



DECKBLATT

EU 125.1	Projekt	PSP-Element	Obj. Kenn.	Aufgabe	UA	Lfd. Nr.	Rev.
	N A A N	N N N N N N N N N N	N N N N N N	X A A X X	A A	N N N N	N N
	9K		---	HF	RB	0002	00

Titel der Unterlage: Schlußbericht zum Förderungsvorhaben "Radioökologie des Jods-129"	Seite:
	I.
Ersteller: Universität Bonn	Stand:
	31.12.83
	Textnummer:

Ersteller:
Universität Bonn

Stempelfeld:

PSP-Element TP..9K/212856	zu Plan-Kapitel: 3.9.6
---------------------------	------------------------

		Freigabe für Behörden	Freigabe im Projekt

Diese Unterlage unterliegt samt Inhalt dem Schutz des Urheberrechts sowie der Pflicht zur vertraulichen Behandlung auch bei Beförderung und Vernichtung und darf vom Empfänger nur auftragsbezogen genutzt, vervielfältigt und Dritten zugänglich gemacht werden. Eine andere Verwendung und Weitergabe bedarf der ausdrücklichen Zustimmung der PTB.

314

INSTITUT FÜR PHYSIKALISCHE CHEMIE
DER UNIVERSITÄT BONN
Abt. Nuklearchemie



Schlußbericht

zum Förderungsvorhaben "Radioökologie des Iods-129"

Förderungskennzeichen: O2 U 5171 bis 31.12.81 an der TU München
und O2 U 5381 bis 31.12.83 an der Universität
Bonn

Projektleiter: 

1. Aufgabenstellung

- 1.1 Entwicklung einer Analysenmethode zur Bestimmung von ^{129}I und ^{127}I in Umweltproben auf der Grundlage der Neutronenaktivierungsanalyse. In der Zielvereinbarung wurde gefordert, daß die Messung folgender Konzentrationen von ^{129}I möglich sein sollte:

Milch	10^{-15}	Ci/l	$(5,6 \cdot 10^{-12}$	g/l)
Feste Proben (Gras, etc.)	$5 \cdot 10^{-16}$	Ci/g	$(2,8 \cdot 10^{-12}$	g/g)
Bodenproben	$5 \cdot 10^{-17}$	Ci/g	$(2,8 \cdot 10^{-13}$	g/g)

- 1.2 Bestimmung des ^{129}I -Untergrundes in Deutschland durch Messung des ^{129}I - und ^{127}I -Gehalts und des $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Verhältnisses in Rinder- und Schweineschilddrüsen.

- 1.3 Untersuchungen zum Langzeitverhalten des von der WAK freigesetzten ^{129}I durch langfristige Messungen des ^{129}I - und ^{127}I -Gehalts und des $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Verhältnisses in Luft-, Boden-, Vegetations-, Milch- und Schilddrüsenproben aus der Umgebung der WAK.

Es sollte dabei auch versucht werden, die verschiedenen chemischen Formen des Iods zu bestimmen, die beim Transport vom Kamin der WAK bis zur Ablagerung auf dem Boden auftreten können.

- 1.4 Untersuchungen an Gras und Blattgemüse zu den Fragen, in welcher Form ^{129}I deponiert wird, welche Verweilzeiten es an Gras und Blattgemüse zeigt und welcher Anteil des ^{129}I -Gehalts aus dem Boden stammt.

2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das Vorhaben wurde am Institut für Radiochemie der TU München begonnen. Dabei waren die Voraussetzungen für die Entwicklung der Analysenmethode auf der Grundlage der Neutronenaktivierung besonders günstig, da sich das Institut in unmittelbarer Nachbarschaft zum Forschungsreaktor München befindet. Die Umgangsgenehmigung zum Umgang mit den bei der Neutronenaktivierung der Umweltproben entstehenden Aktivitäten, die teilweise mehrere Zehnerpotenzen über der Freigrenze liegen, war vorhanden,

ebenso ein Radionuklidlaboratorium, in dem radiochemische Arbeiten mit radioaktiven Stoffen dieser Aktivitäten ausgeführt werden konnten. Der Projektleiter hatte jahrelange Erfahrung auf dem Gebiet der Neutronenaktivierungsanalyse, der radiochemischen Bestimmung von Spaltprodukten, radiochemischer Trenn- und Reinigungsoperationen mit den verschiedensten Radionukliden und der Messung von Radionukliden auch im Low-Level-Bereich.

Nach der Berufung des Projektleiters an die Universität Bonn wurde das Vorhaben zum 1.1.1982 an das Institut für Physikalische Chemie, Abt. Nuklearchemie, der Universität Bonn transferiert. Die Voraussetzungen zur Durchführung des Vorhabens waren auch an der Universität Bonn gut. Die notwendigen Radionuklidlaboratorien mit der notwendigen Umgangsgenehmigung waren vorhanden. Ein Low-Level-Meßraum mußte allerdings erst eingerichtet werden. Die Bestrahlung der Proben im Kernreaktor zur Neutronenaktivierung konnte im FRJ-1 in der Kernforschungsanlage Jülich durchgeführt werden. Wegen der größeren Entfernung konnten die Bestrahlungen nicht so kurzfristig und flexibel durchgeführt werden wie in München.

In München arbeiteten 2 Doktoranden und 1 Chemotechniker an dem Vorhaben mit, in Bonn waren es 1 wissenschaftlicher Mitarbeiter und 1 Doktorandin und im Jahr 1983 2 Diplomanden.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

- 3.1 Die Analysenmethode zur Bestimmung von ^{129}I und ^{127}I in Umweltproben auf der Grundlage der Neutronenaktivierungsanalyse war im wesentlichen bis Mitte 1980 entwickelt, aufgebaut und getestet. Die wichtigsten Schritte bei der Entwicklung des Verfahrens waren a) die Ausarbeitung einer chemischen Methode, um Iod aus Umweltproben abzutrennen und anzureichern, b) die Ausarbeitung eines radiochemischen Trennverfahrens, um die Iodaktivitäten ^{126}I , ^{128}I und ^{130}I von anderen, bei der Neutronenbestrahlung der Probe entstehenden Aktivitäten abzutrennen und c) der Aufbau eines Mehrfachkoinzidenz- γ -Spektrometers, um das bei der Neutronenaktivierung von ^{129}I entstehende ^{130}I neben dem aus dem natürlichen ^{127}I entstehenden ^{126}I messen zu können. Die beiden chemischen Verfahren - Abtrennung des Iods aus den Umweltproben und radiochemische Reinigung des neutronenbestrahl-

ten Iods - wurden parallel entwickelt. Die NaI(Tl)- und Ge(Li)-Detektoren und das elektronische Zubehör für das Mehrfachkoinzidenzspektrometer waren bis Februar 1979 geliefert, so daß das Spektrometer bis Ende 1979 aufgebaut und eingestellt werden konnte. Während des ersten Halbjahrs 1980 wurden die notwendigen Testanalysen ausgeführt.

Bei diesen Testanalysen stellte sich heraus, daß bei der Bestimmung sehr geringer Mengen an ^{129}I in Gegenwart von natürlichem ^{127}I durch die dreifache Neutroneneinfangreaktion $^{127}\text{I}(n,\gamma)$ $^{128}\text{I}(n,\gamma)$ $^{129}\text{I}(n,\gamma)$ ^{130}I störende Mengen an ^{130}I entstehen könnten. In der Literatur war kein Wert für den Wirkungsquerschnitt der (n,γ) -Reaktion des 25 min ^{128}I veröffentlicht. Es war deshalb dringend notwendig, diesen Neutroneneinfangquerschnitt zu messen. Da die für die Wirkungsquerschnitte $^{127}\text{I}(n,\gamma)$ ^{128}I und $^{129}\text{I}(n,\gamma)$ ^{130}I in der Literatur veröffentlichten Werte stark schwankten, wurden auch diese Wirkungsquerschnitte neu gemessen.

Während dieser Arbeiten wurde begonnen, Rinder- und Schweineschilddrüsen aus verschiedenen Gegenden Deutschlands zu sammeln. Diese wurden dann im wesentlichen im Jahr 1981 analysiert.

In Zusammenarbeit mit dem Bundesgesundheitsamt, Abt. Strahlenhygiene, wurden im Jahr 1981 der ^{129}I - und ^{127}I -Gehalt in Schilddrüsen von Wildtieren gemessen, die in der näheren Umgebung von Kernkraftwerken erlegt worden waren.

In diesem Jahr wurde auch begonnen, in Zusammenarbeit mit der Hauptabteilung Sicherheit des KfK, aus der Umgebung des Kernforschungszentrums Karlsruhe Boden- und Vegetationsproben zu sammeln und auf ihren ^{129}I - und ^{127}I -Gehalt zu analysieren. Nach der Übersiedlung des Projektleiters an die Universität Bonn im Oktober 1981 wurde das Förderungsvorhaben zum 1.1.1982 an die Universität Bonn transferiert. Der Abbau der Meßgeräte in München und der Umzug nach Bonn wurden in den ersten 2 Monaten des Jahres 1982 durchgeführt. Der Wiederaufbau des γ -Spektrometers verzögerte sich einige Monate, da der dafür vorgesehene Raum zuerst mit einem verstärkten Betonboden versehen werden mußte. In dieser Zeit konnten die neuen Mitarbeiter eingearbeitet werden und die Bestrahlung der Proben in der KfA Jülich und deren Transport nach Bonn organisiert werden.

Die Analyse von Umweltproben aus der Umgebung der WAK konnte dann im letzten Quartal 1982 wieder aufgenommen und im Jahr 1983 fortgesetzt werden.

4. Wissenschaftlicher und technischer Stand

Als das Förderungsvorhaben begonnen wurde, waren in den USA einige Arbeiten über die aktivierungsanalytische Bestimmung von ^{129}I veröffentlicht worden:

- 1) Purkayastha, B.C., Martin, G.R., Can. J. Chem. 34, 293 (1956)
- 2) Studier, M.H. et al., J. Inorg. Nucl. Chem. 34 755 (1962)
- 3) Brauer, F.P., Batelle Pacific Northwest Laboratory Report BNWL-SA-4983 (1974)
- 4) Ballad, R.V. et al. Health Physics 30, 345 (1976)
- 5) Rook, H.L. et al., Anal. Chem. 47, 1557 (1975)

Lediglich in Ref.3) und 4) hatte die Bestimmung von ^{129}I eine radioökologische Zielsetzung.

In Deutschland waren von [REDACTED] (KfK 2620 und KfK 2775) Messungen des ^{129}I -Gehalts in Proben aus der Umgebung des KfZ Karlsruhe gemacht worden.

Bei der Ausarbeitung der Bestimmungsmethode für ^{129}I waren die in Ref.2) und 3) beschriebenen Verfahren wertvoll. Allerdings brachte keines der in diesen Publikationen beschriebenen radiochemischen Trennverfahren eine ausreichend gute Iod-Brom-Trennung. Die Iodaktivierungsprodukte ^{126}I und ^{130}I waren stets von störenden ^{82}Br -Aktivitäten begleitet. Die Entwicklung eines radiochemischen Trennverfahrens, das einen ausreichenden Dekontaminationsfaktor für ^{82}Br ergab, war deshalb vordringliches Ziel. Von den in diesen Publikationen beschriebenen Methoden für die Messung der ^{130}I -Aktivitäten eignete sich nur die in Ref.3) beschriebene β - γ -Koinzidenzmethode dazu, die bei der Aktivierung von Umweltproben entstehende geringe ^{130}I -Aktivität neben der aus dem natürlichen Iod entstehenden hohen ^{126}I -Aktivität zu messen. Da die Messung von β -Strahlung im allgemeinen schwieriger ist als die Messung von γ -Strahlung, wurde diese Methode nicht übernommen, sondern eine Mehrfachkoinzidenz-Summenmethode aufgebaut, bei der nur γ -Strahlung gemessen wird.

