

**KfK 4131
Mai 1987**

Untersuchungen zum Transport von Tritium in der Umwelt

**L. A. König, S. Fark, S. Hempelmann, K.-G. Langguth,
G. Pagliosa, D. Papadopoulos, S. Strack
Hauptabteilung Sicherheit**

Kernforschungszentrum Karlsruhe

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE
Hauptabteilung Sicherheit

KfK 4131

Untersuchungen zum Transport von Tritium in der Umwelt

**L.A. König, S. Fark, S. Hempelmann, K.-G. Langguth,
G. Pagliosa, D. Papadopoulos, S. Strack**

**Abschlußbericht des BMI-geförderten Forschungsvorhabens St.Sch. 924:
Vergleich von Meßergebnissen mit Berechnungen nach der "Allgemeinen Berechnungs-
grundlage (Richtlinie zu § 45 StrlSchV)" am Beispiel von Tritium**

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

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

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
Postfach 3640, 7500 Karlsruhe 1

ISSN 0303-4003

Zusammenfassung

Im Rahmen des Forschungsvorhabens konnte das Verständnis des radioökologischen Verhaltens von Tritium vertieft werden.

Die Flächenbelastung durch Tritium in Niederschlägen läßt sich für Regen und Schnee mit dem gleichen Modell und der gleichen Konstante $s = 3 \cdot 10^{-9} \text{ a mm}^{-1}$ und s^{-1} beschreiben. Diese Konstante ist sowohl im Einzelfall als auch im Langzeitmittel anwendbar. Eine Einschränkung ist insofern zu machen, als die Übereinstimmung berechneter und gemessener Werte zwar nicht für das einzelne Niederschlagsereignis, wohl aber für das Mittel vieler Einzelfälle gegeben ist. Ob diese Konstante standortunabhängig ist, kann nur durch Überprüfung an anderen Standorten endgültig geklärt werden. Dieses Ergebnis stellt eine Möglichkeit dar, die allgemeine Berechnungsgrundlage zu ergänzen.

Mit dem "Spezifischen-Aktivitäts-Modell" wird der zeitliche Verlauf der Tritiumkonzentration in Pflanzen nicht erfaßt. Sehr wohl lassen sich aber Medianwerte von Luft-, Boden- und Pflanzenfeuchte miteinander vergleichen. Eine weitere Aufschlüsselung des organisch gebundenen Tritiums ist wegen des unterschiedlichen Verhaltens der einzelnen Komponenten im Stoffwechsel wünschenswert. Im organisch gebundenen Wasserstoff ist der Tritiumanteil zeitlich viel langsamer veränderlich als im Gewebewasser. Bedingt durch den hohen Wasseranteil in Obst und Gemüse ist der Anteil des organisch gebundenen Tritiums am Gesamtritium relativ gering. Bezogen auf die Masseneinheit stimmen die Aktivitäten in Gewebewasser und Frischmasse zahlenmäßig überein. Dies gilt auch für die untersuchten Proben von Getreidekörnern.

Zwischen dem Gewebewasser von Fischen und dem umgebenden Wasser findet ein rascher Tritiumaustausch statt. Die Tritiumkonzentration des Verbrennungswassers der organischen Substanz entspricht größenordnungsmäßig den Quartalsmittelwerten der Tritiumkonzentration im Vorfluter. Weitere Untersuchungen über Tritium in Fischen wären nützlich. In der Nähe des mit Tritium beaufschlagten Vorfluters ist Tritium auch im Grundwasser nachweisbar. Im vorliegenden Fall lag die Konzentration in der obersten Grundwasserschicht in der Größenordnung 10 - 25 % der Konzentration im Vorfluter. Eine modellmäßige Beschreibung ist bei der Komplexität des Problems mit den verfügbaren Mitteln nicht möglich.

Studies on Tritium Transport in the Environment

Summary

It has been possible under the research project to deepen understanding of the radioecological behavior of tritium. The project was sponsored by the Federal Minister of Interior (St.Sch. 924).

The load per unit area by tritium in precipitations can be described by the same model for rain and snow, with the same constant $s = 3 \times 10^{-9} \text{ a mm}^{-1} \text{ s}^{-1}$. This constant can be applied both to the individual case and as a long-term average. The reservation to be made is that there is no agreement of calculated and measured values with respect to the individual precipitation event; the values agree, however, as regards the average of many individual cases. Whether this constant is independent of the location can be finally clarified only by verifications performed at other locations. The result provides a possibility of supplementing the general basis of calculation.

The "specific activity model" does not cover the development versus time of the tritium concentration in plants. On the other hand, median values of air, soil and plant moistures can be well compared with each other. On account of the differences in behavior of the individual compounds in the metabolism a further breakdown of the organically bound tritium is desirable. The tritium fraction in organically bound hydrogen undergoes variations with time at a much lower rate than in tissue water. Due to the high percentage of water contained in fruit and vegetable the fraction of the organically bound tritium in total tritium is relatively low. Related to the mass unit the activities in tissue water and fresh substance agree numerically. This also holds for the corn grain samples investigated.

A quick exchange of tritium takes place between the tissue water of fish and the ambient water. The order of magnitude of tritium concentration in the combustion water of the organic substance corresponds to the three months averages of tritium concentration in the main canal. Further investigations of tritium in fish would be helpful. In the vicinity of the tritium exposed main canal tritium can be detected in the groundwater too. In the case considered the concentration in the topmost groundwater layer was of the order of 10-25% of the concentration in the main canal. Considering the complexity of the problem, description by a model is not possible with the means available.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1	Einleitung 1
2	Tritiumemissionen mit Fortluft und Abwasser 2
3	Luftpfad 4
3.1	Vergleich von Meßergebnissen mit berechneten Werten 6
3.1.1	Tritiumkonzentration am Standort einer Buche ("Versuchsbuche") 6
3.1.2	Tritium im Regenwasser an der Probenahmestelle A 10
3.1.3	Tritium im Regenwasser an den Meßhütten der Umgebungsüberwachung 11
3.1.4	Tritium im Schneewasser aus der Umgebung des KfK 13
3.1.5	Für die Konstante s empfohlener Wert 18
3.2	Tritiumkonzentrationen in pflanzlichen Nahrungsmitteln aus den Hauptausbreitungssektoren 20
4	Wasserpfad 32
4.1	Beaufschlagung des Vorfluters und benachbarter Oberflächengewässer 32
4.2	Tritiumaustausch von Fischen und Wasserpflanzen mit dem umgebenden Wasser 36
4.2.1	Tritium in Fischen und Wasserpflanzen aus dem Vorfluter 36
4.2.2	Tritiumaustausch zwischen Fischen und umgebendem Wasser 37
4.2.2.1	Tritiumabgabe von Fischen 38
4.2.2.2	Tritiumaufnahme durch Fische 39
4.2.3	Radiologische Bedeutung des organisch gebundenen Tritiums in Fischen 40
4.3	Tritium im Trinkwasser in der Nähe des Vorfluters 40
4.4	Tritium in einigen landwirtschaftlichen Produkten 41
5	Vergleich der Ergebnisse der vorliegenden Studie mit Berechnungen nach der "Allgemeinen Berechnungsgrundlage" 45
5.1	Ableitungen mit der Fortluft 45
5.1.1	Deposition 45
5.1.2	Ingestion 45
5.2	Ableitungen mit dem Abwasser 47
5.2.1	Expositionspfad Trinkwasser 47
5.2.2	Expositionspfad Fischverzehr 47
5.2.3	Expositionspfade Viehtränke - Milch/Fleisch und Beregnung - Futterpflanze - Milch/Fleisch 48
6	Literatur 49

Liste der Tabellen

- Tab. 2/1: Tritiumemissionen mit der Abluft des Kernforschungszentrums Karlsruhe in den Jahren 1971 bis 1986 in TBq
- Tab. 2/2: Tritiumableitungen mit dem KfK-Abwasser in den Jahren 1970 bis 1986
- Tab. 3/1: Medianwerte des Verhältnisses r (= gemessene/berechnete Tritiumkonzentration)
- Tab. 3/2: Vergleich gemessener und mit den Ableitungen der Hauptemittenten MZFR und IIDB/Verbrennungsanlage berechneten Werte der Tritiumflächenbelastung für die Probenahmestelle A sowie die Referenzprobenahmestelle Augustenberg (Jahre 1982 - 1984)
- Tab. 3/3: Tritiumemissionen mit der Abluft des Kernforschungszentrums Karlsruhe in Bq
- Tab. 3/4: Tritiumabgabe mit der Kaminabluft des MZFR vom 21.12.1984 bis 16.01.1985
- Tab. 3/5: Ergebnisse der Tritiummessungen von Schneeproben
- Tab. 3/6: Wasserstoffgehalt H in Gewichtsprozenten der Trockensubstanz verschiedener Pflanzenmaterialien und der sich daraus ergebende Umrechnungsfaktor f
- Tab. 3/7: Tritiumkonzentrationen in pflanzlichen Nahrungsmitteln aus dem 1. Hauptausbreitungssektor in der Umgebung des KfK
- Tab. 3/8: Tritiumkonzentrationen in pflanzlichen Nahrungsmitteln aus dem 2. Hauptausbreitungssektor in der Umgebung des KfK
- Tab. 3/9: Tritiumkonzentrationen in Bodenproben, die mit den pflanzlichen Nahrungsmitteln aus dem 1. Hauptausbreitungssektoren in der Umgebung des KfK entnommen wurden
- Tab. 3/10: Tritiumkonzentrationen im Bodenwasser von Bodenproben sowie in Proben kondensierter Luftfeuchte, die mit den pflanzlichen Nahrungsmitteln aus dem 2. Hauptausbreitungssektor in der Umgebung des KfK entnommen wurden
- Tab. 3/11: Medianwerte der Tritiumkonzentrationen in landwirtschaftlichen Produkten und in Boden- sowie Luftfeuchten in den Jahren 1984 und 1985 in mBq/g
- Tab. 4/1: H-3-Aktivitätskonzentration in Oberflächengewässern im Tiefgestade
- Tab. 4/2: Tritiumkonzentrationen in Fischen und Wasserpflanzen aus dem Altrhein. Im Mittel entstanden 0,40 ml Oxidationswasser bei der Veraschung von 1 g Trockensubstanz der oben genannten Fischproben
- Tab. 4/3: Bei der Tritiumabgabe von Fischen gefundene Konstanten
- Tab. 4/4: Tritiumkonzentrationen pflanzlicher Nahrungsmittel und gleichzeitig entnommener Bodenproben von verschiedenen landwirtschaftlichen Betrieben in der Nähe des Rheinniederungskanaals

Liste der Abbildungen

- Abb. 1/1: Tritiumtransport in der Umwelt
- Abb. 2/1: Standorte der Tritiumemittenten des Kernforschungszentrums Karlsruhe, der Regenwassersammelstelle A und der "Versuchsbuche" B
- Abb. 3/1a-e: Vergleich der in der kondensierten Luftfeuchte gemessenen und der berechneten H-3-Konzentrationen am Standort der "Versuchsbuche"
- Abb. 3/2a-e: Summenhäufigkeit von berechneten und in der kondensierten Luftfeuchte gemessenen täglichen H-3-Konzentrationen am Standort der Buche für die Vegetationsperioden 1981 bis 1985
- Abb. 3/3: Summenhäufigkeit des Verhältnisses r (= berechnete H-3-Konzentration / gemessene H-3-Konzentration)
- Abb. 3/4: Vergleich berechneter mit gemessenen Flächenbelastungswerten der Meßhütten "West" und "Nordost" für die Jahre 1981 - 1985
- Abb. 3/5: Entnahmestellen von Schneeproben
- Abb. 3/7: Tritiumkonzentrationen in landwirtschaftlichen Produkten Raum Friedrichstal 1984
- Abb. 3/8: Tritiumkonzentrationen in landwirtschaftlichen Produkten Raum Friedrichstal 1985
- Abb. 3/9: Tritiumkonzentrationen in landwirtschaftlichen Produkten Raum Eggenstein 1984
- Abb. 3/10: Tritiumkonzentrationen in landwirtschaftlichen Produkten Raum Eggenstein 1985
- Abb. 3/11: Vergleich mittlerer Tritiumkonzentrationen Raum Friedrichstal 1981 - 1985
- Abb. 3/12: Vergleich mittlerer Tritiumkonzentrationen Raum Eggenstein 1981 - 1985
- Abb. 4/1: Lageplan der Probenahmestellen
- Abb. 4/2: Quartalsmittelwerte der Tritiumkonzentration in 400 m Entfernung hinter der Einleitungsstelle kontinuierlich gesammelter Proben
- Abb. 4/3: Tritiumkonzentration in Wasser, Fisch und Wasserstern
- Abb. 4/4: Tritiumkonzentration in Eigenwasserversorgung
- Abb. 4/5: Tritiumkonzentrationen in verschiedenen Proben von einem landwirtschaftlichen Betrieb in der Nähe des Rheinniederungskanals 1984
- Abb. 4/6: Tritiumkonzentrationen in verschiedenen Proben von einem landwirtschaftlichen Betrieb 1985

1 Einleitung

Die Tritiumemissionen des Kernforschungszentrums mit der Fortluft und dem Abwasser bieten die Möglichkeit, das radioökologische Verhalten von Tritium unter realen Bedingungen zu untersuchen. Im folgenden werden Ergebnisse des BMI-geförderten Forschungsvorhabens St.Sch. 924 berichtet. Ziel dieses Vorhabens war, anhand von Meßwerten die "Allgemeine Berechnungsgrundlage für die Strahlenexposition bei radioaktiven Ableitungen mit der Abluft oder in Oberflächengewässer (Richtlinie zu § 45 Strahlenschutzverordnung)" [BMI 79] hinsichtlich Tritium zu überprüfen und die in der Richtlinie angegebenen Modelle fortzuentwickeln. Hierzu wurden die in verschiedenen Umweltmedien gemessenen Tritiumkonzentrationen mit nach dem Modell der "Allgemeinen Berechnungsgrundlage" berechneten Werten verglichen. Mit diesem Forschungsvorhaben wurden die Untersuchungen des ebenfalls BMI-geförderten Vorhabens St.Sch. 800 fortgesetzt, dessen Ergebnisse bereits in einem anderen Bericht [KÖN 84] veröffentlicht wurden.

Abb. 1/1 gibt einen schematischen Überblick über die zu betrachtenden Vorgänge.

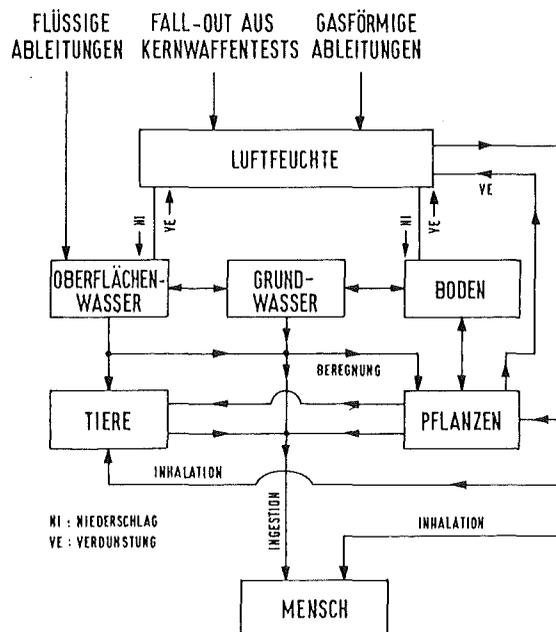


Abb. 1/1: Tritiumtransport in der Umwelt

2 Tritiumemissionen mit Fortluft und Abwasser

In Tab. 2/1 sind die Tritiumableitungen mit der Fortluft in den Jahren 1971 bis 1986 aufgeschlüsselt nach Emittenten zusammengestellt. Wie die Tabelle zeigt, sind die Tritiumableitungen mit der Fortluft erheblichen zeitlichen Schwankungen unterworfen. Die Lage der Emittenten im Betriebsgelände des Kernforschungszentrums ist aus Abb. 2/1 zu ersehen.

In Tab. 2/2 werden die Tritiumableitungen mit dem Abwasser des Kernforschungszentrums für den gleichen Zeitraum angegeben. Die Abwasserentsorgung des Kernforschungszentrums erfolgt zentral, weshalb eine Aufschlüsselung auf die einzelnen Emittenten unterlassen wurde.

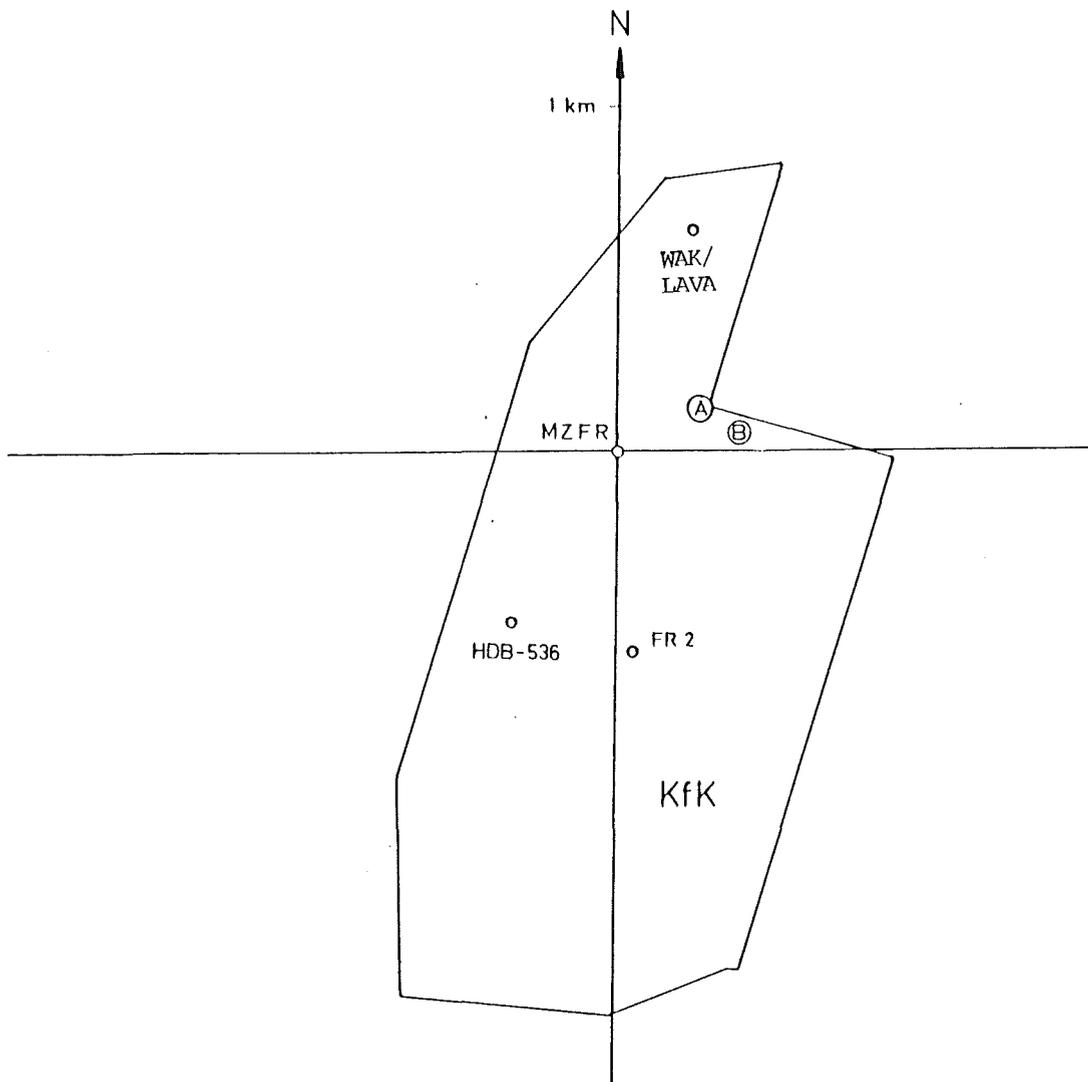


Abb. 2/1: Standorte der Tritiumemittenten des Kernforschungszentrums Karlsruhe, der Regenwassersammelstelle A und der "Versuchsbuche" B (s. Kap. 3.1.1)

Emittent/ Emissionshöhe in m	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979
WAK-LAVA/60	-	-	-	-	-	-	7,0	4,7	6,2
KTB-FR2/99	23,5	22,3	17,9	11,8	10,6	6,3	7,1	5,3	5,8
KBG-MZFR/99,5	41,8	20,1	40,4	40,7	28,3	26,0	37,7	38,4	36,7
HDB, Bau 536/70	-	-	-	-	-	7,9	12,2	32,7	6,2
HDB, Bau 545/19	-	-	-	-	-	2,7	1,3	0,8	-
HDB, Bau 548/15	-	-	-	-	-	0,5	-	-	-
Summe	65,3	42,4	58,3	52,5	38,9	43,4	65,3	81,9	54,9
Emittent/ Emissionshöhe in m	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	Summe	
WAK-LAVA/60	3,0	-	2,1	5,1	5,0	5,5	7,8	46,4	
KTB-FR2/99	6,3	5,7	4,0	1,2	0,3	0,3	0,2	128,6	
KBG-MZFR/99,5	43,6	71,0	20,0	51,0	42,1	23,6	17,1	578,5	
HDB, Bau 536/70	7,1	9,4	9,7	1,1*	0,2	-	0,1	86,6	
HDB, Bau 545/19	-	-	-	0,1	0,1	-	-	5,0	
HDB, Bau 548/15	-	-	0,6	-	-	-	-	1,1	
Summe	60,0	86,1	36,4	58,5	47,7	29,4	25,2	846,2	

"-": Vernachlässigbar kleine Emissionen

*In Tab. 2/1 von |KÖN 84| war an dieser Stelle ein Schreibfehler übersehen worden. Die Summen waren aber mit der richtigen Zahl gebildet worden.

