

KfK 5119
Juli 1993

Transferfaktoren Boden-Pflanze für I-129 und Weidebewuchs

A. Haisch, H. Schüttelkopf
Hauptabteilung Sicherheit

Kernforschungszentrum Karlsruhe

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE
Hauptabteilung Sicherheit

KfK 5119

Transferfaktoren Boden-Pflanze für I-129
und Weidebewuchs

A. Haisch*, H. Schüttelkopf

***Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, München**

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

Als Manuskript gedruckt
Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
Postfach 3640, 76021 Karlsruhe

ISSN 0303-4003

Zusammenfassung

Boden-Pflanzen-Transferfaktoren für I-129 und I-127 auf Weidebewuchs wurden auf Urgesteins-, Jura- und Kreideboden gemessen. Es wurden parallel Gewächshaus- (Karlsruhe) und Feldversuche (München) in Lysimetern durchgeführt. Drei Grundwasserstände wurden eingehalten und der Einfluß einer 6-wöchigen Überflutung wurde gemessen. Die Transferfaktoren lagen zu ca. 90 % im Bereich von 0,000 bis 0,020. Die höchsten Werte wurden auf der Urgesteinsverwitterung gemessen. Die Überflutung der Lysimeter führt zu einer deutlichen Erhöhung des Transferfaktors direkt nach der Überflutung.

Soil-Plant-Transfer Factors for I-129 and pasture vegetation

Summary

The transfer factors for soil/plant, I-129 and I-127 and pasture vegetation have been measured with soils developed by weathering of granite, jura and cretaceous formations. Greenhouse (Karlsruhe) and field experiments (Munich) have been performed using lysimeters. Three ground water levels and the influence of a six weeks flooding was measured. About 90 % of the transfer factors ranged from 0.000 to 0.020. The highest values have been determined with soils from granite weathering. The flooding of the lysimeters caused an important increase of the transfer factors after the end of flooding.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Zielsetzung	2
3	Methoden	2
3.1	Auswahl der Böden für die Lysimeter- befüllung	2
3.2	Befüllung der Lysimeter, Bodenkontami- nation und Lysimenteraufstellung	6
3.3	Pflanzenanzucht	7
3.3.1	LBP	7
3.3.2	KfK	18
3.4	Probenahme und Probenvorbereitung	28
3.4.1	LBP	28
3.4.2	KfK	28
3.5	Analytik und Messung der Iodisotope	29
3.5.1	Institut für Nuklearchemie der Universität Bonn	29
3.5.2	Niedersächsisches Institut für Radio- ökologie an der Universität Hannover	30
3.5.3	KfK	30
3.5.4	Institut für Radiochemie der Techni- schen Universität München	31
3.6	Datenauswertung	32
3.7	Vergleichende Übersicht über die Methoden	33
4	Ergebnisse	37
4.1	Bodenanalysen: I-127 und I-129	37
4.2	Pflanzenanalysen: I-127 und I-129	43
4.3	Luftanalysen	52
4.4	Transferfaktor Boden - Pflanze des I-127	54
4.5	Transferfaktor Boden - Pflanze des I-129	57
5	Zusammenfassung und Bewertung	62
6	Quellenverzeichnis	65

1 **Einleitung**

Die Deutsche Gesellschaft für Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen mbH (DWK) hat einen Antrag auf Genehmigung zur Errichtung einer Wiederaufarbeitungsanlage (WAW) für Kernbrennstoffe in Bayern, Standort Wackersdorf, beim Bayerischen Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (StLMU) gestellt. Das StLMU setzte eine Gutachter-ARGE zur Prüfung der Genehmigungsvoraussetzungen ein.

Im Rahmen dieser Gutachter-ARGE beurteilt die GSF die radioökologischen Auswirkungen der Anlage. Die Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau (LBP) hat in deren Auftrag in einer 3 Jahre dauernden Untersuchung den standortspezifischen Transfer von I-125 und Sr-85 vom Boden in Ackerkulturen experimentell bestimmt. Die ebenfalls erfolgte Untersuchung des Iodtransfers Boden - Grünlandbewuchs lieferte jedoch keine im genannten Zusammenhang voll verwertbaren Ergebnisse. Daher wurde eine weitere Untersuchung erforderlich, die sich ausschließlich mit dem Iodtransfer Boden - Grünlandbewuchs befaßte. Die LBP und die Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH (KfK) haben sich der GSF gegenüber vertraglich verpflichtet, an diesem Programm mitzuwirken.

Die I-127- und I-129-Analysen der LBP-Proben wurden an folgenden Institutionen ausgeführt:

Institut für physikalische Chemie der
Universität Bonn, Leiter Prof. Dr. D.C. Aumann,

Niedersächsisches Institut für Radioökologie an der
Universität Hannover (NIR), Leiter Prof. Dr. Niemann,

Institut für Radiochemie der Technischen
Universität München, Leiter Prof. Dr. F. Baumgärtner.

Das KfK führte die Analysen selbst durch.

Die Untersuchung sollte 5 Vegetationsperioden umfassen und von 1987 bis 1992 dauern. Die DWK hat 1989 die Rücknahme ihres Genehmigungsantrags angekündigt, so daß die GSF die Untersuchungsaufträge an die LBP und KfK vorzeitig kündigte.

Im vorliegenden Bericht werden die Ergebnisse der Jahre 1987, 1988 und 1989 zusammengefaßt dargestellt.

2 Zielsetzung

Die standortspezifische Transferfaktorbestimmung hatte die vegetationsbezogenen Merkmale des 5 km Bereiches um das Planungsprojekt zu berücksichtigen. Als entscheidende Parameter sind in diesem Zusammenhang die Bodenart und die Bodenfeuchte zu betrachten.

Ferner war die Möglichkeit ins Auge zu fassen, daß die Pflanzen durch I-129 aus der Atmosphäre kontaminiert werden können. Eine solche Iod-Deposition auf den oberirdischen Pflanzenteilen würde einen hohen Transferfaktor vortäuschen. Die Berechnung der Strahlenexposition für die Bevölkerung erfordert jedoch eine klare Trennung zwischen den beiden Expositionspfaden Boden - Pflanze und Luft - Pflanze.

In dem 5 Jahre umfassenden Untersuchungsvorhaben war außerdem zu prüfen, ob die Intensität der Iodfixierung durch den Boden zeitunabhängig ist oder allmählich zunimmt. Der Transferfaktor würde in diesem Falle sinken.

3 Methoden

3.1 Auswahl der Böden für die Lysimeterbefüllung

In die Untersuchung wurden nur Böden von Grünlandstandorten einbezogen. Durch eine geeignete Auswahl der Grünlandstandorte war sicherzustellen, daß den spezifischen Eigenheiten der Grünlandstandorte des 5 km Bereiches hinsichtlich ihrer chemischen und physikalischen Bodeneigenschaften, aber auch hinsichtlich der für das Grünlandwachstum entscheidenden Bodenfeuchte Rechnung getragen wird. Die chemischen und physikalischen Bodeneigenschaften werden weitgehend von dem Material bestimmt, aus dem sich in geologischen Zeiträumen die Bodenkrume entwickelt hat, d.h. von seiner geologischen bzw. petrographischen Herkunft.

Die Flächenanteile der einzelnen geologischen Einheiten sowohl an der gesamten landwirtschaftlichen Fläche (=LF) des 5 km Umfeldes der WAW als auch am Grünland wurden durch KERN ermittelt (Tab. 3-1).

3 Methoden
3.1 Auswahl der Böden

Tabelle 3-1: Anteil der Grünlandflächen und deren geologische Herkünfte an der gesamten landwirtschaftlichen Fläche (LF)

geologische Herkunft	LF ha	Grünland ha	%
Urgestein	1088	245	8,7
Jura	371	93	3,3
Keuper	149	55	2,0
Kreide	1114	192	6,9
Sonstige	79	52	1,9
gesamt	2801	637	22,8

Weniger als ein Viertel der gesamten LF werden als Grünland bewirtschaftet. Davon liegen ca. 9% auf einer Urgesteinverwitterung, ca. 7% sind aus Material der Kreidezeit entstanden und ca. 3% aus Ablagerungen der Jurazeit.

Von jeder dieser geologischen Herkünfte wurden verschiedene Feuchtestufen gewählt. Grundlage für das Auswahlkriterium bildete eine vegetationskundliche Standortuntersuchung. Ihr liegt eine Einstufung der Feuchteverhältnisse an Hand der Artenzusammensetzung nach L-1 zugrunde.

Tabelle 3-2: Ökologische Feuchtegrade der Grünlandflächen und deren Flächenanteile am gesamten Grünland im 5 km Bereich um das Planungsprojekt

Grad	Bezeichnung	Hektar	Anteil
1	meist offene Wasserfläche	1,2	0,2
2	naß	13,2	2,1
3	feucht	36,1	5,7
4	mäßig feucht	479,2	75,2
5	frisch	106,0	16,6
6	mäßig trocken	1,2	0,2
	gesamt	636,9	100,0

Die gesamten Grünlandflächen im 5 km Bereich um das Planungsprojekt WAW besteht zu 97,5% aus Flächen der Feuchtestufen 3 - 5 (Tab. 3-2). Die Zuordnung der verschiedenen Grünland-Feuchteeinheiten zu einer geologischen Bodenherkunft wurde an Hand der bodenkundlichen Kartierung des 5 km Bereiches von KERN vorgenommen (Tab. 3-3).

3 Methoden
 3.1 Auswahl der Böden

Tabelle 3-3: Grünlandflächen gegliedert nach Feuchtegrad und geologischer Bodenherkunft

Feuchte- stufe	Flächenanteil in Hektar				Gesamt
	Jura	Urgestein	Kreide	Sonstige	
3	1,2	23,1	13,8	8,0	36,1
4	78,6	186,1	136,2	78,3	479,2
5	13,0	40,1	33,5	19,4	106,0

Die Grünlandeinheiten der Feuchtestufe 4 auf Urgesteinsverwitterung und auf Ablagerungen aus der Kreidezeit besitzen den größten Flächenanteil. Sie nehmen 29,2% bzw. 21,4 % der gesamten Grünlandfläche ein.

Die wichtigsten Standorteinheiten des Grünlands umfassen, wie die Daten belegen, die geologischen Herkünfte Urgestein, Kreide und Jura sowie die Feuchtegrade 3, 4 und 5. Daher waren zur Erfassung der wichtigsten Grünland-Standortparameter des 5 km Bereiches um das Planungsprojekt WAW 3 x 3 Versuchsböden auszuwählen, mit denen sowohl an der LBP als auch an der am KfK je ein Lysimeter gefüllt wurde (Tab. 3-4).

Tabelle 3-4: Lysimeterbezeichnungen und deren Bedeutung

Lysimeter	geologische Herkunft	Feuchte- stufe
J 3	Jura	3
J 4	Jura	4
J 5	Jura	5
U 3	Urgestein	3
U 4	Urgestein	4
U 5	Urgestein	5
K 3	Kreide	3
K 4	Kreide	4
K 5	Kreide	5

Physikalische und chemische Eigenschaften dieser Versuchsböden sind in Tabelle 3-5 aufgelistet. Die Bodenreaktion wirkt sich auf die Stoffdynamik im Boden und dessen biologische Aktivität aus. Ein niedrigerer pH-Wert senkt die potentielle Austauschkapazität, die in mval je 100 g Boden ausgedrückt wird. Bei den Böden U3, U4 und K5 kommt zu dem niedrigeren pH eine schwache Absättigung des Sorptionskomplexes mit Ca^{++} -Ionen. Beide Eigenschaften bieten ungünstige Ertragsvoraussetzungen. Der Humusgehalt der Böden ergibt sich aus dem Gesamtkohlenstoffgehalt (C_t) durch Multiplikation

3 Methoden
3.1 Auswahl der Böden

mit dem Faktor 1,724. Wegen seiner hohen Sorptionskapazität beeinflusst er zusammen mit dem Gesamtstickstoffgehalt die Fruchtbarkeit der Böden und reguliert zu einem wesentlichen Anteil den Bodenwasserhaushalt des Krümmenbereiches. Die C_t- und N_t-Gehalte der Versuchsböden liegen in den üblichen Größenbereichen von Wiesenböden.

Tabelle 3-5: Chemische und physikalische Eigenschaften der Versuchsböden

Eigenschaft	Bodenherkunft *								
	J 3	J 4	J 5	U 3	U 4	U 5	K 3	K 4	K 5
pH	5,3	6,8	6,1	6,5	4,3	4,3	6,6	6,3	4,4
C _t (%)	2,88	4,90	2,61	2,94	3,11	3,20	4,37	2,76	2,40
N _t (%)	0,27	0,47	0,25	0,30	0,31	0,30	0,42	0,25	0,24
C/N	10,67	10,43	10,44	9,80	10,03	10,67	10,40	11,04	10,00
AK	14,8	23,2	13,9	16,4	13,6	14,8	21,6	16,0	10,6
Ca ⁺⁺	6,0	11,4	10,7	13,1	4,1	4,1	18,4	11,2	2,2
Mg ⁺⁺	0,6	0,8	1,1	1,9	0,4	0,6	1,2	1,6	0,2
Na ⁺	0,08	0,07	0,05	0,02	0,12	0,04	0,05	0,02	0,05
K ⁺	0,1	0,1	0,6	0,6	0,2	0,2	0,3	0,4	0,1
Ton %	10,1	14,4	9,6	9,1	12,6	14,9	14,4	8,2	8,4
Schluff %	28,2	28,5	26,2	18,4	26,0	25,7	22,9	20,7	27,7
Sand %	61,7	57,1	64,2	72,5	61,4	59,4	62,7	71,1	63,9

* Bezeichnungen s. Tab. 3-4

Die Probenahmestellen und ihre geographische Kennzeichnung sind aus folgender Aufstellung ersichtlich:

Ort	geologische Herkunft	Gauß-Krüger-Koordinaten		Kartenbl. TK 25 Nr.
		Rechtswert	Hochwert	
Grafenricht	Jura	4 514 200	5 463 000	6639
Kemnath	Urgestein	4 517 750	5 467 700	6639
Warmersdorf	Kreide	4 516 025	5 460 625	6739

Die vegetations- und bodenbezogenen Verhältnisse des Standortes Warmersdorf entsprechen denen des Grünlandstandortes Altenschwand, der in der vorausgegangenen Untersuchungsperiode beprobt worden ist. Altenschwand selbst kam für die Probenahme 1987 wegen der fehlenden Feuchtestufe 5 nicht in Betracht. Der Probenahmeort Kemnath liegt in der Nähe des Hirschberges, wo 1985 für Grünlandbewuchs ein Transferfaktor von 0,4 des Iod-129 an Hand der Umweltkontamination ermittelt worden ist. Diese Fläche schied jedoch wegen der fehlenden Feuchtestufe 3 bei der Wahl der Probenahmeorte aus.

3 Methoden

3.2 Befüllung der Lysimeter, Bodenkontamination und Lysimeteraufstellung

3.2 Befüllung der Lysimeter, Bodenkontamination und Lysimeteraufstellung

Die Lysimeter der LBP sind zylindrisch und bei einem Querschnitt von $0,5 \text{ m}^2$ 80 cm hoch. Die Lysimeter des KfK haben einen quadratischen Querschnitt mit einer Fläche von ebenfalls $0,5 \text{ m}^2$ und einer Höhe von 90 cm.

Die Befüllung der Lysimeter beider Versuchsstandorte erfolgte am 16./17. Februar 1987. Die Lysimeter wurden dabei durch einen Bagger in den Boden gedrückt, so daß die Bodenstruktur im Lysimeter ungestört erhalten blieb.

Die Grasnarbe von 0 - 10 cm Tiefe wurde abgehoben, zerkleinert und von groben Wurzelresten und Steinen über 2 mm Größe befreit. Die Dotierung des Bodens mit I-129 geschah für beide Versuchsstandorte gemeinsam im KfK. Jeweils 3 kg dieses aufbereiteten Bodens wurden mit I-129 als wäßrige Lösung von NaI in einem 1/2stündigen Mischvorgang in einem Mixer vermischt. Dieser kontaminierte Boden wurde in einem weiteren Mischvorgang mit einem speziellen Konus-Schneckenmischer mit dem Rest des aufbereiteten Bodens eines Lysimeters vermischt.

