

KfK 3073
November 1980

Die Messung der Abwasserverdünnung im Altrhein mit der Tritiumemission des Kernforschungszentrums Karlsruhe

M. Pimpl. H. Schüttelkopf
Hauptabteilung Sicherheit
Projekt Nukleare Sicherheit

Kernforschungszentrum Karlsruhe

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Hauptabteilung Sicherheit
Projekt Nukleare Sicherheit

KfK 3073

Die Messung der Abwasserverdünnung im Altrhein mit der Tritiumemission
des Kernforschungszentrums Karlsruhe

M. Pimpl, H. Schüttelkopf

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

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

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
ISSN 0303-4003

ZUSAMMENFASSUNG

Unter Verwendung der Tritiumemissionen mit den Abwässern des Kernforschungszentrums Karlsruhe wurden an sechs Positionen des Altrheins, der als Vorfluter dient, der Wasserdurchsatz und der Verdünnungsfaktor für die Abwässer bestimmt. An der Einleitungsstelle der Abwässer beträgt der Wasserdurchsatz im Jahresmittel $0,28 \text{ m}^3/\text{s}$. Nach einem raschen Anstieg innerhalb der nächsten 600 m auf $0,38 \text{ m}^3/\text{s}$ bleibt der Durchsatz ziemlich konstant bei $0,45 \text{ m}^3/\text{s}$ bis km 5,3. Nach der Einmündung des östlichen Herrenwassers in den Vorfluter steigt der Durchsatz auf ca. $1 \text{ m}^3/\text{s}$ an und wird im weiteren Verlauf bis km 12,3 durch kleinere Zuflüsse nur unwesentlich erhöht. Erst beim Zusammenfluß mit dem Rußheimer Altrhein nimmt der Wasserdurchsatz noch einmal stark zu und beträgt bei km 13,5 im Kanalsystem Richtung Philippsburg ca. $1,9 \text{ m}^3/\text{s}$. Der Verdünnungsfaktor ändert sich genau entgegengesetzt. Direkt nach der Einleitung in den Vorfluter werden die Abwässer auf das 20-fache verdünnt. Durch die Zunahme des Wasserdurchsatzes erfolgt bei km 13,5 eine 125-fache Verdünnung, bezogen auf die Einleitungskonzentration.

The Determination of the Dilution of Aqueous Effluents from the Karlsruhe Nuclear Research Center in Old River Rhine Using ^3HHO Releases

ABSTRACT

Using the tritium releases in aqueous effluents from the Karlsruhe Nuclear Research Center, water flow and dilution factors were determined at six positions at the Old River Rhine, which serves as a main canal. At the point of discharge, a water flow of $0.28 \text{ m}^3/\text{s}$ was evaluated. Within the next 600 m a quick increase up to a value of $0.38 \text{ m}^3/\text{s}$ was determined. Further on downstream, a water flow relatively constant of $0.45 \text{ m}^3/\text{s}$ was measured up to km 5.3. Downstream the junction of the "Östliches Herrenwasser" and the main canal, the water flow reached a value of $1 \text{ m}^3/\text{s}$, and further on until km 12.3 increases only insignificantly by taking up small tributaries. Downstream the junction with the "Rußheimer Altrhein" the water flow increased rapidly and at km 13.5 in the canal in direction to Philippsburg, a value of $1.9 \text{ m}^3/\text{s}$ was determined. The dilution factor changes exactly contrary. Immediately downstream the point of discharge, the liquid effluents were diluted by a factor of 20. With increasing water flow up to km 13.5, the dilution increased to a factor of 125, respectively to the concentration in the liquid effluents.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung
2. Probenahme und Probenvorbereitung
3. Theoretische Betrachtung zur Berechnung von Durchfluß und Abwasser-
verdünnung im Altrhein
4. Ergebnisse
5. Die Berechnung des Durchflusses und der Verdünnung entlang dem Alt-
rhein
6. Literatur

1. EINLEITUNG

Im Forschungsprogramm PNS-4812 - Das physikalische und chemische Verhalten der biologisch besonders wirksamen Radionuklide Pu, Am und Cm - wird zur Zeit die Änderung der Plutoniumkonzentration im Abwasser des Kernforschungszentrums Karlsruhe nach der Einleitung in den Altrhein untersucht. Die Konzentrationsabnahme erfolgt durch die Verdünnung der Abwässer durch das Altrheinwasser, durch Sedimentation und durch Aufnahme in Lebewesen. In diesem Bericht wird die Verdünnung des Altrheinwassers durch Grundwasser und Nebenflüsse untersucht. Dazu wird der ^3HHO -Ausstoß mit den Abwässern des Kernforschungszentrums Karlsruhe benutzt, indem die Verdünnung der ^3HHO -haltigen Abwässer entlang dem Altrhein durch das praktisch ^3HHO -freie Oberflächenwasser gemessen wird.

2. PROBENAHE UND PROBENVORBEREITUNG

An maximal acht Stellen am Altrhein wurden Wasserproben genommen. Die erste Probenahmestelle lag 20 m flußabwärts von der Abwassereinleitungsstelle. Es wurde angenommen, daß der Abwasserstrahl und der an dieser Stelle etwa 4 m breite Altrhein sich bis zu dieser Position bereits weitgehend gemischt hatten. Da aus früher durchgeführten Untersuchungen bekannt war, daß der größte Teil des emittierten Plutoniums in den Sedimenten der ersten 3,5 km des Altrheins nach der Abwassereinleitung abgelagert ist [1], wurden in diesem Bereich drei weitere Probenahmestellen ausgewählt. Bis zur Einmündung in den Rhein bei Philippsburg wurden zwei weitere Probenahmestellen bei 5,5 und 13,5 km festgelegt. Die Installation eines Probenahmegerätes an der Einleitung in den Rhein bei km 23,5 war technisch nicht möglich.