Tab. 2/1: Tritiumemissionen mit der Abluft des Kernforschungszentrums Karlsruhe in den Jahren 1971 bis 1986 in TBq [JAH 70 - JAH 87]

Jahr	TBq/a	Jahr	TBq/a
1970	22	1979	120
1971	27	1980	67
1972	82	1981	44
1973	58	1982	69
1974	28	1983	128
1975	100	1984	102
1976	150	1985	96
1977	150	1986	90
1978	85		

Tab. 2/2: Tritiumableitungen mit dem KfK-Abwasser in den Jahren 1970 - 1986 [JAH 71 - JAH 87]

3 Luftpfad

Durch Tritiumableitungen mit der Fortluft wird die Tritiumkonzentration in der Luftfeuchte erhöht. Dies hat Erhöhungen der Tritiumkonzentration im Niederschlag, im Boden sowie in Pflanzen zur Folge.

Die Tritiumkonzentration in der Luft C_L läßt sich nach der bekannten Gleichung

$$C_L = \frac{Q}{2 \pi \sigma_y \sigma_z u} \exp\left(-\frac{y^2}{2 \sigma_y^2}\right) \left\{ \exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2 \sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+H)^2}{2 \sigma_z^2}\right) \right\} = Q \chi \quad (3-1)$$

berechnen (vgl. z. B. [BMI 79]).

Hierin bedeuten:

- x,y,z: sind die kartesischen Koordinaten in der Ausbreitungsrichtung (x) sowie senkrecht zur Ausbreitungsrichtung horizontal (y) und vertikal (z) in m
- Q: die Emissionsquellstärke in Bq/s
- σ_y, σ_z : die horizontalen und vertikalen Ausbreitungsparameter in m, abhängig von der Quelledistanz x und der Diffusionskategorie
- u: die mittlere Windgeschwindigkeit in m/s
- H: die effektive Emissionshöhe in m
- C_L : die Aktivitätskonzentration in der Luft in Bq/m³
- χ : der Langzeitausbreitungsfaktor in s/m³

Der Langzeitausbreitungsfaktor χ wurde mit Hilfe des ISOLA-III-Computerprogramms [HÜB 78] unter Verwendung der vierparametrischen meteorologischen Statistik für das Kernforschungszentrum Karlsruhe [VOG 80] berechnet. Aus der Tritiumkonzentration in der Luft C_L in Bq/m³, der Dichte von Wasser ρ_W in g/cm³ und der absoluten Luftfeuchte f in g/m³ folgt für die Tritiumkonzentration in der Luftfeuchte C_F in Bq/cm³

$$C_F = \frac{C_L}{f} \cdot \rho_W \quad (3-2)$$

Die Flächenbelastung durch Niederschläge $B_{th,i}$ wurde nach der Allgemeinen Berechnungsgrundlage [BMI 79] berechnet:

$$B_{th,i} = A \frac{N}{2\pi x} \sum_{jmt} q_{ijmt} \frac{\Lambda_t}{u_{jm}} \quad (3-3)$$

Hierin bedeuten:

- $B_{th,i}$: berechneter Wert der Flächenbelastung in Bq/m²
 A: emittierte Aktivität in Bq
 N: Anzahl der Windrichtungssektoren
 x: Quelledistanz in m
 q_{ijmt} : Niederschlagshäufigkeit (i: Windrichtungssektor; j: Diffusionskategorie, m: Mittel der Windgeschwindigkeitsstufe; t: Niederschlagsintensitätsstufe)
 u_{jm} : mittlere Windgeschwindigkeit in m/s
 Λ_t : Washoutkonstante in s⁻¹

Für die Washoutkonstante gilt näherungsweise:

$$\Lambda = s\theta \quad (3-4)$$

mit:

- s: Proportionalitätskonstante in a mm⁻¹s⁻¹
 θ: Niederschlagsintensität in mm a⁻¹

Außer s sind alle Größen, die für die Berechnung von B benötigt werden, aus Messungen bekannt. Beim Vergleich von Messungen und Berechnungen der Flächenbelastung ist der vorhandene Untergrundpegel, der durch die Kernwaffenversuche bedingt ist, zu berücksichtigen. Dies kann auf zwei Wegen geschehen:

1. Subtraktion des Untergrundes von den Meßwerten,
2. Addition des Untergrundes zu den berechneten Werten.

Das zweite Verfahren vermeidet die Bildung der Differenzen kleiner Zahlen, was mit großen Ungenauigkeiten verbunden ist, und liefert daher optisch günstigere Resultate. Hiervon wurde jedoch in der Regel kein Gebrauch gemacht.

Dem Aufwand zur Bestimmung des Tritiumuntergrundes setzt die verfügbare Arbeitskapazität enge Grenzen.

3.1 Vergleich von Meßergebnissen mit berechneten Werten

Im folgenden werden Meßergebnisse aus verschiedenen Versuchsreihen mit berechneten Werten verglichen.

3.1.1 Tritiumkonzentration am Standort einer Buche ("Versuchsbuche")

Während der Vegetationsperioden 1981 bis 1985 wurde am Standort einer Buche ("Versuchsbuche" aus früherem Programm [KÖN 84]) Luftfeuchte kontinuierlich gesammelt und auf Tritium ausgemessen. Der Standort der "Versuchsbuche" ist aus Abb. 2/1 zu ersehen. Angestrebt worden war ein möglichst nahe am Beaufschlagungsmaximum am Boden gelegener Standort in der Hauptausbreitungsrichtung eines der Hauptemittenten des Kernforschungszentrums, nämlich des MZFR. Der Standort mußte auch unter dem Gesichtspunkt der Energieversorgung sowie der Sicherheit gegen Beschädigung und Entwendung wertvoller Geräte ausgewählt werden. Letzteres hatte allerdings zur Folge, daß die Queldistanz des ausgewählten Standorts nicht optimal war; Sie liegt vielmehr in dem Bereich, wo wegen der Lage zum Beaufschlagungsmaximum die Kurzzeitausbreitungsfaktoren einen steilen Anstieg der Konzentration mit zunehmender Entfernung zeigen, also von vornherein keine besonders gute Übereinstimmung zwischen gemessenem und theoretischem Wert zu erwarten war.

Aus den gemessenen Tritiumkonzentrationen in der Luftfeuchte, die jeweils für einen Zeitraum von drei Stunden vorlagen, wurden für jeden Tag der Vegetationsperioden arithmetische Mittelwerte bestimmt. Die theoretischen Tritiumkonzentrationen in der bodennahen Luft aufgrund der MZFR-Emissionen wurden durch die mittlere absolute Luftfeuchte dividiert und mit den Meßwerten in mBq/ml verglichen (s. Gl. 3-2). Aufgrund von Erfahrungswerten wurde ein als

zeitlich konstant angenommener Untergrundtritiumpegel von 7 mBq/cm^3 berücksichtigt.

In den Abbn. 3/1a - e sind die mit $s = 3 \cdot 10^{-9} \text{ a mm}^{-1} \text{ s}^{-1}$ berechneten und die gemessenen Tritiumkonzentrationen einander für die Jahre 1981 bis 1985 gegenübergestellt. Die Abbn. 3/2a - e geben die Summenhäufigkeitsverteilungen von berechneten und gemessenen Tritiumkonzentrationen in der kondensierten Luftfeuchte für denselben Zeitraum wieder. Die Abbildungen zeigen, daß die Tritiumkonzentration vom Modell in der Regel unterschätzt wurde, bei den Mediankonzentrationen etwa um den Faktor 2. Angesichts des bezüglich einer theoretischen Auswertung ungünstigen Standortes der "Versuchsbuche", auf den am Anfang dieses Kapitels hingewiesen worden war, ist dieses Ergebnis nicht überraschend. In Tab. 3/1 sind die Medianwerte des Verhältnisses r von berechneter zu gemessener Tritiumkonzentration der Luftfeuchte aufgetragen. In Abb. 3/3 ist die Summenhäufigkeit des Verhältnisses r dargestellt.

Jahr	1981	1982	1983	1984	1985
r	0,55	0,56	0,54	0,54	0,72

Tab. 3/1: Medianwerte des Verhältnisses r (= berechnete H-3-Konzentration / gemessene H-3-Konzentration)

Für die Vegetationsperiode 1983 wurden zusätzlich Wertepaare für die Zeit zwischen 6.00 und 18.00 Uhr sowie 18.00 bis 6.00 Uhr ausgewertet. Vorausgesetzt wurde hierbei eine zeitlich konstante Emission des MZFR. Die Berechnungen wurden für Zeiträume von jeweils drei Stunden durchgeführt. Für die Zeit zwischen 6.00 und 18.00 Uhr standen 806, für die Zeit zwischen 18.00 und 6.00 Uhr 801 Wertepaare zur Verfügung. Für den Medianwert des Verhältnisses r ergab sich für die Zeit zwischen 6.00 und 18.00 Uhr der Wert 0,69, für die Zeit zwischen 18.00 und 6.00 Uhr 0,77. Zwischen 6.00 und 18.00 Uhr ist in 66 % der Fälle der berechnete Wert kleiner als der gemessene, zwischen 18.00 und 6.00 Uhr in 67 % der Fälle.

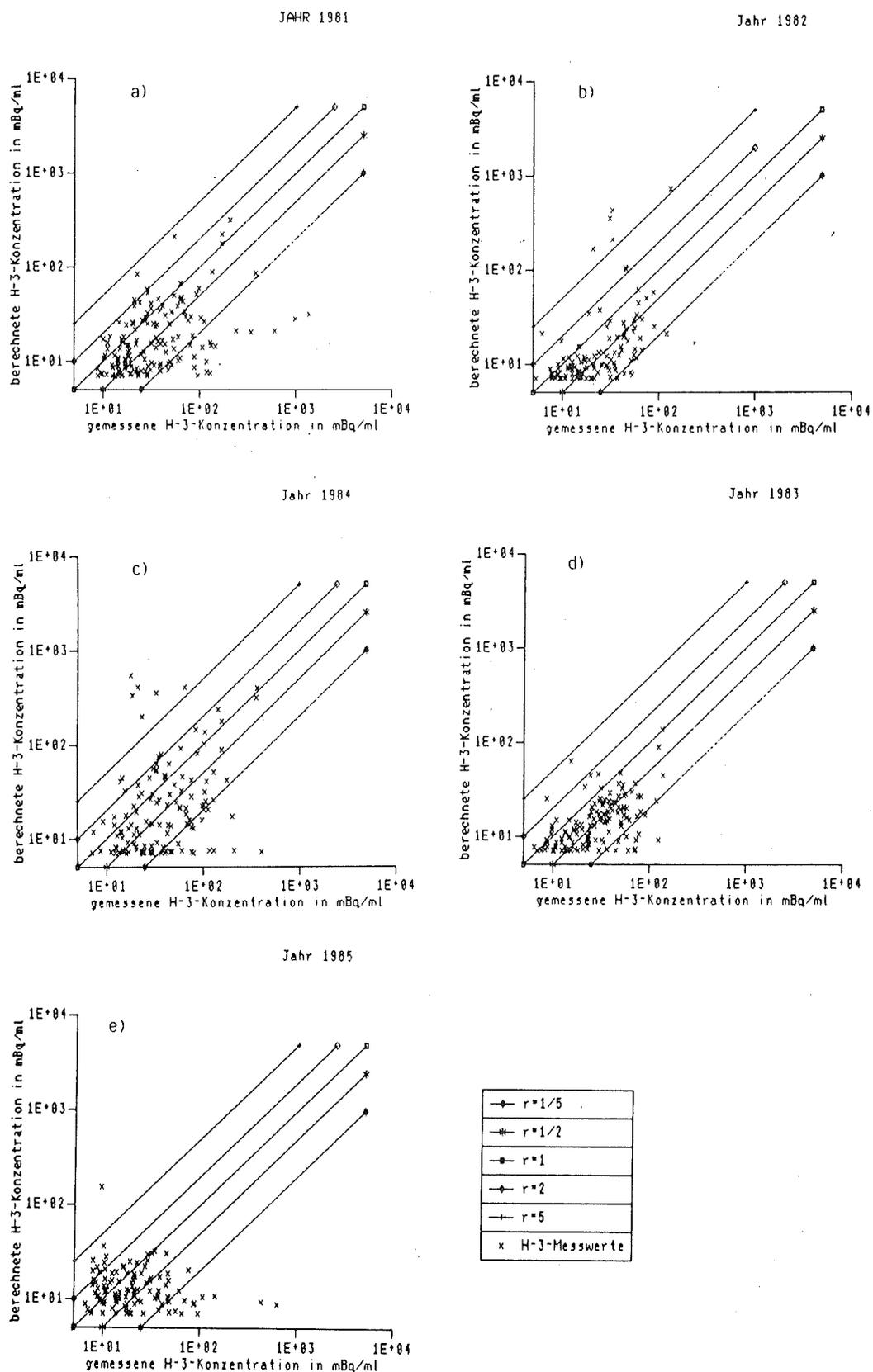


Abb. 3/1a-e: Vergleich der in der kondensierten Luftfeuchte gemessenen und der berechneten H-3-Konzentrationen am Standort der "Versuchsbuche"

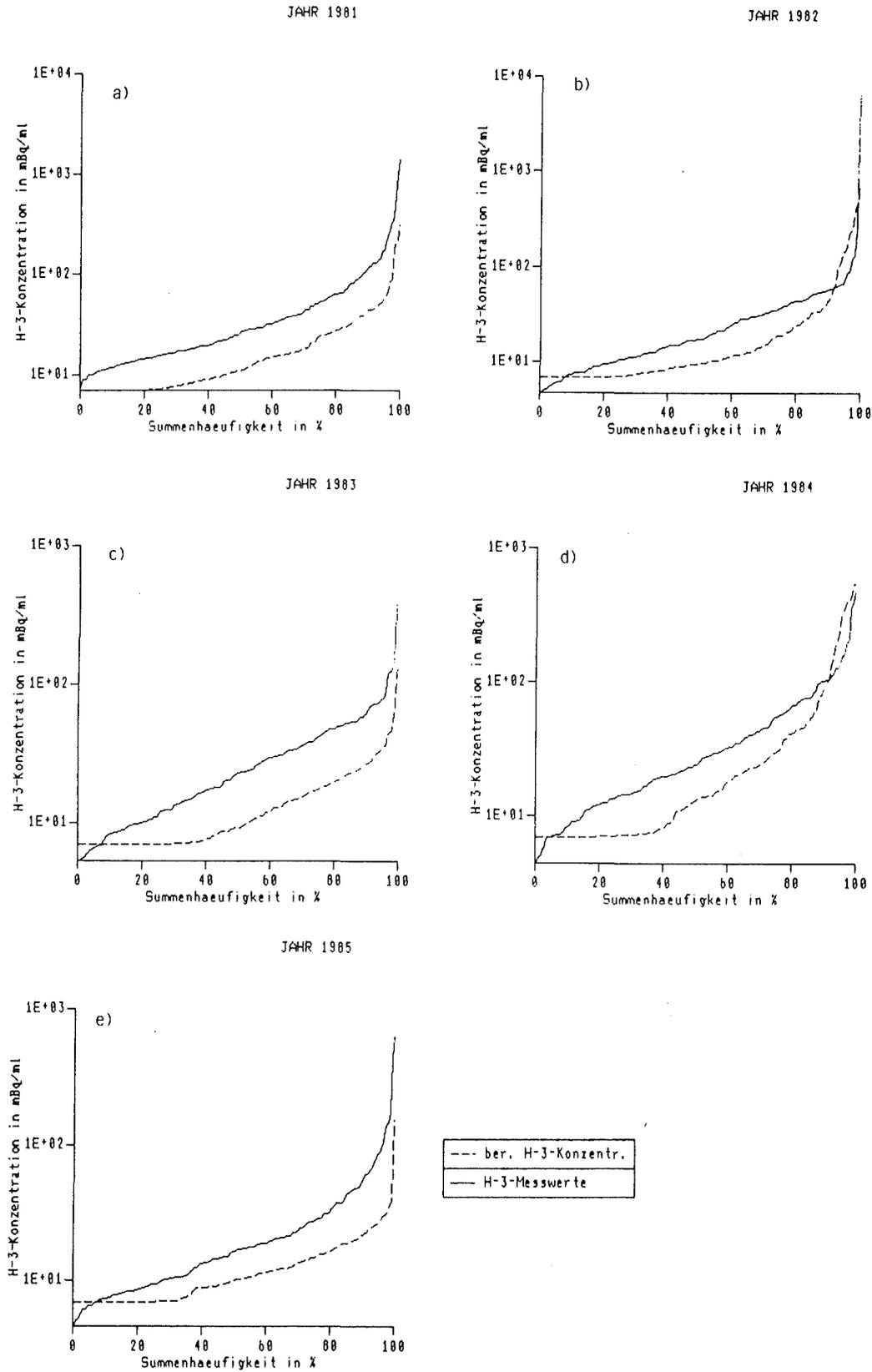


Abb. 3/2a-e: Summenhäufigkeit von berechneten und in der kondensierten Luftfeuchte gemessenen täglichen H-3-Konzentrationen am Standort der "Versuchsbuche" für die Vegetationsperioden 1981 bis 1985

1981-1985

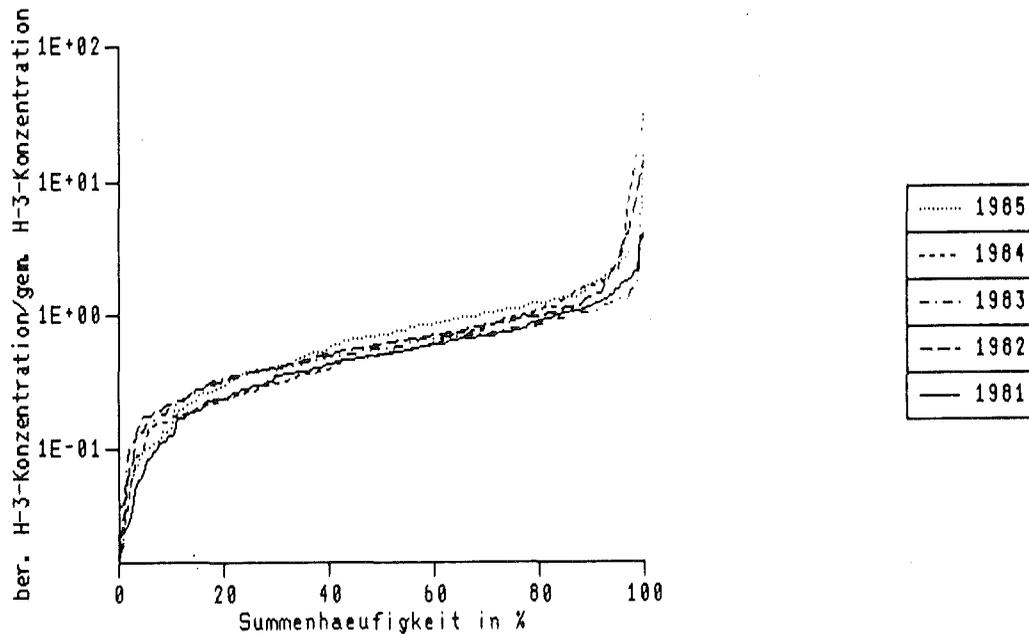


Abb. 3/3: Summenhäufigkeit des Faktors r (= berechnete H-3-Konzentration / gemessene H-3-Konzentration)

3.1.2 Tritium im Regenwasser an der Probenahmestelle A

Um die Flächenbelastung an der Probenahmestelle A (s. Abb. 2/1) zu berechnen, wurde $s = 3 \cdot 10^{-9} \text{ a mm}^{-1} \text{ s}^{-1}$ in Gl. (3-4) eingesetzt. Für jeden Regenfall wurde $B_{th,i}$ durch den am meteorologischen Mast gemessenen Wert von θ dividiert und mit der Niederschlagsintensität, die an der Probenahmestelle A gemessen worden war, multipliziert.