Die erforderliche Dauer des zweiten Mischvorganges wurde durch einen Vorversuch mit kurzlebigen Iod ermittelt. 3 kg Boden, der mit I-123 nach dem beschriebenen Verfahren markiert worden war, wurde mit 54 kg Boden im Konus-Schneckenmischer vermischt. Nach 0,5, 1,0 und 2,0 h Mischzeit wurden je 10 Proben mit 24 - 32 g Boden entnommen. Für die I-123-Analyse dieser Proben dienten ein NaI(Tl)-Kristall als Detektor und ein Einkanalgamma-spektrometer. Die Standardabweichungen des Mittelwertes der jeweils 10 Proben betragen für die Mischzeiten 0,5, 1,0 und 2,0 h 25 %, 8 % und 6 % resp.. Die Mischdauer zur Einbringung von I-129 betrug daher einheitlich 2 h.

Die in die Lysimeter eingebrachten Aktivitäten errechnen sich an Hand des Kalibrierungszertifikates der Lieferfirma zu 21,6 bzw. 21,1 kBq. Die Füllmengen für die einzelnen Lysimeter der LBP lagen zwischen 47,0 und 62,5 kg. Im KfK betragen sie einheitlich für alle Lysimeter 57 kg. Daraus errechnen sich für die Lysimeter der LBP spezifische Aktivitäten von durchschnittlich 388 Bq I-129 je kg schwach feuchten Bodens. Zwischen den 9 Lysimetern ergaben sich geringfügige Unterschiede. Die dadurch verursachte Streuung betrug $\pm 10 \%$. Die Lysimeterböden im KfK sind einheitlich mit 379 Bq/kg Feuchtboden dotiert worden.

3 Methoden

3.3 Pflanzenanzucht

Die Lysimeter der LBP und des KfK wurden in ein Übergefäß gesetzt. Die LBP stellte die Lysimeter im Freiland in München auf. Plexiglasdächer in 45 cm Höhe über den einzelnen Lysimetern hatten Regengüsse abzuhalten, die zu einer Überschwemmung bzw. zu einer lang anhaltenden Überflutung führen würden. Die Lysimeter des KfK wurden in einem klimatisierten Gewächshaus aufgestellt, in dem die Zuluft über Aerosolfilter der Sonderklasse S und über ein TEDA-imprägniertes Aktivkohlefilter geleitet wurde.

Zur Simulation der natürlichen Feuchteverhältnisse am Standort Wackersdorf wurden die Übergefäße der Lysimeter mit Wasser gefüllt. Der Wasserstand der Feuchtestufe 3 wurde bei 30 cm unter der Oberfläche, der der Feuchtestufe 4 bei 60 cm und der der Feuchtestufe 5 bei >80 cm gehalten.

3.3 Pflanzenanzucht

Die gleichmäßige, maschinelle Kontamination der Versuchsböden mit dem Iod-Tracer erforderte eine Neuansaat des Grünlands. Dazu diente für beide Versuchsorte eine standortübliche Saatgutmischung folgender Zusammensetzung:

Wiesenschwingel (C.cumosus)	42,9 %
Lieschgras (Landsberger)	14,3 %
Rotschwingel (Roland)	11,3 %
Dt. Weidelgras (Citadel)	8,6 %
Glatthafer (Arel)	8,6 %
Wiesenrispe (Erte)	8,6 %
Rotklee (Lucrum)	2,9 %
Weißklee (Huia)	1,4 %
Schwedenklee (Odenwälder)	1,4 %

Die Düngung erfolgte mit chloridfreiem Nitrophoska (12, 12, 17, 2) Ende April und nach jedem Ernteschnitt. Die Nährstoffmengen in Hektaräquivalenten waren 48 kg N, 48 kg P₂O₅ und 68 kg K₂O. Dieses Düngungsschema wurde während der gesamten Versuchsdauer an beiden Versuchsorten beibehalten.

Wegen der unterschiedlichen Vegetationsbedingungen des Freilandes bzw. des Gewächshauses werden die Anzucht der LBP und des KfK getrennt dargestellt.

3.3.1 LBP

An der LBP wurde die Aussaat am 16.04.1987 mit 2 g je m² vorgenommen. Wegen des extrem kühlen Wetters lief die Ansaat nur langsam und lückig auf. Teilweise mußte nachgesät werden.

3 Methoden

3.3 Pflanzenanzucht

Solange das Gras keinen kräftigen Wuchs aufwies, wurde nur sehr verhalten mit Leitungswasser gegossen, um eine Bodenverschlammung zu vermeiden. 1988 wurde in Anlehnung an die vom Deutschen Wetterdienst (DWD) in Mappenberg gemessenen Niederschläge wöchentlich das Gießwasser bemessen (Tab. 3-6 bis 3-8). Die monatlichen Wassergaben in München und Mappenberg stimmen nicht exakt überein, da die Niederschlagsmengen aus Mappenberg mit einer zeitlichen Verzögerung in München zur Anwendung kamen.

Tabelle 3-6: Gießwassermengen (mm) und Niederschläge in Mappenberg (mm) 1987 (LBP)

Lysimeter/ Ort *	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Summe
J 3	27	61	104	50	84	326
J 4	41	61	104	50	84	340
J 5	41	61	108	50	84	344
U 3	40	69	98	50	84	341
U 4	43	69	104	56	84	356
U 5	46	69	104	56	84	359
K 3	53	70	104	50	88	365
K 4	53	70	104	51	88	366
K 5	49	70	104	56	88	367
Mappenberg**	87	90	104	59	48	388

* Bezeichnungen s. Tab. 3-4

** Nach Angaben des DWD

Tabelle 3-7: Gießwassermengen (mm) und Niederschläge in Mappenberg (mm) 1988 (LBP)

Zeit	Gießwasser LBP	Niederschlag Mappenberg *
ab 15.04.88	9,2	7,0
Mai	28,9	35,7
Juni	78,7	97,8
Juli	78,0	63,3
August	96,1	98,0
September	52,6	48,1
Oktober	38,6	54,0
bis 15.11.88	28,0	11,3
Gesamt	410,1	415,2

* Nach Angaben des DWD

3 Methoden
3.3 Pflanzenanzucht

Tabelle 3-8: Gießwassermengen (mm) und Niederschläge in Mappenberg (mm) 1989 (LBP)

Zeit	Gießwasser LBP	Niederschlag Mappenberg *
ab 26.04.89	17,6	22,2
Mai	55,5	37,4
Juni	49,0	50,6
Juli	83,9	92,8

* Nach Angaben des DWD

Bereits im ersten Jahr hat sich gezeigt, daß die Wasserstände durch das Gießwasser allein nicht dem Plan entsprechend zu halten waren. Daher wurde ab 1988 zusätzlich Wasser in das Übergefäß gegeben, um die Wasserstände halten zu können (Tab. 3-9, 3-10).

Tabelle 3-9: Monatliche Wassergaben (mm) zur Einhaltung der Wasserstände 1988 (LBP)

Lysime- ter *	M o n a t e						Summe
	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	
J 3	36	76	34	56	44	16	262
J 4	12	62	36	44	40	8	202
J 5	0	0	0	0	0	0	0
U 3	16	58	34	34	50	4	196
U 4	14	66	22	60	42	28	232
U 5	0	0	0	0	0	0	0
K 3	18	66	62	68	62	16	292
K 4	8	50	22	42	32	14	168
K 5	0	0	0	0	0	0	0

* Bezeichnungen s. Tab. 3-4

3 Methoden
 3.3 Pflanzenanzucht

Tabelle 3-10: Monatliche Wassergaben (mm) zur Einhaltung der Wasserstände 1989 (LBP)

Lysimeter*	Mai	Juni	Juli
J 3	20	26	22
J 4	24	18	42
J 5	0	0	0
U 3	34	22	40
U 4	20	18	42
U 5	0	0	0
K 3	30	16	14
K 4	12	0	18
K 5	0	0	0

* Bezeichnungen s. Tab. 3-4

Unter den klimatischen Verhältnissen am Standort Wackersdorf steigt im allgemeinen die Bodenfeuchte im Winter bis zur Sättigung an. Zur Simulation dieser Verhältnisse wurden die Lysimeter zu Winterbeginn geflutet, d.h. der Wasserstand im Übergefäß erreichte die Bodenoberfläche. 1987 wurde die Flutung am 20. November vorgenommen. Die Absenkung erfolgte dann stufenweise:

Lysimeter *	1.Absenkung 18. 12. 87	2.Absenkung 15./18.4.88
J3, U3, K3	17 cm	30 cm
J4, U4, K4	33 cm	60 cm
J5, U5, K5	50 cm	>80 cm

* Bezeichnungen s. Tab. 3-4

1988 wurde die Flutung in Stufen vorgenommen und zwar am 7. November bis 20 cm unter Null und dann am 1. Dezember vollständig. Die 1. Absenkung der Wasserstände auf 17 cm, 33 cm und 50 cm unter Null wurde am 19. Dezember durchgeführt. Die endgültige Absenkung fand am 25.4.1989 statt.

Der Grünlandbewuchs wurde in Anlehnung an die Verhältnisse der landwirtschaftlichen Praxis jährlich dreimal geerntet. 1989 wurde das Untersuchungsvorhaben nach dem 1. Schnitt abgebrochen. Die Ertragswerte sind in den Tabellen 3-11 bis 3-17 aufgeführt.

3 Methoden
 3.3 Pflanzenanzucht

Tabelle 3-11: Frisch(FS)- und Trocken(TS)-
 substanzmengen des 1. Grün-
 landschnittes 1987 (LBP)

Lysime- ter *	Teil- probe	FS (g)	TS (g)	TS (%)
J 3	-	1313,0	151,5	11,5
J 4	-	846,0	75,8	9,0
J 5	-	682,0	59,7	8,8
U 3	-	724,0	61,2	8,5
U 4	-	238,0	22,3	9,4
U 5	-	123,0	12,9	10,5
K 3	-	1012,0	76,1	7,5
K 4	-	1109,0	86,4	7,8
K 5	-	937,0	75,7	8,1

* Bezeichnungen s. Tab. 3-4

3 Methoden
3.3 Pflanzenanzucht

Tabelle 3-12: Frisch(FS)- und Trocken(TS)-substanzmengen des 2. Grünlandschnittes 1987 (LBP)

Lysimeter *	Teilprobe	FS (g)	TS (g)	TS (%)
J 3	a	255,5	34,6	13,5
J 3	b	223,1	27,2	12,2
J 3	c	194,7	26,1	13,4
J 4	a	290,9	35,3	12,1
J 4	b	278,7	28,2	10,1
J 4	c	225,0	27,4	12,2
J 5	a	306,5	44,1	14,4
J 5	b	272,7	33,4	12,2
J 5	c	225,2	28,1	12,5
U 3	a	249,0	30,9	12,4
U 3	b	296,7	36,0	12,1
U 3	c	200,6	26,7	13,3
U 4	a	268,7	37,6	14,0
U 4	b	291,2	40,0	13,7
U 4	c	333,0	46,4	13,9
U 5	a	238,5	34,8	14,6
U 5	b	336,3	40,1	11,9
U 5	c	330,6	43,1	13,0
K 3	a	237,6	28,7	12,1
K 3	b	210,7	23,6	11,2
K 3	c	285,5	34,6	12,1
K 4	a	270,3	31,6	11,7
K 4	b	300,7	31,3	10,4
K 4	c	239,0	25,3	10,6
K 5	a	202,6	26,2	12,9
K 5	b	254,5	29,4	11,6
K 5	c	256,7	30,4	11,8

* Bezeichnungen s. Tab. 3-4

3 Methoden
 3.3 Pflanzenanzucht

Tabelle 3-13: Frisch(FS)- und Trocken(TS)-
 substanzmengen des 3. Grün-
 landschnittes 1987 (LBP)

Lysime- ter *	Teil- probe	FS (g)	TS (g)	TS (%)
J 3	a	330,5	40,1	12,1
J 3	b	218,4	38,1	17,4
J 3	c	255,0	37,9	14,9
J 4	a	399,0	49,8	12,5
J 4	b	376,0	35,3	9,4
J 4	c	331,1	46,0	13,9
J 5	a	379,7	60,8	16,0
J 5	b	357,6	50,4	14,1
J 5	c	339,7	49,3	14,5
U 3	a	247,0	39,9	16,2
U 3	b	327,9	52,2	15,9
U 3	c	258,4	46,8	18,1
U 4	a	262,5	41,8	15,9
U 4	b	242,2	38,9	16,1
U 4	c	284,4	47,7	16,8
U 5	a	249,8	43,2	17,3
U 5	b	299,3	45,6	15,2
U 5	c	298,5	60,9	20,4
K 3	a	212,2	28,0	13,2
K 3	b	339,4	42,3	12,5
K 3	c	281,1	35,2	12,5
K 4	a	336,1	55,3	16,5
K 4	b	299,5	47,0	15,7
K 4	c	264,5	41,1	15,5
K 5	a	299,0	45,9	15,4
K 5	b	325,0	47,0	14,5
K 5	c	385,0	52,1	13,5

* Bezeichnungen s. Tab. 3-4

3 Methoden
 3.3 Pflanzenanzucht

Tabelle 3-14: Frisch(FS)- und Trocken(TS)-
 substanzmengen des 1. Grün-
 landschnittes 1988 (LBP)

Lysime- ter *	Teil- probe	FS (g)	TS (g)	TS (%)
J 3	a	491,0	89,3	18,2
J 3	b	339,0	61,1	18,0
J 3	c	419,6	76,9	18,3
J 4	a	411,6	74,4	18,1
J 4	b	318,0	53,4	16,8
J 4	c	415,0	71,2	17,2
J 5	a	335,8	86,9	25,9
J 5	b	271,5	62,1	22,9
J 5	c	318,9	73,5	23,0
U 3	a	307,7	58,2	18,9
U 3	b	316,0	61,9	19,6
U 3	c	253,3	49,0	19,3
U 4	a	331,9	77,7	23,4
U 4	b	304,5	68,7	22,6
U 4	c	402,3	87,6	21,8
U 5	a	286,1	72,0	25,2
U 5	b	357,4	80,9	22,6
U 5	c	512,3	113,1	22,1
K 3	a	320,3	67,3	21,0
K 3	b	355,3	65,5	18,4
K 3	c	325,7	62,4	19,2
K 4	a	419,1	94,4	22,5
K 4	b	308,0	60,4	19,6
K 4	c	375,9	70,6	18,8
K 5	a	393,7	92,5	23,5
K 5	b	323,5	60,7	18,8
K 5	c	508,6	107,8	21,2

* Bezeichnungen s. Tab. 3-4

3 Methoden
 3.3 Pflanzenanzucht

Tabelle 3-15: Frisch(FS)- und Trocken(TS)-
 substanzmengen des 2. Grün-
 landschnittes 1988 (LBP)

Lysime- ter *	Teil- probe	FS (g)	TS (g)	TS (%)
J 3	a	367,8	90,0	24,5
J 3	b	329,7	78,0	23,7
J 3	c	376,8	88,3	23,4
J 4	a	281,4	81,8	29,1
J 4	b	228,6	65,7	28,7
J 4	c	306,6	81,4	26,5
J 5	a	177,8	69,0	38,8
J 5	b	152,3	50,3	33,0
J 5	c	199,4	65,7	32,9
U 3	a	256,7	66,8	26,0
U 3	b	290,2	80,1	27,6
U 3	c	222,4	59,8	26,9
U 4	a	241,7	81,3	33,6
U 4	b	207,6	62,0	29,9
U 4	c	363,2	100,7	27,7
U 5	a	136,8	50,8	37,1
U 5	b	202,1	62,1	30,7
U 5	c	215,1	68,2	31,7
K 3	a	331,1	92,2	27,8
K 3	b	373,4	97,8	26,2
K 3	c	282,4	74,8	26,5
K 4	a	327,4	97,1	29,7
K 4	b	211,2	51,5	24,4
K 4	c	281,7	69,6	24,7
K 5	a	155,0	54,8	35,4
K 5	b	110,9	35,8	32,3
K 5	c	198,2	67,0	33,8

* Bezeichnungen s. Tab. 3-4

3 Methoden
 3.3 Pflanzenanzucht

Tabelle 3-16: Frisch(FS)- und Trocken(TS)-substanzenmengen des 3. Grünlandschnittes 1988 (LBP)