Zur Messung der Untergrundkonzentration an Tritium und Plutonium wurden 250 m oberhalb der Abwassereinleitung regelmäßig Proben genommen. An dieser Stelle wurden im Wasser erhöhte Tritiumkonzentrationen, verglichen mit dem natürlichen Untergrund, und im Wasser und in den Sedimen-

ten Plutonium mit der Isotopenverteilung von wiederaufgearbeitetem Plutonium gefunden. Daher wurde ein weiteres Probenahmegerät 750 m flußaufwärts von der Abwassereinleitung installiert. Hier wurden die für Tritium und Plutonium typischen Falloutwerte gefunden. Die Probenahmepositionen sind in Abb. 1 dargestellt.

An den angegebenen Probenahmestellen erfolgte eine quasikontinuierliche Wasserprobenahme mit dem ISCO-1580 Sampler der Firma Colora Meßtechnik GmbH, 7073 Lorch. Alle zwei Stunden saugte eine Schlauchpumpe 110 ml des Altrheinwassers an. Dies entspricht einer 10-l-Wochenprobe und damit einer Monatsprobe von 40 l bzw. 50 l, je nach Überwachungszeitraum. Der Ansaugkopf des Probenahmegerätes wurde, soweit das möglich war, in der Mitte des Altrheins und im Wasser schwimmend installiert. Die Probenahme erfolgte von Juni 1979 bis Juni 1980. Im Januar 1980 fielen die Probenahmegeräte wegen Vereisung des Altrheins aus.

Als Ergänzung zu den quasikontinuierlich genommenen Proben wurden jeweils in der Monatsmitte am Montagmorgen Schöpfproben an den in Abb. 1 angegebenen Probenahmepositionen entnommen. Von Mai bis Juli 1979 wurden jeweils 50-l-Proben entnommen, wobei im Juli und August die Probenahme nicht am Montagmorgen erfolgte. Ab September 1979 wurde dann jeweils nur noch 1 l Altrheinwasser geschöpft.

Die 50-l-Wasserproben wurden bereits während der Probenahme in Gefäße filtriert, in denen 7 ml 65-prozentige HNO_3 pro Liter Wasser vorgelegt waren. Die 1-l-Proben wurden ohne Konservierung direkt zur Tritiumbestimmung weitergeleitet.

Die Chemieabwässer des Kernforschungszentrums Karlsruhe werden in vier Endbecken zu 600 m³ gesammelt. Die häuslichen Abwässer werden in zwei Endbecken zu 450 m³ gesammelt. Ist ein Endbecken voll, wird es durchmischt und über die Pumpstation durch eine 2,9 km lange Rohrleitung in den Altrhein gebracht (siehe Abb. 2). In diesem Kanal wird das Abwasser durch die häuslichen Abwässer der KHG in einem geringen Maße verdünnt. Bei einzelnen Ableitungen von Chemieabwässern erfolgt gleichzeitig die Ableitung von häuslichen Abwässern.

