil'cha 3	2	1,68 ± 0,05	94,60	250 ± 08	96 ± 7	0,50 ± 0,03	0,16 ± 0,01	4,69 ± 0,37	168 ± 07	64,3 ± 5,3	337 ± 25	105 ± 05
Vil'cha 4	2	1,65 ± 0,05	67,00	450 ± 15	101 ± 07	0,61 ± 0,05	0,26 ± 0,01	6,55 ± 0,40	296 ± 13	66,3 ± 5,2	400 ± 32	174 ± 09
Vil'cha 5	2	1,75 ± 0,05	84,50	57 ± 2	96 ± 7	0,26 ± 0,03	0,08 ± 0,00	4,47 ± 0,60	40,0 ± 1,8	67,0 ± 5,4	179 ± 23	53 ± 3
Tarasi 1	2	1,73 ± 0,05	71,60	384 ± 12	169 ± 10	0,43 ± 0,01	0,16 ± 0,01	5,78 ± 0,27	266 ± 11	117 ± 08	295 ± 10	113 ± 6
Tarasi 2	2	1,66 ± 0,05	77,50	399 ± 13	158 ± 09	0,57 ± 0,01	0,24 ± 0,01	6,29 ± 0,28	265 ± 11	105 ± 07	381 ± 12	159 ± 8
Tarasi 3	2	1,65 ± 0,05	58,10	355 ± 12	176 ± 10	0,42 ± 0,01	0,15 ± 0,01	5,49 ± 0,25	234 ± 10	116 ± 08	279 ± 09	102 ± 5
Tarasi 4	2	1,65 ± 0,05	51,00	475 ± 15	253 ± 13	0,79 ± 0,01	0,21 ± 0,01	4,01 ± 0,18	313 ± 13	166 ± 10	521 ± 17	138 ± 7
Tarasi 5	2	1,68 ± 0,05	57,70	438 ± 14	217 ± 12	0,90 ± 0,01	0,23 ± 0,01	3,80 ± 0,17	294 ± 13	146 ± 09	606 ± 19	153 ± 8



Tab. A6: Messdaten von verschiedenen Elemente in Böden aus der Ukraine (Teil 3).

Name	Zone	Dichte g cm <sup>-2</sup>	Ausbeute%	A( <sup>137</sup> Cs) Bq kg <sup>-1</sup>	A( <sup>40</sup> K) Bq kg <sup>-1</sup>	A( <sup>127</sup> I) mg kg <sup>-1</sup>	A( <sup>129</sup> I) mBq/kg	<sup>129</sup> I/ <sup>127</sup> I in 10 <sup>-8</sup>	D( <sup>137</sup> Cs) kBq m <sup>-2</sup>	D ( <sup>40</sup> K) k Bq m <sup>-2</sup>	D ( <sup>127</sup> I) m <sup>-2</sup>	D ( <sup>129</sup> I) mBq m <sup>-2</sup>
Wolodimirwka 1	2	1,65 ± 0,05	91,80	14246 ± 457	207 ± 11	0,45 ± 0,02	4,51 ± 0,19	151 ± 8	9382 ± 401	137 ± 08	297 ± 13	2967 ± 148
Wolodimirwka 2	2	1,62 ± 0,05	79,60	4591 ± 148	325 ± 15	0,63 ± 0,01	1,36 ± 0,06	32,2 ± 1,4	2972 ± 127	211 ± 11	411 ± 14	878 ± 44
Wolodimirwka 3	2	1,66 ± 0,05	87,40	12131 ± 390	302 ± 14	0,90 ± 0,04	4,30 ± 0,18	72,3 ± 4,2	8068 ± 345	201 ± 11	596 ± 30	2859 ± 143
Wolodimirwka 4	2	1,63 ± 0,05	77,10	6192 ± 199	362 ± 16	1,03 ± 0,03	1,73 ± 0,07	25,4 ± 1,4	4037 ± 173	236 ± 12	671 ± 29	1131 ± 57
Wolodimirwka 5	2	1,65 ± 0,05	82,00	20582 ± 661	364 ± 17	1,08 ± 0,04	6,70 ± 0,28	93,6 ± 5,0	13554 ± 580	239 ± 13	710 ± 31	4409 ± 221
Polis'ke 1	2	1,55 ± 0,04	50,70	1314 ± 42	92 ± 7	0,81 ± 0,01	0,25 ± 0,01	4,62 ± 0,21	814 ± 35	57 ± 5	501 ± 17	154 ± 08
Polis'ke 2	2	1,73 ± 0,05	93,80	1407 ± 45	95 ± 7	0,46 ± 0,01	0,16 ± 0,01	5,17 ± 0,23	973 ± 42	66 ± 6	319 ± 10	110 ± 06
Polis'ke 3	2	1,62 ± 0,05	90,10	822 ± 27	87 ± 7	0,23 ± 0,01	0,29 ± 0,01	19,3 ± 1,00	532 ± 23	56 ± 5	147 ± 07	188 ± 09
Polis'ke 4	2	1,50 ± 0,04	78,00	250 ± 08	345 ± 16	4,10 ± 0,10	0,11 ± 0,00	0,39 ± 0,02	150 ± 06	207 ± 11	2467 ± 91	65 ± 3
Polis'ke 5	2	1,43 ± 0,04	26,70	2032 ± 65	328 ± 15	5,07 ± 0,10	0,72 ± 0,03	2,14 ± 0,10	1160 ± 050	187 ± 10	2895 ± 101	411 ± 21
Rossochiws'ke 1	2	1,95 ± 0,06	85,25	496 ± 16	104 ± 5	0,94 ± 0,02	0,30 ± 0,01	4,83 ± 0,21	387 ± 17	81 ± 5	731 ± 24	234 ± 12
Rossochiws'ke 2	2	2,09 ± 0,06	89,91	438 ± 14	66 ± 4	0,69 ± 0,01	0,14 ± 0,01	3,01 ± 0,13	367 ± 16	55 ± 3	577 ± 19	115 ± 06
Rossochiws'ke 3	2	1,96 ± 0,06	89,16	13 ± 1	19 ± 7	0,47 ± 0,02	0,03 ± 0,00	0,85 ± 0,05	10 ± 1	15 ± 5	367 ± 17	21 ± 1
Rossochiws'ke 4	2	1,81 ± 0,05	98,58	711 ± 23	124 ± 07	0,34 ± 0,01	0,35 ± 0,01	15,1 ± 0,20	516 ± 22	90 ± 6	244 ± 09	251 ± 13
Rossochiws'ke 5	2	1,84 ± 0,05	88,06	207 ± 7	129 ± 07	0,66 ± 0,03	0,14 ± 0,01	3,16 ± 0,20	153 ± 07	95 ± 6	482 ± 27	101 ± 05
Loznitsya 1	2	1,43 ± 0,04	73,80	219 ± 7	118 ± 06	0,68 ± 0,03	0,19 ± 0,01	4,15 ± 0,25	125 ± 05	67 ± 4	389 ± 20	107 ± 05
Loznitsya 2	2	1,92 ± 0,05	89,34	481 ± 15	294 ± 12	0,62 ± 0,01	0,22 ± 0,01	5,50 ± 0,24	369 ± 16	226 ± 11	472 ± 15	173 ± 09
Loznitsya 3	2	1,88 ± 0,05	96,70	1207 ± 39	156 ± 07	0,23 ± 0,01	0,39 ± 0,02	25,4 ± 1,20	908 ± 39	118 ± 06	176 ± 07	297 ± 15
Loznitsya 4	2	1,83 ± 0,05	90,00	903 ± 29	138 ± 07	0,31 ± 0,02	0,38 ± 0,01	18,6 ± 1,40	662 ± 28	101 ± 06	226 ± 12	279 ± 12
Loznitsya 5	2	1,84 ± 0,05	97,10	363 ± 12	125 ± 06	0,42 ± 0,02	0,23 ± 0,01	8,16 ± 0,48	268 ± 11	92 ± 5	310 ± 16	168 ± 08
Sewerinivka 1	2	1,61 ± 0,05	77,00	326 ± 11	177 ± 09	0,86 ± 0,02	0,23 ± 0,01	4,01 ± 0,19	210 ± 09	114 ± 06	551 ± 20	147 ± 07
Sewerinivka 2	2	1,94 ± 0,05	94,50	199 ± 6	75 ± 5	1,25 ± 0,02	0,18 ± 0,01	2,13 ± 0,10	155 ± 07	58 ± 4	968 ± 33	137 ± 07
Sewerinivka 3	2	1,88 ± 0,05	94,50	463 ± 15	74 ± 5	0,39 ± 0,01	0,22 ± 0,01	8,67 ± 0,46	349 ± 15	56 ± 4	291 ± 12	167 ± 08
Sewerinivka 4	2	1,92 ± 0,05	67,10	44 ± 2	78 ± 5	0,29 ± 0,01	0,08 ± 0,00	4,10 ± 0,20	34 ± 2	60 ± 4	220 ± 08	60 ± 3
Sewerinivka 5	2	1,82 ± 0,05	84,00	473 ± 15	119 ± 06	0,33 ± 0,01	0,22 ± 0,01	9,93 ± 0,57	345 ± 15	87 ± 5	243 ± 12	160 ± 08
Lyubarka 1	2	1,97 ± 0,06	97,34	676 ± 22	117 ± 07	0,19 ± 0,00	0,16 ± 0,01	13,0 ± 0,61	531 ± 23	92 ± 6	147 ± 05	127 ± 06
Lyubarka 2	2	2,17 ± 0,06	97,06	274 ± 9	64 ± 4	0,27 ± 0,03	0,17 ± 0,01	9,50 ± 1,03	238 ± 10	56 ± 3	236 ± 24	149 ± 07
Lyubarka 3	2	1,92 ± 0,05	26,58	799 ± 26	69 ± 4	0,48 ± 0,02	0,56 ± 0,02	17,4 ± 0,90	612 ± 26	53 ± 3	370 ± 16	428 ± 22
Lyubarka 4	2	1,93 ± 0,05	114,00	667 ± 21	112 ± 06	0,39 ± 0,02	0,25 ± 0,01	9,90 ± 0,60	515 ± 22	87 ± 5	299 ± 15	197 ± 10
Lyubarka 5	2	2,01 ± 0,06	86,64	960 ± 31	96 ± 6	0,40 ± 0,01	0,45 ± 0,02	16,9 ± 0,80	771 ± 33	77 ± 5	324 ± 11	364 ± 18
Jurawlina 1	2	1,81 ± 0,05	97,10	1193 ± 38	104 ± 06	0,34 ± 0,01	0,48 ± 0,02	21,0 ± 1,00	862 ± 37	75 ± 5	248 ± 09	346 ± 17
Jurawlina 2	2	1,73 ± 0,05	89,90	957 ± 31	111 ± 06	0,43 ± 0,01	0,45 ± 0,02	15,9 ± 0,70	664 ± 28	77 ± 5	296 ± 10	312 ± 16
Jurawlina 3	2	1,92 ± 0,05	94,10	958 ± 31	135 ± 07	0,60 ± 0,01	0,43 ± 0,02	10,9 ± 0,50	735 ± 31	103 ± 06	457 ± 15	331 ± 17
Jurawlina 4	2	1,61 ± 0,05	88,10	1698 ± 55	260 ± 11	0,68 ± 0,01	0,70 ± 0,03	15,6 ± 0,70	1093 ± 47	167 ± 09	438 ± 15	453 ± 23
Jurawlina 5	2	1,60 ± 0,05	68,60	2518 ± 81	291 ± 12	0,90 ± 0,01	1,07 ± 0,04	18,1 ± 0,90	1615 ± 69	186 ± 09	574 ± 22	688 ± 33
Weliki Klischi 1	2	2,06 ± 0,06	90,00	1223 ± 39	287 ± 12	0,71 ± 0,03	0,08 ± 0,00	1,80 ± 0,09	1006 ± 43	236 ± 12	587 ± 27	69 ± 4
Weliki Klischi 2	2	1,57 ± 0,04	65,10	1742 ± 56	265 ± 11	0,65 ± 0,02	0,68 ± 0,03	15,6 ± 0,80	1094 ± 47	166 ± 08	410 ± 15	424 ± 21
Weliki Klischi 3	2	1,59 ± 0,05	89,20	1389 ± 45	298 ± 12	1,21 ± 0,01	1,55 ± 0,03	19,3 ± 0,80	885 ± 38	190 ± 09	769 ± 09	984 ± 33
Weliki Klischi 4	2	1,62 ± 0,05	93,00	3821 ± 123	315 ± 13	0,98 ± 0,02	1,63 ± 0,06	25,1 ± 1,10	2476 ± 106	204 ± 10	634 ± 25	1054 ± 51
Weliki Klischi 5	2	1,88 ± 0,05	81,70	2697 ± 87	182 ± 08	0,24 ± 0,06	1,45 ± 0,06	92,8 ± 7,10	2028 ± 87	137 ± 07	177 ± 12	1089 ± 55
Rogi 1	2	1,86 ± 0,05	98,70	878 ± 28	120 ± 07	0,49 ± 0,01	0,54 ± 0,04	16,4 ± 0,80	655 ± 28	90 ± 6	368 ± 13	399 ± 20
Rogi 2	2	1,49 ± 0,04	54,70	601 ± 19	199 ± 09	0,70 ± 0,02	0,03 ± 0,16	0,67 ± 0,11	358 ± 15	118 ± 06	415 ± 18	18 ± 3
Rogi 3	2	1,85 ± 0,05	94,90	541 ± 17	180 ± 09	1,03 ± 0,03	0,39 ± 0,04	5,72 ± 0,28	400 ± 17	133 ± 07	762 ± 30	290 ± 15
Rogi 4	2	1,94 ± 0,05	99,10	841 ± 27	124 ± 07	0,39 ± 0,02	0,33 ± 0,04	12,7 ± 0,80	653 ± 28	96 ± 6	303 ± 16	255 ± 13
Rogi 5	2	1,83 ± 0,05	93,90	1157 ± 37	496 ± 19	0,17 ± 0,01	0,54 ± 0,04	48,0 ± 2,60	845 ± 36	362 ± 17	123 ± 06	393 ± 20

Tab. A6: Messdaten von verschiedenen Elemente in Böden aus der Ukraine (Teil 4).

Name	Zone	Dichte g cm <sup>-2</sup>	Ausbeute%	A( <sup>137</sup> Cs) Bq kg <sup>-1</sup>	A( <sup>40</sup> K) Bq kg <sup>-1</sup>	A( <sup>127</sup> I) mg kg <sup>-1</sup>	A( <sup>129</sup> I) mBq/kg	<sup>129</sup> I/ <sup>127</sup> I in 10 <sup>-8</sup>	D( <sup>137</sup> Cs) kBq m <sup>-2</sup>	D ( <sup>40</sup> K) k Bq m <sup>-2</sup>	D ( <sup>127</sup> I) m <sup>-2</sup>	D ( <sup>129</sup> I) mBq m <sup>-2</sup>
Kaliniwka 1	2	1,94 ± 0,05	96,13	195 ± 6	63,1 ± 4,4	0,26 ± 0,03	0,15 ± 0,04	8,89 ± 1,09	151 ± 7	49,0 ± 3,7	200 ± 24	118 ± 06
Kaliniwka 2	2	1,92 ± 0,05	71,62	193 ± 6	44,9 ± 3,8	0,87 ± 0,05	0,14 ± 0,04	2,42 ± 0,18	148 ± 6	34,6 ± 3,1	667 ± 44	107 ± 05
Kaliniwka 3	2	2,14 ± 0,06	76,65	102 ± 3	50,5 ± 3,8	0,35 ± 0,03	0,05 ± 0,04	2,03 ± 0,20	87 ± 4	43,2 ± 3,5	302 ± 28	41 ± 2
Kaliniwka 4	2	1,99 ± 0,06	92,94	105 ± 3	55,7 ± 4,0	1,12 ± 0,02	0,04 ± 0,04	0,56 ± 0,03	84 ± 4	44,3 ± 3,4	889 ± 32	33 ± 14
Kaliniwka 5	2	1,89 ± 0,05	93,39	179 ± 6	211 ± 10	0,62 ± 0,03	0,14 ± 0,04	3,26 ± 0,21	135 ± 6	159 ± 09	470 ± 26	102 ± 05
Mali Klischi 1	2	1,74 ± 0,05	88,50	856 ± 28	90,7 ± 5,4	0,77 ± 0,02	0,42 ± 0,04	8,22 ± 0,38	596 ± 26	63,1 ± 4,2	538 ± 18	294 ± 15
Mali Klischi 2	2	1,56 ± 0,04	94,76	2839 ± 91	91,8 ± 5,6	1,55 ± 0,04	1,00 ± 0,04	9,77 ± 0,46	1767 ± 76	57,1 ± 3,8	964 ± 35	626 ± 31
Mali Klischi 3	2	1,85 ± 0,05	63,50	725 ± 23	89,2 ± 5,2	0,67 ± 0,01	0,35 ± 0,04	7,83 ± 0,36	538 ± 23	66,1 ± 4,3	500 ± 18	260 ± 13
Mali Klischi 4	2	1,84 ± 0,05	94,60	794 ± 26	89,7 ± 5,1	0,27 ± 0,02	0,30 ± 0,04	16,9 ± 1,2	584 ± 25	66,0 ± 4,2	200 ± 13	223 ± 11
Mali Klischi 5	2	1,90 ± 0,05	93,90	996 ± 32	82,1 ± 4,8	0,29 ± 0,01	0,43 ± 0,04	22,2 ± 1,0	755 ± 32	62,3 ± 4,1	222 ± 08	327 ± 16
Mali Min'ki 1	2	1,86 ± 0,05	81,10	2683 ± 86	58,4 ± 4,6	0,11 ± 0,02	0,86 ± 0,04	117 ± 17	2000 ± 86	43,5 ± 3,6	82 ± 11	638 ± 32
Mali Min'ki 2	2	1,83 ± 0,05	74,10	2645 ± 85	64,8 ± 4,8	0,35 ± 0,01	1,08 ± 0,04	46,5 ± 3,5	1935 ± 83	47,4 ± 3,8	257 ± 18	793 ± 40
Mali Min'ki 3	2	1,81 ± 0,05	99,90	636 ± 20	81,9 ± 5,4	0,20 ± 0,01	0,32 ± 0,04	24,3 ± 1,5	461 ± 20	59,4 ± 4,3	145 ± 08	234 ± 12
Mali Min'ki 4	2	1,81 ± 0,05	96,00	1187 ± 38	51,7 ± 4,5	0,16 ± 0,01	0,52 ± 0,04	48,5 ± 2,7	860 ± 37	37,4 ± 3,4	117 ± 05	378 ± 19
Mali Min'ki 5	2	1,84 ± 0,05	96,80	855 ± 27	92,0 ± 5,8	0,49 ± 0,01	1,95 ± 0,04	59,6 ± 2,6	629 ± 27	67,7 ± 4,6	363 ± 11	1437 ± 72
Rudnya Ososchnya 1	2	1,95 ± 0,06	69,94	3552 ± 114	84,8 ± 5,2	0,24 ± 0,01	1,33 ± 0,04	83,9 ± 5,5	2766 ± 118	66,0 ± 4,5	186 ± 11	1035 ± 52
Rudnya Ososchnya 2	2	1,85 ± 0,05	101,30	3461 ± 111	83,6 ± 5,4	0,22 ± 0,01	1,16 ± 0,04	79,8 ± 4,0	2563 ± 110	61,9 ± 4,3	163 ± 06	863 ± 43
Rudnya Ososchnya 3	2	2,01 ± 0,06	84,03	674 ± 22	44,4 ± 3,0	0,43 ± 0,01	0,53 ± 0,04	18,6 ± 0,8	543 ± 23	35,7 ± 2,6	345 ± 11	427 ± 21
Rudnya Ososchnya 4	2	1,94 ± 0,05	95,83	8595 ± 276	57,7 ± 4,7	0,30 ± 0,01	3,05 ± 0,04	151 ± 6,9	6675 ± 286	44,8 ± 3,8	236 ± 08	2365 ± 118
Rudnya Ososchnya 5	2	1,90 ± 0,05	97,53	715 ± 23	47,0 ± 3,2	0,32 ± 0,01	0,34 ± 0,04	15,9 ± 0,1	543 ± 23	35,7 ± 2,6	246 ± 08	259 ± 13
Weliki Min'ki 1	2	1,82 ± 0,05	89,00	140 ± 5	56,0 ± 4,7	0,28 ± 0,01	0,10 ± 0,04	5,25 ± 0,26	102 ± 4	40,8 ± 3,6	205 ± 08	71,4 ± 3,6
Weliki Min'ki 2	2	1,88 ± 0,05	90,50	19 ± 1	65,2 ± 4,2	0,15 ± 0,01	0,03 ± 0,00	2,71 ± 0,15	14,0 ± 0,7	49,0 ± 3,5	110 ± 05	19,8 ± 1,0
Weliki Min'ki 3	2	1,82 ± 0,05	52,70	71 ± 2	59,8 ± 4,2	0,25 ± 0,00	0,05 ± 0,00	3,13 ± 0,15	51,7 ± 2,2	43,6 ± 3,3	181 ± 06	37,7 ± 1,9
Weliki Min'ki 4	2	1,63 ± 0,05	72,80	57 ± 2	72,3 ± 5,2	0,33 ± 0,01	0,07 ± 0,00	3,31 ± 0,16	37,0 ± 1,6	47,1 ± 3,6	212 ± 08	46,6 ± 2,4
Weliki Min'ki 5	2	1,85 ± 0,05	84,40	87 ± 3	77,9 ± 5,8	0,24 ± 0,07	0,02 ± 0,04	1,25 ± 0,06	64,6 ± 2,8	57,7 ± 4,6	180 ± 52	14,9 ± 0,8
Listiniwka 1	2	1,93 ± 0,05	96,10	343 ± 11	169 ± 09	0,78 ± 0,02	0,24 ± 0,04	4,61 ± 0,22	265 ± 11	130 ± 08	599 ± 21	183 ± 09
Listiniwka 2	2	1,88 ± 0,05	82,30	214 ± 07	190 ± 09	0,53 ± 0,03	0,14 ± 0,04	3,97 ± 0,26	161 ± 07	143 ± 08	398 ± 23	105 ± 05
Listiniwka 3	2	1,59 ± 0,05	38,20	224 ± 07	65,1 ± 4,2	0,23 ± 0,02	0,13 ± 0,04	8,37 ± 0,86	143 ± 06	41,4 ± 2,9	149 ± 15	82,9 ± 4,2
Listiniwka 4	2	1,58 ± 0,04	94,80	409 ± 13	60,6 ± 4,1	0,35 ± 0,02	0,22 ± 0,04	9,47 ± 0,61	258 ± 11	38,2 ± 2,8	218 ± 12	137 ± 07
Listiniwka 5	2	1,80 ± 0,05	76,75	29 ± 1	77,3 ± 4,7	0,45 ± 0,02	0,05 ± 0,04	1,54 ± 0,09	20,6 ± 1,0	55,8 ± 3,8	324 ± 17	33,2 ± 1,7
Basar 1	2	1,65 ± 0,05	90,60	280 ± 09	132 ± 06	0,40 ± 0,02	1,17 ± 0,04	44,3 ± 1,96	185 ± 08	87,2 ± 4,7	264 ± 17	776 ± 22
Basar 2	2	1,89 ± 0,05	52,50	87 ± 3	168 ± 08	0,33 ± 0,01	0,07 ± 0,00	3,01 ± 0,15	65,5 ± 2,8	127 ± 07	251 ± 09	50,0 ± 2,6
Basar 3	2	1,73 ± 0,05	88,80	486 ± 16	130 ± 06	0,37 ± 0,02	0,20 ± 0,04	8,21 ± 0,53	336 ± 14	90,1 ± 5,0	254 ± 19	139 ± 07
Basar 4	2	1,83 ± 0,05	95,00	373 ± 12	123 ± 06	0,56 ± 0,02	0,24 ± 0,04	6,36 ± 0,37	273 ± 12	90,1 ± 5,3	414 ± 21	174 ± 09
Basar 5	2	1,70 ± 0,05	90,37	794 ± 26	311 ± 13	1,35 ± 0,02	0,40 ± 0,04	4,42 ± 0,20	540 ± 23	211 ± 11	920 ± 30	270 ± 14
Perejsd 1	2	1,60 ± 0,05	97,30	187 ± 06	62,5 ± 5,2	0,50 ± 0,01	0,15 ± 0,04	4,57 ± 0,22	120 ± 05	40,0 ± 3,5	320 ± 12	96,9 ± 4,9
Perejsd 2	2	1,92 ± 0,05	67,40	95 ± 3	55,0 ± 3,9	0,96 ± 0,01	0,05 ± 0,04	0,82 ± 0,04	73,3 ± 3,2	42,3 ± 3,2	738 ± 23	40,2 ± 2,8
Perejsd 3	2	1,87 ± 0,05	34,80	98 ± 3	52,3 ± 4,4	0,38 ± 0,01	0,05 ± 0,04	2,04 ± 0,10	73,2 ± 3,2	39,1 ± 3,5	281 ± 21	38,1 ± 2,7
Perejsd 4	2	1,98 ± 0,06	90,40	53 ± 2	53,5 ± 4,3	1,32 ± 0,03	0,08 ± 0,00	0,89 ± 0,04	41,8 ± 1,8	42,4 ± 3,6	1043 ± 36	61,9 ± 3,1
Perejsd 5	2	1,73 ± 0,05	60,30	72 ± 2	41,0 ± 3,7	1,17 ± 0,03	0,14 ± 0,01	1,80 ± 0,08	49,6 ± 2,1	28,4 ± 2,7	811 ± 29	96,7 ± 4,9
Wistupovitschi 1	2	2,03 ± 0,06	92,17	314 ± 10	270 ± 12	0,94 ± 0,04	0,33 ± 0,01	5,21 ± 0,29	255 ± 11	219 ± 11	765 ± 37	265 ± 13
Wistupovitschi 2	2	2,01 ± 0,06	92,92	362 ± 12	59,5 ± 3,5	0,18 ± 0,00	0,32 ± 0,01	26,5 ± 1,26	291 ± 12	47,7 ± 3,1	145 ± 05	256 ± 13
Wistupovitschi 3	2	1,94 ± 0,05	98,74	796 ± 26	70,4 ± 5,1	0,29 ± 0,01	0,51 ± 0,02	26,3 ± 1,2	619 ± 27	54,7 ± 4,2	225 ± 15	393 ± 20
Wistupovitschi 4	2	1,94 ± 0,05	89,29	118 ± 04	116 ± 05	0,19 ± 0,03	0,12 ± 0,01	10,1 ± 1,5	91,9 ± 4,0	89,9 ± 4,9	145 ± 21	96,8 ± 4,9
Wistupovitschi 5	2	1,93 ± 0,05	96,15	567 ± 18	69,5 ± 5,1	0,29 ± 0,01	0,37 ± 0,02	19,1 ± 0,9	438 ± 19	53,6 ± 4,2	226 ± 07	287 ± 33