Lysimeter *	Teilprobe	FS (g)	TS (g)	TS (%)
J 3	a	355,2	75,5	21,3
J 3	b	313,8	58,6	18,7
J 3	c	370,0	74,7	20,2
J 4	a	319,9	74,1	23,2
J 4	b	208,4	51,2	24,6
J 4	c	353,5	76,7	21,7
J 5	a	205,6	53,7	26,1
J 5	b	165,7	39,5	23,8
J 5	c	271,6	64,5	23,7
U 3	a	237,3	54,9	23,1
U 3	b	256,6	60,4	23,5
U 3	c	272,8	63,5	23,3
U 4	a	280,8	75,0	26,7
U 4	b	224,8	56,7	25,2
U 4	c	395,7	94,5	23,9
U 5	a	148,0	36,9	24,9
U 5	b	222,2	51,2	23,0
U 5	c	258,5	60,8	23,5
K 3	a	322,7	77,5	24,0
K 3	b	253,9	60,0	23,6
K 3	c	274,5	58,9	21,5
K 4	a	352,9	93,3	26,4
K 4	b	167,9	38,7	23,0
K 4	c	233,3	54,8	23,5
K 5	a	211,2	54,3	25,7
K 5	b	129,8	31,2	24,0
K 5	c	279,0	69,5	24,9

* Bezeichnungen s. Tab. 3-4

3 Methoden
 3.3 Pflanzenanzucht

Tabelle 3-17: Frisch(FS)- und Trocken(TS)-
 substanzmengen des 1. Grün-
 landschnittes 1989 (LBP)

Lysime- ter *	Teil- probe	FS (g)	TS (g)	TS (%)
J 3	a	273,4	58,7	21,5
J 3	b	221,4	47,5	21,5
J 3	c	236,6	54,5	23,0
J 4	a	232,6	52,4	22,5
J 4	b	223,1	51,8	23,2
J 4	c	267,2	54,7	20,5
J 5	a	296,7	74,7	25,2
J 5	b	204,1	46,6	22,8
J 5	c	286,1	63,2	22,1
U 3	a	210,4	46,0	21,9
U 3	b	245,9	56,6	23,0
U 3	c	195,9	45,4	23,2
U 4	a	217,3	56,2	25,9
U 4	b	193,2	53,2	27,5
U 4	c	288,8	75,7	26,2
U 5	a	254,4	66,0	25,9
U 5	b	183,5	44,6	24,3
U 5	c	254,9	65,6	25,7
K 3	a	258,6	64,2	24,8
K 3	b	122,9	28,3	23,0
K 3	c	174,7	34,7	19,9
K 4	a	413,3	103,5	25,0
K 4	b	136,0	28,7	21,1
K 4	c	110,6	24,6	22,2
K 5	a	251,6	68,1	27,1
K 5	b	159,5	40,8	25,6
K 5	c	313,7	79,2	25,2

* Bezeichnungen s. Tab. 3-4

Die Jahresgesamterträge der beiden Jahre waren deutlich verschie-
 den. Das Ansaatjahr erbrachte im Durchschnitt nur etwa 1/9 des Er-
 trages 1988. Insbesondere auf Urgesteinsverwitterung ging die Saat
 sehr schlecht auf. Die Abstufung der Jahresgesamterträge 1987 und
 1988 zwischen den Bodenherkünften Jura, Kreide und Urgestein
 dürfte dem natürlichen Ertragspotential dieser Böden entsprechen.

3 Methoden
3.3 Pflanzenanzucht

Während des Vegetationsverlaufes der drei Versuchsjahre traten keine Vorkommnisse auf, die ggf. das Untersuchungsziel hätten in Frage stellen können. Wegen der schwachen Entwicklung des Bewuchses nach der Ansaat konnten von den Lysimetern die vorgesehenen Teilproben des 1. Schnittes nicht genommen werden.

Zur Gewichtung der Transferfaktoren mit den Erträgen der einzelnen Schnitte mit dem Ziel, einen gewichteten Jahresmittelwert zu erhalten, wurden die Ertragsanteile (%) der einzelnen Schnitte am Jahresgesamtertrag errechnet (Tab. 3-18).

Tabelle 3-18: Relative Ertragsanteile der in den Jahren 1987 und 1988 durchgeführten Ernten (LBP)

Lysimeter *	1987			1988		
	1.Schn.	2.Schn.	3.Schn.	1.Schn.	2.Schn.	3.Schn.
J 3	42,6	24,7	32,7	32,8	37,0	30,2
J 4	25,5	30,5	44,0	31,6	36,3	32,1
J 5	18,3	32,4	49,3	39,4	32,7	27,9
U 3	36,5	26,6	36,8	30,5	37,3	32,2
U 4	8,1	45,1	46,7	33,2	34,6	32,1
U 5	4,6	42,0	53,3	44,6	30,4	25,0
K 3	28,3	32,4	39,3	29,7	40,3	29,9
K 4	27,2	27,7	45,1	35,8	34,6	29,6
K 5	24,7	28,0	47,3	45,5	27,5	27,0

* Bezeichnungen s. Tab. 3-4

3.3.2 KfK

Die Pflanzenanzucht im KfK wurde nach dem gleichen Schema vorgenommen, das für die LBP galt.

Die Aussaat des Grasses im KfK erfolgte am 21.04.1987 mit 2 g der o.g. Saatgutmischung je Lysimeter. Der schwache Aufgang erforderte am 01.06.1987 eine Nachsaat von 2,5 g je Lysimeter.

Die Bewässerung folgte zunächst den Niederschlägen von Mappenberg. Da damit der für die drei Feuchtestufen vorgegebene Grundwasserspiegel nicht eingehalten werden konnte, wurde mit abweichenden Mengen gegossen (Tab. 3-19).

3 Methoden
 3.3 Pflanzenanzucht

Tabelle 3-19: Gießwassermengen (mm) und Niederschläge (mm) in Mappenberg 1987 (KfK)

Lysime- ter *	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Summe
J 3	74	32	56	78	52	52	50	394
J 4	62	32	32	44	44	38	54	306
J 5	51	32	40	48	44	46	68	329
U 3	78	32	56	74	68	52	80	440
U 4	62	32	32	44	44	46	64	324
U 5	51	32	36	48	44	46	94	351
K 3	74	32	56	78	72	52	60	424
K 4	58	32	32	40	44	42	54	302
K 5	51	32	40	48	44	42	84	341
Mappen- berg**	52	87	90	104	59	48	18	458

* Bezeichnungen s. Tab. 3-4

** Nach Angaben des DWD

Ab November 1987 wurden die Gießwassermengen um ca. 10 l je Monat angehoben. Dieses war notwendig, um den Austrag von I-129 aus den Lysimetern bestimmen und mit dem Austrag durch das Flutungswasser vergleichen zu können. Die 1988 und 1989 benutzten Gießwassermengen glichen denen des 1. Versuchsjahres.

Die Termine für die Flutung der Lysimeter und der Wasserabsenkung im KfK waren

Jahr	Flutung	Absenkung
1988	04.März	16.April
1989	20.Februar	03.März

Die Erntefrisch- und Erntetrockensubstanzmengen sind in den Tabellen 3-20 bis 3-26 aufgeführt.

3 Methoden
3.3 Pflanzenanzucht

**Tabelle 3-20: Frisch(FS)- und Trocken(TS)-
 substanzmenge des 1. Grün-
 landschnittes 1987 (KfK)**

Lysime- ter ^A	Teil- probe	FS (g)	TS (g)	TS (%)
J 3	-	930,6	134,7	14,5
J 4	-	895,2	108,0	12,1
J 5	-	1341,9	152,1	11,3
U 3	-	790,5	130,8	16,5
U 4	-	750,9	98,7	13,1
U 5	-	836,4	113,4	13,6
K 3	-	1128,0	150,0	13,3
K 4	-	1128,6	130,5	11,6
K 5	-	1479,3	141,6	9,6

* Bezeichnungen s. Tab. 3-4

3 Methoden
3.3 Pflanzenanzucht

Tabelle 3-21: Frisch(FS)- und Trocken(TS)-
substanzmenge des 2. Grün-
landschnittes 1987 (KfK)

Lysime- ter *	Teil- probe	FS (g)	TS (g)	TS (%)
J 3	a	220,3	35,1	15,9
J 3	b	180,5	28,2	15,6
J 3	c	165,9	27,0	16,3
J 4	a	160,2	21,3	13,3
J 4	b	151,3	20,4	13,5
J 4	c	137,0	17,9	13,1
J 5	a	235,2	35,7	15,2
J 5	b	220,9	33,1	15,0
J 5	c	210,2	32,3	15,4
U 3	a	140,6	25,2	17,9
U 3	b	135,3	24,9	18,4
U 3	c	124,9	21,6	17,3
U 4	a	160,4	24,1	15,0
U 4	b	130,8	18,3	14,0
U 4	c	100,0	14,3	14,3
U 5	a	240,9	36,9	15,3
U 5	b	225,6	35,2	15,6
U 5	c	199,8	32,0	16,0
K 3	a	294,6	39,5	13,4
K 3	b	292,3	42,7	14,6
K 3	c	242,3	33,9	14,0
K 4	a	173,4	21,5	12,4
K 4	b	175,2	21,7	12,4
K 4	c	160,5	20,7	12,9
K 5	a	281,7	36,6	13,0
K 5	b	272,5	35,4	13,0
K 5	c	227,6	28,5	12,5

* Bezeichnungen s. Tab. 3-4

Tabelle 3-22: Frisch(FS)- und Trocken(TS)-
 substanzmenge des 3. Grün-
 landschnittes 1987 (KfK)

Lysime- ter *	Teil- probe	FS (g)	TS (g)	TS (%)
J 3	a	357,4	67,3	18,8
J 3	b	180,3	34,2	19,0
J 3	c	103,7	20,2	19,5
J 4	a	209,2	33,6	16,1
J 4	b	221,6	32,7	14,8
J 4	c	170,8	25,4	14,9
J 5	a	250,3	50,8	20,3
J 5	b	192,9	38,1	19,8
J 5	c	123,1	24,7	20,1
U 3	a	157,9	37,7	23,9
U 3	b	102,1	27,1	26,5
U 3	c	70,3	20,0	28,4
U 4	a	315,3	52,9	16,8
U 4	b	106,8	17,5	16,4
U 4	c	101,5	15,3	15,1
U 5	a	270,2	52,2	19,3
U 5	b	195,9	37,2	19,0
U 5	c	168,0	29,8	17,7
K 3	a	482,5	72,9	15,1
K 3	b	219,0	35,5	16,2
K 3	c	133,7	20,6	15,4
K 4	a	263,4	37,2	14,1
K 4	b	232,3	30,8	13,3
K 4	c	245,9	27,7	11,3
K 5	a	266,5	46,7	17,5
K 5	b	209,7	36,9	17,6
K 5	c	144,6	24,3	16,8

* Bezeichnungen s. Tab. 3-4

Tabelle 3-23: Frisch(FS)- und Trocken(TS)-
substanzmenge des 1. Grün-
landschnittes 1988 (KfK)

Lysime- ter *	Teil- probe	FS (g)	TS (g)	TS (%)
J 3	a	254,8	37,5	14,7
J 3	b	139,5	18,4	13,2
J 3	c	131,4	18,0	13,7
J 4	a	200,8	28,3	14,1
J 4	b	168,0	23,3	13,9
J 4	c	176,6	23,7	13,4
J 5	a	288,1	42,8	14,9
J 5	b	214,8	31,4	14,6
J 5	c	234,9	34,6	14,7
U 3	a	163,9	24,7	15,1
U 3	b	123,3	18,4	14,9
U 3	c	113,6	16,9	14,9
U 4	a	159,4	22,7	14,2
U 4	b	103,9	15,7	15,1
U 4	c	117,7	17,8	15,1
U 5	a	295,9	45,9	15,5
U 5	b	130,8	22,2	16,9
U 5	c	207,3	34,6	16,7
K 3	a	321,2	39,0	12,2
K 3	b	147,7	19,8	13,4
K 3	c	154,7	20,3	13,1
K 4	a	252,4	30,8	12,2
K 4	b	150,2	17,9	11,9
K 4	c	96,6	11,4	11,8
K 5	a	346,6	54,7	15,8
K 5	b	138,2	23,0	16,7
K 5	c	90,1	14,2	15,8

* Bezeichnungen s. Tab. 3-4

3 Methoden
 3.3 Pflanzenanzucht

Tabelle 3-24: Frisch(FS)- und Trocken(TS)-
 substanzmenge des 2. Grün-
 landschnittes 1988 (KfK)

Lysime- ter ^a	Teil- probe	FS (g)	TS (g)	TS (%)
J 3	a	295,1	51,3	17,4
J 3	b	267,1	36,7	13,8
J 3	c	263,8	35,7	13,5
J 4	a	216,0	34,7	16,1
J 4	b	252,5	36,1	14,3
J 4	c	274,6	41,1	15,0
J 5	a	285,5	55,7	19,5
J 5	b	142,2	26,4	18,6
J 5	c	389,7	68,8	17,7
U 3	a	173,3	31,1	17,9
U 3	b	143,6	25,9	18,1
U 3	c	124,2	21,4	17,2
U 4	a	146,7	26,6	18,1
U 4	b	150,7	25,3	16,8
U 4	c	152,9	25,1	16,4
U 5	a	211,3	44,9	21,2
U 5	b	150,3	32,4	21,6
U 5	c	136,5	27,5	20,2
K 3	a	237,5	34,8	14,7
K 3	b	305,3	42,4	13,9
K 3	c	308,0	42,2	13,7
K 4	a	259,3	25,1	9,7
K 4	b	253,3	22,8	9,0
K 4	c	279,1	21,2	7,6
K 5	a	175,1	36,5	20,9
K 5	b	274,1	55,3	20,2
K 5	c	151,2	29,1	19,3

* Bezeichnungen s. Tab. 3-4

3 Methoden
 3.3 Pflanzenanzucht

Tabelle 3-25: Frisch(FS)- und Trocken(TS)-
 substanzmenge des 3. Grün-
 landschnittes 1988 (KfK)

Lysime- ter *	Teil- probe	FS (g)	TS (g)	TS (%)
J 3	a	267,4	38,4	14,4
J 3	b	250,3	29,5	11,8
J 3	c	147,2	19,2	13,1
J 4	a	264,8	42,6	16,1
J 4	b	195,8	29,9	15,3
J 4	c	193,1	28,4	14,7
J 5	a	214,4	35,6	16,6
J 5	b	194,1	44,0	22,6
J 5	c	118,5	22,6	19,1
U 3	a	145,0	25,5	17,6
U 3	b	96,8	16,1	16,7
U 3	c	54,3	8,9	16,4
U 4	a	169,4	27,9	16,5
U 4	b	155,8	21,9	14,0
U 4	c	171,9	21,1	12,3
U 5	a	183,9	39,8	21,7
U 5	b	122,5	26,9	21,9
U 5	c	153,4	31,2	20,3
K 3	a	343,1	48,2	14,1
K 3	b	281,7	33,9	12,0
K 3	c	92,1	13,7	14,9
K 4	a	201,4	23,9	11,9
K 4	b	255,6	25,4	9,9
K 4	c	227,6	16,8	7,4
K 5	a	233,5	46,6	20,0
K 5	b	123,0	23,7	19,3
K 5	c	58,1	10,4	18,0

* Bezeichnungen s. Tab. 3-4

3 Methoden
3.3 Pflanzenanzucht

Tabelle 3-26: Frisch(FS)- und Trocken(TS)-
substanzmenge des 1. Grün-
landschnittes 1989 (KfK)

Lysime- ter ^A	Teil- probe	FS (g)	TS (g)	TS (%)
J 3	a	463,9	59,0	12,7
J 3	b	507,6	60,6	11,9
J 3	c	567,1	66,6	11,7
J 4	a	693,2	96,8	14,0
J 4	b	257,3	33,1	12,9
J 4	c	284,4	36,7	12,9
J 5	a	777,7	125,6	16,2
J 5	b	450,4	68,4	15,2
J 5	c	363,7	47,9	13,2
U 3	a	619,2	95,6	15,4
U 3	b	149,0	19,7	13,2
U 3	c	170,7	20,2	11,8
U 4	a	571,4	95,6	16,7
U 4	b	184,9	26,1	14,1
U 4	c	152,9	21,9	14,3
U 5	a	563,3	98,6	17,5
U 5	b	340,7	55,8	16,4
U 5	c	324,5	49,8	15,3
K 3	a	827,3	134,3	16,2
K 3	b	211,7	30,4	14,4
K 3	c	423,8	64,7	15,3
K 4	a	1170,3	148,7	12,7
K 4	b	123,9	12,6	10,2
K 4	c	172,8	17,5	10,1
K 5	a	607,5	103,7	17,1
K 5	b	363,2	59,2	16,3
K 5	c	306,4	46,5	15,2

* Bezeichnungen s. Tab. 3-4

3 Methoden
3.3 Pflanzenanzucht

Der errechnete Ertragsanteil (%) der einzelnen Schnitte am Jahresgesamtertrag ist in Tab. 3-27 aufgeführt.

