

KfK 2646  
Juni 1978

**Tritiumkonzentration in  
Luftfeuchte, Niederschlag,  
Gewebewasser von  
Kiefernadeln und  
Bodenfeuchte in Abhängigkeit  
von den Ableitungen des  
Kernforschungszentrums  
Karlsruhe über die Abluft**

B. K. Lee, L. A. König, H. Schüler  
Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit

**Kernforschungszentrum Karlsruhe**

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

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE GMBH

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE  
Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit

KfK 2646

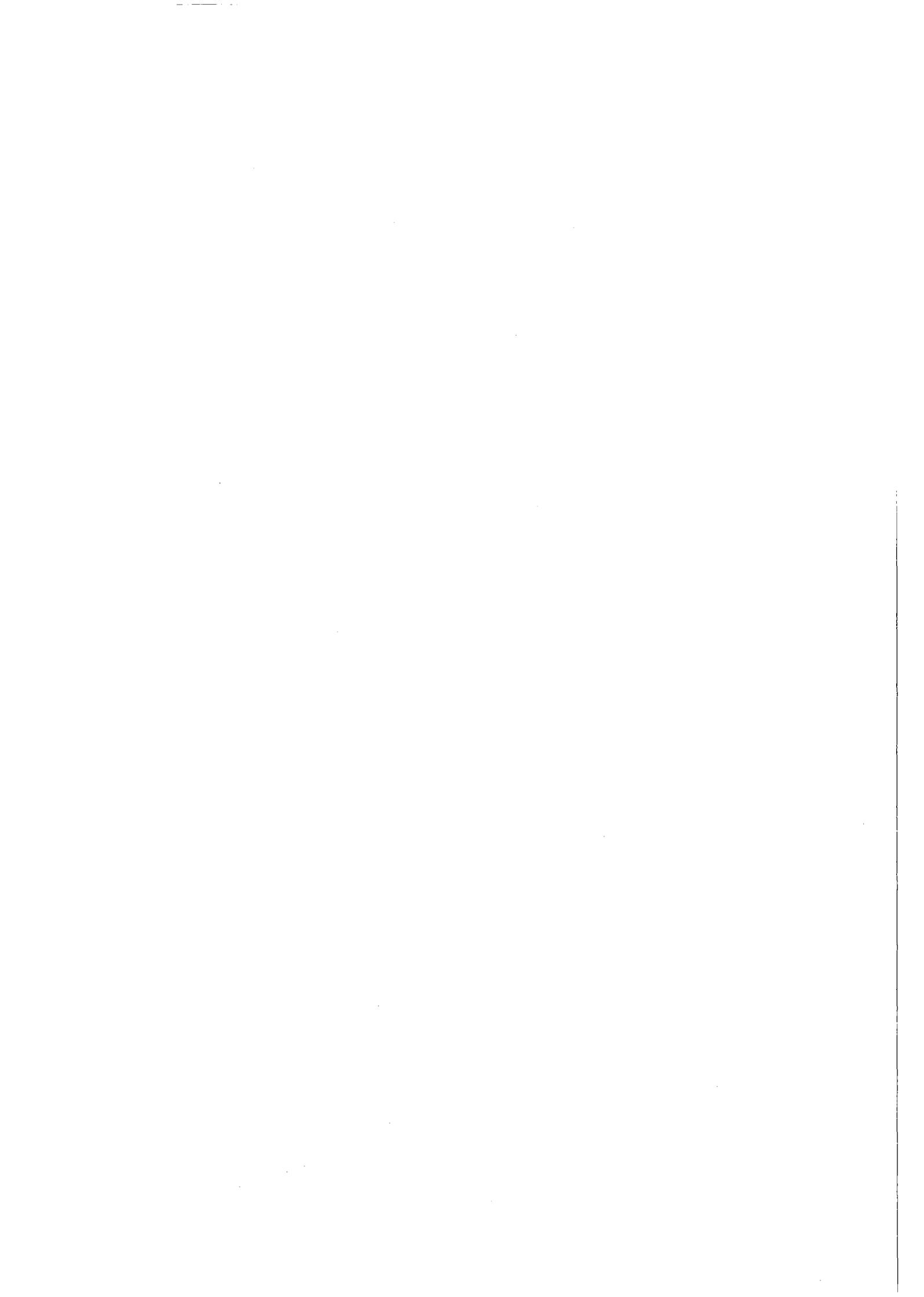
Tritiumkonzentration in Luftfeuchte, Niederschlag, Gewebewasser von  
Kiefernadeln und Bodenfeuchte in Abhängigkeit von den Ableitungen  
des Kernforschungszentrums Karlsruhe über die Abluft

B.K. Lee\*, L.A. König, H. Schüler

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH., Karlsruhe

---

\*Stipendiat des Deutschen Akademischen Austauschdienstes vom  
Department of Physics, Liberal Arts and Sciences College,  
Chungnam National University, Daejeon, KOREA



## Zusammenfassung

Es wird über die Ergebnisse eines Tritiummeßprogrammes berichtet, in dem unter realen Bedingungen simultan die Tritiumkonzentration in der Luftfeuchte, im Niederschlag, im Gewebewasser von Kiefernadeln, im Grundwasser und in der Erdfeuchte gemessen wurde. Die Tritiumkonzentration in der Luftfeuchte wurde zugleich aus den Emissionswerten unter Verwendung standortspezifischer Daten für die Probenahmestellen berechnet, wobei sich eine befriedigende Übereinstimmung mit den gemessenen Werten ergab. Die Ergebnisse der Messungen bestätigen, daß Tritium in erheblichem Umfang direkt aus der Feuchte der umgebenden Luft bzw. aus dem benetzenden Niederschlagswasser aufgenommen wird. Die Messung der Bodenfeuchte zeigt in der Nähe der Hauptemittenten deutlich erhöhte Werte.

Tritium Concentration in Air Humidity, Precipitations, Tissue Water of Pine Needles, and Soil Humidity Dependent from the Releases via the Exhaust Air of the Karlsruhe Nuclear Research Center

---

## Summary

This report presents the results obtained under real conditions in a program on the simultaneous measurement of tritium concentration in air humidity, precipitations, tissue water of pine needles, ground water, and soil humidity. Additionally, the tritium concentration at the sampling locations in air humidity was calculated considering the releases as well as site-specific meteorological parameters whereby a satisfactory agreement with the measured results was found. The results of the measurements corroborate that the pine needles take up a significant quantity of tritium directly from the surrounding air and the wetting precipitation water, respectively. The measurement of the soil humidity shows distinctly increased values in the immediate environment of the main tritium emitters.



Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	1
2. Die Tritiumfreisetzung über die Abluft aus dem KfK	1
3. Probenahmeprogramm	3
3.1 Probenahme an den Sammelstellen "Südost" und "Nordost"	6
3.1.1 Luftfeuchte	6
3.1.2 Kiefernadeln	6
3.1.3 Niederschlag	7
3.1.4 Bodenproben	7
3.1.5 Grundwasser	8
3.2 Zusätzliche Probenahme auf dem Gelände des KfK sowie dessen näherer Umgebung	8
3.2.1 Niederschlag	8
3.2.2 Bodenproben	8
4. Probenvorbereitung	9
4.1 Meßverfahren	10
4.2 Nachweisgrenzen und Fehlerberechnung	10
5. Ergebnisse	11
5.1 Luftfeuchte	11
5.2 Gewebewasser aus Kiefernadeln	15
5.3 Niederschlag	18

	Seite
5.4 Erdfeuchte	19
5.5 Grundwasser	29
6. Schlußbemerkungen	29
7. Literatur	31

## 1. Einleitung

Aus den kerntechnischen Anlagen des Kernforschungszentrums Karlsruhe (KfK) werden jährlich einige Tausend Curie Tritium über Abluft und Abwasser abgeleitet. Es lag daher nahe, im Rahmen eines langfristigen Meßprogrammes die Auswirkungen dieser Ableitungen auf die Umgebung zu untersuchen. Über die bisher erzielten Ergebnisse wurde in den Berichten Lit. [1-3] zusammenfassend berichtet.

Von besonderem Interesse sind die durch die Ableitungen über die Abluft verursachten Kontaminationen von Pflanzen. Bisher vorgenommene Messungen der Tritiumkonzentration des Gewebewassers von Pflanzen, insbesondere von Bäumen (das KfK liegt in einem Waldgebiet), deuten darauf hin, daß Tritium in erheblichem Umfang direkt vom Blattwerk bzw. den Nadeln aus der Luftfeuchte aufgenommen wird [3, 4]. Die vorliegende Arbeit hatte zum Ziel, durch Messung simultan gesammelter bzw. entnommener Luftfeuchte-, Niederschlags-, Boden- und Grundwasserproben den Einfluß der Immission auf den Tritiumgehalt des Gewebewassers von Kiefernadelproben näher zu untersuchen, wobei besonderes Gewicht auf die Bestimmung des Einflusses der Tritiumkonzentration der Bodenfeuchte gelegt wurde. Da die Kiefernurzeln erhebliche Tiefen erreichen, wurden einige Bohrungen bis zum Grundwasserspiegel niedergebracht.

## 2. Die Tritiumfreisetzung über die Abluft aus dem KfK

In Abb. 1 ist die Tritiumfreisetzung mit der Abluft aus dem KfK für die Jahre 1969 bis 1977 graphisch dargestellt. In der ersten Zeile von Tab. 1 werden die Emissionen der Emittenten mit Tritiumableitungen oberhalb 10 Ci im Jahr 1977 angegeben. Die beiden folgenden Zeilen enthalten die Emissionswerte für die Monate November und Dezember des gleichen Jahres, während denen die vorliegende Arbeit zum größten Teil durchgeführt wurde. Tab. 1 zeigt, daß der schwerwassermoderierte Reaktor MZFR den wichtigsten Tritiumemittenten des Kernforschungszentrums darstellt. Weitere bedeutende Tritiumemittenten sind der ebenfalls schwer-

wassermoderierte Forschungsreaktor FR 2, die Wiederaufarbeitungsanlage WAK sowie die FERAB, in der von verschiedenen Stellen herstammende radioaktive Abfälle durch Verbrennung eingeeignet werden. Je nach den betrieblichen Gegebenheiten sind die Tritiumableitungen der verschiedenen Anlagen erheblichen zeitlichen Schwankungen unterworfen.

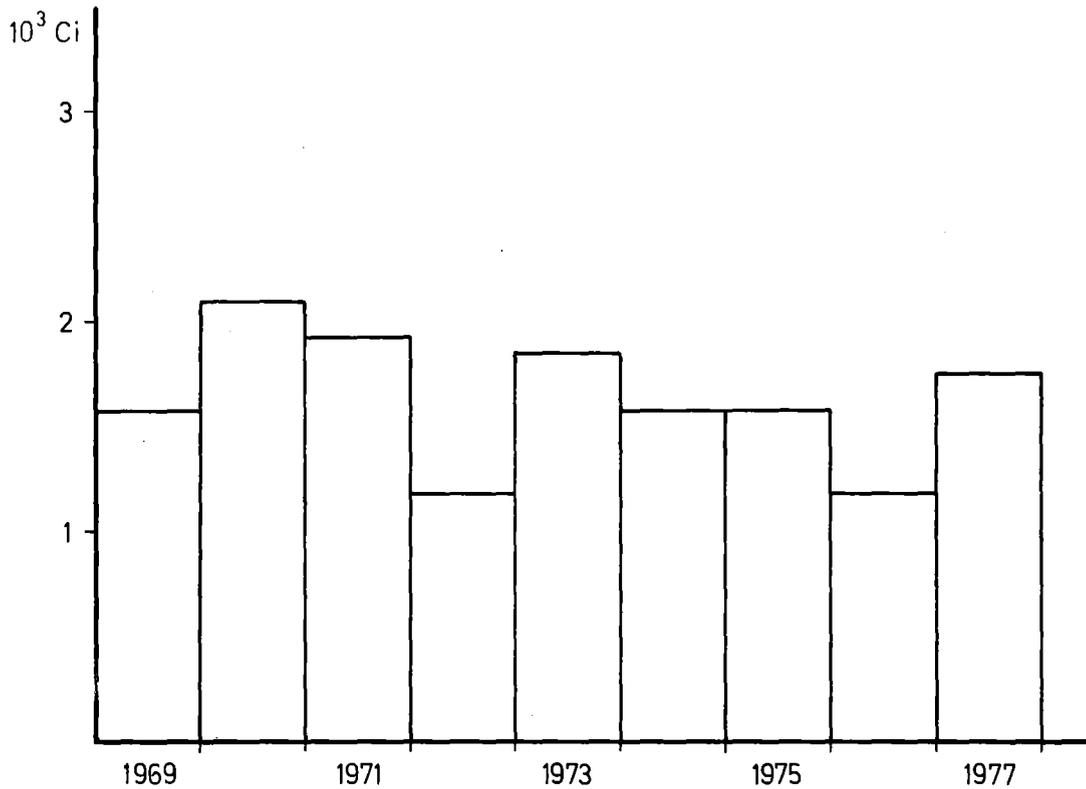


Abb. 1: Tritiumableitungen aus dem Kernforschungszentrum Karlsruhe über die Abluft

Zeitraum	MZFR	FR 2	WAK	FERAB	Abwasser- dekontamin.
1977 (Jahressumme)	1000	190	190	330	35
November 1977	180	8	38	10	0,4
Dezember 1977	250	20	28	2,7	0,4

Tab. 1: Aufschlüsselung der Tritiumemissionen in Ci für die Emittenten des KfK mit Ableitungen oberhalb 10 Ci/a

### 3. Probenahmeprogramm

Das Probenahmeprogramm war in zwei Teile gegliedert. Im ersten Teil wurden in einem Zeitraum von drei Wochen simultan Luftfeuchte-, Niederschlags-, Grundwasser-, Kiefernadeln- sowie Bodenproben an zwei Probenahmestellen gesammelt. Die Probenahmestellen waren entsprechend der für den Standort gegebenen Jahresmittelwerte der Windrichtungsverteilung (siehe Abb. 2a und 2b) ausgewählt worden. Die mit "Südost" bezeichnete Probenahmestelle lag bezüglich der nach dieser Verteilung zu erwartenden Immission in Richtung der minimalen und die mit der Bezeichnung "Nordost" in Richtung der maximalen Beaufschlagung. Bei der Auswahl der Probenahmestellen wurde auch die Grundwasserfließrichtung (siehe Abb. 3) berücksichtigt. Zu beiden Probenahmestellen fließt das Grundwasser aus vom KfK unbeeinflussten Gebieten hin.