Für den Vergleich zwischen Messungen und Berechnungen sind folgende Daten verfügbar:

- die Tagesemission des MZFR zwischen 10.00 Uhr vormittags und 10.00 Uhr vormittags in Bq/d,
- die Niederschlagsintensität am Punkt A in mm,
- die meteorologische Tagesstatistik, die mit Hilfe des 200 m hohen meteorologischen Mastes des Kernforschungszentrums ermittelt wurde sowie

- die Niederschlagsintensität, die auf dem meteorologischen Meßfeld im Kernforschungszentrum gemessen wurde (näherungsweise 1300 m südwestlich des MZFR, etwa 1550 m südwestlich der Probenahmestelle A).

In den Jahren 1982, 1983 und 1984 wurde Regenwasser bei 104, 104 und 112 Regenfällen gesammelt und auf Tritium ausgemessen. Für jeden Regenfällen wurde die Tritiumaktivitätskonzentration im Regenwasser an Meßstelle A berechnet.

Für jedes Jahr wurden folgende Daten bestimmt und miteinander verglichen:

- die gemessene Flächenbelastung als Summe der Einzelwerte,
- die berechnete Flächenbelastung als Summe der Einzelwerte,
- die berechnete Flächenbelastung abgeleitet aus der meteorologischen Jahresstatistik.

Diese Werte wurden zusammen mit jenen vom Augustenberg in Tab. 3/2 eingetragen. Beim Vergleich ist zu beachten, daß sich die gemessenen Werte aus dem Untergrundanteil und dem durch die Emissionen des KfK-bedingten Anteils zusammensetzen.

3.1.3 Tritium im Regenwasser an den Meßhütten der Umgebungsüberwachung

An den Meßhütten "West" und "Nordost" wird Niederschlag im Rahmen der Umgebungsüberwachung gesammelt und der Monatswert der Radioaktivität bestimmt. Es lag daher nahe, gemessene und berechnete Monatswerte der Flächenbelastung mit Tritium zu vergleichen. Das Ergebnis eines solchen Vergleichs für die Jahre 1981 - 1985 ist in Abb. 3/4 zusammengefaßt. Die Abbildung zeigt, daß sich mit $s = 3 \cdot 10^{-9} \text{ a mm}^{-1} \text{ s}^{-1}$ berechnete Monats- und Jahreswerte nur um einen Faktor von ca. 2 von den gemessenen unterscheiden.

Jahr	1982		1983		1984	
Emittent	MZFR	HDB*	MZFR	HDB*	MZFR	HDB*
Emissionshöhe (m)	99,5	70	99,5	70	99,5	70
Jährliche Tritiumemission (TBq/a)	20	9,7	51	1,1	42	0,16
Jährliche Tritiumflächenbelastung (Bq m ⁻² a ⁻¹)						
Probenahmestelle A						
Berechnung auf der Grundlage der meteorologischen Jahresstatistik	1,84·10 ⁴	4,84·10 ³	4,17·10 ⁴	3,44·10 ²	3,18·10 ⁴	59,8
Berechnung auf der Grundlage der meteorologischen Tageswerte und der Tagesemissionen	1,69·10 ⁴	**	3,57·10 ⁴	**	3,27·10 ⁴	**
Summe der arbeitstäglich nach Regenfall gemessenen Werte	(2,58 ± 0,19)·10 ⁴		(3,19 ± 0,21)·10 ⁴		(3,29 ± 0,16)·10 ⁴	
Referenzprobenahmestelle Augustenberg						
14-Tage-Flächenbelastungswerte	(0,29 ± 0,22)·10 ⁴		(0,48 ± 0,17)·10 ⁴		(0,36 ± 0,20)·10 ⁴	

*HDB/Verbrennungsanlage

**Keine Angabe möglich, da keine Tagesemissionen gemessen wurden

Tab. 3/2: Vergleich zwischen gemessenen und mit den Hauptemittenten MZFR und HDB/Verbrennungsanlage berechneten Werte der Tritiumflächenbelastung für die Probenahmestelle A sowie die Referenzprobenahmestelle Augustenberg (Jahre 1982 - 1984)

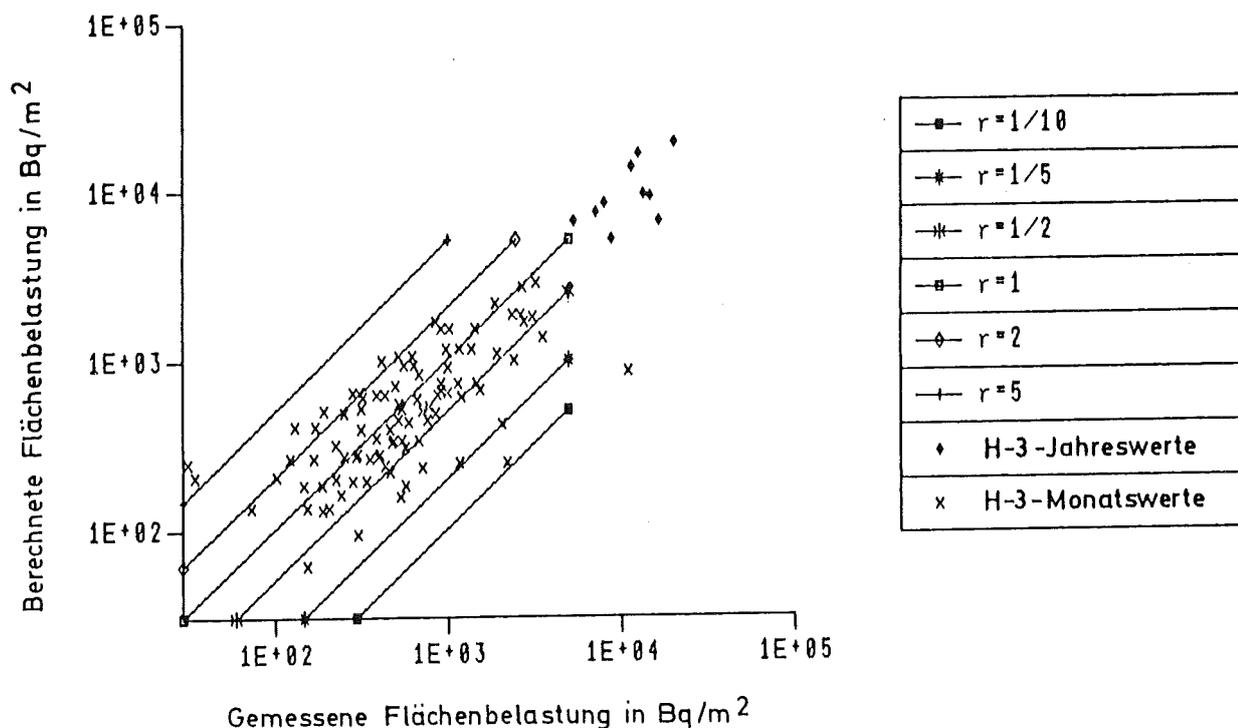


Abb. 3/4: Vergleich berechneter mit gemessenen Flächenbelastungswerten der Meßhütten "West" und "Nordost" für die Jahre 1981 - 1985

3.1.4 Tritium im Schneewasser aus der Umgebung des KfK

Nach einer längeren Trockenperiode fielen vom 01.01.1985, 19.00 Uhr bis zum 02.01.1985, 7.00 Uhr ca. 10 cm Neuschnee. Am Abend des 02.01.1985 schneite es erneut bis zum 03.01.1985, 20.00 Uhr. Die gesamte Schneemenge bis zu diesem Zeitpunkt betrug ca. 30 cm. In der darauffolgenden Nacht (03. auf 04.01.1985) fielen wiederum 10 cm Schnee. Am folgenden Tag, 04.01.1985, gab es keine weiteren Niederschläge. An diesem Tag wurden das erste Mal Schneeproben geholt.

Vor der Auswahl der Probenahmeorte wurden zunächst die Emissionen der verschiedenen Tritiumemittenten des Kernforschungszentrums verglichen.

Tab. 3/3 gibt die Abgabewerte in den für diesen Bericht relevanten Zeiträumen an. Sie zeigt, daß zum Zeitpunkt der Probenahme der schwerwassermoderierte Reaktor MZFR (abgeschaltet Mai 1984) noch den wichtigsten Tritiumemittenten des Kernforschungszentrums darstellte. In Tab. 3/4 sind deshalb die täglichen Emissionswerte des MZFR angegeben. Weitere bedeutende Quellen für Tritium-

emissionen waren der ebenfalls schwerwassermoderierte Forschungsreaktor FR2 (abgeschaltet Ende 1981) sowie die Wiederaufarbeitungsanlage (WAK).

Anlage	Geb.-Nr.	Emissions- höhe in m	21.12.1984- 01.01.1985	02.01.1985- 07.01.1985	08.01.1985 15.01.1985
HDB	534	8	$< 9,1 \cdot 10^7$	$< 8,3 \cdot 10^7$	$< 8,3 \cdot 10^7$
HDB	536	70	$< 3,1 \cdot 10^8$	$< 7,1 \cdot 10^8$	$< 7,1 \cdot 10^8$
HDB	545/555	19	$< 5,3 \cdot 10^8$	$< 5,1 \cdot 10^8$	$< 5,1 \cdot 10^8$
HDB	548 Ost/547	15	$< 5,7 \cdot 10^8$	$< 5,6 \cdot 10^8$	$< 5,6 \cdot 10^8$
HDB	548 West	15	$< 4,5 \cdot 10^8$	$< 4,4 \cdot 10^8$	$< 4,5 \cdot 10^8$
KTB/IIZ	701	60	$< 6,8 \cdot 10^8$	$< 6,8 \cdot 10^8$	$< 6,9 \cdot 10^8$
IIICh	721/24/26	60	$< 7,7 \cdot 10^8$	$< 7,6 \cdot 10^8$	$< 7,7 \cdot 10^8$
IRCh	321a	15	$< 6,7 \cdot 10^7$	$< 6,5 \cdot 10^7$	$< 6,4 \cdot 10^7$
IRCh	321	16	$< 3,1 \cdot 10^8$	$< 2,9 \cdot 10^8$	$< 2,9 \cdot 10^8$
IRCh	341	15	$< 4,3 \cdot 10^8$	$< 4,1 \cdot 10^8$	$< 4,7 \cdot 10^8$
KTB/FR2	606/608	99	$9,5 \cdot 10^9$	$1,9 \cdot 10^9$	$2,2 \cdot 10^9$
KBG/MZFR	901	99,5	$7,4 \cdot 10^{11}$	$3,0 \cdot 10^{11}$	$3,7 \cdot 10^{11}$
WAK/LAVA	1501/31/2	60	$4,7 \cdot 10^9$	$5,1 \cdot 10^9$	$8,1 \cdot 10^9$

Tab. 3/3: Tritiumemissionen mit der Abluft des Kernforschungszentrums Karlsruhe in Bq

Zur Festlegung der Probenahmestellen wurde als Mittelpunkt der MZFR-Kamin gewählt, die Probenahmestellen 1 bis 12 liegen konzentrisch im Abstand von ca. 500 m um diesen Kamin. Abb. 3/5 gibt die Lage dieser und aller folgenden Probenahmestellen an. Die weiteren Meßstellen 13 und 20 wurden unter Berücksichtigung der Windrichtungsverhältnisse ausgesucht. Im Zeitraum während und kurze Zeit vor den Schneefällen lag die vorwiegende Windrichtung im Bereich 220° und 310° (Nord = 0° , Ost = 90° , Süd = 180° , West = 270°). Deshalb wurden vier zusätzliche Meßstellen im Abstand von 250 m (13 bis 16) und weitere vier Meßstellen im Abstand von 1200 m (17 bis 20) in diesen Richtungen um den MZFR-Kamin gewählt. Bei der ersten Probenahme am Freitag, dem 04.01.1985, wurde an den genannten 20 Stellen jeweils ein Quadrat von 30 cm Seitenlänge ausgestochen und der Schnee in Plastiktüten gegeben. Damit erhielt man eine Mischprobe des gesamten bisherigen Schneefalls und konnte damit Angaben

über die mittlere Tritiumablagerung machen. An den jeweiligen Probenahmestellen wurden Plastikfolien der Größe 60 x 90 cm² ausgelegt, um den zu erwartenden Neuschnee aufzufangen. In der folgenden Nacht fielen weitere 5 cm Neuschnee. Danach folgten bis zum 07.01.1985 keine weiteren Niederschläge.

Datum	H-3-Emission in GBq d ⁻¹	Datum	H-3-Emission in GBq d ⁻¹
21.12.1984	67	04.01.1985	51
22.12.1984	67	05.01.1985	49
23.12.1984	66	06.01.1985	47
24.12.1984	69	07.01.1985	44
25.12.1984	66	08.01.1985	49
26.12.1984	67	09.01.1985	49
27.12.1984	61	10.01.1985	46
28.12.1984	60	11.01.1985	46
29.12.1984	54	12.01.1985	44
30.12.1984	54	13.01.1985	49
31.12.1984	55	14.01.1985	43
01.01.1985	60	15.01.1985	48
02.01.1985	53	16.01.1985	66
03.01.1985	60		

Tab. 3/4: Tritiumabgabe mit der Kaminabluft des MZFR vom 21.12.1984 bis 16.01.1985

Am 07.01.1985 wurde erneut Neuschnee von den dafür vorgesehenen Plastikfolien von den 20 Probenahmestellen geholt. Da die Folie bei Probenahmestelle 15 (Parkplatz vor dem Institut für Transurane (TU)) vom Räumdienst beiseite geschafft worden war, wurde an dieser Stelle die oberste Schneesicht (ca. 3 cm) als Probe eingeholt. Alle Folien wurden danach vom Schnee befreit und neu ausgelegt, bei Probenahmestelle 15 einige Meter neben dem ursprünglich vorgesehenen Ort.

Eine Sichtung der Windrichtungsverhältnisse am 08.01.1985 zeigte, daß die vorwiegende Windrichtung in der Zeit nach dem letzten Schneefall (Samstag, 05.01.1985) im Bereich Nord (0°) bis Ost (90°) lag. Aus diesem Grund wurden 13 neue Probenahmestellen (21 - 33 in Abb. 3/5) im Südosten des MZFR-Kamins gewählt. Diese Stellen lagen zwischen 1000 und 1600 m vom MZFR-Kamin entfernt.

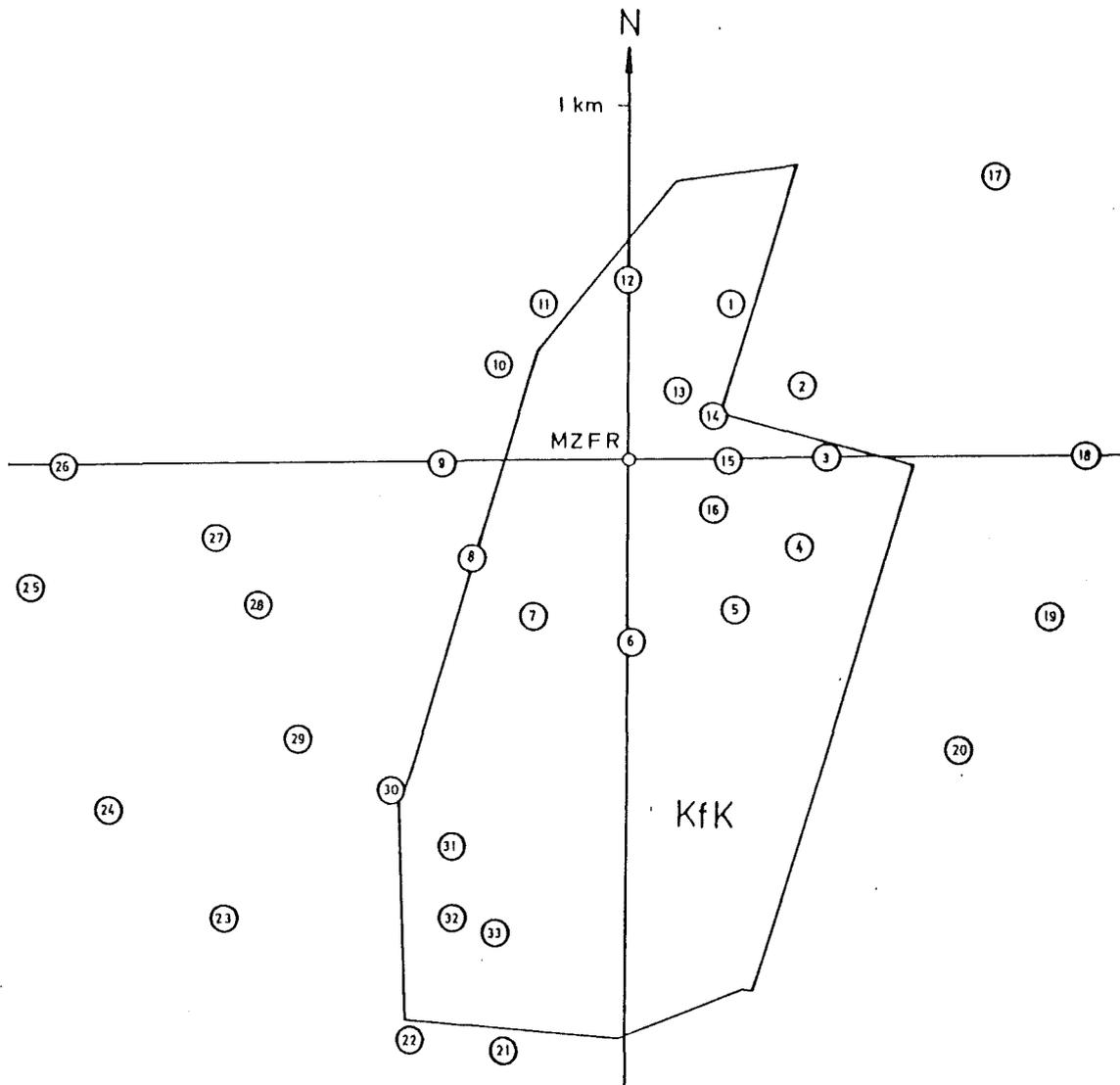


Abb. 3/5: Entnahmestellen von Schneeproben

Da an diesen Stellen vor dem 09.01.1985 kein Schnee geholt worden war, mußten bei der ersten Sammlung jeweils zwei Proben geholt werden. Einerseits wurde die gesamte Schneemenge durch Ausheben einer 30 x 30 cm² großen Fläche eingeholt, wodurch man die mittlere Tritiumkonzentration über den Zeitraum des bisherigen Schneefalles erhielt, andererseits wurde die oberste Schneesicht (ca. 2 cm) in die dafür vorgesehenen Flaschen gegeben.

Am darauffolgenden 12.01.1985 fielen zwischen 7.00 und 19.00 Uhr erneut ca. 5 cm Neuschnee. Die vorwiegende Windrichtung in diesem Zeitraum lag im Bereich 220° bis 250°. Am 14.01.1985, wurden deshalb alle 33 Sammelstellen abgefahren und die jeweilige Neuschneeaufgabe gesammelt. An den Stellen 21 und 33 wurde die Oberfläche wieder abgetragen, ebenso an Sammelstelle 15 und 16, wo die Folien verweht waren. An allen sonstigen Meßstellen wurde die Probe von der Mitte der Folie geholt.

Obwohl es die beiden folgenden Tage nicht schneite, wurden am 16.01.1985 alle Sammelstellen abgefahren und diesmal an allen Stellen Oberflächenproben geholt. Es wurde dabei jeweils die oberste Schneesicht (ca. 1 - 2 cm) abgetragen. Durch den Vergleich der Meßwerte vom 16.01.1985 mit den Werten vom 14.01.1985 sollte festgestellt werden, inwieweit es zu Abweichungen (z. B. durch Akkumulation auf der Schneeoberfläche aus der Atmosphäre) kommt.

Durch einsetzendes Tauwetter wurde der Probenahme ein Ende gesetzt.

Tab. 3/5 gibt die Ergebnisse der Tritiummessungen wieder. Ein Teil der Messungen der Neuschneeproben vom 07.01.1985 in der vorherrschenden Windrichtung zeigten gegenüber den Messungen der Schneegemische vom 04.01.1985 eine signifikante Erhöhung der Konzentrationswerte. Dies ist auf die Durchmischung des Tritiums der Schneefälle vom 01.01.1985 bis 04.01.1985 und der damit verbundenen Verdünnung der Aktivität in den Schneegemischen zurückzuführen. Aus dem gleichen Grund wichen die maximalen von den minimalen Konzentrationswerten der Neuschneeproben vom 07.01.1985 sowie 14.01.1985 gegenüber den entsprechenden Werten der Mischproben vom 04.01.1985 stärker voneinander ab.