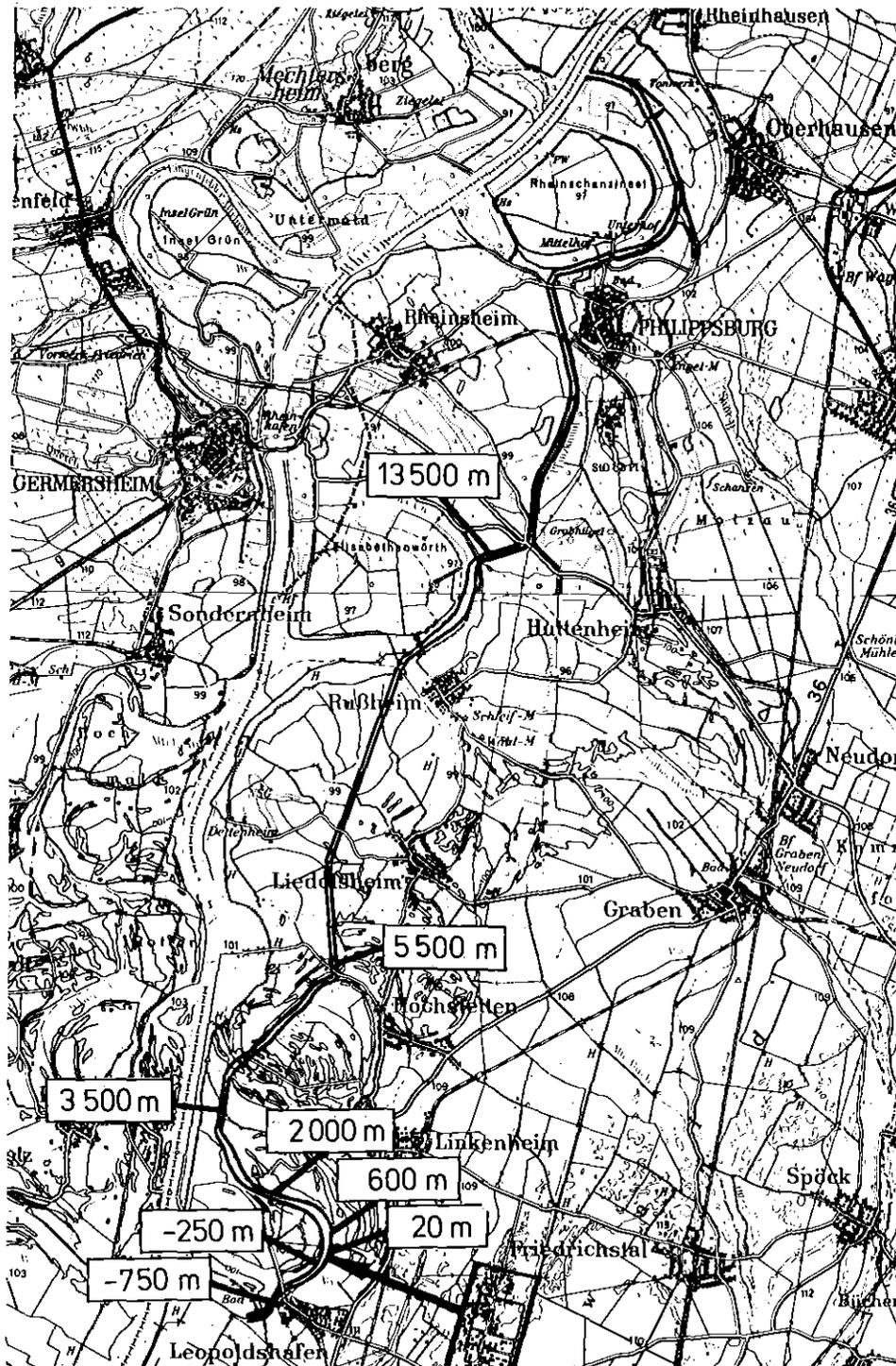


Abb. 1: Entnahmestellen der Wasserproben am Altrhein

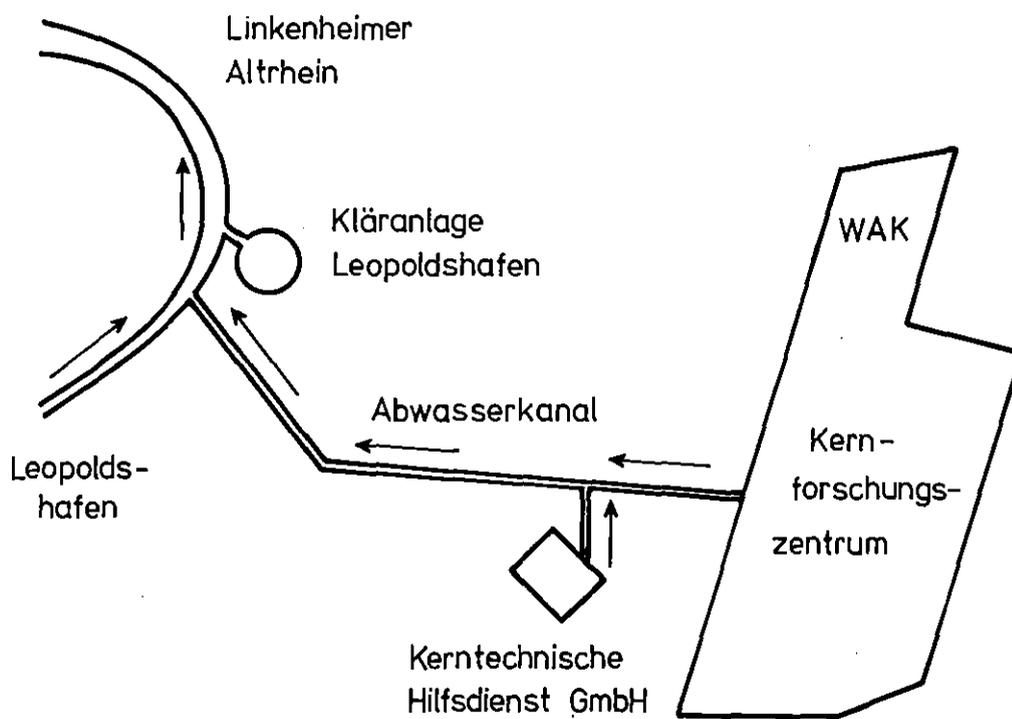


Abb. 2: Verlauf des Abwasserkanals, durch den die Abwässer aus der Kläranlage des Kernforschungszentrums Karlsruhe in den als Vorfluter dienenden Altrhein abgegeben werden

Die Probenahme aus den Endbecken erfolgte zwischen der Durchmischung und der Ableitung des Endbeckens. Am Kanalende wurden die Proben mit einem 1-l-Schöpfgefäß entnommen. Auch diese Wasserproben wurden filtriert und angesäuert.

Eine kleine Menge der Wasserproben wurde destilliert, 10 ml Destillat mit 12 ml Insta-Gel vermischt, die Proben zwei Stunden bei 70 °C getempert und dann 10 Minuten im Liquid Scintillation Counter BF-5000 der Firma Berthold, 7547 Wildbad, gemessen. Berücksichtigt man den geringen Aufwand für Probenvorbereitung und Messung von Tritiumproben, erscheint die Gesamtzahl der gesammelten Proben gering. Da aber jede der hier beschriebenen Proben - mit Ausnahme einiger Schöpfproben - auch auf Plutonium analysiert wurde und der Zeitaufwand für die Plutoniumanalyse hoch ist, konnte keine größere Probenzahl verarbeitet werden.