Tabelle 3-27: Relative Ertragsanteile der in den Jahren 1987 und 1988 durchgeführten Ernten (KfK)

Lysime- ter *	1987			1988		
	1.Schn.	2.Schn.	3.Schn.	1.Schn.	2.Schn.	3.Schn.
J 3	38,9	26,0	35,1	25,9	43,4	30,6
J 4	41,7	23,0	35,4	26,1	38,8	35,0
J 5	41,5	27,6	31,0	30,1	41,7	28,2
U 3	45,5	25,0	29,5	31,7	41,5	26,8
U 4	40,9	23,5	35,5	27,5	37,7	34,7
U 5	33,7	30,9	35,4	33,6	34,3	32,1
K 3	38,0	29,4	32,6	26,9	40,6	32,5
K 4	45,0	22,0	33,0	30,7	35,4	33,9
K 5	40,5	28,7	30,8	31,3	41,2	27,5

* Bezeichnungen s. Tab. 3-4

Im KfK waren keine Vorkommnisse zu verzeichnen, die das Untersuchungsziel in Frage gestellt hätten.

3 Methoden

3.4 Probenahme und Probenvorbereitung

3.4 Probenahme und Probenvorbereitung

3.4.1 LBP

Zur Entnahme der Pflanzenproben wurden die Lysimeterflächen in jeweils drei gleiche Sektoren geteilt, um drei Teilproben zu erhalten. Die Lage dieser Sektoren war während der gesamten Versuchsdauer konstant. Der teilweise sehr lückige Aufgang machte eine solche Unterteilung zum 1. Schnitt fragwürdig. Daher wurde sie unterlassen. Der Grünlandbewuchs wurde bei der Beerntung bis auf eine Höhe von ca. 2 cm abgeschnitten, gewogen und dann in einer geschlossenen Klimakammer mit Außenluftzufuhr im Luftstrom bei 22°C getrocknet.

Zur Bodenprobenentnahme diente ein Kammerbohrer von 16 mm Innendurchmesser und 100 mm Länge. Je Sektorfläche wurde ein Einstich vorgenommen. Die drei Bohrkern ergaben dann eine Mischprobe, die gefriergetrocknet wurde. Die im Lysimeter entstandenen Bohrlöcher wurden mit Erde verfüllt, die bei der Markierung am 17. Februar 1987 für diesen Zweck mitmarkiert worden war.

Das luftgetrocknete Pflanzenmaterial des 1. und des 3. Schnittes erhielt jeweils Prof. Dr. Aumann, das des 2. Schnittes Dr. Handl (NIR) zur Analyse. Die Bodenproben wurden 1987 ebenso aufgeteilt. 1988 untersuchte Dr. Lierse (Inst. f. Radiochemie der TU München) die Bodenproben.

3.4.2 KfK

Die Pflanzenproben wurden 3 cm über dem Boden auf drei konzentrischen Bereichen gleicher Fläche abgeschnitten. Nach Wiegen und Lagerung in einer Tiefkühltruhe wurden die Pflanzen gefriergetrocknet, wieder gewogen, pulverisiert und zu 1-g-Tabletten gepreßt. Die Probenahme erfolgte dreimal im Jahr.

Im ersten Jahr wurden je eine Bodenprobe entsprechend drei Einstichen von 0 - 10 cm in den einzelnen Lysimetern nach jeder Pflanzenernte entnommen. Die Proben wurden gesiebt, homogenisiert, gefriergetrocknet und gewogen. Die entstandenen Löcher wurden mit Holzzylindern verschlossen.

3 Methoden

3.5 Analytik und Messung der Iodisotope

3.5 Analytik und Messung der Iodisotope

Während die Boden- und Pflanzenproben, die im KfK anfielen, dort selbst untersucht werden konnten, war dieses an der LBP nicht möglich. Die Proben wurden daher von verschiedenen Instituten analysiert.

3.5.1 Institut für Nuklearchemie der Universität Bonn

Von den getrockneten und homogenisierten Pflanzenproben wurden 2,77 bis 4,91 g zur Analyse verwendet. Ihnen wurde eine definierte Menge an I-125-Tracer zur Ausbeutebestimmung zugesetzt. Dann erfolgte eine Pyrolyse und Veraschung der Analysenproben im Stickstoff- und Sauerstoffstrom einer Quarzapparatur. Das freigesetzte Iod wurde auf hochreiner Aktivkohle aufgefangen.

Der Aktivkohleadsorber wurde wieder im reinen Sauerstoffstrom verascht, und das freigesetzte Iod auf einem kleineren Aktivkohlefilter aufgefangen.

Das Adsorberröhrchen mit dem zweiten Aktivkohleadsorber wurde an einem Ende zugeschmolzen, evakuiert und dann am anderen Ende zugeschmolzen. Das Iod wurde durch Erhitzen der Aktivkohle in den gegenüberliegenden Teil der Doppelampulle, die in flüssigem Stickstoff gekühlt wurde, übergetrieben. Danach wurde der das Iod enthaltende Teil der Ampulle abgeschmolzen. Er war damit für die Neutronenaktivierung vorbereitet.

Zur Aktivierungsanalyse wurden folgende durch Neutronen induzierten Reaktionen verwendet:

I-129 (n, τ) I 130 ($T_{1/2} = 12 \text{ h}$) und
I-127 ($n, 2n$) I 126 ($T_{1/2} = 13 \text{ d}$).

Nach der Bestrahlung wurden die induzierten Iodaktivitäten über ein chemisches Trennverfahren von anderen Aktivitäten abgetrennt. Die Messung der Iodisotope I-126 und I-130 erfolgte mit Hilfe eines Mehrfachkoinzidenz-Gamma-Spektrometers.

Für die direkte gammaspektrometrische Messung des I-129 im Boden wurden jeweils 15 bis 20 g des getrockneten und homogenisierten Materials verwendet. Die Standardabweichung der I-129-Werte lag zwischen 16% und 32% und die der I-127-Werte bei 23%.

3 Methoden

3.5 Analytik und Messung der Iodisotope

3.5.2 Niedersächsisches Institut für Radioökologie an der Universität Hannover (NIR)

Die Einwaage von Bodenproben betrug 10,0 g und die von Bewuchsproben lag zwischen 9,0 und 11,0 g Trockensubstanz. Je nach Beschaffenheit der Probe wurden zwei Verfahren eingesetzt. Beim ersten Verfahren wird die Probe unter alkalischen Bedingungen (KOH-Lösung) und unter dem Einsatz von KMnO_4 oxidativ verascht. Entstandenes Iodat wird in einem Gemisch von Schwefelsäure und phosphoriger Säure reduziert und durch eine Wasserdampfdestillation ausgetrieben.

Das zweite benutzte Trennverfahren entspricht dem unter 3.5.1 beschriebenen.

Das I-127 und I-129 wird unter einer Neutronenflußdichte von $5 \times 10^{13} \text{ s}^{-1} \text{ cm}^2$ aktiviert und durch gammaspektroskopische Analyse von I-126 und I-130 bestimmt.

3.5.3 KfK

10 Tabletten aus je 1 g getrocknetem Pflanzenmaterial wurden nacheinander in einer Druckbombe, die eine kleine Menge Natriumkarbonatlösung enthielt, mit Sauerstoff verbrannt. Das gebildete Iod wurde in der Natriumkarbonatlösung gelöst. Die so erhaltene Lösung wurde angesäuert. Es folgte ein Extraktionszyklus, um das Iod zu reinigen. Der Rückextrakt wurde mit einer Szintillatorlösung vermischt und der am Anfang zugegebene Ausbeutetracer I 123 in einem NaI(Tl) -Bohrlochkristall gemessen. Nach ca. 12 Tagen Abklingzeit wurde die Probe in einem Flüssigszintillationspektrometer der Firma LKB, Quantulus 1 220, gemessen. Die Meßzeit betrug 600 Minuten.

Das I 129 in den Bodenproben wurde durch Gammaspektrometrie mittels eines planaren Reinstgermanium-Detektors bestimmt. Gemessen wurde die Gammaenergie von 39,5 KeV. Die Meßzeit betrug 1000 Minuten.

Zur Analyse der I-129-Gehalte der Luft wurden ein Teil der Aktivkohle bzw. das Aerosolfilter mit 30 mg stabilem Iodid und einer geeigneten Menge an I-123-Aktivität zur Ausbeutebestimmung versetzt. Es wurde mit $\text{NH}_2\text{OH HCl}$ -haltiger Sodalösung ausgekocht und das Iodid über einen Ionenaustauscher abgetrennt. Das Iodid wurde mit konzentrierter NaClO_4 - $+\text{SO}_2$ -Lösung aus dem Ionenaustauscher eluiert und über einen Extraktionszyklus gereinigt. Die so erhaltene verdünnte Sulfitlösung wurde zur Ausbeutenbestimmung in einem NaI(Tl) -Bohrlochkristall gemessen, bis zum Abklingen des I-123 gelagert und dann im Flüssigszintillationspektrometer, Quantulus 1220, 600 Minuten gemessen.

Der Nulleffekt wurde mit einer Blindprobe bestimmt, die ebenfalls mit der gleichen Aktivität I-123 versetzt wurde. Diese Probe enthielt im allgemeinen keine zusätzliche Aktivität, so daß der Gerätenulleffekt und der Nulleffekt der Blindprobe übereinstimmte.

3 Methoden

3.5 Analytik und Messung der Iodisotope

In einzelnen Fällen enthielt das I-123 sehr geringe Aktivitätsmengen, von uns nicht bekannten Radionukliden, die dann über die Nulleffektskorrektur berücksichtigt wurden.

Die Standardabweichung der I-129-Werte lag bei Pflanzenproben zwischen 3,1% und 33%, bei Bodenproben zwischen 7% - 10%. Die Nachweisgrenzen der Pflanzenproben liegen bei 3 Bq je kg Trockensubstanz und die der Bodenproben bei 80 Bq je kg Trockenboden. Da die gesammelten Probeluftmengen in weiten Grenzen schwankten, schwankten auch die Standardabweichungen. Auf ihre Angabe wird daher verzichtet.

3.5.4 Institut für Radiochemie der Universität München

Die Bestimmung von I-129 in Bodenproben wurde durch eine direkte gammaspektrometrische Messung von 10 g getrocknetem, gemahlenem und homogenisiertem Bodenmaterial mit Hilfe eines planaren Ge(Li)-Detektors durchgeführt. Die notwendige Kalibrierung erfolgte mittels Iod-dotierter Bodenproben gleicher Herkunft unter identischen Meßbedingungen.

Für die Analyse des I-129 in Pflanzenproben wurden 20 bis 40 g getrockneten, gemahlenen und homogenisierten Materials eingewogen und in Pellets definierter Dichte gepreßt. Für die direkte gammaspektrometrische Messung diente ebenfalls ein planarer Ge(Li)-Detektor. Zur Korrektur der Selbstabsorption wurden Kalibrierungsmessungen an Proben mit bekanntem I-129-Gehalt und unterschiedlicher Dicke und Dichte durchgeführt.

Die Bestimmung von I-127 in Bodenproben wurde mittels Neutronenaktivierungsanalyse (NAA) vorgenommen. Das Gewicht der getrockneten, gemahlenen und homogenisierten Proben lag zwischen 200 und 400 mg. Die Proben wurden in Polyethylenfolie verpackt und ohne weitere physikalische oder chemische Behandlung im Forschungsreaktor Garching (FRM) mit Neutronen bestrahlt. Die Bestrahlungszeit betrug jeweils 30 s bei einem Neutronenfluß von ca. $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Parallel zu den einzelnen Proben wurde jeweils ein I-127-Standard mitbestrahlt. Die Bestimmung des I-127 erfolgte über eine gammaspektrometrische Messung der 442,8 keV-Linie des durch (n, τ)-Reaktion gebildeten I-128 und Vergleich mit den entsprechenden Daten des mitbestrahlten Standards.

3.6 Datenauswertung

Die Beobachtungs- und Analysenwerte aus den Versuchen wurden durch ein Tabellenkalkulationsprogramm verarbeitet.

Die Iodaktivitäten wurden in Bq je kg Matrix angegeben und I-127-Gehalte in g je g Matrix. Die I-129-Gehalte von Bodenproben, angegeben in g je g Matrix, errechnen sich aus den I-129-Aktivitäten dividiert durch deren spezifische Aktivität von $6,54 \times 10^6$ Bq je g I-129.

Die Transferfaktoren Boden - Pflanze (TF) sind nach ABG (L-2) das Verhältnis zwischen der spezifischen Aktivität der Pflanzenfrischmasse (Apfl) und der spezifischen Aktivität des Trockenbodens (Ab):

$$TF = Apfl / Ab.$$

Neben dem TF wurde das Verhältnis zwischen den Konzentrationen der beiden Iodisotope I-129 und I-127 jeweils in g je g Boden bestimmt:

$$IV = I-129 / I-127.$$

Die Beurteilung der Ergebnisse erfolgte nach biometrisch-statistischen Gesichtspunkten. Da die Versuche mit mehreren Versuchsfaktoren, z. B. Bodenherkünfte, Feuchtestufen ect. angelegt worden sind, bedarf es hierzu einer Varianzanalyse. Eine Varianzanalyse schätzt die Varianzanteile, die durch die Versuchsfaktoren bedingt sind, an Hand der Summe der Abweichungsquadrate (SAQ). Die SAQ der gesamten Datenmatrix überschreitet jedoch die Summe aller SAQ, die sich den einzelnen Versuchsfaktoren zuordnen lassen. Die Differenz ergibt die Restvarianz. Die SAQ sind durch die dazugehörigen Freiheitsgrade (FG) zu dividieren, so daß sich daraus die mittleren Abweichungsquadrate (MAQ) ergeben. Versuchsfaktoren haben sich nur dann signifikant ausgewirkt, wenn ihre MAQ um ein bestimmtes Vielfaches (F) größer als das MAQ der Restvarianz sind. Die F-Werte liegen tabelliert vor (z. B. L-4).

Zur biometrischen Beurteilung von Mittelwertsdifferenzen wurden die Grenzdifferenzen (GD) errechnet. Eine GD stellt die kleinste signifikante Differenz zwischen zwei Werten dar.

Für eine biometrisch-statistische Betrachtung, d. h. hier für die F-Werte und die GD, ist ein bestimmtes Signifikanzniveau, eine Toleranzgrenze der Irrtumswahrscheinlichkeit zu vereinbaren. Sie wird hier mit 5% angesetzt. Für weiter ins Detail gehende Ausführungen wird auf die einschlägige Elementarliteratur verwiesen (L-4).

3.7 Vergleichende Übersicht über die Methoden

An beiden Versuchsstellen, der LBP und dem KfK, wurde versucht, nach einer einheitlichen Methodik der Versuchsanstellung vorzugehen (Tab. 3-28). Die unterschiedliche Aufstellung der Lysimeter, nämlich im Freiland (LBP) und im Gewächshaus mit Zuluftfilterung (KfK), entsprach der Versuchsanstellung. Durch die Zuluftfilterung wurde eine mögliche Kontamination der Pflanzen durch I-129 aus der Atmosphäre verhindert. Eine solche würde einen erhöhten Boden-Pflanzentransfer vortäuschen.

Tabelle 3-28: Übersicht über die Methoden der LBP und des KfK

Gliederungspunkt	LBP	KfK
Auswahl der Versuchsböden:		
Entnahmestellen	Grafenricht Kemnath Warmersdorf	Grafenricht Kemnath Warmersdorf
Lysimeter:		
Querschnitt	rund	quadratisch
Höhe (m)	0,8	0,9
Fläche (m ²)	0,5	0,5
Befüllungs- termin	16.-17. Februar	16.-17. Februar
Aufstellung	Freiland	Gewächshaus
Boden:		
I-129-Kon- zentration		
Mittel (Bq/kg)	608	404
±s (Bq/kg)	87	43
Pflanzenanzucht:		
Aussaattermin	16. April	21. April
Düngung (kg/ha)		
N	3 x 48	3 x 48
P ₂ O ₅	3 x 48	3 x 48
K ₂ O	3 x 68	3 x 68
Flutungstermin	Winterbeginn	Winterende
Umgebungsluft	ohne Iodabfil- terung	mit Iodabfil- terung
Probenentnahme:		
Boden	3 x 0-10 cm	3 x 0-10 cm
Verfüllung	mit Boden	mit Holzpflöck
Pflanze	3 x	3 x
Iod-Analytik:		
I-127	NAA	NAA
I-129	NAA, τ-Spektro- metrie	LSC, τ-Spektro- metrie

Die unterschiedliche Lysimeteraufstellung wirkte sich deutlich auf die Vegetation bzw. auf die Ertragsbildung aus (Tab. 3-29). Das Ertragsniveau an der LBP war, abgesehen vom Jahr der Ansaat, deutlich höher als im KfK. Der Ertragsunterschied 1987 kann mit den ungünstigeren Frühjahrstemperaturen in München erklärt werden. Für die Mindererträge im KfK in den folgenden Jahren dürften möglicherweise zwei Gründe eine Bedeutung gehabt haben. Die Energieeinstrahlung eines Sonnentages erzeugt trotz Schattierung und Klimatisierung in einem Gewächshaus Temperaturen, die das Wachstum von Grünlandbewuchs beeinträchtigen können. Außerdem entwickelte sich im Gewächshaus im Winterhalbjahr eine 4. Ernte, die bei der Untersuchung unberücksichtigt blieb, aber für die Beurteilung des

3 Methoden
3.7 Vergleichende Übersicht

Ertragspotentials von Bedeutung gewesen wäre. Die unterschiedlichen Temperaturverhältnisse an beiden Orten haben zu verschiedenen Erträgen geführt. Es wird davon ausgegangen, daß der Iodtransfer Boden - Pflanze davon im wesentlichen unberührt geblieben ist.