Auch bei den beiden Probenahmen vom 09.01.1985 ist dieser Effekt erkennbar. Während die Konzentrationswerte der Oberflächenproben zwischen Nachweisgrenze und 13,5 Bq/l (Probenahmestelle 32) schwankten, zeigten die Ergebnisse der Mischproben an den Stellen 21 bis 33 nur kleine Schwankungen um die Nachweisgrenze.

Der Vergleich der Tritiumwerte in den Proben vom 14.01.1985 mit denen vom 16.01.1985 führte zu dem Ergebnis, daß die Tritiumkonzentrationen vom 16.01.1985 teilweise über und teilweise unter den Werten vom 14.01.1985 lagen. Eine eindeutige Tendenz der Werte war nicht zu erkennen, und damit war kein Anzeichen für eine wesentliche Änderung der Konzentrationswerte während der Zeit ohne Schneefall festzustellen.

Ein Vergleich der vorliegenden Meßwerte mit den Werten der Tritiumkonzentrationen im Regenwasser zeigte, daß die ermittelten Werte im Schneewasser nicht signifikant über den entsprechenden Werten im Regenwasser lagen. Die vorliegenden Meßergebnisse waren mit den Tritiumkonzentrationen in früheren Schneeproben [KÖN 84] vergleichbar.

3.1.5 Für die Konstante s empfohlener Wert

Die Flächenbelastung durch Tritium in Niederschlägen läßt sich für Regen und Schnee im Niederschlag mit dem gleichen Modell und der gleichen Konstante $s = 3 \cdot 10^{-9} \text{ a mm}^{-1} \text{ s}^{-1}$ beschreiben. Diese Konstante ist sowohl im Einzelfall als auch im Langzeitmittel anwendbar. Eine Grenze ist insofern gegeben, als die Übereinstimmung zwar nicht für das einzelne Niederschlagsereignis, wohl aber für das Mittel vieler Einzelfälle brauchbar ist. Ob diese Konstante standortunabhängig ist, kann nur durch Überprüfung an anderen Standorten endgültig geklärt werden.

Probenahme- stelle	Koordinaten vom MZFR-Kamin in m		Meßergebnisse der ^3H -Aktivitätskonzentration in $\text{Bq}\cdot\text{l}^{-1}$					
	x (W-O)	y (S-N)	04.01.1985 Schnee- gemisch	07.01.1985 Neuschnee	09.01.1985 Schnee- gemisch	09.01.1985 Schnee- oberfläche	14.01.1985 Neuschnee	16.01.1985 Schnee- oberfläche
1	250	440	9,0±6,2	14,6±6,5	-	-	6,3±6,1	< 5,9
2	440	250	< 5,7	25,5±6,8	-	-	14,0±6,4	11,3±6,3
3	500	0	7,6±6,1	10,9±6,3	-	-	7,1±6,0	11,6±6,3
4	440	-265	< 5,7	22,4±6,8	-	-	10,4±6,4	9,6±6,3
5	265	-440	14,9±6,6	21,7±6,6	-	-	< 5,9	7,7±6,2
6	0	-500	17,8±6,5	27,4±6,8	-	-	< 5,8	< 5,8
7	-250	-440	< 5,7	8,0±6,1	-	-	7,4±6,1	17,1±6,6
8	-440	-260	< 5,8	7,9±6,1	-	-	< 5,8	13,0±6,4
9	-500	0	< 5,9	9,5±6,1	-	-	7,8±6,1	6,0±6,0
10	-325	270	< 5,8	7,3±6,1	-	-	12,7±6,4	< 5,9
11	-190	490	< 5,8	< 5,8	-	-	< 5,8	8,2±6,2
12	0	500	< 5,8	7,3±6,1	-	-	6,2±6,2	7,2±6,1
13	120	220	6,6±6,1	20,0±6,6	-	-	< 5,8	13,4±6,3
14	210	130	6,4±6,1	25,9±6,8	-	-	11,0±6,2	12,5±6,3
15	250	0	< 5,8	9,0±6,3	-	-	8,5±6,2	11,5±6,2
16	210	-145	< 5,9	11,1±6,3	-	-	< 5,9	< 5,8
17	970	750	17,3±6,5	17,2±6,2	-	-	36,1±7,2	29,1±7,0
18	1200	0	< 5,9	20,3±6,6	-	-	8,7±6,2	< 5,9
19	1100	-450	< 5,8	15,7±6,4	-	-	7,5±6,1	< 5,9
20	880	-840	< 5,8	27,5±6,9	-	-	9,9±6,3	9,0±6,2
21	-330	-1580	-	-	< 5,9	7,3±6,1	< 5,9	9,4±6,1
22	-590	-1560	-	-	< 5,9	9,8±6,2	6,1±6,1	10,2±6,2
23	-1080	-1270	-	-	< 5,9	< 5,9	26,6±6,9	40,4±7,4
24	-1360	-960	-	-	< 6,0	9,0±6,3	22,1±6,7	33,6±7,1
25	-1620	-350	-	-	7,3±6,2	10,6±6,2	8,8±6,2	6,2±6,1
26	-1530	0	-	-	< 6,0	10,4±6,3	8,5±6,1	< 5,9
27	-1160	-210	-	-	< 6,1	8,8±6,2	< 5,9	9,6±6,3
28	-1000	-400	-	-	< 5,9	13,3±6,3	26,9±6,8	21,0±6,6
29	-890	-740	-	-	< 5,9	7,5±6,1	22,6±6,6	34,4±6,9
30	-650	-920	-	-	< 6,0	11,4±6,5	18,6±6,5	15,2±6,3
31	-490	-1010	-	-	< 5,9	7,5±6,2	9,2±6,2	19,7±6,4
32	-495	-1210	-	-	< 5,9	13,5±6,4	8,5±6,1	12,3±6,2
33	-410	-1280	-	-	6,3±6,2	11,7±6,3	13,2±6,3	14,0±6,2

Tab. 3/5: Ergebnisse der Tritiummessungen von Schneeproben

3.2 Tritiumkonzentrationen in pflanzlichen Nahrungsmitteln aus den Hauptausbreitungssektoren

Abschätzungen der Ingestionsdosis von tritiumkontaminierten Nahrungsmitteln basieren auf dem Konzept des "Spezifischen-Aktivitäts-Modells" wie es in den Allgemeinen Berechnungsgrundlagen enthalten ist [BMI 79]. Entsprechend dieser Modellvorstellung wird angenommen, daß Tritium in Pflanzen, bezogen auf den natürlichen Wasserstoff, entsprechend dem Verhältnis aufgenommen wird, wie es in der Luft an dem betrachteten Ort vorliegt.

Wie schon in den vorangegangenen Jahren wurden auch 1984 und 1985 die Tritiumkonzentrationen im eßbaren Anteil von pflanzlichen Nahrungsmitteln aus den beiden Hauptausbreitungssektoren in der Umgebung des KfK gemessen. Bestimmt wurde dabei die Tritiumaktivität im freien Wasser der Proben, das durch Gefriertrocknung verfügbar ist (HTO), und in der organischen Trockensubstanz (OBT), indem die Tritiumaktivität des Oxidationswassers nach Plasmaveraschung der wasserfreien Proben bestimmt wurde. Die Methodik wurde bereits eingehend beschrieben [STR 81, KÖN 84]. Die spezifischen Tritiumkonzentrationen im Gewebewasser bzw. in der organischen Substanz werden in beiden Fällen in mBq/g angegeben, bezogen jeweils auf das freie Wasser bzw. das Oxidationswasser. Aus diesen beiden gemessenen Tritiumkonzentrationen wurde außerdem die Tritiumkonzentration pro Kilogramm Frischsubstanz errechnet. Dazu wird der Anteil des organisch gebundenen Tritiums mit Hilfe des Umrechnungsfaktors f bestimmt. Dieser ergibt sich aus der entstehenden Menge an Oxidationswasser in g dividiert durch die Menge an oxidierte Trockensubstanz in Gramm. Der Anteil an Mineralien wurde mit 1 % pro kg Frischsubstanz berücksichtigt. Tab. 3/6 zeigt für verschiedene Pflanzenmaterialien den Wasserstoffgehalt H in Gewichtsprozenten der Trockensubstanz und den sich daraus ergebenden Umrechnungsfaktor f , der einerseits (a) durch stöchiometrische Berechnungen entsprechend ihrer Zusammensetzung nach Souci, Fachmann und Kraut [SOU 79] ermittelt wurde, andererseits (b) wurde bei einer Reihe von Proben der Wasserstoffanteil durch Elementaranalyse (Institut für Wassertechnologie, KfK) bestimmt.

Probe	H _a (%)	f	H _b (%)	f
Roggen (ganzes Korn)	6,3	0,57	6,4	0,58
Weizen (ganzes Korn)	6,3	0,57	6,6	0,59
Möhren	6,2	0,56	6,1	0,55
Kartoffeln	6,6	0,59	6,0	0,54
Rote Bete	6,2	0,56	6,1	0,55
Spargel	6,4	0,58	-	-
Zwiebel	6,3	0,57	-	-
Kohlrabi	6,3	0,57	-	-
Blumenkohl	6,4	0,58	-	-
Weißkohl	6,3	0,57	-	-
Rotkohl	-	-	6,0	0,54
Feldsalat	6,6	0,59	5,4	0,49
Kopfsalat	6,6	0,59	-	-
Bohnen (grün)	6,3	0,57	-	-
Äpfel	6,7	0,61	-	-
Buchenblätter	-	-	6,1	0,55
Gras	-	-	5,8	0,52
Medianwert	6,3	0,57	6,1	0,55

Tab. 3/6: Wasserstoffgehalt H in Gewichtsprozenten der Trockensubstanz verschiedener Pflanzenmaterialien und der sich daraus ergebende Umrechnungsfaktor f (a: nach stöchiometrischer Berechnung und b: durch Elementaranalyse bestimmt, s. Text)

Für sämtliche Proben wurde der Medianwert aller Einzelwerte von $f = 0,56$ zugrunde gelegt, da die Abweichungen für verschiedene Probenarten im Bereich der Schwankungsbreiten liegen, die für die Zusammensetzung der einzelnen Lebensmittel angegeben werden.

Die Meßwerte für die Nahrungsmittel aus dem 1. Hauptausbreitungssektor (Raum Friedrichstal) und für den 2. Hauptausbreitungssektor (Raum Eggenstein-Leopoldshafen) sind in den Tabn. 3/7 und 3/8 für die Jahre 1984 und 1985 zusammengestellt. Zusätzlich zu den Nahrungsmitteln wurden 1984 und 1985

jeweils entsprechende Bodenproben auf den Tritiumgehalt untersucht sowie 1985 die Tritiumkonzentration in der kondensierten Luftfeuchtigkeit zum Zeitpunkt der Probenentnahme bestimmt. Diese Ergebnisse sind in den Tabn. 3/9 und 3/10 wiedergegeben. Zum Vergleich der Tritiumkonzentrationen in den landwirtschaftlichen Produkten und den gleichzeitig entnommenen Bodenwasser bzw. Luftfeuchtigkeitsproben sind die Meßwerte für die einzelnen Nahrungsmittel in den Abbn. 3/7 bis 3/10 aus den beiden Hauptausbreitungssektoren für die Jahre 1984 und 1985 zusammen dargestellt. In den Darstellungen sind Meßwerte, die kleiner oder gleich der meßtechnischen Nachweisgrenze waren, mit einem Wert von 4,8 mBq/g angegeben. Diese Nachweisgrenze wurde bei einer Meßzeit von 100 min erreicht.

Die Medianwerte der HTO-Konzentrationen aller Proben aus dem Raum Friedrichstal lagen 1984 und 1985 bei 13 bzw. 8 mBq/g. Im Raum Eggenstein-Leopoldshafen (2. Hauptausbreitungssektor) lagen die entsprechenden HTO-Konzentrationen bei 8 bzw. 6 mBq/g. Die Streuung dieser Meßwerte reichte im Jahr 1984 von einem Wert von 25 mBq/g im Rosenkohl (Raum Friedrichstal) und 18 mBq/g in Maiskörnern (Raum Eggenstein-Leopoldshafen) bis hin zur meßtechnischen Nachweisgrenze. Im Jahr 1985 wurden in Roggenkörnern ein maximaler Wert von 35 mBq/g (Raum Friedrichstal) gemessen. Im Raum Eggenstein-Leopoldshafen wurde ein maximaler Wert von 17 mBq/g im Rosenkohl gefunden. In bezug auf die HTO-Konzentrationen, die in verschiedenen pflanzlichen Nahrungsmitteln 1983 an einer Referenzstelle in Durlach-Aue (Medianwerte der HTO-Konzentrationen 5 ± 2 mBq/g) gemessen wurden [JAH 83], ist eine leichte Erhöhung der HTO-Konzentrationen durch die Tritiumemission in der Umgebung des KfK zu erkennen. Im Vergleich zu der nach der Strahlenschutzverordnung zulässigen Tritiumkonzentration für Trinkwasser von 7400 Bq/l sind die gemessenen HTO-Konzentrationen niedrig. Sie liegen unterhalb von 1 % dieses Wertes (74 mBq/g) und sind somit unter dem Aspekt des Strahlenschutzes ohne Relevanz.

Beim organisch gebundenen Tritium (OBT) ist bis auf wenige Ausnahmen in den Proben jeweils eine höhere spezifische Aktivität als für das HTO zu beobachten. Aus den Tabn. 3/7 und 3/8 ist zu entnehmen, daß die Medianwerte 1984 im 1. und 2. Hauptausbreitungssektor 19 bzw. 17 mBq/g betragen. 1985 betragen die Medianwerte für OBT im 1. und 2. Hauptausbreitungssektor 12 bzw. 11 mBq/g.

1. Hauptausbreitungssektor (Raum Friedrichstal)										
Pflanzliche Nahrungsmittel	Probenahmedatum 1984	Wassergehalt in %	spezifische H-3-Konzentration in mBq/g		H-3 Konzentration in Bq/kg Frischsubstanz	Probenahmedatum 1985	Wassergehalt in %	spezifische H-3 Konzentration in mBq/g		H-3 Konzentration in Bq/kg Frischsubstanz
			HTO	OTB				HTO	OTB	
Getreide:										
- Roggen (Körner)	08.08.	11	13 ± 5	23 ± 6	13 ± 5	03.08.	16	35 ± 5	28 ± 5	17,5 ± 3,0
- Weizen (Körner)	09.09.	11	11 ± 5	23 ± 5	13 ± 5	03.08.	10	22 ± 5	26 ± 5	14,0 ± 2,8
- Mais (Körner)	13.09.	52	13 ± 5	16 ± 5	11 ± 5					
Blattgemüse:										
- Kopfsalat	27.06.	95	8 ± 5	16 ± 6	8 ± 5	26.06.	93	6,1 ± 3,9	12 ± 5	6,0 ± 3,9
- Feldsalat	30.10.	88	22 ± 5	39 ± 6	22 ± 5	02.12.	88	10 ± 5	21 ± 5	10 ± 5
Kohlgemüse:										
- Weißkohl	27.06.	93	9 ± 5	12 ± 5	9 ± 5	09.08.	91	< NWG	17 ± 5	< NWG
- Rotkohl	30.10.	92	20 ± 5	32 ± 6	20 ± 5	09.08.	91	8 ± 5	12 ± 5	8 ± 5
- Wirsingkohl	30.10.	89	17 ± 5	18 ± 5	16 ± 5	16.09.	93	< NWG	10 ± 5	< NWG
- Kohlrabi	30.10.	89	15 ± 5	82 ± 7	18 ± 5	09.08.	91	8 ± 5	12 ± 5	8 ± 5
- Rosenkohl (Rosen)	30.10.	87	25 ± 5	36 ± 6	24 ± 5	02.12.	84	11 ± 5	7 ± 5	10 ± 5
Wurzel- und Knollengemüse:										
- Möhren	27.06.	89	14 ± 5	12 ± 5	13 ± 5	26.06.	89	6,3 ± 4,4	9 ± 5	5,8 ± 3,8
- Rettiche	27.06.	94	< NWG	-	-	26.06.	95	< NWG	11 ± 5	< NWG
- Rote Rüben	13.09.	85	10 ± 5	14 ± 5	10 ± 5	09.08.	88	< NWG	12 ± 5	< NWG
- Kartoffeln	13.09.	80	10 ± 5	20 ± 5	10 ± 5	16.09.	81	< NWG	9 ± 5	< NWG
Ausdauernde Gemüse										
- Spargeln:	23.05.	91	14 ± 5	18 ± 5	14 ± 5	12.06.	91	9 ± 5	14 ± 5	9 ± 5
Obst:										
- Erdbeeren	27.06.	91	11 ± 5	15 ± 5	11 ± 5	26.06.	91	11 ± 5	8 ± 5	10 ± 5
- Äpfel	13.09.	83	12 ± 5	24 ± 5	12 ± 5	16.09.	79	8 ± 5	11 ± 5	7,6 ± 3,7
Medianwerte			13 ± 5	19 ± 5	13 ± 5			8 ± 5	12 ± 5	12 ± 5

Tab. 3/7: Tritiumkonzentrationen in pflanzlichen Nahrungsmitteln aus dem 1. Hauptausbreitungssektor in der Umgebung des KfK (2σ mit Fehlerfortpflanzung)

2. Hauptausbreitungssektor (Raum Eggenstein-Leopoldshafen)										
Pflanzliche Nahrungsmittel	Probenahmedatum 1984	Wassergehalt in %	spezifische H-3-Konzentration in mBq/g		H-3-Konzentration in Bq/kg Frischsubstanz	Probenahmedatum 1985	Wassergehalt in %	spezifische H-3-Konzentration in mBq/g		H-3-Konzentration in Bq/kg Frischsubstanz
			HTO	OBT				HTO	OBT	
Getreide:										
- Roggen (Körner)	09.08.	11	9 ± 5	15 ± 5	8 ± 5	08.08.	12	5,8 ± 4,4	8 ± 5	4,3 ± 2,7
- Weizen (Körner)	06.08.	10	10 ± 5	14 ± 5	8 ± 5	08.08.	15	< NWG	7,2 ± 4,4	< NWG
- Mais (Körner)	31.10.	29	18 ± 4	22 ± 5	14 ± 5					
Blattgemüse:										
- Kopfsalat	04.07.	93	< NWG	34 ± 6	< NWG	26.06.	93	6,6 ± 4,4	11 ± 5	6,9 ± 3,9
- Feldsalat	20.11.	85	12 ± 5	19 ± 5	12 ± 5	02.12.	83	9 ± 5	12 ± 5	9 ± 5
Kohlgemüse:										
- Weißkohl	04.07.	93	8 ± 5	16 ± 5	8 ± 5	08.08.	93	5,2 ± 4,4	9 ± 5	5,0 ± 3,9
- Rotkohl	04.07.	92	8 ± 5	33 ± 6	9 ± 5	16.09.	90	6 ± 5	< NWG	< NWG
- Wirsingkohl	04.07.	93	8 ± 5	8 ± 5	8 ± 5	16.09.	91	6,0 ± 4,4	7,1 ± 4,4	5,8 ± 3,8
- Kohlrabi	04.07.	92	9 ± 5	32 ± 6	10 ± 5	26.06.	92	< NWG	8 ± 5	< NWG
- Rosenkohl (Rosen)	20.11.	83	13 ± 5	14 ± 5	12 ± 5	02.12.	85	17 ± 5	13 ± 5	15 ± 5
Wurzel- und Knollengemüse:										
- Möhren	04.07.	89	7 ± 5	13 ± 5	7 ± 5	26.06.	91	< NWG	14 ± 5	< NWG
- Rettiche	04.07.	95	6 ± 5	18 ± 5	6 ± 5	08.08.	95	8 ± 5	10 ± 5	8 ± 5
- Rote Rüben	13.09.	86	7 ± 5	9 ± 5	7 ± 5	08.08.	86	5,0 ± 4,3	11 ± 5	5,2 ± 3,8
- Kartoffeln	13.09.	77	9 ± 5	17 ± 5	9 ± 5	16.09.	76	10 ± 5	11 ± 5	8,9 ± 4,4
Ausdauernde Gemüse:										
- Spargeln	29.05.	90	7 ± 5	28 ± 6	8 ± 5	11.06.	91	9 ± 5	12 ± 5	9 ± 5
Obst:										
- Erdbeeren	04.07.	91	6 ± 5	22 ± 6	6 ± 5	26.06.	89	6,6 ± 4,4	6 ± 5	6,6 ± 3,9
- Äpfel	13.09.	84	8 ± 5	8 ± 5	7 ± 5	16.09.	83	10 ± 5	11 ± 5	9 ± 5
Medianwerte			8 ± 5	17 ± 5	8 ± 5			6,0 ± 4,4	11 ± 5	6,2 ± 4,0

Tab. 3/8: Tritiumkonzentrationen in pflanzlichen Nahrungsmitteln aus dem 2. Hauptausbreitungssektor in der Umgebung des KfK (2σ mit Fehlerfortpflanzung)

Gegenüber dem wassergebundenen beträgt der organisch gebundene Wasserstoff in pflanzlichen Nahrungsmitteln nur wenige Prozent des gesamten Wasserstoffs. Zum einen enthalten die Pflanzenmaterialien in der Regel nur 10 % an Trockensubstanz, zum anderen ist der Wasserstoffanteil dieser Trockensubstanz nur etwa halb so groß wie der des Wassers. Bei der Umrechnung der gemessenen HTO- und OBT-Konzentrationen in mBq/g Frischsubstanz des betreffenden Nahrungsmittels oder Bq/kg (s. Tabn. 3/7 und 3/8) zeigt sich deshalb in den Medianwerten praktisch keine Abweichung zu den HTO-Konzentrationen in Wasser. Bei den Getreideproben, deren Wasseranteil in der Regel nur zwischen 10 % und 18 % beträgt, reduziert sich die Tritiumkonzentration bei dieser Angabe daher beträchtlich. Deshalb sind auch die OBT-Werte für die Strahlenexposition nicht relevant, jedoch von radioökologischem Interesse.