**Tab. A6:** Messdaten von verschiedenen Elemente in Böden aus der Ukraine (Teil 5).

Name	Zone	Dichte g cm <sup>-2</sup>	Ausbeute%	A( <sup>137</sup> Cs) Bq kg <sup>-1</sup>	A( <sup>40</sup> K) Bq kg <sup>-1</sup>	A( <sup>127</sup> I) mg kg <sup>-1</sup>	A( <sup>129</sup> I) mBq/kg	<sup>129</sup> I/ <sup>127</sup> I in 10 <sup>-8</sup>	D( <sup>137</sup> Cs) kBq m <sup>-2</sup>	D ( <sup>40</sup> K) k Bq m <sup>-2</sup>	D ( <sup>127</sup> I) m <sup>-2</sup>	D ( <sup>129</sup> I) mBq m <sup>-2</sup>
Korosten' 1	3	1,56 ± 0,04	77,00	709 ± 23	364 ± 16	0,40 ± 0,02	0,65 ± 0,03	24,74 ± 1,14	441 ± 19	227 ± 12	246 ± 14	404 ± 14
Korosten' 2	3	1,60 ± 0,05	78,40	151 ± 05	228 ± 14	0,44 ± 0,01	0,09 ± 0,00	3,06 ± 0,14	97 ± 4	146 ± 10	284 ± 10	58 ± 3
Korosten' 3	3	1,59 ± 0,04	77,20	2062 ± 66	673 ± 28	0,80 ± 0,02	0,80 ± 0,03	15,03 ± 0,69	1309 ± 56	427 ± 22	510 ± 18	509 ± 23
Korosten' 4	3	1,60 ± 0,05	52,20	109 ± 04	293 ± 15	1,82 ± 0,03	0,01 ± 0,05	0,12 ± 0,01	70 ± 3	188 ± 11	1169 ± 39	9,0 ± 0,5
Korosten' 5	3	1,71 ± 0,05	29,90	376 ± 12	406 ± 19	1,32 ± 0,02	0,20 ± 0,01	2,30 ± 0,11	257 ± 11	278 ± 15	901 ± 30	138 ± 07
Woronewe 1	3	1,59 ± 0,04	78,30	605 ± 20	286 ± 15	0,66 ± 0,05	0,20 ± 0,01	4,63 ± 0,43	384 ± 16	182 ± 11	417 ± 36	128 ± 06
Woronewe 2	3	1,17 ± 0,03	55,80	586 ± 19	417 ± 22	1,67 ± 0,14	0,31 ± 0,01	2,79 ± 0,26	274 ± 12	195 ± 12	779 ± 68	144 ± 07
Woronewe 3	3	1,46 ± 0,04	36,50	904 ± 29	393 ± 19	1,65 ± 0,03	0,16 ± 0,01	1,43 ± 0,07	526 ± 23	229 ± 13	962 ± 33	91 ± 5
Woronewe 5	3	1,57 ± 0,04	68,80	813 ± 26	386 ± 15	2,75 ± 0,15	0,49 ± 0,02	2,67 ± 0,18	511 ± 22	243 ± 14	1726 ± 107	306 ± 15
Bechi 1	3	1,75 ± 0,05	77,20	229 ± 07	295 ± 14	0,87 ± 0,04	0,16 ± 0,01	2,75 ± 0,16	160 ± 07	206 ± 11	611 ± 30	112 ± 06
Bechi 2	3	1,61 ± 0,05	23,20	1016 ± 33	218 ± 11	1,91 ± 0,05	0,23 ± 0,01	1,81 ± 0,09	656 ± 28	141 ± 08	1235 ± 46	149 ± 07
Bechi 3	3	1,57 ± 0,04	90,27	318 ± 10	421 ± 18	1,08 ± 0,04	0,18 ± 0,01	2,47 ± 0,13	200 ± 09	265 ± 14	677 ± 30	111 ± 06
Bechi 4	3	1,76 ± 0,05	83,60	834 ± 27	383 ± 17	1,11 ± 0,02	0,41 ± 0,02	5,50 ± 0,25	588 ± 25	270 ± 14	784 ± 26	286 ± 14
Bechi 5	3	1,65 ± 0,05	73,60	409 ± 13	490 ± 20	1,34 ± 0,02	0,24 ± 0,01	2,68 ± 0,12	269 ± 12	323 ± 16	886 ± 28	158 ± 08
Odrubi 1	3	1,65 ± 0,05	99,92	387 ± 13	403 ± 18	0,89 ± 0,01	0,23 ± 0,01	3,90 ± 0,17	255 ± 11	266 ± 14	585 ± 18	151 ± 08
Odrubi 2	3	1,52 ± 0,04	96,83	380 ± 12	447 ± 19	1,23 ± 0,02	0,26 ± 0,01	3,20 ± 0,14	231 ± 10	272 ± 14	747 ± 24	159 ± 08
Odrubi 3	3	1,44 ± 0,04	78,22	325 ± 11	459 ± 20	0,99 ± 0,01	0,20 ± 0,01	3,07 ± 0,14	187 ± 08	264 ± 14	573 ± 18	117 ± 06
Odrubi 4	3	1,50 ± 0,04	83,83	386 ± 13	453 ± 19	1,34 ± 0,02	0,23 ± 0,01	2,56 ± 0,12	232 ± 10	272 ± 14	805 ± 25	137 ± 07
Odrubi 5	3	1,65 ± 0,05	97,25	386 ± 13	453 ± 19	1,70 ± 0,01	0,25 ± 0,01	2,17 ± 0,10	255 ± 11	298 ± 15	1118 ± 33	161 ± 08
Motijki 1	3	1,76 ± 0,05	55,40	348 ± 11	129 ± 08	0,18 ± 0,01	0,17 ± 0,01	14,10 ± 0,70	245 ± 11	91 ± 6	127 ± 05	119 ± 06
Motijki 2	3	1,41 ± 0,04	89,40	1155 ± 37	237 ± 12	2,67 ± 0,04	0,18 ± 0,01	1,04 ± 0,05	652 ± 28	134 ± 08	1507 ± 48	104 ± 05
Motijki 3	3	1,59 ± 0,04	92,90	277 ± 09	280 ± 14	0,67 ± 0,01	0,15 ± 0,01	3,39 ± 0,15	176 ± 08	178 ± 10	423 ± 13	95,1 ± 4,8
Motijki 4	3	1,59 ± 0,04	88,10	376 ± 12	230 ± 12	0,67 ± 0,01	0,18 ± 0,01	4,03 ± 0,18	239 ± 10	146 ± 09	426 ± 13	114 ± 06
Motijki 5	3	1,57 ± 0,04	86,40	268 ± 09	340 ± 16	0,04 ± 0,00	0,19 ± 0,01	65,3 ± 4,38	169 ± 07	214 ± 12	27,2 ± 1,6	118 ± 06
Zalissya 1	3	1,77 ± 0,05	67,19	406 ± 13	217 ± 11	0,86 ± 0,01	0,27 ± 0,01	4,77 ± 0,21	288 ± 12	154 ± 09	614 ± 20	194 ± 10
Zalissya 2	3	1,26 ± 0,04	101,41	335 ± 11	408 ± 19	1,63 ± 0,03	0,24 ± 0,01	2,19 ± 0,10	168 ± 07	205 ± 11	818 ± 28	119 ± 06
Zalissya 3	3	1,53 ± 0,04	98,10	467 ± 15	249 ± 12	1,71 ± 0,03	0,11 ± 0,00	1,00 ± 0,05	287 ± 12	153 ± 09	1050 ± 34	70 ± 4
Zalissya 4	3	1,59 ± 0,04	98,66	744 ± 24	360 ± 16	0,84 ± 0,01	0,20 ± 0,01	3,51 ± 0,15	473 ± 20	229 ± 12	533 ± 17	124 ± 06
Zalissya 5	3	1,24 ± 0,04	93,51	738 ± 24	260 ± 14	2,08 ± 0,03	0,63 ± 0,03	4,54 ± 0,20	367 ± 16	129 ± 08	1033 ± 82	312 ± 16
Nowij Dorogin' 1	3	1,75 ± 0,05	99,10	224 ± 07	131 ± 07	0,39 ± 0,02	0,15 ± 0,01	5,76 ± 0,40	157 ± 07	91 ± 6	273 ± 17	104 ± 05
Nowij Dorogin' 2	3	1,49 ± 0,04	72,50	286 ± 09	228 ± 11	2,48 ± 0,12	0,36 ± 0,01	2,22 ± 0,14	171 ± 07	136 ± 08	1477 ± 82	217 ± 07
Nowij Dorogin' 3	3	1,53 ± 0,04	96,10	160 ± 05	210 ± 10	1,03 ± 0,17	0,17 ± 0,01	2,50 ± 0,43	98 ± 4	129 ± 07	634 ± 103	105 ± 06
Nowij Dorogin' 4	3	1,73 ± 0,05	94,90	122 ± 04	149 ± 08	0,21 ± 0,03	0,07 ± 0,00	4,74 ± 0,26	85 ± 4	103 ± 06	148 ± 24	47 ± 2
Nowij Dorogin' 5	3	1,69 ± 0,05	97,50	439 ± 14	224 ± 10	0,47 ± 0,03	0,32 ± 0,01	10,1 ± 0,50	297 ± 13	151 ± 08	317 ± 13	213 ± 11
Yagberen' 1	3	1,75 ± 0,05	87,34	31 ± 1	148 ± 07	0,26 ± 0,03	0,05 ± 0,00	3,16 ± 0,39	21 ± 1	104 ± 05	180 ± 22	38 ± 2
Yagberen' 2	3	1,79 ± 0,05	96,27	149 ± 05	337 ± 14	0,76 ± 0,03	0,14 ± 0,01	2,78 ± 0,17	107 ± 05	242 ± 12	545 ± 28	101 ± 05
Yagberen' 3	3	1,60 ± 0,05	94,82	302 ± 10	390 ± 16	1,08 ± 0,05	0,29 ± 0,01	4,01 ± 0,23	193 ± 08	249 ± 13	693 ± 33	184 ± 09
Yagberen' 4	3	1,67 ± 0,05	97,42	313 ± 10	388 ± 16	0,31 ± 0,03	0,23 ± 0,01	11,2 ± 1,3	210 ± 09	260 ± 13	209 ± 24	156 ± 08
Yagberen' 5	3	1,55 ± 0,04	99,08	184 ± 06	449 ± 18	3,11 ± 0,19	0,18 ± 0,01	0,89 ± 0,07	114 ± 05	279 ± 14	1929 ± 128	114 ± 06
Nowa Radtscha1	3	1,85 ± 0,05	93,70	10 ± 01	78 ± 6	0,43 ± 0,01	0,05 ± 0,00	1,77 ± 0,08	7,7 ± 0,4	57 ± 5	317 ± 10	37 ± 2
Nowa Radtscha2	3	1,85 ± 0,05	74,00	98 ± 3	77 ± 5	0,18 ± 0,00	0,06 ± 0,00	5,43 ± 0,26	73 ± 3	57 ± 4	132 ± 05	48 ± 3
Nowa Radtscha3	3	1,93 ± 0,05	39,70	99 ± 3	59 ± 4	0,03 ± 0,00	0,11 ± 0,01	55,0 ± 7,3	76 ± 3	45 ± 3	24 ± 3	87 ± 6
Nowa Radtscha4	3	1,89 ± 0,05	72,10	52 ± 2	63 ± 4	0,19 ± 0,01	0,12 ± 0,01	9,88 ± 0,51	39 ± 2	48 ± 4	141 ± 06	92 ± 5
Nowa Radtscha5	3	1,75 ± 0,05	99,10	125 ± 04	54 ± 4	0,28 ± 0,02	0,14 ± 0,01	7,60 ± 0,36	87 ± 4	38 ± 3	198 ± 07	100 ± 05

Tab. A6: Messdaten von verschiedenen Elemente in Böden aus der Ukraine (Teil 6).

Name	Zone	Dichte g cm <sup>-2</sup>	Ausbeute%	A( <sup>137</sup> Cs) Bq kg <sup>-1</sup>	A( <sup>40</sup> K) Bq kg <sup>-1</sup>	A( <sup>127</sup> I) mg kg <sup>-1</sup>	A( <sup>129</sup> I) mBq/kg	<sup>129</sup> I/ <sup>127</sup> I in 10 <sup>-8</sup>	D( <sup>137</sup> Cs) kBq m <sup>-2</sup>	D ( <sup>40</sup> K) k Bq m <sup>-2</sup>	D ( <sup>127</sup> I) m <sup>-2</sup>	D ( <sup>129</sup> I) mBq m <sup>-2</sup>
Stara Radtscha 1	3	1,82 ± 0,05	71,60	132 ± 4	72,1 ± 4,5	0,40 ± 0,02	0,12 ± 0,01	4,63 ± 0,28	96,3 ± 4,2	52,5 ± 3,6	294 ± 15	90 ± 31
Stara Radtscha 2	3	1,68 ± 0,05	97,04	203 ± 7	76,4 ± 6,2	0,47 ± 0,01	0,12 ± 0,01	3,97 ± 0,17	137 ± 06	51,4 ± 4,4	318 ± 10	84 ± 28
Stara Radtscha 3	3	1,91 ± 0,05	95,40	48 ± 2	100 ± 05	1,13 ± 0,03	0,05 ± 0,00	0,72 ± 0,03	36,8 ± 1,6	76,8 ± 4,6	865 ± 32	41,2 ± 2,1
Stara Radtscha 4	3	1,94 ± 0,05	54,70	178 ± 6	115 ± 07	0,34 ± 0,01	0,17 ± 0,01	7,60 ± 0,42	138 ± 06	88,7 ± 5,9	265 ± 13	133 ± 33
Stara Radtscha 5	3	1,84 ± 0,05	71,60	55 ± 2	90,9 ± 5,2	0,63 ± 0,02	0,13 ± 0,01	3,11 ± 0,16	40,4 ± 1,8	67,0 ± 4,3	467 ± 18	96 ± 5
Radtscha 1	3	1,55 ± 0,04	95,00	221 ± 7	78,3 ± 5,1	0,57 ± 0,02	0,23 ± 0,01	6,04 ± 0,35	137 ± 06	48,7 ± 3,5	353 ± 18	142 ± 26
Radtscha 2	3	1,82 ± 0,05	92,97	58 ± 2	74,4 ± 5,9	0,54 ± 0,01	0,08 ± 0,00	2,27 ± 0,11	42,5 ± 1,9	54,3 ± 4,6	391 ± 13	59 ± 31
Radtscha 3	3	1,72 ± 0,05	43,34	60 ± 2	84,3 ± 5,7	0,35 ± 0,06	0,15 ± 0,01	6,26 ± 1,01	41,0 ± 1,8	58,0 ± 4,2	244 ± 38	101 ± 29
Radtscha 4	3	1,89 ± 0,05	75,30	24 ± 1	88,9 ± 5,0	0,35 ± 0,01	0,04 ± 0,00	1,59 ± 0,09	18,1 ± 0,8	67,2 ± 4,2	262 ± 13	28 ± 1
Radtscha 5	3	1,84 ± 0,05	74,40	21 ± 1	87,3 ± 5,0	0,96 ± 0,04	0,07 ± 0,00	1,17 ± 0,07	15,2 ± 0,7	64,4 ± 4,1	711 ± 35	55 ± 3
Greslya 1	3	1,80 ± 0,05	69,50	41 ± 2	54,8 ± 4,6	0,61 ± 0,01	0,06 ± 0,00	1,57 ± 0,07	29,1 ± 1,3	39,4 ± 3,5	437 ± 15	46 ± 30
Greslya 2	3	1,84 ± 0,05	75,20	40 ± 1	33,1 ± 3,8	0,13 ± 0,00	0,05 ± 0,00	5,63 ± 0,28	29,6 ± 1,3	24,4 ± 2,9	97,0 ± 3,5	36 ± 31
Greslya 3	3	1,70 ± 0,05	86,70	106 ± 3	59,3 ± 4,9	0,23 ± 0,01	0,13 ± 0,01	8,52 ± 0,44	71,9 ± 3,1	40,2 ± 3,5	158 ± 07	89 ± 29
Greslya 4	3	1,35 ± 0,04	19,50	104 ± 4	262 ± 12	1,99 ± 0,08	0,16 ± 0,01	1,20 ± 0,07	56,5 ± 2,5	142 ± 08	1078 ± 54	86 ± 24
Greslya 5	3	1,76 ± 0,05	95,70	83 ± 3	68,0 ± 4,7	0,50 ± 0,01	0,11 ± 0,00	3,16 ± 0,15	58,1 ± 2,5	47,8 ± 3,6	354 ± 13	74 ± 4
Marjaniwka 1	3	1,71 ± 0,05	99,67	246 ± 8	93,2 ± 6,2	0,42 ± 0,04	0,13 ± 0,01	4,58 ± 0,49	168 ± 07	63,6 ± 4,6	289 ± 30	88 ± 29
Marjaniwka 2	3	1,89 ± 0,05	92,41	36 ± 1	66,0 ± 3,8	0,16 ± 0,03	0,04 ± 0,00	3,59 ± 0,67	27,6 ± 1,2	50,0 ± 3,2	118 ± 22	28 ± 33
Marjaniwka 3	3	1,81 ± 0,05	88,65	42 ± 1	51,7 ± 3,4	0,47 ± 0,03	0,08 ± 0,00	2,58 ± 0,20	30,5 ± 1,4	37,5 ± 2,7	340 ± 24	58 ± 30
Marjaniwka 4	3	1,71 ± 0,05	102,43	227 ± 7	82 ± 6	0,50 ± 0,02	0,15 ± 0,01	4,56 ± 0,29	155 ± 07	56,3 ± 4,3	344 ± 20	104 ± 28
Marjaniwka 5	3	1,67 ± 0,05	96,25	49 ± 2	107 ± 08	1,19 ± 0,02	0,05 ± 0,00	0,59 ± 0,03	32,4 ± 1,5	71,3 ± 5,4	792 ± 26	31 ± 29
Klotschki 1	3	1,82 ± 0,05	90,20	135 ± 4	200 ± 10	0,39 ± 0,03	0,06 ± 0,00	2,15 ± 0,17	98,7 ± 4,2	146 ± 08	288 ± 21	41 ± 31
Klotschki 2	3	1,74 ± 0,05	97,60	53 ± 2	85,1 ± 5,5	0,69 ± 0,02	0,10 ± 0,00	2,12 ± 0,10	37,0 ± 1,6	59,2 ± 4,2	481 ± 18	68 ± 29
Klotschki 3	3	1,75 ± 0,05	95,82	119 ± 4	258 ± 12	0,83 ± 0,05	0,10 ± 0,00	1,74 ± 0,13	83,4 ± 3,6	180 ± 10	580 ± 41	67 ± 29
Klotschki 4	3	1,54 ± 0,04	95,75	333 ± 11	288 ± 13	2,70 ± 0,01	0,24 ± 0,01	1,34 ± 0,06	205 ± 09	178 ± 09	1663 ± 54	148 ± 26
Klotschki 5	3	1,73 ± 0,05	92,09	45 ± 2	218 ± 09	1,32 ± 0,06	0,07 ± 0,00	0,79 ± 0,04	30,7 ± 1,4	150 ± 08	915 ± 41	48 ± 2
Lataschi 1	3	1,51 ± 0,04	96,40	154 ± 5	464 ± 18	0,28 ± 0,01	0,08 ± 0,00	4,51 ± 0,25	92,9 ± 4,0	280 ± 13	167 ± 08	50 ± 1
Lataschi 2	3	1,40 ± 0,04	98,30	144 ± 5	502 ± 19	1,20 ± 0,06	0,13 ± 0,01	1,60 ± 0,10	80,6 ± 3,5	281 ± 13	669 ± 38	71 ± 4
Lataschi 3	3	1,55 ± 0,04	74,30	12 ± 1	206 ± 09	0,15 ± 0,01	0,03 ± 0,00	2,70 ± 0,15	7,6 ± 0,4	128 ± 07	91,9 ± 4,3	17 ± 1
Lataschi 4	3	1,50 ± 0,04	85,80	113 ± 4	340 ± 14	1,21 ± 0,02	0,09 ± 0,00	1,12 ± 0,05	67,8 ± 2,9	204 ± 10	725 ± 25	54 ± 3
Lataschi 5	3	1,71 ± 0,05	99,40	132 ± 4	281 ± 11	1,04 ± 0,02	0,11 ± 0,00	1,63 ± 0,09	90,3 ± 3,9	191 ± 09	712 ± 32	77 ± 4
Snitische 1	3	1,63 ± 0,05	39,50	162 ± 5	515 ± 20	0,83 ± 0,06	0,13 ± 0,01	2,37 ± 0,20	106 ± 05	337 ± 16	541 ± 41	85 ± 5
Snitische 2	3	1,56 ± 0,04	52,20	163 ± 5	528 ± 20	3,09 ± 0,40	0,13 ± 0,01	0,62 ± 0,09	102 ± 04	329 ± 16	1932 ± 256	79 ± 5
Snitische 3	3	1,53 ± 0,04	51,80	164 ± 5	536 ± 20	0,83 ± 0,02	0,15 ± 0,01	2,70 ± 0,13	101 ± 04	328 ± 15	505 ± 18	91 ± 5
Snitische 4	3	1,59 ± 0,04	68,00	256 ± 8	552 ± 22	0,55 ± 0,02	0,17 ± 0,01	4,70 ± 0,26	162 ± 07	351 ± 17	347 ± 16	103 ± 06
Snitische 5	3	1,58 ± 0,04	90,00	162 ± 5	332 ± 15	0,53 ± 0,02	0,03 ± 0,00	0,93 ± 0,05	102 ± 05	210 ± 11	333 ± 15	20 ± 1
Wjasiwka 1	3	1,67 ± 0,05	53,50	60 ± 2	72,7 ± 5,4	0,81 ± 0,02	0,10 ± 0,00	1,78 ± 0,08	40,2 ± 1,7	49 ± 4	540 ± 19	64 ± 3
Wjasiwka 2	3	1,83 ± 0,05	91,31	1640 ± 53	129 ± 07	0,37 ± 0,01	0,72 ± 0,03	29,8 ± 1,3	1203 ± 51	94 ± 6	269 ± 13	531 ± 27
Wjasiwka 3	3	1,82 ± 0,05	88,80	86 ± 3	92,1 ± 5,8	0,37 ± 0,01	0,10 ± 0,00	4,07 ± 0,18	62,4 ± 2,9	67 ± 5	272 ± 09	73,6 ± 3,7
Wjasiwka 4	3	1,57 ± 0,04	74,00	48 ± 2	222 ± 10	0,83 ± 0,02	0,06 ± 0,00	1,01 ± 0,05	30,1 ± 1,3	140 ± 07	519 ± 19	35 ± 2
Wjasiwka 5	3	1,82 ± 0,05	86,10	94 ± 3	244 ± 11	0,85 ± 0,02	0,07 ± 0,00	1,21 ± 0,05	68,2 ± 2,9	178 ± 09	622 ± 21	50 ± 3
Sakusili 1	3	1,82 ± 0,05	76,53	127 ± 4	66,1 ± 11,3	5,54 ± 0,28	0,15 ± 0,01	0,40 ± 0,03	92,5 ± 4,1	48 ± 8	4038 ± 233	107 ± 05
Sakusili 2	3	1,80 ± 0,05	98,33	223 ± 7	265 ± 16	1,08 ± 0,04	0,12 ± 0,01	1,73 ± 0,09	160 ± 07	191 ± 13	777 ± 34	89 ± 5
Sakusili 3	3	1,73 ± 0,05	78,15	80 ± 3	309 ± 12	0,82 ± 0,04	0,09 ± 0,00	1,60 ± 0,10	55,1 ± 2,4	214 ± 10	567 ± 30	60 ± 3
Sakusili 4	3	1,87 ± 0,05	63,41	235 ± 8	206 ± 09	4,08 ± 0,14	0,31 ± 0,01	1,16 ± 0,06	176 ± 08	155 ± 08	3062 ± 134	236 ± 12
Sakusili 5	3	1,64 ± 0,05	91,63	63 ± 2	92,0 ± 6,5	0,35 ± 0,03	0,06 ± 0,00	2,56 ± 0,25	41,3 ± 1,8	60 ± 5	233 ± 21	40 ± 2

Tab. A6: Messdaten von verschiedenen Elemente in Böden aus der Ukraine (Teil 7).