Tabelle 3-29: Grünland-Jahreserträge (TS) an der LBP und im KfK in g je Lysimeter

Lysimeter [^]	L B P			K f K		
	1987	1988	1989 ^{^ ^}	1987	1988	1989 ^{^ ^}
J 3	356	692	161	299	263	59
J 4	298	630	159	291	317	61
J 5	326	566	184	343	309	67
U 3	168	555	148	301	185	97
U 4	275	704	185	253	257	33
U 5	281	596	176	360	297	37
K 3	268	656	127	341	252	126
K 4	318	630	157	315	253	68
K 5	307	574	188	347	124	48
Mittel	288	5603	165	317	251	66

* Bezeichnungen s. Tab. 3-4

** nur der 1. Schnitt

Die Aufstellung der Lysimeter im Freiland und im Gewächshaus führte zu unterschiedlichen Flutungsterminen. Wenn die Mobilität des Iod im Boden und damit dessen Boden-Pflanzentransfer von der Bodendurchlüftung bzw. dem Redoxpotential abhängt, so kann eine Erhöhung des Iodtransferfaktors durch einen Flutungstermin unmittelbar vor Vegetationsbeginn zumindest bei dem 1. Schnitt des Jahres nicht ausgeschlossen werden.

Die Boden- und Pflanzenanalysen wurden an verschiedenen Instituten vorgenommen. Aus diesem Grund erschienen Vergleichsuntersuchungen angezeigt. Zur Kontrolle der Analytik untersuchte man am NIR ausgewählte Boden- und Bewuchsproben des KfK auf I-129 mit folgendem Ergebnis in Bq je kg Probe:

Probenbezeichnung*	Probenart	NIR	KfK**
K 5	Boden	413	402
U 5	Boden	663	483
K 5/a	Bewuchs	23	4
U 5/a	Bewuchs	13	19,2

* Bezeichnungen s. Tab. 3-4

** Datenherkunft s. Tab. 4-7 (2.Schnitt 1987) und Tab. 4-17 (2.Schnitt 1987)

3 Methoden
3.7 Vergleichende Übersicht

Außerdem untersuchte man Bewuchsproben des 1. und 3. Schnittes aus dem Jahre 1988 der LBP parallel im Institut für physikalische Chemie der Universität Bonn (IPC) und im Institut für Radiochemie der TU München (IRC) (Tab. 3-30).

Tabelle 3-30: Vergleichsanalysen von I-129 in Bq je kg Pflanzentrocken- substanz von IPC und IRC (LBP)

Lysime- ter [*]	Teil- probe	1. Schnitt		3. Schnitt	
		IPC	IRC	IPC	IRC
J 3	a	2,10	7,79	5,70	17,00
J 3	b	5,10	10,97	31,00	40,00
J 3	c	11,00	7,17	12,00	15,70
J 4	a	0,68	3,86	0,35	0,55
J 4	b	0,98	1,38	0,42	0,89
J 4	c	0,38	6,58	0,21	1,32
J 5	a	0,48	2,48	1,20	1,42
J 5	b	0,49	3,66	1,70	1,58
J 5	c	1,90	1,48	0,74	0,82
U 3	a	92,00	200,30	86,00	65,30
U 3	b	79,00	69,50	24,00	37,50
U 3	c	310,00	307,70	48,00	60,10
U 4	a	2,30	4,36	11,00	5,74
U 4	b	2,20	5,72	5,80	6,79
U 4	c	1,70	4,17	5,20	3,73
U 5	a	2,10	5,77	3,10	10,80
U 5	b	3,00	6,15	6,90	10,00
U 5	c	3,90	6,62	9,30	10,40
K 3	a	0,77	2,72	33,00	99,80
K 3	b	1,20	2,86	210,00	190,90
K 3	c	1,60	3,58	190,00	207,30
K 4	a	0,40	1,13	3,60	1,01
K 4	b	0,16	1,82	1,30	0,70
K 4	c	0,01	2,60	0,22	1,19
K 5	a	0,22	1,94	0,61	1,74
K 5	b	0,80	2,18	1,10	2,04
K 5	c	0,22	1,60	0,44	0,67
Mittel		19,4	25,0	25,7	29,4

* Bezeichnungen s. Tab. 3-4

Der Korrelationskoeffizient der beiden Vergleichsmessungen ist $r=0,955$ für den 1. Schnitt und $r=0,962$ für den 3. Schnitt. Das IRC fand in den Proben durchschnittlich das 1,29-fache bzw. 1,15-fache der Radioaktivität, die vom IPC gemessen worden ist. Die nicht voll befriedigende Übereinstimmung der Analysenreihen und der Mangel an käuflichen I-129-Standards waren Anlaß, verstärkt Ringanalysen einzuplanen. Die vorzeitige Beendigung des Vertrages ließ es jedoch nicht mehr dazu kommen.

4 Ergebnisse

4.1 Bodenanalysen: I-127 und I-129

4 Ergebnisse

4.1 Bodenanalysen: I-127 und I-129

Die Gehalte der Böden an I-127 und I-129 wurden 1987 zu den 3 Schnittzeitpunkten bestimmt. 1988 waren Messungen zum 1. und 3. Schnitt und 1989 zum 3. Schnitt vorgesehen. Letztere wurden nicht mehr ausgeführt. Die I-127-Messungen im KfK für die Jahre 1988 und 1989 sollten zu einem späteren Zeitpunkt nachgeholt werden. Daher fehlen sie hier.

Die Konzentrationen der Böden an den beiden Iodisotopen in g Iod je g Boden sind in den Tabellen 4-1 bis 4-3 aufgelistet.

Tabelle 4-1: I-127- und I-129-Gehalte der Böden zu den 3 Schnittzeiten 1987 in g Iod je g Boden (LBP)

Lysimeter [*]	1. Schnitt		2. Schnitt		3. Schnitt	
	I-127	I-129	I-127	I-129	I-127	I-129
J 3	3,4E-06	1,1E-07	3,8E-06	1,0E-07	2,0E-06	1,3E-07
J 4	1,3E-06	8,0E-08	4,8E-06	9,1E-08	1,9E-06	8,5E-08
J 5	1,1E-06	7,8E-08	5,0E-06	9,3E-08	2,4E-06	8,6E-08
U 3	2,1E-06	9,3E-08	2,8E-06	1,1E-07	1,4E-06	9,3E-08
U 4	2,2E-06	1,2E-07	2,5E-06	1,1E-07	1,8E-06	9,9E-08
U 5	1,6E-06	8,1E-08	2,0E-06	7,7E-08	9,3E-06	1,0E-07
K 3	1,8E-06	9,7E-08	1,7E-06	8,3E-08	1,2E-06	9,4E-08
K 4	2,2E-06	1,0E-07	2,4E-06	9,6E-08	5,1E-07	9,6E-08
K 5	2,1E-06	8,4E-08	1,2E-06	8,6E-08	1,1E-06	9,6E-08

* Bezeichnungen s. Tab. 3-4

Tabelle 4-2: I-127- und I-129-Gehalte der Böden zum 1. und 3. Schnitt 1988 in g Iod je g Boden (LBP)

Lysimeter [*]	1. Schnitt		3. Schnitt	
	I-127	I-129	I-127	I-129
J 3	2,4E-06	7,9E-08	2,6E-06	8,6E-08
J 4	2,3E-06	7,9E-08	1,9E-06	8,8E-08
J 5	1,7E-06	8,2E-08	1,6E-06	7,9E-08
U 3	1,5E-06	8,0E-08	1,8E-06	7,8E-08
U 4	1,7E-06	1,0E-07	1,6E-06	9,8E-08
U 5	1,5E-06	9,2E-08	1,3E-06	8,5E-08
K 3	1,5E-06	8,5E-08	1,5E-06	8,4E-08
K 4	1,2E-06	8,8E-08	1,3E-06	1,0E-07
K 5	2,0E-06	8,3E-08	1,4E-06	8,2E-08

* Bezeichnungen s. Tab. 3-4

4 Ergebnisse

4.1 Bodenanalysen: I-127 und I-129

Tabelle 4-3: I-127- und I-129-Gehalte der Böden* zu den 3 Schnittzeiten 1987 in g Iod je g Boden (KfK)

Lysimeter [^]	1. Schnitt		2. Schnitt		3. Schnitt	
	I-127	I-129	I-127	I-129	I-127	I-129
J 3	2,1E-06	6,0E-08	2,1E-06	6,4E-08	2,2E-06	7,2E-08
J 4	2,2E-06	6,6E-08	1,9E-06	7,0E-08	1,9E-06	7,9E-08
J 5	1,8E-06	4,9E-08	1,9E-06	4,8E-08	2,0E-06	6,2E-08
U 3	1,7E-06	6,2E-08	1,5E-06	7,5E-08	1,5E-06	5,8E-08
U 4	1,6E-06	6,4E-08	1,3E-06	6,9E-08	1,6E-06	7,0E-08
U 5	1,9E-06	5,8E-08	1,5E-06	7,4E-08	1,4E-06	6,0E-08
K 3	1,1E-06	7,2E-08	1,1E-06	6,2E-08	1,3E-06	5,7E-08
K 4	1,5E-06	6,7E-08	8,9E-07	6,0E-08	1,0E-06	6,8E-08
K 5	1,5E-06	5,9E-08	1,4E-06	6,2E-08	1,9E-06	7,1E-08

* Die I-127-Analysen wurden im Institut für Radiochemie, TU München, durchgeführt

** Bezeichnungen siehe Tabelle 3-4

Die Gehalte der Böden an stabilem Iod, die in den Tabellen 4-1 bis 4-3 enthalten sind, wurden über die verschiedenen Schnittzeiten gemittelt (Tab.4-4). Diese Mittelwerte dienen zur Berechnung der Transferfaktoren des I-127, soweit der I-127-Gehalt des Bewuchses analysiert worden ist.

Tabelle 4-4: Mittlere I-127-Gehalte der Böden an der LBP und im KfK in g je g Boden

Lysimeter [*]	LBP 1987	LBP 1988	KfK 1987
J 3	3,1E-06	2,5E-06	2,1E-06
J 4	2,7E-06	2,1E-06	2,0E-06
J 5	2,8E-06	1,7E-06	1,9E-06
U 3	2,1E-06	1,6E-06	1,6E-06
U 4	2,2E-06	1,7E-06	1,5E-06
U 5	4,3E-06	1,4E-06	1,6E-06
K 3	1,6E-06	1,5E-06	1,2E-06
K 4	3,2E-06	1,3E-06	1,1E-06
K 5	1,4E-06	1,7E-06	1,6E-06

* Bezeichnungen s. Tab. 3-4

4 Ergebnisse

4.1 Bodenanalysen: I-127 und I-129

Der mittlere I-127-Gehalt (g/g) der drei Bodenherkünfte beträgt:

Jura	2,3E-06
Urgestein	2,0E-06
Kreide	1,6E-06

Die Bodenherkunft Kreide enthält signifikant weniger stabiles Iod als die beiden übrigen Bodenherkünfte, wobei die entsprechende Grenzdifferenz 0,4E-06 g/g beträgt. Letztere errechnete sich aus der Restvarianz in Tabelle 4-5.

Tabelle 4-5: Varianzanalyse über die I-127-Gehalte der Böden (Tab. 4-1 bis 4-3)

Versuchsfaktor	S A Q	FG	M A Q	F
Bodenherkünfte	9,897E-12	2	4,949E-12	4,32 ^A
Feuchtestufen	1,037E-12	2	5,187E-12	0,45
Untersuchungen	1,427E-11	7	2,039E-12	1,78
Restvarianz	6,879E-11	60	1,147E-12	-

^A Signifikanz

Die I-129-Aktivitäten der Böden werden in den Tabellen 4-6 und 4-7 angegeben.

4 Ergebnisse

4.1 Bodenanalysen: I-127 und I-129

Tabelle 4-6: I-129-Aktivitäten der Böden zu den Schnittzeiten 1987/88 in Bq je kg Boden (LBP)

Lysimeter ^A	1.Schn. 1987	2.Schn. 1987	3.Schn. 1987	1.Schn. 1988	3.Schn. 1988
J 3	691	669	863	516	564
J 4	523	593	556	517	575
J 5	513	611	560	534	516
U 3	605	741	605	521	509
U 4	753	717	650	674	643
U 5	529	501	670	599	557
K 3	633	541	614	555	552
K 4	681	630	629	573	668
K 5	548	561	625	541	535

^A Bezeichnungen s. Tab. 3-4

Tabelle 4-7: I-129-Aktivitäten der Böden zu den Schnittzeiten 1987/88 in Bq je kg Boden (KfK)

Lysimeter ^A	1.Schn. 1987	2.Schn. 1987	3.Schn. 1987	1.Schn. 1988	3.Schn. 1988
J 3	393	415	468	383	355
J 4	431	456	514	503	468
J 5	322	311	404	326	444
U 3	403	489	375	376	452
U 4	417	449	458	322	409
U 5	377	483	394	486	386
K 3	472	407	371	369	488
K 4	437	392	445	400	399
K 5	386	402	460	519	511

^A Bezeichnungen siehe Tabelle 3-4

4 Ergebnisse

4.1 Bodenanalysen: I-127 und I-129

Tabelle 4-8: Mittlere I-129-Aktivitäten der Böden der LBP und des KfK 1987/88 in Bq je kg Boden

Lysimeter ^A	LBP 1987	LBP 1988	KfK 1987	KfK 1988
J 3	741	540	425	369
J 4	557	546	467	486
J 5	561	525	346	385
U 3	650	515	422	414
U 4	707	658	441	366
U 5	567	578	418	436
K 3	596	554	417	429
K 4	647	620	425	400
K 5	578	538	416	515

^A Bezeichnungen s. Tab. 3-4

Die im Durchschnitt höhere Markierung der Versuchsböden der LBP ist statistisch signifikant. Die Abnahme der Aktivitätskonzentration von 1987 auf 1988 dagegen erwies sich als nicht signifikant. Ein Austrag von I-129 aus dem Krumbereich der Lysimeter während der beiden Versuchsjahre, etwa durch Auswaschung oder Verflüchtigung, muß nicht angenommen werden. Die Iodkonzentrationen zu den verschiedenen Bestimmungszeiten können daher als Wiederholungswerte betrachtet werden. Da Mittelwerte die Grundgesamtheit exakter wiedergeben als die Einzelwerte, empfiehlt es sich, der Transferfaktorenberechnung die Jahresmittelwerte der Bodenkontamination eines Lysimeters zugrunde zu legen, wie sie in Tabelle 4-8 aufgelistet sind.

Aus den Konzentrationen des I-129 und I-127 wird das Isotopenverhältnis berechnet (Tab.4-9, 4-10). Die Werte der LBP lagen zwischen 0,001 und 0,134. Der niedere Wert des Bodens U 4 des 3. Schnittes 1987 war durch einen relativ niederen I-129-Gehalt und der hohe Wert des Bodens K 3, 1.Schnitt 1987, durch einen hohen I-129-Gehalt bedingt. Keines dieser Extreme kann als typisch für die Versuchsböden betrachtet werden, sondern nur als Ergebnis zufälliger Streuung.