Vergleicht man die Tritiumkonzentrationen im Gewebewasser der Nahrungsmittel mit den Tritiumkonzentrationen in den gleichzeitig entnommenen Bodenproben (s. Tabn. 3/9 und 3/10), so findet man eine recht gute Übereinstimmung in den Medianwerten (s. Tab. 3/11). Auch die Tritiumkonzentrationen in der bodennahen Luftfeuchtigkeit, die während der Probenahme auskondensiert wurde, heben sich im Mittel kaum von den übrigen HTO-Konzentrationen ab. Bei Betrachtung der einzelnen Lebensmittel (Abbn. 3/7 bis 3/10) lassen sich Beispiele finden, wonach die HTO-Konzentrationen im Gewebewasser der Pflanzen einerseits durch das Bodenwasser, andererseits mehr durch die Luftfeuchtigkeit bestimmt zu sein scheint.

Zur Überprüfung der Gültigkeit des "Spezifischen-Aktivitäts-Modells" wurden weiterhin die gemessenen Tritiumkonzentrationen in den Pflanzen im Mittel den berechneten Mittelwerten der Tritiumkonzentration in der bodennahen Luftfeuchtigkeit für mehrere Jahre (1981 bis 1985) gegenübergestellt (Abbn. 3/11 und 3/12). Den berechneten Werten wurden die entsprechenden Langzeitausbreitungsfaktoren für die Probenahmestellen und die Tritiumemissionen der Hauptemittenten des KfK zugrunde gelegt. Es zeigt sich, daß die gemessenen und berechneten Mittelwerte der HTO-Konzentrationen in Pflanzen und der Luftfeuchtigkeit recht gut übereinstimmen, sowohl im 1. Hauptausbreitungssektor (Raum Friedrichstal) als auch im 2. Hauptausbreitungssektor (Raum Eggenstein-Leopoldshafen). Daraus läßt sich der Schluß ziehen, daß man mit dem verwendeten Konzept des "Spezifischen-Aktivitäts-Modells" für Abschätzungen der Tritiumbelastung in der Umgebung von kerntechnischen Anlagen durch Routineabgaben zu Werten kommt, die realistische Aussagen erlauben. Die beobachteten

Tritiumkonzentrationen im organischen Anteil der Pflanzen liegen allerdings in der Regel immer über den HTO-Konzentrationen. Dies bedarf einer weiteren Abklärung, wofür in der Abteilung Radioökologie systematische Untersuchungen laufen [STR 86].

Bodenproben, die mit folgenden pflanzlichen Nahrungsmitteln entnommen wurden:	1. Hauptausbreitungssektor (Raum Friedrichstal)				
	Probenahmedatum 1984	H-3-konzentration der Bodenproben in mBq/g	Probenahmedatum 1985	H-3-konzentration der Bodenproben in mBq/g	H-3-Konzentration der kondensierten Luftfeuchte in mBq/g
Mais (Körner)	13.09	12 ± 5	-	-	-
Kopfsalat	27.06.	14 ± 5	26.06.	9 ± 5	6 ± 5
Feldsalat	30.10.	14 ± 5	02.12.	11 ± 5	10 ± 5
Weißkohl	27.06.	23 ± 5	09.08.	9 ± 5	5,5 ± 4,4
Rotkohl	30.10.	18 ± 5	09.08.	9 ± 5	5,5 ± 4,4
Wirsingkohl	30.10.	18 ± 5	16.09.	< NWG	14 ± 5
Kohlrabi	30.10.	12 ± 5	09.08.	4,8 ± 4,3	5,5 ± 4,4
Rosenkohl (Rosen)	30.10.	14 ± 5	02.12.	11 ± 5	10 ± 5
Möhren	27.06.	8 ± 5	26.06.	9 ± 5	6 ± 5
Rettiche	27.06.	19 ± 5	26.06.	9 ± 5	6 ± 5
Rote Rüben	13.09.	11 ± 5	09.08.	6 ± 5	5,5 ± 4,4
Kartoffeln	13.09.	11 ± 5	16.09.	10 ± 5	14 ± 5
Spargeln	23.05.	13 ± 5	12.06.	< NWG	8 ± 5
Erdbeeren	27.06.	22 ± 5	26.06.	9 ± 5	6 ± 5
Äpfel	13.09.	12 ± 5	16.09.	10 ± 5	14 ± 5
Medianwerte		14 ± 5		9 ± 5	6 ± 5

Tab. 3/9: Tritiumkonzentrationen im Bodenwasser von Bodenproben sowie in Proben kondensierter Luftfeuchte, die mit den pflanzlichen Nahrungsmitteln aus dem 1. Hauptausbreitungssektor in der Umgebung des KfK entnommen wurden (< NWG = Wert liegt unterhalb der Nachweisgrenze von 4,8 mBq/g)

Bodenproben, die mit folgenden pflanzlichen Nahrungsmitteln entnommen wurden:	2. Hauptausbreitungssektor (Raum Eggenstein-Leopoldshafen)				
	Probenaufnahmedatum 1984	H-3-Konzentration der Bodenproben in mBq/g	Probenaufnahmedatum 1985	H-3-Konzentration der Bodenproben in mBq/g	H-3-Konzentration der kondensierten Luftfeuchte in mBq/g
Mais (Körner)	31.10.	10 ± 5	-	-	-
Kopfsalat	04.09.	9 ± 5	26.06.	< NWG	< NWG
Feldsalat	20.11.	15 ± 5	02.12.	6,3 ± 4,5	5 ± 4
Weißkohl	04.07.	9 ± 5	08.08.	8 ± 5	8 ± 5
Rotkohl	04.07.	9 ± 5	16.09.	< NWG	8 ± 5
Wirsingkohl	04.07.	9 ± 5	16.09.	< NWG	8 ± 5
Kohlrabi	04.07.	9 ± 5	26.06.	< NWG	< NWG
Rosenkohl (Rosen)	04.07.	9 ± 5	02.12.	6,3 ± 4,4	5 ± 4
Möhren	04.07.	9 ± 5	26.06.	< NWG	< NWG
Rettiche	04.07.	9 ± 5	08.08.	8 ± 5	8 ± 5
Rote Rüben	13.09.	5,2 ± 4,8	08.08.	8 ± 5	8 ± 5
Kartoffeln	13.09.	5,2 ± 4,8	16.09.	< NWG	8 ± 5
Spargel	29.05.	9 ± 5	11.06.	< NWG	7 ± 5
Erdbeeren	02.07.	5,4 ± 4,7	26.06.	< NWG	< NWG
Äpfel	-	-	16.09.	< NWG	6 ± 4
Medianwerte		9 ± 5		< NWG	6 ± 5

Tab. 3/10: Tritiumkonzentrationen im Bodenwasser von Bodenproben sowie in Proben kondensierter Luftfeuchte, die mit den pflanzlichen Nahrungsmitteln aus dem 2. Hauptausbreitungssektor in der Umgebung des KfK entnommen wurden (< NWG = Wert liegt unterhalb der Nachweisgrenze von 4,8 mBq/g)

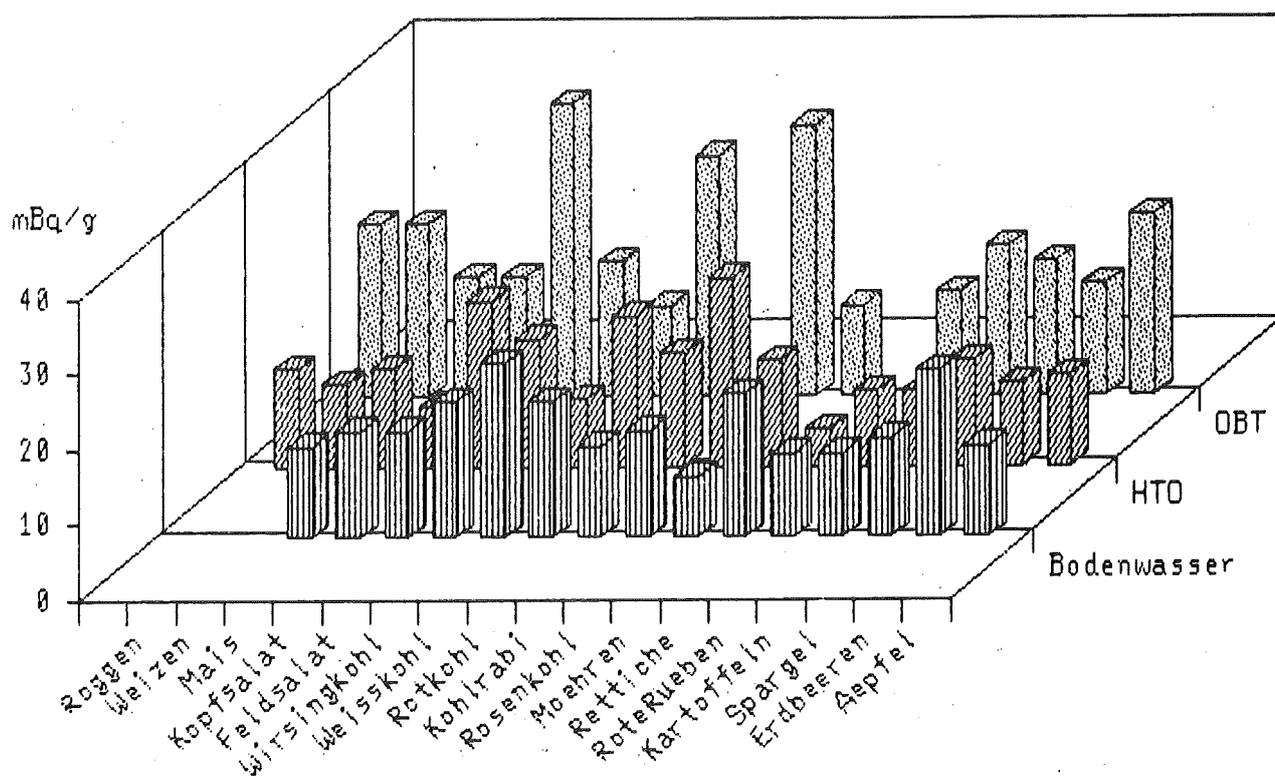


Abb. 3/7: Tritiumkonzentrationen in landwirtschaftlichen Produkten Raum Friedrichstal 1984

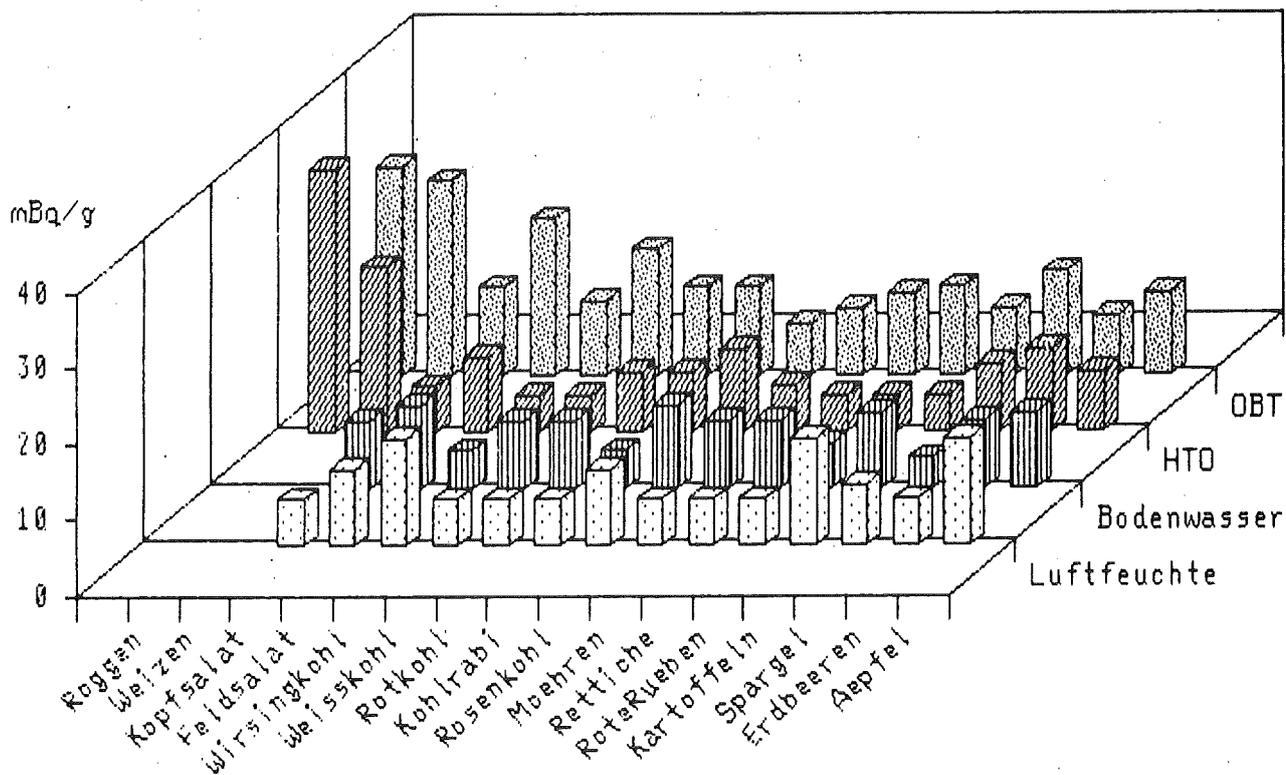


Abb. 3/8: Tritiumkonzentrationen in landwirtschaftlichen Produkten Raum Friedrichstal 1985

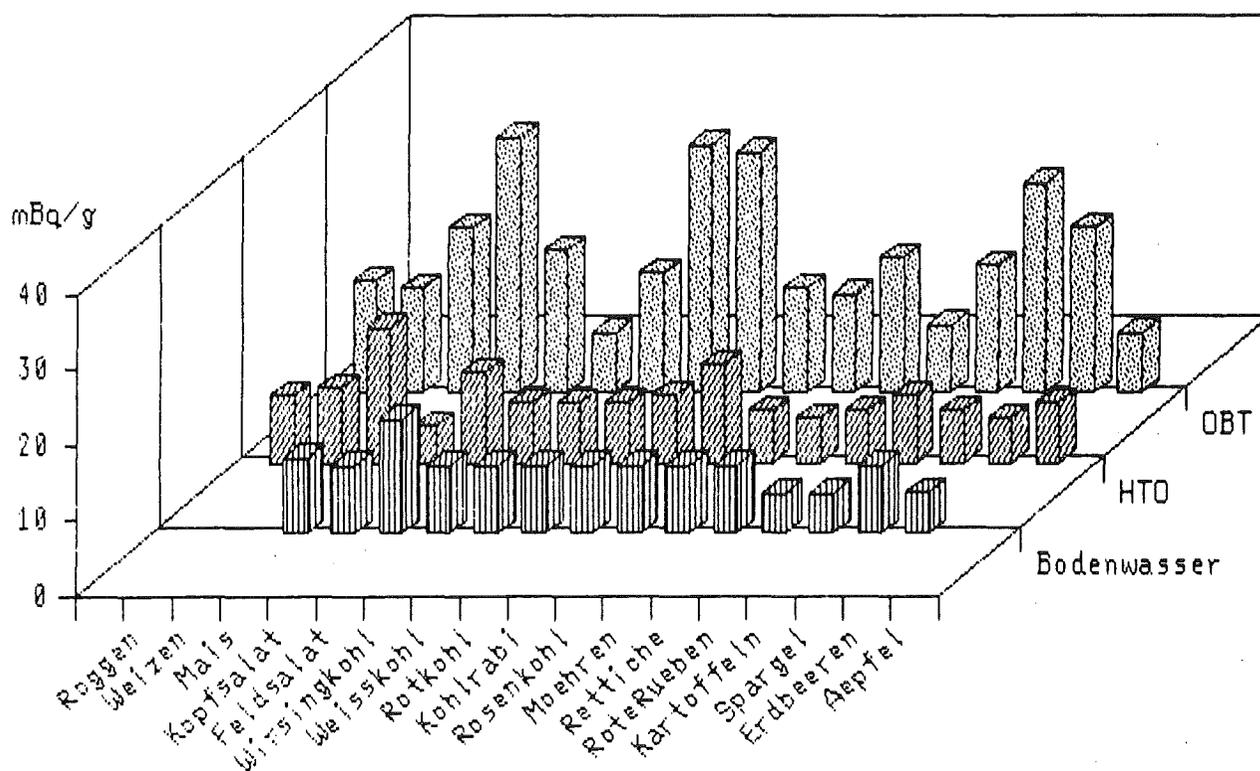


Abb. 3/9: Tritiumkonzentrationen in landwirtschaftlichen Produkten Raum Eggenstein 1984

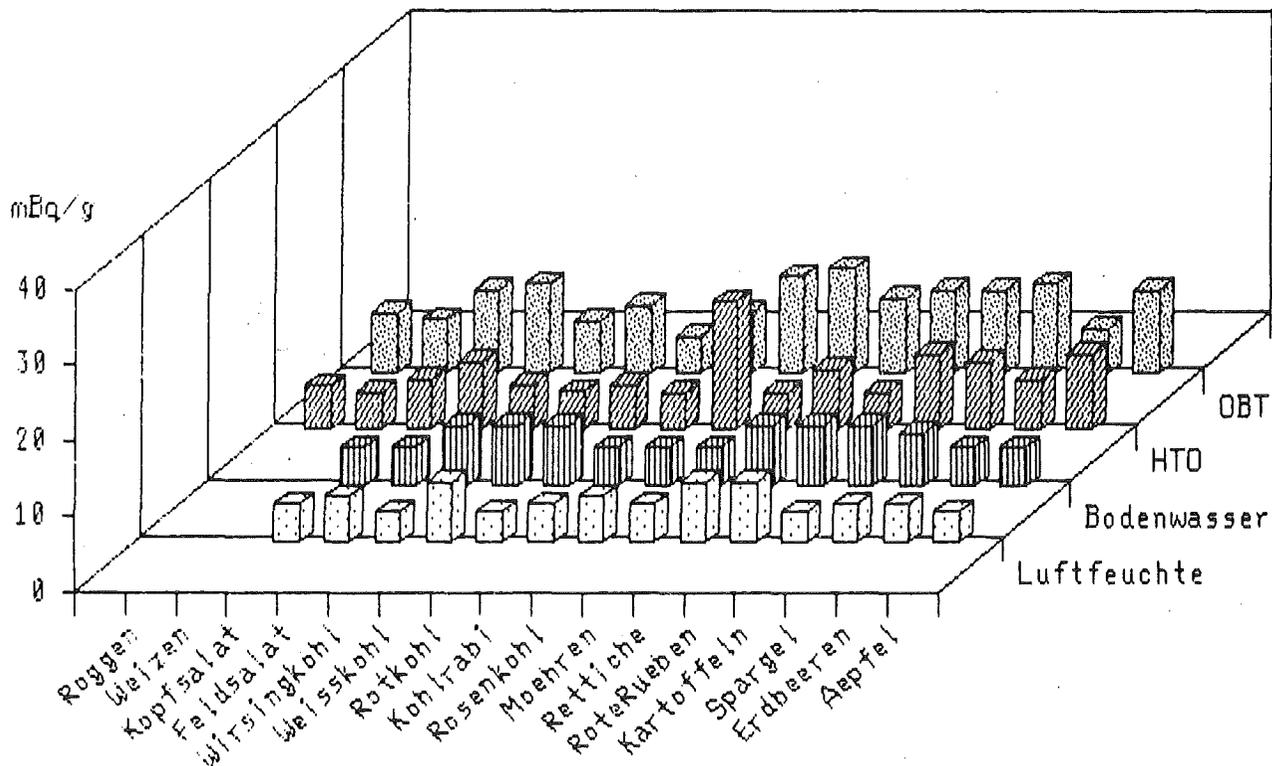


Abb. 3/10: Tritiumkonzentrationen in landwirtschaftlichen Produkten Raum Eggenstein 1985