Name	Zone	Dichte g cm <sup>-2</sup>	Ausbeute%	A( <sup>137</sup> Cs) Bq kg <sup>-1</sup>	A( <sup>40</sup> K) Bq kg <sup>-1</sup>	A( <sup>127</sup> I) mg kg <sup>-1</sup>	A( <sup>129</sup> I) mBq/kg	<sup>129</sup> I/ <sup>127</sup> I in 10 <sup>-8</sup>	D( <sup>137</sup> Cs) kBq m <sup>-2</sup>	D ( <sup>40</sup> K) k Bq m <sup>-2</sup>	D ( <sup>127</sup> I) m <sup>-2</sup>	D ( <sup>129</sup> I) mBq m <sup>-2</sup>
Babinitschi 1	3	1,55 ± 0,04	96,00	199 ± 06	331 ± 14	0,77 ± 0,02	0,18 ± 0,01	3,50 ± 0,16	124 ± 05	205 ± 10	474 ± 17	110 ± 06
Babinitschi 2	3	1,70 ± 0,05	95,00	82,2 ± 2,7	332 ± 14	0,74 ± 0,01	0,08 ± 0,00	1,66 ± 0,08	55,8 ± 2,4	226 ± 11	502 ± 17	55,2 ± 2,8
Babinitschi 3	3	1,40 ± 0,04	63,00	236 ± 08	237 ± 11	1,12 ± 0,05	0,24 ± 0,01	3,23 ± 0,20	132 ± 06	132 ± 07	625 ± 33	134 ± 07
Babinitschi 4	3	1,29 ± 0,04	68,00	348 ± 11	195 ± 10	2,45 ± 0,05	0,29 ± 0,01	1,78 ± 0,08	179 ± 08	100 ± 06	1261 ± 45	149 ± 07
Babinitschi 5	3	1,45 ± 0,04	94,60	144 ± 05	166 ± 09	0,82 ± 0,02	0,12 ± 0,01	2,14 ± 0,13	83,2 ± 3,6	96 ± 06	472 ± 18	67,1 ± 4,0
Jerew 1	3	1,86 ± 0,05	88,80	143 ± 05	352 ± 14	0,94 ± 0,02	0,14 ± 0,01	2,17 ± 0,10	106 ± 05	262 ± 13	703 ± 24	101 ± 05
Jerew 2	3	1,55 ± 0,04	75,00	134 ± 04	344 ± 14	1,05 ± 0,04	0,19 ± 0,01	2,67 ± 0,15	83,1 ± 3,6	214 ± 10	653 ± 31	116 ± 06
Jerew 3	3	1,83 ± 0,05	48,20	174 ± 06	108 ± 05	0,52 ± 0,02	0,17 ± 0,01	5,01 ± 0,26	127 ± 05	79,4 ± 4,6	383 ± 16	127 ± 06
Jerew 4	3	1,76 ± 0,05	87,00	37,7 ± 1,2	82,7 ± 4,7	0,02 ± 0,00	0,02 ± 0,00	14,0 ± 0,70	26,5 ± 1,2	58,2 ± 3,7	12,3 ± 0,4	11,4 ± 0,6
Jerew 5	3	1,65 ± 0,05	97,00	315 ± 10	117 ± 06	0,65 ± 0,04	0,19 ± 0,01	4,47 ± 0,30	208 ± 09	77,2 ± 4,8	428 ± 26	127 ± 06
Brodniki 1	3	1,75 ± 0,05	76,30	64,4 ± 2,1	93,6 ± 5,4	0,49 ± 0,01	0,08 ± 0,00	2,38 ± 0,11	45,0 ± 2,0	65,5 ± 4,2	340 ± 11	53,7 ± 2,7
Brodniki 2	3	1,79 ± 0,05	83,20	25,3 ± 0,9	130 ± 07	0,37 ± 0,02	0,03 ± 0,00	1,37 ± 0,08	18,1 ± 0,8	93,0 ± 5,4	266 ± 13	24,2 ± 1,2
Brodniki 3	3	1,88 ± 0,05	80,90	25,9 ± 1,0	111 ± 06	0,31 ± 0,01	0,06 ± 0,00	2,77 ± 0,15	19,5 ± 0,9	83,1 ± 4,9	234 ± 10	43,0 ± 2,2
Brodniki 4	3	1,62 ± 0,05	36,40	60,8 ± 2,0	293 ± 12	0,48 ± 0,01	0,10 ± 0,00	3,07 ± 0,15	39,3 ± 1,7	190 ± 10	312 ± 11	63,6 ± 3,2
Brodniki 5	3	1,71 ± 0,05	88,90	35,4 ± 1,2	319 ± 13	1,39 ± 0,07	0,09 ± 0,00	1,01 ± 0,06	24,1 ± 1,1	217 ± 11	949 ± 53	63,8 ± 3,2
Polis'ke 1	3	1,87 ± 0,05	93,95	49,7 ± 1,7	91,9 ± 5,7	0,18 ± 0,03	0,05 ± 0,00	4,38 ± 0,63	37,1 ± 1,6	68,5 ± 4,7	134 ± 19	38,9 ± 2,0
Polis'ke 2	3	1,87 ± 0,05	95,30	322 ± 10	175 ± 08	0,45 ± 0,03	0,16 ± 0,01	5,19 ± 0,26	241 ± 10	131 ± 07	339 ± 22	117 ± 06
Polis'ke 3	3	1,81 ± 0,05	91,17	169 ± 06	260 ± 11	1,18 ± 0,04	0,13 ± 0,01	1,70 ± 0,09	123 ± 05	189 ± 10	856 ± 39	96,7 ± 4,9
Polis'ke 4	3	1,89 ± 0,05	68,79	773 ± 25	97,5 ± 5,7	0,30 ± 0,01	0,36 ± 0,01	18,0 ± 0,90	583 ± 25	73,5 ± 4,8	226 ± 08	270 ± 14
Polis'ke 5	3	1,74 ± 0,05	62,01	655 ± 21	250 ± 10	1,16 ± 0,02	0,35 ± 0,01	4,56 ± 0,21	456 ± 20	174 ± 09	807 ± 27	244 ± 12
Rudnya Basars'ka 1	3	1,67 ± 0,05	90,00	266 ± 09	308 ± 13	1,26 ± 0,02	0,20 ± 0,01	2,43 ± 0,11	177 ± 08	205 ± 10	838 ± 28	135 ± 07
Rudnya Basars'ka 2	3	1,77 ± 0,05	80,40	305 ± 10	183 ± 08	7,04 ± 0,14	0,24 ± 0,01	0,52 ± 0,02	216 ± 9	130 ± 07	4994 ± 172	172 ± 09
Rudnya Basars'ka 3	3	1,54 ± 0,04	98,09	873 ± 28	826 ± 32	1,35 ± 0,02	0,29 ± 0,01	3,18 ± 0,14	537 ± 23	508 ± 24	830 ± 28	175 ± 09
Rudnya Basars'ka 4	3	1,59 ± 0,05	88,38	123 ± 04	126 ± 07	1,45 ± 0,05	0,14 ± 0,01	1,46 ± 0,08	78,4 ± 3,4	80,0 ± 4,8	926 ± 41	89,9 ± 4,5
Rudnya Basars'ka 5	3	1,91 ± 0,05	85,20	104 ± 03	196 ± 09	0,73 ± 0,01	0,06 ± 0,00	1,18 ± 0,05	79,0 ± 3,4	149 ± 08	559 ± 19	43,7 ± 3,0
Slawinschina 1	3	1,76 ± 0,05	92,85	359 ± 12	146 ± 08	0,33 ± 0,02	0,31 ± 0,01	14,5 ± 0,70	253 ± 11	103 ± 06	229 ± 08	221 ± 11
Slawinschina 2	3	1,54 ± 0,04	73,80	210 ± 07	417 ± 17	1,74 ± 0,07	0,17 ± 0,01	1,51 ± 0,09	129 ± 06	256 ± 13	1073 ± 51	108 ± 05
Slawinschina 3	3	1,86 ± 0,05	73,90	86,7 ± 2,8	184 ± 09	0,55 ± 0,01	0,07 ± 0,00	1,88 ± 0,09	64,4 ± 2,8	137 ± 08	411 ± 14	51,2 ± 2,6
Slawinschina 4	3	1,65 ± 0,05	98,50	393 ± 13	308 ± 13	0,86 ± 0,03	0,36 ± 0,01	6,32 ± 0,35	259 ± 11	203 ± 10	567 ± 26	238 ± 12
Slawinschina 5	3	1,56 ± 0,04	97,30	474 ± 15	350 ± 14	0,98 ± 0,03	0,36 ± 0,02	5,55 ± 0,27	296 ± 13	218 ± 11	613 ± 23	226 ± 11
Nowij Dorogin' 1	3	1,75 ± 0,05	99,10	224 ± 07	131 ± 07	0,39 ± 0,06	0,15 ± 0,01	5,76 ± 0,40	157 ± 07	91,3 ± 5,7	273 ± 40	104 ± 05
Nowij Dorogin' 2	3	1,49 ± 0,04	72,50	286 ± 09	228 ± 11	2,48 ± 0,05	0,14 ± 0,01	0,84 ± 0,05	171 ± 07	136 ± 08	1477 ± 51	82,5 ± 4,2
Nowij Dorogin' 3	3	1,53 ± 0,04	96,10	160 ± 05	210 ± 10	1,03 ± 0,17	0,17 ± 0,01	2,50 ± 0,43	98 ± 4	129 ± 07	634 ± 106	105 ± 05
Nowij Dorogin' 4	3	1,73 ± 0,05	94,90	122 ± 04	149 ± 08	0,21 ± 0,01	0,07 ± 0,00	4,74 ± 0,26	84,5 ± 3,6	103 ± 06	148 ± 06	46,5 ± 2,4
Nowij Dorogin' 5	3	1,69 ± 0,05	97,70	439 ± 14	224 ± 10	0,47 ± 0,03	0,32 ± 0,01	10,1 ± 0,50	297 ± 13	151 ± 08	317 ± 22	213 ± 11
Starij Dorogin' 1	3	1,77 ± 0,05	27,10	97,8 ± 3,2	474 ± 18	0,32 ± 0,01	0,02 ± 0,00	1,05 ± 0,06	69,2 ± 3,0	335 ± 16	226 ± 09	15,8 ± 1,2
Starij Dorogin' 2	3	1,67 ± 0,05	95,90	436 ± 14	336 ± 14	1,94 ± 0,06	0,30 ± 0,01	2,36 ± 0,12	292 ± 13	225 ± 11	1296 ± 56	203 ± 10
Starij Dorogin' 3	3	1,70 ± 0,05	90,00	279 ± 09	269 ± 11	0,99 ± 0,02	1,03 ± 0,04	15,6 ± 0,70	190 ± 08	183 ± 09	675 ± 22	698 ± 35
Starij Dorogin' 4	3	1,73 ± 0,05	81,90	218 ± 07	361 ± 14	0,87 ± 0,03	0,19 ± 0,01	3,25 ± 0,17	151 ± 07	250 ± 12	599 ± 27	129 ± 07
Starij Dorogin' 5	3	1,91 ± 0,05	83,40	15,8 ± 0,6	337 ± 15	0,06 ± 0,00	0,08 ± 0,00	20,2 ± 1,6	12,1 ± 0,6	257 ± 13	47,0 ± 3,3	63,0 ± 3,2

Tab. A7: Depositionsdichten von  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{129}\text{I}$  und  $^{131}\text{I}$  in versch. Orten der Ukraine und die berechneten  $^{131}\text{I}$ -Schilddrüsendosen (Teil 1).

	$D(^{137}\text{Cs})$ in $\text{kBq m}^{-2}$	$D(^{129}\text{I})$ in $\text{mBq m}^{-2}$	$D(^{131}\text{I})$ in $\text{MBq m}^{-2}$	$^{131}\text{I}$ -Schilddrüsendosen aus $^{131}\text{I}$ - Depositionsdichte aus Messungen der $^{129}\text{I}$ - Depositionsdichte			$^{131}\text{I}$ -Schilddrüsendosen aus $^{131}\text{I}$ - Depositionsdichte aus Messungen der $^{137}\text{Cs}$ - Depositionsdichte		
				5-Jährige Kinder	10-Jährige Kinder	Erwachsene	5-Jährige Kinder	10-Jährige Kinder	Erwachsene
Seletz	$545 \times 1,8^{\pm 1}$	$74 \times 2,0^{\pm 1}$	$4,40 \times 2,0^{\pm 1}$	$1,1 \times 2,0^{\pm 1}$	$0,7 \times 2,0^{\pm 1}$	$0,3 \times 2,0^{\pm 1}$	$2,0 \times 1,8^{\pm 1}$	$1,3 \times 1,8^{\pm 1}$	$0,8 \times 1,8^{\pm 1}$
Nowe Scharno	$8022 \times 1,6^{\pm 1}$	$1231 \times 1,8^{\pm 1}$	$73,30 \times 1,8^{\pm 1}$	$18,1 \times 1,8^{\pm 1}$	$12,2 \times 1,8^{\pm 1}$	$4,3 \times 1,8^{\pm 1}$	$28,9 \times 1,6^{\pm 1}$	$18,5 \times 1,6^{\pm 1}$	$12,0 \times 1,6^{\pm 1}$
Stare Scharno	$3444 \times 2,1^{\pm 1}$	$371 \times 1,6^{\pm 1}$	$22,11 \times 1,6^{\pm 1}$	$5,5 \times 1,6^{\pm 1}$	$3,7 \times 1,6^{\pm 1}$	$1,3 \times 1,6^{\pm 1}$	$12,4 \times 2,1^{\pm 1}$	$7,9 \times 2,1^{\pm 1}$	$5,2 \times 2,1^{\pm 1}$
Nosdrische	$1238 \times 4,7^{\pm 1}$	$321 \times 2,8^{\pm 1}$	$19,13 \times 2,8^{\pm 1}$	$4,7 \times 2,8^{\pm 1}$	$3,2 \times 2,8^{\pm 1}$	$1,1 \times 2,8^{\pm 1}$	$4,5 \times 4,7^{\pm 1}$	$2,8 \times 4,7^{\pm 1}$	$1,9 \times 4,7^{\pm 1}$
Dowgij Lis	$628 \times 1,7^{\pm 1}$	$228 \times 2,7^{\pm 1}$	$13,58 \times 2,7^{\pm 1}$	$3,4 \times 2,7^{\pm 1}$	$2,3 \times 2,7^{\pm 1}$	$0,8 \times 2,7^{\pm 1}$	$2,3 \times 1,7^{\pm 1}$	$1,4 \times 1,7^{\pm 1}$	$0,9 \times 1,7^{\pm 1}$
Omelniki	$218 \times 2,5^{\pm 1}$	$14 \times 5,2^{\pm 1}$	$0,81 \times 5,2^{\pm 1}$	$0,2 \times 5,2^{\pm 1}$	$0,1 \times 5,2^{\pm 1}$	$0,01 \times 5,2^{\pm 1}$	$0,8 \times 2,5^{\pm 1}$	$0,5 \times 2,5^{\pm 1}$	$0,3 \times 2,5^{\pm 1}$
Motili	$193 \times 1,2^{\pm 1}$	$44 \times 2,8^{\pm 1}$	$2,64 \times 2,8^{\pm 1}$	$0,7 \times 2,8^{\pm 1}$	$0,4 \times 2,8^{\pm 1}$	$0,2 \times 2,8^{\pm 1}$	$0,7 \times 1,2^{\pm 1}$	$0,4 \times 1,2^{\pm 1}$	$0,3 \times 1,2^{\pm 1}$
Naroditschi	$212 \times 2,5^{\pm 1}$	$55 \times 2,6^{\pm 1}$	$3,30 \times 2,6^{\pm 1}$	$0,8 \times 2,6^{\pm 1}$	$0,6 \times 2,6^{\pm 1}$	$0,2 \times 2,6^{\pm 1}$	$0,8 \times 2,5^{\pm 1}$	$0,5 \times 2,5^{\pm 1}$	$0,3 \times 2,5^{\pm 1}$
Hristiniwka	$1020 \times 5,6^{\pm 1}$	$135 \times 9,6^{\pm 1}$	$8,02 \times 9,6^{\pm 1}$	$2,0 \times 9,6^{\pm 1}$	$1,3 \times 9,6^{\pm 1}$	$0,5 \times 9,6^{\pm 1}$	$3,7 \times 5,6^{\pm 1}$	$2,3 \times 5,6^{\pm 1}$	$1,5 \times 5,6^{\pm 1}$
Zwizdal'	$1143 \times 3,4^{\pm 1}$	$478 \times 1,4^{\pm 1}$	$28,49 \times 1,4^{\pm 1}$	$7,0 \times 1,4^{\pm 1}$	$4,8 \times 1,4^{\pm 1}$	$1,7 \times 1,4^{\pm 1}$	$4,1 \times 3,4^{\pm 1}$	$2,6 \times 3,4^{\pm 1}$	$1,7 \times 3,4^{\pm 1}$
Jurba	$331 \times 4,9^{\pm 1}$	$128 \times 1,4^{\pm 1}$	$7,60 \times 1,4^{\pm 1}$	$1,9 \times 1,4^{\pm 1}$	$1,3 \times 1,4^{\pm 1}$	$0,5 \times 1,4^{\pm 1}$	$1,2 \times 4,9^{\pm 1}$	$0,8 \times 4,9^{\pm 1}$	$0,5 \times 4,9^{\pm 1}$
Derkatschi	$390 \times 1,7^{\pm 1}$	$82 \times 1,6^{\pm 1}$	$4,91 \times 1,6^{\pm 1}$	$1,2 \times 1,6^{\pm 1}$	$0,8 \times 1,6^{\pm 1}$	$0,3 \times 1,6^{\pm 1}$	$1,4 \times 1,7^{\pm 1}$	$0,9 \times 1,7^{\pm 1}$	$0,6 \times 1,7^{\pm 1}$
Perejisd	$102 \times 1,5^{\pm 1}$	$37 \times 1,9^{\pm 1}$	$2,19 \times 1,9^{\pm 1}$	$0,5 \times 1,9^{\pm 1}$	$0,4 \times 1,9^{\pm 1}$	$0,1 \times 1,9^{\pm 1}$	$0,4 \times 1,5^{\pm 1}$	$0,2 \times 1,5^{\pm 1}$	$0,2 \times 1,5^{\pm 1}$
Derewzi	$244 \times 1,2^{\pm 1}$	$105 \times 2,8^{\pm 1}$	$6,28 \times 2,8^{\pm 1}$	$1,6 \times 2,8^{\pm 1}$	$1,0 \times 2,8^{\pm 1}$	$0,4 \times 2,8^{\pm 1}$	$0,9 \times 1,2^{\pm 1}$	$0,6 \times 1,2^{\pm 1}$	$0,4 \times 1,2^{\pm 1}$
Kolisniki	$164 \times 1,4^{\pm 1}$	$46 \times 1,6^{\pm 1}$	$2,74 \times 1,6^{\pm 1}$	$0,7 \times 1,6^{\pm 1}$	$0,5 \times 1,6^{\pm 1}$	$0,2 \times 1,6^{\pm 1}$	$0,6 \times 1,4^{\pm 1}$	$0,4 \times 1,4^{\pm 1}$	$0,2 \times 1,4^{\pm 1}$
Stanowische	$383 \times 1,5^{\pm 1}$	$85 \times 2,0^{\pm 1}$	$5,57 \times 2,1^{\pm 1}$	$1,4 \times 2,1^{\pm 1}$	$0,9 \times 2,1^{\pm 1}$	$0,3 \times 2,1^{\pm 1}$	$1,4 \times 1,5^{\pm 1}$	$0,9 \times 1,5^{\pm 1}$	$0,6 \times 1,5^{\pm 1}$
Vil'cha	$163 \times 4,4^{\pm 1}$	$62 \times 4,0^{\pm 1}$	$2,47 \times 3,9^{\pm 1}$	$0,6 \times 3,9^{\pm 1}$	$0,4 \times 3,9^{\pm 1}$	$0,1 \times 3,9^{\pm 1}$	$0,6 \times 4,4^{\pm 1}$	$0,4 \times 4,4^{\pm 1}$	$0,2 \times 4,4^{\pm 1}$
Tarasi	$424 \times 1,1^{\pm 1}$	$86 \times 1,3^{\pm 1}$	$5,13 \times 1,3^{\pm 1}$	$1,3 \times 1,3^{\pm 1}$	$0,9 \times 1,3^{\pm 1}$	$0,3 \times 1,3^{\pm 1}$	$1,5 \times 1,1^{\pm 1}$	$1,0 \times 1,1^{\pm 1}$	$0,6 \times 1,1^{\pm 1}$
Wolodimiriwka	$10326 \times 1,9^{\pm 1}$	$2007 \times 2,0^{\pm 1}$	$120 \times 2,0^{\pm 1}$	$29,5 \times 2,0^{\pm 1}$	$19,9 \times 2,0^{\pm 1}$	$7,1 \times 2,0^{\pm 1}$	$37,2 \times 1,9^{\pm 1}$	$23,8 \times 1,9^{\pm 1}$	$15,5 \times 1,9^{\pm 1}$
Polis'ke	$925 \times 2,3^{\pm 1}$	$95 \times 2,9^{\pm 1}$	$5,67 \times 2,9^{\pm 1}$	$1,4 \times 2,9^{\pm 1}$	$0,9 \times 2,9^{\pm 1}$	$0,3 \times 2,9^{\pm 1}$	$3,3 \times 2,3^{\pm 1}$	$2,1 \times 2,3^{\pm 1}$	$1,4 \times 2,3^{\pm 1}$
Rossochiws'ke	$242 \times 6,0^{\pm 1}$	$113 \times 1,9^{\pm 1}$	$5,47 \times 1,9^{\pm 1}$	$1,4 \times 1,9^{\pm 1}$	$0,9 \times 1,9^{\pm 1}$	$0,3 \times 1,9^{\pm 1}$	$0,9 \times 6,0^{\pm 1}$	$0,6 \times 6,0^{\pm 1}$	$0,4 \times 6,0^{\pm 1}$
Loznitsya	$592 \times 2,2^{\pm 1}$	$134 \times 1,7^{\pm 1}$	$8,01 \times 1,7^{\pm 1}$	$2,0 \times 1,7^{\pm 1}$	$1,3 \times 1,7^{\pm 1}$	$0,5 \times 1,7^{\pm 1}$	$2,1 \times 2,2^{\pm 1}$	$1,4 \times 2,2^{\pm 1}$	$0,9 \times 2,2^{\pm 1}$

**Tab. A7:** Depositionsdichten von  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{129}\text{I}$  und  $^{131}\text{I}$  in versch. Orten der Ukraine und die berechneten  $^{131}\text{I}$ -Schilddrüsendosen (Teil 2).

	$D(^{137}\text{Cs})$ in $\text{kBq m}^{-2}$	$D(^{129}\text{I})$ in $\text{mBq m}^{-2}$	$D(^{131}\text{I})$ in $\text{MBq m}^{-2}$	$^{131}\text{I}$ -Schilddrüsendosen aus $^{131}\text{I}$ - Depositionsdichte aus Messungen der $^{129}\text{I}$ - Depositionsdichte			$^{131}\text{I}$ -Schilddrüsendosen aus $^{131}\text{I}$ - Depositionsdichte aus Messungen der $^{137}\text{Cs}$ - Depositionsdichte		
				5-Jährige Kinder	10-Jährige Kinder	Erwachsene	5-Jährige Kinder	10-Jährige Kinder	Erwachsene
				<b>Sewerinivka</b>	$260 \times 2,7^{\pm 1}$	$73 \times 2,4^{\pm 1}$	$4,37 \times 2,4^{\pm 1}$	$1,1 \times 2,4^{\pm 1}$	$0,7 \times 2,4^{\pm 1}$
<b>Lyubarka</b>	$803 \times 1,6^{\pm 1}$	$175 \times 2,0^{\pm 1}$	$10,4 \times 2,0^{\pm 1}$	$2,6 \times 2,0^{\pm 1}$	$1,7 \times 2,0^{\pm 1}$	$0,6 \times 2,0^{\pm 1}$	$2,9 \times 1,6^{\pm 1}$	$1,8 \times 1,6^{\pm 1}$	$1,2 \times 1,6^{\pm 1}$
<b>Jurawlina</b>	$1500 \times 1,4^{\pm 1}$	$361 \times 1,4^{\pm 1}$	$21,5 \times 1,4^{\pm 1}$	$5,3 \times 1,4^{\pm 1}$	$3,6 \times 1,4^{\pm 1}$	$1,3 \times 1,4^{\pm 1}$	$5,4 \times 1,4^{\pm 1}$	$3,5 \times 1,4^{\pm 1}$	$2,3 \times 1,4^{\pm 1}$
<b>Weliki Klischi</b>	$2186 \times 1,6^{\pm 1}$	$324 \times 4,5^{\pm 1}$	$19,23 \times 4,5^{\pm 1}$	$4,8 \times 4,5^{\pm 1}$	$3,2 \times 4,5^{\pm 1}$	$1,1 \times 4,5^{\pm 1}$	$7,9 \times 1,6^{\pm 1}$	$5,0 \times 1,6^{\pm 1}$	$3,3 \times 1,6^{\pm 1}$
<b>Rogi</b>	$879 \times 1,4^{\pm 1}$	$283 \times 1,3^{\pm 1}$	$17,7 \times 1,3^{\pm 1}$	$4,4 \times 1,3^{\pm 1}$	$3,0 \times 1,3^{\pm 1}$	$1,0 \times 1,3^{\pm 1}$	$3,2 \times 1,4^{\pm 1}$	$2,0 \times 1,4^{\pm 1}$	$1,3 \times 1,4^{\pm 1}$
<b>Kaliniwka</b>	$186 \times 1,4^{\pm 1}$	$65 \times 1,1^{\pm 1}$	$4,09 \times 1,1^{\pm 1}$	$1,0 \times 1,1^{\pm 1}$	$0,7 \times 1,1^{\pm 1}$	$0,2 \times 1,1^{\pm 1}$	$0,7 \times 1,4^{\pm 1}$	$0,4 \times 1,4^{\pm 1}$	$0,3 \times 1,4^{\pm 1}$
<b>Mali Klischi</b>	$1206 \times 1,6^{\pm 1}$	$276 \times 1,6^{\pm 1}$	$16,4 \times 1,6^{\pm 1}$	$4,1 \times 1,6^{\pm 1}$	$2,7 \times 1,6^{\pm 1}$	$1,0 \times 1,6^{\pm 1}$	$4,3 \times 1,6^{\pm 1}$	$2,8 \times 1,6^{\pm 1}$	$1,8 \times 1,6^{\pm 1}$
<b>Mali Min'ki</b>	$1580 \times 1,9^{\pm 1}$	$523 \times 2,1^{\pm 1}$	$31,2 \times 2,1^{\pm 1}$	$7,7 \times 2,1^{\pm 1}$	$5,2 \times 2,1^{\pm 1}$	$1,8 \times 2,1^{\pm 1}$	$5,7 \times 1,9^{\pm 1}$	$3,6 \times 1,9^{\pm 1}$	$2,4 \times 1,9^{\pm 1}$
<b>Rudnya Ososchnya</b>	$2749 \times 3,0^{\pm 1}$	$689 \times 2,5^{\pm 1}$	$41,0 \times 2,5^{\pm 1}$	$10,1 \times 2,5^{\pm 1}$	$6,8 \times 2,5^{\pm 1}$	$2,4 \times 2,5^{\pm 1}$	$9,9 \times 3,0^{\pm 1}$	$6,3 \times 3,0^{\pm 1}$	$4,1 \times 3,0^{\pm 1}$
<b>Weliki Min'ki</b>	$65 \times 2,3^{\pm 1}$	$8,4 \times 5,3^{\pm 1}$	$0,50 \times 5,3^{\pm 1}$	$0,12 \times 5,3^{\pm 1}$	$0,08 \times 5,3^{\pm 1}$	$0,03 \times 5,3^{\pm 1}$	$0,2 \times 2,3^{\pm 1}$	$0,1 \times 2,3^{\pm 1}$	$0,1 \times 2,3^{\pm 1}$
<b>Listiniwka</b>	$194 \times 3,0^{\pm 1}$	$74 \times 1,7^{\pm 1}$	$3,60 \times 1,5^{\pm 1}$	$0,9 \times 1,5^{\pm 1}$	$0,6 \times 1,5^{\pm 1}$	$0,2 \times 1,5^{\pm 1}$	$0,7 \times 3,0^{\pm 1}$	$0,4 \times 3,0^{\pm 1}$	$0,3 \times 3,0^{\pm 1}$
<b>Basar</b>	$358 \times 2,3^{\pm 1}$	$41 \times 5,6^{\pm 1}$	$3,82 \times 5,0^{\pm 1}$	$0,9 \times 5,0^{\pm 1}$	$0,6 \times 5,0^{\pm 1}$	$0,2 \times 5,0^{\pm 1}$	$1,3 \times 2,3^{\pm 1}$	$0,8 \times 2,3^{\pm 1}$	$0,5 \times 2,3^{\pm 1}$
<b>Perejisd</b>	$102 \times 1,5^{\pm 1}$	$26 \times 1,9^{\pm 1}$	$2,12 \times 2,0^{\pm 1}$	$0,5 \times 2,0^{\pm 1}$	$0,4 \times 2,0^{\pm 1}$	$0,1 \times 2,0^{\pm 1}$	$0,4 \times 1,5^{\pm 1}$	$0,2 \times 1,5^{\pm 1}$	$0,2 \times 1,5^{\pm 1}$
<b>Wistupovitschi</b>	$456 \times 2,1^{\pm 1}$	$184 \times 2,1^{\pm 1}$	$10,9 \times 2,1^{\pm 1}$	$2,7 \times 2,1^{\pm 1}$	$1,8 \times 2,1^{\pm 1}$	$0,6 \times 2,1^{\pm 1}$	$1,6 \times 2,1^{\pm 1}$	$1,0 \times 2,1^{\pm 1}$	$0,7 \times 2,1^{\pm 1}$
<b>Korosten'</b>	$386 \times 3,3^{\pm 1}$	$117 \times 5,5^{\pm 1}$	$22,7 \times 1,1^{\pm 1}$	$5,6 \times 1,1^{\pm 1}$	$3,8 \times 1,1^{\pm 1}$	$1,3 \times 1,1^{\pm 1}$	$1,4 \times 3,3^{\pm 1}$	$0,9 \times 3,3^{\pm 1}$	$0,6 \times 3,3^{\pm 1}$
<b>Woronewe</b>	$637 \times 1,4^{\pm 1}$	$101 \times 2,0^{\pm 1}$	$6,02 \times 2,0^{\pm 1}$	$1,5 \times 2,0^{\pm 1}$	$1,0 \times 2,0^{\pm 1}$	$0,4 \times 2,0^{\pm 1}$	$2,3 \times 1,4^{\pm 1}$	$1,5 \times 1,4^{\pm 1}$	$1,0 \times 1,4^{\pm 1}$
<b>Bechi</b>	$494 \times 1,9^{\pm 1}$	$102 \times 1,7^{\pm 1}$	$6,69 \times 1,7^{\pm 1}$	$1,7 \times 1,7^{\pm 1}$	$1,1 \times 1,7^{\pm 1}$	$0,4 \times 1,7^{\pm 1}$	$1,8 \times 1,9^{\pm 1}$	$1,1 \times 1,9^{\pm 1}$	$0,7 \times 1,9^{\pm 1}$
<b>Odrubi</b>	$357 \times 1,1^{\pm 1}$	$100 \times 1,2^{\pm 1}$	$5,93 \times 1,2^{\pm 1}$	$1,5 \times 1,2^{\pm 1}$	$1,0 \times 1,2^{\pm 1}$	$0,4 \times 1,2^{\pm 1}$	$1,3 \times 1,1^{\pm 1}$	$0,8 \times 1,1^{\pm 1}$	$0,5 \times 1,1^{\pm 1}$
<b>Motijki</b>	$398 \times 1,7^{\pm 1}$	$65 \times 1,2^{\pm 1}$	$3,89 \times 1,2^{\pm 1}$	$1,0 \times 1,2^{\pm 1}$	$0,6 \times 1,2^{\pm 1}$	$0,2 \times 1,2^{\pm 1}$	$1,4 \times 1,7^{\pm 1}$	$0,9 \times 1,7^{\pm 1}$	$0,6 \times 1,7^{\pm 1}$
<b>Zalissya</b>	$465 \times 1,5^{\pm 1}$	$91 \times 2,4^{\pm 1}$	$5,43 \times 2,4^{\pm 1}$	$1,3 \times 2,4^{\pm 1}$	$0,9 \times 2,4^{\pm 1}$	$0,3 \times 2,4^{\pm 1}$	$1,7 \times 1,5^{\pm 1}$	$1,1 \times 1,5^{\pm 1}$	$0,7 \times 1,5^{\pm 1}$
<b>Nowij Dorogin'</b>	$228 \times 1,7^{\pm 1}$	$36 \times 4,9^{\pm 1}$	$2,14 \times 4,9^{\pm 1}$	$0,5 \times 4,9^{\pm 1}$	$0,4 \times 4,9^{\pm 1}$	$0,1 \times 4,9^{\pm 1}$	$0,8 \times 1,7^{\pm 1}$	$0,5 \times 1,7^{\pm 1}$	$0,3 \times 1,7^{\pm 1}$
<b>Yagberen'</b>	$157 \times 2,7^{\pm 1}$	$89 \times 1,5$	$4,55 \times 1,4^{\pm 1}$	$1,1 \times 1,4^{\pm 1}$	$0,8 \times 1,4^{\pm 1}$	$0,3 \times 1,4^{\pm 1}$	$0,6 \times 2,7^{\pm 1}$	$0,4 \times 2,7^{\pm 1}$	$0,2 \times 2,7^{\pm 1}$
<b>Nowa Radtscha</b>	$60 \times 3,3^{\pm 1}$	$50 \times 1,6^{\pm 1}$	$2,50 \times 1,5^{\pm 1}$	$0,6 \times 1,5^{\pm 1}$	$0,4 \times 1,5^{\pm 1}$	$0,1 \times 1,5^{\pm 1}$	$0,2 \times 3,3^{\pm 1}$	$0,1 \times 3,3^{\pm 1}$	$0,1 \times 3,3^{\pm 1}$