4 Ergebnisse

4.1 Bodenanalysen: I-127 und I-129

Tabelle 4-9: Isotopenverhältnisse (I-129/I-127) der Böden 1987 und 1988 (LBP)

Lysimeter ^A	1.Schn. 1987	2.Schn. 1987	3.Schn. 1987	1.Schn. 1988	3. Schn. 1988
J 3	0,032	0,026	0,065	0,033	0,033
J 4	0,062	0,019	0,045	0,034	0,046
J 5	0,071	0,019	0,036	0,048	0,049
U 3	0,044	0,039	0,066	0,053	0,043
U 4	0,055	0,044	0,055	0,059	0,061
U 5	0,051	0,039	0,011	0,061	0,065
K 3	0,054	0,049	0,078	0,057	0,056
K 4	0,046	0,040	0,188	0,073	0,077
K 5	0,040	0,072	0,087	0,042	0,059

^A Bezeichnungen s. Tab. 3-4

Tabelle 4-10: Isotopenverhältnisse (I-129/I-127) der Böden 1987 (KfK)

Lysimeter ^A	1.Schn.	2.Schn.	3.Schn.
J 3	0,029	0,030	0,033
J 4	0,029	0,038	0,041
J 5	0,028	0,025	0,032
U 3	0,036	0,051	0,039
U 4	0,039	0,055	0,044
U 5	0,030	0,051	0,042
K 3	0,066	0,057	0,044
K 4	0,044	0,068	0,067
K 5	0,038	0,043	0,038

^A Bezeichnungen s. Tab. 3-4

4 Ergebnisse

4.2 Pflanzenanalysen: I-127 und I-129

4.2 Pflanzenanalysen: I-127 und I-129

Zunächst werden die I-127- und I-129-Gehalte der Bewuchsproben in g je g Trockenmasse aufgeführt (Tab. 4-11 bis 4-13). Wegen der zum Teil sehr geringen Erträge beim 1. Schnitt des ersten Versuchsjahres wurden an der LBP keine Teilproben genommen.

Tabelle 4-11: I-127- und I-129-Gehalte der Bewuchsproben 1987 in g Iod je g Trockensubstanz (LBP)

Lysimeter ^a	1. Schnitt		2. Schnitt		3. Schnitt	
	I-127	I-129	I-127	I-129	I-127	I-129
J 3 a	4,2E-07	2,0E-09	1,1E-05	1,7E-09	2,1E-07	1,2E-09
J 3 b	-	-	5,0E-06	1,7E-09	9,2E-07	2,4E-09
J 3 c	-	-	8,7E-06	1,3E-09	2,8E-07	1,2E-09
J 4 a	1,2E-07	9,1E-10	5,4E-06	2,3E-10	1,1E-07	1,3E-10
J 4 b	-	-	1,2E-05	5,2E-10	3,5E-08	8,4E-11
J 4 c	-	-	7,7E-06	2,1E-10	1,5E-07	4,3E-11
J 5 a	6,3E-08	9,2E-10	1,1E-05	3,1E-10	3,1E-07	9,2E-11
J 5 b	-	-	9,7E-06	2,9E-10	1,1E-07	2,0E-10
J 5 c	-	-	1,2E-05	3,4E-10	7,3E-07	1,4E-10
U 3 a	9,4E-08	1,9E-09	7,2E-06	2,8E-09	2,1E-07	4,4E-09
U 3 b	-	-	8,3E-06	5,5E-09	1,3E-07	2,5E-09
U 3 c	-	-	9,3E-06	9,0E-09	7,8E-07	6,8E-09
U 4 a	2,1E-07	1,0E-08	8,9E-06	3,4E-09	4,3E-08	3,1E-10
U 4 b	-	-	9,9E-06	3,2E-09	1,9E-07	5,6E-10
U 4 c	-	-	8,9E-06	3,7E-09	2,7E-07	6,6E-10
U 5 a	8,8E-08	9,5E-09	6,2E-06	6,9E-09	3,2E-07	7,8E-10
U 5 b	-	-	7,4E-06	7,2E-09	2,9E-08	9,4E-10
U 5 c	-	-	7,6E-06	7,5E-09	4,1E-07	7,0E-10
K 3 a	6,9E-08	1,1E-09	4,5E-06	4,7E-10	1,7E-08	2,8E-10
K 3 b	-	-	7,3E-06	5,1E-10	2,1E-07	1,0E-09
K 3 c	-	-	7,8E-06	4,3E-10	8,6E-08	1,6E-10
K 4 a	7,0E-08	8,7E-10	8,9E-06	2,1E-10	9,6E-08	1,1E-11
K 4 b	-	-	6,6E-06	3,2E-10	4,8E-07	8,9E-11
K 4 c	-	-	9,8E-06	3,2E-10	6,3E-08	8,7E-11
K 5 a	9,7E-08	2,8E-09	7,4E-06	3,2E-10	9,6E-08	4,0E-11
K 5 b	-	-	6,3E-06	5,1E-10	1,1E-06	1,5E-10
K 5 c	-	-	7,1E-06	4,0E-10	1,7E-06	1,4E-10

* Bezeichnungen s. Tab. 3-4, Kleinbuchstaben kennzeichnen die Teilprobe

4 Ergebnisse

4.2 Pflanzenanalysen: I-127 und I-129

Tabelle 4-12: I-127- und I-129-Gehalte der Bewuchsproben 1988 in g Iod je g Trockensubstanz (LBP)

Lysimeter ^A	1. Schnitt		2. Schnitt		3. Schnitt	
	I-127	I-129	I-127	I-129	I-127	I-129
J 3 a	1,5E-06	7,6E-10	3,1E-07	1,7E-09	2,8E-06	1,7E-09
J 3 b	9,8E-07	1,2E-09	4,5E-06	2,1E-09	3,1E-06	5,4E-09
J 3 c	1,1E-06	1,4E-09	1,3E-06	1,5E-09	2,4E-06	2,1E-09
J 4 a	3,2E-07	3,5E-10	3,6E-07	9,2E-11	1,3E-07	6,9E-11
J 4 b	8,4E-07	1,8E-10	3,7E-07	1,1E-10	2,1E-07	1,0E-10
J 4 c	7,0E-07	5,3E-10	8,8E-07	9,2E-11	1,2E-07	1,2E-10
J 5 a	4,5E-08	2,3E-10	6,0E-07	3,2E-10	2,5E-07	2,0E-10
J 5 b	1,7E-07	3,2E-10	3,6E-07	3,2E-10	3,0E-07	2,5E-10
J 5 c	6,5E-07	2,6E-10	3,9E-07	2,0E-10	1,9E-07	1,2E-10
U 3 a	6,0E-07	2,2E-08	1,3E-06	2,5E-08	8,0E-07	1,2E-08
U 3 b	1,9E-07	1,1E-08	6,0E-07	5,8E-09	5,7E-07	4,7E-09
U 3 c	4,2E-07	4,7E-08	1,4E-06	1,5E-08	9,1E-07	8,3E-09
U 4 a	8,4E-08	5,1E-10	6,1E-07	7,2E-10	1,1E-07	1,3E-09
U 4 b	1,5E-07	6,1E-10	8,0E-07	7,0E-10	9,2E-08	9,6E-10
U 4 c	3,1E-07	4,5E-10	4,6E-07	6,3E-10	1,2E-07	6,8E-10
U 5 a	1,5E-07	6,0E-10	1,2E-07	2,0E-09	2,2E-07	1,1E-09
U 5 b	6,9E-08	7,0E-10	4,8E-07	2,0E-09	2,7E-07	1,3E-09
U 5 c	1,1E-07	8,0E-10	2,3E-07	1,2E-09	1,8E-07	1,5E-09
K 3 a	1,1E-07	2,7E-10	3,1E-07	1,4E-09	3,7E-07	1,0E-08
K 3 b	9,4E-08	3,1E-10	3,1E-07	3,2E-09	5,0E-07	3,1E-08
K 3 c	2,1E-07	4,0E-10	9,0E-07	2,3E-09	4,3E-07	3,0E-08
K 4 a	3,4E-06	1,2E-10	8,8E-07	1,5E-10	1,6E-07	3,5E-10
K 4 b	5,4E-07	1,5E-10	5,2E-07	1,1E-10	1,2E-07	1,5E-10
K 4 c	9,4E-07	2,0E-10	2,2E-07	1,1E-10	2,1E-07	1,1E-10
K 5 a	2,6E-08	1,7E-10	3,5E-07	1,5E-10	6,9E-08	1,8E-10
K 5 b	4,4E-08	2,3E-10	1,0E-06	1,8E-10	7,8E-08	2,4E-10
K 5 c	6,3E-07	1,4E-10	8,0E-07	2,6E-10	5,8E-08	8,5E-11

^A Bezeichnungen s. Tab. 3-4, Kleinbuchstaben kennzeichnen die Teilprobe

4 Ergebnisse

4.2 Pflanzenanalysen: I-127 und I-129

Tabelle 4-13: I-127- und I-129-Gehalte der Bewuchsproben 1989 in g Iod je g Trockensubstanz (LBP)

Lysimeter ^A	1. Schnitt	
	I-127	I-129
J 3 a	3,5E-06	1,8E-09
J 3 b	6,1E-06	3,3E-09
J 3 c	3,0E-06	1,4E-09
J 4 a	2,2E-07	9,8E-11
J 4 b	5,3E-07	1,4E-10
J 4 c	2,7E-07	1,6E-10
J 5 a	1,3E-07	5,0E-11
J 5 b	8,0E-08	1,5E-10
J 5 c	2,2E-07	1,3E-10
U 3 a	6,2E-07	2,0E-09
U 3 b	5,0E-07	1,9E-09
U 3 c	8,2E-07	2,2E-09
U 4 a	2,9E-07	3,4E-10
U 4 b	1,4E-07	3,1E-10
U 4 c	1,5E-07	3,1E-10
U 5 a	2,5E-07	6,3E-10
U 5 b	2,5E-07	5,5E-10
U 5 c	2,1E-07	3,0E-10
K 3 a	4,5E-07	1,8E-08
K 3 b	4,0E-07	1,8E-08
K 3 c	5,9E-07	2,0E-08
K 4 a	3,2E-07	1,1E-10
K 4 b	2,5E-07	4,7E-11
K 4 c	3,2E-07	9,8E-11
K 5 a	2,0E-07	1,0E-10
K 5 b	1,2E-07	3,5E-11
K 5 c	3,3E-07	1,2E-10

* Bezeichnungen s. Tab. 3-4, Kleinbuchstaben kennzeichnen die Teilprobe

4 Ergebnisse

4.2 Pflanzenanalysen: I-127 und I-129

Die I-129-Aktivitäten der Bewuchsproben werden in den Tabellen 4-14 bis 4-19 dargestellt.

Tabelle 4-14: I-129-Gehalte der Bewuchsproben 1987
in Bq je kg Trockensubstanz (LBP)

Lysime- ter ^	Teil- probe	1.Schn.	2.Schn.	3.Schn.
J 3	a	12,7	11,0	7,9
J 3	b	-	11,0	15,4
J 3	c	-	8,7	7,8
J 4	a	6,0	1,5	0,9
J 4	b	-	3,4	0,5
J 4	c	-	1,4	0,3
J 5	a	6,0	2,0	0,6
J 5	b	-	1,9	1,3
J 5	c	-	2,2	0,9
U 3	a	12,1	18,0	28,6
U 3	b	-	36,0	16,3
U 3	c	-	59,0	44,4
U 4	a	65,5	22,0	2,0
U 4	b	-	21,0	3,7
U 4	c	-	24,0	4,3
U 5	a	62,2	45,0	5,1
U 5	b	-	47,0	6,1
U 5	c	-	49,0	4,5
K 3	a	7,0	3,1	1,8
K 3	b	-	3,3	6,7
K 3	c	-	2,8	1,0
K 4	a	5,7	1,4	0,1
K 4	b	-	2,1	0,6
K 4	c	-	2,1	0,6
K 5	a	18,4	2,1	0,3
K 5	b	-	3,3	0,9
K 5	c	-	2,6	0,9

^ Bezeichnungen s. Tab. 3-4

4 Ergebnisse
 4.2 Pflanzenanalysen: I-127 und I-129

Die Doppelanalysen des 1. und 3. Grünlandschnittes 1988 (s. Tab. 3-30) wurden zu einem Mittel zusammengefaßt und zusammen mit den Werten des 2. Schnittes in Tabelle 4-15 dargestellt.

Tabelle 4-15: I-129-Gehalte der Bewuchsproben 1988
 in Bq je kg Trockensubstanz (LBP)

Lysime- ter *	Teil- probe	1.Schn.	2.Schn.	3.Schn.
J 3	a	4,9	11,0	11,4
J 3	b	8,0	14,0	35,5
J 3	c	9,1	10,0	13,9
J 4	a	2,3	0,6	0,5
J 4	b	1,2	0,7	0,7
J 4	c	3,5	0,6	0,8
J 5	a	1,5	2,1	1,3
J 5	b	2,1	2,1	1,6
J 5	c	1,7	1,3	0,8
U 3	a	146,2	164,0	75,7
U 3	b	74,3	38,0	30,8
U 3	c	308,9	100,0	54,1
U 4	a	3,3	4,7	8,4
U 4	b	4,0	4,6	6,3
U 4	c	2,9	4,1	4,5
U 5	a	3,9	13,0	7,0
U 5	b	4,6	13,0	8,5
U 5	c	5,3	8,0	9,9
K 3	a	1,7	9,0	66,4
K 3	b	2,0	21,0	200,5
K 3	c	2,6	15,0	198,7
K 4	a	0,8	1,0	2,3
K 4	b	1,0	0,7	1,0
K 4	c	1,3	0,7	0,7
K 5	a	1,1	1,0	1,2
K 5	b	1,5	1,2	1,6
K 5	c	0,9	1,7	0,6

* Bezeichnungen s. Tab. 3-4

4 Ergebnisse

4.2 Pflanzenanalysen: I-127 und I-129

Tabelle 4-16: I-129-Gehalte der Bewuchsproben 1989
in Bq je kg Trockensubstanz (LBP)

Lysimeter ^A	Teilprobe	1.Schn.
J 3	a	11,9
J 3	b	21,7
J 3	c	9,4
J 4	a	0,6
J 4	b	0,9
J 4	c	1,0
J 5	a	0,3
J 5	b	1,0
J 5	c	0,9
U 3	a	13,4
U 3	b	12,4
U 3	c	14,3
U 4	a	2,2
U 4	b	2,1
U 4	c	2,0
U 5	a	4,1
U 5	b	3,6
U 5	c	1,9
K 3	a	119,1
K 3	b	119,2
K 3	c	132,1
K 4	a	0,7
K 4	b	0,3
K 4	c	0,6
K 5	a	0,7
K 5	b	0,2
K 5	c	0,8

Bezeichnungen s. Tab. 3-4

4 Ergebnisse
 4.2 Pflanzenanalysen: I-127 und I-129

Tabelle 4-17: I-129-Gehalte der Bewuchsproben 1987
 in Bq je kg Trockensubstanz (KfK)

Lysime- ter [*]	Teil- probe	1.Schn.	2.Schn.	3.Schn.
J 3	a	26,6	9,4	8,7
J 3	b	13,6	9,2	6,0
J 3	c	21,2	7,6	8,7
J 4	a	4,7	3,8	3,4
J 4	b	8,3	4,3	4,0
J 4	c	9,0	4,0	3,1
J 5	a	9,1	3,9	7,4
J 5	b	3,5	9,7	6,1
J 5	c	3,1	10,6	3,5
U 3	a	36,4	16,6	15,6
U 3	b	24,9	18,4	12,8
U 3	c	18,5	19,0	15,2
U 4	a	13,2	14,2	10,9
U 4	b	20,2	15,2	13,4
U 4	c	18,7	15,9	13,4
U 5	a	39,3	19,2	19,1
U 5	b	32,5	18,8	15,9
U 5	c	36,3	19,6	23,2
K 3	a	<3,9	4,6	3,2
K 3	b	<3,1	3,5	2,8
K 3	c	<3,2	6,3	4,6
K 4	a	15,4	7,3	2,5
K 4	b	8,3	23,9	2,9
K 4	c	13,2	9,2	4,0
K 5	a	18,1	4,0	2,4
K 5	b	13,4	3,2	3,0
K 5	c	6,4	4,1	5,7

^{*} Bezeichnungen siehe Tabelle 3-4

4 Ergebnisse

4.2 Pflanzenanalysen: I-127 und I-129

Tabelle 4-18: I-129-Gehalte der Bewuchsproben 1988 in Bq je kg Trockenmasse (KfK)