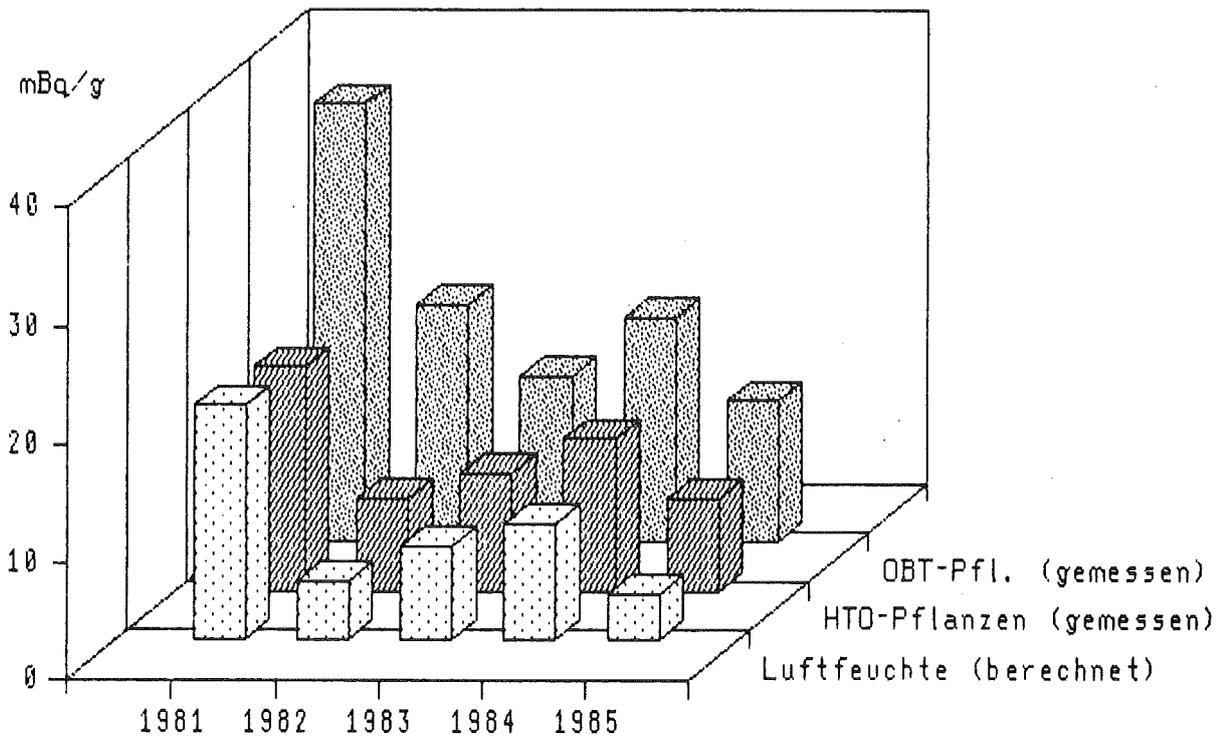


Abb. 3/11: Vergleich mittlerer Tritiumkonzentrationen Raum Friedrichstal 1981 - 1985

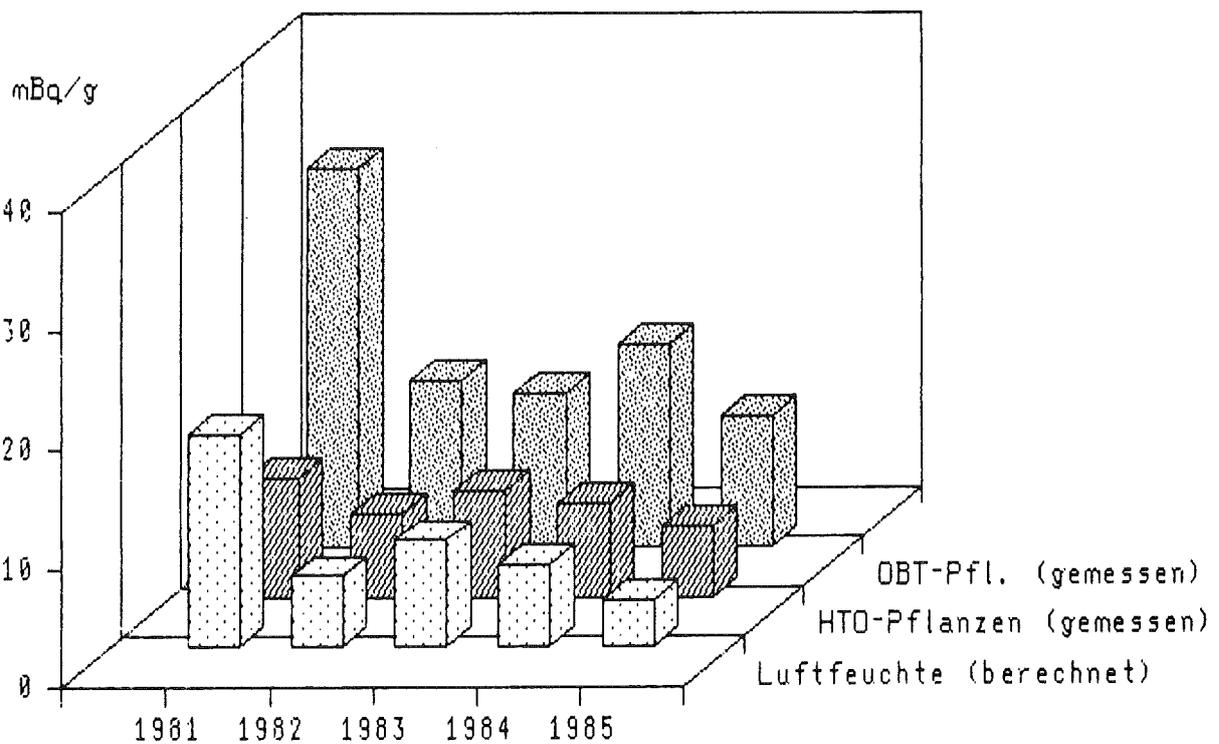


Abb. 3/12: Vergleich mittlerer Tritiumkonzentrationen Raum Eggenstein 1981 - 1985

	Friedrichstal		Eggenstein-Leopoldshafen	
	1984	1985	1984	1985
Pflanzliche Nahrungsmittel				
HTO	13 ± 5	8 ± 5	8 ± 5	6,0 ± 4,4
OBT	19 ± 5	12 ± 5	17 ± 5	11 ± 5
Bodenfeuchte	14 ± 5	9 ± 5	9 ± 5	6 ± 5
Luftfeuchte	-	6 ± 5	-	< NWG

Tab. 3/11: Medianwerte der Tritiumkonzentrationen in landwirtschaftlichen Produkten und in Boden- sowie Luftfeuchten in den Jahren 1984 und 1985 in mBq/g (Zusammenstellung aus den Tabn. 3/7 bis 3/10)

4 Wasserpfad

Durch die Tritiumableitungen mit dem Abwasser des KfK (s. Kap. 2) gelangt Tritium in den Vorfluter, was zu einer Beaufschlagung von Fischen und Wasserpflanzen, des Grundwassers und von benachbarten Oberflächengewässern und Eigenwasserversorgungen führt. Eine erhöhte Tritiumkonzentration wurde auch noch unmittelbar hinter der Einleitungsstelle in den Rhein nachgewiesen z. B. [KÖN 84].

4.1 Beaufschlagung des Vorfluters und benachbarter Oberflächengewässer

Der Inhalt der Chemiewasserendbecken (Fassungsvermögen 800 m^3 , übliche Füllung 750 m^3) wird durch Abpumpen über eine $2,9 \text{ km}$ lange Leitung innerhalb drei Stunden abgeleitet (s. Abb. 4/1). Dies entspricht einer Abwasserabgabe von 75 l s^{-1} . Nach in [PIM 80] angegebenen Daten beträgt an der Einleitungsstelle der Abwässer der Wasserdurchsatz des Vorfluters im Jahresmittel 280 l s^{-1} . Unter der an sich nicht erfüllten Voraussetzung einer unendlich schnellen Durchmischung mit dem Wasser des Vorfluters ist also bestenfalls eine momentane Verdünnung um den Faktor ca. $0,27$ zu erwarten. Für das Verhältnis der jährlichen Abwasserabgabe des KfK zum jährlichen Abfluß des Vorfluters findet man einen mittleren Verdünnungsfaktor von zur Zeit etwa $0,031$. Wie in [PIM 80] gezeigt wurde, nimmt der Abfluß des Vorfluters in Fließrichtung durch Wasserzufluß zu und ist nach $13,5 \text{ km}$ auf ca. $1,9 \text{ m}^3/\text{s}$ angestiegen. Dies bedeutet im Abstand $13,5 \text{ km}$ hinter der Einleitungsstelle eine zusätzliche Verdünnung um den Faktor $0,15$ bzw. eine Gesamtverdünnung um den Faktor ca. $0,005$.

Die Abwässer erreichen spätestens $23,6 \text{ km}$ nach der Einleitung den Rhein (s. Abb. 4/1). Querverbindungen zum Rhein sind entsprechend dem jeweiligen Wasserstand möglich, jedoch wegen des hierfür notwendigen Aufwandes nicht im einzelnen zu verfolgen. Zu dem Vorfluter benachbarten Oberflächengewässern besteht eine Verbindung zumindest über das Grundwasser. Zusätzlich bestehen in manchen Fällen permanent, in anderen Fällen abhängig vom Wasserstand zeitweilig sichtbare Querverbindungen, so daß eine Überwachung dieser Oberflächengewässer naheliegt. In Abb. 4/2 sind Quartalsmittelwerte der Tritiumkonzentration in 400 m hinter der Einleitungsstelle kontinuierlich gesammelten Proben für die Jahre 1981 - 1986 wiedergegeben. In Tab. 4/1 sind Meßergebnisse

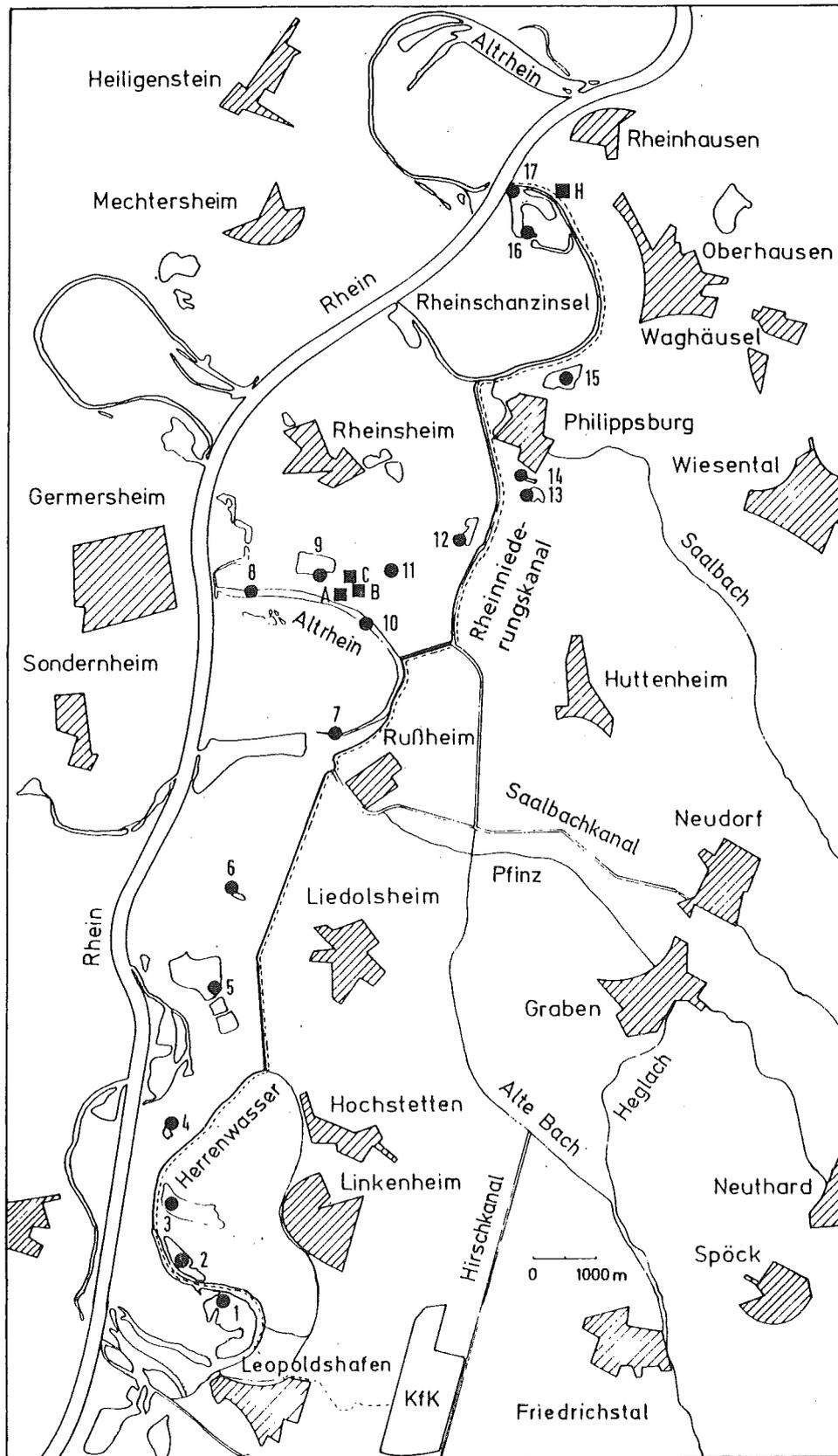


Abb. 4/1: Lageplan der Probenahmestellen (--- Fließweg des Abwassers)

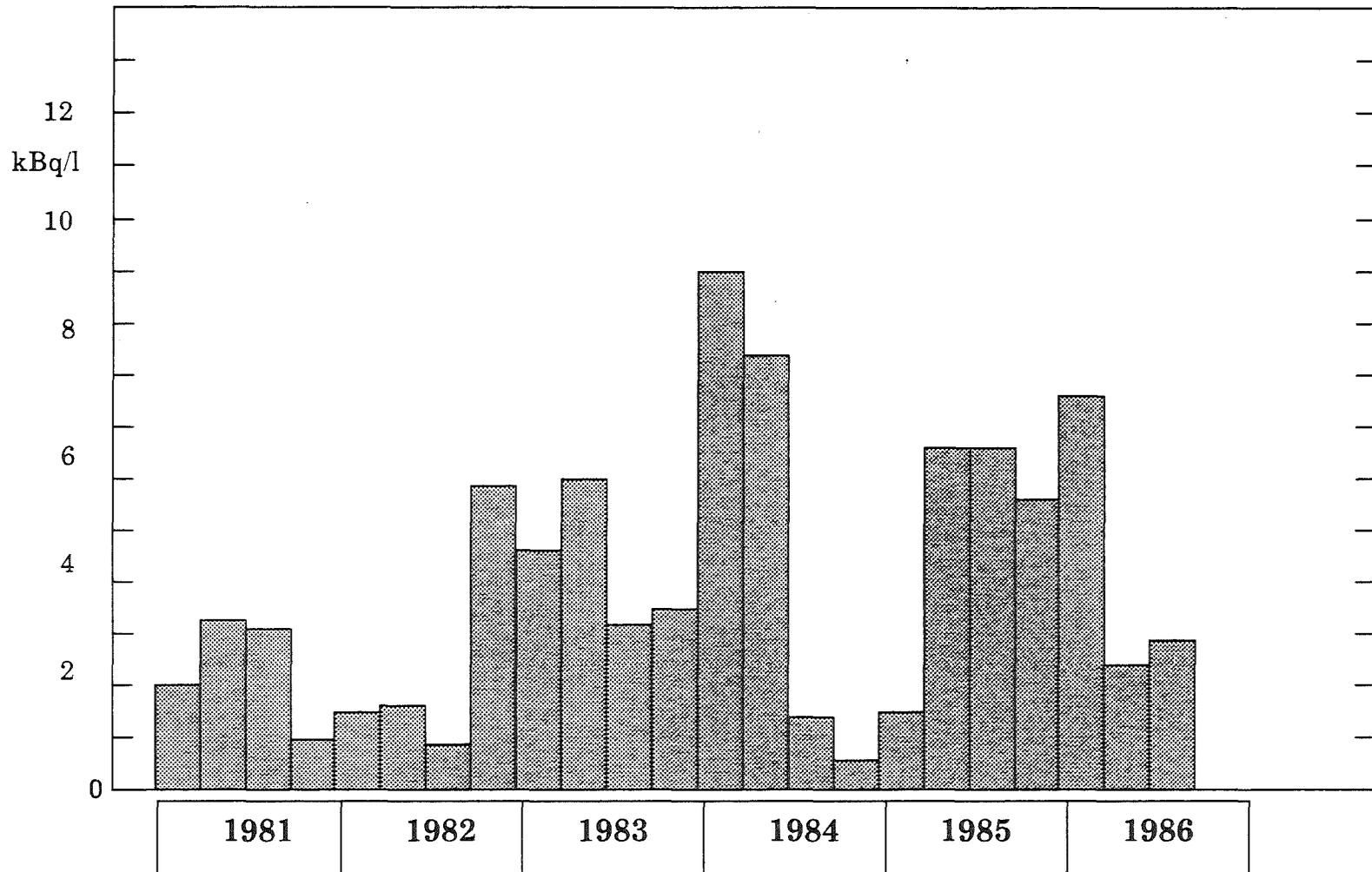


Abb. 4/2: Quartalsmittelwerte der Tritiumkonzentration in 400 m Entfernung hinter der Einleitungsstelle kontinuierlich gesammelter Proben

Pro- be- Nr.	Probenahmeort	H-3-Aktivitätskonzentration in Bq/l									
		03.07.81	20.07.84	05.02.85	17.04.85	10.07.85	10.10.85	22.01.86	16.04.86	13.08.86	08.10.86
1	Baggersee Leopoldshafen	-	15±6	-	-	11±6	-	-	-	< 6	-
2	Baggersee "Streitköpfe"	27±7	46±7	30±7	30±7	34±7	104±10	82±8	77±9	207±13	168±12
3	Baggersee "Rohrköpfe"	-	-	256±65	247±15	223±14	206±14	189±13	179±15	404±21	354±19
4	Mittelgründloch	41±7	246±15	9±6	55±8	7±6	508±25	40±7	9±5	155±11	103±9
5	Baggersee, groß, Liedolsheim	14±6	9±6	-	-	7±6	-	-	-	10±5	-
6	Baggersee, klein, Liedolsheim	20±7	92±9	34±7	27±7	< 6	15±6	78±8	11±5	554±42	52±7
7	Altrhein Rußheim	155±12	20±6	-	-	80±9	-	-	-	7±6	-
8	Schleuse Germersheim	1300±60	747±34	-	-	982±43	-	-	-	107±10	-
9	Kieswerk Aussiedlerhöfe	126±11	84±9	-	-	89±9	-	-	-	65±8	-
10	Altrhein, Aussiedlerhöfe	1177±48	683±32	-	-	1402±59	-	-	-	1170±50	-
11	großes Loch bei Aussiedlerhöfen	-	8±6	-	-	< 6	-	-	-	< 6	-
12	Baggersee Rheinsheim	14±6	9±6	-	-	< 6	-	-	-	< 6	-
13	Baggersee, groß, Philippsburg Süd	11±6	9±6	-	-	10±6	-	-	-	8±5	-
14	Baggersee, klein, Philippsburg Süd	10±6	7±6	-	-	10±6	-	-	-	11±5	-
15	Baggersee Philippsburg Nord	< 6	< 6	-	-	< 6	-	-	-	9±5	-
16	Altrhein bei Altrheininsel Korsika	333±19	282±16	-	-	689±32	-	-	-	430±33	-
17	Altrhein bei Gasthaus "Rheineck"	352±20	237±15	-	-	283±16	-	-	-	132±12	-

Tab. 4/1: H-3-Aktivitätskonzentration in Oberflächengewässern im Tiefgestade (Probenahmestellen s. Abb. 4/1)

der Tritiumkonzentration im Bereich des Vorfluters genommener Proben zusammengestellt. Die Lage der einzelnen Probenahmestellen ist ebenfalls aus Abb. 4/1 ersichtlich. Zu erwähnen ist, daß in den Vorfluter auch Kläranlagenabwasser eingeleitet wird. Dieser Gesichtspunkt sollte bei einer Bewertung der gegebenen Situation nicht unbeachtet bleiben.