Die in Ref.3) aufgeführten Messungen wie auch die Messungen von Schüttelkopf zeigten, daß es in der unmittelbaren Nähe einer Wiederaufarbeitungsanlage zu einer lokal erhöhten ^{129}I -Konzen-

tration kommen kann. Systematische Messungen an Proben aus der Umgebung der WAK sollten deshalb zeigen, wie stark sich ^{129}I unter den in Deutschland herrschenden klimatischen Bedingungen lokal anreichern kann und in welchen Teilen der Biosphäre höhere ^{129}I -Konzentrationen auftreten. Messungen zum Übergang des ^{129}I aus dem Boden in die Pflanzen gab es zu Beginn des Förderungsvorhabens keine.

Die während der Laufzeit des Vorhabens in den USA gemachten Messungen von ^{129}I -Konzentrationen in der Umgebung amerikanischer Wiederaufarbeitungsanlagen wurden hauptsächlich in Form von Reports des Batelle Pacific Northwest Laboratory, des Savannah River Laboratory und der Environmental Protection Agency veröffentlicht. Diese und andere Reports wurden über das Fachinformationszentrum Energie, Physik, Mathematik, Eggenstein-Leopoldshafen und über die Technische Informationsbibliothek Hannover bezogen.

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Im Rahmen des Vorhabens wurde mit folgenden Stellen zusammengearbeitet:

- 5.1 Hauptabteilung Sicherheit des Kernforschungszentrums Karlsruhe
- 5.2 Bundesgesundheitsamt, Abt. Strahlenhygiene, Neuherberg
- 5.3 Physik-Department der TU München, Forschungsreaktor
- 5.4 Staatl. Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt Augustenberg, Karlsruhe
- 5.5 Institut für Chemie-Nuklearchemie- der KfA Jülich
- 5.6 KfA Jülich, Zentralabteilung Forschungsreaktoren
- 5.7 Institut für Bodenkunde, Universität Bonn

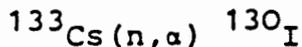
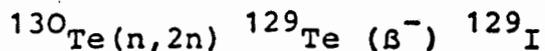
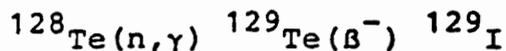
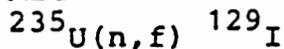
6. Erzielte Ergebnisse

6.1 Die aktivierungsanalytische Bestimmung geringster Mengen von ^{129}I und ^{127}I in der Biosphäre

Der direkte Nachweis von Spuren des ^{129}I in Umweltproben ist sehr schwierig, denn die Zerfallsrate ist wegen der langen Lebensdauer gering, und die emittierte Gammastrahlung ist sehr niederenergetisch (39,6 keV) und zudem noch stark konvertiert. Setzt man dagegen ^{129}I z.B. eine Stunde lang einem Fluß von 10^{13} thermischen Neutronen pro cm^2 und Sekunde aus, so entsteht eine 10^4 -fach höhere Aktivität an ^{130}I ($T_{1/2} = 12,36 \text{ h}$).

Dieses ^{130}I emittiert beim Zerfall 3-4 Photonen in Kaskade mit hoher Summenenergie. Die Aktivierung mit thermischen Neutronen ermöglicht also einen sehr empfindlichen Nachweis von ^{129}I über die Kernreaktion $^{129}\text{I}(n,\gamma) ^{130}\text{I}$. Das stets vorhandene natürliche Iod wird gleichzeitig durch thermische Neutronen über die Kernreaktion $^{127}\text{I}(n,\gamma) ^{128}\text{I}$ zum 25 m ^{128}I oder durch schnelle Neutronen nach $^{127}\text{I}(n,2n) ^{126}\text{I}$ zum 13d ^{126}I aktiviert.

^{129}I bzw. dessen Aktivierungsprodukt ^{130}I kann allerdings auch aus U-, Cs- und Te-Verunreinigungen bei der Bestrahlung mit Neutronen über folgende Kernreaktionen entstehen:



Vor der Neutronenbestrahlung muß deshalb eine chemische Vorreinigung und Anreicherung des Iods erfolgen. Diese ist auch deshalb notwendig, um die relativ großen Analysenproben (Schilddrüsen, Bodenproben, Pflanzenmaterial) in eine für die Bestrahlung im Reaktor geeignete Form zu bringen. Bei dieser Vorreinigung wird die chemische Ausbeute mit Hilfe von I-125 Tracer bestimmt, der der Analysenprobe vor der chemischen Aufarbeitung zugesetzt wird.

Nach der Bestrahlung im Reaktor muß das Iod einer erneuten chemischen Reinigung unterworfen werden. Dabei werden die induzierten Iodaktivitäten von Fremdaktivitäten abgetrennt, die aus den Verunreinigungen entstanden sind, die bei der Vorreinigung des Iods nicht oder schlecht abgetrennt wurden. Diese Fremdaktivitäten sind insbesondere ^{82}Br und ^{24}Na .

Nach dieser radiochemischen Reinigung der im Reaktor bestrahlten Probe sollten nur noch die Iodaktivitäten ^{126}I , ^{128}I und ^{130}I vorhanden sein, die bei der Neutronenbestrahlung aus den Iodisotopen ^{127}I und ^{129}I entstanden sind, und keine Fremdaktivitäten. Das gesamte Analysenverfahren ist im folgenden Schema dargestellt:

- 1) Probe homogenisieren, gefriertrocknen, mit ^{125}I -Tracer versetzen
- 2) Probe im Sauerstoffstrom veraschen; das flüchtige Iod wird mit Aktivkohle aufgefangen

- 3) Veraschen der iodhaltigen Aktivkohle im Sauerstoffstrom; das flüchtige Iod wird wiederum mit Aktivkohle in einem Absorptionsrohr aus hochreinem Quarz aufgefangen
- 4) Quarzrohr mit Aktivkohle wird unter Vakuum zur Ampulle verschmolzen
- 5) Iod wird aus der Aktivkohle durch eine Verjüngung in den oberen Teil der Ampulle destilliert; die obere Hälfte der Ampulle wird abgeschmolzen
- 6) Messung des ^{125}I zur Bestimmung der chemischen Ausbeute von Veraschung und Destillation
- 7) Bestrahlen der Ampulle im Reaktor zusammen mit einem Vergleichsstandard
- 8) Ampulle in geschlossenem Gefäß unter NaHSO_3 -Lösung aufbrechen in Gegenwart von I-Träger und Br-Träger
- 9) Radiochemische Reinigung des Iods
 - 9.1 Oxidation mit KMnO_4 : Br_2 wird im N_2 -Strom ausgetrieben
 - 9.2 Reduktion mit $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ und Extraktion des I_2 mit CCl_4
 - 9.3 Reduktion mit NaHSO_3 und Extraktion des I^- mit H_2O
 - 9.4 Oxidation mit NaNO_2 und Extraktion des I_2 mit CCl_4
 - 9.5 Reduktion mit NaHSO_3 und Extraktion des I^- mit H_2O
 - 9.6 Zugabe von Br^- -Träger und Fällung als AgI und AgBr
 - 9.7 AgI und AgBr werden mit $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ in konz. H_2SO_4 behandelt; Br_2 wird im N_2 -Strom ausgetrieben
 - 9.8 Reduktion mit NaHSO_3
- 10) Fällung des Iods als AgI , Wägung des AgI und Herstellung der Meßprobe
- 11) Messung der Aktivitäten von ^{126}I , ^{128}I und ^{130}I

Der Gehalt an natürlichem ^{127}I wird durch Messung der γ -Strahlung entweder des 25 min ^{128}I oder des 13d ^{126}I bestimmt, der Gehalt an ^{129}I durch Messung des 12,3 h ^{130}I . Die Messung des ^{130}I wird durch die γ -Strahlen sowohl des ^{128}I als auch des ^{126}I gestört. Die Störung durch ^{128}I wird umgangen, indem abgewartet wird, bis es abgefallen ist. Die Störung durch das langlebige ^{126}I kann nur durch meßtechnische Maßnahmen verhindert werden, durch die ^{125}I unterdrückt wird.

Beim Zerfall eines ^{130}I -Kerns werden stets 3 bzw. 4 Photonen in Koinzidenz emittiert. Ihre Summenenergie beträgt 2361 MeV bzw. 1944 MeV.

Beim Zerfall von ^{126}I entstehen nur 1 bzw. 2 Photonen. Die Summenenergie der emittierten Strahlungen beträgt maximal 1688 keV. Wenn man diese charakteristischen Eigenschaften ausnützt, kann man ^{130}I auch in Gegenwart einer viel höheren Aktivität von ^{126}I nachweisen.

Unsere Meßapparatur besteht aus einem Ge(Li)-Detektor, der in einem in Längsrichtung viergeteilten NaI-Detektor-Torus steckt. Das dem Ge(Li)-Detektor gegenüberliegende Loch des Torus ist mit einem weiteren NaI-Detektor verschlossen (Abb.1). Es wird nun zwischen den beiden Iodisotopen ^{126}I und ^{130}I diskriminiert, indem im Ge(Li)-Detektor nur dann ein Ereignis registriert wird, wenn zugleich mindestens 2 der insgesamt 5 NaI-Detektoren ansprechen, und wenn zusätzlich die Summenenergie aller summierten Impulse zwischen 1850 keV und 2500 keV liegt (Abb.2). Das gesamte Analysen- und Meßverfahren ist in Radiochimica Acta 29, 209-215 (1981) genau beschrieben (siehe Anhang I).

6.2 Die Bestimmung von Wirkungsquerschnitt und Resonanzintegral der (n,γ)-Reaktionen von ^{127}I , ^{128}I ($T_{1/2} = 25 \text{ min}$) und ^{129}I

Bei der Neutronenbestrahlung von Proben, die natürliches Iod in größeren Mengen enthalten, kann über zweifachen Neutroneneinfang aus dem stabilen ^{127}I unerwünschterweise ^{129}I gebildet werden. Damit wird die Bestimmung geringster ^{129}I -Konzentrationen in Gegenwart größerer Mengen von natürlichem Iod mit Hilfe der Neutronenaktivierungsanalyse unsicher. Nur bei genauer Kenntnis aller thermischen Wirkungsquerschnitte und Resonanzintegrale der Reaktionsfolge $^{127}\text{I}(n,\gamma)$ $^{128}\text{I}(n,\gamma)$ ^{130}I kann der Beitrag dieser Störreaktion berücksichtigt werden.

Für den Wirkungsquerschnitt des 25 min ^{128}I waren bisher in der Literatur keine Messungen veröffentlicht. Die in der Literatur veröffentlichten Werte für die Wirkungsquerschnitte und Resonanzintegrale von ^{127}I und ^{129}I waren sehr unterschiedlich. Deshalb wurden Wirkungsquerschnitt und Resonanzintegral der drei Reaktionen $^{127}\text{I}(n,\gamma)$ ^{128}I , $^{128}\text{I}(n,\gamma)$ ^{129}I und $^{129}\text{I}(n,\gamma)$ ^{130}I gemessen. Eine genaue Beschreibung dieser Messungen und der Ergebnisse wurde in Radiochimica Acta 33, 183-187 (1983) veröffentlicht (s. Anhang II).

6.3 Die Bestimmung der kumulativen Ausbeute von ^{129}I bei der Spaltung von ^{235}U

Die Kernspaltung von ^{235}U in Kernreaktoren stellt eine der wesentlichsten Quellen für ^{129}I dar. Maßgebliche Größe für die entstehende Menge an ^{129}I ist seine kumulative Spaltausbeute. Dieser Wert ist Ausgangsbasis für sämtliche Freisetzungs- und Expositionsabschätzungen.

In der Literatur gibt es nur einen einzigen experimentell bestimmten Wert für die Spaltausbeute von ^{129}I (0,9%), der von den durch Interpolation der Massenausbeuten benachbarter Ketten erhaltenen Werten (0,61 - 0,8%) abweicht. Die Werte, die über Messungen der kumulativen Spaltausbeuten von ^{129}Sb und ^{129}Te gewonnen worden sind, schwanken in noch stärkerem Maße (0,2-1,1%).