**Tab. A7:** Depositionsdichten von  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{129}\text{I}$  und  $^{131}\text{I}$  in versch. Orten der Ukraine und die berechneten  $^{131}\text{I}$ -Schilddrüsendosen (Teil 3)

	$D(^{137}\text{Cs})$ in $\text{kBq m}^{-2}$	$D(^{129}\text{I})$ in $\text{mBq m}^{-2}$	$D(^{131}\text{I})$ in $\text{MBq m}^{-2}$	$^{131}\text{I}$ -Schilddrüsendosen aus $^{131}\text{I}$ - Depositionsdichte aus Messungen der $^{129}\text{I}$ - Depositionsdichte			$^{131}\text{I}$ -Schilddrüsendosen aus $^{131}\text{I}$ - Depositionsdichte aus Messungen der $^{137}\text{Cs}$ - Depositionsdichte		
				5-Jährige Kinder	10-Jährige Kinder	Erwachsene	5-Jährige Kinder	10-Jährige Kinder	Erwachsene
<b>Stara Radtscha</b>	$118 \times 2,0^{\pm 1}$	$54 \times 1,4^{\pm 1}$	$3,26 \times 1,5^{\pm 1}$	$0,8 \times 1,5^{\pm 1}$	$0,5 \times 1,5^{\pm 1}$	$0,2 \times 1,5^{\pm 1}$	$0,4 \times 2,0^{\pm 1}$	$0,3 \times 2,0^{\pm 1}$	$0,2 \times 2,0^{\pm 1}$
<b>Radtscha</b>	$52 \times 2,6^{\pm 1}$	$31 \times 2,9^{\pm 1}$	$1,85 \times 2,9^{\pm 1}$	$0,5 \times 3,3^{\pm 1}$	$0,3 \times 3,3^{\pm 1}$	$0,1 \times 3,3^{\pm 1}$	$0,2 \times 2,6^{\pm 1}$	$0,1 \times 2,6^{\pm 1}$	$0,1 \times 2,6^{\pm 1}$
<b>Greslya</b>	$68 \times 1,6^{\pm 1}$	$17 \times 4,9^{\pm 1}$	$2,20 \times 1,3^{\pm 1}$	$0,5 \times 1,3^{\pm 1}$	$0,4 \times 1,3^{\pm 1}$	$0,1 \times 1,3^{\pm 1}$	$0,2 \times 1,6^{\pm 1}$	$0,2 \times 1,6^{\pm 1}$	$0,1 \times 1,6^{\pm 1}$
<b>Marjaniwka</b>	$89 \times 2,6^{\pm 1}$	$33 \times 2,1^{\pm 1}$	$1,49 \times 2,2^{\pm 1}$	$0,4 \times 2,2^{\pm 1}$	$0,2 \times 2,2^{\pm 1}$	$0,1 \times 2,2^{\pm 1}$	$0,3 \times 2,6^{\pm 1}$	$0,2 \times 2,6^{\pm 1}$	$0,1 \times 2,6^{\pm 1}$
<b>Klotschki</b>	$111 \times 2,2^{\pm 1}$	$22 \times 3,9^{\pm 1}$	$1,19 \times 1,3^{\pm 1}$	$0,3 \times 1,3^{\pm 1}$	$0,2 \times 1,3^{\pm 1}$	$0,1 \times 1,3^{\pm 1}$	$0,4 \times 2,2^{\pm 1}$	$0,3 \times 2,2^{\pm 1}$	$0,2 \times 2,2^{\pm 1}$
<b>Lataschi</b>	$71 \times 3,6^{\pm 1}$	$15 \times 2,3^{\pm 1}$	$0,69 \times 2,2^{\pm 1}$	$0,2 \times 2,2^{\pm 1}$	$0,1 \times 2,2^{\pm 1}$	$0,01 \times 2,2^{\pm 1}$	$0,3 \times 3,6^{\pm 1}$	$0,2 \times 3,6^{\pm 1}$	$0,1 \times 3,6^{\pm 1}$
<b>Snitische</b>	$175 \times 1,2^{\pm 1}$	$46 \times 1,3^{\pm 1}$	$2,72 \times 1,3^{\pm 1}$	$0,7 \times 1,3^{\pm 1}$	$0,5 \times 1,3^{\pm 1}$	$0,2 \times 1,3^{\pm 1}$	$0,6 \times 1,2^{\pm 1}$	$0,4 \times 1,2^{\pm 1}$	$0,3 \times 1,2^{\pm 1}$
<b>Wjasiwka</b>	$137 \times 4,6^{\pm 1}$	$54 \times 4,4^{\pm 1}$	$1,56 \times 1,3^{\pm 1}$	$0,4 \times 1,3^{\pm 1}$	$0,3 \times 1,3^{\pm 1}$	$0,1 \times 1,3^{\pm 1}$	$0,5 \times 4,6^{\pm 1}$	$0,3 \times 4,6^{\pm 1}$	$0,2 \times 4,6^{\pm 1}$
<b>Sakusili</b>	$142 \times 1,9^{\pm 1}$	$54 \times 2,8^{\pm 1}$	$3,09 \times 3,5^{\pm 1}$	$0,8 \times 3,5^{\pm 1}$	$0,5 \times 3,5^{\pm 1}$	$0,2 \times 3,5^{\pm 1}$	$0,5 \times 1,9^{\pm 1}$	$0,3 \times 1,9^{\pm 1}$	$0,2 \times 1,9^{\pm 1}$
<b>Wjasiwka</b>	$137 \times 4,6^{\pm 1}$	$54 \times 4,4^{\pm 1}$	$1,56 \times 1,3^{\pm 1}$	$0,4 \times 1,3^{\pm 1}$	$0,3 \times 1,3^{\pm 1}$	$0,1 \times 1,3^{\pm 1}$	$0,5 \times 4,6^{\pm 1}$	$0,3 \times 4,6^{\pm 1}$	$0,2 \times 4,6^{\pm 1}$
<b>Sakusili</b>	$142 \times 1,9^{\pm 1}$	$54 \times 2,8^{\pm 1}$	$3,09 \times 3,5^{\pm 1}$	$0,8 \times 3,5^{\pm 1}$	$0,5 \times 3,5^{\pm 1}$	$0,2 \times 3,5^{\pm 1}$	$0,5 \times 1,9^{\pm 1}$	$0,3 \times 1,9^{\pm 1}$	$0,2 \times 1,9^{\pm 1}$
<b>Babinitschi</b>	$165 \times 1,6^{\pm 1}$	$44 \times 2,6^{\pm 1}$	$3,67 \times 2,0^{\pm 1}$	$0,9 \times 2,0^{\pm 1}$	$0,6 \times 2,0^{\pm 1}$	$0,2 \times 2,0^{\pm 1}$	$0,6 \times 1,6^{\pm 1}$	$0,4 \times 1,6^{\pm 1}$	$0,2 \times 1,6^{\pm 1}$
<b>Jerew</b>	$138 \times 2,2^{\pm 1}$	$73 \times 1,2^{\pm 1}$	$4,35 \times 1,2^{\pm 1}$	$1,1 \times 1,2^{\pm 1}$	$0,7 \times 1,2^{\pm 1}$	$0,3 \times 1,2^{\pm 1}$	$0,5 \times 2,2^{\pm 1}$	$0,3 \times 2,2^{\pm 1}$	$0,2 \times 2,2^{\pm 1}$
<b>Brodniki</b>	$38 \times 1,6^{\pm 1}$	$16 \times 1,5^{\pm 1}$	$0,93 \times 1,5^{\pm 1}$	$0,2 \times 1,5^{\pm 1}$	$0,1 \times 1,5^{\pm 1}$	$0,05 \times 1,5^{\pm 1}$	$0,1 \times 1,6^{\pm 1}$	$0,1 \times 1,6^{\pm 1}$	$0,1 \times 1,6^{\pm 1}$
<b>Polis'ke</b>	$310 \times 3,1^{\pm 1}$	$115 \times 2,1^{\pm 1}$	$8,86 \times 1,9^{\pm 1}$	$2,2 \times 1,9^{\pm 1}$	$1,5 \times 1,9$	$0,5 \times 1,9^{\pm 1}$	$1,1 \times 3,1^{\pm 1}$	$0,7 \times 3,1^{\pm 1}$	$0,5 \times 3,1^{\pm 1}$
<b>Rudnya Basars'ka</b>	$262 \times 2,3^{\pm 1}$	$69 \times 1,6^{\pm 1}$	$4,11 \times 1,6^{\pm 1}$	$1,0 \times 1,6^{\pm 1}$	$0,7 \times 1,6$	$0,2 \times 1,6^{\pm 1}$	$0,9 \times 2,3^{\pm 1}$	$0,6 \times 2,3^{\pm 1}$	$0,4 \times 2,3^{\pm 1}$
<b>Slawinschina</b>	$273 \times 1,9^{\pm 1}$	$78 \times 4,1^{\pm 1}$	$4,88 \times 5,1^{\pm 1}$	$1,2 \times 5,1^{\pm 1}$	$0,8 \times 5,1$	$0,3 \times 5,1^{\pm 1}$	$1,0 \times 1,9^{\pm 1}$	$0,6 \times 1,9^{\pm 1}$	$0,4 \times 1,9^{\pm 1}$
<b>Nowij Dorogin'</b>	$228 \times 1,7^{\pm 1}$	$36 \times 4,9^{\pm 1}$	$2,14 \times 4,9^{\pm 1}$	$0,5 \times 4,9^{\pm 1}$	$0,4 \times 4,9$	$0,1 \times 4,9^{\pm 1}$	$0,8 \times 1,7^{\pm 1}$	$0,5 \times 1,7^{\pm 1}$	$0,3 \times 1,7^{\pm 1}$
<b>Starij Dorogin'</b>	$137 \times 3,9^{\pm 1}$	$114 \times 4,3^{\pm 1}$	$3,79 \times 3,0^{\pm 1}$	$0,9 \times 3,0^{\pm 1}$	$0,6 \times 3,0$	$0,2 \times 3,0^{\pm 1}$	$0,5 \times 3,9^{\pm 1}$	$0,3 \times 3,9^{\pm 1}$	$0,2 \times 3,9^{\pm 1}$



**Tab. A8:** Zeitreihe von Freilandniederschlag der Probennahmestelle „**Siemen**“.<sup>129</sup>I- und <sup>127</sup>I-Konzentration sowie <sup>129</sup>I/<sup>127</sup>I-Isotopenverhältnisse.

Probenahmedatum	<sup>127</sup> I in ng g <sup>-1</sup>	<sup>129</sup> I in fg g <sup>-1</sup>	<sup>129</sup> I/ <sup>127</sup> I- Verhältnis in 10 <sup>-7</sup>	Quelle
16.05.1997	2,0 ± 0,4	0,45 ± 0,06	2,2 ± 0,5	Szidat, 2000
31.07.1997	1,4 ± 0,5	0,29 ± 0,03	2,0 ± 0,7	Szidat, 2000
31.10.1997	1,2 ± 0,5	0,79 ± 0,06	6,4 ± 2,4	Szidat, 2000
16.05.1998	1,1 ± 0,3	0,32 ± 0,04	2,8 ± 0,8	Szidat, 2000
31.07.1998	2,0 ± 0,4	0,85 ± 0,06	4,2 ± 0,8	Szidat, 2000
31.10.1998	1,5 ± 0,3	1,22 ± 0,09	7,9 ± 1,6	Szidat, 2000
14.02.1999	1,6 ± 0,4	0,60 ± 0,04	3,8 ± 0,9	Szidat, 2000
16.05.1999	1,0 ± 0,3	0,50 ± 0,03	4,7 ± 1,2	Szidat, 2000
15.08.1999	1,4 ± 0,4	0,64 ± 0,03	4,5 ± 1,2	Ernst, 2003
31.10.1999	1,7 ± 0,4	0,70 ± 0,03	4,1 ± 0,9	Ernst, 2003
15.02.2000	1,6 ± 0,4	1,43 ± 0,05	9,1 ± 2,2	Ernst, 2003
01.05.2000	3,0 ± 0,5	0,61 ± 0,02	2,0 ± 0,4	Ernst, 2003
15.08.2000	1,7 ± 0,5	0,46 ± 0,02	2,7 ± 0,8	Ernst, 2003
14.11.2000	1,7 ± 0,5	0,27 ± 0,01	1,5 ± 0,4	Ernst, 2003
14.02.2001	1,7 ± 0,8	0,31 ± 0,01	1,8 ± 0,9	Ernst, 2003
16.05.2001	2,2 ± 0,9	0,93 ± 0,04	4,1 ± 1,6	Ernst, 2003
01.08.2001	3,9 ± 0,1	0,50 ± 0,03	1,3 ± 0,1	Ernst, 2003
15.11.2001	1,8 ± 0,1	0,68 ± 0,02	3,7 ± 0,2	Ernst, 2003
15.05.2002	2,2 ± 0,1	0,20 ± 0,01	0,9 ± 0,1	Klipsch, 2005
15.08.2002	2,3 ± 0,1	0,33 ± 0,02	1,4 ± 0,1	Klipsch, 2005
14.02.2003	2,5 ± 0,2	0,47 ± 0,01	1,8 ± 0,2	Klipsch, 2005
15.05.2003	3,1 ± 0,3	0,49 ± 0,02	1,6 ± 0,1	Klipsch, 2005
15.08.2003	2,7 ± 0,2	0,63 ± 0,02	2,3 ± 0,2	Klipsch, 2005
15.11.2003	2,7 ± 0,4	0,50 ± 0,02	1,8 ± 0,3	Klipsch, 2005
01.04.2004	1,7 ± 0,1	0,71 ± 0,06	4,2 ± 0,4	Diese Arbeit
15.08.2004	1,1 ± 0,0	0,56 ± 0,02	5,2 ± 0,2	Diese Arbeit
15.11.2004	4,5 ± 0,2	0,58 ± 0,02	1,3 ± 0,1	Diese Arbeit
14.02.2005	2,3 ± 0,1	1,16 ± 0,04	5,0 ± 0,3	Diese Arbeit
15.05.2005	4,3 ± 0,1	0,79 ± 0,03	1,8 ± 0,01	Diese Arbeit
15.08.2005	2,9 ± 0,4	0,37 ± 0,02	1,3 ± 0,12	Diese Arbeit
15.11.2005	2,0 ± 0,3	0,56 ± 0,02	2,8 ± 0,4	Diese Arbeit
14.02.2006	1,3 ± 0,4	0,42 ± 0,02	3,2 ± 1,0	Diese Arbeit
15.05.2006	6,0 ± 0,0	0,64 ± 0,03	1,1 ± 0,0	Diese Arbeit
15.08.2006	2,2 ± 0,0	0,51 ± 0,02	2,3 ± 0,1	Diese Arbeit
15.11.2006	4,1 ± 0,3	0,68 ± 0,03	1,7 ± 0,1	Diese Arbeit
15.02.2007	3,5 ± 0,2	0,32 ± 0,01	0,9 ± 0,1	Diese Arbeit
15.06.2007	2,1 ± 0,2	0,28 ± 0,01	1,3 ± 0,1	Diese Arbeit
15.11.2007	2,7 ± 0,2	0,47 ± 0,02	1,7 ± 0,2	Diese Arbeit
15.02.2008	2,5 ± 0,1	0,52 ± 0,02	2,1 ± 0,1	Diese Arbeit
15.06.2008	3,0 ± 0,2	0,65 ± 0,03	2,1 ± 0,2	Diese Arbeit
15.08.2008	1,6 ± 0,1	0,43 ± 0,01	2,7 ± 0,1	Diese Arbeit
15.11.2008	2,0 ± 0,1	0,44 ± 0,01	2,1 ± 0,1	Diese Arbeit
15.02.2009	2,9 ± 0,1	0,48 ± 0,01	1,7 ± 0,1	Diese Arbeit
<b>geo. Mittelwert</b>	<b>2,1</b>	<b>0,5</b>	<b>2,4</b>	
<b>geo. Standardabw.</b>	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>1,8</b>	
<b>Minimum</b>	<b>1</b>	<b>0,2</b>	<b>1</b>	
<b>Maximum</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>9</b>	

**Tab. A9:** Zeitreihe von Freilandniederschlag der Probenahmestelle „**Sessen**“.  
 $^{129}\text{I}$ - und  $^{127}\text{I}$ -Konzentration sowie  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse.

Probenahmedatum	$^{127}\text{I}$ in ng g <sup>-1</sup>	$^{129}\text{I}$ in fg g <sup>-1</sup>	$^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ - Verhältnis in 10 <sup>-7</sup>	Quelle
16.05.1997	1,7 ± 0,3	0,47 ± 0,06	2,8 ± 0,7	Szidat 2000
31.07.1997	0,3 ± 0,1	0,23 ± 0,04	9,4 ± 3,9	Szidat 2000
31.10.1997	1,1 ± 0,3	0,66 ± 0,05	6,2 ± 1,8	Szidat 2000
14.02.1998	1,6 ± 0,4	1,44 ± 0,14	9,1 ± 2,5	Szidat 2000
16.05.1998	3,0 ± 0,7	0,95 ± 0,24	3,2 ± 1,1	Szidat 2000
31.07.1998	2,3 ± 0,4	1,29 ± 0,67	5,5 ± 1,1	Szidat 2000
31.10.1998	1,5 ± 0,3	0,67 ± 0,05	4,4 ± 0,9	Szidat 2000
14.02.1999	1,8 ± 0,3	0,27 ± 0,02	1,5 ± 0,3	Szidat 2000
16.05.1999	1,0 ± 0,2	0,64 ± 0,05	6,1 ± 1,5	Szidat 2000
19.08.1999	1,4 ± 0,4	0,34 ± 0,01	2,4 ± 0,6	Ernst 2003
20.11.1999	1,0 ± 0,4	0,55 ± 0,02	5,4 ± 1,9	Ernst 2003
19.02.2000	1,4 ± 0,4	0,86 ± 0,03	6,2 ± 1,6	Ernst 2003
18.05.2000	2,2 ± 0,5	0,57 ± 0,02	2,5 ± 0,6	Ernst 2003
30.08.2000	2,2 ± 0,5	0,55 ± 0,02	2,5 ± 0,6	Ernst 2003
<b>geo. Mittelwert</b>	<b>1,44</b>	<b>0,6</b>	<b>4,2</b>	
<b>geo. Standardabw.</b>	<b>1,7</b>	<b>1,7</b>	<b>1,7</b>	
<b>Minimum</b>	<b>0,3</b>	<b>0,2</b>	<b>1,5</b>	
<b>Maximum</b>	<b>3,0</b>	<b>1,4</b>	<b>9,4</b>	

**Tab. A10:** Zeitreihe von Bestandsniederschlag der Probennahmestelle „**Sessen**“.  $^{129}\text{I}$ - und  $^{127}\text{I}$ -Konzentration sowie  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse.

Probenahmedatum	$^{127}\text{I}$ in $\text{ng g}^{-1}$	$^{129}\text{I}$ in $\text{fg kg}^{-1}$	$^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ - Verhältnis in $10^{-7}$	Quelle
14.02.1997	$5,4 \pm 1,1$	$1,98 \pm 0,24$	$3,6 \pm 0,9$	Szidat, 2000
16.05.1997	$6,4 \pm 1,2$	$2,3 \pm 0,5$	$3,5 \pm 1,0$	Szidat, 2000
31.07.1997	$4,6 \pm 2,8$	$1,63 \pm 0,14$	$3,5 \pm 2,1$	Szidat, 2000
31.10.1997	$4,9 \pm 1,5$	$1,71 \pm 0,13$	$3,4 \pm 1,1$	Szidat, 2000
14.02.1998	$4,2 \pm 0,9$	$2,74 \pm 0,26$	$6,5 \pm 1,5$	Szidat, 2000
16.05.1998	$5,7 \pm 1,2$	$2,38 \pm 0,22$	$4,1 \pm 1,0$	Szidat, 2000
31.07.1998	$5,8 \pm 1,1$	$4,01 \pm 0,28$	$6,8 \pm 1,3$	Szidat, 2000
31.10.1998	$5,6 \pm 1,0$	$2,08 \pm 0,15$	$3,7 \pm 0,7$	Szidat, 2000
14.02.1999	$3,2 \pm 0,6$	$1,49 \pm 0,09$	$4,6 \pm 1,0$	Szidat, 2000
16.05.1999	$5,8 \pm 1,3$	$2,34 \pm 0,16$	$4,0 \pm 0,9$	Szidat, 2000
19.08.1999	$6,9 \pm 0,8$	$2,04 \pm 0,07$	$2,9 \pm 0,3$	Ernst, 2003
20.11.1999	$4,7 \pm 0,5$	$2,63 \pm 0,09$	$5,5 \pm 0,6$	Ernst, 2003
19.02.2000	$4,4 \pm 0,6$	$2,93 \pm 0,17$	$6,5 \pm 1,0$	Ernst, 2003
<b>geo. Mittelwert</b>	<b>5,11</b>	<b>2,25</b>	<b>4,34</b>	
<b>geo. Standardabw.</b>	<b>1,2</b>	<b>1,3</b>	<b>1,3</b>	
<b>Minimum</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	
<b>Maximum</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	

**Tab. A11:** Zeitreihe von Freilandniederschlag der Probennahmestelle „Norderney“.  $^{129}\text{I}$ - und  $^{127}\text{I}$ -Konzentration sowie  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse.

Probenahmedatum	$^{127}\text{I}$ in ng g <sup>-1</sup>	$^{129}\text{I}$ in fg g <sup>-1</sup>	$^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ - Verhältnis in 10 <sup>-7</sup>	Quelle
01.01.1997	4,9 ± 0,9	3,00 ± 0,40	6,0 ± 1,3	Szidat, 2000
01.04.1997	3,5 ± 0,8	3,40 ± 0,50	9,5 ± 2,6	Szidat, 2000
01.06.1997	2,6 ± 0,6	2,30 ± 0,15	8,7 ± 2,1	Szidat, 2000
01.09.1997	3,8 ± 0,9	2,80 ± 0,20	7,2 ± 1,8	Szidat, 2000
01.01.1998	4,0 ± 0,9	4,17 ± 0,27	10,2 ± 2,4	Szidat, 2000
01.04.1998	3,8 ± 0,8	3,12 ± 0,29	8,1 ± 1,9	Szidat, 2000
01.06.1998	2,4 ± 0,5	1,80 ± 0,50	7,4 ± 2,8	Szidat, 2000
01.09.1998	1,5 ± 0,4	1,65 ± 0,18	10,7 ± 2,8	Szidat, 2000
01.01.1999	2,9 ± 0,6	2,06 ± 0,11	7,1 ± 1,5	Szidat, 2000
01.04.1999	3,0 ± 0,6	2,67 ± 0,17	8,8 ± 1,8	Szidat, 2000
03.08.1999	3,8 ± 0,5	2,62 ± 0,22	6,8 ± 1,1	Ernst, 2003
03.01.2000	2,7 ± 0,4	3,17 ± 0,13	11,8 ± 1,8	Ernst, 2003
05.07.2000	3,4 ± 1,0	1,86 ± 0,08	5,4 ± 1,5	Ernst, 2003
17.08.2001	3,8 ± 0,1	1,79 ± 0,09	4,6 ± 0,2	Ernst, 2003
06.11.2001	3,4 ± 0,1	1,74 ± 0,05	5,0 ± 0,2	Ernst, 2003
02.01.2002	2,2 ± 0,4	1,61 ± 0,05	7,1 ± 1,2	Klipsch 2005
05.07.2002	2,4 ± 0,1	1,00 ± 0,05	4,1 ± 0,3	Klipsch 2005
16.10.2002	2,0 ± 0,2	1,10 ± 0,02	5,8 ± 0,7	Klipsch 2005
02.01.2003	4,0 ± 0,3	2,54 ± 0,07	6,3 ± 0,5	Klipsch 2005
3Q 2003	2,4 ± 0,4	1,64 ± 0,05	6,7 ± 1,1	Klipsch 2005
4Q-2003	3,2 ± 0,4	1,40 ± 0,04	4,3 ± 0,5	Klipsch 2005
1Q und 2Q 2004	6,4 ± 0,1	3,18 ± 0,10	4,9 ± 0,2	Diese Arbeit
3Q 2004	6,0 ± 0,4	2,91 ± 0,09	4,8 ± 0,3	Diese Arbeit
4Q 2004	4,8 ± 0,2	2,96 ± 0,10	6,1 ± 0,3	Diese Arbeit
1Q 2005	13,0 ± 0,3	4,31 ± 0,14	3,3 ± 0,1	Diese Arbeit
2Q2005	3,8 ± 0,1	1,46 ± 0,05	3,8 ± 0,2	Diese Arbeit
3Q und 4Q-2005	3,0 ± 0,5	2,97 ± 0,13	5,9 ± 0,6	Diese Arbeit
1Q 2006	4,9 ± 0,4	1,69 ± 0,08	3,8 ± 0,3	Diese Arbeit
2Q und 3Q 2006	4,4 ± 0,3	1,43 ± 0,06	4,7 ± 0,8	Diese Arbeit
4Q 2006	3,7 ± 0,3	1,66 ± 0,07	4,4 ± 0,4	Diese Arbeit
1Q 2007	4,1 ± 0,2	2,18 ± 0,10	5,3 ± 0,3	Diese Arbeit
2Q und 3Q 2007	3,1 ± 0,1	1,18 ± 0,05	3,8 ± 0,2	Diese Arbeit
4Q 2007	5,1 ± 0,2	2,16 ± 0,09	4,2 ± 0,2	Diese Arbeit
1Q und 2Q 2008	3,3 ± 0,1	2,15 ± 0,06	6,3 ± 0,3	Diese Arbeit
3Q und 4Q 2008	3,0 ± 0,1	1,30 ± 0,03	4,2 ± 0,1	Diese Arbeit
<b>geo. Mittelwert</b>	<b>3,54</b>	<b>2,11</b>	<b>5,87</b>	
<b>geo. Standardabw.</b>	<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>1,4</b>	
<b>Minimum</b>	<b>1,50</b>	<b>1,00</b>	<b>3,27</b>	
<b>Maximum</b>	<b>12,98</b>	<b>4,31</b>	<b>11,80</b>	

Q: Quartal

**Tab. A12:** Zeitreihe von Traufniederschlag der Probenahmestelle „Buer Ostwald“.  $^{129}\text{I}$ - und  $^{127}\text{I}$ -Konzentration sowie  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse.