4.2 Tritiumaustausch von Fischen und Wasserpflanzen mit dem umgebenden Wasser

Die im Vorfluter lebenden Fische und Wasserpflanzen sind dem dort vorhandenen Tritium ausgesetzt. Es wurde nicht nur die Tritiumkonzentration in Fischen aus dem Vorfluter (Gewebewasser und organisch gebundenes Tritium) gemessen, sondern auch gezielt Experimente zur Aufhellung des Austausches von Tritium zwischen dem umgebenden Wasser und den Fischen durchgeführt.

4.2.1 Tritium in Fischen und Wasserpflanzen aus dem Vorfluter

In Tab. 4/2 werden aus dem Jahr 1984 stammende Meßwerte der Tritiumkonzentration im Gewebewasser (HTO) und im Verbrennungswasser der organisch gebundenen Substanz (OBT) von Fischen und Wasserpflanzen mitgeteilt. Die untersuchten Fische wurden nicht selbst gefangen, sondern von Sportfischern gekauft. Wegen des sehr raschen Austauschs zwischen Gewebewasser und umgebendem Wasser (s. Kap. 4.2.2.1) sind nur die OBT-Werte von Interesse. Zur Geschmacksverbesserung werden Fische von Sportfischern vor der Tötung üblicherweise in mit Leitungswasser gefüllten Gefäßen gehalten. Dabei findet ein rascher Austausch zwischen Gewebewasser und umgebendem Wasser statt. Zur Interpretation der gemessenen HTO-Werte müßte man die Vorgeschichte der Probe vor der Gefriertrocknung genau kennen, was in der Regel nicht der Fall ist. Außerdem wird der Tritiumgehalt der Fische bei der Zubereitung zum Verzehr und der Wasserpflanzen bei der Lagerung vor der Messung verringert.

Die gefundenen OBT-Werte spiegeln die mittlere Tritiumkonzentration im Vorfluter wider. Da die Aufenthaltsdauer der Fische in Wasser unterschiedlicher Konzentration unbekannt ist, sind die in Tab. 4/2 angegebenen Meßergebnisse nicht genauer interpretierbar.

Probenahmedatum 1984	Probenart (Alter in Jahren, geschätzt)	Wasser- gehalt in %	H-3-Konzentration in mBq/ml	
			HTO	OBT
07.04.	Rotaugen (3)	74	734 ± 20	3012 ± 120
07.04.	Rotaugen (5 - 6)	70	1160 ± 50	3720 ± 150
07.04.	Barsch (2 - 3)	73	2912 ± 115	5853 ± 230
07.04.	Barsch (> 4)	74	4411 ± 173	6840 ± 270
07.04.	Brachse (4)	74	1310 ± 54	6020 ± 234
07.04.	Brachse (7 - 8)	73	3030 ± 120	5150 ± 200
15.05.	Rotaugen (3 - 4)	76	80 ± 7	4122 ± 162
15.05.	Rotaugen (6 - 10)	75	223 ± 13	4880 ± 190
15.05.	Rotaugen (> 10)	74	327 ± 17	5140 ± 200
15.05.	Brachse (4 - 6)	75	145 ± 10	2670 ± 110
15.05.	Schilf	85	252 ± 14	330 ± 17
28.06.	Rotaugen (3 - 4)	75	13 ± 5	3940 ± 160
28.06.	Rotaugen (6 - 7)	74	19 ± 5	4800 ± 230
28.06.	Brachse (3 - 4)	73	15 ± 5	3380 ± 134
28.06.	Brachse (5 - 6)	73	17 ± 5	6070 ± 240
28.06.	Boden-Schilf	47	93 ± 8	-
28.06.	Schilf	82	50 ± 6	209 ± 12
28.06.	Wasserstern	90	19 ± 5	3540 ± 140
28.06.	Fadenalgen	84	10 ± 5	470 ± 22

Tab. 4/2: Tritiumkonzentrationen in Fischen und Wasserpflanzen aus dem Altrhein. Im Mittel entstanden 0,40 ml Oxidationswasser bei der Veraschung von 1 g Trockensubstanz der oben genannten Fischproben

4.2.2 Tritiumaustausch zwischen Fischen und umgebendem Wasser

Zum besseren Verständnis der Austauschvorgänge wurde sowohl die Tritiumabgabe als auch die Tritiumaufnahme von Fischen untersucht. Bei den hierzu gefangenen Fischen handelte es sich um Rotaugen (*Rutilus rutilus*; Masse ca. 50 - 90 g) und Brachsen (*Abramis brama*; Masse ca. 200 - 430 g).

4.2.2.1 Tritiumabgabe von Fischen

Aus dem Vorfluter stammende Fische mit unbekannter Vorgeschichte wurden in tritiumarmes Wasser eingesetzt und der Anstieg der Tritiumkonzentration in diesem Wasser gemessen. Der Anstieg der Tritiumkonzentration C läßt sich durch die Gleichung

$$C = C_{max} \left\{ 1 - \frac{C_1}{C_{max}} \cdot \exp(-\lambda_1 \cdot t) - \frac{C_2}{C_{max}} \cdot \exp(-\lambda_2 \cdot t) - \frac{C_3}{C_{max}} \cdot \exp(-\lambda_3 \cdot t) \right\} \quad (4-1)$$

beschreiben. C_1 , C_2 , C_3 , λ_1 , λ_2 und λ_3 sind Konstante, C_{max} ist die maximale Tritiumkonzentration.

Für $t = 0$ gilt $C = 0$. Daher gilt

$$C_3 = C_{max} - C_1 - C_2. \quad (4-2)$$

Aus den Meßwerten lassen sich die Konstanten C_i und die Halbwertszeiten

$$T_i = \frac{\ln 2}{\lambda_i} \quad (4-3)$$

($i = 1,2,3$) bestimmen.

In Tab. 4/3 sind die Ergebnisse der durchgeführten Versuche zusammengefaßt. Auf den ersten Blick scheint T_1 als durch die äußere Kontamination bedingt - wassergefüllte Hohlräume z. B. Magen-Darm-Trakt eingeschlossen - erklärbar zu sein. T_2 könnte auf den Austausch des Gewebewassers und T_3 auf jenen des OBТ zurückgeführt werden. Eine endgültige Klärung ist nur durch weitere Experimente erreichbar.

	$\overline{C_1}$	$\overline{C_2}$	$\overline{C_3}$	Minuten		
	C_{\max}	C_{\max}	C_{\max}	T ₁	T ₂	T ₃
Maximum	0,19	0,54	0,52	0,24	46	139
Minimum	0,06	0,39	0,38	4,6	10,5	77
Medianwerte	0,08	0,45	0,45	0,81	27	126

Tab. 4/3: Bei der Tritiumabgabe von Fischen gefundene Konstanten (s. Gl. (4-1))

4.2.2.2 Tritiumaufnahme durch Fische

In Abb. 4/3 ist ein Beispiel für die Tritiumaufnahme in Fische, die bei einem Versuch innerhalb des Vorfluters eingeschleppt waren, dargestellt. Die Probenahmen wurden während Tritiumableitungen aus Endbecken durchgeführt. Während die Zunahme der Konzentration im Gewebewasser den Erwartungen entspricht, gilt dies nicht für die Zunahme im OB-T. HTO wurde durch Gefriertrocknung gewonnen, das Verbrennungswasser der organischen Substanz durch Verbrennung des trockenen Rückstands. Diese Ergebnisse bedürfen ebenfalls einer sorgfältigen Überprüfung.

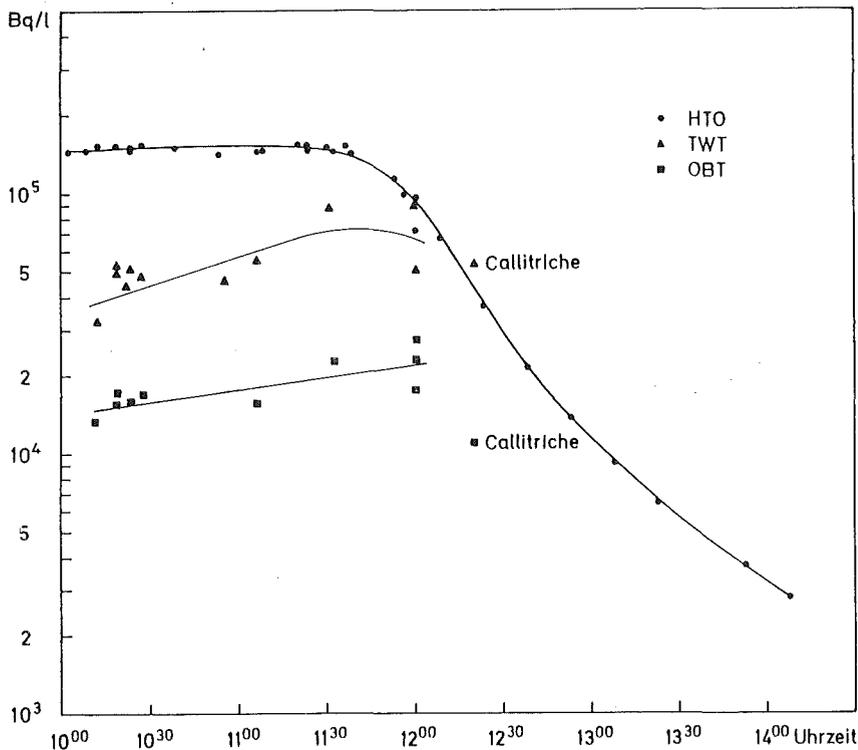


Abb. 4/3: Tritiumkonzentration im Wasser des Vorfluters, in Fisch und Wasserstern (TWT: Gewebewasser; OB-T: organisch gebundenes Tritium)

4.2.3 Radiologische Bedeutung des organisch gebundenen Tritiums in Fischen

Die untersuchten Fische wiesen einen Wassergehalt von mindestens 70 % der Frischmasse auf. Mit einem Wasserstoffanteil der organischen Trockensubstanz von ca. 6 % erhält man also einen Anteil des organisch gebundenen Wasserstoffs von ca. 1,8 %. Pro kg Frischmasse hat man damit ca. 18 g organisch gebundenen Wasserstoff, woraus man durch Verbrennung ca. 162 g Wasser erhält. Rechnet man mit einer Maximalkonzentration von 7 Bq/ml im Verbrennungswasser, so bedeutet dies eine Tritiumaktivität von ca. 1,1 kBq organisch gebundenes Tritium pro kg Fisch-Frischmasse. Nimmt man konservativerweise in Anlehnung an ICRP 30, Part 1, eine effektive Halbwertszeit im Menschen für organisch gebundenes Tritium von 500 d und einen Fischverzehr von 40 kg/a an, so folgt für den erst nach drei effektiven Halbwertszeiten annähernd erreichten Gleichgewichtsfall eine Strahlenexposition von maximal 36 μ Sv/a. Hierbei war vorausgesetzt, daß 100 % des organisch gebundenen Tritiums nach der Verdauung wieder organisch gebunden sind. Nach dem derzeitigen Kenntnisstand bedeutet dies eine Überschätzung um einen Faktor von ca. 5.

4.3 Tritium im Trinkwasser in der Nähe des Vorfluters

Für die Jahre 1981 - 1983 wurden in [KÖN 84] Meßergebnisse der Tritiumkonzentration in vier Eigenwasserversorgungen berichtet. Diese Messungen wurden fortgesetzt. Die seit 1981 angefallenen Meßergebnisse sind in Abb. 4/4 graphisch dargestellt. Der starke Abfall der Tritiumkonzentration an der Probenahmestelle C im Sommer 1982 ist das Ergebnis der Anlage eines neuen Brunnens durch den Eigentümer, nachdem sich der alte zugesetzt hatte. Im übrigen sind die gefundenen Meßwerte im Gegensatz zu den in Abb. 4/2 für den Vorfluter angegebenen Meßwerte nur langsam veränderlich. Der höchste Meßwert wurde zuletzt an der Probenahmestelle B gefunden (s. Abb. 4/1) und liegt bei 150 Bq/l. Geht man von einer mittleren Tritiumkonzentration im Vorfluter 400 m hinter der Einleitungsstelle von ca. 4000 Bq/l aus und multipliziert man diesen Wert nach Kap. 4.1 mit einem Verdünnungsfaktor von ca. 0,15, so erhält man eine Konzentration von 600 Bq/l. Die zusätzliche Verdünnung durch das Grundwasser liegt für die vier Probenahmestellen im Bereich 1:4 bis 1:10.

Zumindest für die hier berichteten Fälle gilt also, daß die Tritiumkonzentration in der oberen Schicht um den Faktor 0,10 bis 0,25 unter der mittleren Tritium-

konzentration im Vorfluter liegt. Durch tiefere Bohrung ließe sich die Tritiumkonzentration der Eigenwasserversorgung reduzieren [KÖN 84]. Infolge der verwickelten hydrologischen Verhältnisse im Bereich des gegebenen Vorfluters erscheint es als wenig aussichtsreich, zu versuchen, die Tritiumkonzentration im Grundwasser zu berechnen.

4.4 Tritium in einigen landwirtschaftlichen Produkten

Im Zusammenhang mit Tritiummessungen an verschiedenen Eigenwasserversorgungsbrunnen im Gebiet um den Rheinniederungskanal bei Hochstetten wurden in drei landwirtschaftlichen Betrieben verschiedene Proben entnommen und auf die Konzentrationen an HTO und OBT hin untersucht. Die Ergebnisse für verschiedene Gemüsesorten, wie sie in den Betrieben zur Eigenversorgung mehr gartenmäßig angebaut werden, sind in Tab. 4/4 zusammengestellt. Die Entnahme der Proben erfolgte am 19. Juli und am 16. August 1984. Der Medianwert der HTO-Konzentrationen dieser Proben liegt bei 15 mBq/ml, der der OBT-Konzentrationen bei 25 mBq/ml. Die Werte für OBT streuen über einen Bereich von 16 bis 53 mBq/ml, ohne daß sich aus dieser Meßreihe eine besondere Tendenz hinsichtlich der verschiedenen Gemüsesorten erkennen läßt. Der Medianwert der Bodenwasserkonzentrationen entspricht mit 15 mBq/ml dem der HTO-Konzentrationen in den Pflanzen.

Die monatlichen Messungen von Wasser-, Milch-, Grünfütter- und Silofütterproben aus dem Kuhstall eines Aussiedlerhofs wurden 1984 und 1985 fortgesetzt. Die Ergebnisse sind in den Abbn. 4/5 und 4/6 dargestellt. Die HTO-Konzentrationen der Milch lagen 1984 im Bereich von 32 bis 68 % (Medianwert von 55 %) der HTO-Konzentration des Wassers in der Tränke. 1985 betragen die entsprechenden Werte 34 bis 88 % (Medianwert 54 %). Bei der Streuung muß beachtet werden, daß die Kühe Wasser in unterschiedlicher Menge auch mit dem Grünfütter bzw. während der Wintermonate mit der Silage bekommen. Die OBT-Werte liegen in der Regel relativ dicht bei den HTO-Werten, obwohl die Kühe mit dem Grünfütter organisch gebundenes Tritium nur in sehr geringer Konzentration zugeführt bekommen. Darin zeigt sich, daß die organischen Bestandteile, wie sie in der Milch vorliegen, in vielen Stoffwechselschritten auf dem Wege von den Mägen über das Blut zu den Milchdrüsen stark verändert bzw. neu synthetisiert werden, wobei der organisch gebundene Wasserstoff weitgehend durch den Wasserstoff des umgebenden Wassers ersetzt wird.

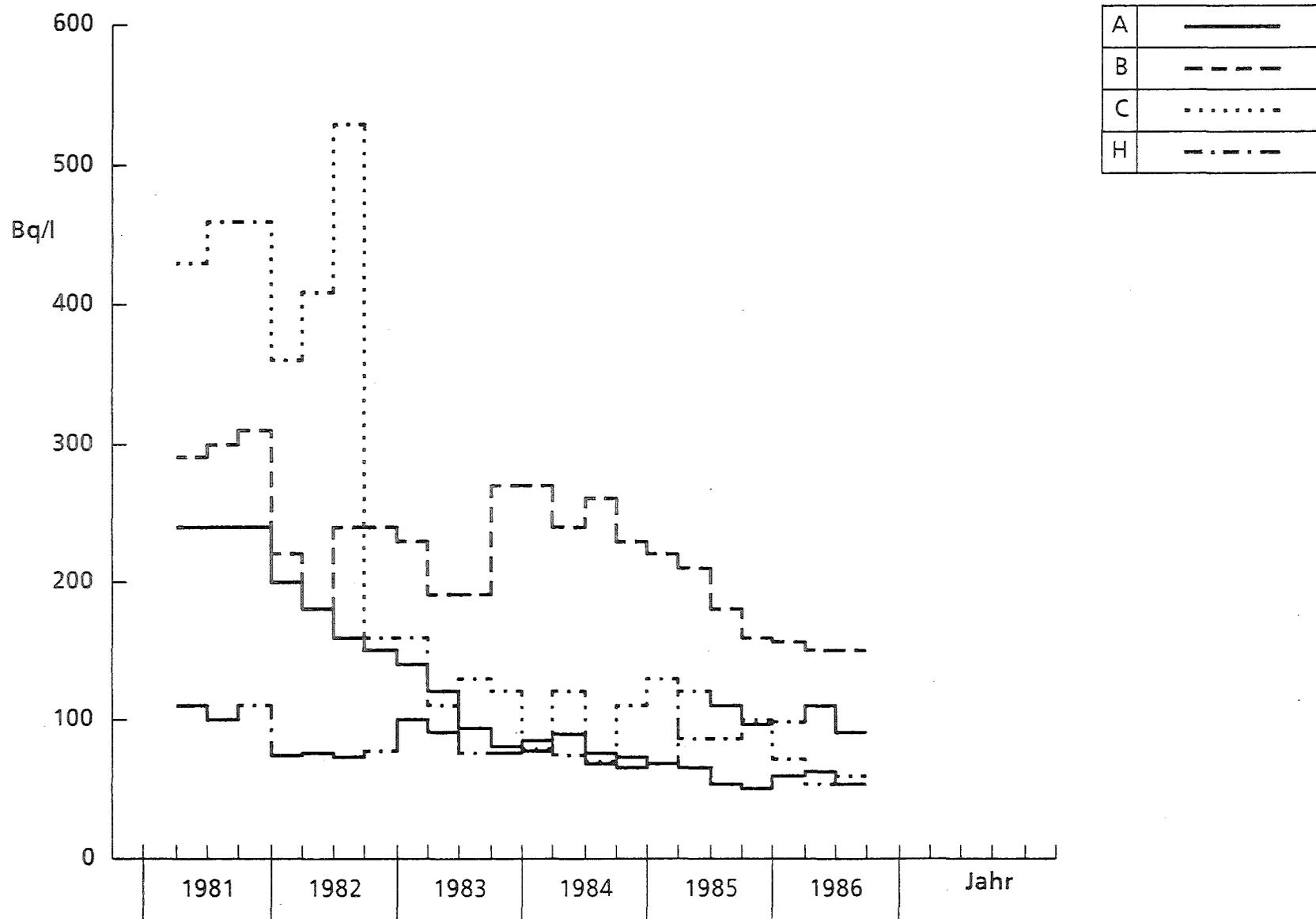


Abb. 4/4: Tritiumkonzentration in Eigenwasserversorgung

Probenahme- datum 1984	Probenahme- ort	Pflanzliche Nahrungsmittel	Wasser- gehalt in %	H-3-Konzentration in mBq/ml		H-3- Konzentration in den ent- sprechenden Bo- denproben in mBq/ml
				freies Wasser (HTO)	Oxida- tionswas- ser aus TS (OBT)	
19.07.	A	Karotten	87	10 ± 5	25 ± 5	19 ± 5
16.08.	A	Zwiebeln	82	27 ± 5	28 ± 5	22 ± 5
16.08.	A	Rotkohl	89	11 ± 5	29 ± 20	18 ± 6
16.08.	B	Zwiebeln	84	50 ± 6	53 ± 7	36 ± 6
16.08.	C	Zwiebeln	86	30 ± 5	19 ± 5	11 ± 5
16.08.	C	Sellerie, Knollen	86	10 ± 5	16 ± 5	11 ± 5
16.08.	C	Sellerie, Blätter	85	10 ± 5	25 ± 5	11 ± 5
16.08.	C	Rotkohl	90	18 ± 5	22 ± 5	11 ± 5