Eine direkte experimentelle Bestimmung der kumulativen Spaltausbeute von ^{129}I war deshalb angebracht. Sie ist in *Radiochimica Acta* 30, 19-20 (1982) veröffentlicht (s. Anhang III).

6.4 Konzentration aus ^{127}I und ^{129}I und $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ - Verhältnis in Schilddrüsen von Rindern und Schweinen

Die erste Aufgabe bestand darin, den Untergrund an ^{129}I in der Biosphäre in Deutschland zu bestimmen. Dazu wurden Rinder- und Schweineschilddrüsen aus verschiedenen Gegenden Deutschlands gesammelt und auf ihren ^{129}I - und ^{127}I -Gehalt untersucht. Die Ergebnisse der insgesamt 27 Messungen sind in Tab.1 zusammengestellt. Der Mittelwert für das Isotopenverhältnis Masse (^{129}I)/Masse (^{127}I) liegt bei $26 \cdot 10^{-9}$; die Einzelwerte liegen zwischen $0,4 \cdot 10^{-9}$ und $91 \cdot 10^{-9}$.

Die Einzelwerte überdecken einen überraschend großen Bereich von nahezu drei Größenordnungen. Es kann kein Zusammenhang zwischen dem Isotopenverhältnis und der Gegend der Probenahme festgestellt werden; große Unterschiede treten selbst zwischen Schilddrüsen aus ein und demselben Schlachthof auf. Dagegen gibt es eine gewisse Korrelation zwischen dem Isotopenverhältnis und der Iodkonzentration in der Schilddrüse. Ein niedriges Isotopenverhältnis tritt vor allem bei Proben mit hoher Iodkonzentration auf. Hier wird also durch eine gesteigerte Aufnahme von natürlichem Iod das aufgenommene ^{129}I verdünnt und seine Ausscheidung beschleunigt. Stammt das angebotene Iod aus standortfremdem Futter oder aus Präparaten, so ist das Meßergebnis verfälscht.

6.5 Konzentration an ^{127}I und ^{129}I und $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Verhältnis in Schilddrüsen von Wildtieren aus der Umgebung von Kernkraftwerken

Diese Messungen sollten zeigen, ob der ^{129}I -Pegel in der Umgebung von Kernkraftwerken erhöht ist gegenüber dem in Rinder- und Schweineschilddrüsen gemessenen $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Verhältnis. In Zusammenarbeit mit dem Bundesgesundheitsamt, Abt. Strahlenhygiene, wurden Schilddrüsen von Wildtieren untersucht, die in nächster Umgebung von Kernkraftwerken erlegt worden waren.

Die Ergebnisse sind in Tab.2 zusammengestellt. Der Mittelwert der gemessenen Isotopenverhältnisse liegt mit $90 \cdot 10^{-9}$ über dem Mittelwert aus den Haustierschilddrüsen, aber noch innerhalb von deren Streubereich. Ob der Unterschied in den Mittelwerten tatsächlich von Emissionen der Kernkraftwerke herrührt, oder ob dafür die unterschiedlichen Ernährungsweisen verantwortlich sind, müssen weitere Messungen zeigen. Außerdem sollten Messungen an Wildtieren aus Kraftwerks-fernen Gebieten als Vergleichswerte gewonnen werden; die erste Messung dieser Art ist ebenfalls in Tab.2 aufgeführt.

6.6 ^{127}I und ^{129}I in Proben aus der Umgebung der WAK

Die Probenahmepunkte befinden sich in der 1.Hauptwindrichtung in einer Entfernung von ca. 550-700 m bzw. 3000-3500 m von der WAK. Zwei dieser Stellen wurden deshalb gewählt, weil sich dort in enger Nachbarschaft Feld, Wiese und Wald befinden. Eine dritte Stelle umfaßt einen privaten Gemüsegarten und die in unmittelbarer Nähe liegenden Getreidefelder. Die Lage der Probenahmestellen ist in Abb.3 skizziert. Die Proben sind Erdproben aus verschiedenen Tiefen, um Tiefenprofile zu erhalten und, je nach Bewuchs, Buchenlaub, Gras, die verschiedenen Getreidesorten, Mais, Kartoffeln und verschiedene Gemüse- und Obstarten. An einer 29 Jahre alten Robinie von einer WAK-nahen Stelle soll untersucht werden, wie sich das im Laufe der Jahre abgegebene ^{129}I auf den ^{129}I -Gehalt der Jahresringe von Bäumen auswirkt. Eine Scheibe der Robinie wurde in die einzelnen Jahresringe zerlegt und in einem Teil der Jahresringe der ^{127}I - und ^{129}I -Gehalt bestimmt. Von den Bodenproben wurden in Zusammenarbeit mit dem Institut für Bodenkunde der Universität Bonn die wichtigsten Bodenkenndaten bestimmt, um dadurch die Böden zu charakterisieren. Bestimmt wurden

pH-Wert, Glühverlust, Gesamtstickstoffgehalt, Ton-, Schluff- und Sandgehalt und Gesamtaustauschkapazität. Die Kenntnis dieser Daten ist Voraussetzung, um im Rahmen zukünftiger Messungen eine Abhängigkeit des Iodtransfers vom Boden zur Pflanze von den Bodeneigenschaften erkennen zu können. Die bisher an den Bodenproben gewonnenen Analyseergebnisse sind in Tab.3-8 zusammengestellt. In Abb.4-9 sind die entsprechenden Tiefenprofile aufgezeichnet. Die in den pflanzlichen Proben gemessenen ^{127}I - und ^{129}I -Konzentrationen sind in Tab.9 aufgeführt.

Es zeigt sich, daß die ^{127}I -Konzentration in allen Bodenproben ziemlich gleichmäßig ist. Lediglich die Humusschichten des Waldbodens haben einen 2- bis 4-fach höheren ^{127}I -Gehalt als die darunter liegenden mineralischen Schichten. Auch ^{129}I wird bevorzugt in den Humusschichten des Waldbodens angereichert. Im Gegensatz zum ^{127}I -Gehalt ist der ^{129}I -Gehalt der Humusschichten um mehr als eine Größenordnung höher als der der mineralischen Schichten. In den mineralischen Schichten selbst nimmt die ^{129}I -Konzentration innerhalb der oberen 30 cm sehr stark ab, teilweise um den Faktor 50.

Im Gegensatz zum Waldboden ist im Feldboden auch der ^{129}I -Gehalt bis zu einer Tiefe von ca. 25 cm ziemlich gleichmäßig. Bis zu dieser Tiefe etwa wird beim Pflügen der Boden vermischt.

Die Meßergebnisse zeigen, daß ^{129}I sehr effizient in den oberen 30 cm des Bodens festgehalten wird. Da die Konzentration in den Humusschichten am größten ist, scheinen der Gehalt an organischem Material und/oder die Tätigkeit von Mikroorganismen eine wichtige Rolle bei der Rückhaltung des ^{129}I zu spielen.

Der vertikale Transport des ^{129}I im Boden scheint also sehr langsam zu verlaufen. Das würde bedeuten, daß bei einer chronischen Abgabe von ^{129}I an die Atmosphäre das ^{129}I -Inventar in der Oberflächenschicht des Bodens nahezu linear mit der Zeit der Abgabe zunimmt.

Dementsprechend würden dann auch die Belastungspfade über den Verzehr pflanzlicher Nahrungsmittel bei Tier und Mensch wegen der zunehmenden Aufnahme von ^{129}I durch die Wurzeln der Pflanzen an Bedeutung gewinnen.

Aus den ^{127}I - und ^{129}I -Konzentrationen des Bodens und der pflanzlichen Proben lassen sich die Transferfaktoren für ^{127}I und ^{129}I berechnen, die den Übergang der Iodisotope vom Boden in die

Pflanzen charakterisieren unter der Annahme, daß der direkt aus der Luft auf den Pflanzen abgelagerte Teil vernachlässigbar ist. Die Transferfaktoren für ^{127}I liegen zwischen $3,3 \cdot 10^0$ und $2,0 \cdot 10^{-2}$ und die für ^{129}I zwischen $1,1 \cdot 10^0$ und $5,3 \cdot 10^{-3}$ (Tab.10). Die Unterschiede in der Aufnahme von ^{127}I und ^{129}I können durch unterschiedliche chemische Formen verursacht werden, in denen die beiden Iodisotope im Boden vorliegen. Dadurch kann es zu einer unterschiedlichen Verfügbarkeit der beiden Iodisotope für die Pflanzen kommen.

Ein Teil des im Pflanzenmaterial gemessenen ^{129}I kann außerdem aus direkter Ablagerung auf der Oberfläche der Pflanzen stammen. Allerdings wird beim Weizen im Mehl ein höherer ^{129}I -Gehalt gefunden als in der Kleie und in der Spreu. Das deutet darauf hin daß bei diesen Proben diese oberflächliche Ablagerung im Vergleich zur Wurzelaufnahme nicht bedeutend war. In dieselbe Richtung deutet der ^{129}I -Gehalt des Futterrübenkrautes, der niedriger ist als der der Rübe selbst.

In Tab.11 sind die ^{127}I - und ^{129}I -Konzentrationen in den verschiedenen Jahresringen der Robinie aufgeführt.

7. Nutzen der Ergebnisse

Mit der entwickelten Analysenmethode lassen sich geringste Mengen an ^{129}I (bis zu 10^{-15} g) und ^{127}I (bis zu 10^{-9} g) messen. Es lassen sich deshalb die ^{127}I - und ^{129}I -Konzentrationen nicht nur an Proben aus der unmittelbaren Umgebung kerntechnischer Anlagen, sondern auch an Proben aus weiter entfernten Gegenden messen. So können mit Hilfe der beschriebenen analytischen Bestimmungsmethode die Ergebnisse radioökologischer Modellrechnungen bezüglich der Ausbreitung des ^{129}I in der Umwelt auch noch in größeren Entfernungen von kerntechnischen Anlagen nachgeprüft werden. Mit Hilfe des entwickelten Analysenverfahrens wird es möglich sein, den ^{129}I - und ^{127}I -Gehalt von Luft und Niederschlägen zu messen und so Fallout-Geschwindigkeit und Washout-Koeffizienten zu bestimmen.

Da stets das $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Verhältnis gemessen wird, läßt sich nachprüfen, ob das sog. spez. Aktivitätsmodell auch bei ^{129}I anwendbar ist.

Die Bestimmung der verschiedenen chemischen Formen des ^{129}I

und ^{127}I in Luft, Niederschlägen und im Boden wird möglich, wenn Trennmethode vorliegen, nach denen die einzelnen chemischen Formen getrennt werden können. Die in den einzelnen getrennten Fraktionen vorliegenden Mengen an ^{127}I und ^{129}I lassen sich dann einfach mit der entwickelten Methode bestimmen.

Eine sehr wichtige Anwendung wird die Messung von Transferfaktoren für ^{129}I und ^{127}I in Gemüsepflanzen, Getreide, Obst, Milch, Fleisch und Eiern unter realistischen Bedingungen sein.