Im zweiten Teil des Probenahmeprogramms wurden Bodenproben auf dem Gelände des KfK sowie in der näheren Umgebung genommen. Die Festlegung der Probenahmestellen innerhalb des Geländes des KfK orientierte sich an den im Bebauungsplan (siehe Abb. 3) eingezeichneten Planquadraten. In der näheren Umgebung des KfK wurden die Probenahmestellen auf konzentrischen zum Hauptemittenten MZFR liegenden Kreisbögen angeordnet (siehe Abb. 8). Außerdem wurden Bodenproben in unmittelbarer Nähe der auf dem Gelände des KfK sowie der in weiterer Entfernung davon befindlichen Niederschlagssammelstellen genommen, um die Tritiumkonzentrationswerte der Bodenfeuchte mit jenen des Niederschlags vergleichen zu können.

Zur Erstellung von Tiefenprofilen der Tritiumkonzentration der Erdfeuchte wurden an zwei Stellen innerhalb sowie an vier Stellen außerhalb des Geländes des KfK Bohrungen bis zu einer Tiefe von 6 m niedergebracht (siehe Abb. 3).

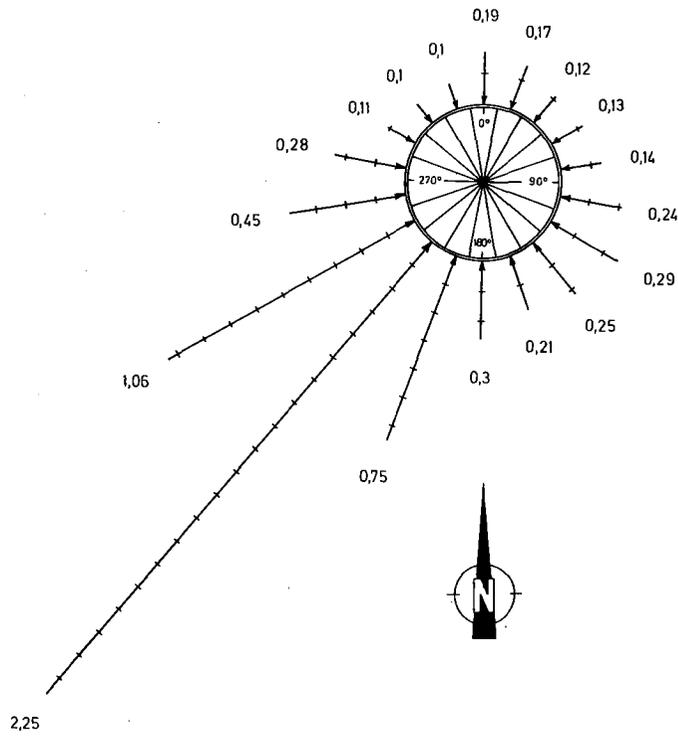


Abb. 2a Windrichtungsverteilung für das Gelände des KfK während der Niederschlagszeiten des Jahres 1977 in %

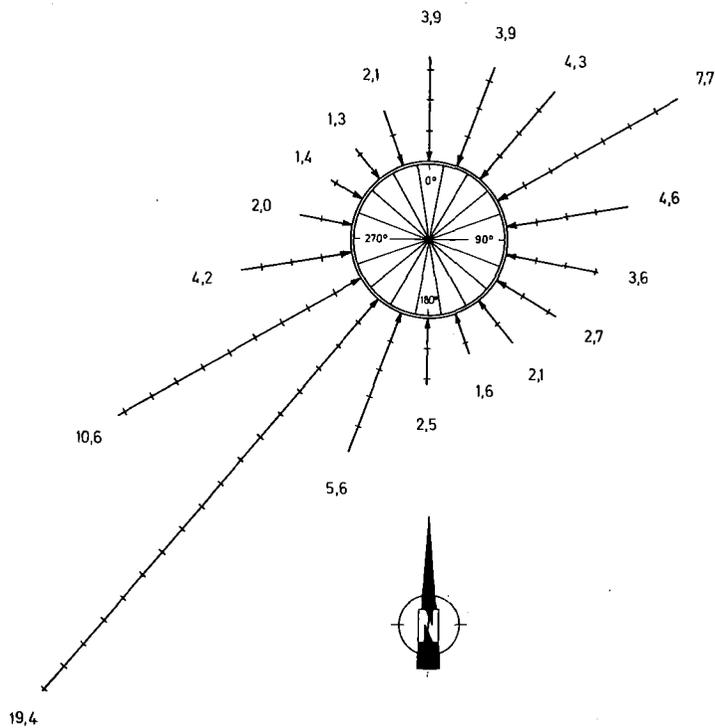


Abb. 2b Windrichtungsverteilung für das Gelände des KfK während der niederschlagsfreien Zeiten des Jahres 1977 in %

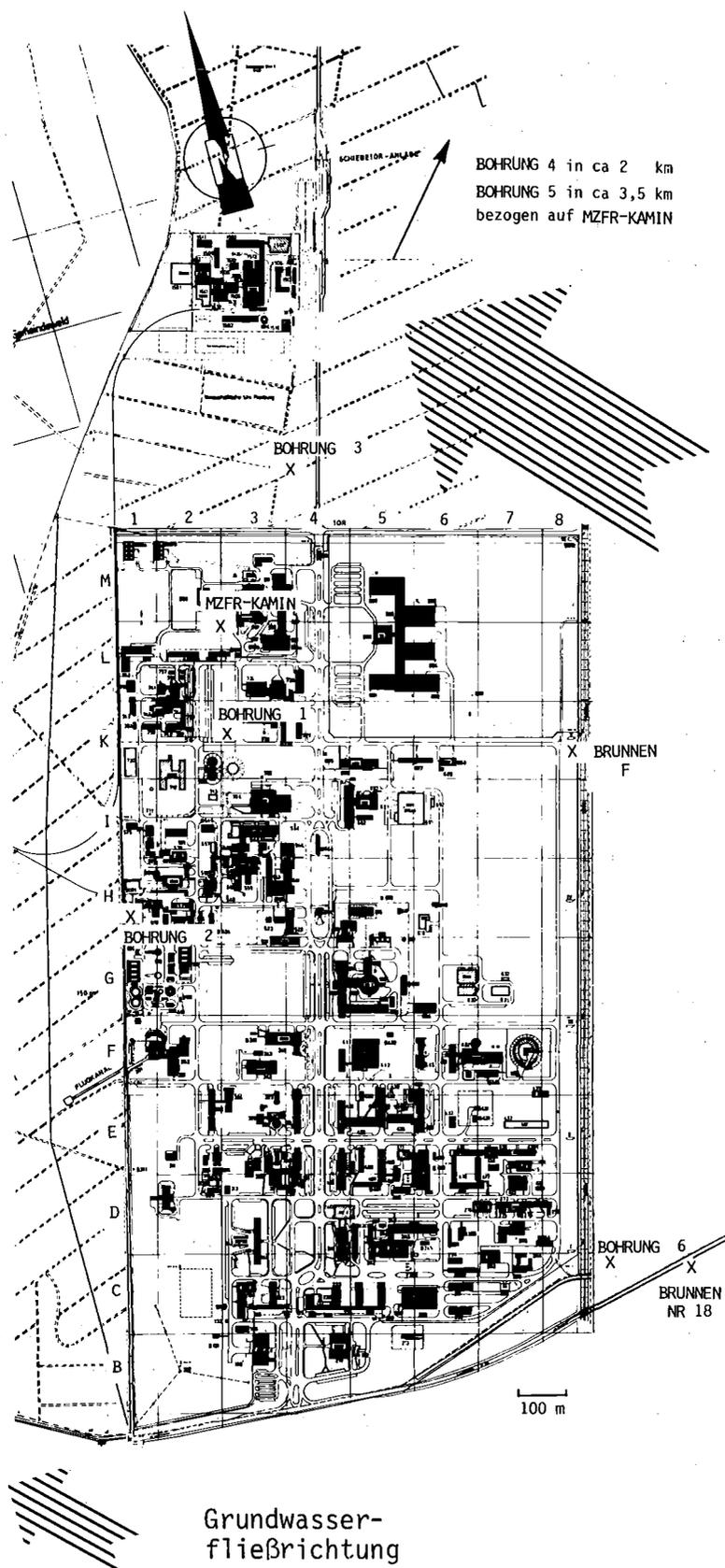


Abb. 3 Lage der Brunnen für die Grundwasserprobenahme sowie der Bohrungen für die Erdprobenahme zur Erstellung der Tritiumkonzentrationsprofile der Erdfeuchte bis zu einer Tiefe von max. 6 m

### 3.1 Probenahme an den Sammelstellen "Südost" und "Nordost"

Die Probenahme wurde an allen Arbeitstagen mit zwei Sammelintervallen durchgeführt und zwar - mit kleinen Abweichungen - von 9.00 Uhr bis 15.00 Uhr und von 15.00 Uhr bis zum nächsten Morgen um 9.00 Uhr. Aus personellen Gründen mußte die Probenahme über das Wochenende unterbrochen werden.

#### 3.1.1 Luftfeuchte

Die Luftfeuchteproben an den Sammelstellen "Südost" und "Nordost" (siehe Abb. 8) wurden durch Ausfrieren gewonnen. Zwischen Dreibeinen wurden ca. 1 m über dem Boden Drahtkörbe aufgehängt. In diese ringsum sowie am Boden mit Styropor verkleideten und mit Plastikfolie ausgelegten Körben wurden ca. 20 kg Trockeneisriegel so eingelegt, daß nach Möglichkeit alle Riegel mit einer Flachseite am Styropor lagen. Die hierdurch bewirkte Verminderung der Verdampfungsgeschwindigkeit sollte ein möglichst gleichmäßiges Ausfrieren von Luftfeuchte während der gesamten Sammelzeit gewährleisten. Am oberen Teil der Dreibeine waren Plastikfolien so gespannt, daß sie die Körbe vor Regen schützten, der Luft aber freien Zutritt gestatteten. Am Ende einer jeden Sammelperiode wurde der aus der Luftfeuchte ausgefrorene Reif in Plastikflaschen gesammelt und die gesammelte Menge nach dem Auftauen bestimmt.

#### 3.1.2 Kiefernnadeln

Am Ende eines jeden Sammelintervalls wurden an den Sammelstellen "Südost" und "Nordost" (siehe Abb. 8) Kiefernnadelproben genommen. Zur Probenahme waren Stellen mit Jungkiefernbeiwuchs mit einer Höhe bis zu 4 m ausgewählt worden. Hierdurch konnten die Nadelproben ohne großen Aufwand beschafft werden, außerdem erreicht die Pfahlwurzel dieser Bäume noch nicht das Grundwasser.

### 3.1.3 Niederschlag

An den Sammelstellen "Südost" und "Nordost" wurden auf speziellen Gestellen ca. 1,5 m über dem Boden 1 l-Plastikflaschen aufgestellt, denen ein Trichter mit einer Auffangfläche von ca. 177 cm<sup>2</sup> aufgesetzt war. Nach Ablauf einer Sammelperiode wurde die aufgefangene Niederschlagsmenge entnommen und das Volumen bestimmt.

Die Sammelintervalle waren an den Arbeitstagen mit jenen für die Luftfeuchte zeitlich koinzident, jedoch wurde der Niederschlag am Wochenende über die arbeitsfreie Zeit gesammelt.

### 3.1.4 Bodenproben

Die Bodenproben wurden mit Hilfe eines Bohrstockes mit einem Bohrkern-durchmesser von ca. 1,8 cm entnommen. Der Bohrstock wurde mit Hammer-schlägen bis zu einer Tiefe von 80 cm in das Erdreich getrieben. Die beim Herausziehen im Bohrstock verbleibende Erde - ca. 400 g - wurde in Plastikflaschen gefüllt. Jede dieser Flaschen enthielt also eine Mischprobe über die gesamte Bohrtiefe. Die Probenahme erfolgte am Ende einer jeden Sammelperiode.

Zur Erstellung eines Tiefenprofils der Tritiumkonzentration der Erdfeuchte wurden zusätzlich am 4. Januar 1978 Erdproben genommen. Der Anteil der Feuchte am Gesamtgewicht einer Probe betrug im Durchschnitt 8 %. Um die zur Weiterverarbeitung erforderliche Menge an Probenmaterial zu gewinnen, wurden auf einer Fläche von 400 cm<sup>2</sup> insgesamt acht Bohrstockproben entnommen. Jede dieser Chargen wurde entsprechend der Entnahmetiefe in Intervalle von je 10 cm zerlegt und auf 8 Plastikflaschen so verteilt, daß sich in jeder Probenahmematerial des gleichen Tiefenintervalls befand.

### 3.1.5 Grundwasser

Aus zwei bereits seit längerem installierten Brunnen wurden täglich Grundwasserproben entnommen. Der Brunnen F befindet sich an der östlichen Grenze des betrieblichen Überwachungsbereiches des KfK, etwa 450 m südlich der Sammelstelle "Nordost" im Planquadrat K 8. Der Brunnen Nr. 18 liegt ca. 250 m östlich der Sammelstelle "Südost" an der Landesstraße Nr. 559 (siehe Abb. 3). Die entnommene Wassermenge je Probenahmeakt betrug 500 ml.

## 3.2 Zusätzliche Probenahme auf dem Gelände des KfK sowie dessen näherer Umgebung-----

### 3.2.1 Niederschlag

Auf dem Gelände des KfK sowie bis zu einer Entfernung von 13 km von diesem sind seit längerem Niederschlagssammelstellen eingerichtet. Die Lage dieser Stellen ist in Tab. 9 angegeben. Die Probenahme an diesen Stellen erfolgt routinemäßig.