3. THEORETISCHE BETRACHTUNG ZUR BERECHNUNG VON DURCHFLUSS UND ABWASSER-VERDÜNNUNG IM ALTRHEIN

In einem Endbecken für Chemieabwässer mit dem Volumen V_E befindet sich die Tritiumaktivität A_E . Die Konzentration von Tritium im Endbecken C_E wird durch die Einleitung während der Zeit t_e in den Altrhein mit dem Durchfluß D_E auf die Tritiumkonzentration des Altrheins C_A verdünnt, wenn der Durchfluß durch den Altrhein D_A beträgt. Für die Tritiumkonzentrationen C_E und C_A in Endbecken und Altrhein während der Ableitung eines Endbeckens gilt:

$$C_E = \frac{A_E}{D_E \cdot t_e} \quad (1)$$

$$C_A = \frac{A_A}{D_A \cdot t_e} \quad (2)$$

Da der Tritiumgehalt des Altrheins vor der Einleitung vernachlässigbar niedrig ist, gilt, daß $A_E = A_A$ während der Emissionszeit t_e . Man erhält aus (1) und (2) für den Durchfluß des Altrheins während einer Endbeckenableitung:

$$D_A = \frac{A_E}{t_e \cdot C_A} \quad (3)$$

Für n Abwassereinleitungen ergibt sich der mit der Emissionszeit gewichtete Mittelwert des Altrheindurchflusses \bar{D}_A zu:

$$\bar{D}_A = \frac{\sum_1^n t_{e,i} \cdot D_{A,i}}{n} = \frac{\sum_1^n \frac{A_{E,i}}{C_{A,i}}}{\sum_1^n t_{e,i}} \quad (4)$$

Die Messung von Tritium im Altrhein unterhalb der Einleitungsstelle an sechs Probenahmepositionen bei jeder Abgabe eines Endbeckens bei $n = 50 - 100$ Endbecken/Monat war wegen des enormen Zeitaufwandes, den eine solche Aktion bedeutet hätte, nicht möglich. Zusätzlich hätte bekannt sein müssen, wie lange ein "Tritiumpfropfen" benötigt, um die einzelnen Probenahmepositionen unterhalb der Abwassereinleitung zu erreichen. Daher wurde, wie in Kapitel 2 beschrieben, eine mittlere monatliche Konzentration gemessen und die einzelnen $A_{E,i}$ zu einer Monatsabgabe aufsummiert. $A_{E,i}/C_{A,i}$ in (4) konnten nicht gemessen werden.

Für die im Probenahmezeitraum abgegebene Tritiumaktivität A_p gilt:

$$A_p = \sum_1^n A_{E,i} \quad (5)$$

Die mittlere Tritiumkonzentration $\bar{C}_{A,m}$, gemessen im Altrhein, erhält man aus:

$$\bar{c}_{A,m} = \frac{C_{A,1} \cdot t_{e,1} + C_{A,2} \cdot t_{e,2} + \dots + C_{A,n} \cdot t_{e,n} + UG \cdot (t_p - \sum_1^n t_{e,i})}{t_{e,1} + t_{e,2} + \dots + t_{e,n} + (t_p - \sum_1^n t_{e,i})} \quad (6)$$

t_p ist dabei die Dauer der Probenahme; UG ist der Tritiumgehalt im Altrheinwasser zu der Zeit, wenn keine Abwässer eingeleitet werden. Da dieser Untergrund UG an Tritium vernachlässigbar klein ist, ergibt sich mit $UG = 0$:

$$\bar{c}_{A,m} = \frac{\sum_1^n C_{A,i} \cdot t_{e,i}}{t_p} \quad (7)$$

Um die Summe der Quotienten von (4) aus dem Quotienten der Summen von (5) und (7) berechnen zu können, wurde folgende Überlegung durchgeführt. Durch zweimaliges Umformulieren von (2) und Summieren beider Seiten über n Endbeckenableitungen erhält man folgende Beziehungen:

$$\sum_1^n D_{A,i} \cdot t_{e,i} = \sum_1^n \frac{A_{E,i}}{C_{A,i}} \quad (8)$$

$$\sum_1^n C_{A,i} = \sum_1^n \frac{A_{E,i}}{D_{A,i} \cdot t_{e,i}} \quad (9)$$

Die Emissionsdauer t_e beträgt sehr genau bei allen Emissionen aus den Endbecken für Chemieabwässer zwei Stunden. Für den größten Teil des Jahres gilt, daß der Altrheindurchfluß während der Probenahmedauer als konstant angesehen werden darf. Mit diesen Voraussetzungen erhält man aus (8) und (9):

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{A_{E,i}}{C_{A,i}} = \frac{\sum_{i=1}^n A_{E,i}}{\sum_{i=1}^n C_{A,i}} \quad (10)$$

Mit (4), (5), (7) und (10) erhält man für \bar{D}_A :

$$\bar{D}_A = \frac{A_p}{\bar{C}_{A,m} \cdot t_p} \quad (11)$$

Nach (11) kann der mittlere monatliche Wasserdurchsatz an den verschiedenen Probenahmepositionen berechnet werden.

Der Verdünnungsfaktor f_V ist nach [2] definiert als:

$$f_V = \frac{V_A}{V_F} \quad (12)$$

Dabei ist V_A das abgegebene Abwasservolumen und V_F das im gleichen Zeitraum durch den als Vorfluter dienenden Fluß geströmte Wasser.

$$V_A = 600 \cdot n_1 + 450 \cdot n_2 \quad V_F = \bar{D}_A \cdot t_p = \frac{A_p}{\bar{C}_{A,m}} \quad (13), (14)$$

n_1 ist die Anzahl der abgegebenen Endbecken mit Chemieabwasser, n_2 die Anzahl der Endbecken mit häuslichen Abwässern.