8. Veröffentlichungen der Ergebnisse

- 8.1 D.C. Aumann, H. Faleschini und L. Friedmann, "Determination of ^{129}I and ^{127}I at Natural Levels by Neutron Activation Analysis" *Radiochimica Acta* 29, 209-215 (1981)
- 8.2 L. Friedmann und D.C. Aumann, "The Thermal Neutron Cross-Sections and Resonance Integrals of ^{127}I , ^{128}I and ^{129}I " *Radiochimica Acta* 33, 183-187 (1983)
- 8.3 D.C. Aumann und L. Friedmann, "Cumulative Yield of $1.6 \cdot 10^7 \text{ y } ^{129}\text{I}$ from Thermal-Neutron Induced Fission of ^{235}U " *Radiochimica Acta* 30, 19-20 (1982)
- 8.4 [REDACTED]
"Iodine-129 in Thyroid Glands"
Health Physics: in Vorbereitung
- 8.5 [REDACTED] "Iodine-129 Distribution in the Environment of the Karlsruhe Nuclear Fuel Reprocessing Plant"
Health Physics: in Vorbereitung

Probe	Herkunft	Jahr der Probe- nahme	^{127}I -Konz.		^{129}I -Konzentration			$^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$	
			mg		pg		10^{-16} Ci	[10^{-9}]	
			g Schilddrüse		g Schilddrüse		g Schildd.		
Rind	München	1979	1,15 ± 0,05		10,9 ± 1,2		19,2 ± 2,1		9,5 ± 0,9
"	"	"	0,91	0,07	5,4	0,8	9,5	1,4	5,9 ± 0,9
"	"	"	0,89	0,04	4,4	1,8	7,8	3,2	4,9 ± 1,9
"	Frankfurt	1980	0,30	0,01	8,4	2,1	14,8	3,7	28,0 ± 7,0
"	Flensburg	"	0,96	0,04	25,0	2,7	44,1	4,8	26,0 2,6
"	"	"	0,70	0,08	20,7	2,7	36,5	4,8	29,4 1,9
"	Aachen	"	0,45	0,02	32,8	4,3	57,9	7,6	73,0 9,8
"	"	"	1,42	0,15	129,2	14,7	228,1	26,0	90,9 4,0
"	"	"	1,67	0,30	66,8	12,2	117,9	21,5	40,0 1,7
"	Stuttgart	"	0,79	0,14	64,0	11,6	113,0	20,6	81,3 7,4
"	"	"	4,80	1,37	< 0,6		< 1,1		< 0,13
"	"	"	1,45	0,24	16,0	2,8	28,2	5,0	11,1 0,7
"	Eschwege	"	0,43	0,06	17,9	2,6	31,6	4,6	41,8 2,7
"	Nienburg	"	1,38	0,26	24,1	4,7	42,6	8,4	17,5 0,9
"	Diepholz	"	2,53	0,61	24,2	6,0	42,8	10,5	9,6 0,5
"	Hof	"	1,02	0,13	18,1	2,5	31,9	4,4	17,6 1,0
"	"	"	1,19	0,17	65,4	10,1	115,5	17,9	55,1 3,8
"	"	"	2,77	0,67	20,4	5,0	36,1	8,8	7,4 0,3
<hr/>									
Schwein	München	1979	1,63	0,08	0,7	0,1	1,2	0,2	0,4 0,1
"	Aachen	1980	2,49	0,63	19,3	5,1	34,1	9,0	7,8 0,6
"	Regensburg	"	0,65	0,07	40,2	4,7	71,0	8,4	62,0 3,0
"	Würzburg	"	1,09	0,14	39,6	5,6	70,0	9,8	36,3 2,0
"	"	"	0,60	0,06	22,5	2,6	39,7	4,6	37,3 1,9
"	Nauen	"	0,89	0,57	9,7	7,4	17,1	13,0	10,9 5,6
"	Potsdam (DDR)	"	1,52	0,24	7,9	1,7	14,0	2,9	5,2 0,7
"	Wittstock)	"	0,48	0,05	1,4	0,2	2,5	0,4	2,9 0,3
Probe aus 6 Schw. schilddrüsen	Coburg	1981	3,54	0,67	7,3	1,4	12,8	2,6	2,1 0,1

Mittel 26

Tab.1: Konzentration an ^{127}I und ^{129}I und $^{127}\text{I}/^{129}\text{I}$ -Verhältnis in Schilddrüsen von Rindern und Schweinen

Probe	Herkunft	Jahr der Probe- nahme	^{127}I -Konzentration	^{129}I -Konzentration		$^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$
			$[10^{-5}\text{g/g}]$	$[10^{-12}\text{g/g}]$	$[10^{-16}\text{Ci/g}]$	$[10^{-9}]$
	KKW					
	Gundremmingen:					
Reh	W-SW, 1,3 km	1981	4,9 ± 0,7	3,1 ± 0,5	5,5 ± 0,8	64,0 ± 9,2
3 Feldhasen	SW, 2-4 km	1981	7,2 ± 1,0	2,1 ± 0,6	3,6 ± 1,1	28,5 ± 9,2
5 Feldhasen	NO, 2-4,5 km	1981	2,1 ± 0,3	0,4 ± 0,1	0,7 ± 0,2	18,0 ± 5,1
	KKW					
	Obrigheim:					
Feldhase	N, 400 m	1981	13,9 ± 2,7	7,9 ± 1,5	14,0 ± 2,6	56,8 ± 13,0
	KKW					
	Lingen (Ems):					
Kaninchen	NO, 600-1750 m	1981	43,5 ± 3,3	74,9 ± 6,4	132,0 ± 10,8	172,0 ± 8,6
Kaninchen	NO, 600-1750 m	1981	66,7 ± 3,9	57,8 ± 5,4	102,0 ± 9,2	86,7 ± 7,0
	KKW					
	Würgassen					
Kaninchen	NO, 600 m	1982	0,2 ± 0,02	0,4 ± 0,5	0,7 ± 1,0	185,0 ± 257,0
					<i>Mittel</i>	<i>90</i>
Reh	Rehau (Fichtelgebirge)	1982	> 0,2	> 0,2	> 0,5	102,0 ± 15,5

Tab. 2: Konzentration an ^{127}I und an ^{129}I und $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ - Verhältnis in Schilddrüsen von Wildtieren aus der Umgebung von Kernkraftwerken und aus standortfernen Regionen

Datum der Proben- entnahme	Tiefe (cm)	^{127}I -Konzentration im Trockenboden (10^{-6}g/g)		^{129}I -Konzentration im Trockenboden (10^{-12}g/g)		$^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ (10^{-6}g/g)		
O-Schicht								
20. 7.82	10 - 9	2,5 ± 0,1	195 ± 12	1270 ± 70	77 ± 3			
21.10.82	10 - 8	1,8 ± 0,1	126 ± 8	823 ± 45	72 ± 3			
21.10.82	8 - 6	1,4 ± 0,1	135 ± 9	880 ± 54	98 ± 4			
21.10.82	6 - 4	5,4 ± 0,3	1010 ± 64	6585 ± 380	186 ± 8			
A _h -Schicht								
21.10.82	4 - 0	3,1 ± 0,2	293 ± 19	1920 ± 114	95 ± 4			
Mineral. Schicht								
21.10.82	0 - 5	1,1 ± 0,1	23 ± 1	151 ± 9	21 ± 1			
21.10.82	5 - 10	1,1 ± 0,1	11 ± 1	74 ± 4	11 ± 1			
21.10.82	10 - 20	1,4 ± 0,1	9,7 ± 0,6	63 ± 4	6,7 ± 0,3			
21.10.82	20 - 30	0,92 ± 0,05	3,6 ± 0,2	23 ± 1	3,9 ± 0,2			
21.10.82	30 - 40	1,2 ± 0,1	1,4 ± 0,1	9,4 ± 0,5	1,2 ± 0,1			
21.10.82	40 - 50	1,4 ± 0,1	1,5 ± 0,1	10 ± 1	1,1 ± 0,1			

Tab. 3: Konzentration an ^{127}I und ^{129}I und $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Verhältnis in Bodenproben aus der Umgebung der WAK Karlsruhe

Wald; 1.HWR; ca. 550 m Entfernung vom Abluftkamin

Datum der Probenentnahme	Tiefe (cm)	^{127}I -Konzentration	^{129}I -Konzentration		$^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$
		im Trockenboden (10^{-6}g/g)	(10^{-12}g/g)	(10^{-6}Bq/g)	(10^{-6}g/g)
20.7.82	0 - 3	1,5 \pm 0,1	36 \pm 2	235 \pm 13	24 \pm 1
20.7.82	3 - 6	1,1 \pm 0,1	33 \pm 2	212 \pm 12	30 \pm 1
20.7.82	6 - 12	1,1 \pm 0,1	34 \pm 2	223 \pm 12	31 \pm 1
20.7.82	12 - 17	1,1 \pm 0,1	10 \pm 1	67 \pm 4	9,3 \pm 0,4
20.7.82	17 - 30	1,2 \pm 0,1	0,63 \pm 0,10	11 \pm 1	1,4 \pm 0,1
20.7.82	30 - 40	1,2 \pm 0,1	0,32 \pm 0,02	2,1 \pm 0,1	0,28 \pm 0,01

Tab.4 : Konzentration an ^{127}I und ^{129}I und $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Verhältnis in Bodenproben aus der Umgebung der WAK Karlsruhe
Wiese; 1.HWR; ca. 600 m Entfernung vom Abluftkamin

Datum der Probenentnahme	Tiefe (cm)	^{127}I -Konzentration	^{129}I -Konzentration		$^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$
		im Trockenboden (10^{-6}g/g)	(10^{-12}g/g)	(10^{-6}Bq/g)	(10^{-6}g/g)
20.7.82	0 - 15	1,0 \pm 0,1	6,0 \pm 0,4	39 \pm 2	5,8 \pm 0,3
20.7.82	15 - 25	0,87 \pm 0,05	4,5 \pm 0,3	29 \pm 2	5,1 \pm 0,2
20.7.82	25 - 35	1,2 \pm 0,1	0,48 \pm 0,03	3,1 \pm 0,2	0,40 \pm 0,02

Tab 5 : Konzentration an ^{127}I und ^{129}I und $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Verhältnis in Bodenproben aus der Umgebung der WAK Karlsruhe
Feld; 1.HWR; ca. 700 m Entfernung vom Abluftkamin

Datum der Proben- entnahme	Tiefe (cm)	^{127}I -Konzentration im Trockenboden (10^{-6}g/g)		^{129}I -Konzentration im Trockenboden (10^{-12}g/g)		$^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ (10^{-6}Bq/g)		$^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ (10^{-6}g/g)	
O-Schicht									
6.10.82	10 - 8	2,7	$\pm 0,2$	32	± 2	208	± 12	12	± 1
6.10.82	8 - 6	3,7	$\pm 0,2$	88	± 5	572	± 31	24	± 1
6.10.82	6 - 4	4,4	$\pm 0,2$	231	± 14	1510	± 82	52	± 2
A_h -Schicht									
6.10.82	4 - 0	3,6	$\pm 0,2$	95	± 6	620	± 34	26	± 1
Mineral. Schicht									
6.10.82	0 - 4	1,9	$\pm 0,1$	14	± 1	94	± 5	7,7	$\pm 0,3$
6.10.82	4 - 10	1,0	$\pm 0,1$	2,0	$\pm 0,1$	13	± 1	1,9	$\pm 0,1$
6.10.82	10 - 20	1,1	$\pm 0,1$	1,0	$\pm 0,1$	6,6	$\pm 0,4$	0,96	$\pm 0,04$
6.10.82	20 - 30	1,1	$\pm 0,1$	0,36	$\pm 0,02$	2,4	$\pm 0,1$	0,32	$\pm 0,01$
6.10.82	30 - 40	0,65	$\pm 0,03$	0,10	$\pm 0,01$	0,65	$\pm 0,05$	0,16	$\pm 0,01$
6.10.82	40 - 50	0,68	$\pm 0,04$	0,13	$\pm 0,01$	0,86	$\pm 0,05$	0,20	$\pm 0,01$

Tab. 6 : Konzentration an ^{127}I und ^{129}I und $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Verhältnis in Bodenproben aus der Umgebung der WAK Karlsruhe
Wald; 1.HWR; ca. 3000 m Entfernung vom Abluftkamin