### 3.2.2 Bodenproben

Nach dem gleichen Verfahren, wie unter 3.1.4 beschrieben, wurden auf dem Gelände des KfK, dessen näherer Umgebung (siehe Abb. 8) sowie an den unter 3.2.1 beschriebenen Niederschlagssammelstellen einmalig Bodenproben genommen. Zusätzlich wurden noch sechs Bohrungen durch eine Spezialfirma niedergebracht. Die maximale Bohrtiefe wurde mit 6 m festgelegt, endete jedoch aus bohrtechnischen Gründen mitunter schon beim Erreichen des Grundwasserspiegels. Bis zu einer Tiefe von 2 m wurden alle 25 cm und danach alle 50 cm Erdproben aus den Bohrkernen entnommen. Die Lage der Bohrungen ist aus Abb. 3 zu ersehen.

#### 4. Probenvorbereitung

Das Meßgut in Form von Wasser wurde mit Hilfe der azeotropen Destillation aus den Erd- bzw. Kiefernnadelproben gewonnen. In Abb. 4 ist die benutzte Apparatur schematisch dargestellt.

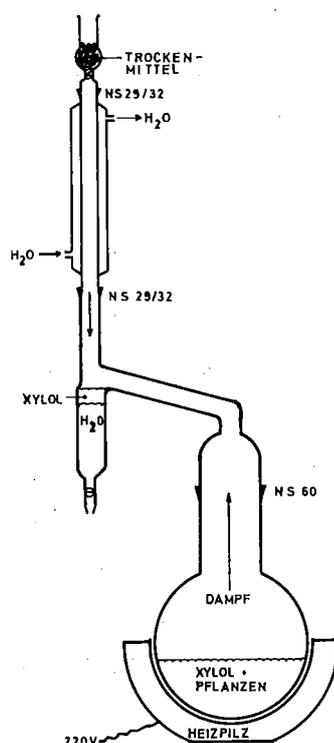


Abb. 4: Schematische Darstellung der Apparatur zur azeotropen Destillation von Pflanzenproben

Um eine Störung der Tritiummessung durch andere Nuklide zu vermeiden und um eine möglichst gleichbleibende Qualität des Meßgutes zu erhalten, wurden alle Proben grundsätzlich destilliert. Durch diese Destillation wurde erreicht, daß die Schwankung des sogenannten Quenches so gering blieb, daß die Quenchkorrekturkurve in dem benötigten Bereich als linear betrachtet werden durfte, wodurch die Berechnung der Probenaktivität mit Hilfe eines Kleincomputers vereinfacht wurde. Zur Verhinderung eines Memoryeffektes in der Destillationsapparatur wurde diese vor jeder Beschickung vakuumgetrocknet.

Beim Ansetzen der Proben wurden in einem Polyäthylen-Plastikfläschchen 10 ml Meßgut mit 12 ml Szintillator homogen vermischt. Um störende Lumineszenzerscheinungen (z.B. Chemo- oder Photolumineszenz) möglichst zu vermeiden, wurden die Proben in einer Dunkelkammer bei Grünlicht angesetzt und anschließend bei ca. 70 °C zwei Stunden lang getempert. Um Thermolumineszenzeffekte zu verhindern und um die Konstanz der Temperatur von ca. 10 °C im Flüssigszintillationsspektrometer nicht zu stören, wurden die Proben vor dem Einbringen in das Meßgerät mit einem Kühlschrank auf die Meßtemperatur gebracht.

#### 4.1 Meßverfahren

Die Messung der Tritiumkonzentration wurde mit Hilfe der Flüssigszintillationsmeßtechnik durchgeführt. Einzelheiten dieses Verfahrens sowie die Optimierung der Diskriminatoreinstellung am Meßgerät sind in einer früheren Arbeit [1] ausführlich berichtet. Es wurde der im Handel erhältliche Dreikomponenten-Szintillator "Insta-Gel" verwendet. Die Meßzeit betrug einheitlich 100 Minuten für alle Proben. Die Untergrundrate wurde mit einer Vergleichsprobe ermittelt, die als Meßgut tritiumarmes Wasser enthielt. Dieses Wasser wurde durch Oxidation von Propangas gewonnen.

#### 4.2 Nachweisgrenzen und Fehlerberechnung

Die Nachweisgrenze  $a_n$  wurde nach der Beziehung

$$a_n = \frac{2k (R_0/T)^{1/2}}{\eta \cdot V \cdot 2,22 \text{ zpm/pCi}} \quad (1)$$

berechnet. Hierin bedeuten  $R_0$  die Untergrundrate, T die Gesamtmeßzeit zur Bestimmung von Proben- und Untergrundmeßrate, V das Meßgutvolumen und  $\eta$  den Zählwirkungsgrad. Der Faktor k wurde gleich 2 gesetzt, d.h. es wurde die doppelte Standardabweichung berechnet. Gleichung (1) gilt unter der Voraussetzung, daß die Meßzeiten für die Ermittlung der Untergrund- und der Probenmeßrate gleich sind. Für die verwendeten

Meßgeräte ergaben sich Untergrundraten von 3 - 5 Ipm und Zählwirkungsgrade von 10 - 14 %. Damit wurden bei einer gewählten Meßzeit von  $T = 200$  Minuten und Verwendung von 10 ml Meßgut Nachweisgrenzen von 0,15 nCi/l bis 0,2 nCi/l erreicht.

Bei der Ermittlung des relativen Meßfehlers  $r_a$  der Tritiumkonzentration  $a$  wurden die bei der Bestimmung von  $n$  und  $V$  gemachten relativen Fehler  $r_n$  bzw.  $r_V$  sowie der statistische Anteil  $r_{st}$  des Fehlers berücksichtigt:

$$r_a = (r_{st}^2 + r_n^2 + r_V^2)^{1/2}. \quad (2)$$

Bezüglich der Berechnung der verschiedenen Fehlerbeiträge wird auf die frühere Veröffentlichung [1] verwiesen.

## 5. Ergebnisse

Die Ergebnisse der Bestimmung der Tritiumkonzentration in Luftfeuchte, Gewebewasser aus Kiefernnadeln, Niederschlag und Erdfeuchte sind für die Probenahmestelle "Südost" in Abb. 5a und für die Probenahmestelle "Nordost" in Abb. 5b synoptisch dargestellt. Die  $2\sigma$ -Fehler der Meßwerte sind durch Grautönung angegeben.

### 5.1 Luftfeuchte

Wegen ihrer entscheidenden Bedeutung wurde die Tritiumkonzentration der Luftfeuchte sowohl theoretisch als auch experimentell bestimmt (siehe Abbildungen 5a und 5b). Die theoretische Bestimmung mit Hilfe der Ausbreitungsrechnung [5, 6] unter Anwendung standortspezifischer Parameter [7-9] ist insofern von großem Interesse, als sie auch für die Wochenenden möglich ist, da alle für die Rechnung benötigten Daten fortlaufend gemessen werden. Meßergebnisse über die Tritiumkonzentration der Luftfeuchte an Wochenenden liegen dagegen nicht vor, da - wie bereits in Kapitel 4 ausgeführt - keine Proben genommen werden konnten. Diese

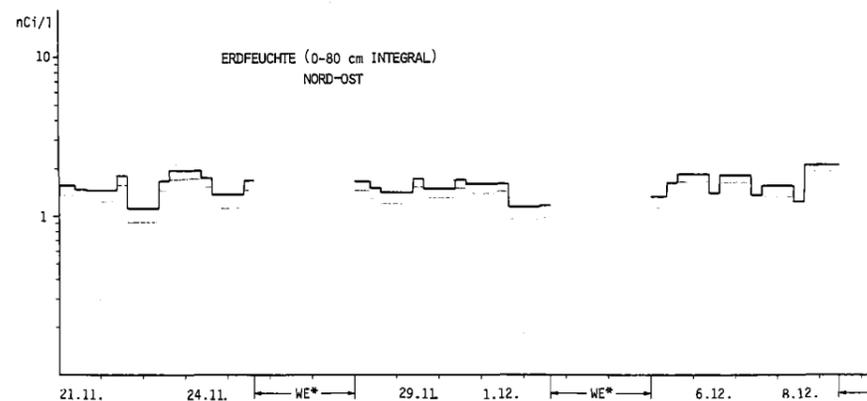
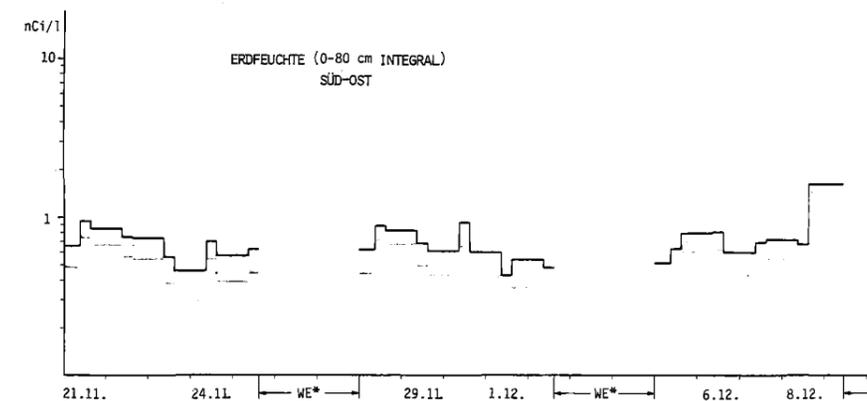
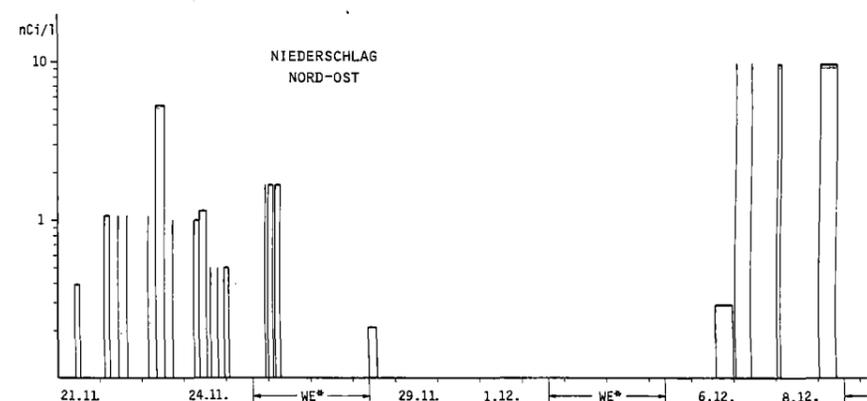
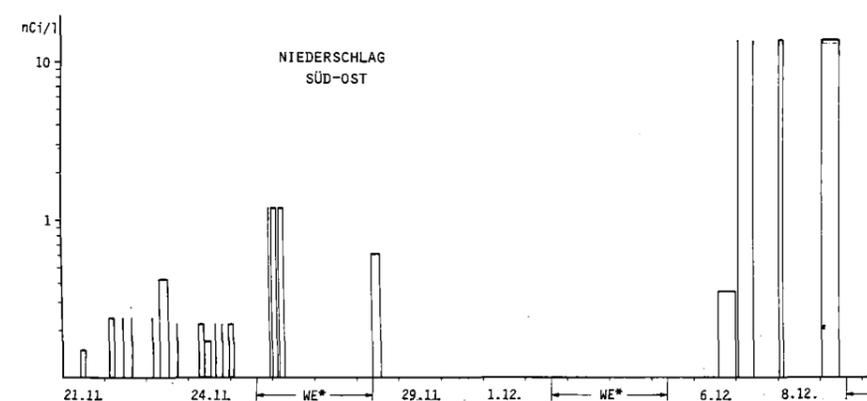
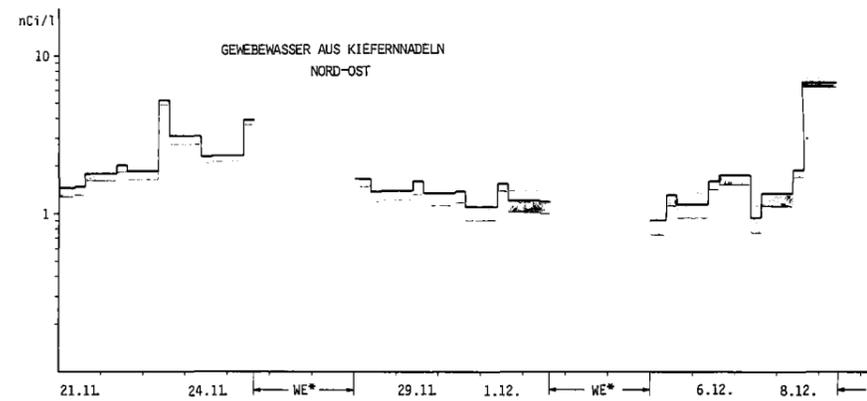
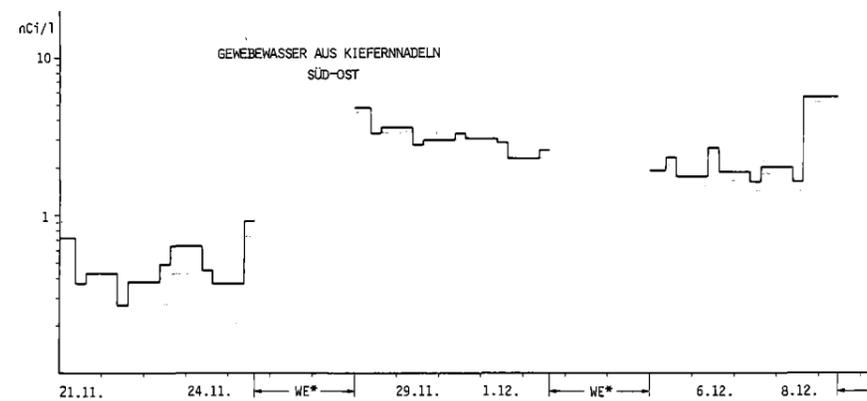
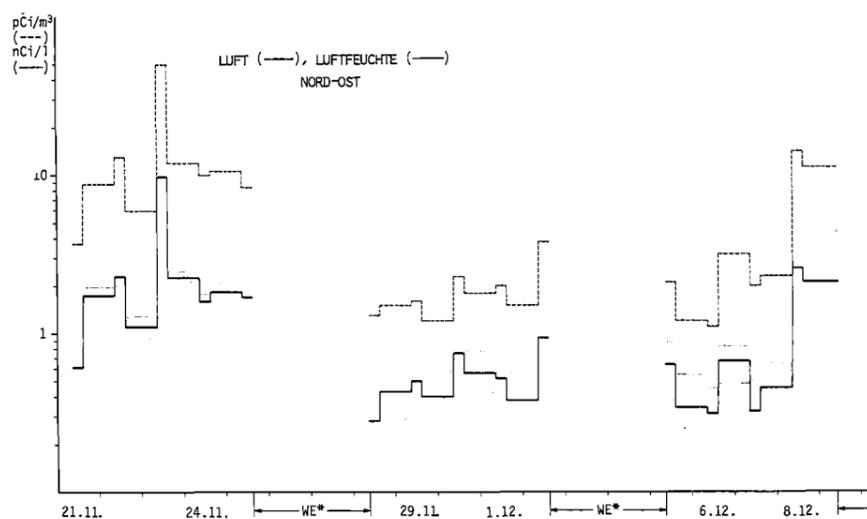
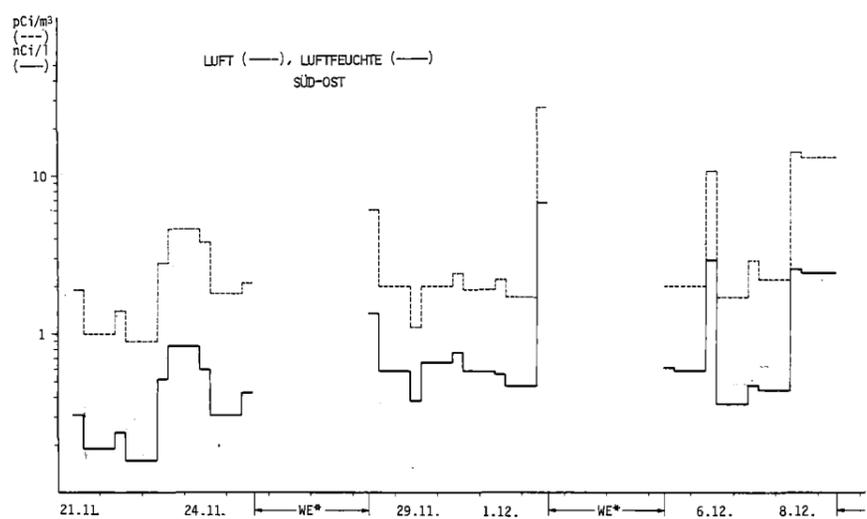
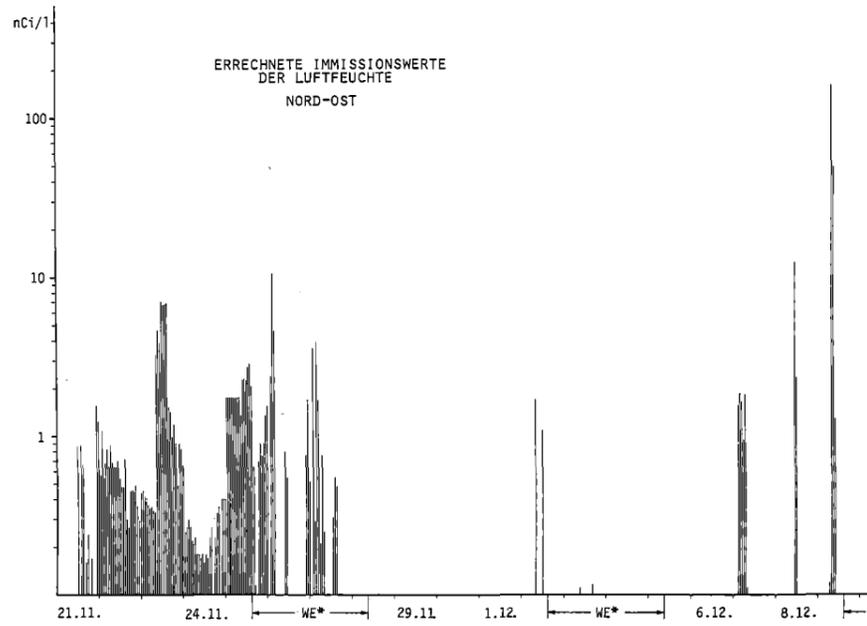
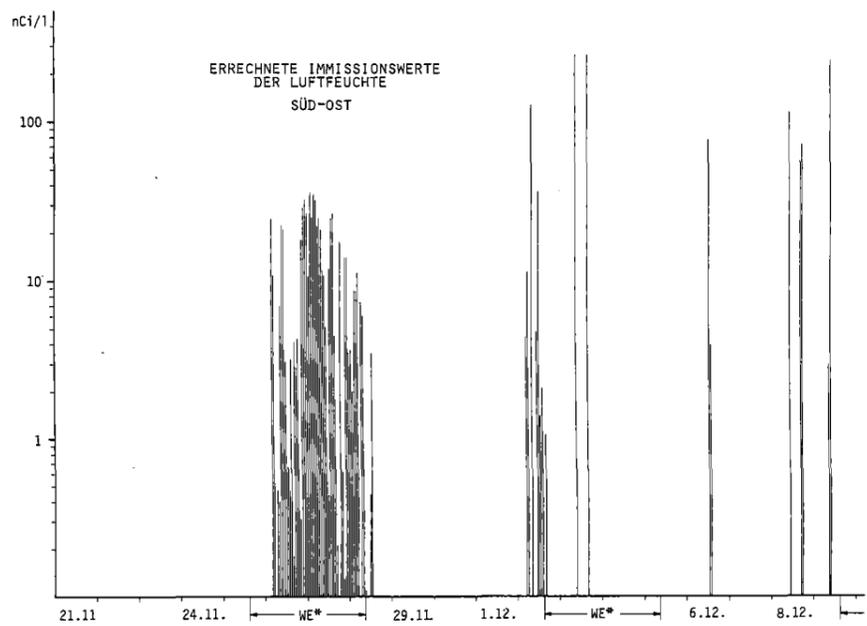
können jedoch - wie der 25. und 26. November in den Abbildungen 5a und 5b zeigten - erheblichen Einfluß auf die Meßergebnisse an den folgenden Tagen ausüben.