Lysime- ter ^A	Teil- probe	1.Schn.	2.Schn.	3.Schn.
J 3	a	28,7	7,6	9,3
J 3	b	24,4	11,0	10,5
J 3	c	21,9	13,4	9,6
J 4	a	25,4	6,5	<2,9
J 4	b	26,9	4,4	2,9
J 4	c	27,5	2,9	1,5
J 5	a	<2,7	2,1	1,6
J 5	b	<2,3	5,6	1,5
J 5	c	<2,2	3,5	1,7
U 3	a	614,7	90,1	28,3
U 3	b	770,9	65,4	31,7
U 3	c	716,1	88,5	34,5
U 4	a	117,9	16,7	12,0
U 4	b	84,9	25,1	10,0
U 4	c	84,1	22,0	11,1
U 5	a	44,2	10,4	14,2
U 5	b	50,7	12,6	17,2
U 5	c	62,0	14,4	<5,9
K 3	a	40,5	6,5	3,1
K 3	b	40,2	9,4	1,6
K 3	c	31,7	6,9	5,4
K 4	a	75,2	5,4	0,9
K 4	b	58,9	4,9	2,8
K 4	c	65,1	4,3	7,1
K 5	a	14,1	2,9	0,9
K 5	b	9,4	3,9	1,7
K 5	c	10,4	5,5	2,7

^A Bezeichnungen siehe Tabelle 3-4

4 **Ergebnisse**
 4.2 **Pflanzenanalysen: I-127 und I-129**

Tabelle 4-19: I-129-Gehalte der Bewuchsproben 1989
 in Bq je kg Trockenmasse (KfK)

Lysime- ter ^A	Teil- probe	1.Schn.
J 3	a	18,8
J 3	b	25,0
J 3	c	17,9
J 4	a	3,0
J 4	b	3,3
J 4	c	2,1
J 5	a	13,5
J 5	b	9,3
J 5	c	11,1
U 3	a	69,7
U 3	b	65,5
U 3	c	83,4
U 4	a	23,8
U 4	b	30,7
U 4	c	22,7
U 5	a	20,7
U 5	b	25,3
U 5	c	25,8
K 3	a	9,1
K 3	b	26,6
K 3	c	47,8
K 4	a	6,4
K 4	b	8,6
K 4	c	9,4
K 5	a	7,9
K 5	b	8,0
K 5	c	12,5

^A Bezeichnungen siehe Tabelle 3-4

4 Ergebnisse

4.3 Luftanalysen: I-129

4.3 Luftanalysen

Ab September 1987 wurde im KfK direkt über den I-129-Lysimetern ein Luftprobenahmegerät für Radioiod installiert. Es bestand aus zwei mit je 70 g TEDA-imprägnierter Aktivkohle gefüllten Patronen, einer Pumpe und einer Gasuhr. Analyse und Messung erfolgten getrennt nach den einzelnen Patronen. Da in diesen ersten Monaten manchmal auch auf der zweiten Aktivkohlepatrone I-129 über der Nachweisgrenze gefunden wurde, wurde angenommen, daß I-129-haltige Aerosole mit der Probenluft angesaugt wurden. Aus diesem Grund wurden jeweils vor den Aktivkohlepatronen zwei Aerosolfilter eingebaut, die ebenfalls auf I-129 untersucht wurden. Der Filtereinbau erfolgte im März 1988.

Im November 1987 wurden nicht zwei, sondern nur eine Mischprobe der beiden Aktivkohlepatronen analysiert. Im Dezember 1987 fiel eine Pumpe aus und konnte nicht kurzfristig ersetzt werden. Daher war die Probenahmeanlage im Dezember 1987 12 Tage außer Betrieb. Parallel zur Probenahme im Gewächshaus erfolgte ab August 1988 eine Luftprobenahme in der Umgebung des Gewächshauses, um damit die I-129-Konzentrationen in der Umgebungsluft bestimmen zu können. Im August und September 1988 waren diese Werte deutlich höher als die Meßwerte im Gewächshaus; ab Oktober 1988 waren sowohl die Werte außerhalb als auch die Meßwerte innerhalb des Gewächshauses unter den erreichten Nachweisgrenzen.

Die Berücksichtigung eines angehobenen Nulleffektes, durch die Einschleppung von unbekanntem Radionukliden, mit dem zur Ausbeutestimmung benutzten I-123 erfolgte ab Oktober 1988 regelmäßig. Es gab vorher keinen Grund diese Kontamination zu berücksichtigen, da einerseits der Produzent eine ausreichende Aktivitätsfreiheit garantierte und andererseits entsprechende Analysen von uns dies bestätigt hatten. Trotzdem kann mit den bisherigen Ergebnissen nicht ausgeschlossen werden, daß die nahe der Nachweisgrenze liegenden Meßergebnisse in der Zeit von September 1987 bis September 1988 in Einzelfällen Ergebnis der nicht auszuschließenden leichten Untergrundkontamination sind.

Die Frage, ob die erreichten Nachweisgrenzen zu hoch waren, um eine eventuelle Störung unserer Experimente durch die Ablagerung von I-129 aus der Luft korrekt erfassen zu können, kann verneint werden. Unter Benutzung des höchsten Meßwertes im Mai 1988 mit $3,0 \text{ mBq/m}^3$ errechnet man bei einer Ablagerung über 60 Tage mit 14 Tagen effektiver Halbwertszeit auf Weidebewuchs, 1 cm/s als Ablagerungsgeschwindigkeit für I_2 , $0,5 \text{ m}^2$ für die Lysimeterfläche und mindestens 100 g Trockengewicht der darauf gesammelten Probe, eine Konzentration von ca. $0,2 \text{ mBq/g}$ Gras trocken. Da die bei unserem Verfahren erreichte Nachweisgrenze für Grasanalysen bei 3 mBq/g Gras trocken lag, kann eine Störung durch die gemessene Luftkontamination ausgeschlossen werden.

4 **Ergebnisse**
 4.3 **Luftanalysen: I-129**

In Tabelle 4-20 sind die Ergebnisse für die Messungen der Luftproben innerhalb des Gewächshauses dargestellt. Grundsätzlich ist, wenn auf beiden Aktivkohlepatronen I-129 gefunden wurde, die Summe dieser Werte angegeben. Lag der Wert auf der zweiten Patrone unter der Nachweisgrenze, wurde er gleich Null gesetzt. Waren beide Patronen unter der Nachweisgrenze, ist die höhere Nachweisgrenze angegeben. Mit Ausnahme des Meßwertes im Mai 1988 liegen alle Ergebnisse bis September 1988 unter oder nahe an den erreichten Nachweisgrenzen. Die erreichten Nachweisgrenzen schwankten in den ersten neun Monaten in einem weiten Bereich, da teilweise sehr unterschiedliche Luftprobenmengen pro Monat gesammelt wurden.

Tab. 4-20: I-129-Konzentrationen in der Gewächshausluft in direkter Umgebung der I-129-Lysimeter (KfK)

Probenahmezeitraum	I-129-Konzentration in mBq/m ³
1987 September	0,07
Oktober	0,54
November	<0,22
Dezember	1,10
1988 Januar	<0,09
Februar	0,07
März	0,17
April	0,33
Mai	3,00
Juni	0,20
Juli	<0,06
August	0,45
September	0,35
Oktober	<0,16
November	<0,19
Dezember	<0,19
1989 Januar	<0,23
Februar	<0,38
März	<0,17
April	<0,21
Mai	<0,38
Juni	<0,50

4 Ergebnisse

4.4 Transferfaktoren des Iod (I-127)

4.4 Transferfaktor Boden-Pflanze des I-127

Im folgenden werden die Transferfaktoren des Iod an Hand der natürlichen I-127 Gehalte von Boden und Pflanzen berechnet. Diese Transferfaktoren des stabilen Iod werden hier nicht als Maßstab für den Transfer des I-129 verwendet, sondern dienen ausschließlich dem Zweck, Rückschlüsse auf die Dynamik des Iod im System Boden-Pflanze zu gestatten.

Transferfaktoren des I-127 wurden an der LBP in den beiden Versuchsjahren 1987 und 1988 jeweils für alle Schnittzeiten bestimmt (Tab. 4-21).

Die mittleren Transferfaktoren des 2. Schnittes 1987 unterscheiden sich von den übrigen varianzanalytisch (Tab. 4-22) signifikant ($GD = 0,200$). Ein Fehler der Analytik wird von den Analysenanstellern (NIR) als unwahrscheinlich gehalten. Eine Kontamination der Pflanzenproben durch Iod (I-127) während der Probenaufarbeitung dürfte ebenso ausgeschlossen sein, so daß zur Erklärung nur eine Pflanzenkontamination während der Vegetation über die Atmosphäre bleibt.

4 Ergebnisse
 4.4 Transferfaktoren des Iod (I-127)

Tabelle 4-21: Transferfaktoren des Iod (I-127)
 für die Bewuchsproben der 3 Schnitte
 1987 und 1988 bezogen auf Pflanzen-
 Trockensubstanz (LBP)

Lysime- ter ^a	1.Schn. 1987	2.Schn. 1987	3.Schn. 1987	1.Schn. 1988	2.Schn. 1988	3.Schn. 1988
J 3 a	0,137	3,587	0,070	0,604	1,247	1,127
J 3 b	-	1,630	0,301	0,394	1,811	1,247
J 3 c	-	2,837	0,091	0,443	0,523	0,966
J 4 a	0,043	2,028	0,040	0,152	0,171	0,062
J 4 b	-	4,506	0,013	0,399	0,176	0,100
J 4 c	-	2,891	0,057	0,333	0,418	0,057
J 5 a	0,022	3,883	0,108	0,027	0,363	0,151
J 5 b	-	3,424	0,038	0,103	0,218	0,181
J 5 c	-	4,236	0,258	0,393	0,236	0,115
U 3 a	0,045	3,457	0,101	0,370	0,802	0,494
U 3 b	-	3,985	0,061	0,117	0,370	0,352
U 3 c	-	4,465	0,375	0,259	0,864	0,562
U 4 a	0,096	4,096	0,020	0,051	0,369	0,066
U 4 b	-	4,556	0,086	0,091	0,483	0,056
U 4 c	-	4,096	0,126	0,187	0,278	0,073
U 5 a	0,021	1,442	0,074	0,107	0,086	0,157
U 5 b	-	1,721	0,007	0,049	0,343	0,193
U 5 c	-	1,767	0,095	0,079	0,164	0,129
K 3 a	0,044	2,872	0,011	0,073	0,205	0,244
K 3 b	-	4,659	0,135	0,062	0,205	0,330
K 3 c	-	4,978	0,055	0,139	0,594	0,284
K 4 a	0,042	5,269	0,057	2,667	0,690	0,125
K 4 b	-	3,908	0,281	0,424	0,408	0,094
K 4 c	-	5,802	0,037	0,737	0,173	0,165
K 5 a	0,067	5,114	0,066	0,015	0,206	0,041
K 5 b	-	4,354	0,726	0,026	0,590	0,046
K 5 c	-	4,907	1,175	0,372	0,472	0,034
Mittel	0,057	3,721	0,165	0,321	0,462	0,276

^a Bezeichnungen s. Tab. 3-4,
 Kleinbuchstaben kennzeichnen die Teilprobe

4 Ergebnisse

4.4 Transferfaktoren des Iod (I-127)

Tabelle 4-22: Varianzanalyse der Transferfaktoren des I-127 (LBP)

Varianz	SAQ	FG	MAQ	F
Böden	5,369	2	2,684	1,93
Feuchtestufen	1,612	2	0,806	0,58
Schnittzeiten	120,875	2	60,438	43,49 ^A
Restvarianz	190,385	137	1,390	

* Signifikanz

Wie die Varianzanalyse ergab, haben sich nur die Schnittzeiten auf den Transferfaktor des stabilen Iod signifikant ausgewirkt.

4 Ergebnisse
 4.5 Transferfaktoren des Iod (I-129)

4.5 Transferfaktoren Boden-Pflanze des I-129

Tabelle 4-23: Transferfaktoren des Iod (I-129) für die Bewuchsproben der 3 Schnitte 1987 und 1988 bezogen auf Pflanzen-Trockensubstanz (LBP)

Lysime- ter ^a	1.Schn. 1987	2.Schn. 1987	3.Schn. 1987	1.Schn. 1988	2.Schn. 1988	3.Schn. 1988
J 3 a	0,017	0,015	0,011	0,009	0,020	0,021
J 3 b	-	0,015	0,021	0,015	0,026	0,066
J 3 c	-	0,012	0,010	0,017	0,019	0,026
J 4 a	0,011	0,003	0,002	0,004	0,001	0,001
J 4 b	-	0,006	0,001	0,002	0,001	0,001
J 4 c	-	0,003	0,000	0,006	0,001	0,001
J 5 a	0,011	0,004	0,001	0,003	0,004	0,002
J 5 b	-	0,003	0,002	0,004	0,004	0,003
J 5 c	-	0,004	0,002	0,003	0,002	0,001
U 3 a	0,019	0,028	0,044	0,284	0,318	0,147
U 3 b	-	0,055	0,025	0,144	0,074	0,060
U 3 c	-	0,091	0,068	0,600	0,194	0,105
U 4 a	0,093	0,031	0,003	0,005	0,007	0,013
U 4 b	-	0,030	0,005	0,006	0,007	0,010
U 4 c	-	0,034	0,006	0,004	0,006	0,007
U 5 a	0,110	0,079	0,009	0,007	0,022	0,012
U 5 b	-	0,083	0,011	0,008	0,022	0,015
U 5 c	-	0,086	0,008	0,009	0,014	0,017
K 3 a	0,012	0,005	0,003	0,003	0,016	0,120
K 3 b	-	0,006	0,011	0,004	0,038	0,362
K 3 c	-	0,005	0,002	0,005	0,027	0,359
K 4 a	0,009	0,002	0,000	0,001	0,002	0,004
K 4 b	-	0,003	0,001	0,002	0,001	0,002
K 4 c	-	0,003	0,001	0,002	0,001	0,001
K 5 a	0,032	0,004	0,000	0,002	0,002	0,002
K 5 b	-	0,006	0,002	0,003	0,002	0,003
K 5 c	-	0,004	0,002	0,002	0,003	0,001

* Bezeichnungen s. Tab. 3-4,
 Kleinbuchstaben kennzeichnen die Teilprobe

4 Ergebnisse

4.5 Transferfaktoren des Iod (I-129)

Tabelle 4-24: Transferfaktoren des Iod (I-129) für die Bewuchsproben der 3 Schnitte 1987 und 1988 bezogen auf Pflanzen-Trockensubstanz (KfK)

Lysimeter ^	1.Schn. 1987	2.Schn. 1987	3.Schn. 1987	1.Schn. 1988	2.Schn. 1988	3.Schn. 1988
J 3 a	0,063	0,022	0,020	0,078	0,021	0,025
J 3 b	0,032	0,022	0,014	0,066	0,030	0,028
J 3 c	0,050	0,018	0,020	0,059	0,036	0,026
J 4 a	0,010	0,008	0,007	0,052	0,013	0,006
J 4 b	0,018	0,009	0,009	0,055	0,009	0,006
J 4 c	0,019	0,009	0,007	0,057	0,006	0,003
J 5 a	0,026	0,011	0,021	0,007	0,005	0,004
J 5 b	0,010	0,028	0,018	0,006	0,015	0,004
J 5 c	0,009	0,031	0,010	0,006	0,009	0,004
U 3 a	0,086	0,039	0,037	1,485	0,218	0,068
U 3 b	0,059	0,044	0,030	1,862	0,158	0,077
U 3 c	0,044	0,045	0,036	1,730	0,214	0,083
U 4 a	0,030	0,032	0,025	0,323	0,046	0,033
U 4 b	0,046	0,034	0,030	0,232	0,069	0,027
U 4 c	0,042	0,036	0,030	0,230	0,060	0,030
U 5 a	0,094	0,046	0,046	0,101	0,024	0,033
U 5 b	0,078	0,045	0,038	0,116	0,029	0,042
U 5 c	0,087	0,047	0,056	0,142	0,033	0,014
K 3 a	0,009	0,011	0,008	0,095	0,015	0,007
K 3 b	0,007	0,008	0,007	0,094	0,022	0,004
K 3 c	0,008	0,015	0,011	0,074	0,016	0,013
K 4 a	0,036	0,017	0,006	0,188	0,014	0,002
K 4 b	0,020	0,056	0,007	0,147	0,012	0,007
K 4 c	0,031	0,022	0,009	0,163	0,011	0,018
K 5 a	0,044	0,010	0,006	0,027	0,006	0,002
K 5 b	0,032	0,008	0,007	0,018	0,008	0,003
K 5 c	0,015	0,010	0,014	0,020	0,011	0,005

* Bezeichnungen s. Tab. 3-4,
Kleinbuchstaben kennzeichnen die Teilprobe

4 Ergebnisse
 4.5 Transferfaktoren des Iod (I-129)

Die Transferfaktoren der Tabellen 4-23 und 4-24 wurden einer Varianzanalysen unterzogen (Tab.4-25).