Datum der Proben-entnahme	Tiefe (cm)	^{127}I -Konzentration	^{129}I -Konzentration		$^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$
		im Trockenboden (10^{-6}g/g)	(10^{-12}g/g)	(10^{-6}Bq/g)	(10^{-6}g/g)
6.10.82	0 - 3	0,50 \pm 0,03	15 \pm 1	95 \pm 5	29 \pm 1
6.10.82	3 - 10	1,7 \pm 0,1	25 \pm 2	162 \pm 9	15 \pm 1
6.10.82	10 - 15	1,6 \pm 0,1	7,4 \pm 0,5	49 \pm 3	4,6 \pm 0,2
6.10.82	15 - 20	1,3 \pm 0,1	4,0 \pm 0,2	26 \pm 1	3,1 \pm 0,1
6.10.82	20 - 30	1,3 \pm 0,1	2,6 \pm 0,2	17 \pm 1	2,0 \pm 0,1
6.10.82	30 - 40	0,97 \pm 0,05	0,96 \pm 0,06	6,3 \pm 0,3	0,99 \pm 0,04
6.10.82	40 - 50	0,54 \pm 0,03	0,29 \pm 0,02	1,9 \pm 0,1	0,55 \pm 0,03
6.10.82	50 - 60	0,67 \pm 0,04	0,37 \pm 0,03	2,4 \pm 0,2	0,56 \pm 0,03

Tab.7 : Konzentration an ^{127}I und ^{129}I und $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Verhältnis in Bodenproben aus der Umgebung der WAK Karlsruhe
Wiese; 1.HWR; ca. 3200 m Entfernung vom Abluftkamin

Datum der Proben- entnahme	Tiefe (cm)	¹²⁷ I-Konzentration im Trockenboden	¹²⁹ I-Konzentration im Trockenboden		¹²⁹ I/ ¹²⁷ I
		(10 ⁻⁶ g/g)	(10 ⁻¹² g/g)	(10 ⁻⁶ Bq/g)	(10 ⁻⁶ g/g)
21.10.82	0 - 15	0,94 ± 0,05	1,7 ± 0,1	11 ± 1	1,8 ± 0,1
21.10.82	15 - 25	1,1 ± 0,1	2,0 ± 0,1	13 ± 1	1,9 ± 0,1
21.10.82	25 - 35	0,64 ± 0,03	0,46 ± 0,03	3,0 ± 0,2	0,72 ± 0,03
21.10.82	35 - 45	1,05 ± 0,05	0,23 ± 0,01	1,5 ± 0,1	0,22 ± 0,01
21.10.82	45 - 60	0,93 ± 0,05	0,10 ± 0,01	0,62 ± 0,04	0,10 ± 0,01

Tab 8 : Konzentration an ¹²⁷I und ¹²⁹I und ¹²⁹I/¹²⁷I-Verhältnis in Bodenproben aus der Umgebung
der WAK Karlsruhe
Feld; 1.HWR; ca. 3000 m Entfernung vom Abluftkamin

1
2
1

Probe	Entfernung vom Abluftkamin (m)	Datum der Probenentnahme	^{127}I -Konzentration in der Pflanzentrockenmasse	^{129}I -Konzentration in der Pflanzentrockenmasse		$^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$
			(10^{-6} g/g)	(10^{-12} g/g)	(10^{-6} Bq/g)	(10^{-6} g/g)
Kartoffeln (mit Schale)	700	20.7.82	0,25 ± 0,01	0,13 ± 0,01	0,85 ± 0,06	0,52 ± 0,03
Roggen	700	20.7.82	0,41 ± 0,02	0,80 ± 0,06	5,3 ± 0,4	2,0 ± 0,1
Roggen	3000	20.7.82	0,25 ± 0,01	2,2 ± 0,1	14 ± 1	8,8 ± 0,4
Gras	600	20.7.82	0,31 ± 0,02	2,3 ± 0,2	15 ± 1	7,4 ± 0,3
Gras	3200	20.7.82	0,17 ± 0,01	2,1 ± 0,2	13 ± 1	12 ± 1
Buchenlaub	500	20.7.82	0,41 ± 0,03	3,2 ± 0,2	21 ± 1	7,8 ± 0,5
Buchenlaub	3000	20.7.82	0,86 ± 0,05	4,3 ± 0,3	28 ± 2	5,0 ± 0,2
Weizenstroh	3300	21.7.83	4,1 ± 0,2	0,43 ± 0,04	2,8 ± 0,2	0,10 ± 0,01
Weizenspreu	3300	21.7.83	0,06 ± 0,01	0,16 ± 0,03	1,0 ± 0,2	2,7 ± 0,3
Weizenkleie	3300	21.7.83	1,5 ± 0,1	0,16 ± 0,02	1,0 ± 0,2	0,11 ± 0,01
Weizenmehl	3300	21.7.83	0,69 ± 0,04	0,67 ± 0,05	4,4 ± 0,3	0,97 ± 0,05
Kopfsalat	3500	13.7.83	0,41 ± 0,03	0,28 ± 0,02	1,8 ± 0,2	0,68 ± 0,05
Futterrübe	3500	13.7.83	0,50 ± 0,03	0,43 ± 0,05	2,8 ± 0,3	0,86 ± 0,08
Futterrübenblätter	3500	13.7.83	0,51 ± 0,04	0,30 ± 0,03	2,0 ± 0,2	0,59 ± 0,05
Lauch	3500	13.7.83	0,52 ± 0,03	2,1 ± 0,2	14 ± 1	4,0 ± 0,2
Gurke	3500	21.7.83	0,28 ± 0,02	0,10 ± 0,02	0,68 ± 0,12	0,36 ± 0,06

Tab.9 : Konzentration an ^{127}I und ^{129}I und $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Verhältnis in Pflanzenproben aus der Umgebung der WAK Karlsruhe; 1.HWR.

Probe	Datum	Wasser- gehalt (%)	Gehalt		$^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ (g/g)	$\frac{\text{RI/g Pflanze}}{\text{gI/g Trockenboden}}$		
			^{127}I Feucht- masse (g/g)	^{129}I Feucht- masse (g/g)		Pflanzenfrischmasse ^{127}I	^{129}I	
Weizenfeld 3300 m ONU	Boden (0-30cm)	21.7.83		1,2 (-6) 0,1	1,8 (-12) 0,1	1,5 (-6) 0,1		
	Weizenstroh	21.7.83	5,1	3,9 (-6) 0,2	4,0 (-13) 0,4	1,0 (-7) 0,1	3,3 (0) 0,3	2,3 (-1) 0,3
	Weizenspreu	21.7.83	9,1	5,6 (-8) 0,8	1,4 (-13) 0,2	2,7 (-6) 0,3	4,7 (-2) 0,8	8,0 (-2) 1,4
	Weizenkleie	21.7.83	10,7	1,3 (-6) 0,1	1,4 (-13) 0,2	1,1 (-7) 0,1	1,1 (0) 0,1	8,0 (-2) 1,2
	Weizenmehl	21.7.83	10,6	6,2 (-7) 0,4	6,0 (-13) 0,4	9,7 (-7) 0,5	5,2 (-1) 0,4	3,4 (-1) 0,3
Roggenfeld 3000 m ONU	Boden (0-25cm)	21.10.82		1,0 (-6) 0,1	1,8 (-12) 0,1	1,8 (-6) 0,1		
	Roggen (Ähren)	20.7.82	9,2	2,3 (-7) 0,1	2,0 (-12) 0,1	8,8 (-6) 0,4	2,3 (-1) 0,2	1,1 (0) 0,1
Feld 700 m HNU	Boden (0-25cm)	20.7.82		9,7 (-7) 0,5	5,4 (-12) 0,3	5,6 (-6) 0,3		
	Roggen (Ähren)	20.7.82	7,2	3,8 (-7) 0,2	7,5 (-13) 0,5	2,0 (-6) 0,1	3,9 (-1) 0,3	1,4 (-1) 0,1
	Kartoffel mit Schale	20.7.82	78,1	5,5 (-8) 0,3	2,8 (-14) 0,2	5,2 (-7) 0,3	5,7 (-2) 0,4	5,3 (-3) 0,5
Wiene 520cm HNU	Boden (0-10cm)	6.10.82		1,3 (-6) 0,1	2,2 (-11) 0,1			
	Gras	20.7.82	2,7	1,7 (-7) 0,1	2,0 (-12) 0,1	1,2 (-5) 0,1	1,3 (-1) 0,1	9,2 (-2) 0,8
Wiene 600cm HNU	Boden (0-12cm)	20.7.82		1,2 (-6) 0,1	3,4 (-11) 0,1			
	Gras	20.7.82	10,9	2,8 (-7) 0,2	2,0 (-12) 0,1	7,4 (-6) 0,3	2,3 (-1) 0,2	5,9 (-2) 0,5
Garten 3500 m ONU	Boden 1 (0-30cm)	13.7.83		4,4 (-7) 0,2	2,2 (-13) 0,1	5,0 (-7) 0,2		
	Boden 3 (0-30cm)	13.7.83		8,6 (-7) 0,5	5,3 (-13) 0,3	6,1 (-7) 0,3		
	Mittelwert			6,5 (-7) 2,1	3,8 (-13) 1,6			
	Kopfsalat	13.7.83	96,3	1,5 (-8) 0,1	1,0 (-14) 0,1	6,8 (-7) 0,5	2,3 (-2) 0,9	2,7 (-2) 1,2
	Lauch	13.7.83	89,9	5,3 (-8) 0,3	2,1 (-13) 0,2	4,0 (-6) 0,2	8,1 (-2) 2,9	5,6 (-1) 2,4
	Futterrübe	13.7.83	89,9	5,1 (-8) 0,3	4,3 (-14) 0,5	8,6 (-7) 0,8	7,8 (-2) 2,7	1,2 (-1) 0,5
Futterrübenblätter	13.7.83	91,7	4,2 (-8) 0,3	2,5 (-14) 0,2	5,9 (-7) 0,5	6,5 (-2) 2,4	6,6 (-2) 2,8	
Gurke	21.7.83	95,3	1,3 (-8) 0,1	4,9 (-15) 0,9	3,6 (-7) 0,6	2,0 (-2) 0,7	1,3 (-2) 0,6	

Fehlergrenze
± 0,3

Tab. 10: Pflanze/Boden Konzentrationsfaktoren für ^{127}I und ^{129}I
(: Trockenmasse)

Jahresring	^{127}I -Konzentration in Trockenmasse (10^{-6} g/g)	^{129}I -Konzentration in Trockenmasse (10^{-12} g/g)	(10^{-6} Bq/g)	$^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ (10^{-6} g/g)
1983	0,31 ± 0,02	1,74 ± 0,12	11,30 ± 0,73	5,61 ± 0,31
1982	0,13 ± 0,01	1,16 ± 0,08	7,56 ± 0,49	8,92 ± 0,41
1981	0,12 ± 0,01	0,74 ± 0,05	4,81 ± 0,30	6,17 ± 0,27
1980	0,34 ± 0,03	1,42 ± 0,09	9,30 ± 0,58	4,18 ± 0,25
1979	0,19 ± 0,01	1,96 ± 0,13	12,80 ± 0,79	10,32 ± 0,51
1978	0,20 ± 0,02	5,41 ± 0,40	35,41 ± 2,41	27,05 ± 1,20
1977	0,13 ± 0,01	0,41 ± 0,03	2,70 ± 0,18	3,15 ± 0,17
1976	0,19 ± 0,02	0,41 ± 0,03	2,68 ± 0,19	2,16 ± 0,16
1975	1,25 ± 0,07	0,44 ± 0,04	2,87 ± 0,26	0,35 ± 0,03
1974	0,16 ± 0,01	0,94 ± 0,07	6,17 ± 0,43	5,88 ± 0,34
1973	0,33 ± 0,02	0,29 ± 0,02	1,91 ± 0,14	0,88 ± 0,05
Rinde	0,75 ± 0,05	225 ± 15,1	1470 ± 91,3	300 ± 13,8

Tab.11 : Konzentration an ^{127}I und ^{129}I und $^{129}\text{I}/^{127}\text{I}$ -Verhältnis in den Jahresringen einer Robinie
1.HWR; ca. 1000 m Entfernung vom Abluftkamin

NaI (4 Segmente)