Die Übereinstimmung zwischen berechneten und gemessenen Tritiumkonzentrationen der Luftfeuchte ist befriedigend, wobei zu berücksichtigen ist, daß die Rechnung mit einer besseren zeitlichen Auflösung durchgeführt werden konnte, während die Messungen Mittelwerte über mehrere Stunden darstellen. Eine noch bessere Übereinstimmung hätte nicht ohne eine beträchtliche Erhöhung des Arbeitsaufwandes erzielt werden können, was jedoch nicht im Rahmen der gegebenen Möglichkeiten lag.

Die zur Berechnung benötigten meteorologischen Daten werden von ASS/TM routinemäßig registriert und wurden für die vorliegende Arbeit in aufbereiteter Form zur Verfügung gestellt [10].

Neben der Tritiumkonzentration der Luftfeuchte in nCi/l (ausgezogene Kurve) wird die Tritiumkonzentration bezogen auf den m<sup>3</sup> Luft in pCi/m<sup>3</sup> (gestrichelte Kurve) dargestellt. Letztere wurde durch Multiplikation der mittleren absoluten Feuchte in g/m<sup>3</sup> mit der Tritiumkonzentration der Feuchte ermittelt (siehe Tabellen 2a und 2b).

Da ein Tritiumaustausch zwischen Luftfeuchte und der oberen Erdschicht durch Kondensation bzw. Evaporation stattfindet, ist die Tritiumkonzentration in der Luftfeuchte in Bodennähe sowohl durch die momentanen Immissionen als auch durch vorausgegangene Immissionen bedingt. Bei der Betrachtung des in den Abbildungen 5a und 5b dargestellten Verlaufs der Tritiumkonzentrationswerte der Luftfeuchte fällt auf, daß die am Tage gesammelten Proben (9.00 Uhr - 15.00 Uhr) fast ausnahmslos höhere Konzentrationswerte aufweisen als jene, die zwischen 15.00 Uhr und dem nächsten Morgen um 9.00 Uhr gesammelt wurden.



\*arbeitsfreies Wochenende

Abb. 5a Tritiumkonzentrationswerte an der Probenahmestelle "Südost"

Abb. 5b Tritiumkonzentrationswerte an der Probenahmestelle "Nordost"

Probenahme		ausgefr. Luftfeuchte in ml	mittl. abs. Luftfeuchte in g/m <sup>3</sup>	<sup>3</sup> H-Konz. der Luftfeuchte in nCi/l	mittlere <sup>3</sup> H-Konz. in nCi/m <sup>3</sup> Luft
Datum	Zeit				
21.11.77	10.20-15.00	10.0	6.0	0.31 ± 0.19	1.9
21.11.77	15.10-				
22.11.77	- 9.10	28.0	5.0	0.19 ± 0,16	1.0
22.11.77	9.10-15.05	18.0	5.7	0.24 ± 0,19	1.4
22.11.77	15.05-				
23.11.77	- 9.00	27.9	5.4	< 0.16	< 0.9
23.11.77	9.00-15.00	13.2	5.3	0.52 ± 0.19	2.8
23.11.77	15.00-				
24.11.77	- 9.00	74.4	5.4	0.85 ± 0.19	4.6
24.11.77	9.00-15.00	15.9	6.3	0.60 ± 0.23	3.8
24.11.77	15.00-				
25.11.77	- 9.10	59.1	5.7	0.31 ± 0.18	1.8
25.11.77	9.10- 15.05	9.6	4.9	0.43 ± 0.28	2.1
26.11.77	-	-	-	-	-
27.11.77	-	-	-	-	-
28.11.77	9.00-15.15	9.3	4.5	1.35 ± 0.29	6.1
28.11.77	15.15-				
29.11.77	- 9.45	29.7	3.4	0.58 ± 0.22	2.0
29.11.77	9.45-14.10	8.4	3.1	0.37 ± 0.23	1.1
29.11.77	14.10-				
30.11.77	- 9.15	21.1	3.0	0.67 ± 0.36	2.0
30.11.77	9.15-14.10	5.8	3.1	0.77 ± 0.32	2.4
30.11.77	14.10-				
1.12.77	- 9.15	44.6	3.3	0.58 ± 0.23	1.9
1.12.77	9.15-14.10	12.3	3.9	0.56 ± 0.24	2.2
1.12.77	14.10-				
2.12.77	- 9.30	26.5	3.9	0.47 ± 0.19	1.8
2.12.77	9.30-15.05	8.9	4.0	6.79 ± 0.48	27.2
3.12.77	-	-	-	-	-
4.12.77	-	-	-	-	-
5.12.77	9.00-15.10	7.9	3.3	0.61 ± 0.26	2.0
5.12.77	15.10-				
6.12.77	- 9.15	34.6	3.4	0.58 ± 0.22	2.0
6.12.77	9.15-15.20	3.5	3.7	2.90 ± 0.20	10.7
6.12.77	15.20-				
7.12.77	- 9.40	44.9	4.8	0.36 ± 0.13	1.7
7.12.77	9.40-15.00	10.3	6.1	0.47 ± 0.19	2.9
7.12.77	15.00-				
8.12.77	- 9.10	52.6	5.0	0.44 ± 0.19	2.2
8.12.77	9.10-15.00	16.6	5.4	2.58 ± 0.37	13.9
8.12.77	15.00-				
9.12.77	-11.10	53.4	5.3	2.44 ± 0.33	12.9

Tab. 2a: Ergebnisse der Tritiumkonzentrationsmessungen der Luftfeuchte von Probenahmestelle "Südost". Die Lage der Probenahmestelle ist aus Abb. 8 zu ersehen.

Probenahme		ausgefrorene Luftfeuchte in ml	mittl.abs. Luftfeuchte in g/m <sup>3</sup>	<sup>3</sup> H-Konz. der Luftfeuchte in nCi/l	mittlere <sup>3</sup> H-Konz. in nCi/m <sup>3</sup> Luft
Datum	Zeit				
21.11.77	10.30-15.10	13.0	6.0	0.61 ± 0.20	3.7
21.11.77	15.10-				
22.11.77	- 9.15	52.0	5.0	1.75 ± 0.23	8.8
22.11.77	9.15-15.15	15.0	5.7	2.30 ± 0.26	13.1
22.11.77	15.15-				
23.11.77	- 9.05	49.0	5.4	1.10 ± 0.20	5.9
23.11.77	9.05 -15.10	11.1	5.3	9.7 ± 0.6	51.4
23.11.77	15.10-				
24.11.77	- 9.00	39.4	5.4	2.25 ± 0.26	12.2
24.11.77	9.00-15.10	28.5	6.3	1.59 ± 0.23	10.0
24.11.77	15.10-				
25.11.77	- 9.25	40.5	5.7	1.84 ± 0.25	10.5
25.11.77	9.25-15.15	11.8	4.9	1.72 ± 0.25	8.4
26.11.77	-	-	-	-	-
27.11.77	-	-	-	-	-
28.11.77	9.30-15.25	16.8	4.5	0.28 ± 0.20	1.3
28.11.77	15.25-				
29.11.77	-10.00	40.0	3.4	0.43 ± 0.20	1.5
29.11.77	10.00-14.20	8.2	3.1	0.50 ± 0.27	1.6
29.11.77	14.20-				
30.11.77	- 9.30	34.7	3.0	0.39 ± 0.20	1.2
30.11.77	9.30-14.20	6.6	3.1	0.74 ± 0.24	2.3
30.11.77	14.20-				
1.12.77	- 9.30	36.7	3.3	0.56 ± 0.21	1.8
1.12.77	9.30-14.20	9.7	3.9	0.52 ± 0.24	2.0
1.12.77	14.20-				
2.12.77	- 9.40	33.8	3.9	0.38 ± 0.18	1.5
2.12.77	9.40-15.10	11.8	4.0	0.94 ± 0.28	3.8
3.12.77	-	-	-	-	-
4.12.77	-	-	-	-	-
5.12.77	9.15-15.25	5.0	3.3	0.63 ± 0.26	2.1
5.12.77	15.25-				
6.12.77	- 9.20	41.3	3.4	0.34 ± 0.21	1.2
6.12.77	9.20-15.25	13.4	3.7	0.31 ± 0.14	1.1
6.12.77	15.25-				
7.12.77	- 9.45	59.2	4.8	0.65 ± 0.18	3.1
7.12.77	9.45-15.12	28.0	6.1	0.32 ± 0.18	2.0
7.12.77	15.12-				
8.12.77	- 9.20	48.2	5.0	0.45 ± 0.19	2.3
8.12.77	9.20-15.15	24.4	5.4	2.58 ± 0.27	13.9
8.12.77	15.15-				
9.12.77	-11.15	74.5	5.3	2.10 ± 0.29	11.1

Tab. 2b: Ergebnisse der Tritiumkonzentrationsmessungen der Luftfeuchte von Probenahmestelle "Nordost". Die Lage der Probenahmestelle ist aus Abb. 8 zu ersehen.