Tab. 4/4: Tritiumkonzentrationen pflanzlicher Nahrungsmittel und gleichzeitig entnommener Bodenproben von verschiedenen landwirtschaftlichen Betrieben in der Nähe des Rheinniederungskanals

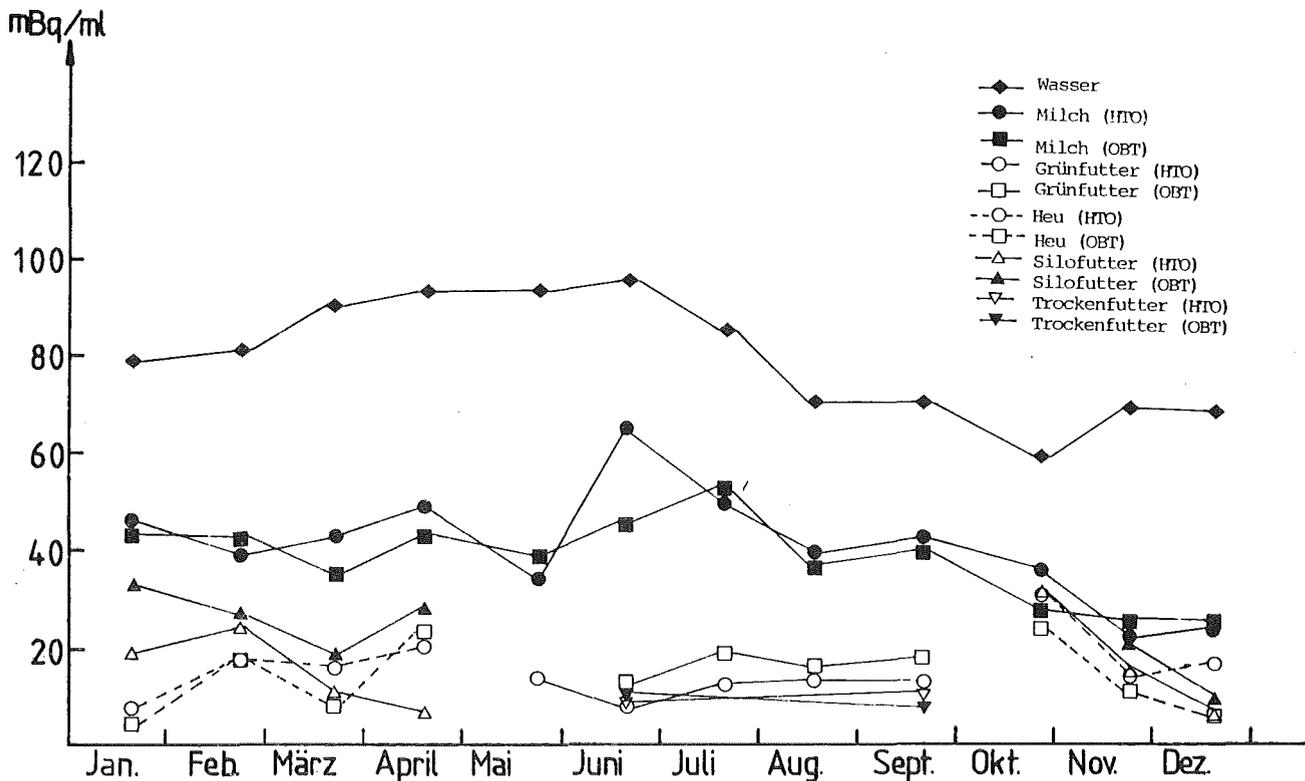


Abb. 4/5: Tritiumkonzentrationen in verschiedenen Proben von einem landwirtschaftlichen Betrieb in der Nähe des Rheinniederungskanals 1984

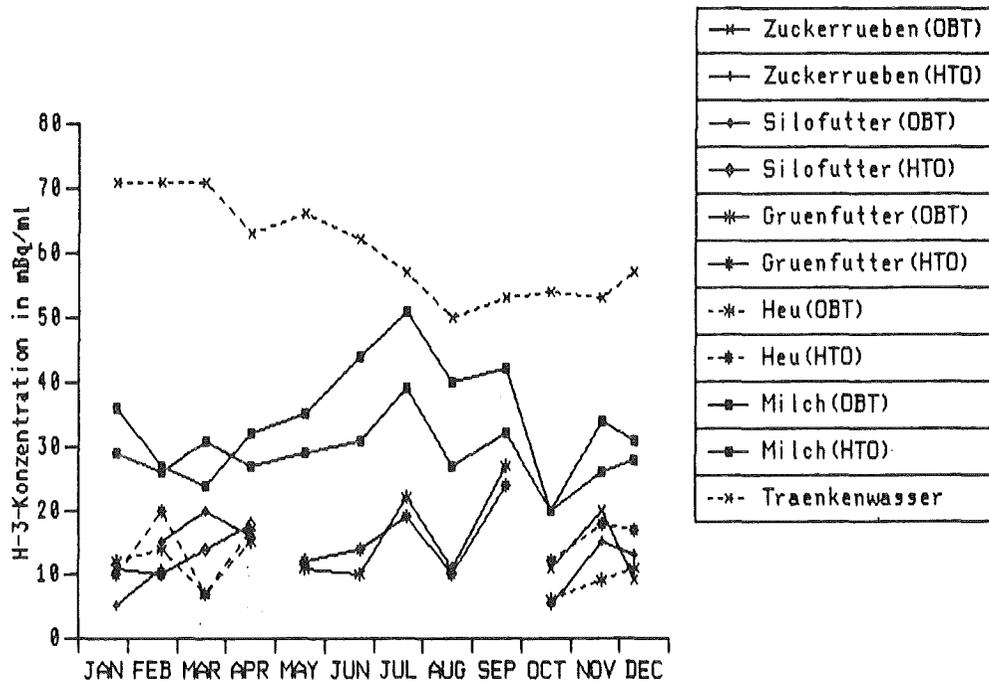


Abb. 4/6: Tritiumkonzentrationen in verschiedenen Proben von einem landwirtschaftlichen Betrieb 1985

5 Vergleich der Ergebnisse der vorliegenden Studie mit Berechnungen nach der "Allgemeinen Berechnungsgrundlage" [BMI 79]

5.1 Ableitungen mit der Fortluft

5.1.1 Deposition

Nach Kap. 3.1.5 wird für Niederschläge in Form von Regen und Schnee der Wert für die Proportionalitätskonstante $s = 3 \cdot 10^{-9} \text{ a mm}^{-1} \text{ s}^{-1}$ (s. Gl. (3-4), S. 5) empfohlen, der in Tab. 3 von Anhang 10, "Allgemeine Berechnungsgrundlage" (ABG), eingefügt werden könnte. Der aus Anhang 12 für HTO ableitbare Wert für s ist um den Faktor 10 zu hoch. Es sei nochmals darauf hingewiesen, daß die Standortunabhängigkeit dieses Faktors noch nicht bewiesen ist.

Nach Kap. 3.2 entspricht die Tritiumkonzentration im Bodenwasser jener in der Luftfeuchte (Abbn. 3/7 bis 3/10, S. 28 und 29, Tab. 3/11, S. 31).

Für die Depositionsgeschwindigkeit von molekularem Tritium im Boden könnte in Tab. 3 von Anhang 10, ABG, ein Wert von $1 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ ergänzt werden. Bei moorigen Böden sind jedoch auch um den Faktor 15 höhere Werte möglich (vgl. z. B. [KÖN 87]). Diese Depositionsgeschwindigkeit hängt von einer Reihe von Parametern ab, z. B. Bodenbeschaffenheit, Temperatur und Bodenfeuchte. Da die Depositionsgeschwindigkeit von HT auf Pflanzen um zwei Größenordnungen unter der im Boden liegt, erhält man durch Gleichsetzung der Tritiumkonzentration im Gewebewasser mit jener in der Bodenfeuchte einen konservativen Wert.

5.1.2 Ingestion

Nach der ABG wird bei Tritium angenommen, daß es in den Pflanzen, bezogen auf den natürlichen Wasserstoff, entsprechend dem Verhältnis aufgenommen wird, wie es in der Luft am betrachteten Ort vorliegt. Unter dieser Annahme beträgt die Tritiumkonzentration in den Pflanzen [ANS 72]:

$$C_{H3} = A_{H3} \chi \frac{K_{H3}}{\phi} \quad (5-1)$$

(Gl. (3.7) ABG).

Hierin bedeuten:

C_{H3} : Tritiumkonzentration in der Pflanze in Bq/kg

A_{H3} : jährliche Tritiumfreisetzung in Bq

χ : Ausbreitungsfaktor am betrachteten Ort in s/m³

K_{H3} : Umrechnungsfaktor = $0,75 / 3,15 \cdot 10^7 \text{ s} = 2,4 \cdot 10^{-8} \text{ s}^{-1}$

0,75: Anteil des Wassers an der Pflanzenmasse (dimensionslos)

ϕ : absolute Feuchte in der Atmosphäre während der Wachstumsperiode am betrachteten Ort in kg/m³. (In Anhang 6, ABG, werden für die mittlere absolute Luftfeuchte während des Wachstumszeit 0,009 kg/m³ empfohlen.)

In der ABG fehlt der Hinweis, daß dieser Ansatz nur für tritiumhaltigen Wasserdampf, nicht aber für gasförmiges nichtoxidiertes Tritium gilt. Für gasförmiges Tritium muß die Oxidation des Wasserstoffs im Boden betrachtet werden (vgl. z. B.) [KÖN 87]).

Aus Kap. 3.2 dieses Berichtes geht hervor, daß Gl. (5-1) als Ansatz im Mittel anwendbar ist. In den Abbn. 3/11 und 3/12 (s. S. 30) sind mittlere Tritiumkonzentrationen in der Luftfeuchte und im Gewebewasser sowie im Verbrennungswasser der organischen Substanz (OBT) verglichen. Die Übereinstimmung liegt für das Gewebewasser im Rahmen der Meßgenauigkeit. Die Tabn. 3/7 und 3/8 auf den S. 23 und 24 zeigen, daß - bezogen auf die Masse der Frischsubstanz - das organisch gebundene Tritium keine Rolle spielt (s. auch S. 25). Die Abschätzung in Kap. 4.2.3 auf S. 40 zeigt für einen Extremfall, daß das organisch gebundene Tritium für den praktischen Strahlenschutz unproblematisch ist. Daß die Tritiumkonzentration im Gewebewasser bei Pflanzen zeitlich variabel ist, stellt kein Strahlenschutzproblem, sondern höchstens ein wissenschaftliches Problem dar. Zusammenfassend ist festzuhalten, daß kein Anlaß für eine Änderung der ABG in bezug auf die Anwendung der Gl. (5-1) bzw. Gl. (3-7), ABG, gesehen wird.

5.2 Ableitungen mit dem Abwasser

Die Ableitungen radioaktiver Stoffe mit dem Wasser aus dem Kernforschungszentrum Karlsruhe erfolgen unter atypischen Bedingungen, die nicht mit jenen bei kerntechnischen Großanlagen, wie z. B. Kernkraftwerke, vergleichbar sind. Wegen des relativ geringen Abflusses des Vorfluters und der diskontinuierlichen Abwasserableitungen ist die Aktivitätskonzentration im Vorfluter starken zeitlichen Schwankungen unterworfen (s. Kap. 4.1, S. 32), wodurch die Übertragbarkeit der vorliegenden Ergebnisse auf andere Standorte bzw. ihre Anwendbarkeit zur Korrektur bzw. Ergänzung der Allgemeinen Berechnungsgrundlage eingeschränkt wird. Es besteht jedoch keine Veranlassung, Änderungen an diesem Teil der ABG vorzuschlagen.

5.2.1 Expositionspfad Trinkwasser

Die Schwankungen der Tritiumkonzentration im Vorfluter werden durch Verdünnung mit tritiumarmen Grundwasser und die Abnahme der Tritiumkonzentration mit der Tiefe unter dem Grundwasserspiegel weitgehend ausgeglichen. Es liegt daher nahe, in Gl. (6-6) der ABG die Anwendung eines Verdünnungsfaktors zuzulassen, der auf experimentellen und theoretischen hydrologischen Untersuchungen basieren sollte, sofern kein Wasser direkt aus dem Fließgewässer entnommen wird. Eigenwasserversorgungen verursachen besondere Probleme infolge geringer Bohrtiefe der Brunnen und geringer Wasserentnahme, die zu höheren Tritiumkonzentrationen führen.

5.2.2 Expositionspfad Fischverzehr

Die Tritiumkonzentration in Fischen folgt relativ rasch der zeitlich veränderlichen Tritiumkonzentration im Vorfluter. Insofern darf Gl. (6-7) der ABG nur mit besonderer Vorsicht angewandt werden. Das Problem entschärft sich für kerntechnische Anlagen mit sowohl hohem Kühlwasserdurchsatz als auch mit einem Vorfluter mit hohem Abfluß und damit dem Betrag nach geringeren Konzentrationsschwankungen im Vorfluter.

5.2.3 Expositionspfade Viehtränke - Milch/Fleisch und Berechnung - Futterpflanze - Milch/Fleisch

Nach Abb. 4/5, S. 43, und Abb. 4/6, S. 44, läge es nahe, die Tritiumkonzentrationen in Milch und Gewebewasser gleich der Tritiumkonzentration im Tränkewasser zu setzen. Dies führt praktisch zu den gleichen Ergebnissen wie die ABG: Eine tägliche Aufnahme von 55 kg Weidefutter (I) und 75 l Wasser (L) entsprechen der täglichen gesamten Wasseraufnahme der Kuh von ca. 120 l, wenn man mit einem Wassergehalt des Grases von ca. 80 % rechnet. Für das Produkt $LT^{Mi,Fl}$ (T^{Mi} : Transferfaktor Milch / Futter in d/l; T^{Fl} : Transferfaktor Fleisch / Futter in d/kg) in Gl. (6-8) erhält man mit den Transferfaktoren in Anhang 8 der ABG

$$LT^{Mi} = 0,75$$

bzw.

$$LT^{Fl} = 0,90 \frac{l}{kg}$$

Die mittlere Aktivitätskonzentration eines Nahrungsmittels erhält man als Quotienten

(Jahresaufnahme A an Aktivität in Bq) / (Jahresaufnahme $U^{Mi,Fl}$ in l bzw. kg).

Aus den Gln. (6-8) bzw. (6-10) der ABG folgt

$$\frac{A}{U^{Mi,Fl}} = (L \cdot T^{Mi,Fl}) \cdot C^{Fließ}$$

bzw.

$$\frac{A}{U^{Mi,Fl}} = (I \cdot T^{Mi,Fl}) \cdot C^{Fließ}$$

($C^{Fließ}$: Tritiumkonzentration des Fließgewässers). Die in Klammern gesetzten Faktoren liegen nahe 1, was zu zeigen war.

6 Literatur

- [ANS 72] L.R. Anspaugh, J.J. Koranda, W.L. Robison, J.R. Martin, The Dose to Man via Food-Chain Transfer Resulting from Exposure to Tritiated Water Vapor, USAEC, UCRL-73 195, Rev. 1, 1972
- [BMI 79] Der Bundesminister des Innern, Allgemeine Berechnungsgrundlage für die Strahlenexposition bei radioaktiven Ableitungen mit der Abluft oder in Oberflächengewässer, GMBI. Nr. 21 (1979), S. 369 - 436
- [ICRP 30] ICRP Publication 30, Limits for Intakes of Radionuclides by Workers, A report of Committee 2 of the International Commission on Radiological Protection, Adopted by the Commission in July 1978, Pergamon Press, Oxford, New York, Frankfurt
- [HÜB 78] W. Hübschmann, D. Nagel, ISOLA-III - Ein FORTRAN-IV-Programm zur Berechnung der langfristigen Dosisverteilung in der Umgebung kerntechnischer Anlagen, KfK-2698 (1979)
- [JAH 70] Jahresbericht 1969 der Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit, Hrsg.: H. Kiefer, W. Koelzer, KfK-1158, März 1970
- [JAH 71] Jahresbericht 1970 der Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit, Hrsg.: H. Kiefer, W. Koelzer, KfK-1365, Februar 1971
- [JAH 72] Jahresbericht 1971 der Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit, Hrsg.: H. Kiefer, W. Koelzer, KfK-1565, März 1972
- [JAH 73] Jahresbericht 1972 der Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit, Hrsg.: H. Kiefer, W. Koelzer, KfK-1818, Mai 1973
- [JAH 74] Jahresbericht 1973 der Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit, Hrsg.: H. Kiefer, W. Koelzer, KfK-1973, April 1974
- [JAH 75] Jahresbericht 1974 der Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit, Hrsg.: H. Kiefer, W. Koelzer, KfK-2155, Mai 1975
- [JAH 76] Jahresbericht 1975 der Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit, Hrsg.: H. Kiefer, W. Koelzer, KfK-2266, Mai 1976
- [JAH 77] Jahresbericht 1976 der Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit, Hrsg.: H. Kiefer, W. Koelzer, KfK-2433, Mai 1977
- [JAH 78] Jahresbericht 1977 der Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit, Hrsg.: H. Kiefer, W. Koelzer, KfK-2620, März 1978
- [JAH 79] Jahresbericht 1978 der Hauptabteilung Sicherheit, Hrsg.: H. Kiefer, W. Koelzer, KfK-2775, April 1979
- [JAH 80] Jahresbericht 1979 der Hauptabteilung Sicherheit, Hrsg.: H. Kiefer, W. Koelzer, L.A. König, KfK-2939, April 1980
- [JAH 81] Jahresbericht 1980 der Hauptabteilung Sicherheit, Hrsg.: H. Kiefer, W. Koelzer, L.A. König, KfK-3113, April 1981

- [JAH 82] Jahresbericht 1981 der Hauptabteilung Sicherheit, Hrsg.: H. Kiefer, W. Koelzer, L.A. König, KfK-3272, März 1982
- [JAH 83] Jahresbericht 1982 der Hauptabteilung Sicherheit, Hrsg.: H. Kiefer, W. Koelzer, L.A. König, KfK-3535, April 1983
- [JAH 84] Jahresbericht 1983 der Hauptabteilung Sicherheit, Hrsg.: H. Kiefer, W. Koelzer, L.A. König, KfK-3663, April 1984
- [JAH 85] Jahresbericht 1984 der Hauptabteilung Sicherheit, Hrsg.: H. Kiefer, W. Koelzer, L.A. König, KfK-3883, April 1985
- [JAH 86] Jahresbericht 1985 der Hauptabteilung Sicherheit, Hrsg.: H. Kiefer, W. Koelzer, L.A. König, KfK-4067, April 1986
- [JAH 87] Jahresbericht 1986 der Hauptabteilung Sicherheit, Hrsg.: H. Kiefer, L.A. König, KfK-4207 (im Druck)
- [KÖN 84] L.A. König, K.-G. Langguth, G. Pagliosa, D. Papadopoulos, A. Radziwill, S. Schulte, S. Strack, Radioökologische Studien der Aufwirkungen von Tritiumemissionen am Beispiel des KfK - Befristete Einzeluntersuchungen in Erweiterung und Ergänzung eines seit Jahren laufenden Meßprogramms, KfK-3715, (1984)
- [KÖN 87] L.A. König, S. Diabaté, D. Papadopoulos, S. Strack, Untersuchungen zum Umweltverhalten von Tritium, KfK-Nachrichten Jahrgang 19, I/87, S. 11 - 22
- [PIM 80] M. Pimpl, H. Schüttelkopf, Die Messung der Abwasserverdünnung im Altrhein mit der Tritiumemission des Kernforschungszentrums Karlsruhe, KfK-3073 (1980)
- [SOU 79] S.W. Souci, W. Fachmann †, H. Kraut, Die Zusammensetzung der Lebensmittel, Nährwert-Tabellen, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart (1979)
- [STR 81] S. Strack, L.A. König, Determination of Organically Bound Tritium in Environmental Samples by Application of the Oxidizing Plasma Technique, KfK-3249, (1981)
- [STR 86] S. Strack, Modelling of tritium in plants considering atmospheric releases from nuclear installations, BGA-Workshop "Experiences with radioecological assessment models, comparison between predictions and observations", München-Neuherberg, 5. - 7. November 1986 (STH-Bericht im Druck)
- [VOG 80] S. Vogt, Vierparametrische Ausbreitungsstatistik als Berechnungsgrundlage der langzeitigen Schadstoffbelastung in der Umgebung eines Emittenten, KfK-2990 (1980)