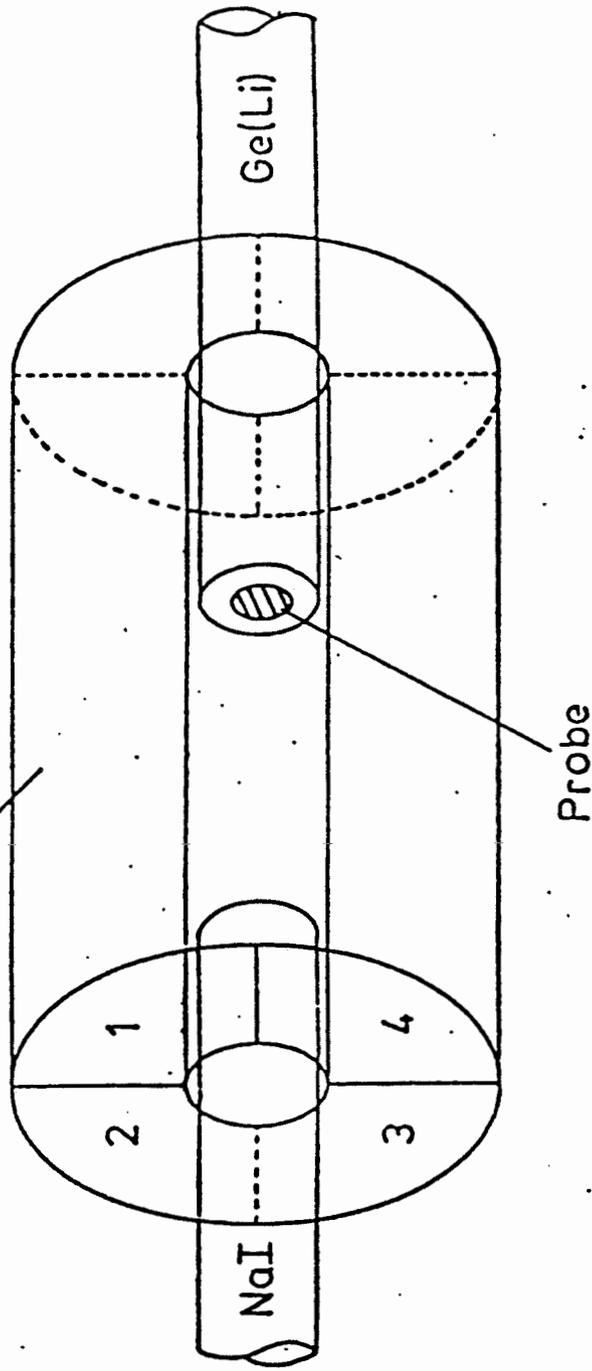
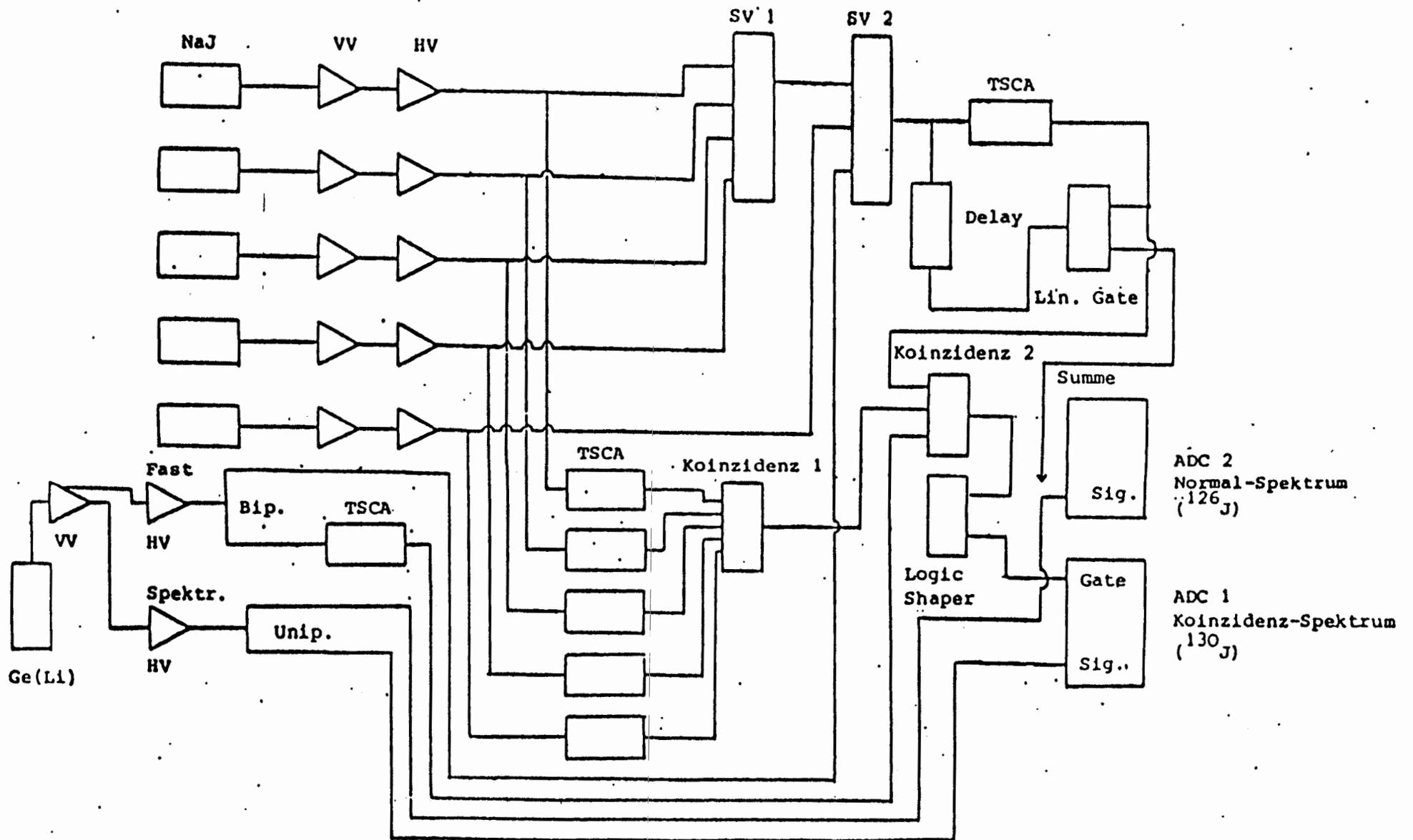


Abb. 11 Anordnung der Detektoren



VV = Vorverstärker, HV = Hauptverstärker
 SV = Summenverstärker, TSCA = Timing Single Channel Analyser