Probenahmedatum	$^{127}\text{I}$ in ng g <sup>-1</sup>	$^{129}\text{I}$ in fg kg <sup>-1</sup>	$^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ - Verhältnis in 10 <sup>-7</sup>	Quelle
01.01.1997	10,2 ± 2,2	5,20 ± 0,60	5,0 ± 1,2	Szidat, 2000
01.04.1997	7,5 ± 1,8	4,30 ± 0,30	5,7 ± 1,4	Szidat, 2000
01.09.1997	7,1 ± 1,7	3,36 ± 0,22	4,7 ± 1,2	Szidat, 2000
01.01.1998	8,7 ± 1,9	4,30 ± 0,40	4,8 ± 1,2	Szidat, 2000
01.04.1998	6,1 ± 1,3	3,40 ± 0,30	5,5 ± 1,3	Szidat, 2000
01.06.1998	9,4 ± 1,7	6,70 ± 0,50	6,9 ± 1,4	Szidat, 2000
01.09.1998	5,1 ± 0,9	2,73 ± 0,19	5,3 ± 1,0	Szidat, 2000
01.01.1999	5,0 ± 1,0	2,45 ± 0,17	4,8 ± 1,0	Szidat, 2000
01.04.1999	5,3 ± 1,1	2,70 ± 0,40	4,9 ± 1,3	Szidat, 2000
01.07.1999	4,7 ± 0,5	2,02 ± 0,07	4,2 ± 0,5	Ernst, 2003
03.12.1999	5,4 ± 0,6	2,92 ± 0,21	5,4 ± 0,7	Ernst, 2003
07.01.2000	8,4 ± 0,6	4,04 ± 0,16	4,7 ± 0,4	Ernst, 2003
01.04.2000	5,4 ± 0,6	3,04 ± 0,13	5,6 ± 0,6	Ernst, 2003
01.07.2000	6,4 ± 0,6	2,40 ± 0,10	3,7 ± 0,4	Ernst, 2003
06.10.2000	10,1 ± 1,8	2,06 ± 0,08	2,0 ± 0,4	Ernst, 2003
04.01.2001	7,2 ± 1,5	2,00 ± 0,08	2,7 ± 0,6	Ernst, 2003
29.03.2001	6,8 ± 1,3	2,68 ± 0,12	3,9 ± 0,8	Ernst, 2003
04.07.2001	6,6 ± 1,6	3,02 ± 0,10	4,5 ± 1,1	Ernst, 2003
1Q 2002	5,6 ± 0,3	2,22 ± 0,04	3,9 ± 0,2	Klipsch, 2005
3Q 2002	4,0 ± 0,3	1,47 ± 0,04	3,6 ± 0,3	Klipsch, 2005
4Q 2002	5,3 ± 0,2	1,41 ± 0,07	2,6 ± 0,2	Klipsch, 2005
1Q 2003	5,2 ± 0,1	3,28 ± 0,17	6,2 ± 0,3	Klipsch, 2005
2Q 2003	6,2 ± 0,3	2,18 ± 0,04	3,5 ± 0,2	Klipsch, 2005
3Q 2003	7,7 ± 0,3	3,50 ± 0,09	4,5 ± 0,2	Klipsch, 2005
4Q 2003	9,6 ± 0,2	2,25 ± 0,09	2,3 ± 0,1	Klipsch, 2005
1Q 2004	5,0 ± 0,1	2,75 ± 0,11	5,4 ± 0,3	Klipsch, 2005
2Q 2004	11,5 ± 0,2	2,61 ± 0,08	2,2 ± 0,1	Diese Arbeit
3Q 2004	6,9 ± 0,2	2,45 ± 0,09	3,5 ± 0,2	Diese Arbeit
4Q 2004	7,9 ± 0,4	2,71 ± 0,09	3,4 ± 0,2	Diese Arbeit
1Q 2005	11,2 ± 0,5	5,64 ± 0,18	5,0 ± 0,3	Diese Arbeit
2Q 2005	1,4 ± 0,1	3,02 ± 0,12	21,3 ± 1,2	Diese Arbeit
3Q 2005	9,9 ± 0,2	2,58 ± 0,11	2,6 ± 0,1	Diese Arbeit
4Q 2005	6,9 ± 0,5	2,28 ± 0,09	3,2 ± 0,3	Diese Arbeit
1Q 2006	9,6 ± 0,6	3,89 ± 0,16	4,0 ± 0,3	Diese Arbeit
2Q 2006	7,6 ± 0,0	2,31 ± 0,10	3,0 ± 0,1	Diese Arbeit
3Q 2006	6,2 ± 0,0	1,78 ± 0,07	2,8 ± 0,1	Diese Arbeit
4Q 2006	5,5 ± 0,0	1,97 ± 0,08	3,5 ± 0,1	Diese Arbeit
3Q 2007	4,80 ± 0,08	1,47 ± 0,06	3,0 ± 0,1	Diese Arbeit
4Q 2007	8,05 ± 0,60	2,16 ± 0,09	2,6 ± 0,2	Diese Arbeit
1Q 2008	9,13 ± 0,13	2,69 ± 0,11	2,9 ± 0,1	Diese Arbeit
2Q 2008	7,61 ± 0,17	1,40 ± 0,02	1,8 ± 0,0	Diese Arbeit
3Q 2008	11,26 ± 0,20	2,66 ± 0,03	2,3 ± 0,0	Diese Arbeit
4Q 2008	9,15 ± 0,26	2,49 ± 0,03	2,7 ± 0,1	Diese Arbeit
1Q 2009	14,83 ± 0,30	3,22 ± 0,04	2,1 ± 0,0	Diese Arbeit
<b>geo. Mittelwert</b>	<b>6,9</b>	<b>2,70</b>	<b>3,85</b>	
<b>geo. Standardabw.</b>	<b>1,5</b>	<b>1,4</b>	<b>1,5</b>	
<b>Minimum</b>	<b>1,4</b>	<b>1,40</b>	<b>1,81</b>	
<b>Maximum</b>	<b>14,8</b>	<b>6,70</b>	<b>21,3</b>	

**Tab. A13:** Zeitreihe von Freilandniederschlag der Probennahmestelle „Buer-Ostenwald“:  $^{129}\text{I}$ - und  $^{127}\text{I}$ -Konzentration sowie  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse.

Probenahmedatum	$^{127}\text{I}$ in ng g <sup>-1</sup>	$^{129}\text{I}$ in fg g <sup>-1</sup>	$^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ - Verhät- nis in 10 <sup>-7</sup>	Quelle
01.01.1998	2,0 ± 0,5	1,19 ± 0,12	5,8 ± 1,5	Szidat, 2000
01.04.1998	1,3 ± 0,3	0,77 ± 0,06	6,1 ± 1,6	Szidat, 2000
01.06.1998	1,1 ± 0,3	1,22 ± 0,13	10,9 ± 3,0	Szidat, 2000
01.09.1998	2,0 ± 0,4	0,88 ± 0,12	4,4 ± 1,0	Szidat, 2000
01.01.1999	1,4 ± 0,3	0,80 ± 0,05	5,7 ± 1,3	Szidat, 2000
01.04.1999	1,1 ± 0,2	0,51 ± 0,03	4,4 ± 0,9	Szidat, 2000
01.07.1999	1,0 ± 0,4	0,25 ± 0,01	2,4 ± 0,9	Ernst, 2003
03.12.1999	1,4 ± 0,4	0,81 ± 0,03	5,7 ± 1,4	Ernst, 2003
07.01.2000	1,4 ± 0,4	1,10 ± 0,05	7,8 ± 2,0	Ernst, 2003
01.04.2000	1,5 ± 0,5	0,45 ± 0,02	2,9 ± 1,0	Ernst, 2003
01.07.2000	1,6 ± 0,5	0,69 ± 0,03	4,2 ± 1,3	Ernst, 2003
06.10.2000	1,6 ± 0,8	0,29 ± 0,01	1,8 ± 1,0	Ernst, 2003
04.01.2001	1,7 ± 0,9	0,38 ± 0,02	2,2 ± 1,1	Ernst, 2003
29.03.2001	1,7 ± 0,9	0,49 ± 0,02	2,8 ± 1,4	Ernst, 2003
04.07.2001	1,7 ± 0,4	0,74 ± 0,03	4,4 ± 1,1	Ernst, 2003
1Q 2002	2,0 ± 0,2	0,58 ± 0,02	2,8 ± 0,3	Klipsch, 2005
3Q 2002	1,6 ± 0,1	0,32 ± 0,02	2,0 ± 0,1	Klipsch, 2005
4Q 2002	3,9 ± 0,3	0,53 ± 0,03	1,3 ± 0,1	Klipsch, 2005
1Q 2003	2,1 ± 0,0	1,39 ± 0,07	6,7 ± 0,4	Klipsch, 2005
2Q 2003	2,1 ± 0,2	0,43 ± 0,01	2,0 ± 0,2	Klipsch, 2005
3Q 2003	2,0 ± 1,2	0,72 ± 0,01	3,5 ± 0,0	Klipsch, 2005
4Q 2003	1,5 ± 0,4	0,53 ± 0,02	3,5 ± 0,8	Klipsch, 2005
1Q 2004	2,3 ± 0,1	1,01 ± 0,03	4,3 ± 0,2	Klipsch, 2005
2Q 2004	3,0 ± 0,1	0,58 ± 0,02	1,9 ± 0,1	Diese Arbeit
3Q 2004	3,1 ± 0,1	0,69 ± 0,03	2,2 ± 0,1	Diese Arbeit
4Q 2004	2,6 ± 0,1	0,96 ± 0,03	3,6 ± 0,1	Diese Arbeit
1Q 2005	3,5 ± 0,1	1,69 ± 0,07	4,7 ± 0,2	Diese Arbeit
2Q 2005	2,3 ± 0,1	1,08 ± 0,04	4,6 ± 0,2	Diese Arbeit
3Q 2005	1,8 ± 0,3	-	-	Diese Arbeit
4Q 2005	2,0 ± 0,5	0,66 ± 0,03	3,3 ± 0,8	Diese Arbeit
1Q 2006	2,2 ± 0,2	0,77 ± 0,03	3,5 ± 0,4	Diese Arbeit
2Q 2006	2,92 ± 0,01	0,75 ± 0,03	2,53 ± 0,10	Diese Arbeit
3Q 2006	2,11 ± 0,01	0,55 ± 0,02	2,56 ± 0,11	Diese Arbeit
4Q 2006	2,55 ± 0,01	0,84 ± 0,03	3,23 ± 0,13	Diese Arbeit
1Q 2007	3,37 ± 0,17	0,56 ± 0,02	1,64 ± 0,11	Diese Arbeit
2Q 2007	16,3 ± 0,3	0,45 ± 0,02	0,27 ± 0,01	Diese Arbeit
3Q 2007	1,48 ± 0,06	0,34 ± 0,01	2,28 ± 0,13	Diese Arbeit
4Q 2007	1,92 ± 0,06	0,56 ± 0,02	2,86 ± 0,15	Diese Arbeit
1Q 2008	2,95 ± 0,10	0,73 ± 0,03	2,44 ± 0,13	Diese Arbeit
2Q 2008	2,36 ± 0,06	0,18 ± 0,00	0,74 ± 0,03	Diese Arbeit
3Q 2008	2,45 ± 0,14	0,47 ± 0,01	1,88 ± 0,11	Diese Arbeit
4Q 2008	1,69 ± 0,06	0,43 ± 0,01	2,49 ± 0,10	Diese Arbeit
1Q 2009	7,75 ± 0,20	0,89 ± 0,02	1,12 ± 0,04	Diese Arbeit
<b>geo. Mittelwert</b>	<b>2,02</b>	<b>0,65</b>	<b>3,13</b>	
<b>geo. Standardabw.</b>	<b>1,66</b>	<b>1,61</b>	<b>1,95</b>	
<b>Minimum</b>	<b>1,00</b>	<b>0,18</b>	<b>0,27</b>	
<b>Maximum</b>	<b>16,30</b>	<b>1,69</b>	<b>10,90</b>	

**Tab. A14:** Zeitreihe von Oberflächenwasser der Probennahmestelle „**Bokeloh**“.  
<sup>129</sup>I- und <sup>127</sup>I-Konzentration sowie <sup>129</sup>I/<sup>127</sup>I-Isotopenverhältnisse.

Probenahmedatum	<sup>127</sup> I in ng g <sup>-1</sup>	<sup>129</sup> I in fg kg <sup>-1</sup>	<sup>129</sup> I/ <sup>127</sup> I- Verhältnis in 10 <sup>-9</sup>	Quelle
18.02.1997	6,4 ± 1,2	72 ± 13	11,1 ± 0,3	Szidat, 2000
15.04.1997	8,0 ± 1,5	88 ± 12	10,8 ± 0,3	Szidat, 2000
08.07.1997	6,5 ± 1,5	168 ± 16	26 ± 0,6	Szidat, 2000
15.10.1997	7,7 ± 1,5	183 ± 17	23 ± 0,5	Szidat, 2000
06.01.1998	3,9 ± 1,5	115 ± 11	29 ± 1,2	Szidat, 2000
01.07.1998	6,2 ± 1,4	99 ± 12	16 ± 0,4	Szidat, 2000
04.08.1998	8,5 ± 1,8	178 ± 40	21 ± 0,5	Szidat, 2000
24.11.1998	9,0 ± 1,7	500 ± 40	55 ± 1,1	Szidat, 2000
09.03.1999	5,4 ± 1,1	227 ± 15	42 ± 0,9	Szidat, 2000
04.05.1999	5,8 ± 1,2	135 ± 10	23 ± 0,5	Szidat, 2000
10.09.1999	6,4 ± 11,3	112 ± 10	17 ± 0,4	Szidat, 2000
26.10.1999	6,2 ± 1,3	124 ± 16	20 ± 0,5	Szidat, 2000
15.02.2000	5,6 ± 0,9	171 ± 12	29,9 ± 5,2	Ernst, 2003
11.04.2000	5,7 ± 0,9	362 ± 14	63 ± 9,8	Ernst, 2003
20.09.2000	7,0 ± 1,1	176 ± 8	24,8 ± 4,1	Ernst, 2003
22.02.2001	8,3 ± 1,5	299 ± 12	35,5 ± 6,4	Ernst, 2003
18.08.2001	7,1 ± 0,3	330 ± 65	45,5 ± 2,0	Ernst, 2003
21.08.2001	8,7 ± 0,1	163 ± 45	18,6 ± 0,6	Ernst, 2003
01.11.2001	6,9 ± 0,1	77 ± 2	10,9 ± 0,3	Ernst, 2003
19.02.2002	8,4 ± 0,7	309 ± 10	36,2 ± 3,2	Klipsch, 2005
28.05.2002	7,3 ± 0,3	122 ± 4	16,3 ± 0,8	Klipsch, 2005
08.08.2002	11,1 ± 0,3	201 ± 9	17,7 ± 0,9	Klipsch, 2005
29.10.2002	6,6 ± 0,2	268 ± 9	40,2 ± 1,8	Klipsch, 2005
18.02.2003	8,1 ± 0,2	159 ± 10	19,4 ± 1,3	Klipsch, 2005
15.05.2003	8,3 ± 0,2	193 ± 9	23 ± 1,2	Klipsch, 2005
27.08.2003	7,5 ± 0,3	126 ± 4	16,6 ± 0,8	Klipsch, 2005
18.11.2003	6,3 ± 0,2	106 ± 10	16,4 ± 1,6	Klipsch, 2005
04.02.2004	5,3 ± 0,1	197 ± 9	36,4 ± 1,8	Klipsch, 2005
09.06.2004	7,6 ± 0,2	179 ± 6	23,2 ± 1,10	Klipsch, 2005
27.07.2004	33,4 ± 0,4	182 ± 6	5,4 ± 0,2	Diese Arbeit
09.11.2004	12,2 ± 0,2	93 ± 4	7,5 ± 0,4	Diese Arbeit
03.02.2005	7,0 ± 0,2	162 ± 5	22,9 ± 0,9	Diese Arbeit
10.05.2005	10 ± 0,6	229 ± 8	23 ± 1,5	Diese Arbeit
27.07.2005	9,3 ± 0,2	179 ± 6	18,9 ± 0,7	Diese Arbeit
02.11.2005	8,1 ± 0,1	158 ± 7	19,2 ± 0,8	Diese Arbeit
09.05.2006	8,2 ± 0,4	168 ± 7	20,1 ± 1,2	Diese Arbeit
12.06.2006	6,9 ± 0,4	170 ± 7	24,2 ± 1,7	Diese Arbeit
15.08.2006	10,7 ± 0,8	145 ± 6	13,4 ± 1,1	Diese Arbeit
25.10.2006	10,6 ± 0,01	115 ± 5	10,7 ± 0,4	Diese Arbeit
06.02.2007	8,2 ± 0,2	131 ± 5	15,7 ± 0,8	Diese Arbeit
14.04.2007	8,3 ± 0,1	90 ± 4	10,6 ± 0,5	Diese Arbeit
30.07.2007	8,4 ± 0,3	174 ± 7	20,3 ± 1,2	Diese Arbeit
25.10.2007	7,4 ± 0,4	115 ± 5	15,2 ± 1,0	Diese Arbeit
20.02.2008	8,2 ± 0,2	134 ± 6	16,1 ± 0,7	Diese Arbeit
16.04.2008	8,7 ± 0,1	136 ± 6	15,3 ± 0,7	Diese Arbeit
05.08.2008	9,3 ± 0,1	190 ± 4	20,2 ± 0,5	Diese Arbeit
19.11.2008	6,6 ± 0,3	123 ± 2	18,3 ± 0,8	Diese Arbeit
09.03.2009	6,0 ± 0,2	175 ± 3	28,8 ± 1,2	Diese Arbeit
<b>geo. Mittelwert</b>	<b>7,7</b>	<b>159</b>	<b>20,3</b>	
<b>geo. Standardabw.</b>	<b>1,4</b>	<b>1,5</b>	<b>1,6</b>	
<b>Minimum</b>	<b>4</b>	<b>72</b>	<b>5</b>	
<b>Maximum</b>	<b>33</b>	<b>500</b>	<b>63</b>	

**Tab. A15:** Zeitreihe von Oberflächenwasser der Probennahmestelle „**Großes Meer**“.  
<sup>129</sup>I- und <sup>127</sup>I-Konzentration sowie <sup>129</sup>I/<sup>127</sup>I-Isotopenverhältnisse.

Probenahmedatum	<sup>127</sup> I in ng g <sup>-1</sup>	<sup>129</sup> I in fg kg <sup>-1</sup>	<sup>129</sup> I/ <sup>127</sup> I- Verhältnis in 10 <sup>-9</sup>	Quelle
05.03.1997	16,2 ± 1,8	250 ± 70	15 ± 0,6	Szidat, 2000
18.06.1997	46,5 ± 9,0	1050 ± 230	22 ± 0,6	Szidat, 2000
16.09.1997	41,3 ± 8,0	2400 ± 400	57 ± 1,4	Szidat, 2000
27.11.1997	19,4 ± 4,0	1600 ± 120	81 ± 2	Szidat, 2000
26.02.1998	15,7 ± 4,0	440 ± 50	27 ± 0,7	Szidat, 2000
27.05.1998	26,6 ± 6,0	940 ± 100	25 ± 0,8	Szidat, 2000
14.09.1998	17,5 ± 4,0	1220 ± 140	69 ± 1,6	Szidat, 2000
17.11.1998	21,6 ± 4,0	830 ± 70	38 ± 0,8	Szidat, 2000
20.01.1999	21,3 ± 4,0	590 ± 80	27 ± 0,6	Szidat, 2000
16.04.1999	20,6 ± 4,0	950 ± 60	25 ± 0,9	Szidat, 2000
06.08.1999	41,0 ± 8,0	3500 ± 200	83 ± 1,7	Szidat, 2000
01.10.1999	17,0 ± 3,0	4000 ± 200	220 ± 5	Szidat, 2000
16.03.2000	11,5 ± 1,7	767 ± 30,1	65,5 ± 10,2	Ernst, 2003
23.05.2000	25,7 ± 3,5	2508 ± 140	96 ± 14	Ernst, 2003
27.03.2001	14,5 ± 2,7	526 ± 21	35,7 ± 6,7	Ernst, 2003
10.05.2001	2,9 ± 0,9	327 ± 15	111 ± 36	Ernst, 2003
20.09.2001	17,5 ± 0,2	1028 ± 31	57,8 ± 1,7	Ernst, 2003
10.12.2001	26,0 ± 0,9	1009 ± 85	38,3 ± 3,2	Ernst, 2003
31.01.2002	27,8 ± 2,3	1051 ± 42	37,2 ± 3,4	Klipsch, 2005
12.06.2002	27,4 ± 2,3	1172 ± 50	42,1 ± 3,9	Klipsch, 2005
27.08.2002	54,4 ± 3,8	1920 ± 44,7	34,7 ± 2,6	Klipsch, 2005
28.11.2002	29,0 ± 0,8	694 ± 22,	23,6 ± 1,0	Klipsch, 2005
12.03.2003	24,5 ± 2,4	591 ± 19	23,7 ± 2,4	Klipsch, 2005
26.06.2003	69,0 ± 3,9	1647 ± 52	23,5 ± 1,5	Klipsch, 2005
15.09.2003	37,2 ± 1,6	3443 ± 109	91,2 ± 4,9	Klipsch, 2005
16.12.2003	8,9 ± 4,9	640 ± 21	70,4 ± 38,4	Klipsch, 2005
19.02.2004	8,4 ± 0,6	472 ± 16	55,5 ± 4,6	Klipsch, 2005
22.06.2004	41,6 ± 0,5	2942 ± 99	70,2 ± 2,5	Klipsch, 2005
19.08.2004	66,4 ± 0,6	2676 ± 85	39,7 ± 1,3	Diese Arbeit
08.12.2004	13,0 ± 0,2	689 ± 22	52,3 ± 1,9	Diese Arbeit
21.02.2005	26,6 ± 0,7	556 ± 18	20,6 ± 0,8	Diese Arbeit
21.05.2005	27,2 ± 0,5	1209 ± 50	43,8 ± 2,0	Diese Arbeit
03.08.2005	39,1 ± 0,8	2122 ± 67	53,4 ± 2,0	Diese Arbeit
22.12.2005	15,4 ± 0,6	609 ± 25	38,8 ± 2,3	Diese Arbeit
24.03.2006	17,9 ± 1,1	525 ± 22	28,8 ± 2,2	Diese Arbeit
23.06.2006	37,7 ± 1,6	1503 ± 62	39,3 ± 2,3	Diese Arbeit
21.09.2006	27,0 ± 0,7	1687 ± 70	61,4 ± 3,0	Diese Arbeit
21.09.2006	27,0 ± 0,2	1680 ± 69	61,2 ± 2,6	Diese Arbeit
22.11.2006	16,2 ± 0,1	1117 ± 46	68 ± 2,9	Diese Arbeit
22.02.2007	14,2 ± 0,9	616 ± 25	42,6 ± 3,1	Diese Arbeit
06.06.2007	38,7 ± 0,8	1410 ± 58	35,9 ± 1,7	Diese Arbeit
21.08.2007	32,7 ± 1,0	1495 ± 62	45,1 ± 2,3	Diese Arbeit
29.11.2007	19,9 ± 0,3	809 ± 33	40 ± 1,8	Diese Arbeit
22.11.2007	20,8 ± 0,4	805 ± 33	38 ± 1,7	Diese Arbeit
30.06.2008	59,3 ± 0,5	2860 ± 118	47,5 ± 2,0	Diese Arbeit
23.09.2008	31,3 ± 0,5	2326 ± 28	73,1 ± 1,5	Diese Arbeit
18.12.2008	15,2 ± 0,5	676 ± 9	43,8 ± 1,4	Diese Arbeit
25.03.2009	29,2 ± 0,5	755 ± 11	25,5 ± 0,5	Diese Arbeit
<b>Geo.Mittelwert</b>	<b>23,6</b>	<b>1090</b>	<b>44,6</b>	
<b>Geo.Standardabw.</b>	<b>1,6</b>	<b>2</b>	<b>1,8</b>	
<b>Minimum</b>	<b>3</b>	<b>250</b>	<b>15</b>	
<b>Maximum</b>	<b>69</b>	<b>4000</b>	<b>220</b>	



**Tab A16:** Zeitreihe von Oberflächenwasser der Probennahmestelle „Leineturm“. <sup>129</sup>I- und <sup>127</sup>I-Konzentration sowie <sup>129</sup>I/<sup>127</sup>I-Isotopenverhältnisse.