Tabelle 4-25: Varianztabelle für die Transferfaktoren des I-129 aus den Tabellen 4-23 und 4-24

Einflußfaktor	S A Q	F G	M A Q	F
Böden	0,645	2	0,322	13,21 ^A
Feuchtestufen	0,495	2	0,242	10,14 ^A
Schnittzeiten	0,435	2	0,218	8,91 ^A
Jahre	0,228	1	0,228	9,36 ^A
Orte	0,102	1	0,102	4,16 ^A
Böden x Feuchte	0,533	4	0,133	5,46 ^A
Restvarianz	7,152	293	0,024	

^A Signifikanz

Bei der Berechnung der Grenzdifferenzen zwischen Mittelwerten ist die Zahl der Glieder zu berücksichtigen, aus denen die Mittelwerte bestehen. Die Mittelwerte LBP/1.Schnitt/87 (Tab. 4-26, 4-27) bestehen aus 3 und die übrigen Mittelwerte LBP und KfK aus 9 Gliedern:

Zahl der Glieder		GD 5%
1.Mittel	2.Mittel	
3	3	0,177
3	9	0,205
9	9	0,102

Die Transferfaktoren auf Urgesteinsboden sind signifikant höher als die übrigen. Im KfK ist dieser Befund deutlicher als an der LBP ausgeprägt. Damit ist die Abhängigkeit des Iodtransfers von den Bodeneigenschaften eindeutig belegt. Die Transferfaktoren fallen meistens vom 1. zum 3. Schnitt. Im 2. Versuchsjahr war diese Tendenz stärker als im 1. und im KfK stärker als bei der LBP (Tab. 4-26).

4 Ergebnisse

4.5 Transferfaktoren des Iod (I-129)

Tabelle 4-26: Mittlere Transferfaktoren des I-129 bezogen auf die Pflanzen-TS in Abhängigkeit vom Schnittzeitpunkt, dem Boden^A und dem Jahr bei LBP und KfK

Ort	Bo- den ^A	1.Schn. 1987	2.Schn. 1987	3.Schn. 1987	1.Schn. 1988	2.Schn. 1988	3.Schn. 1988
LBP	J	0,013	0,007	0,006	0,007	0,011	0,014
LBP	U	0,075	0,059	0,022	0,119	0,077	0,043
LBP	K	0,017	0,004	0,002	0,003	0,009	0,095
KfK	J	0,026	0,018	0,014	0,043	0,016	0,012
KfK	U	0,063	0,041	0,036	0,691	0,094	0,045
KfK	K	0,022	0,017	0,008	0,092	0,013	0,007

^A Bezeichnungen s. Tab. 3-4

Ein weiterer Versuchsfaktor neben der Bodenherkunft war die Bodenfeuchte, gemessen in ökologischen Feuchtegraden. Sowohl an der LBP als auch im KfK fielen im 2. Versuchsjahr die Transferfaktoren signifikant unter den trockeneren Vegetationsbedingungen der Feuchtestufen 4 und 5. Im 1. Versuchsjahr traf dies nicht zu. Der Einfluß der Bodenfeuchte auf den Iodtransfer war im KfK signifikant deutlicher als an der LBP ausgeprägt. Mit dem Fortschreiten der Vegetation von einem Schnittzeitpunkt zum nächsten verminderte sich der Feuchteeinfluß wiederum (Tab. 4-27).

Tabelle 4-27: Mittlere Transferfaktoren des I-129 bezogen auf die Pflanzen-TS in Abhängigkeit vom Schnittzeitpunkt, der Feuchtestufe (FST) und dem Jahr bei LBP und KfK

Ort	FST ^A	1.Schn. 1987	2.Schn. 1987	3.Schn. 1987	1.Schn. 1988	2.Schn. 1988	3.Schn. 1988
LBP	3	0.016	0.028	0.023	0.120	0.081	0.141
LBP	4	0.039	0.013	0.002	0.004	0.003	0.004
LBP	5	0.050	0.030	0.004	0.004	0.008	0.006
KfK	3	0.040	0.025	0.020	0.616	0.081	0.037
KfK	4	0.028	0.025	0.014	0.161	0.027	0.015
KfK	5	0.044	0.026	0.024	0.049	0.015	0.012

^A Bezeichnungen s. Tab. 3-4

4 Ergebnisse
 4.5 Transferfaktoren des Iod (I-129)

Bei den bisher behandelten Transferfaktoren handelte es sich um Werte, die auf die Pflanzentrockensubstanz bezogen waren. Die Expositionsberechnungen sind jedoch nach den ABG (L-2) mittels Transferfaktoren vorzunehmen, die auf die Pflanzenfrischsubstanz bezogen sind. Der Wassergehalt des Grünlandbewuchses schwankt in weitem Bereich, wie die Tabellen 3-11 bis 3-17 und 3-20 bis 3-26 zeigten. Auch unter den Bedingungen der landwirtschaftlichen Praxis ist eine solche Streuung gegeben. Das Grünfutter der landwirtschaftlichen Praxis besitzt im Mittel etwa 80% Wasser. Die auf die Trockensubstanz bezogenen Transferfaktoren werden auf diesen einheitlichen Wassergehaltswert umgerechnet, d. h. durch 5 dividiert, um Transferfaktoren zu erhalten, die auf die Pflanzenfrischsubstanz bezogen sind (Tab. 4-28).

Tabelle 4-28: Mittlere Transferfaktoren des I-129 bezogen auf die Pflanzen-Frischsubstanz (20% TS) in Abhängigkeit vom Boden und der Feuchtestufe (FST) bei LBP und KfK

Mittel A	LBP		KfK	
	1987	1988	1987	1988
J 3	0,003	0,005	0,006	0,008
J 4	0,001	0,000	0,002	0,005
J 5	0,001	0,001	0,004	0,001
U 3	0,010	0,043	0,009	0,131
U 4	0,006	0,001	0,007	0,023
U 5	0,011	0,003	0,012	0,012
K 3	0,001	0,020	0,002	0,008
K 4	0,001	0,000	0,005	0,012
K 5	0,001	0,001	0,003	0,002

* Bezeichnungen s. Tab. 3-4

5 Zusammenfassung und Bewertung

Es war der Transferfaktor des I-129 für Grünlandbewuchs zu bestimmen und zwar spezifisch für die Vegetationsbedingungen des 5 km Bereiches um das Planungsprojekt "Wiederaufarbeitungsanlage für Kernbrennstoffe in Wackersdorf".

In diesem 5 km Bereich liegen 637 ha Grünland. Die verschiedenen Flächen unterscheiden sich durch ihre Feuchteverhältnisse und durch die geologische Herkunft der Böden.

In den Jahren 1987 und 1988 wurden an der LBP insgesamt 144 und im KfK 162 Bestimmungen des Transferfaktors Boden-Pflanze für Grünlandbewuchs vorgenommen. Über die Hälfte dieser Transferfaktoren, bezieht man sie auf die Pflanzenfrischsubstanz (20% TS), liegen in dem Größenbereich von 0,000 bis 0,005 (Tab.5-1).

Tabelle 5-1: Häufigkeitsverteilung der auf die Pflanzenfrischsubstanz bezogenen Transferfaktoren des I-129

Transferfaktor-Klassenbreite	Häufigkeit	
	abs.	%
0,000 bis 0,005	195	63,73
0,005 bis 0,010	53	17,32
0,010 bis 0,015	17	5,56
0,015 bis 0,020	14	4,58
0,020 bis 0,025	6	1,96
0,025 bis 0,030	4	1,31
0,030 bis 0,035	2	0,65
0,035 bis 0,040	2	0,65
0,040 bis 0,045	2	0,65
0,045 bis 0,050	2	0,65
0,050 bis 0,055	0	0,00
0,055 bis 0,060	1	0,33
0,060 bis 0,065	2	0,65
0,065 bis 0,070	0	0,00
>0,070	6	1,96

Der Mittelwert aller 306 Transferfaktoren ist $0,010 \pm 0,035$. Die Höhe der Streuung und der zum Vergleich niedere Median von 0,002 weisen auf einige wesentlich höhere Transferfaktoren hin.

Der Transferfaktor des I-129 war auf dem Urgesteinsboden signifikant höher als auf dem Jura- und Kreideboden. Innerhalb der gleichen Bodenherkunft wurde der Iodtransfer durch Bodennässe signifikant erhöht. Die feuchten und mäßig feuchten Lagen (Feuchtestufe 3 und 4) auf Urgesteinsverwitterung ergaben die höchsten Transferfaktoren. Diese Flächen nehmen mit 209 ha 32,8% des gesamten Grünlands ein.

Die Unterschiede der Transferfaktoren der LBP und des KfK, vor allem im 2. Versuchsjahr werden auf die unterschiedlichen Flutungszeiten zurückgeführt. Sie sind daher ein Indiz für die Wichtigkeit der zeitlichen Komponente einer Feuchteänderung im Boden. Je nach Lage und Bodenart trocknet das Grünland im Frühjahr bzw. nach jedem Niederschlagsereignis unterschiedlich schnell ab. Es

war nicht möglich, im gegebenen Untersuchungszeitraum diesen Aspekt und seine Bedeutung für den standortspezifischen Transferfaktor des Iod präzise darzustellen. Es muß deswegen dahingestellt bleiben, ob durch die Versuchsbedingungen die entscheidende Faktorenkombination Bodeneigenschaften - Feuchteverhältnisse in ihrer vollen Variationsbreite, wie sie am Standort Wackersdorf vorliegen, erfaßt werden konnten und ob die Vegetationsbedingungen an der LBP oder im KfK denen des Standorts Wackersdorf näher kamen.

Die gefundenen Transferfaktoren liegen zu einem großen Teil in dem Bereich, der auch für Ackerkulturen bestimmt worden ist. Sie liegen jedoch deutlich unter denen, die Aumann für die Standorte "Hirschberg" bei Fuhrn und Altenschwand bestimmt hat. Er fand folgende auf Pflanzenfrischsubstanz (20% TS) bezogene Transferfaktoren:

Wiederholung	Altenschwand			Fuhrn		
	Boden Bq/g	Pflanze Bq/g (TS)	TF (FS)	Boden Bq/g	Pflanze Bq/g (TS)	TF (FS)
a	3,59	5,73	0,319	2,89	7,12	0,493
b	6,36	4,44	0,140	2,51	5,36	0,427
c	5,08	5,37	0,211	2,59	7,64	0,590
Mittel	5,01	5,18	0,207	2,66	6,71	0,504

Die Boden- und Pflanzenproben für diese Analysen wurden am 15. Oktober 1985 von der LBP gezogen. Beide Flächen waren damals trocken. Der Standort Fuhrn, am Hirschberg gelegen neigt auf Grund seiner Topographie nicht zur Vernässung. Durch Nässe kann daher die Höhe dieser Transferfaktoren nicht beeinflußt worden sein.

Die GSF berichtet von einer mittleren I-129 Aktivität bei Trockenboden aus der Wackersdorfer Gegend von $2,3E-04$ Bq je kg (L-3). In Grünlandbewuchsproben fand sie $3,4E-04$ Bq je kg Trockensubstanz. Daraus errechnet sich ein auf die Pflanzenfrischsubstanz (20% TS) bezogener Transferfaktor von 0,3. Auch dieser Wert liegt deutlich über dem an der LBP und im KfK gefundenen Durchschnitt.

Im gleichen Bericht (L-3) findet man Angaben über den Gehalt der Niederschläge an I-129. Im Juni und August 1988 wurden dem Boden 0,614 bzw. 0,120 mBq je m² zugeführt.

Der Schluß liegt nahe, daß die relativ hohen Transferfaktoren, die man durch Bestimmung des in der Umwelt allgemein verbreiteten Iod (I-129) findet, durch Ablagerungen auf der Pflanzenoberfläche zu erklären sind. Diese I-129-Depositionen an der Pflanzenoberfläche sind bei der Transferfaktorenbestimmung der LBP ohne wesentlichen Einfluß gewesen, da bei der Dotierung des Bodens mit ca. 350 Bq je kg die Depositionen auf der Pflanzenoberfläche neben der Aufnahme über die Wurzeln unbedeutend sind.

An der LBP wurden auch Transferfaktoren des I-127 bestimmt. Dabei ergab sich beim 2. Schnitt des 1. Versuchsjahres 1987 eine starke Erhöhung aller Transferfaktoren, die weder beim 3. Schnitt noch im folgenden Versuchsjahr zu beobachten waren. Daher werden nur die

Transferfaktoren des I-127 mit denen des I-129 aus dem 2. Versuchsjahr verglichen, wobei es sich um die auf die Pflanzentrockensubstanz bezogenen Werte handelt:

	I-127	I-129
Mittel	0,357	0,041
Median	0,207	0,006
$\pm s$	0,421	0,099

Die Unterschiede zwischen den beiden Transferfaktoren sind nicht unerheblich. Der mittlere Transfer des I-127 übersteigt den des I-129 um beinahe das 10/fache. Sowohl bei den Untersuchungen von Aumann in Fuhrn und Altenschwand als auch bei denen der GSF (L-3), die im Raum Schwandorf vorgenommen worden sind, verhielt es sich umgekehrt.

Die Transferfaktoren der betreffenden Versuchsglieder sind bei einem Korrelationskoeffizienten von $r = 0,04$ nicht miteinander korreliert.

Wenn zwischen den hier gefundenen Transferfaktoren beider Iodisotope anscheinend keine Beziehung besteht, so verbieten sich irgendwelche Rückschlüsse. Bisher ging man davon aus, daß die niedrigeren Transferfaktoren des I 127 durch dessen intensivere Fixierung an den Boden verursacht werden. Diese Annahme setzt stillschweigend voraus, daß das stabile Iod des Bodens aus dessen mineralischer Komponente stammt, oder daß es in geologischen Zeiträumen den Weg Meer - Atmosphäre - Deposition genommen hat und daher überwiegend stark fixiert ist. Die GSF hat das stabile Iod 1988 auch im Niederschlag nachgewiesen und zwar im Juli 1988 mit 0,108 und im August des gleichen Jahres mit 0,179 mg je Quadratmeter.

Das geringe Zahlenmaterial über das stabile Iod lassen verlässliche Erklärungen nicht zu. Es deutet jedoch darauf hin, daß stabiles Iod heute über die Atmosphäre in nicht unerheblicher Menge aus der Atmosphäre eingetragen werden kann.

Die Deposition des Iod, vor allem des I-129, auf den Pflanzen aus der Atmosphäre und deren Einfluß auf die feststellbaren Transferfaktoren waren Untersuchungsgegenstand. Der Abbruch der Arbeiten erlaubt jedoch keine Aussage hierüber.

Ebenso wenig ist eine Aussage möglich, inwieweit experimentell zu bestimmende Transferfaktoren im Laufe der Zeit wegen einer zunehmenden Fixierung des I-129 an den Boden abnehmen.

Das erarbeitete Material an Transferfaktoren des I-129 für Grünlandbewuchs sowie die Verbreitung jener Grünlandflächen im 5 km Bereich um das Planungsprojekt, die einen erhöhten Iod-Transfer Boden - Pflanze erwarten lassen, erlauben die Feststellung, daß der Transferfaktor des I-129 von 0,1, wie er in den ABG vorgesehen ist (L-2), eine im Sinne des Strahlenschutzes vorsichtige Annahme ist und sich daher als Grundlage für vorläufige Expositionsberechnungen eignet.

6 Quellenverzeichnis

6 Quellenverzeichnis

- L-1 Arbeitsgruppe Bodenkunde der geologischen Landesämter und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in der Bundesrepublik Deutschland: Bodenkundliche Kartieranleitung, 3. verb. u. erw. Aufl., Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 1982**

- L-2 Bundesminister des Innern: Allgemeine Berechnungsgrundlage für die Strahlenexposition bei radioaktiven Ableitungen mit der Abluft oder in Oberflächengewässern (Richtlinie zu §45 StrlSchV) GMBI, S. 371; 1979**

- L-3 Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung München: Bericht über Messungen der allgemeinen Umweltradioaktivität im Raum Schwandorf 1988, GSF-Bericht 9/89, Abteilung für Technischen Strahlenschutz, Neuherberg, Mai 1989**

- L-4 Sachs L., Angewandte Statistik, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1974**