## 5.2 Gewebewasser aus Kiefernnadeln

Die den entsprechenden Abbildungsteilen 5a und 5b zugrundeliegenden Meßwerte sind in den Tabellen 3a und 3b zusammengestellt. Vergleicht man in den Abbildungen 5a und 5b den Verlauf der Tritiumkonzentration des Gewebewassers aus Kiefernnadeln mit dem der Luftfeuchte und dem der errechneten Immissionswerte, so fällt ein Gleichlauf auf. Die Tritiumkonzentration im Gewebewasser hängt weitgehend von der Höhe und der Zeitdauer des Tritiumangebots aus der Luftfeuchte bzw. dem Niederschlag ab. Die Austauschgeschwindigkeit ist dabei insbesondere durch die Differenz zwischen der Tritiumkonzentration im Gewebewasser und jener der Feuchte der Umgebungsluft bzw. der des Niederschlags bedingt.

Von besonderem Interesse sind jene Zeiten, an denen an einer Probenahmestelle Tritium weder durch Emissionen aus einer kerntechnischen Anlage noch durch Niederschlag angeboten wird. Für diese Zeiten läßt sich eine "Halbwertszeit" für das Abklingen der Tritiumkonzentration des Gewebewassers bestimmen. Abb. 6 zeigt hierfür ein Beispiel, in dem eine Halbwertszeit von ca. 9 Tagen bestimmt wurde. In früheren Arbeiten angegebene Halbwertszeiten von  $6 \pm 3$  Tagen bzw.  $4 \pm 2$  Tagen für Kiefernnadeln wurden unter anderen klimatischen Bedingungen gemessen.

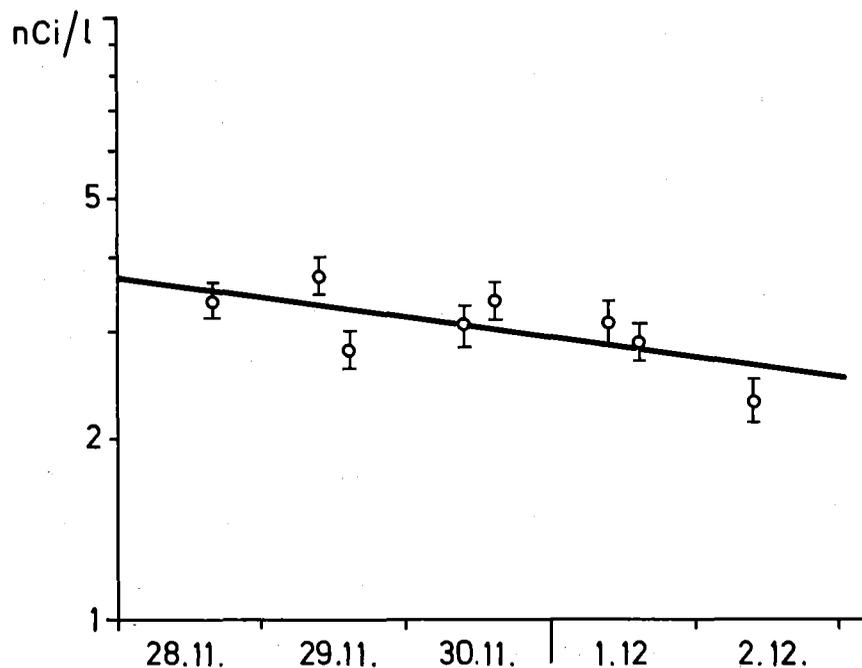


Abb. 6: Messung des Abklingens der Tritiumkonzentration im Gewebewasser von Kiefernnadeln

Probenahme		Sammel- menge in g	gewonnene Feuchte in ml	Ausbeute in %	<sup>3</sup> H-Konzentration des Gewebewassers in nCi/l
Datum	Zeit				
21.11.77	10.50	134.2	83.0	61.8	0.72 ± 0.19
21.11.77	15.35	104.4	64.0	61.3	0.37 ± 0.18
22.11.77	9.40	77.3	47.0	60.8	0.43 ± 0.17
22.11.77	15.30	57.3	34.1	59.5	0.27 ± 0.17
23.11.77	9.30	102.4	64.2	62.7	0.38 ± 0.17
23.11.77	15.30	88.1	47.7	54.1	0.49 ± 0.22
24.11.77	9.35	96.4	60.7	63.0	0.62 ± 0.20
24.11.77	15.30	78.3	46.9	59.9	0.45 ± 0.18
25.11.77	9.45	67.1	37.3	55.6	0.37 ± 0.17
25.11.77	15.30	97.6	58.4	59.8	0.92 ± 0.20
26.11.77	-	-	-	-	-
27.11.77	-	-	-	-	-
28.11.77	9.50	66.5	30.2	45.4	4.75 ± 0.35
28.11.77	15.45	38.5	23.4	60.8	3.37 ± 0.28
29.11.77	10.15	36.6	22.0	60.1	3.68 ± 0.30
29.11.77	14.45	44.4	25.9	58.3	2.81 ± 0.26
30.11.77	9.50	68.4	40.9	59.8	3.01 ± 0.27
30.11.77	14.45	54.0	32.8	60.7	3.38 ± 0.31
1.12.77	9.50	87.7	50.0	57.0	3.09 ± 0.30
1.12.77	14.40	58.9	32.9	55.9	2.86 ± 0.26
2.12.77	10.00	47.8	28.5	59.6	2.32 ± 0.25
2.12.77	15.30	49.9	26.9	53.9	2.66 ± 0.26
3.12.77	-	-	-	-	-
4.12.77	-	-	-	-	-
5.12.77	9.35	58.1	35.5	61.1	1.92 ± 0.24
5.12.77	15.45	49.9	28.4	56.9	2.43 ± 0.27
6.12.77	9.50	39.1	21.8	55.8	1.76 ± 0.24
6.12.77	15.45	51.4	27.9	54.3	2.66 ± 0.26
7.12.77	10.00	61.2	35.3	57.7	1.86 ± 0.23
7.12.77	15.30	42.1	23.3	55.3	1.64 ± 0.23
8.12.77	9.40	52.8	30.7	58.1	1.99 ± 0.24
8.12.77	15.30	62.8	36.7	58.4	1.64 ± 0.24
9.12.77	11.40	67.3	41.0	60.9	5.64 ± 0.41

Tab. 3a: Ergebnisse der Tritiumkonzentrationsmessungen des Gewebewassers aus Kiefernadeln von Probenahmestelle "Südost". Die Lage der Probenahmestelle ist aus Abb. 8 zu ersehen.

Probenahme		Sammel- menge in g	gewonnene Feuchte in ml	Ausbeute in %	<sup>3</sup> H-Konzentration des Gewebewassers in nCi/l
Datum	Zeit				
21.11.77	10.45	76.6	46.0	60.1	1.47 ± 0.22
21.11.77	15.30	92.9	53.0	57.1	1.48 ± 0.23
22.11.77	9.30	89.2	52.0	58.3	1.78 ± 0.23
22.11.77	15.30	56.5	31.0	54.9	2.02 ± 0.24
23.11.77	9.25	104.2	60.0	57.6	1.86 ± 0.23
23.11.77	15.25	79.3	46.7	58.9	5.19 ± 0.36
24.11.77	9.25	76.7	48.9	63.8	3.14 ± 0.47
24.11.77	15.20	70.5	31.7	45.0	2.29 ± 0.25
25.11.77	9.30	57.8	33.6	58.1	2.32 ± 0.25
25.11.77	15.15	64.8	35.5	54.8	3.90 ± 0.32
26.11.77	-	-	-	-	-
27.11.77	-	-	-	-	-
28.11.77	9.45	50.6	26.1	51.6	1.68 ± 0.23
28.11.77	15.35	34.0	24.0	70.6	1.38 ± 0.21
29.11.77	10.00	30.8	16.1	52.3	1.39 ± 0.22
29.11.77	14.30	33.0	17.7	53.6	1.60 ± 0.23
30.11.77	9.40	56.6	35.9	63.4	1.34 ± 0.22
30.11.77	14.30	61.7	34.8	56.4	1.37 ± 0.23
1.12.77	9.30	57.4	33.2	57.8	1.09 ± 0.22
1.12.77	14.30	33.9	23.8	70.2	1.56 ± 0.21
2.12.77	9.50	40.3	22.6	56.1	1.22 ± 0.20
2.12.77	15.20	33.8	18.8	55.6	1.19 ± 0.20
3.12.77	-	-	-	-	-
4.12.77	-	-	-	-	-
5.12.77	9.30	44.5	24.1	54.2	0.91 ± 0.19
5.12.77	15.30	57.5	31.0	53.9	1.32 ± 0.22
6.12.77	9.40	66.9	37.9	56.7	1.14 ± 0.21
6.12.77	15.30	51.5	28.6	55.5	1.61 ± 0.22
7.12.77	9.49	58.4	33.8	57.9	1.75 ± 0.23
7.12.77	15.22	52.8	27.9	52.8	0.93 ± 0.19
8.12.77	9.30	58.7	32.8	55.9	1.33 ± 0.21
8.12.77	15.20	76.5	39.3	51.4	1.81 ± 0.24
9.12.77	11.30	70.4	41.1	58.4	6.91 ± 0.47

Tab. 3b: Ergebnisse der Tritiumkonzentrationsmessungen des Gewebewassers aus Kiefernadeln von Probenahmestelle "Nordost". Die Lage der Probenahmestelle ist aus Abb. 8 zu ersehen.

### 5.3 Niederschlag

Einzelheiten über den in den entsprechenden Abbildungsteilen 5a und 5b dargestellten Konzentrationsverlauf sind in Tab. 4 wiedergegeben. In der graphischen Darstellung des Niederschlags ist aus der Breite der Balken die Zeitdauer des Niederschlags zu entnehmen. Zu dem fallout-bedingten Anteil des Niederschlags kommt ein Beitrag durch die Emissionen des Kernforschungszentrums, der unter anderem auch durch die Unterschiede der Tritiumkonzentration des Niederschlags von den Sammelstellen "Südost" und "Nordost" erkennbar wird. Es zeigt sich außerdem, daß die Tritiumkonzentration

Datum	Sammelzeit		Niederschlagszeiten			Niederschlagsmenge in mm			<sup>3</sup> H-Konzentration in nCi/l	
	Beginn	Ende	Beginn	Ende	Δt	Sammelstelle Meteorologie	Sammelstelle SO	Sammelstelle NO	Sammelstelle SO	Sammelstelle NO
21.11.1977	10.20	15.00	10.20	12.40	2:20	4,4	3,5	3,6	< 0,15	0,39 ± 0,18
21.11.1977	15.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22.11.1977	-	-	03.00	05.30	2:30	0,6	-	-	-	-
22.11.1977	-	-	11.30	12.00	0:30	0,2	1,4	1,9	0,24 ± 0,18	1,07 ± 0,19
22.11.1977	-	-	16.30	16.50	0:20	0,1	-	-	-	-
23.11.1977	-	-	04.00	04.30	0:30	0,3	-	-	-	-
23.11.1977	-	09.00	08.00	09.00	1:00	0,3	-	-	-	-
23.11.1977	09.00	15.00	09.00	13.00	4:00	2,1	2,2	2,4	0,42 ± 0,18	5,35 ± 0,36
23.11.1977	15.00	-	18.30	18.50	0:20	0,2	-	-	-	-
24.11.1977	-	09.00	06.50	09.00	2:10	2,7	1,7	2,3	0,22 ± 0,17	1,00 ± 0,20
24.11.1977	09.00	15.00	09.00	13.00	4:00	1,4	2,8	2,7	< 0,17	1,16 ± 0,21
24.11.1977	15.00	-	15.00	16.00	1:00	0,4	-	-	-	-
24.11.1977	-	-	19.00	20.00	1:00	1,0	4,0	3,8	0,22 ± 0,16	0,50 ± 0,17
24.11.1977	-	-	23.30	24.00	0:30	1,2	-	-	-	-
25.11.1977	-	09.10	00.00	01.30	1:30	1,7	-	-	-	-
25.11.1977	09.10	-	22.00	23.00	1:00	0,9	-	-	-	-
26.11.1977	-	-	00.00	02.30	2:30	3,1	-	-	-	-
26.11.1977	-	-	04.00	06.30	2:30	2,1	7,1	6,4	1,2 ± 0,21	1,68 ± 0,22
27.11.1977	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28.11.1977	-	09.00	-	-	-	-	-	-	-	-
28.11.1977	09.00	-	09.30	14.00	4:30	0,8	1,0	0,9	0,61 ± 0,20	0,21 ± 0,19
29.11.1977	-	09.45	-	-	-	-	-	-	-	-
29.11.1977	09.45	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30.11.1977	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.12.1977	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.12.1977	-	-	-	-	-	-	4,4	4,3	0,35 ± 0,12	0,29 ± 0,12
3.12.1977	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4.12.1977	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5.12.1977	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6.12.1977	-	-	14.00	24.00	10:00	3,1	-	-	-	-
7.12.1977	-	09.30	01.00	02.00	1:00	0,1	-	-	-	-
7.12.1977	09.30	-	09.30	10.00	0:30	0,1	5,9	6,1	13,4 ± 0,7	9,6 ± 0,6
8.12.1977	-	-	01.00	03.00	2:00	0,4	-	-	-	-
9.12.1977	-	11.10	01.00	11.10	10:10	6,1	-	-	-	-

Tab. 4: Ergebnisse der Tritiumkonzentrationsmessungen an Niederschlagsproben von den Sammelstellen "Südost" und "Nordost". Die Lage der Probenahmestellen ist aus Abb. 8 zu ersehen. In der Spalte Δt sind die Niederschlagsdauern in der Form Stunden:Minuten angegeben.

tration des Niederschlags in einem sehr viel stärkeren Maße die des Gewebewassers aus Kiefernadeln beeinflusst als die Luftfeuchte. Aus dem zeitlichen Verlauf der Tritiumkonzentration in der Erdfeuchte läßt sich schließen, daß die Tritiumaufnahme hauptsächlich direkt bei der Benetzung der Nadeln, d.h. nicht auf dem Weg über die Wurzeln erfolgte.