Probenahmedatum	<sup>127</sup> I in ng g <sup>-1</sup>	<sup>129</sup> I in fg kg <sup>-1</sup>	<sup>129</sup> I/ <sup>127</sup> I- Verhältnis in 10 <sup>-9</sup>	Quelle
04.02.1997	6,5 ± 1,2	11 ± 2	1,7 ± 0,0	Szidat, 2000
05.08.1997	4,7 ± 0,9	36 ± 6	7,5 ± 0,2	Szidat, 2000
22.10.1997	11,4 ± 4,5	60 ± 6	5,2 ± 0,2	Szidat, 2000
19.01.1998	4,3 ± 1,7	42 ± 4	10,0 ± 0,4	Szidat, 2000
23.05.1998	6,3 ± 2,5	31 ± 4	4,8 ± 0,2	Szidat, 2000
28.07.1998	4,8 ± 1,0	28 ± 5	5,8 ± 0,2	Szidat, 2000
27.11.1998	5,3 ± 1,1	56 ± 8	10,4 ± 0,3	Szidat, 2000
14.02.1999	4,6 ± 0,9	41 ± 3	8,9 ± 0,2	Szidat, 2000
22.04.1999	4,1 ± 0,9	35 ± 3	8,3 ± 0,2	Szidat, 2000
16.07.1999	4,6 ± 0,9	41 ± 3	8,9 ± 0,2	Szidat, 2000
21.10.1999	10,8 ± 2,2	53 ± 6	4,8 ± 0,1	Szidat, 2000
26.01.2000	5,2 ± 0,8	34,7 ± 1,6	6,6 ± 1,1	Ernst, 2003
21.06.2000	5,9 ± 0,8	43,4 ± 2,3	7,3 ± 1,1	Ernst, 2003
30.08.2000	10,6 ± 1,2	68,3 ± 3,7	6,4 ± 0,8	Ernst, 2003
21.03.2001	7,5 ± 2,2	24,5 ± 1,1	3,2 ± 1,0	Ernst, 2003
28.06.2001	30,6 ± 0,4	135 ± 4	4,4 ± 0,1	Ernst, 2003
12.11.2001	8,8 ± 0,2	43,0 ± 1,7	4,8 ± 0,2	Ernst, 2003
23.01.2002	4,1 ± 0,1	46,6 ± 2,6	11,3 ± 0,7	Klipsch, 2005
24.02.2002	3,1 ± 0,2	11,3 ± 1,4	3,6 ± 0,5	Klipsch, 2005
15.04.2002	3,6 ± 0,1	57,0 ± 2,5	15,5 ± 0,91	Klipsch, 2005
14.08.2002	4,12 ± 0,2	60,1 ± 4,8	14,2 ± 1,3	Klipsch, 2005
23.10.2002	7,5 ± 0,12	80,8 ± 5,0	10,6 ± 0,71	Klipsch, 2005
08.04.2003	5,4 ± 0,6	18,6 ± 1,0	3,4 ± 0,4	Klipsch, 2005
06.08.2003	8,4 ± 0,8	13,0 ± 0,8	1,5 ± 0,2	Klipsch, 2005
20.11.2003	11,0 ± 0,89	19,4 ± 1,8	1,7 ± 0,2	Klipsch, 2005
12.02.2004	4,2 ± 0,2	48,3 ± 2,7	11,2 ± 0,8	Klipsch, 2005
22.04.2004	6,6 ± 0,2	5,01 ± 0,3	0,8 ± 0,1	Klipsch, 2005
28.07.2004	9,3 ± 0,2	69,6 ± 2,8	7,4 ± 0,3	Diese Arbeit
10.11.2004	11,0 ± 0,2	88,6 ± 3,9	7,9 ± 0,4	Diese Arbeit
12.01.2005	6,4 ± 0,1	16,8 ± 1,6	2,6 ± 0,3	Diese Arbeit
13.04.2005	6,4 ± 0,2	55,8 ± 2,8	8,7 ± 0,5	Diese Arbeit
09.08.2005	5,3 ± 0,2	128 ± 4	23,9 ± 1,0	Diese Arbeit
15.05.2005	9,8 ± 0,2	51,7 ± 2,1	5,2 ± 0,2	Diese Arbeit
05.04.2006	43,3 ± 0,7	752 ± 31	17,1 ± 0,8	Diese Arbeit
07.03.2006	7,2 ± 0,7	27,3 ± 1,1	3,7 ± 0,4	Diese Arbeit
07.03.2006*	7,2 ± 0,7	41,7 ± 1,7	5,7 ± 0,6	Diese Arbeit
22.08.2006	7,2 ± 0,3	65,8 ± 2,7	9,0 ± 0,6	Diese Arbeit
12.10.2006	10,1 ± 0,0	42,7 ± 1,8	4,1 ± 0,2	Diese Arbeit
30.01.2007	5,5 ± 0,2	40,1 ± 1,7	7,2 ± 0,4	Diese Arbeit
17.07.2007	5,6 ± 0,3	40,1 ± 1,7	7,0 ± 0,5	Diese Arbeit
13.06.2007	10,3 ± 0,2	112 ± 5	10,8 ± 0,5	Diese Arbeit
16.07.2007	8,6 ± 0,3	81,6 ± 3,4	9,3 ± 0,5	Diese Arbeit
14.02.2008	5,4 ± 0,1	36,5 ± 1,5	6,7 ± 0,3	Diese Arbeit
25.06.2008	8,8 ± 0,3	39,5 ± 1,6	4,4 ± 0,2	Diese Arbeit
11.09.2008	9,9 ± 0,3	64,3 ± 1,7	6,4 ± 0,2	Diese Arbeit
13.11.2008	8,1 ± 0,3	27,8 ± 0,7	3,4 ± 0,2	Diese Arbeit
05.02.2009	9,2 ± 0,2	29,5 ± 1,0	3,2 ± 0,1	Diese Arbeit
02.04.2009	6,6 ± 0,1	54,1 ± 1,3	8,1 ± 0,3	Diese Arbeit
<b>geo. Mittelwert</b>	<b>7,1</b>	<b>43</b>	<b>6</b>	
<b>geo. Standardabw.</b>	<b>1,6</b>	<b>2,3</b>	<b>2,2</b>	
<b>Minimum</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>1</b>	
<b>Maximum</b>	<b>43</b>	<b>752</b>	<b>24</b>	

**Tab. A17:** Zeitreihe von Oberflächenwasser der Probennahmestelle „**Meetschow**“.  
 $^{129}\text{I}$ - und  $^{127}\text{I}$ -Konzentration sowie  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse.

Probenahmedatum	$^{127}\text{I}$ in ng g <sup>-1</sup>	$^{129}\text{I}$ in fg kg <sup>-1</sup>	$^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ - Verhältnis in 10 <sup>-9</sup>	Quelle
12.02.1997	6,0 ± 1,6	31 ± 8	5,1 ± 0,2	Szidat, 2000
15.05.1997	6,6 ± 1,2	86 ± 11	12,8 ± 0,2	Szidat, 2000
09.07.1997	13,5 ± 2,5	121 ± 10	8,8 ± 0,1	Szidat, 2000
17.10.1997	8,2 ± 1,5	106 ± 27	13 ± 0,3	Szidat, 2000
06.01.1998	4,9 ± 0,9	37 ± 14	7 ± 0,3	Szidat, 2000
15.05.1998	6,9 ± 2,7	158 ± 18	23 ± 0,8	Szidat, 2000
01.07.1998	8,0 ± 1,7	349 ± 37	43 ± 0,7	Szidat, 2000
23.11.1998	4,4 ± 0,8	128 ± 12	29 ± 0,3	Szidat, 2000
03.03.1999	14,8 ± 3,1	67 ± 5	4,4 ± 0,1	Szidat, 2000
08.06.1999	19 ± 3,9	138 ± 11	7,2 ± 0,1	Szidat, 2000
03.09.1999	12,3 ± 2,5	167 ± 13	13,4 ± 0,2	Szidat, 2000
02.12.1999	2,1 ± 0,7	168 ± 7	77,5 ± 26,4	Ernst, 2003
10.03.2000	4,5 ± 0,8	119 ± 5	26,2 ± 4,7	Ernst, 2003
26.05.2000	9,6 ± 1,0	193 ± 9	19,8 ± 2,3	Ernst, 2003
05.03.2001	4,4 ± 1,9	47 ± 2	10,5 ± 4,5	Ernst, 2003
11.06.2001	9,9 ± 0,1	167 ± 7	16,5 ± 0,6	Ernst, 2003
17.09.2001	7,9 ± 0,1	163 ± 7	186 ± 8	Ernst, 2003
10.12.2001	3,7 ± 0,1	134 ± 11	35,6 ± 3	Ernst, 2003
05.03.2002	5,5 ± 1,7	930 ± 30	167 ± 52	Klipsch, 2005
06.05.2002	6,4 ± 1,7	139 ± 5	21,5 ± 5,8	Klipsch, 2005
25.09.2002	17,1 ± 0,8	611 ± 20	35,2 ± 1,9	Klipsch, 2005
25.11.2002	4,5 ± 1,7	105, ± 4	23,2 ± 8,9	Klipsch, 2005
25.03.2003	5,6 ± 1,7	122 ± 4	21,3 ± 6,4	Klipsch, 2005
20.05.2003	15,6 ± 2,2	132 ± 7	8,4 ± 1,2	Klipsch, 2005
22.09.2003	8,5 ± 1,9	141 ± 5	16,4 ± 3,6	Klipsch, 2005
01.12.2003	4,2 ± 0,1	66 ± 4	15,6 ± 1,0	Klipsch, 2005
03.02.2004	3,7 ± 0,1	56 ± 3	15,0 ± 1,0	Klipsch, 2005
21.05.2004	9,4 ± 0,1	129 ± 8	13,5 ± 0,85	Klipsch, 2005
15.09.2004	8,8 ± 0,2	109 ± 5	12,1 ± 0,6	Diese Arbeit
06.12.2004	50,1 ± 1,4	63 ± 4	1,2 ± 0,1	Diese Arbeit
09.03.2005	5,9 ± 0,2	55 ± 3	9,1 ± 0,6	Diese Arbeit
20.05.2005	10,7 ± 0,3	258 ± 8	23,7 ± 0,9	Diese Arbeit
29.08.2005	7,5 ± 0,2	64 ± 2	8,5 ± 0,4	Diese Arbeit
06.02.2006	6,5 ± 0,9	29 ± 1,	4,36 ± 0,63	Diese Arbeit
26.05.2006	9,6 ± 0,5	320 ± 13	32,7 ± 2,2	Diese Arbeit
04.09.2006	9,3 ± 0,0	178 ± 7	18,9 ± 0,8	Diese Arbeit
13.11.2006	7,9 ± 0,1	179 ± 7	22,3 ± 0,9	Diese Arbeit
07.03.2007	7,9 ± 0,4	47 ± 2	5,9 ± 0,4	Diese Arbeit
18.05.2007	12,1 ± 0,6	131 ± 5	10,7 ± 0,7	Diese Arbeit
24.08.2007	8,7 ± 0,1	9741 ± 402	1108 ± 50	Diese Arbeit
03.12.2007	6,1 ± 0,2	84 ± 3	13,5 ± 0,7	Diese Arbeit
03.03.2008	6,3 ± 0,3	115 ± 5	17,9 ± 1,1	Diese Arbeit
23.05.2008	12,2 ± 0,2	194 ± 8	15,6 ± 0,7	Diese Arbeit
05.09.2008	8,9 ± 0,3	153 ± 3	16,9 ± 0,7	Diese Arbeit
24.10.2008	8,5 ± 0,3	130 ± 3	15,0 ± 0,7	Diese Arbeit
17.03.2009	7,0 ± 0,2	44 ± 1	6,3 ± 0,2	Diese Arbeit
<b>geo. Mittelwert</b>	<b>7,8</b>	<b>142</b>	<b>18,8</b>	
<b>geo. Standardabw.</b>	<b>1,7</b>	<b>3,2</b>	<b>3,4</b>	
<b>Minimum</b>	<b>2</b>	<b>29</b>	<b>1</b>	
<b>Maximum</b>	<b>50</b>	<b>11204</b>	<b>1274</b>	

**Tab. A18:** Zeitreihe von Grundwasser der vier Standorte in Niedersachsen.  $^{129}\text{I}$ - und  $^{127}\text{I}$ -Konzentration sowie  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse (Teil 1).

Probenahme	$^{127}\text{I}$ in ng g <sup>-1</sup>	$^{129}\text{I}$ in fg kg <sup>-1</sup>	$^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ - Verhältnis in 10 <sup>-10</sup>	Quelle
<b>Rhauderfehn, Region I, Filtrationstiefe 10 m</b>				
31.03.1998	3,37 ± 0,80	29,03 ± 3,16	84,8 ± 21,0	Szidat 2000
07.10.1998	5,65 ± 1,10	41,69 ± 4,39	72,7 ± 17,0	Szidat 2000
08.04.1999	4,00 ± 0,90	64,39 ± 5,89	158 ± 38	Szidat 2000
19.08.1999	1,98 ± 0,45	2,39 ± 0,50	11,90 ± 3,70	Ernst 2003
21.01.2000	1,98 ± 0,45	4,99 ± 0,49	24,70 ± 6,10	Ernst 2003
31.07.2000	2,59 ± 0,46	4,89 ± 0,39	18,60 ± 3,60	Ernst 2003
08.05.2001	8,35 ± 1,51	3,67 ± 0,20	4,30 ± 0,80	Ernst 2003
29.11.2001	8,67 ± 0,12	2,54 ± 0,28	2,90 ± 0,30	Ernst 2003
15.03.2002	7,35 ± 0,57	6,06 ± 1,48	8,12 ± 2,10	Klipsch 2005
15.11.2002	17,53 ± 0,24	83,35 ± 6,82	46,81 ± 3,90	Klipsch 2005
16.04.2003	4,47 ± 0,14	1,97 ± 0,70	4,33 ± 1,50	Klipsch 2005
06.10.2004	12,35 ± 0,42	9,22 ± 0,72	7,35 ± 0,60	Diese Arbeit
19.04.2005	10,39 ± 0,28	12,37 ± 1,30	11,72 ± 1,30	Diese Arbeit
21.11.2005	9,09 ± 0,24	59,29 ± 2,44	64,23 ± 3,10	Diese Arbeit
25.04.2006	9,04 ± 0,79	18,70 ± 0,77	20,36 ± 2,00	Diese Arbeit
26.10.2006	8,49 ± 0,26	7,27 ± 0,44	8,44 ± 0,60	Diese Arbeit
26.10.2006	8,49 ± 0,26	3,99 ± 0,16	4,63 ± 0,20	Diese Arbeit
18.04.2007	8,52 ± 0,06	8,36 ± 0,34	9,66 ± 0,40	Diese Arbeit
10.10.2007	6,59 ± 0,24	104,3 ± 4,3	155 ± 09	Diese Arbeit
16.04.2008	8,26 ± 0,16	3,34 ± 0,63	4,00 ± 0,80	Diese Arbeit
06.11.2008	8,25 ± 0,40	2,08 ± 0,20	2,50 ± 0,30	Diese Arbeit
<b>Woltrup-Wehbergen, Region II, Filtrationstiefe 8 m</b>				
19.11.1997	5,42 ± 1,20	63,7 ± 8,7	115 ± 31	Szidat 2000
31.03.1998	3,66 ± 0,80	89,56 ± 10,2	241 ± 61	Szidat 2000
07.10.1998	3,15 ± 0,60	96,6 ± 8,2	302 ± 67	Szidat 2000
08.04.1999	3,70 ± 0,70	107,7 ± 8,2	287 ± 60	Szidat 2000
19.08.1999	3,42 ± 0,48	120,8 ± 4,2	348 ± 50	Ernst 2003
21.01.2000	2,66 ± 0,56	113,7 ± 4,6	421 ± 89	Ernst 2003
31.07.2000	2,97 ± 0,53	131,4 ± 6,1	435 ± 80	Ernst 2003
26.11.2003	2,72 ± 0,06	184,8 ± 5,9	670 ± 26	Diese Arbeit
27.04.2004	3,50 ± 0,28	136,0 ± 4,4	382 ± 33	Diese Arbeit
06.10.2004	3,95 ± 0,04	228,9 ± 7,3	571 ± 19	Diese Arbeit

**Tab. A18:** Zeitreihe von Grundwasser der vier Standorte in Niedersachsen.  $^{129}\text{I}$ - und  $^{127}\text{I}$ -Konzentration sowie  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnisse (Teil 2).

Probenahme	$^{127}\text{I}$ in $\text{ng g}^{-1}$	$^{129}\text{I}$ in $\text{fg kg}^{-1}$	$^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ - Verhältnis in $10^{-10}$	Quelle
<b>Lamspringe, Region III, Filtrationstiefe 3 m, Probenahme wurde Ende 2000 eingestellt</b>				
28.10.1997	$1,78 \pm 0,40$	$4,02 \pm 1,51$	$22,3 \pm 10,0$	Szidat 2000
08.04.1998	$14,22 \pm 3,40$	$20,38 \pm 4,09$	$14,1 \pm 4,00$	Szidat 2000
14.10.1998	$0,64 \pm 0,10$	$3,85 \pm 1,37$	$59,3 \pm 25,0$	Szidat 2000
15.04.1999	$0,69 \pm 0,20$	$3,16 \pm 0,46$	$45,2 \pm 12,0$	Szidat 2000
20.10.1999	$1,05 \pm 0,36$	$4,22 \pm 0,19$	$39,7 \pm 13,6$	Ernst 2003
17.05.2000	$1,46 \pm 0,37$	$3,94 \pm 0,24$	$26,5 \pm 6,80$	Ernst 2003
11.10.2000	$1,60 \pm 0,49$	$2,92 \pm 0,16$	$18,0 \pm 5,60$	Ernst 2003
<b>Breetze, Region IV, filtrationstiefe 5 m</b>				
12.02.1997	$5,10 \pm 1,18$	$0,06 \pm 0,06$	$0,1 \pm 0,1$	Szidat 2000
17.09.1997	$6,44 \pm 1,30$	$4,12 \pm 0,58$	$6,3 \pm 1,5$	Szidat 2000
07.07.1998	$5,10 \pm 1,00$	$1,02 \pm 0,31$	$2,0 \pm 0,7$	Szidat 2000
29.09.1998	$4,84 \pm 1,00$	$1,08 \pm 0,30$	$2,2 \pm 0,8$	Szidat 2000
04.05.1999	$3,78 \pm 0,70$	$3,89 \pm 0,46$	$10,1 \pm 2,3$	Szidat 2000
06.10.1999	$4,53 \pm 0,59$	$3,12 \pm 0,14$	$6,8 \pm 0,9$	Ernst 2003
07.06.2000	$4,75 \pm 0,56$	$3,29 \pm 0,19$	$6,8 \pm 0,9$	Ernst 2003
22.08.2000	$4,00 \pm 0,47$	$24,4 \pm 1,02$	$60,1 \pm 7,4$	Ernst 2003
04.04.2001	$4,41 \pm 1,07$	$1,65 \pm 0,09$	$3,7 \pm 0,9$	Ernst 2003
22.08.2001	$5,45 \pm 0,09$	$2,45 \pm 0,06$	$4,4 \pm 0,1$	Ernst 2003
16.05.2002	$3,29 \pm 0,04$	$2,15 \pm 0,14$	$6,5 \pm 0,4$	Klipsch 2005
20.08.2002	$4,70 \pm 0,45$	$2,61 \pm 0,41$	$5,5 \pm 1,0$	Klipsch 2005
15.02.2002	$4,45 \pm 0,15$	$2,34 \pm 0,27$	$5,2 \pm 0,6$	Klipsch 2005
21.07.2003	$8,96 \pm 0,64$	$9,56 \pm 0,52$	$10,5 \pm 0,9$	Klipsch 2005
19.03.2003	$4,45 \pm 0,15$	$2,48 \pm 0,28$	$5,5 \pm 0,6$	Diese Arbeit
05.04.2004	$5,67 \pm 0,15$	$36,5 \pm 1,20$	$63,3 \pm 2,7$	Diese Arbeit
22.09.2004	$4,49 \pm 0,07$	$6,35 \pm 0,44$	$13,9 \pm 1,0$	Diese Arbeit
25.04.2005	$9,56 \pm 0,20$	$6,3 \pm 0,27$	$6,5 \pm 0,3$	Diese Arbeit
27.09.2005	$5,43 \pm 0,22$	$8,48 \pm 0,35$	$15,4 \pm 0,9$	Diese Arbeit
27.06.2006	$7,88 \pm 0,41$	$22,4 \pm 0,92$	$27,9 \pm 1,8$	Diese Arbeit
10.10.2006	$5,32 \pm 0,21$	$8,10 \pm 0,33$	$14,9 \pm 0,9$	Diese Arbeit
24.04.2007	$7,30 \pm 0,12$	$4,78 \pm 0,20$	$6,5 \pm 0,3$	Diese Arbeit
31.10.2007	$6,01 \pm 0,14$	$4,39 \pm 0,18$	$7,2 \pm 0,3$	Diese Arbeit
25.06.2008	$5,52 \pm 0,33$	$9,66 \pm 0,36$	$17,2 \pm 1,2$	Diese Arbeit
29.10.2008	$5,27 \pm 0,30$	$3,35 \pm 0,12$	$6,3 \pm 0,4$	Diese Arbeit
15.04.2009	$4,42 \pm 0,24$	$3,62 \pm 0,11$	$8,1 \pm 0,5$	Diese Arbeit

**Tab. A19:** Ergebnisse von  $^{127}\text{I}$ -,  $^{129}\text{I}$ -Konzentrationen und  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnissen in Aerosolfiltern im **Messhaus 2** in der Region IV in Niedersachsen für den Zeitraum von 2002 bis 2009.

	$^{127}\text{I}$ in $\text{ng m}^{-3}$	$^{129}\text{I}$ in $\text{nBq m}^{-3}$	$^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ - Verhältnis in $10^{-7}$	Quelle	
Messhaus 2	1-2002	$1,10 \pm 0,11$	$1,24 \pm 0,10$	$1,70 \pm 0,22$	Klipsch, 2005
	2-2002	$0,51 \pm 0,03$	$0,58 \pm 0,06$	$1,71 \pm 0,19$	Klipsch, 2005
	3-2002	$0,59 \pm 0,04$	$1,12 \pm 0,07$	$2,85 \pm 0,26$	Klipsch, 2005
	4-2002	$1,12 \pm 0,07$	$1,17 \pm 0,08$	$1,59 \pm 0,14$	Klipsch, 2005
	<b>2002</b>	<b><math>0,78 \times 1,51^{\pm 1}</math></b>	<b><math>0,99 \times 1,42^{\pm 1}</math></b>	<b><math>1,91 \times 1,31^{\pm 1}</math></b>	
	1-2003	$0,82 \pm 0,06$	$1,29 \pm 0,09$	$2,36 \pm 0,24$	Klipsch, 2005
	2-2003	$0,31 \pm 0,03$	$0,57 \pm 0,12$	$2,74 \pm 0,63$	Klipsch, 2005
	3-2003	$0,75 \pm 0,07$	$0,48 \pm 0,14$	$0,98 \pm 0,29$	Klipsch, 2005
	4-2003	$0,62 \pm 0,02$	$0,63 \pm 0,08$	$1,52 \pm 0,18$	Klipsch, 2005
	<b>2003</b>	<b><math>0,59 \times 1,55^{\pm 1}</math></b>	<b><math>0,69 \times 1,54^{\pm 1}</math></b>	<b><math>1,76 \times 1,59^{\pm 1}</math></b>	
	1-2004	$0,42 \pm 0,02$	$0,52 \pm 0,03$	$1,86 \pm 0,11$	Klipsch, 2005
	2-2004	$0,61 \pm 0,01$	$1,19 \pm 0,01$	$2,95 \pm 0,06$	Klipsch, 2005
	3-2004	$0,42 \pm 0,01$	$0,68 \pm 0,04$	$2,44 \pm 0,17$	Klipsch, 2005
	4-2004	$0,75 \pm 0,01$	$2,90 \pm 0,09$	$5,93 \pm 0,24$	Klipsch, 2005
	<b>2004</b>	<b><math>0,53 \times 1,33^{\pm 1}</math></b>	<b><math>1,05 \times 2,13^{\pm 1}</math></b>	<b><math>2,99 \times 1,64^{\pm 1}</math></b>	
	1-2005	$1,15 \pm 0,05$	$2,14 \pm 0,09$	$2,79 \pm 0,14$	Klipsch, 2005
	2-2005	$0,53 \pm 0,03$	$0,57 \pm 0,02$	$1,61 \pm 0,11$	Klipsch, 2005
	3-2005	$0,90 \pm 0,03$	$0,62 \pm 0,02$	$1,04 \pm 0,05$	Diese Arbeit
	4-2005	$0,59 \pm 0,01$	$0,80 \pm 0,01$	$0,20 \pm 0,00$	Diese Arbeit
	<b>2005</b>	<b><math>0,75 \times 1,44^{\pm 1}</math></b>	<b><math>0,88 \times 1,84^{\pm 1}</math></b>	<b><math>0,99 \times 3,09^{\pm 1}</math></b>	
	1-2006	$1,13 \pm 0,06$	$2,00 \pm 0,08$	$2,65 \pm 0,19$	Diese Arbeit
	2-2006	$0,83 \pm 0,06$	$0,87 \pm 0,03$	$1,59 \pm 0,11$	Diese Arbeit
	3-2006	$0,73 \pm 0,03$	$0,85 \pm 0,03$	$1,76 \pm 0,11$	Diese Arbeit
	4-2006	$1,11 \pm 0,05$	$3,70 \pm 0,16$	$5,02 \pm 0,31$	Diese Arbeit
	<b>2006</b>	<b><math>0,93 \times 1,3^{\pm 1}</math></b>	<b><math>1,53 \times 2,04^{\pm 1}</math></b>	<b><math>2,47 \times 1,7^{\pm 1}</math></b>	
	1-2007	$0,88 \pm 0,01$	$1,41 \pm 0,06$	$2,41 \pm 0,17$	Diese Arbeit
2-2007	$0,69 \pm 0,04$	$0,75 \pm 0,03$	$1,64 \pm 0,11$	Diese Arbeit	
3-2007	$0,39 \pm 0,03$	$0,72 \pm 0,03$	$2,76 \pm 0,26$	Diese Arbeit	
4-2007	$0,89 \pm 0,03$	$1,88 \pm 0,07$	$3,17 \pm 0,18$	Diese Arbeit	
<b>2007</b>	<b><math>0,68 \times 1,47^{\pm 1}</math></b>	<b><math>1,09 \times 1,61^{\pm 1}</math></b>	<b><math>2,42 \times 1,33^{\pm 1}</math></b>		
1-2008	$0,36 \pm 0,01$	$0,32 \pm 0,01$	$1,33 \pm 0,07$	Diese Arbeit	
2-2008	$1,25 \pm 0,05$	$2,41 \pm 0,10$	$2,91 \pm 0,17$	Diese Arbeit	
3-2008	$0,38 \pm 0,02$	$0,39 \pm 0,02$	$1,91 \pm 0,18$	Diese Arbeit	
4-2008	$0,65 \pm 0,02$	$1,06 \pm 0,03$	$2,44 \pm 0,13$	Diese Arbeit	
<b>2008</b>	<b><math>0,58 \times 1,79^{\pm 1}</math></b>	<b><math>0,75 \times 2,55^{\pm 1}</math></b>	<b><math>2,06 \times 1,40^{\pm 1}</math></b>		
1-2009	$0,95 \pm 0,07$	$1,68 \pm 0,05$	$2,67 \pm 0,21$	Diese Arbeit	
2-2009	$0,36 \pm 0,08$	$0,72 \pm 0,02$	$3,03 \pm 0,68$	Diese Arbeit	
<b>2009</b>	<b><math>0,58 \times 1,99^{\pm 1}</math></b>	<b><math>1,10 \times 1,82^{\pm 1}</math></b>	<b><math>2,84 \times 1,09^{\pm 1}</math></b>		

**Tab. A20:** Ergebnisse von  $^{127}\text{I}$ -,  $^{129}\text{I}$ -Konzentrationen und  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnissen in Aerosolfiltern im **Messhaus 4** in der Region IV in Niedersachsen für den Zeitraum von 2002 bis 2009.