Abb. 2 Gesamtschaltplan der Summen-Koinzidenz-Meßelektronik

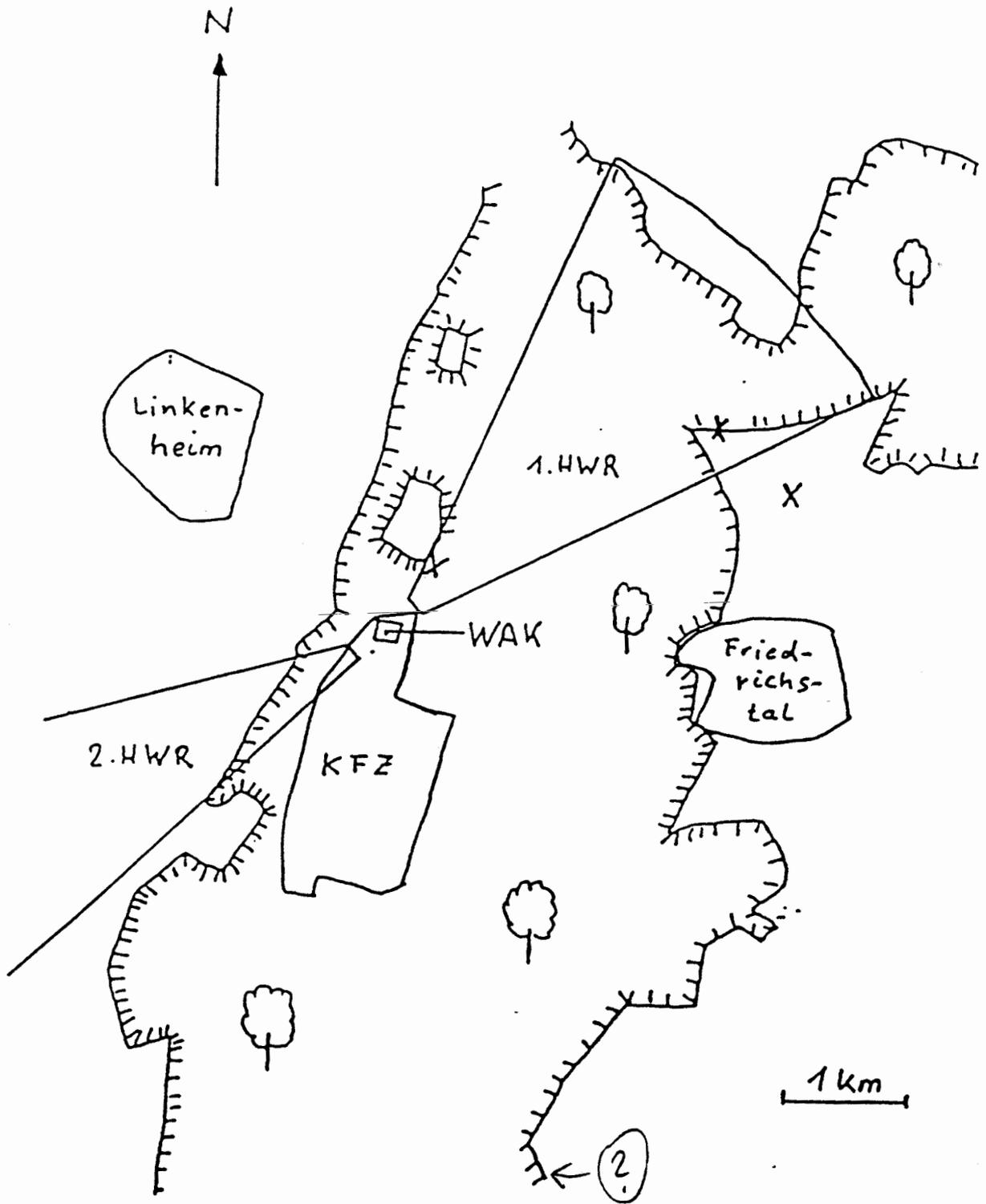


Abb.3 : Probenahmestellen in der Umgebung der WAK

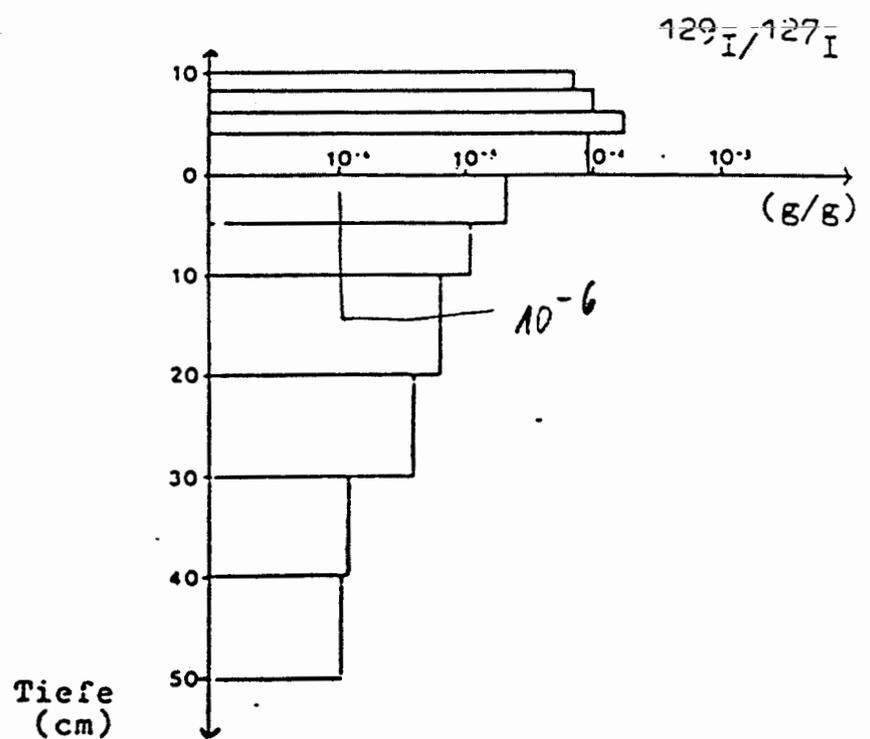
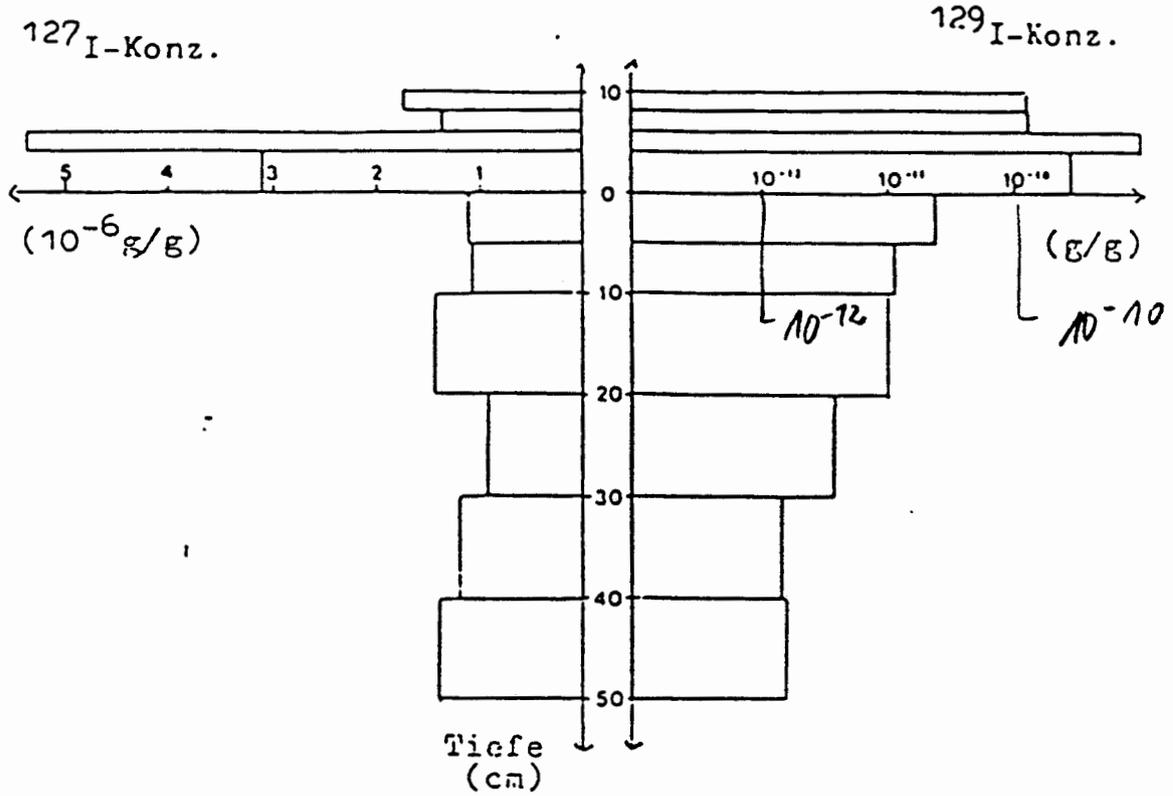


Abb.4 : ^{129}I - und ^{127}I -Gehalt von Bodenproben aus der Umgebung der WAK (Wald, 1. HWR, ca. 550 m)

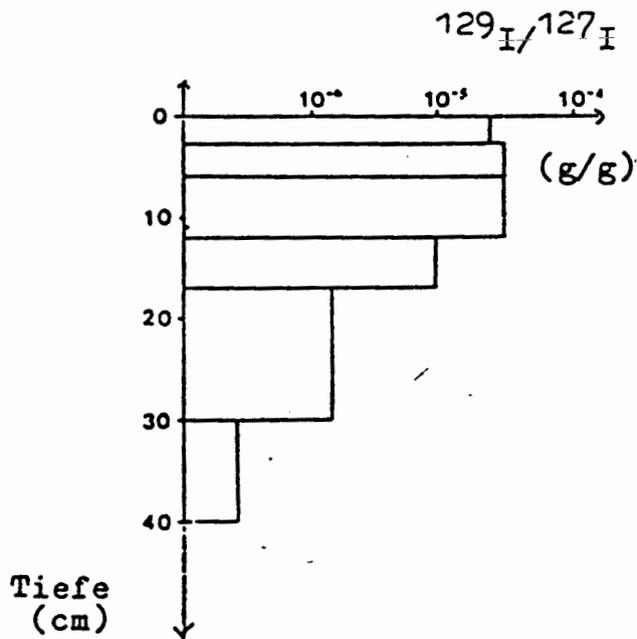
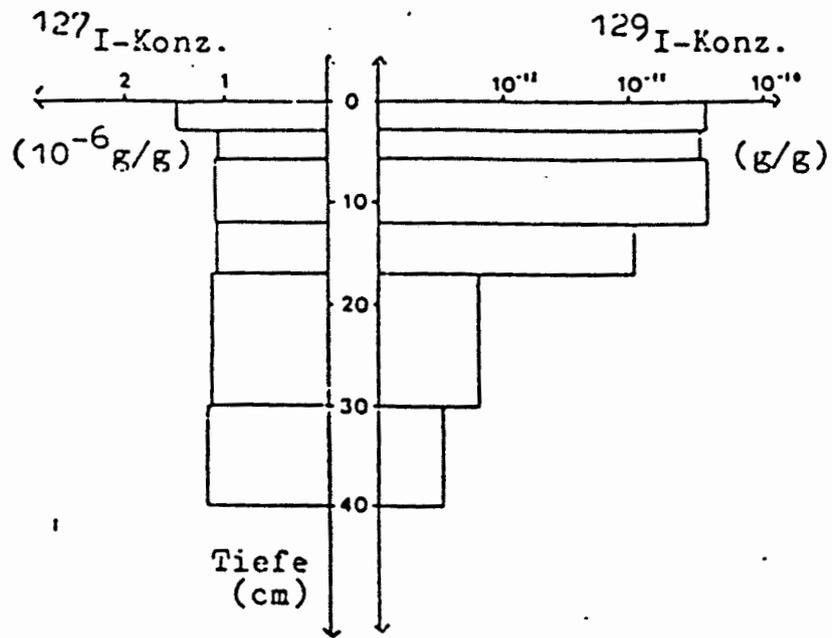


Abb 5 : ^{129}I - und ^{127}I -Gehalt von Bodenproben aus der Umgebung der WAK (Wiese, 1. HWR, ca. 600 m)

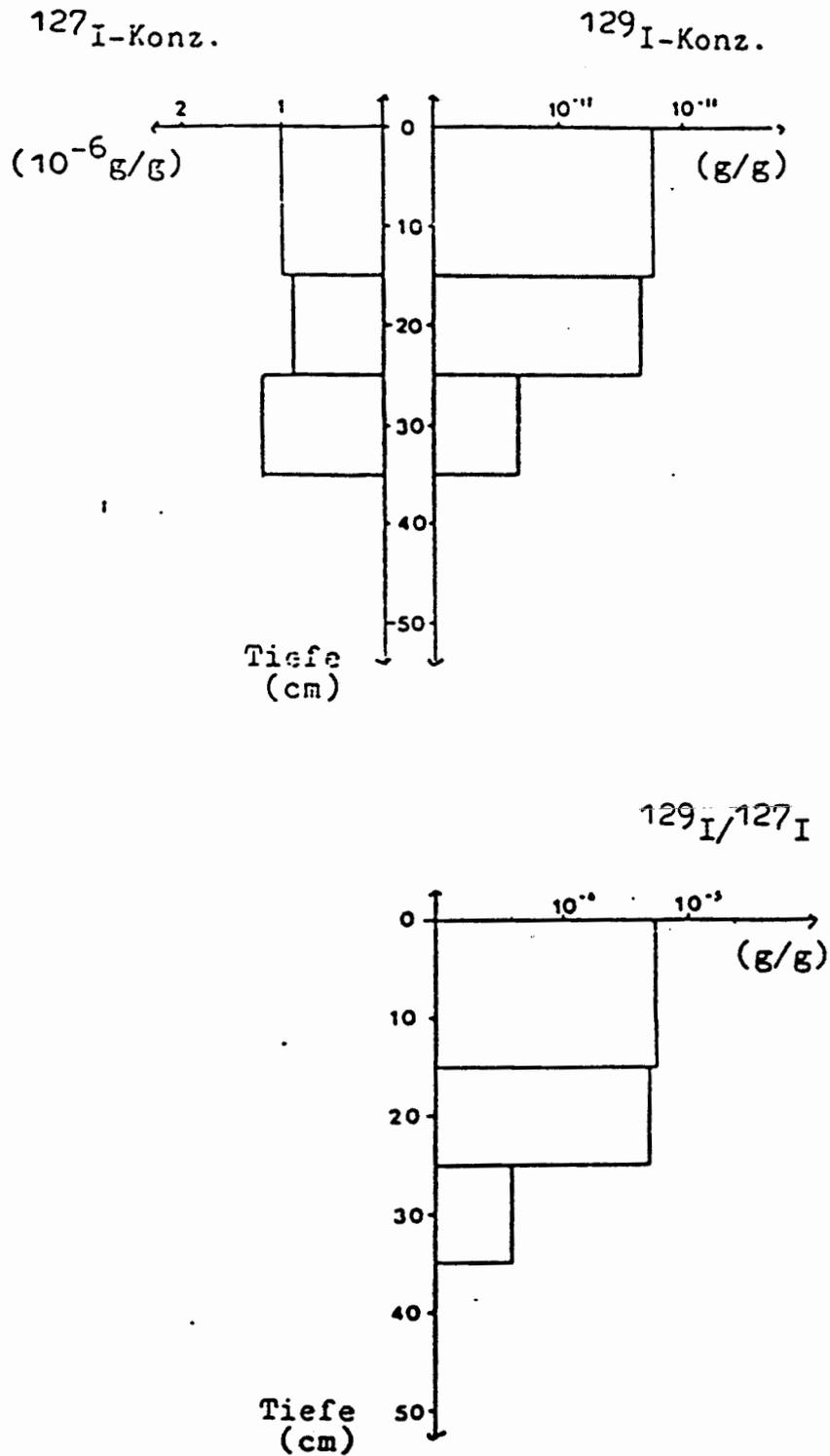


Abb. 6 : ^{129}I - und ^{127}I -Gehalt von Bodenproben aus der Umgebung der WAK (Feld, 1. HWR, ca. 700 m)