#### 5.4 Erdfeuchte

Einzelheiten der Messungen an den von den Sammelstellen "Südost" und "Nordost" stammenden Erdproben sind in den Tabellen 5a und 5b enthalten. Aus den graphischen Darstellungen in den Abbn. 5a und 5b ist zu ersehen, daß die Immissionshäufigkeit (siehe Abbildungen 2a und 2b) die Höhe der Tritiumkonzentration für den Tiefenbereich 0 - 80 cm bestimmt. Die Konzentrationswerte liegen an der Sammelstelle "Nordost" im Durchschnitt etwa um den Faktor 2 höher als an der Sammelstelle "Südost". Bedingt durch das Probenahmeverfahren - es wurden die Tritiumkonzentrationswerte der Erdfeuchte an Mischproben aus 0 - 80 cm Entnahmetiefe bestimmt - sind kurzzeitige Änderungen der Immissionswerte ohne erkennbare Wirkung.

Abb. 7 zeigt die Tiefenprofile der Tritiumkonzentration der Erdfeuchte für den Bereich 0 - 80 cm an den Sammelstellen "Südost" und "Nordost". Die dazugehörigen Feuchteausbeuten und Meßwerte sind in den Tabellen 6a und 6b zusammengestellt.

Aus Abb. 7 ist ein gewisser Gleichlauf des Konzentrationsverlaufs an den beiden Sammelstellen "Südost" und "Nordost" zu ersehen. Es ist anzunehmen, daß Unterschiede in der Bodenbeschaffenheit die Versickerungsgeschwindigkeit des Niederschlags beeinflussen.

Die Tritiumkonzentrationswerte der Erdfeuchte sowie die Lage der Entnahmestellen von Proben, die auf dem Gelände des KfK und in dessen näherer Umgebung genommen wurden, zeigt Abb. 8. Die Feuchteausbeuten und Meßwerte der Proben vom KfK-Gelände sind in Tab. 7 zusammengestellt, jene von Proben der näheren Umgebung in Tab. 8. Die höchsten Konzentrationswerte wurden erwartungsgemäß in der unmittelbaren Umgebung der Hauptemittenten gefunden.

Probenahme		Sammel- menge in g	gewonnene Feuchte in ml	Ausbeute in %	<sup>3</sup> H-Konzentration der Erdfeuchte in nCi/l
Datum	Zeit				
21.11.1977	11.05	300,3	23,1	7,7	0,66 ± 0,18
21.11.1977	15.40	343,4	24,0	7,0	0,95 ± 0,21
22.11.1977	09.40	368,7	32,0	8,7	0,85 ± 0,20
22.11.1977	15.35	403,5	27,0	6,7	0,75 ± 0,19
23.11.1977	09.30	421,0	32,4	7,7	0,74 ± 0,19
23.11.1977	15.30	448,4	39,3	8,8	0,56 ± 0,18
24.11.1977	09.35	406,4	38,6	9,5	0,46 ± 0,17
24.11.1977	15.30	494,4	39,2	7,9	0,71 ± 0,19
25.11.1977	09.50	368,8	27,4	7,4	0,57 ± 0,18
25.11.1977	15.30	382,1	31,3	8,2	0,63 ± 0,19
26.11.1977	-	-	-	-	-
27.11.1977	-	-	-	-	-
28.11.1977	09.50	421,6	38,9	9,2	0,62 ± 0,19
28.11.1977	15.45	439,8	33,8	7,7	0,89 ± 0,20
29.11.1977	10.15	403,6	25,5	6,3	0,83 ± 0,18
29.11.1977	14.45	425,4	33,9	8,0	0,67 ± 0,19
30.11.1977	09.50	475,8	48,4	10,2	0,61 ± 0,19
30.11.1977	14.45	435,9	30,8	7,1	0,93 ± 0,20
1.12.1977	09.50	380,6	36,0	9,5	0,60 ± 0,19
1.12.1977	14.40	436,9	44,2	10,1	0,43 ± 0,17
2.12.1977	10.00	345,1	40,5	11,7	0,52 ± 0,17
2.12.1977	15.30	338,9	35,0	10,3	0,48 ± 0,18
3.12.1977	-	-	-	-	-
4.12.1977	-	-	-	-	-
5.12.1977	09.35	437,6	37,9	8,7	0,51 ± 0,17
5.12.1977	15.45	371,9	35,1	9,4	0,62 ± 0,19
6.12.1977	09.50	463,6	31,1	6,7	0,78 ± 0,19
6.12.1977	15.45	386,9	25,6	6,6	0,79 ± 0,18
7.12.1977	10.00	366,6	39,0	10,6	0,59 ± 0,18
7.12.1977	15.30	323,9	36,0	11,1	0,68 ± 0,19
8.12.1977	09.40	371,6	37,2	10,0	0,71 ± 0,19
8.12.1977	15.30	347,9	30,8	8,9	0,67 ± 0,19
9.12.1977	11.40	358,6	42,7	11,9	1,61 ± 0,23

Tab. 5a: Ergebnisse der Tritiumkonzentrationsmessungen der Erdfeuchte von der Probenahmestelle "Südost". Die Lage der Probenahmestelle ist aus Abb. 8 zu ersehen.

Probenahme		Sammel- menge in g	gewonnene Feuchte in ml	Ausbeute in %	<sup>3</sup> H-Konzentration der Erdfeuchte in nCi/l
Datum	Zeit				
21.11.1977	11.15	440,5	32,7	7,4	1,57 ± 0,22
21.11.1977	15.30	449,9	31,0	6,9	1,47 ± 0,23
22.11.1977	09.30	466,9	30,0	6,4	1,45 ± 0,22
22.11.1977	15.30	475,0	31,0	6,5	1,81 ± 0,22
23.11.1977	09.25	504,0	42,6	8,5	1,13 ± 0,24
23.11.1977	15.25	548,6	37,4	6,8	1,67 ± 0,21
24.11.1977	09.25	387,2	39,3	10,1	1,94 ± 0,23
24.11.1977	15.20	476,9	33,1	6,9	1,76 ± 0,23
25.11.1977	09.30	471,0	40,6	8,6	1,36 ± 0,22
25.11.1977	15.15	401,8	30,0	7,5	1,68 ± 0,23
26.11.1977	-	-	-	-	-
27.11.1977	-	-	-	-	-
28.11.1977	09.45	484,6	41,3	8,5	1,66 ± 0,23
28.11.1977	15.35	401,7	37,1	9,2	1,49 ± 0,22
29.11.1977	10.00	461,6	35,7	7,7	1,40 ± 0,22
29.11.1977	14.30	531,3	43,1	8,1	1,72 ± 0,23
30.11.1977	09.40	471,3	51,0	10,8	1,48 ± 0,21
30.11.1977	14.30	486,5	33,5	6,9	1,71 ± 0,23
1.12.1977	09.30	374,8	33,1	8,8	1,59 ± 0,23
1.12.1977	14.30	347,5	24,8	7,1	1,61 ± 0,21
2.12.1977	09.50	464,8	43,1	9,3	1,16 ± 0,19
2.12.1977	15.20	478,0	36,3	7,6	1,18 ± 0,20
3.12.1977	-	-	-	-	-
4.12.1977	-	-	-	-	-
5.12.1977	09.30	388,8	28,2	7,3	1,32 ± 0,21
5.12.1977	15.30	422,5	43,3	10,2	1,62 ± 0,23
6.12.1977	09.40	427,8	41,3	9,7	1,84 ± 0,24
6.12.1977	15.30	336,5	39,1	11,6	1,38 ± 0,21
7.12.1977	09.49	320,8	26,7	8,3	1,80 ± 0,22
7.12.1977	15.22	384,5	28,2	7,3	1,36 ± 0,22
8.12.1977	09.30	431,8	44,9	10,4	1,56 ± 0,22
8.12.1977	15.20	565,5	50,5	8,9	1,23 ± 0,21
9.12.1977	11.30	353,8	37,6	10,6	2,13 ± 0,25

Tab. 5b: Ergebnisse der Tritiumkonzentrationsmessungen der Erdfeuchte von Probenahmestelle "Nordost". Die Lage der Probenahmestelle ist aus Abb. 8 zu ersehen.

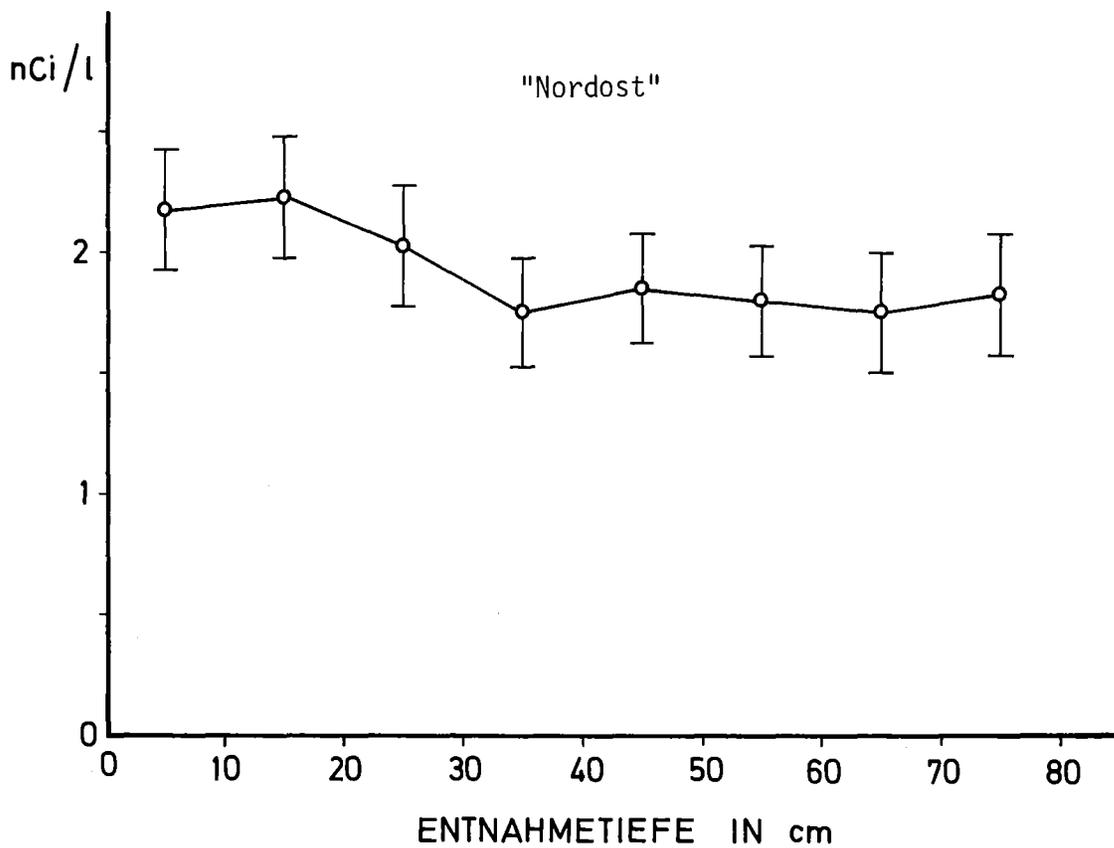
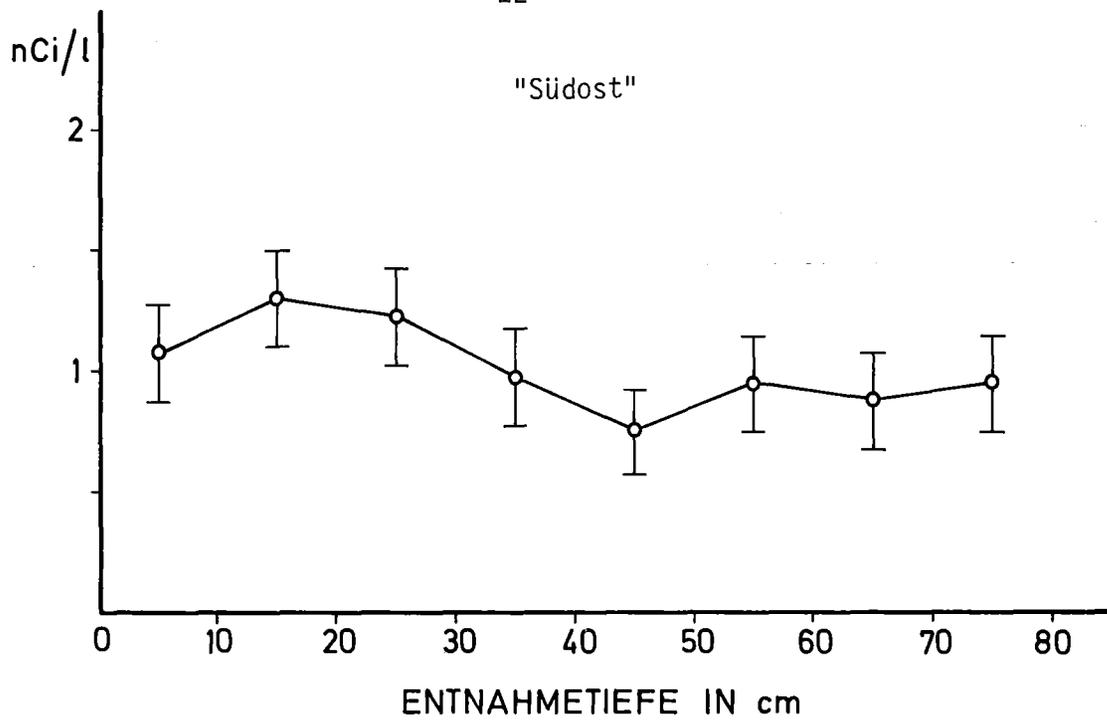


Abb. 7: Tiefenprofil der Tritiumkonzentration der Erdfeuchte an den Probenahmestellen "Südost" und "Nordost"



Abb. 8 Lage der Probenahmestellen, an denen die Tritiumkonzentration der Erdfeuchte ermittelt wurde. Die Höhe einer Säule entspricht dem Meßwert von dieser Stelle, wobei jeder Quader einen Konzentrationswert von 1 nCi/l darstellt.