	$^{127}\text{I}$ in ng m <sup>-3</sup>	$^{129}\text{I}$ in nBq m <sup>-3</sup>	$^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ - Verhältnis in 10 <sup>-7</sup>	Quelle	
Messhaus 4	1-2002	0,52 ± 0,03	1,38 ± 0,10	4,01 ± 0,36	Klipsch, 2005
	2-2002	0,48 ± 0,04	0,51 ± 0,07	1,61 ± 0,26	Klipsch, 2005
	3-2002	0,75 ± 0,06	0,73 ± 0,11	1,45 ± 0,25	Klipsch, 2005
	4-2002	0,74 ± 0,04	0,77 ± 0,08	1,55 ± 0,19	Klipsch, 2005
	<b>2002</b>	<b>0,61 × 1,27<sup>±1</sup></b>	<b>0,79 × 1,51<sup>±1</sup></b>	<b>1,95 × 1,62<sup>±1</sup></b>	
	1-2003	0,56 ± 0,03	0,57 ± 0,07	1,53 ± 0,21	Klipsch, 2005
	2-2003	0,40 ± 0,02	0,67 ± 0,08	2,52 ± 0,33	Klipsch, 2005
	3-2003	-	0,60 ± 0,08	-	Klipsch, 2005
	4-2003	0,64 ± 0,02	0,57 ± 0,10	1,33 ± 0,23	Klipsch, 2005
	<b>2003</b>	<b>0,52 × 1,28<sup>±1</sup></b>	<b>0,60 × 1,08<sup>±1</sup></b>	<b>1,72 × 1,40<sup>±1</sup></b>	
	1-2004	0,74 ± 0,02	1,18 ± 0,04	2,39 ± 0,10	Klipsch, 2005
	2-2004	0,87 ± 0,02	0,77 ± 0,04	1,33 ± 0,07	Klipsch, 2005
	3-2004	0,59 ± 0,01	1,67 ± 0,05	4,22 ± 0,17	Klipsch, 2005
	4-2004	1,13 ± 0,03	1,39 ± 0,04	1,85 ± 0,07	Klipsch, 2005
	<b>2004</b>	<b>0,81 × 1,31<sup>±1</sup></b>	<b>1,20 × 1,40<sup>±1</sup></b>	<b>2,23 × 1,63<sup>±1</sup></b>	
	1-2005	1,05 ± 0,04	2,60 ± 0,10	3,74 ± 1,87	Klipsch, 2005
	2-2005	0,61 ± 0,02	1,20 ± 0,05	2,96 ± 0,18	Klipsch, 2005
	3-2005	0,84 ± 0,03	0,41 ± 0,02	0,74 ± 0,04	Diese Arbeit
	4-2005	11,8 ± 0,12	1,79 ± 0,02	0,23 ± 0,00	Diese Arbeit
	<b>2005</b>	<b>0,94 × 1,50<sup>±1</sup></b>	<b>1,23 × 2,22<sup>±1</sup></b>	<b>1,96 × 2,01<sup>±1</sup></b>	
	1-2006	1,05 ± 0,09	1,82 ± 0,07	2,61 ± 0,26	Diese Arbeit
	2-2006	0,65 ± 0,01	0,86 ± 0,03	2,01 ± 0,10	Diese Arbeit
	3-2006	0,64 ± 0,03	0,97 ± 0,04	2,29 ± 0,14	Diese Arbeit
	4-2006	1,40 ± 0,06	1,20 ± 0,05	1,29 ± 0,08	Diese Arbeit
	<b>2006</b>	<b>0,88 × 1,47<sup>±1</sup></b>	<b>1,16 × 1,39<sup>±1</sup></b>	<b>1,98 × 1,36<sup>±1</sup></b>	
	1-2007	1,38 ± 0,06	2,32 ± 0,09	2,53 ± 0,17	Diese Arbeit
	2-2007	0,85 ± 0,04	1,33 ± 0,06	2,36 ± 0,16	Diese Arbeit
3-2007	0,56 ± 0,05	0,52 ± 0,02	1,41 ± 0,15	Diese Arbeit	
4-2007	1,00 ± 0,06	2,09 ± 0,09	3,13 ± 0,23	Diese Arbeit	
<b>2007</b>	<b>0,89 × 1,43<sup>±1</sup></b>	<b>1,35 × 1,98<sup>±1</sup></b>	<b>2,27 × 1,40<sup>±1</sup></b>		
1-2008	0,98 ± 0,04	2,45 ± 0,10	3,74 ± 0,22	Diese Arbeit	
2-2008	0,99 ± 0,05	1,27 ± 0,06	1,93 ± 0,14	Diese Arbeit	
3-2008	0,75 ± 0,09	0,70 ± 0,02	1,40 ± 0,09	Diese Arbeit	
4-2008	1,29 ± 0,04	1,69 ± 0,04	1,97 ± 0,08	Diese Arbeit	
<b>2008</b>	<b>0,98 × 1,25<sup>±1</sup></b>	<b>1,39 × 1,70<sup>±1</sup></b>	<b>2,11 × 1,51<sup>±1</sup></b>		
1-2009	0,73 ± 0,07	1,89 ± 0,05	3,88 ± 0,40	Diese Arbeit	
2-2009	0,66 ± 0,07	0,89 ± 0,03	2,05 ± 0,23	Diese Arbeit	
<b>2009</b>	<b>0,69 × 1,07<sup>±1</sup></b>	<b>1,30 × 1,70<sup>±1</sup></b>	<b>2,82 × 1,57<sup>±1</sup></b>		

**Tab. A21:** Ergebnisse von  $^{127}\text{I}$ -,  $^{129}\text{I}$ -Konzentrationen und  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnissen in den Boden- und Bewuchsproben an den **Messpunkte MP1** und **MP5** in der Region IV in Niedersachsen.

Region	Probenahmedatum	$^{127}\text{I}$ in $\mu\text{g g}^{-1}$	$^{129}\text{I}$ in $\mu\text{Bq g}^{-1}$	$^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ - Verhältnis in $10^{-9}$	Quelle
Boden MP1	2002	$1,06 \pm 0,07$	$0,61 \pm 0,01$	$86,6 \pm 6,9$	Klipsch, 2005
	2003	$1,04 \pm 0,06$	$0,51 \pm 0,03$	$74,2 \pm 6,7$	Klipsch, 2005
	2004	$1,11 \pm 0,12$	$0,52 \pm 0,02$	$70,0 \pm 8,4$	Klipsch, 2005
	2005	$1,02 \pm 0,07$	$0,42 \pm 0,01$	$63,0 \pm 5,0$	Diese Arbeit
	2006	$1,13 \pm 0,11$	$0,50 \pm 0,02$	$66,4 \pm 6,6$	Diese Arbeit
	2007	$1,03 \pm 0,02$	$0,53 \pm 0,02$	$77,8 \pm 3,9$	Diese Arbeit
	2008	$1,00 \pm 0,02$	$0,51 \pm 0,02$	$74,0 \pm 3,7$	Diese Arbeit
	<b>2002 – 2008</b>	<b><math>1,05 \times 1,1^{\pm 1}</math></b>	<b><math>0,51 \times 1,1^{\pm 1}</math></b>	<b><math>73 \times 1,1^{\pm 1}</math></b>	
Boden MP5	2002	$0,82 \pm 0,06$	$1,07 \pm 0,02$	$198 \pm 14$	Klipsch, 2005
	2003	$0,93 \pm 0,05$	$0,36 \pm 0,011$	$58,6 \pm 3,5$	Klipsch, 2005
	2004	$1,28 \pm 0,08$	$0,48 \pm 0,02$	$56,1 \pm 3,9$	Klipsch, 2005
	2005	$0,91 \pm 0,06$	$0,35 \pm 0,01$	$56,5 \pm 4,5$	Diese Arbeit
	2006	$0,79 \pm 0,11$	$0,41 \pm 0,02$	$78,3 \pm 11,7$	Diese Arbeit
	2007	$0,85 \pm 0,01$	$0,49 \pm 0,02$	$86,5 \pm 3,5$	Diese Arbeit
	2008	$1,00 \pm 0,01$	$0,48 \pm 0,02$	$71,0 \pm 4,3$	Diese Arbeit
	<b>2002 – 2008</b>	<b><math>0,92 \times 1,2^{\pm 1}</math></b>	<b><math>0,48 \times 1,5^{\pm 1}</math></b>	<b><math>78 \times 1,5^{\pm 1}</math></b>	
Bewuchs MP1	2002	$1,02 \pm 0,11$	$0,15 \pm 0,01$	$21,9 \pm 3$	Klipsch, 2005
	2003	$0,36 \pm 0,19$	$0,74 \pm 0,02$	$313 \pm 166$	Klipsch, 2005
	2004	$0,72 \pm 0,07$	$0,84 \pm 0,03$	$174 \pm 17$	Klipsch, 2005
	2005	$0,53 \pm 0,21$	$1,18 \pm 0,04$	$336 \pm 134$	Diese Arbeit
	2006	$1,16 \pm 0,05$	$0,01 \pm 0,02$	$1,35 \pm 0,2$	Diese Arbeit
	2007	$0,67 \pm 0,02$	$0,66 \pm 0,03$	$141 \pm 7$	Diese Arbeit
	2008	$0,36 \pm 0,10$	$0,41 \pm 0,02$	$172 \pm 3$	Diese Arbeit
	<b>2002 – 2008</b>	<b><math>0,63 \times 1,6^{\pm 1}</math></b>	<b><math>0,72 \times 1,5^{\pm 1}</math></b>	<b><math>214 \times 1,5^{\pm 1}</math></b>	
Bewuchs MP5	2002	$0,34 \pm 0,31$	$0,13 \pm 0,02$	$85 \pm 77$	Klipsch, 2005
	2003	$0,12 \pm 0,03$	-	-	Klipsch, 2005
	2004	$0,63 \pm 0,11$	$0,57 \pm 0,02$	$137 \pm 23$	Klipsch, 2005
	2005	$0,95 \pm 0,28$	$1,34 \pm 0,04$	$212 \pm 64$	Diese Arbeit
	2006	$0,44 \pm 0,02$	$0,23 \pm 0,01$	$76,7 \pm 4,6$	Diese Arbeit
	2007	$0,52 \pm 0,02$	$0,66 \pm 0,03$	$212 \pm 13$	Diese Arbeit
	2008	$0,23 \pm 0,01$	$0,23 \pm 0,01$	$148 \pm 9$	Diese Arbeit
	<b>2002 - 2008</b>	<b><math>0,39 \times 2,0^{\pm 1}</math></b>	<b><math>0,39 \times 2,1^{\pm 1}</math></b>	<b><math>134 \times 1,3^{\pm 1}</math></b>	

**Tab. A22:** Ergebnisse von  $^{127}\text{I}$ -,  $^{129}\text{I}$ -Konzentrationen und  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Isotopenverhältnissen in den Milchproben an den Bauerhöfen in der Region IV in Niedersachsen.

Probenahmedatum	$^{127}\text{I}$ in $\mu\text{g kg}^{-1}$	$^{129}\text{I}$ in $\mu\text{Bq kg}^{-1}$	$^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ - Verhältnis in $10^{-7}$	Quelle
<b>Meetschow (Bauerhof: W), Region IV</b>				
19.08.2002	-	$11,76 \pm 0,38$	-	Klipsch, 2005
21.07.2003	$103 \pm 2$	$7,12 \pm 0,24$	$0,11 \pm 0,00$	Klipsch, 2005
18.05.2004	$113 \pm 3$	$8,03 \pm 0,88$	$0,11 \pm 0,01$	Diese Arbeit
17.05.2005	$37,6 \pm 1,0$	$11,08 \pm 0,33$	$0,44 \pm 0,02$	Diese Arbeit
<b>Marleben (Bauerhof: G), Region IV</b>				
19.08.2002	-	$71,84 \pm 1,94$	-	Klipsch, 2005
21.07.2003	-	$14,76 \pm 0,47$	$0,40 \pm 0,02$	Klipsch, 2005
18.05.2004	$19,40 \pm 1,49$	$16,07 \pm 0,51$	$1,25 \pm 0,10$	Diese Arbeit
17.05.2005	$41,06 \pm 1,20$	$7,56 \pm 0,23$	$0,28 \pm 0,01$	Diese Arbeit
07.07.2006	$34,1 \pm 1,2$	$9,79 \pm 0,39$	$0,43 \pm 0,02$	Diese Arbeit
10.05.2007	$9,30 \pm 0,30$	$7,93 \pm 0,32$	$1,29 \pm 0,07$	Diese Arbeit
20.05.2008	$61,8 \pm 1,8$	$15,48 \pm 0,62$	$0,38 \pm 0,02$	Diese Arbeit
<b>Gorleben (Bauerhof: J), Region IV</b>				
07.07.2006	$10,3 \pm 0,47$	$5,57 \pm 0,22$	$0,81 \pm 0,05$	Diese Arbeit
10.05.2007	$4,49 \pm 0,24$	$4,24 \pm 0,17$	$1,43 \pm 0,09$	Diese Arbeit
20.05.2008	$54,65 \pm 2,53$	$10,91 \pm 0,44$	$0,30 \pm 0,02$	Diese Arbeit



## 9. Literaturverzeichnis

- Aldahan A., Alfimov V. und Possnert G (2007):**  $^{129}\text{I}$  anthropogenic budget: Major sources and sinks, Applied Geochemistry 22 606-618.
- Aldahan A., Kekli A. und Possnert G. (2006):** Distribution and sources of  $^{129}\text{I}$  in rivers of the Baltic region, Journal of Environmental Radioactivity 88 49-73.
- Alfimov, V. (2005):** Accelerator Mass Spectrometry of  $^{36}\text{Cl}$  and  $^{129}\text{I}$  Analytical Aspects and Applications, Dissertation, Universität Uppsala.
- Alfimov V. und Synal H-A. (2008):**  $^{129}\text{I}$  AMS at 0.5 MV tandem accelerator, (Preprint to Elsevier).
- Allanic A. und Rossi M.J. (1999)** Heterogeneous reactions of HOI on substrates of atmospheric importance. Journal of Geophysical Research 104 (D15), 18689-18696.
- Amachi S., Kamagata Y., Kanagawa T. und Muramatsu Y. (2001):** Bacteria Mediate Methylation of Iodine in Marine and Terrestrial Environments. Applied and Environmental Microbiology, June 2001, p. 2718-2722.
- Amachi S., Kasahara M., Hanada S., Kamagata Y., Shinoyama H., Fujii T. und Muramatsu Y. (2003):** Microbial Participation in Iodine Volatilization from Soils. Environmental sciences und Technology 2003, 37, 3885-3890.
- AREVA (2003):** C. Établissement de La Hague, Rapport Environnement 2003, <http://www.cogemalahague.fr>.
- AREVA (2006):** Rapport environnemental, social et sociétal 2005, Établissement de La Hague, <http://www.cogemalahague.fr>.
- AG Boden (1994):** Bodenkundliche Kartieranleitung, 4. Aufl., herausgegeben von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und den Geologische Landesämter der Bundesrepublik Deutschland, Schweitzerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- Baetsle L.H. (1990):** Impact of fission product partitioning and transmutation of  $^{237}\text{Np}$ ,  $^{129}\text{I}$  and  $^{99}\text{Tc}$  on waste disposal strategies, Belgian Nuclear Research Centre, Proceedings of the First International Information Exchange Meeting on Actinide and Fission Product Separation and Transmutation, Mito, Japan, 1990.
- Baker J.M., Sturges W.T., Sugier J., Sunnenberg G., Livett A.A., Reeves C.E., Nightingale P.D. und Penkett S.A. (2001):** Emissions of  $\text{CH}_3\text{Br}$ , organochlorines, and organoiodines from temperate macroalgae. Chemosphere – Global Change Science 3 (2001) 93-106.
- Bethe H. (1930):** Zur Theorie des Durchgangs schneller Korpuskularstrahlen durch Materie, Annalen der Physik 5 325.

- BNFL (2001-2002)**, Discharges and Monitoring of the Environment in the United Kingdom, Annual Report (2000 - 2001), British Nuclear Fuels plc Risley Warrington Cheshire WA3 6AS BN.
- Bonka H.**(2000): Stand der Entwicklung radioökologischer Modelle. In: Bull. Soc. Frib. Sc. Nat. 89 (2000), Nr. 1, S. 65–93
- Bowen, H. J. M.**, 1979, Environmental Chemistry of the elements, Academic Press, London.
- Breuer H.**: dtv-Atlas zur Chemie, Allgemeine und Anorganische Chemie, München, 1981.
- BstMLU**: Bayerische Staatsministerien für Landesentwicklung und Umweltfragen und für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (1988): Radioaktive Kontamination der Böden Bayerns, München.
- Buraglio N. (2000)**: Accelerator mass spectrometry of  $^{129}\text{I}$  and its applications in natural water systems, Dissertation, University of Uppsala, Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology 570
- Buraglio N., Aldahan A. und Possnert G. (2000b)**: Analytical techniques and applications of  $^{129}\text{I}$  in natural water, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 172 518-523.
- Carter M. und Moghissi A. (1977)**: Three decades of nuclear testing, Health Physics, 33 55-71.
- Chamizo E. Lopez-Gutierrez J.M., Ruiz-Gomez A., Santos F.J., Garacia-Leon Maden C. und Alfimov V. (2008)**: Status of the compact 1 MV AMS facility at the Centro Nacional of Acelaradores (Spain). Nuclear Instruments and Methods in Physics Reserarch Section B: Beam Interaction with Materials and Atoms. Volume 266, Issue 10, 2008, p. 2217-2220.
- Daraoui A.(2004)**: "Herstellung von Festkörperstandards für die Quantifizierung von Spurenelementen in einer Knochenmatrix"; 2004; Masterarbeit; Universität Leibniz Hannover.
- Cogema (2001-2003)**: [www.cogemalahague.com](http://www.cogemalahague.com).
- Cox R.A., Bloss W.LJ, Jones R.L. und Rowley D.M. (1999)**: OIO and the atmospheric cycle of iodine, Geophysics. Reserarch. Lett., 26, 1857-1860
- DIN 1319**, Teil 3, Grundlagen der Messtechnik: Auswertung von Messungen einer einzelnen Messgröße, Messunsicherheit. Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag, Berlin (1996).
- DIN 25482 Teil 10**, Nachweisgrenze und Erkennungsgrenze bei Kernstrahlungsmessungen: Allgemeine Anwendungen. Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag, Berlin (2000).

- DIN 32 645**, Chemische Analytik: Nachweis-, Erfassungs- und Bestimmungsgrenze Ermittlung unter Wiederholbedingungen, Begriffe, Verfahren, Auswertung. Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag, Berlin (1994).
- Edward R.R. und Rey P. (1969)**: Terrestrial occurrence and distribution of iodine-129, Departement of Chemistry, Carnegie-Mellon University: Pittsburgh.
- Eisenbud M. und Gesell T. (1997)**: Environmental Radioactivity, 4 Aufl., Academic Press, San Diego.
- Endo S., Tomita J., Tanaka K., Yamamoto M., Fukutani S., Imanaka T., Amano H., Sakaguchi A., Kawamura H., Kawamura H., Apsalikov K.N., Gusev B.I., Whitehead N.E., Shinkarev S. und Hoshi M. (2008)**: Iodine-129 measurements in soil samples from Dolon village near the Semipalatinsk nuclear test site. Radiat. Environ. Biophys.
- England T. R. und Rider B. F. (1994)**: Evaluation and Compilation of Fission Product Yields, Los Alamos National Laboratory, LA-UR-94-3106.
- Ericksen G.E., (1981)**: Geology and origin of the Chilean nitrate deposits, USGS Professional Paper 1188. 1-37.
- Ernst T. (2003)**: Anthropogenes Iod-129 als Tracer für Umweltprozesse. Ein Beitrag zum Verhalten von Spurenstoffen bei der Migration in Böden und beim atmosphärischen Transport, Universität Hannover, Dissertation, 2003.
- Ernst T., Szidat S., Handl J., Jakob D., Michel R., Schnabel Ch., Synal H-A, Santos Arevalo F.J., Benne I, Boess J., Gehrt E., Capelle A., Schneider J., Schäfer W. und Böttcher J. (2003)**: Migration of iodine-129 and iodine-127 in soils, kerntechnik 68 (4) p. 155.
- Fabrika-Martin J., Bentley H., Elmore D. und Airey P.L. (1884)**: Natural iodine-129 as an environmental tracer, Geochimica et Cosmochimica Acta Vol. 49, pp, 337-347.
- Fehn U., Holdren G.R., Elmore D., Brunelle T., Teng R., und Kubik P.W. (1986)**: Determination of natural and anthropogenic I-129 in marine sediments. Geophys. Res. Lett., 13:137–139.
- Fehn U. und Snyder G. (2000)**: <sup>129</sup>I in the Southern Hemisphere: Global redistribution of an anthropogenic isotope. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 172 (2000) 366-371.
- Fehn U., Moran J.E., Snyder G.T. und Muramatsu Y. (2007)**: The initial <sup>129</sup>I/I ratio and the presence of 'old' iodine in continental margins. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 259 (2007) 496-502.
- Fuge R. und Johnson C.C. (1986)**: The geochemistry of iodine-a review, Environmental Geochemistry and Health, 8(2), p31-54.

- Fuge R. und Long A.M. (1986):** Iodine in the soils of North Derbyshire, Environmental Geochemistry and Health, Vol.11, 25-29.
- Fuge R. (1996):** Geochemistry of iodine in relation to iodine deficiency diseases. Geological Society, London, Special Publications, 1996, v. 113; p. 201-211.
- GABAY J. J., PAPERIELLO C. J., GOODYEAR S., DALY J. C. und MATUSZEK J. M. (1974):** A method for determining iodine-129 in milk and water. In: Health Physics 26 (1974), S. 89–96.
- Giani L. und Helmers H. (1997):** Migration of Cesium-137 in typical soils of North Germany ten years after the Chernobyl accident, Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Volume 160 Issue 1, p. 81-83.
- Grajcar M. (2005):** New concepts of  $^{10}\text{Be}$  Accelerator Mass Spectrometry at low energies, Dissertation, Swiss federal institute of technology, Zurich
- Gray J., Jones S. und Smith, A. (1995):** Discharges to the environment from the Sellafield Site 1951 - 1992, Journal of Radiological Protection, 15, 2, 99-131.
- Groupe Radioécologie Nord-Cotentin (1999):** Inventaire des rejets radioactifs des installations nucléaires, Volume 1: Historique des rejets.
- Freitas A.C. (2008):** Accumulation of  $^{137}\text{Cs}$  in Brazilian soils and its transfer to plants under different climatic conditions. Journal of Environmental Radioactivity 99 (2008) 271-287
- Handl J., Sachse R., Jakob D., Michel R., Evangelista H., Gonçalves A.C. und de Freitas A.C. (2008):** Accumulation of  $^{137}\text{Cs}$  in Brazilian soils and its transfer to plants under different climatic conditions. Journal. of Environmental. Radioactivity 99 (2008) p. 271 – 287.
- Heinrich G. (1992):** Uptake and transfer factors of  $^{137}\text{Cs}$  by mushrooms. Radiation and Environmental Biophysics, 31:39–49, 1992.
- Hetzel B.S. (1991):** The conquest of iodine deficiency: A special challenge to Australia from asia. Proc. Nutr. Soc. Aust. (1991) 16
- Hou X., L. Dahlgard H. und Nielsen S. P. (2000a):** Iodine-129 time series in Danish, Norwegian and northwest Greenland coast and the Baltic Sea by seaweed, Estuarine, Coastal and Shelf Science, 51, 5, 571-584.
- Hou X. L., Ya, X. und Chai C. (2000b):** Chemical species of iodine in some seaweeds - II. Iodine-bound biological macromolecules, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 245 3, 461-467.

- Hölgge Z. und Maly M. (2000):** Sources, vertical distribution, and migration rates of  $^{239,240}\text{Pu}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ , and  $^{137}\text{Cs}$  in grassland soil in three localities of central Bohemia. *Journal of Environmental Radioactivity*. Volume 47, Issue 2, 2002, p. 135-147.
- ICPR (1989):** International Commission on Radiological Protection, Report of the Task Group of committee 2, Dosimetric Models, ICPR Publication 50. Pergamon Press, Oxford
- ICR (1983):** International Commission on Radiological Protection; Radionuclide transformations, Energy and intensity of emissions; ICRP Publication 30, Pergamon Press, 1983.
- IAEA (2000):** Reference sheet IAEA-375, Radionuclides and trace elements in soil. International Atomic Energy Agency, Vienna, 2000.
- ISO-FDIS 11929-7:** Determination of detection limit and decision threshold for ionizing radiation measurements. Part 7: Fundamentals and general applications, Geneva: ISO; 2003.
- Jacob P., Kenigsberg J., Likhtarev I., Tronko M., Shinkarev S., Meckbach R., Demidchik Y., Kovgan L., Bogdanova T., Ulanovski A., Gavrilin Y, Buglova E., Vavilov S., Schotola C., Kruk J., Chepurniy M. und Pröhl G. (2004):** Thyroid Exposure of Belarusian and Ukrainian Children due to the Chernobyl Accident and Resulting Thyroid Cancer Risk, Final Report of BfS Project StSch4240.
- Jeffers P., Wolfe N. und Nzengung V. (1998):** Green plants: A terrestrial sink for atmospheric  $\text{CH}_3\text{Br}$ , *Geophysical Research Letters*, Vol. 25, No. 1 (1998) 43-46.
- Kantelo M V., Tiffany B. und Anderson T J. (1982):** Iodine-129 distribution in the terrestrial environment surrounding a nuclear fuel reprocessing plant after 25 years of operation. In *Environmental migration of longlived radionuclides*. IAEA, pp. 495–500.
- Kilius L.R., Rucklige J.C. und Soto C. (1994):** The dispersal of  $^{129}\text{I}$  from the Columbia River estuary. *Nuclear Instruments and Methods in Physics B* 92 (1994) 393
- Klipsch K. (2005):** Bestimmung von  $^{129}\text{I}$  und  $^{127}\text{I}$  in Umweltproben zwecks der Ermittlung radioökologischer Parameter des  $^{129}\text{I}$  auf seinem Weg von Quellen durch die Nahrungskette bis zum Menschen. Dissertation, Leibniz Universität Hannover, 2005.
- Knoll G.F. (2000):** Radiation Detection and Measurement. John Wiley und Sons, 2000.
- Korntheuer J. (2009):** Analytik von  $^{127}\text{I}$  und  $^{129}\text{I}$  in Umweltproben, Diplomarbeit, Leibniz Universität Hannover, 2009.

- König N., P. Baccini und B. Ulrich. (1986):** Der Einfluß der natürlichen organischen Substanzen auf die Metallverteilung zwischen Boden und Bodenlösung in einem sauren Waldboden. *Z. Pflanzenernährung und Bodenkunden* 149, 68-82 (1986).
- Kruck J.E., Pröhl G. und Kernigsberg J.I. (2004):** A radioecological model for thyroid dose reconstruction of the Belarus population following the Chernobyl accident. *Radiat Environ Biophys* 43: 1001-110.
- Kruse-Irmer S. und Giani L. (2003):** Vertical distribution and bioavailability of <sup>137</sup>Cs in organic and mineral soils. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 2003 166, 635-641.
- Kruse-Irmer S. (1998):** Assoziation von <sup>137</sup>Cs mit geobiochemischen Bodenphasen, Dissertation. Carl von Ossietzky Universität Oldenburg (1998).
- Likhtarev I.A., Gulko G.M., Sobolev B.G., Kairo I.A., Chepurnoy N.I., Pröhl G. und Henrich K. (2004):** Thyroid dose assessment for the Chernigov region (Ukraine): estimation based on <sup>131</sup>I thyroid measurements and extrapolation of the results to districts without monitoring. *Radiat Environ Biophys* (1994) 33 : 149-166.
- Mattheß G. (1990):** Scientific concepts for the assessment of groundwater protection zones. *Groundwater Monitoring and Management (Proceeding of the Dresden Symposium, March 1987)*. IAHS Publ. no. 173, 1990.
- Marchetti A.A. (1997):** Determination of total iodine and sample preparation for AMS measurement of <sup>129</sup>I in environmental matrices. *Nuclear Instruments and Methods in Physics B* 123 (1997) 352-355.
- Melchert H-U, Grörsch B. und Thierfelder W. (2002):** Schilddrüsenhormone und Schilddrüsenmedikamente bei Probanden in den Nationalen Gesundheitssurveys. Beiträge zur Gesundheitsberichterstattung des Bundes. Robert Koch Institut, Berlin 2002.
- Michel R., Ernst T., Szidat S., Schmidt A., Schnabel Ch. und Synal H.-A., (2002):** Langfristige Entwicklung von Iod-129 in der Un2001 in Klais, Berichte der Strahlenschutzkommission (2002).
- Michel R., Handl J., Ernst T, Botsch W, Szidat S, Schmidt A., Jakob D., Beltz D., Romantschuk L.D., Synal H.-A., Schnabel Ch. und López-Gutiérrez J.M. (2005):** Iodine-129 in Soils from Northern Ukraine and the Retrospective Dosimetry of the Iodine-131 Exposure after the Chernobyl Accident, *Science of the Total Environment* 340, p. 35-55, 2005.
- Michel R., Klipsch K., Ernst Th., Gorny M., Jakob D., Vahlbruch J., Synal H.-A., und Schnabel C. (2005):** Long-lived Radionuclides in the Environment: On the Radioecology of Iodine-129. In Barescut, J.C.; Gariel, J.C.; Péres J.M. (Hrsg.) *Radioprotection* 40 Suppl. 1, p. S269, 2005.
- Mimidies T. und Kathariou L. (2005):** Radioactive iodine in terrestrial ecosystem, Proceedings of the 9th international Conference on Environmental Science and Technology, Rhodes island, Greece, 1 -3 September 2005.