Durch Einsetzen von (13) und (14) in (12) erhält man die mittlere monatliche Verdünnung der Abwässer an den einzelnen Probenahmepositionen.

$$f_V = \frac{(600 \cdot n_1 + 450 \cdot n_2) \cdot \bar{C}_{A,m}}{A_p} = \frac{\bar{C}_{A,m}}{\bar{C}_E} \quad (15)$$

(11) und (15) wurden zur Berechnung der Ergebnisse benutzt.

4. ERGEBNISSE

Monatlich werden zwischen 50 und 100 Endbecken mit Chemieabwässern und Tritiumaktivität aus dem Kernforschungszentrum Karlsruhe abgeleitet. In Abb. 3 ist die Tritiumaktivität pro Ableitung für Juni 1979 als Beispiel wiedergegeben. Allgemein gilt, daß die Ableitung nur am Tag während der Arbeitszeit erfolgt und daß samstags bzw. sonntags keine Ableitungen durchgeführt werden. In Tab. 1 werden die in den einzelnen Probenahmezeiten von Juni 1979 bis Juni 1980 abgeleiteten Tritiumaktivitäten wiedergegeben. Diese Aktivitäten werden für die Berechnung des Altrheindurchflusses benötigt.

Während des Abpumpvorganges aus einem Endbecken für Chemieabwässer wurden 14 Schöpfproben während und knapp nach dem Pumpenbetrieb aus dem Einleitungskanal der Abwasserleitung in den Altrhein genommen. Wie aus Abb. 4 hervorgeht, fließt am Anfang des Pumpbetriebes Wasser geringer Tritiumkonzentration aus der Abwasserleitung. Dieses Wasser dürfte häusliches Abwasser der KHG sein. Nach einer Verzögerung von ca. 20 Minuten erreicht das Chemieabwasser den Auslauf der Abwasserleitung. Die Tritiumkonzentration bleibt dann weitgehend konstant. Nach Beendigung des Pumpvorganges fließt entsprechend der Länge des Abwasserrohres etwa 20 Minuten lang weiteres Chemieabwasser in den Altrhein. Die Tritiumkonzentration, die vor der Entleerung im Endbecken gemessen wurde, ist etwas höher als der Mittelwert der einzelnen Schöpfproben am Auslauf. Dies entspricht der Erwartung, daß häusliches Abwasser der KHG kontinuierlich dem Abwasserstrom zugemischt wird. Eine am Abwasserauslauf genommene Mischprobe wies dieselbe Tritiumkonzentration auf wie der Mittelwert der einzelnen Schöpfproben.

In Tab. 2 sind Tritiumkonzentrationen aus Endbecken 4 vor der Entleerung den Werten gegenübergestellt, die während der jeweiligen Einleitung in den Altrhein im Einlaufkanal gemessen wurden. Die Tritiumkonzentrationen, die im Endbecken gemessen wurden, lagen um 10 bis 20 % über den Meßwerten, die am Auslauf in den Altrhein erhalten wurden. Auch dieser Unterschied wird erklärt durch die Zufuhr von häuslichen Abwässern der KHG.