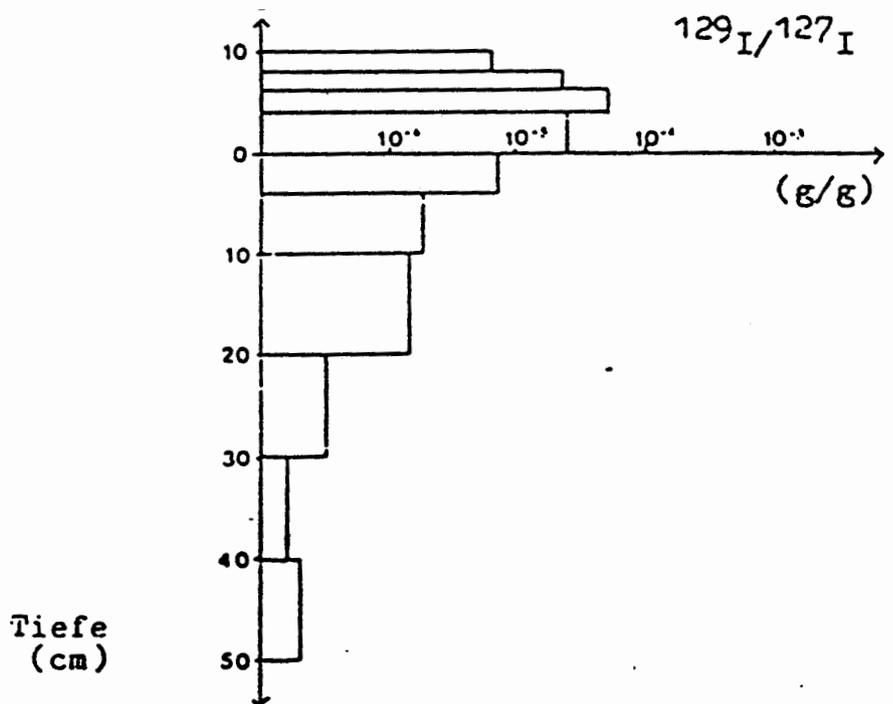
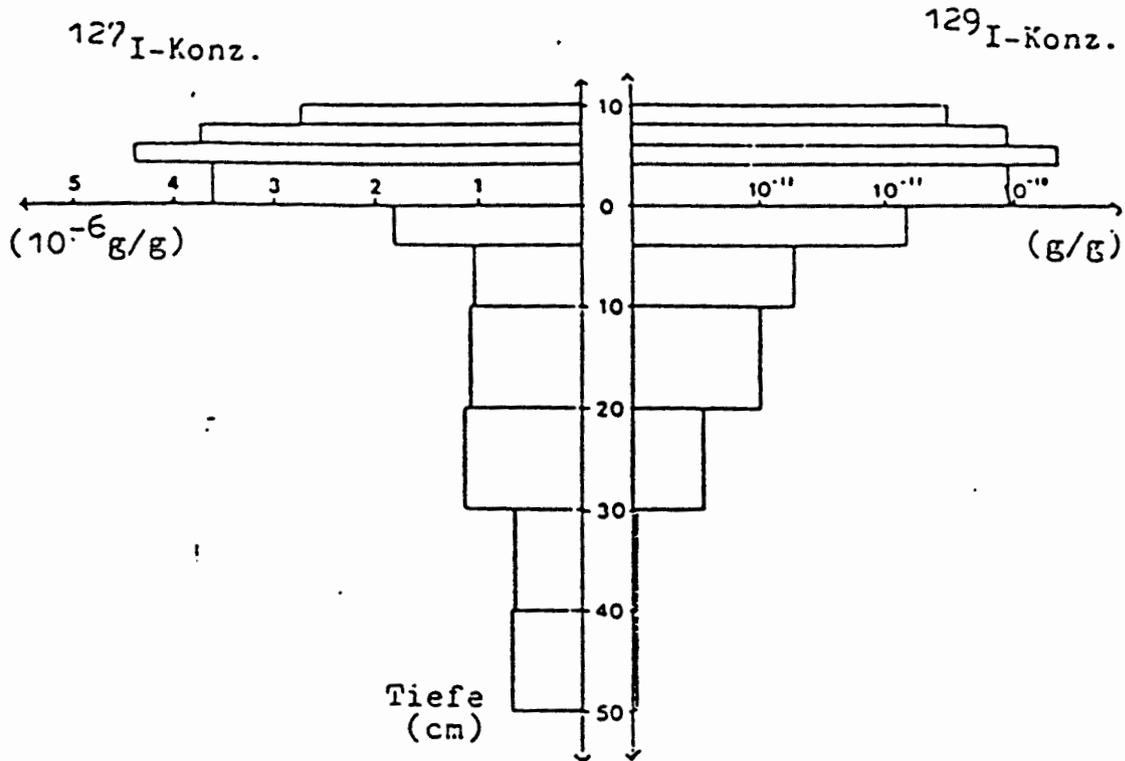


Abb.7 : ^{129}I - und ^{127}I -Gehalt von Bodenproben aus der Umgebung der WAK (Wald, 1. HWR, ca. 3000 m)

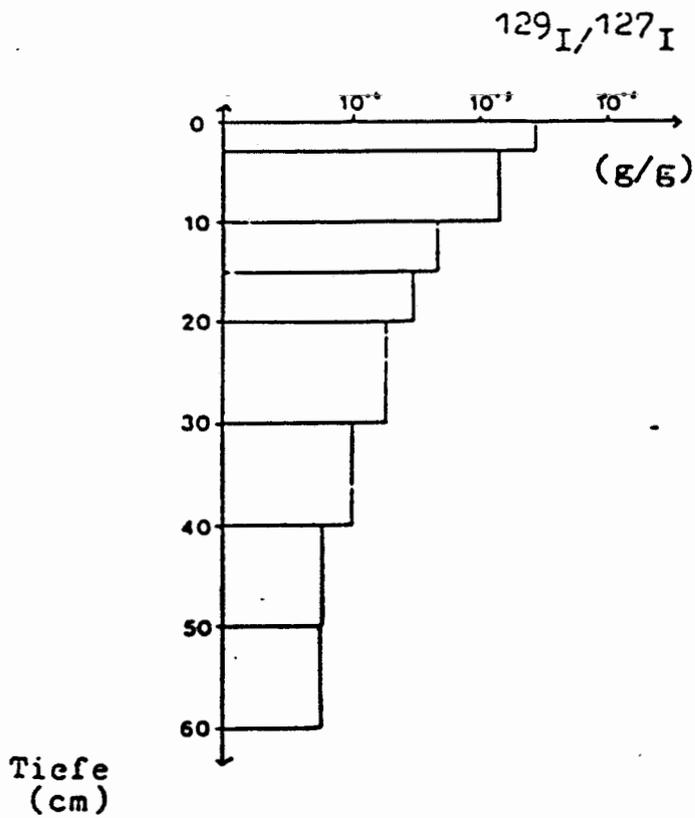
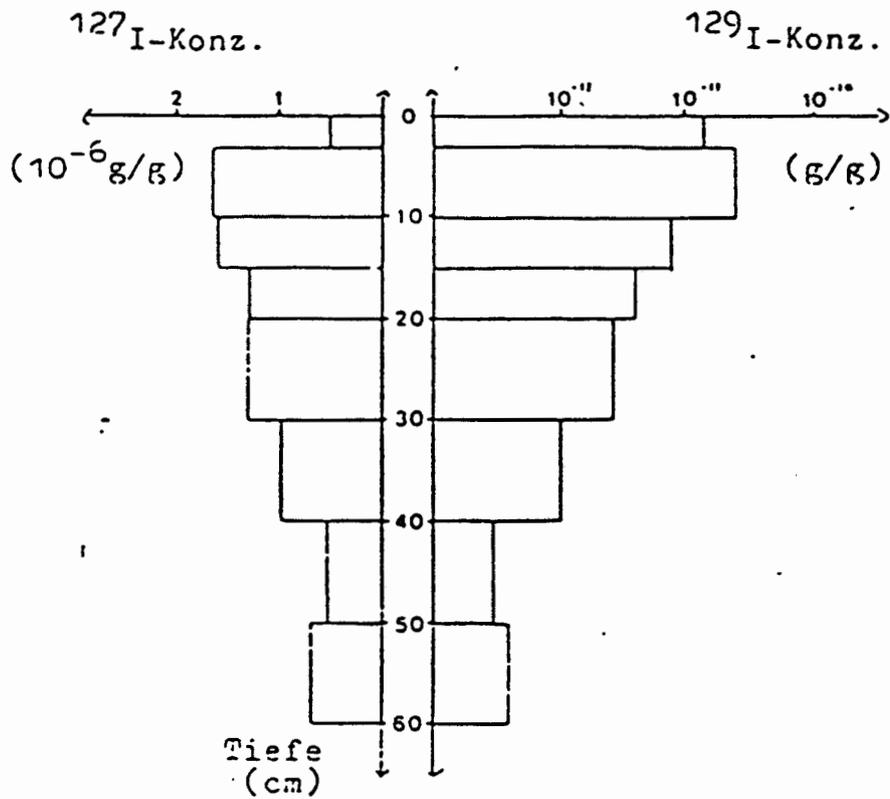


Abb. 8 : ^{129}I - und ^{127}I -Gehalt von Bodenproben aus der Umgebung der WAK (Wiese, 1.HWR, ca. 5200 m)

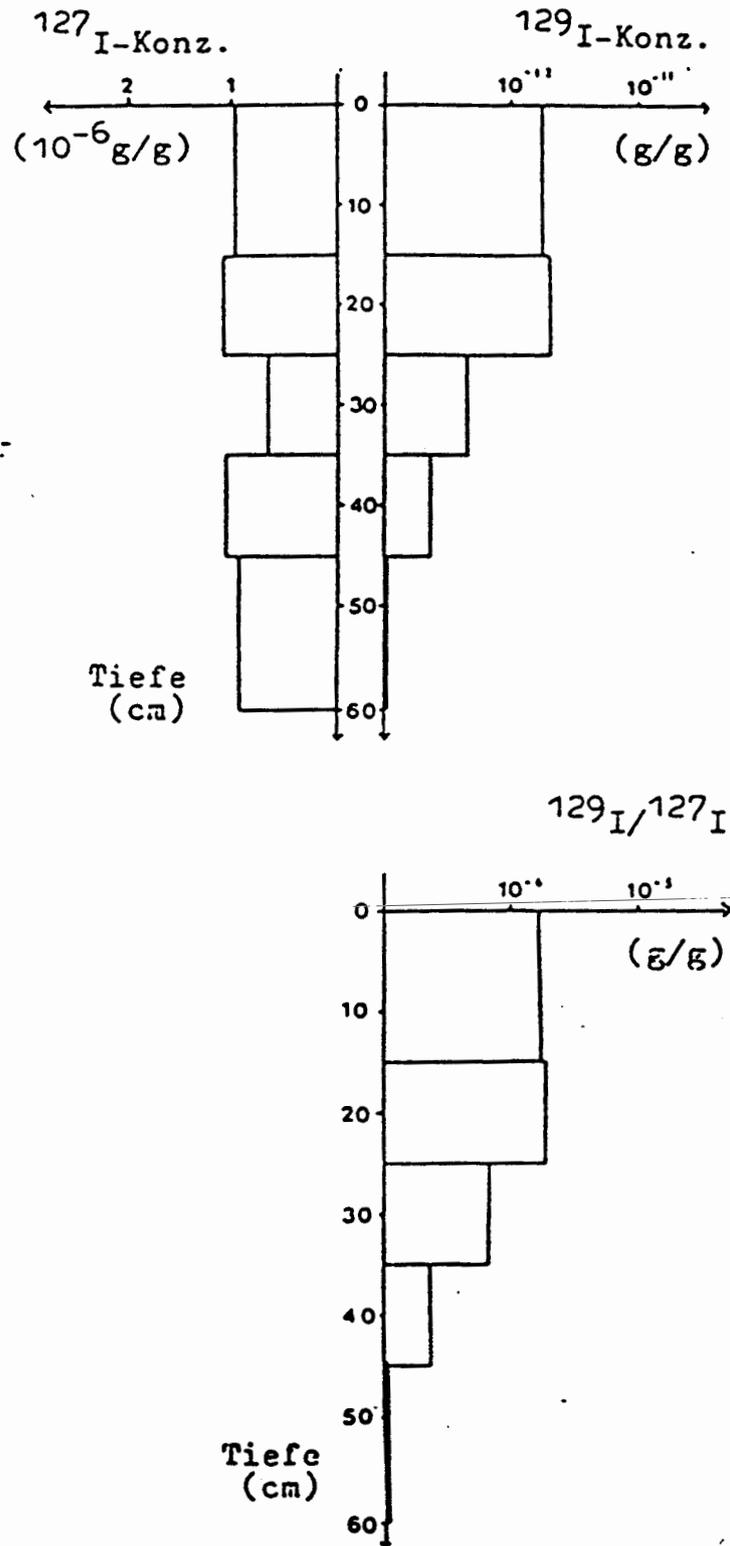


Abb.9 : ^{129}I - und ^{127}I -Gehalt von Bodenproben aus der Umgebung der WAK (Feld, 1. HWR, ca. 3000 m)