Entnahmetiefe in cm	Sammel- menge in g	gewonnene Feuchte in ml	Ausbeute in %	<sup>3</sup> H-Konzentration der Erdfeuchte in nCi/l
0 - 10	514	68.3	13.3	1.07 ± 0.20
10 - 20	384	33.7	8.8	1.29 ± 0.21
20 - 30	467	38.1	8.2	1.23 ± 0.21
30 - 40	512	37.8	7.4	0.97 ± 0.20
40 - 50	430	28.7	6.7	0.77 ± 0.18
50 - 60	375	20.8	5.6	0.94 ± 0.19
60 - 70	323	16.6	5.1	0.88 ± 0.20
70 - 80	291	16.1	5.5	0.96 ± 0.20

Tab. 6a: Ergebnisse der Tritiumkonzentrationsmessungen der Erdfeuchte von Probenahmestelle "Südost" zur Erstellung eines Tiefenprofils. Die Lage der Probenahmestelle ist aus Abb. 8 zu ersehen.

Entnahmetiefe in cm	Sammel- menge in g	gewonnene Feuchte in ml	Ausbeute in %	<sup>3</sup> H-Konzentration der Erdfeuchte in nCi/l
0 - 10	339	55.6	16.4	2.19 ± 0.24
10 - 20	399	38.2	9.6	2.23 ± 0.25
20 - 30	464	39.7	8.6	2.08 ± 0.24
30 - 40	457	35.4	7.7	1.77 ± 0.23
40 - 50	447	30.1	6.7	1.85 ± 0.23
50 - 60	410	26.7	6.5	1.81 ± 0.23
60 - 70	366	20.8	5.7	1.76 ± 0.24
70 - 80	322	16.9	5.2	1.83 ± 0.24

Tab. 6b: Ergebnisse der Tritiumkonzentrationsmessungen der Erdfeuchte von Probenahmestelle "Nordost" zur Erstellung eines Tiefenprofils. Die Lage der Probenahmestelle ist aus Abb. 8 zu ersehen.

Probenahmeort bzw. Planquadrat	Probenahmedatum	Sammelmenge in g	gewonnene Feuchte in ml	Ausbeute in %	<sup>3</sup> H-Konzentration der Erdfeuchte in nCi/l
B 1	13. 1.1978	400	37,8	9,5	1,04 ± 0,19
B 3	13. 1.1978	354	26,8	7,6	1,21 ± 0,22
B 5	13. 1.1978	389	31,7	8,1	1,84 ± 0,24
B 7	13. 1.1978	387	30,0	7,8	1,89 ± 0,24
D 1	13. 1.1978	332	28,7	8,6	1,46 ± 0,21
D 3	13. 1.1978	491	38,5	7,8	1,37 ± 0,21
D 5	13. 1.1978	423	32,0	7,6	2,15 ± 0,24
D 7	12. 1.1978	489	45,7	9,3	1,92 ± 0,23
F 1	12. 1.1978	427	42,9	10,0	1,14 ± 0,21
F 3	12. 1.1978	423	40,8	9,6	1,89 ± 0,25
F 5	12. 1.1978	432	34,9	8,1	2,08 ± 0,24
F 7	12. 1.1978	421	39,8	9,5	1,73 ± 0,22
H 1	12. 1.1978	400	40,2	10,1	7,45 ± 0,47
H 3	12. 1.1978	481	53,4	11,1	2,81 ± 0,27
H 5	11. 1.1978	365	25,9	7,1	2,78 ± 0,29
H 7	11. 1.1978	427	40,2	9,4	1,31 ± 0,21
K 1	9. 1.1978	527	62,3	11,8	2,42 ± 0,25
K 3	11. 1.1978	498	47,8	9,6	6,43 ± 0,40
K 5	11. 1.1978	477	43,3	9,1	3,40 ± 0,29
K 7	9. 1.1978	393	39,4	10,0	2,25 ± 0,24
M 1	9. 1.1978	437	38,0	8,7	4,54 ± 0,33
M 3	9. 1.1978	427	42,1	9,9	8,80 ± 0,49
M 5	9. 1.1978	395	26,9	6,8	3,33 ± 0,28
M 7	9. 1.1978	426	31,8	7,5	2,27 ± 0,24

Tab. 7: Ergebnisse der Tritiumkonzentrationsmessungen der Erdfeuchte von den Probenahmestellen auf dem Gelände des KfK. Die Lage der Probenahmestellen ist aus Abb. 8 zu ersehen.

Probenahme- ort bzw. Proben-Nr.	Probenahme- datum	Sammel- menge in g	gewonnene Feuchte in ml	Ausbeute in %	<sup>3</sup> H-Konzentration der Erdfeuchte in nCi/l
1	23. 1.1978	342	34,2	10,0	4,60 ± 0,34
2	23. 1.1978	465	41,7	9,0	2,30 ± 0,25
3	23. 1.1978	352	21,4	6,1	1,10 ± 0,22
4	23. 1.1978	402	35,6	8,9	2,85 ± 0,28
5	23. 1.1978	354	27,0	7,6	2,32 ± 0,26
6	23. 1.1978	319	23,8	7,5	2,11 ± 0,25
7	23. 1.1978	422	34,2	8,1	2,36 ± 0,26
8	23. 1.1978	370	25,6	6,9	1,86 ± 0,23
9	23. 1.1978	338	22,8	6,7	1,79 ± 0,24
10	24. 1.1978	271	19,7	7,3	1,50 ± 0,22
11	24. 1.1978	389	35,1	9,0	1,24 ± 0,21
12	24. 1.1978	306	30,5	10,0	1,43 ± 0,21
13	24. 1.1978	429	42,9	10,0	0,78 ± 0,19
14	24. 1.1978	340	30,8	9,1	1,66 ± 0,23
15	24. 1.1978	410	33,4	8,2	0,95 ± 0,19
16	24. 1.1978	368	27,5	7,5	0,96 ± 0,19
17	24. 1.1978	343	27,1	7,9	0,92 ± 0,19
18	24. 1.1978	280	24,3	8,7	0,88 ± 0,20
19	25. 1.1978	307	27,3	8,9	2,37 ± 0,26
20	25. 1.1978	328	30,7	9,4	1,01 ± 0,20
21	25. 1.1978	484	43,6	9,0	1,55 ± 0,22
22	25. 1.1978	375	54,3	14,5	1,29 ± 0,21
23	25. 1.1978	426	56,9	13,4	0,88 ± 0,19
24	25. 1.1978	536	65,1	12,1	1,48 ± 0,22
25	25. 1.1978	414	36,4	8,8	1,86 ± 0,24
26	25. 1.1978	406	43,8	10,8	1,22 ± 0,21

Tab. 8: Ergebnisse der Tritiumkonzentrationsmessungen der Erdfeuchte von den Probenahmestellen in der näheren Umgebung des KfK. Die Lage der Probenahmestellen ist aus Abb. 8 zu ersehen.

In Tab. 9 ist die Tritiumkonzentration des Niederschlags an routinemäßig überwachten Sammelstellen jener der Erdfeuchte benachbarter Probenahmeorte gegenübergestellt. Es ist der erwartete Gleichlauf zu erkennen.

Erdfeuchte			Niederschlag		
Probenahmedatum	Probenahmeort bzw. Planquadrat	<sup>3</sup> H-Konzentration der Erdfeuchte in nCi/l	Sammelzeitraum	Sammelstelle	<sup>3</sup> H-Konzentration des Niederschlags in nCi/l
<u>innerhalb KfK-Gelände</u>					
13. 1.1978	D 1	1,5	Dezember 1977	Meßhütte West (Planqu. E 1)	1,5
11. 1.1978	K 3	6,4	Dezember 1977	HS-3 (Planqu. K 3)	8,1
9. 1.1978	K 7	2,3	Dezember 1977	HS-2 (Planqu. K 8)	3,4
9. 1.1978	M 3	8,8	Dezember 1977	HS-1 (Planqu. M 4)	6,1
9. 1.1978	M 7	2,3	Dezember 1977	Meßhütte Nordost (Planqu. M 8)	4,0
23. 1.1978	I*	4,6	Dezember 1977	Meßhütte WAK	7,4
<u>außerhalb KfK-Gelände</u>					
30. 1.1978	Wasserwerk Tiefgestade	0,74	Januar 1978	Wasserwerk Tiefgestade	0,44
2. 2.1978	Eggenstein	0,58	Januar 1978	Eggenstein	0,46
1. 2.1978	Augustenberg bei Grötzingen	0,42	Januar 1978	Augustenberg bei Grötzingen	0,42
3. 2.1978	Bruchsal	0,26	Januar 1978	Bruchsal	0,46

\*nahe Geländegrenze, nordwestlich WAK (Abb. 8)

Tab. 9: Vergleich der Tritiumkonzentration des Niederschlags an routinemäßig überwachten Sammelstellen mit der der Erdfeuchte benachbarter Probenahmeorte

Einzelheiten über die bei den sechs sogenannten Tiefenbohrungen ausgemessenen Proben sowie die gefundenen Tritiumkonzentrationswerte sind in Tab. 10 zusammengefaßt. Die Konzentrationswerte sind in Abb. 9 graphisch dargestellt. Abszisse ist die auf die Erdoberfläche bezogene Tiefe in Metern. Die höchsten Tritiumkonzentrationen nahe der Erdoberfläche wurden in der Nähe der Hauptemittenten gefunden. Die Ergebnisse von Bohrung 2 sind offensichtlich zwischenfallsbedingt. Die auf dem Gelände des KfK beobachteten Schwankungen der Tritiumkonzentration in der Erdfeuchte mit zunehmender Tiefe hängen offenbar mit den zeitlichen Schwankungen der Immission zusammen, jedoch reichen die vorhandenen Meßwerte für eine detaillierte Interpretation nicht aus.

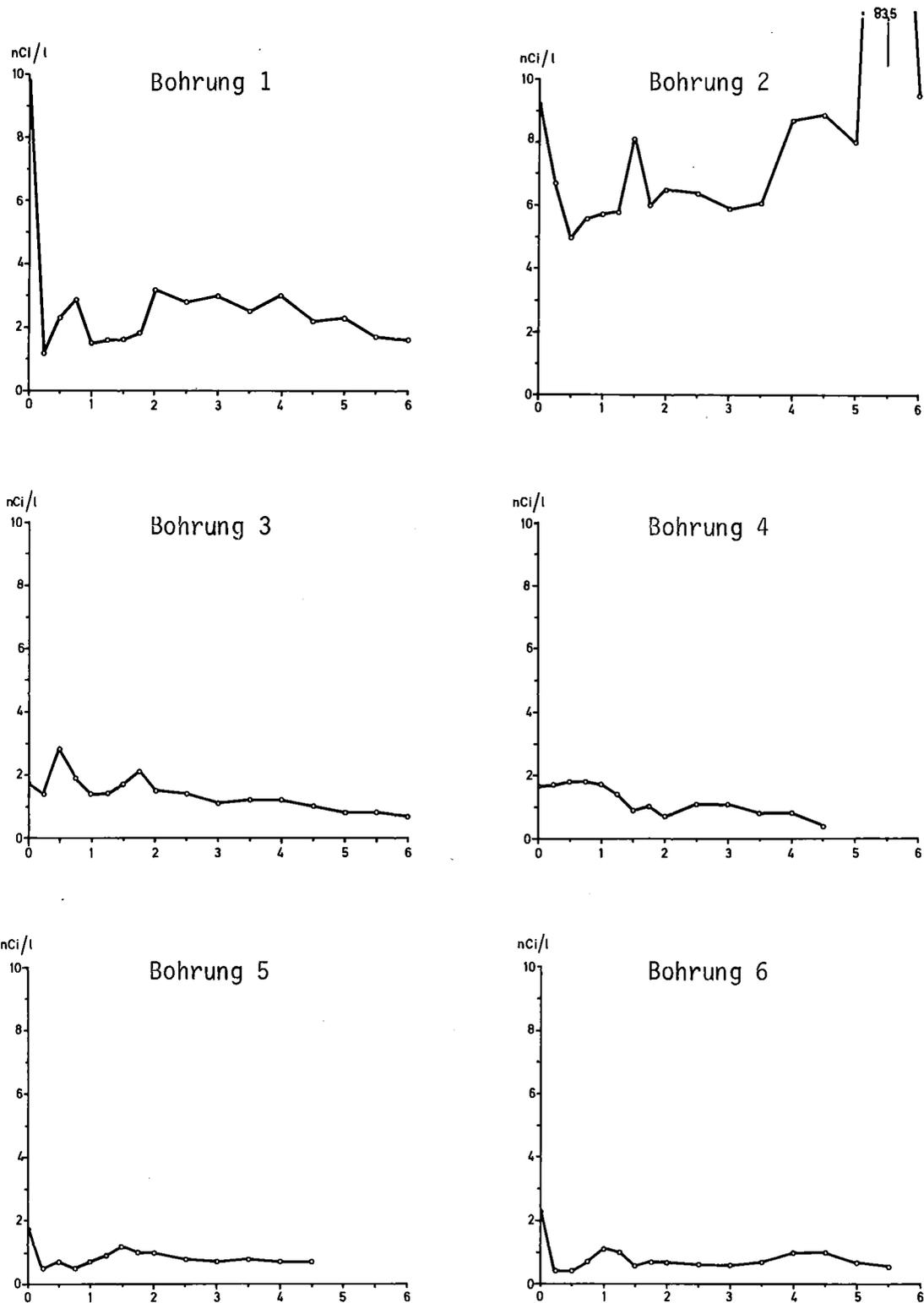


Abb. 9: Tiefenprofil der Tritiumkonzentration der Erdfeuchte aus den Bohrungen 1 bis 6. Die Abszisse stellt die Bohrtiefe in Metern dar. Die Lage der Probenahmestellen ist aus Abb. 3 zu ersehen.