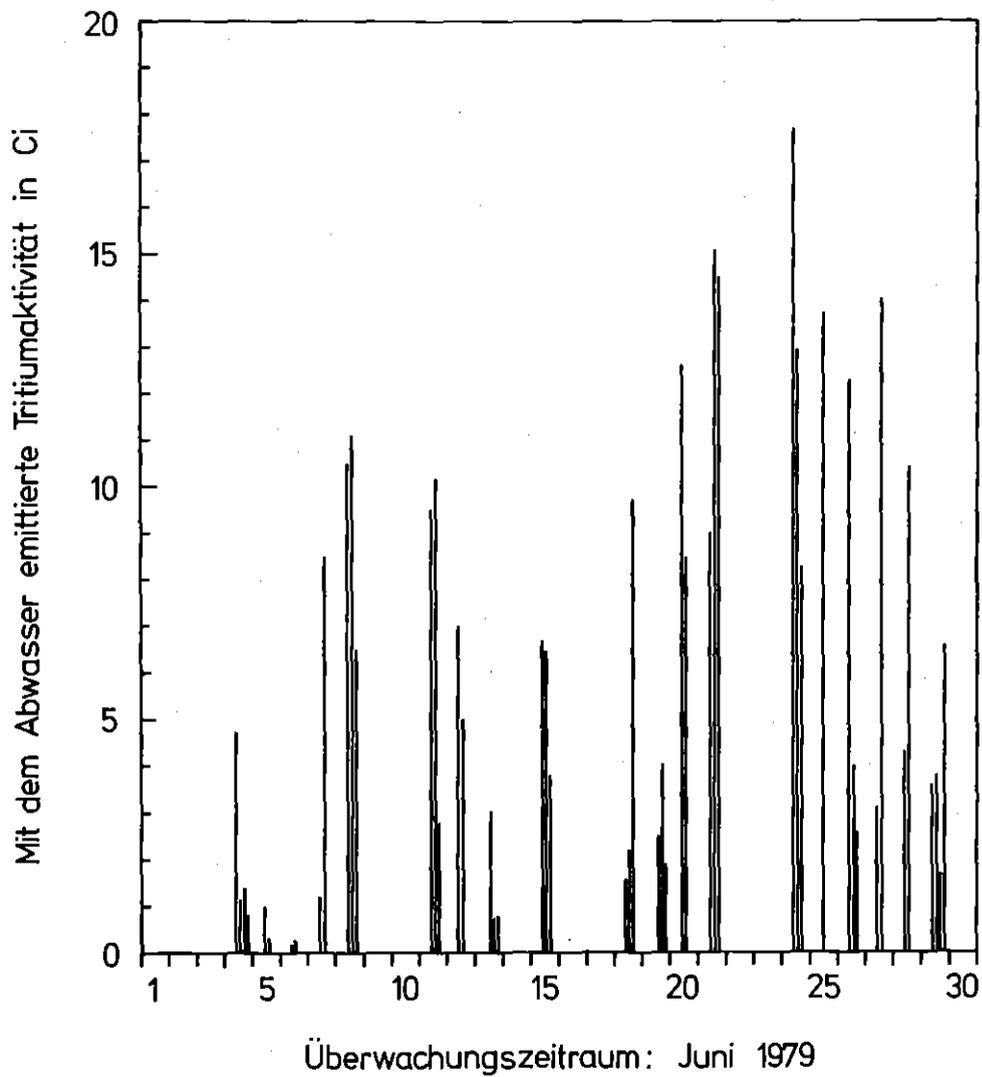


Abb. 3: Zeitlicher Verlauf der Tritiumemissionen mit den Abwässern des Kernforschungszentrums Karlsruhe im Juni 1979

Zeitraum	³ H-Aktivität in Ci	Volumen in m ³	³ H-Konzentr. in mCi/m ³
11.06. - 18.06.1979*	55,7	8 400	6,63
18.06. - 24.06.1979*	117	10 500	11,1
02.07. - 30.07.1979	469	45 600	10,3
30.07. - 03.09.1979	337	48 750	6,91
03.09. - 01.10.1979	205	35 100	5,84
01.10. - 05.11.1979**	692	41 550	16,7
05.11. - 03.12.1979**	703	36 000	19,5
03.12. - 31.12.1979	472	35 250	13,4
04.02. - 03.03.1980	215	36 000	5,97
03.03. - 31.03.1980	210	38 400	5,46
31.03. - 05.05.1980**	312	47 550	6,57
05.05. - 02.06.1980**	274	39 300	6,97
02.06. - 27.06.1980	122	39 900	3,05

Tab. 1: Die Tritiumemissionen mit dem Abwasser des Kernforschungszentrums Karlsruhe von Juni 1979 bis Juni 1980

*Wochenmischproben

**Probenahmezeitraum stimmt nicht mit Überwachungszeitraum überein

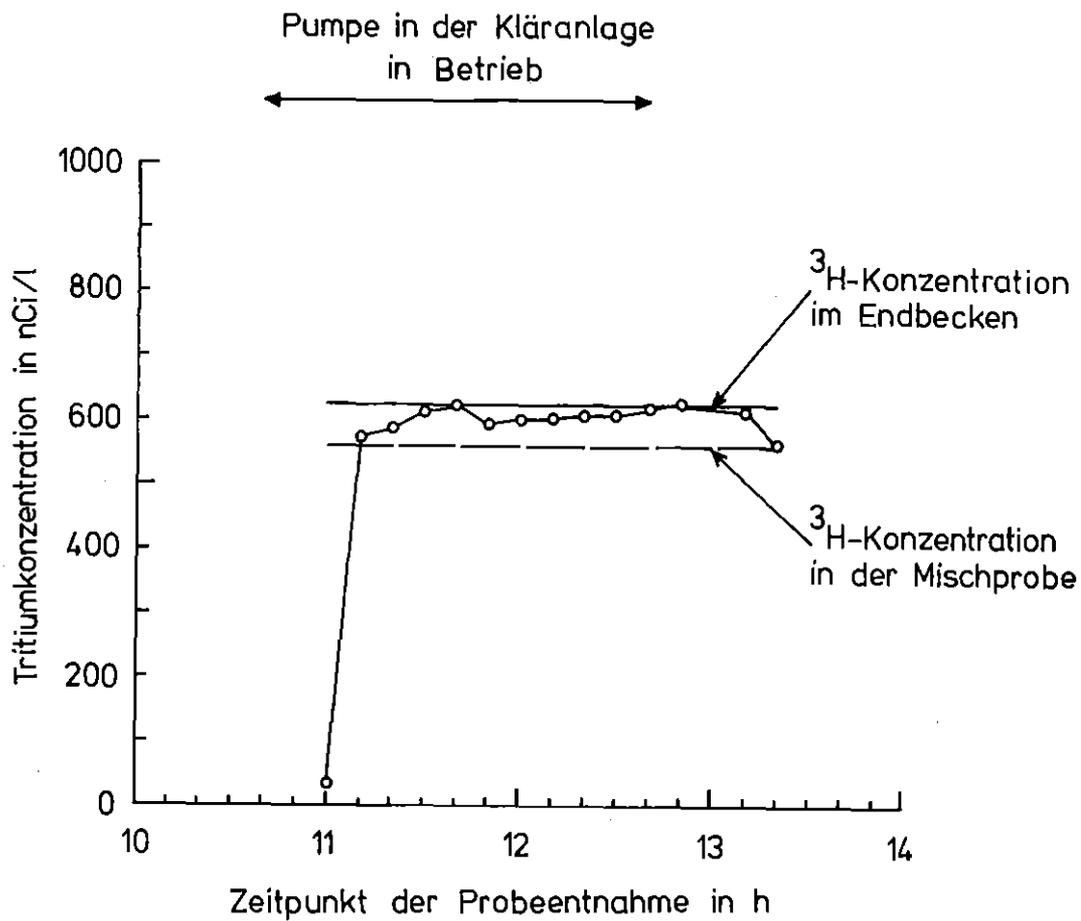


Abb. 4: Die Tritiumkonzentration in einem Endbecken der Kläranlage vor der Entleerung und im Einleitungskanal in den Altrhein im Verlauf der Einleitung