- Mironov V., Kudrjashov V., Yiou F., und Raisbeck G.M. (2002):** Use of  $^{129}\text{I}$  and  $^{137}\text{Cs}$  in soils for the estimation of  $^{131}\text{I}$  deposition in Belarus as a result of the Chernobyl accident. *Journal of Environmental Radioactivity* 59 (2002) 293-307.
- Moore R.M. und Groszko W. (1999)** Methyl iodide distribution in the ocean and fluxes to the atmosphere. *J. Geophys. Res.* 104:11163–11171.
- Moran J.E., Fehn U. und Hanor J.S. (1995):** Determination of source ages and migration patterns of brines from the U.S. Gulf coast basin using  $^{129}\text{I}$ , *Geochim, Kosmochim. Acta* 59 1995 5055-5069.
- Moran J.E., Fehn U. und Teng R.T.D. (1998):** Variations in  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$  ratios in recent marine sediments: evidence for a fossil organic component. *Chem. Geol.* 1998; 152:193–203.
- Moran J.E. (2002):** Sources of Iodine and  $^{129}\text{I}$  Iodine in Rivers, *Water Resour. Res.* 38 (2002), pp. 24-1–24-10.
- Muramatsu Y. und Yoshida S. (1995):** Determination of  $^{129}\text{I}$  and  $^{127}\text{I}$  in Environmental samples by neutron activation analysis (NAA) and inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Articles, Vol. 195, No. 1* (1995) 149-159.
- Müller H, Pröhl G:** ECOSYS-87: A dynamic model for assessing radiological consequences of nuclear accidents. *Health Physics* 1993; 63: 232 – 252
- Nies H., Goroncy I., Herrmann J., Michel R., Daraoui A., Gorny M., Jakob D., Sachse R., Tosch L. und Nielsen S.P (2009):** Vorhaben StSch 4481: Kartierung von Tc-99, I-129 und I-127 im Oberflächenwasser der Nordsee.
- Oktay S. D., Santschi P. H., Moran J. E. und Sharma P. (2000):** The Iodine-129 bomb pulse recorded in Mississippi River Delta sediments: Results from isotopes of I, Pu, Cs, Pb and C, *Geochimica Et Cosmochimica Acta*, 64, 6, 989-996.
- Oktay S. D., Santschi P. H., Moran J. E. und Sharma P. (2001):**  $^{127}\text{I}$  and  $^{129}\text{I}$  Transport in the Mississippi River. *Environ. Sci. Technol.*, 2001, 35 (22). Downloaded from <http://pubs.acs.org> on January 21, 2009.
- Osterc A., Jacimovic R. und Stibilj V. (2007):** Development of a Method for  $^{129}\text{I}$  Determination Using Radiochemical Neutron Activation Analysis. *Acta Chim. Stov.* 2007, 54, 273-283.
- Parker T. (2001):** (Niels H. 2009) persönlich. Kommunikation H. with Schnabel, C.
- Pietrazak-Fils Z., Krajewski P., Radwan I. und Muramatsu Y. (2003):** Retrospective evaluation of  $^{131}\text{I}$  deposition density and thyroid dose in Poland after the Chernobyl accident. *Health Physics* 84 (6), p. 698, 2003.

- Raisbeck G.M., Yiou F., Zhou Z.Q. und Kilius L.R. (1995):**  $^{129}\text{I}$  from nuclear fuel reprocessing facilities at Sellafield (U.K) and La Hague (France); potential as an oceanographic tracer. *Journal of Marine Systems* 6 (1995) 651-570.
- Reithmeier H., Lazarev V., Kubo F., Rühm W. und Nolte, E. (2005):**  $^{129}\text{I}$  in precipitation using a new TOF system for AMS-Measurements. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Sect. B* 2005, 239 (3), 273-280.
- Reithmeier H., Lazarev V., Rühm W., Schwikowski M., Gggeler H.W. und Nolte, E. (2006):** Estimate of European I Releases Supported by I Analysis in an Alpine Ice Core. *Environ. Sci. Technol.*, 2006, 40 (19), 5891-5896. Downloaded from <http://pubs.acs.org>.
- ROBENS E., HAUSCHILD J., AUSMANN D.C. (1989):** Iodine-129 in the environment of a nuclear fuel reprocessing plant. IV:  $^{129}\text{I}$  and  $^{127}\text{I}$  in undisturbed surface soils. *Journal of environmental radioactivity*, 1989, vol. 9, n<sup>o</sup>1, pp. 17-29.
- Rosen K., Eriksson A. und Haak E. (1996):** Transfer of radiocaesium in sensitive agricultural environment after the Chernobyl fallout in Sweden. I. Country of Gävleborg. *Science of the Total Environment* Volume 182, Issues 1-3, 1996, p. 117-133.
- Santschi P. H. und Schwehr, K. A. (2004):**  $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$  as a new environmental tracer or geochronometer for biogeochemical or hydrodynamic processes in the hydrosphere and geosphere: the central role of organo-iodine, *Science of the Total Environment*, 321, 257-271.
- Schäfer M. (1994):** Iod-Dynamik im Boden, Dissertation, Technische Universität München.
- Scheffer F. und Schachtschnabel P. (1998):** Lehrbuch der Bodenkunde, 14., neu bearbeitete und erweiterte Auflage ed., Ferdinand Enke Verlag.
- Schlichting E., Blume H-P. und Stahr K. (1995):** Bodenkundliches Praktikum. 2. neubearbeitete Auflage. Blackwell Wissenschafts-Verlag Berlin Wien 1995.
- Schink D. R., Santschi P. H., Corapcioglu O. und Fehn, U. (1995):** Prospects for "iodine-129 dating" of marine organic matter using AMS, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, B* 99, 524-527.
- Schinner F. und Sonnleitner R. (1997):** Lehrbuch, Bodenökologie: Mikrobiologie und Bodenenzymatik, Pflanzenschutzmittel, Agrarhilfsstoffe und organische Umweltchemikalien. ISBN 3-540-61025-1 Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York.



- Schmidt A. (1998):** Iod-129 and stabiles iodine in Umweltsamples -Qualitätskontrolle von Analysemethoden and investigations zur Radioökologie and zur retrospektiven Dosimetrie, Dissertation, Universität Hannover.
- Schmidt A., Schnabel C., Handl J., Jakob D. Michel, R., Synal H. A., Lopez J. M. und Suter, M. (1998):** On the analysis of iodine-129 and iodine-127 in environmental materials by accelerator mass spectrometry and ion chromatography, *The Science of The Total Environment*, 223, 2-3, 131-156.
- Schnabel C., Lopez-Gutierrez J. M., Szidat S., Sprenger M., Wernli H., Beer J. und Synal H. (2001),** On the origin of  $^{129}\text{I}$  in rain water near Zürich, *Radiochimica Acta*, 89, 815-822.
- Schnell D. (1997):** Stabiles Iod und das langlebige radioaktive Spaltprodukt Iod-129 in Böden in Deutschland. Dissertation; Universität Bonn, 1997.
- Schink D. R., Santschi P. H., Corapcioglu O. und Fehn U. (1995):** Prospects for "iodine-129 dating" of marine organic matter using AMS, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, B 99, 524-527.
- Schuller P., Ellies A. und Hndl J. (1996):** Influence of climatic condition and soil properties on  $^{137}\text{Cs}$  vertical distribution in selected Chilean soils. *Z. Pflanzennähr. Bodenk.* 160, 423-426.
- Schuller P., Voigt G., Handl J., Ellies A. und Oliva L. (2002):** Global weapons' fallout  $^{137}\text{Cs}$ , in soils and transfer to vegetation in South-Central Chile. *Journal of Environmental Radioactivity* 62, 181-193.
- Schuller P., Bunzl K., Voigt G., Ellies A. und Castillo, A. (2004):** Global fallout  $^{137}\text{Cs}$  accumulation and vertical migration in selected soils from South Patagonia. *Journal of Environmental Radioactivity* 71, 43-60.
- Schötzig U. und Schrader H.(1998b):** Halbwertszeiten und Photonen-Emissionswahrscheinlichkeit von häufig verwendeten Radionukliden. PTB-Bereich PTB-Ra-16/5, Physikalisch Technische Bundesanstalt, Bremerhaven (1998).
- Schwehr K.A. und Santaschi P.H. (2003):** Sensitive determination of iodine species, including organo-iodine, for freshwater and seawater samples using high performance liquid chromatography and spectrophotometric detection. *Analytica Chimica Acta* 482 (2003) 59-71.
- Schwehr K.A. (2004):** Speciation and transport of anthropogenic  $^{129}\text{I}$  and natural  $^{127}\text{I}$  in surface and subsurface environments. Dissertation, Texas A and M University 2004.
- Schwertmann U. (1964):** Differenzierung der Eisenoxide des Bodens durch Extraktion mit Ammoniumoxalat-Lösung. *Z. Pflanzenähr. Düng. Bodenk.* 105: 194-202.
- Sigg L. und Stumm W. (1989):** Aquatische Chemie. Zürich: Verlag der Fachvereine.

- Singh H. B., Salas L. J., und Stiles R. E. (1983):** Methyl halides in and over the eastern Pacific (40°N–32°S). *J. Geophys. Res.* 88:3684–3690.
- Songsheng J., Chang Z., Zhao M., Zhao Y., Zhao X.-L. und Kieser W.E. (2005):** New measurement of  $^{129}\text{I}$  in IAEA-375 reference material. *J. Radioanal. Nucl. Chemistry*, 264 (3), p. 549, 2005.
- SSk 2006:** 20 Jahre nach Tschernobyl: Ein Bilanz auch sichts des Strahlenschutzes. Berichte der Strahlenschutzkommission des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Heft 50 (2006).
- Strachnov V., Larosa J., Dekner R., Zeisler R. und Fajgelj A. (1996):** Report on the intercomparaison run IAEA-375: Determination of radionuclides in soil sample IAEA-375. VInternational atomic energy agency's laboratories analytical quality control services. Vienna, February 1996.
- Straume T., Marchetti A.A., Anspaugh L.R., Khrouch V.T., Gavrillin Y.I., Shinkarev S.M., Drozdovitch V.V., Ulanovsky A.V., Korneev S.V., Brekeshev M.K., Leonov E.S., Voigt G., Panchenko S.V. und Minenko V.F. (1996):** "The feasibility of using  $^{129}\text{I}$  to reconstruct  $^{131}\text{I}$  deposition from the Chernobyl reactor accident", *Health Physics*. 71, p. 733, 1996.
- Straume T., Anspaugh L.R., Marchetti A.A., Minenko V.F., Voigt G. (2000):** I-129 Dosimetry: a demonstration project fort he use of  $^{129}\text{I}$  as a surrogate for  $^{131}\text{I}$  in Belarus and other region contaminated by Chernobyl fallout, Final report, February 18, 2000.
- Straume T., Anspaugh L.R., Marchetti A.A., Voigt G., Minenko V., Gu, F., Men P., Trofimik S., Tretyakevich S., Drozdovitch V., Shagalova E., Zhukova O., Germenchuk M. und Berlovich S. (2006):** Measurement of  $^{129}\text{I}$  and  $^{137}\text{Cs}$  in soils from Belarus and reconstruction of  $^{131}\text{I}$  deposition from the Chernobyl accident. *Health Physics* 91 (1), p. 7, 2006.
- StSch 4285: Michel R., Klipsch K., Ernst Th., Gorny M., Jakob D., Vahlbruch J., Synal H.-A., Schnabel C. (2004):** Ableitung von radioökologischen Parametern aus dem langfristigen Eintrag von Iod-129. <http://www.zsr.uni-hannover.de/veroeff/schrbmu4.pdf>.
- StSch 4481: Nies H., Goroncy I., Herrmann J., Michel R., Daraoui A., Gorny M., Jakob D., Sachse R. und Tosch L. (2009):** Kartierung von Tc-99, I-129 und I-127 im Oberflächenwasser der Nordsee, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Hamburg und Rostock ,Juli 2009. <http://www.zsr.uni-hannover.de/veroeff/vorkarno.pdf>.
- Stumm W. und Morgan J.J. (1996):** Aquatic Chemistry.: chemical equilibria and rates in natural waters. 3<sup>rd</sup> ed. John Wiley u. Sons, New York, 1022.
- Synal H.-A., Bonani G., Finkel R.C., Niklaus Th.R., Suter M.und Wölfli W. (1991):** The heavy ion injector at the Zürich AMS facility. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Reserarch. B* 56/57 (1991) 864-867.

- Synal, H.-A., Bonani G., Döbeli M., Ender R. M., Gartenmann P., Kubik P. W., Schnabel C. and Suter M. (1997):** Status report of the PSI/ETH AMS facility. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms 123 (1-4): 62-68.
- Synal H.-A., Stocker M. and Suter M. (2007):** MICADAS: A new compact radiocarbon AMS system. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. B 259 (2007) 7-13.
- Szidat S. (2000):** Iod-129: Probenvorbereitung, Qualitätssicherung und Analyse von Umweltmaterialien, Dissertation, Universität Hannover, <http://www.zsr.uni-hannover.de/arbeiten/drszidat.pdf>.
- Szidat S., Schmidt A., Handl J., Jakob D., Botsch W., Michel R., Synal H., Schnabel C., Suter M., Lopez-Gutierrez J. M. und Städte W. (2000b):** Iodine-129: Sample preparation, quality control and analyses of pre-nuclear materials and of natural waters from Lower Saxony, Germany, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, B (172) 699-710.
- Tamm O. (1932):** Über die Oxalatmethode in der chemischen Bodenanalyse. Meddel. f. Statens Skogsföröksant. 27, 1-20; Stockholm.
- Tosch L. (2010):** Untersuchung von Wasserproben aus der Nordsee auf I-129, Leibniz Universität Hannover, Dissertation (in Vorbereitung).
- Tschernobyl (2006):** <http://www.umweltinstitut.org>
- UNSCEAR (1982):** United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: Report to the General Assembly of the United Nations.
- UNSCEAR (2000):** United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: Sources and Effects of Ionizing Radiation, 2000 Report to the General Assembly, United Nations, New York.
- Wagner M., Dittrich-Hannen B., Synal H.-A., Suter M. und Schotterer U. (1996):** Increase of <sup>129</sup>I in the environment, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, B 113 490-494.
- Whitehead D. C. (1984):** The distribution and transformation of iodine in the environment, Environment International, 10 321.
- Wong G. T. F. (1991):** The Marine Geochemistry of Iodine, Reviews in Aquatic Sciences, 4, 45-73.

## 10. Abkürzungen

Abb.	Abbildung
AMS	accelerator mass spectrometry, Beschleunigermassenspektrometrie
BMU	Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BNFL	British Nuclear Fuel
BStMLU	Bayerische Staatsministerien für Landesentwicklung und Umweltfragen und für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten
Bq	Bequerel
Bzw.	Beziehungsweise
Dest. Wasser	Destilliertes Wasser
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
DPD	N,N-Diethyl-1,4-phenylendiamin
ECD	Elektroneneinfangdetektor (electron capture detector)
Eh	Redoxpotenzial in V
ETH	Eidgenössische Technische Hochschule
GC	Gaschromatographisch
GUM	Guide to the expression of uncertainty in measurement
Gy	Gray
HSAB	hard and soft acids and bases
HPGe	High purity germanium
ICP	induktiv gekoppeltes Plasma
ICP-CC-QMS	ICP-MS mit Hexapol-Kollisionszellen
ICP-MS	Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry
IAEA	International Atomic Energy Agency
ICPR	International Commission on Radiological Protection

ISO	International Organization for Standardization
KAK	Kationenaustauschkapazität in meq kg <sup>-1</sup>
MICADAS	Mini radiocarbon dating System
NLÖ	Niedersächsisches Landesamt für Ökologie
pH-Wert	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> -Konzentration in -log (mol L <sup>-1</sup> )
ppb	parts per billion
ppm	parts per million
ppt	parts per trillion
PSI	Paul Scherrer Institut
SEV	Dynoden-Sekundärelektronenvervielfacher
sog.	sogenannte
StSch	Strahlenschutz
SSK	Strahlenschutzkommission
Sv	Sievert
t	Zeit (time)
T	Absolute Temperatur
Tab.	Tabelle
$T_{1/2}$	Halbwertszeit [s, a]
V	Volumen
VOI	volatile organic iod
WAK	Wiederaufbereitungsanlage Karlsruhe
Z	Ordnungszahl
z.B.	zum Beispiel
ZSR	Zentrum für Strahlenschutz und Radioökologie
z.T.	zum Teil

## 11. Danksagung

Frau Prof. Dr. Carla. Vogt danke ich ganz herzlich für Ihre freundliche Betreuung, ihre Hilfreichen Anregungen und ihre wertvollen Diskussionen, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Mein herzlicher Dank gilt Herrn Prof. Dr. Rolf Michel, der mir die Möglichkeit gab, diese Arbeit am Zentrum für Strahlenschutz und Radioökologie (ZSR) der Leibniz Universität Hannover anzufertigen. Für die Einführung in die Radioökologie und Strahlenschutz, die stete Diskussionsbereitschaft und die immer freundliche Unterstützung danke ich Herrn Prof. Dr. Rolf Michel besonders.

Ein herzlicher Dank gilt Herrn Dr. Dieter Jakob für die ausgezeichnete Einführung der theoretischen und praktischen Hintergründe meiner Arbeit und für sorgfältiges Korrekturlesen. Ein spezielles Dankeschön geht auch an Herrn Lübbert Tosch für seine Hilfsbereitschaft und für die nette Zusammenarbeit in Zürich. Frau Monika Gorny danke ich sehr für die andauernde tatkräftige Unterstützung bei den experimentellen Arbeiten. Herrn Rüdiger Sachse danke ich für seine Hilfe bei der Gamma-Messung. Frau Beate Riebe danke ich für ihre Bereitschaft für Diskussionen, besonders über die Fragen zum Thema der Bodenkunden. Herrn Karl-Heinz Iwannek danke ich für die Unterstützung bei der Anfertigung von Zeichnungen und für seinen besonderen Humor. Ein besonderer Dank gilt Herrn Mohamed Azeroual und Dr. Shaban Harb, die mich immer unterschützten und ermunterten.

Ich möchte mich auch zudem allen Mitarbeitern des ZSR für ihre Hilfsbereitschaft und für freundschaftliche Arbeitsatmosphäre im Institut bedanken. Besonders Herrn Dr. Jan-Willem Vahlbruch, Herrn Michael Täschner, Frau Gabriela Erb-Bunnerberg, Herrn Arthur Meleshyn, alle Doktoranden und Diplomanden und an die Mitarbeiter der Werkstatt, besonders Michael Senft.

Mein Dank gilt Herrn Dr. Stefan Dultz und Michael Klatt für die bodenchemische und bodenphysikalische Untersuchung der Proben am Institut für Bodenkunde der Leibniz Universität Hannover.

Für die Möglichkeit der Benutzung des ICP-MS-Gerätes und die Einführung in die Bedienung danke ich Frau Prof. Dr. Carla Vogt, Frau Dr. Susan Gruhl, Marco Lange und Robbert Lehmann aus dem Arbeitskreis Analytik.

Für die optimale Betreuung bei der Durchführung und Auswertung der AMS-Messung an der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) in Zürich möchte ich mich bei Dr. Hans-Arno Synal und Dr. Vasily Alfminov bedanken.

Abschließend möchte ich mich bei meiner Familie in Marokko und England (besonders meine Mutter Zohra und meine Schwester Souad) von ganzem Herzen für ihre Unterstützung bedanken. Besonderen Dank an meine Freunde Khalid Nahid, Mustapha Mekkaoui und Abdelkrim Ajaarour für die moralische Unterstützung.

Meine Frau, Raziat Aslanova, danke ich ganz herzlich für ihr volles Verständnis und stete Unterstützung in guten und in schlechten Zeiten.

## 12. Publikationen

- A. Daraoui** , R. Michel, M. Gorny, D. Jakob, R. Sachse, H.-A. Synal, V. Alfimov: Migration und Inventare von Iod-129 und Iod-127 in Böden. 6. Gemeinsame Tagung des Österreichischen Verbandes für Strahlenschutz ÖVS und des Fachverbandes für Strahlenschutz e.V. FS mit Workshop der Österreichischen Gesellschaft für Medizinische Physik ÖGMP, 41. Jahrestagung des FS, 21. bis 25. September 2009, Alpbach, Tirol, TÜV Media GmbH, TÜV Rheinland Group, Köln **2009**, p. 167-172
- A. Daraoui**, R. Michel, M. Gorny, D. Jakob, J. Korntheuer, R. Sachse, H.-A. Synal, V. Alfimov: Iod-129 in Böden der nördlichen Ukraine und die retrospektive Dosimetrie der Iod-131 Exposition nach dem Unfall von Tschernobyl. 6. Gemeinsame Tagung des Österreichischen Verbandes für Strahlenschutz ÖVS und des Fachverbandes für Strahlenschutz e.V. FS mit Workshop der Österreichischen Gesellschaft für Medizinische Physik ÖGMP, 41. Jahrestagung des FS, 21. bis 25. September 2009, Alpbach, Tirol, TÜV Media GmbH, TÜV Rheinland Group, Köln **2009**, p. 393-398
- H. Nies, I. Goroncy, J. Herrmann, L. Tosch, **A. Daraoui**, M. Gorny, D. Jakob, R. Sachse, R. Michel, V. Alfimov, H.-A. Synal, S.P. Nielsen, A.L. Rudjord, M. Dwadall, T. Gävert: Radioaktive Stoffe im Meer - Quellen und ihre weitreichenden Auswirkungen: Kartierung von Radionuklid-iden in der Nordsee - Aktuelle Konzentration der Radionuklide Tritium, Sr-90, Tc-99, I-129, Cs-137, Pu-Isotope und Am-241. 6. Gemeinsame Tagung des Österreichischen Verbandes für Strahlenschutz ÖVS und des Fachverbandes für Strahlenschutz e.V. FS mit Workshop der Österreichischen Gesellschaft für Medizinische Physik ÖGMP, 41. Jahrestagung des FS, 21. bis 25. September 2009, Alpbach, Tirol, TÜV Media GmbH, TÜV Rheinland Group, Köln **2009**, p. 137-141



- R. Michel, L. Tosch, **A. Daraoui**, M. Gorny, D. Jakob, H. Nies, I. Goroncy, J. Herrmann, S.P. Nielsen, M. Dawdall, A.L. Rudjord, T. Gäfvert, H.-A. Synal, M. Stocker, V. Alfimov: Langlebige Radionuklide in der Hydro-sphäre am Beispiel des Iod-129, SSK Klausurtagung **2008**; Berlin 13./14.11.2008 "Interventionen und Nachhaltigkeit im Strahlenschutz", im Druck 2009.
- R. Michel, **A. Daraoui**, M. Gorny, D. Jakob, R. Sachse, L. Tosch, H.-A. Synal, V. Alfimov, H. Nies, I. Goroncy, J. Herrmann: Radioecology of Iodine-129: From Sea to Land, 7th Int. Conf. Nuclear Radiochemistry NRC 7. **2008**, Budapest, Conference CD, Book of extended Abstracts, p. 279
- R. Michel, **A. Daraoui**, M. Gorny, D. Jakob, R. Sachse, L. Tosch, H.-A. Synal, V. Alfimov, H. Nies, I. Goroncy, J. Herrmann: Radioecology of Iodine-129: From Sea to Land. International Conference on Radioecologie and Environmental Radioactivity, 15-20 June **2008**, Bergen, Norway in <http://www.radioecology.info/Bergen2008/proceedings/175.Michel.pdf>.
- A. Daraoui**, M. Gorny, D. Jakob, R. Sachse, R. Michel, V. Alfimov, H.-A. Synal:  $^{127}\text{I}$  and  $^{129}\text{I}$  in the Environment: Soils from Germany and Chile, 7th Int. Conf. Nuclear Radiochemistry NRC 7. **2008**, Budapest, Conference CD, Book of extended Abstracts, p. 180.
- R. Michel, **A. Daraoui**, M. Gorny, D. Jakob, R. Sachse, L. Tosch, H.-A. Synal, V. Alfimov, H. Nies, I. Goroncy, Radioökologie des Iod-129: Die Rolle des Meeres. In "Überwachung der Meeresumwelt", Wissenschaftliches Kolloquium anlässlich der Einweihung des neuen Laborgebäudes des BSH in Hamburg-Sülldorf, 1. November **2006**, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie.

### 13. Lebenslauf

Name: Abdelouahed Daraoui

Geburtsdatum: 11.11.1974

Geburtsort: Casablanca (Marokko)

Familienstand verheiratet

Staatsangehörigkeit: Deutsch

Schulausbildung:

09/81 – 06/86 Grundschule: Ain Chifa Casablanca.

09/86 – 06/90 Realschule: Alayoune Casablanca.

09/90 – 06/93 Gymnasium: Alkhaouarizmy Casablanca.

Abitur: Fachrichtung „ Science Experimentalle“ im Juni 1993.

Studium:

.

09/94 – 07/99 Studium der Chemie an der Universität Ain Chock Hassan II Casablanca.

10/02 – 10/04 Masterstudium in Leibniz Universität Hannover am institut für Anorganische Chemi : Schwerpunkt Analytische Chemie. Abschluss-Arbeit von 05.2004 bis 10.2004:  
„Quantifizierung der Spurenelemente in Knochenmatrix mittels LA-ICP-MS“.

04/05 – 02/09 Promotion am Zentrum für Strahlenschutz und Radioökologie Leibniz Universität Hannover:“Migration von Iod-129 und Retrospektive Dosimetrie“.

Berufstätigkeit

12/04 – 02/05 Studentische Hilfskraft am Zentrum für Strahlenschutz und Radioökologie Leibniz Universität Hannover.

03/05 – 06/05 Wissenschaftliche Hilfskraft am Zentrum für Strahlenschutz und Radioökologie Leibniz Universität Hannover.

07/05 – 02/10 Wissenschaftliche Mitarbeiter am Zentrum für Strahlenschutz und Radioökologie Leibniz Universität Hannover.