Bohrung 1					Bohrung 2				
Entnahmetiefe in cm	Sammelmenge in g	Feuchte pro 500 g Erde in ml	Ausbeute in %	<sup>3</sup> H-Konzentration der Erdfeuchte in nCi/l	Entnahmetiefe in cm	Sammelmenge in g	Feuchte pro 500 g Erde in ml	Ausbeute in %	<sup>3</sup> H-Konzentration der Erdfeuchte in nCi/l
0 - 15	1 580	56,5	11,3	9,8 ± 0,6	0 - 15	1 781	47,0	9,4	9,2 ± 0,5
25	1 547	42,9	8,5	1,24 ± 0,21	25	1 503	43,6	8,7	6,65 ± 0,42
50	1 592	77,8	15,6	2,33 ± 0,25	50	1 431	54,2	10,8	5,07 ± 0,37
75	1 415	32,9	6,6	2,90 ± 0,28	75	1 651	57,8	11,6	5,55 ± 0,38
100	1 418	54,9	11,0	1,48 ± 0,22	100	1 521	25,6	5,1	5,68 ± 0,39
125	1 604	28,0	5,6	1,62 ± 0,22	125	1 549	26,5	5,3	5,84 ± 0,40
150	1 630	45,8	9,2	1,62 ± 0,22	150	1 585	26,9	5,4	8,09 ± 0,48
175	1 527	39,9	8,0	1,76 ± 0,23	175	1 518	36,8	7,4	6,00 ± 0,40
200	1 549	36,5	7,3	3,15 ± 0,29	200	1 722	42,3	8,5	6,51 ± 0,43
250	1 440	47,3	9,5	2,83 ± 0,27	250	1 598	17,0	3,4	6,44 ± 0,42
300	1 692	48,1	9,6	2,96 ± 0,28	300	1 616	12,8	2,6	5,85 ± 0,40
350	1 652	17,9	3,6	2,45 ± 0,27	350	1 440	17,0	3,4	6,06 ± 0,41
400	2 008	12,0	2,4	2,96 ± 0,27	400	1 673	27,4	5,5	8,7 ± 0,5
450	1 490	23,0	4,6	2,19 ± 0,25	450	1 486	26,9	5,4	8,9 ± 0,5
500	1 657	18,4	3,7	2,31 ± 0,25	500	1 520	46,9	9,4	7,96 ± 0,49
550	2 170	72,1	14,4	1,72 ± 0,23	550	1 602	80,9	16,2	83,5 ± 3,4
600	1 778	78,5	15,7	1,66 ± 0,22	600	2 219	59,9	12,0	9,5 ± 0,5

Bohrung 3					Bohrung 4				
Entnahmetiefe in cm	Sammelmenge in g	Feuchte pro 500 g Erde in ml	Ausbeute in %	<sup>3</sup> H-Konzentration der Erdfeuchte in nCi/l	Entnahmetiefe in cm	Sammelmenge in g	Feuchte pro 500 g Erde in ml	Ausbeute in %	<sup>3</sup> H-Konzentration der Erdfeuchte in nCi/l
0 - 15	1 132	83,0	16,6	1,72 ± 0,23	0 - 15	1 089	82,5	16,5	1,56 ± 0,22
25	1 555	51,5	10,3	1,42 ± 0,22	25	1 354	57,5	11,5	1,66 ± 0,22
50	1 548	51,4	10,3	2,77 ± 0,27	50	1 521	39,9	8,0	1,79 ± 0,23
75	1 393	54,4	10,9	1,87 ± 0,24	75	1 435	34,0	6,8	1,82 ± 0,23
100	1 414	29,7	5,9	1,44 ± 0,22	100	1 594	39,8	8,0	1,66 ± 0,23
125	1 425	28,4	5,7	1,44 ± 0,22	125	1 588	49,8	10,0	1,42 ± 0,22
150	1 465	30,3	6,1	1,71 ± 0,23	150	1 418	23,7	4,7	0,94 ± 0,20
175	1 703	71,3	14,3	2,12 ± 0,24	175	1 599	43,2	8,6	1,00 ± 0,20
200	1 636	34,2	6,8	1,53 ± 0,21	200	1 557	44,1	8,8	0,67 ± 0,19
250	1 714	30,7	6,1	1,35 ± 0,22	250	1 662	23,1	4,6	1,07 ± 0,20
300	1 609	37,5	7,5	1,08 ± 0,20	300	1 700	13,9	2,8	1,07 ± 0,19
350	1 516	40,6	8,1	1,16 ± 0,21	350	1 683	33,4	6,7	0,81 ± 0,18
400	1 533	32,4	6,5	1,22 ± 0,21	400	2 234	83,5	16,7	0,79 ± 0,18
450	1 841	25,3	5,1	1,04 ± 0,20	450	2 289	77,8	15,6	0,42 ± 0,16
500	1 812	28,4	5,7	0,84 ± 0,19	500	-	-	-	-
550	2 246	99,9	20,0	0,76 ± 0,19	550	-	-	-	-
600	2 206	98,5	19,7	0,70 ± 0,19	600	-	-	-	-

Bohrung 5					Bohrung 6				
Entnahmetiefe in cm	Sammelmenge in g	Feuchte pro 500 g Erde in ml	Ausbeute in %	<sup>3</sup> H-Konzentration der Erdfeuchte in nCi/l	Entnahmetiefe in cm	Sammelmenge in g	Feuchte pro 500 g Erde in ml	Ausbeute in %	<sup>3</sup> H-Konzentration der Erdfeuchte in nCi/l
0 - 15	1 279	69,4	13,9	1,71 ± 0,22	0 - 15	1 083	38,8	7,8	2,31 ± 0,25
25	1 316	44,1	8,8	0,54 ± 0,17	25	1 271	35,3	7,1	0,43 ± 0,18
50	1 379	37,2	7,4	0,67 ± 0,18	50	1 227	32,9	6,6	0,35 ± 0,17
75	1 663	29,7	5,9	0,50 ± 0,17	75	1 141	28,5	5,7	0,73 ± 0,19
100	1 544	43,4	8,7	0,67 ± 0,18	100	1 209	22,1	4,4	1,07 ± 0,20
125	1 382	33,8	6,8	0,87 ± 0,19	125	1 078	29,4	5,9	0,95 ± 0,25
150	1 628	48,4	9,7	1,16 ± 0,20	150	1 315	24,8	5,0	0,57 ± 0,18
175	1 657	43,0	8,6	0,95 ± 0,19	175	1 406	25,3	5,1	0,71 ± 0,19
200	1 669	21,9	4,4	0,98 ± 0,19	200	1 514	17,0	3,4	0,70 ± 0,19
250	1 728	13,2	2,6	0,84 ± 0,18	250	1 432	19,9	4,0	0,62 ± 0,19
300	1 552	23,4	4,7	0,72 ± 0,18	300	1 606	22,1	4,4	0,58 ± 0,18
350	1 734	19,5	3,9	0,76 ± 0,18	350	1 634	54,5	10,9	0,73 ± 0,19
400	2 111	75,1	15,0	0,73 ± 0,18	400	1 938	15,4	3,1	0,95 ± 0,20
450	2 573	44,9	9,0	0,70 ± 0,18	450	1 902	14,8	3,0	1,03 ± 0,19
500	-	-	-	-	500	2 244	47,8	9,6	0,65 ± 0,18
550	-	-	-	-	550	2 211	58,4	11,7	0,55 ± 0,18
600	-	-	-	-	600	-	-	-	-

Tab. 10: Ergebnisse der Tritiumkonzentrationsmessungen der Erdfeuchte aus Tiefenbohrungen (bis 6 m) zur Erstellung von Tiefenprofilen

### 5.5 Grundwasser

Die Ergebnisse der Tritiummessungen an Grundwasserproben sind in Tab. 11 angegeben. Die Meßwerte liegen zum großen Teil unter oder knapp über der Nachweisgrenze. Der höchste gefundene Wert betrug  $0,28 \pm 0,18$  nCi/l und liegt also deutlich unter den Tritiumkonzentrationswerten der Bodenfeuchte.

Probenahme		<sup>3</sup> H-Konzentration in nCi/l	
Datum	Zeit	Brunnen F	Brunnen Nr. 18
21.11.1977	10.00	< 0,16	< 0,15
22.11.1977	09.00	$0,19 \pm 0,16$	< 0,15
23.11.1977	09.00	$0,23 \pm 0,16$	$0,18 \pm 0,16$
24.11.1977	09.00	< 0,16	$0,22 \pm 0,16$
25.11.1977	09.00	< 0,16	< 0,16
26.11.1977	-	-	-
27.11.1977	-	-	-
28.11.1977	09.00	$0,18 \pm 0,16$	< 0,15
29.11.1977	14.00	$0,18 \pm 0,17$	< 0,16
30.11.1977	09.00	$0,28 \pm 0,18$	< 0,17
1.12.1977	09.00	$0,20 \pm 0,17$	< 0,16
2.12.1977	09.00	$0,19 \pm 0,16$	< 0,16
3.12.1977	-	-	-
4.12.1977	-	-	-
5.12.1977	09.00	< 0,16	< 0,16
6.12.1977	09.00	$0,27 \pm 0,17$	< 0,16
7.12.1977	-	-	-
8.12.1977	-	-	-
9.12.1977	11.00	$0,21 \pm 0,17$	< 0,16

Tab. 11: Ergebnisse der Tritiumkonzentrationsmessungen von Grundwasser aus den Brunnen "F" und "Nr. 18". Die Lage der Brunnen ist aus Abb. 3 zu ersehen.

## 6. Schlußbemerkungen

Vorliegende Meßergebnisse zeigen, daß bei den Tritiumemissionen des KfK über die Abluft die Umgebung in nachweisbarem Umfang kontaminiert wird. Sowohl im Bewuchs als auch im Erdboden sind deutliche Erhöhungen der Tritiumkonzentration im Vergleich zu dem fallout-bedingten Grundpegel zu erkennen.

Die Komplexität des vorliegenden Ökosystems verhindert präzise Vorausberechnungen der Tritiumkonzentration für die verschiedenen Komponenten. Faktoren, die die Ergebnisse beeinflussen, sind u.a. die verschiedenen meteorologischen Parameter, die Art des Bewuchses und die Beschaffenheit des Bodens. Die zum Teil beträchtlichen Abweichungen der Tritiumkonzentration in den untersuchten Kiefernadelproben von jener in den zugehörigen Bodenproben zeigen, daß eine direkte Wasseraufnahme der Kiefernadeln aus der umgebenden Luft bzw. dem benetzenden Niederschlag stattfindet. Darauf deuten auch die experimentellen Ergebnisse anderer Autoren hin (vgl. z.B. [11]). Andererseits ist die Tritiumkonzentration der Luftfeuchte nicht nur durch die momentanen Immissionen, sondern auch durch vorausgegangene Kontaminationen des Bodens und der Vegetation bedingt.

Für ihre Mithilfe bei der Probenahme danken wir den beteiligten Mitarbeitern der Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit. Besonderen Dank schulden wir Frau S. Rinn für ihre Mitarbeit bei der Darstellung der Meßergebnisse.

## 7. Literatur

- [1] König, L.A., Winter, M., Schüler, H.: Tritium in Niederschlägen, Oberflächen-, Grund- und Trinkwasser - Ergebnisse eines Meßprogrammes mit Schwerpunkt im Raum Nordbaden in den Jahren 1971 bis 1974. KfK 2382 (November 1976)
- [2] König, L.A., Winter, M., Schüler, H.: Tritium in Niederschlägen, Oberflächen-, Grund- und Trinkwasser - Ergebnisse eines Meßprogrammes mit Schwerpunkt im Raum Nordbaden in den Jahren 1975 und 1976. KfK 2520 (Dezember 1977)
- [3] König, L.A., Winter, M.: Tritium in Water and Plants - Summary Report of Results Obtained in a Measuring Program of Several Years Duration. KfK 2521 (Oktober 1977)
- [4] Rosinski, S.W., Winter, M.: The Impact of Tritium Contamination of Air Humidity and Ground Water on the Tritium Concentration of Tissue Water in Plants Studied under Real Conditions. KfK 2445 (August 1977)
- [5] Slade, D.H., Editor: Meteorology and Atomic Energy 1968. TID 24190 (July 1968)
- [6] IAEA: Application of Meteorology to Safety at Nuclear Plants. Safety Series No. 29, Vienna (1968)
- [7] Thomas, P., Hübschmann, W., König, L.A., Schüttelkopf, H., Vogt, S., Winter, M.: Experimental Determination of the Atmospheric Dispersion Parameters over Rough Terrain, Part 1: Measurements at the Karlsruhe Nuclear Research Center. KfK 2285 (1976)
- [8] Thomas, P., Nester, K.: Experimental Determination of the Atmospheric Dispersion Parameters over Rough Terrain, Part 2: Evaluation of Measurements. KfK 2286 (1976)
- [9] Dilger, H., Hübschmann, W., Nagel, D., Nester, K., Thomas, P.: Die Parameter der atmosphärischen Ausbreitung in der Umgebung des Kernforschungszentrums Karlsruhe. KfK 2499 (Oktober 1977)
- [10] Vogt, S.: unveröffentlicht
- [11] Koranda, J.J., Martin, J.R.: The Movement of Tritium in Ecological Systems. In: Moghissi, A.A., Carter, M.W. (Editors): Tritium. Messenger Graphics, Phoenix, Arizona and Las Vegas, Nevada (May 1973). (CONF-710809)