Datum der Probenahme	Tritiumkonzentration in nCi/l	
	Endbecken 4 der Kläranlage	Einleitungskanal in den Altrhein
11.04.1980	622	561
10.06.1980	11 464	10 167
09.07.1980	232	190

Tab. 2: Die Tritiumkonzentration in einem Endbecken der Kläranlage des Kernforschungszentrums Karlsruhe vor der Entleerung und im Einlaufkanal in den Altrhein während der Einleitung

Die Tritiumkonzentrationen in den Monatsmischproben vom Altrhein werden in Tab. 3 wiedergegeben. Die Konzentrationen, die bei 750 m flußaufwärts gemessen wurden, entsprechen dem aktuellen Nulleffekt des Fallouts. 250 m oberhalb der Abwassereinleitung war die Tritiumkonzentration in drei bzw. vier Monaten höher, als der Fallout erwarten läßt. Wegen dieser Werte und der gleichzeitig gefundenen Plutoniumaktivität muß angenommen werden, daß ein Rückstau der Abwässer wenigstens bis 250 m oberhalb der Einleitung erfolgt. Wie aus den Meßwerten in Tab. 3 hervorgeht, traten Probleme bei der Erfassung der mittleren Tritiumkonzentration im Altrhein im August 1979, im Dezember 1979 und an der Probenahme-position 2 km unterhalb der Abwassereinleitung auf. Im August 1979 wird angenommen, daß durch Niedrigwasser einerseits und durch starke Verkräutung andererseits die Ansaugköpfe der Probenahmegeräte vom Tritium führenden Hauptstrom abgeschnürt wurden und daher die extrem niedrigen Tritiumkonzentrationen gemessen wurden. Im Dezember 1979 sind die Ursachen für die Fehlmessungen bei 20 m und 3,5 km unbekannt. Bei 2 km unterhalb der Abwassereinleitung ist der Altrhein bis zu 50 m breit, und daher kann der Ansaugkopf des Probenahmegerätes nur am Rand in den Altrhein gebracht werden. Diese Installation, etwa 4 m vom Ufer des Altrheins entfernt, dürfte bei niedrigem Wasserstand nicht immer ausreichenden Austausch mit dem Tritium führenden Hauptstrom gehabt haben.

Monat	Tritiumkonzentration in $\mu\text{Ci}/\text{m}^3$							
	-750 m	-250 m	20 m	600 m	2000 m	3500 m	5500 m	13500 m
Juni 1979			76,2	200	68,5	69,6	96,2	
Juli 1979			657	588	328	253	166	
August 1979			128	(6,08)	(5,61)	(7,53)	(9,54)	
September 1979		0,76	438	361	575	424	522	
Oktober 1979		95,7	1390	684	(5,72)	528	336	
November 1979		0,43	136	837	(8,92)	672	207	
Dezember 1979		0,32	(0,38)	121	120	(12,8)	55,6	
Februar 1980		0,43	340	69,3	(4,90)	47,8	63,6	28,3
März 1980		0,27	373	246	(30,7)	183	96,8	44,2
April 1980	0,42	1,81	1320	450	185	315	166	62,7
Mai 1980	0,42	6,71	610	244	689	227	116	71,4
Juni 1980	0,44	0,32	73,5	48,6	57,4	53,4	35,2	25,3

Tab. 3: Der Tritiumgehalt in den Monatsmischproben aus dem Altrhein an den einzelnen Entnahmestellen von Juni 1979 bis Juni 1980

In Tab. 4 sind die Tritiumkonzentrationen, die in den Schöpfproben gefunden wurden, dargestellt. Da die Probenahme im allgemeinen am Montag erfolgte und Samstag/Sonntag keine Abwassereinleitungen erfolgen, wurde erwartet, daß in den Schöpfproben nur unwesentlich über dem Falloutwert liegende Tritiumkonzentrationen gemessen werden können. Wegen des großen Volumens der einzelnen Becken, die der Altrhein durchströmt, war nicht auszuschließen, daß trotz eines emissionsfreien Wochenendes an den weiter flußabwärts gelegenen Probenahmepositionen erhöhte Tritiumkonzentrationen hätten gemessen werden können, entsprechend den letzten Abwasserabgaben vom Freitag vorher. Dieser Vorstellung entsprechen die Ergebnisse von Juni, Juli, August und eventuell Dezember 1979. Bei der Schöpfprobenahme im November 1979 und im Mai 1980 wurden offensichtlich während eines Rückstaus Proben genommen. Alle anderen Ergebnisse sind in anbetracht des Fehlens von Abwasseremissionen am Wochenende nicht verständlich.

Während des Normalwasserstandes wurden Breite und Wassertiefe des Linkenheimer Altrheins an 23 Positionen gemessen. Aus der unterhalb der Abwassereinleitung gemessenen Fließgeschwindigkeit wurden, unter Annahme eines konstanten Wasserdurchsatzes, auf den nächsten 3,5 km die Fließgeschwindigkeiten bei Normalwasserstand berechnet. Mit dem Fließgeschwindigkeitsmeßgerät Typ Ott-Universalflügel C 31 der Firma Ott GmbH, 8960 Kempten, wurden mittlere Fließgeschwindigkeiten auf den ersten 2 km unterhalb der Abwassereinleitung während einer Hochwasserperiode gemessen. Die Ergebnisse sind in Abb. 5 wiedergegeben. Die Fließgeschwindigkeit ist bei Hochwasser kleiner als bei Normalwasserstand, da Hochwasser im Altrhein bedeutet, daß der Wasserabfluß in den Rhein behindert wird und dadurch die verschiedenen Altrheinbecken durch das Altrheinwasser aufgefüllt werden. Dadurch steigt der Wasserstand, und die Fließgeschwindigkeit nimmt ab. Der Durchfluß des Altrheins dürfte wegen dieses Mechanismus' weitgehend als konstant angesehen werden. Eine direkte Korrelation zwischen Wasserführung des Altrheins und dem Wasserstand des Rheins (siehe Abb. 6) ist daher nicht festzustellen.

Datum der Probenahme	Tritiumkonzentration in $\mu\text{Ci}/\text{m}^3$							
	-750 m	-250 m	20 m	600 m	2000 m	3500 m	5500 m	13500 m
18.06.1979			3,87	2,98	3,21	1,40	2,15	
20.07.1979*			2,85	2,12	2,18	202	197	
14.08.1979*			0,88	0,55	72,4	24,6	30,3	
24.09.1979		0,29	236	195	134	166	207	
15.10.1979		0,19	1610	560	234	433	301	
19.11.1979		121	960	200	194	356	238	
17.12.1979		0,35	0,72	508	69,2	299	207	
18.02.1980		0,53	124	4,41	76,7	59,1	39,5	20,8
17.03.1980		0,32	202	95,2	38,4	73,8	51,6	23,7
14.04.1980	0,99	0,62	206	45,3	20,5	29,3	22,8	12,2
19.05.1980	0,41	16,8	667	122	31,8	117	76,8	29,3

Tab. 4: Der Tritiumgehalt in den einmal monatlich aus dem Altrhein an den einzelnen Entnahmestellen geschöpften Wasserproben

*Probenahme nicht am Montag

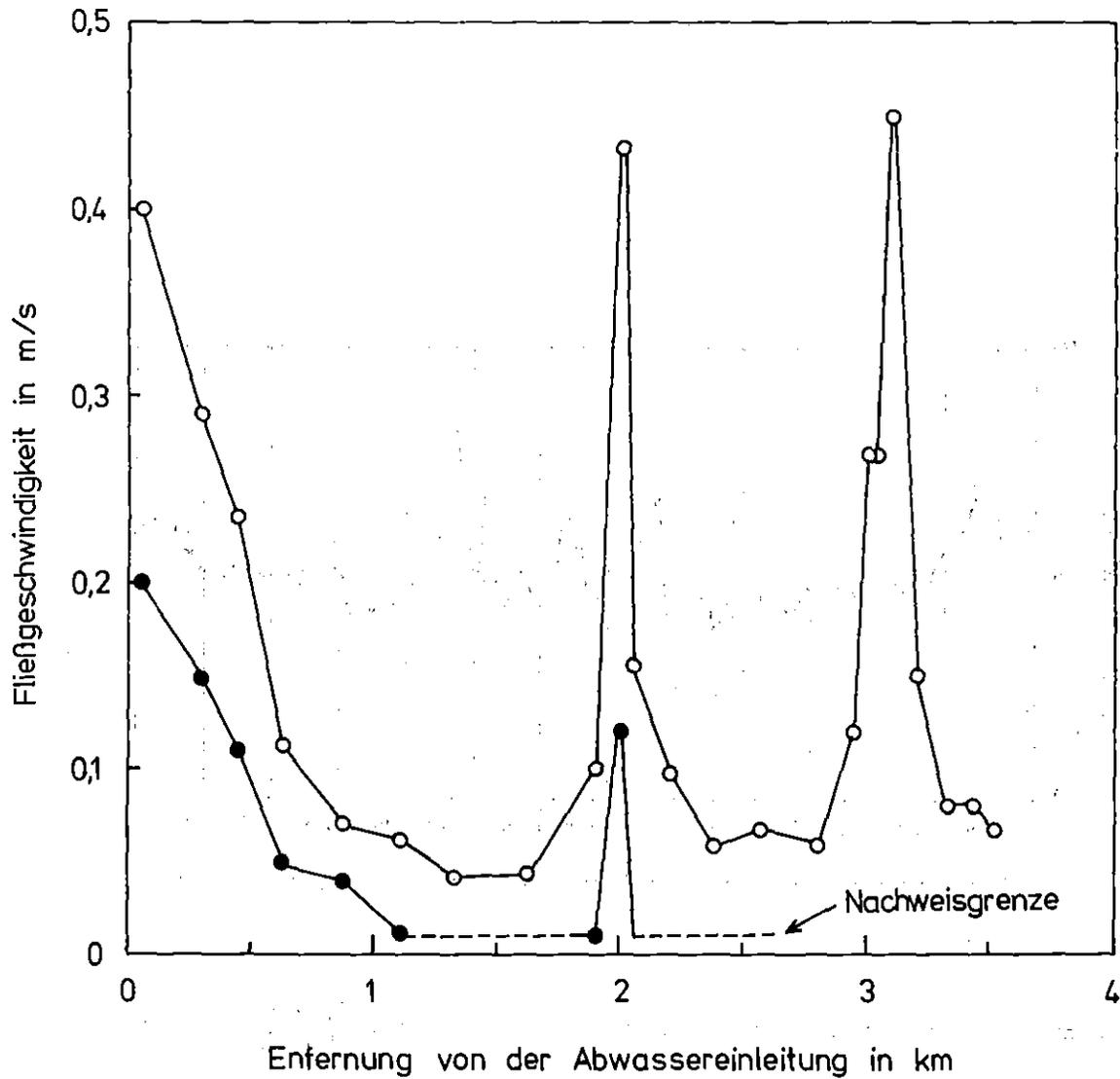


Abb. 5: Die Fließgeschwindigkeit im Altrhein bei Normalwasser und bei Hochwasser (\circ = Normalwasser, \bullet = Hochwasser)

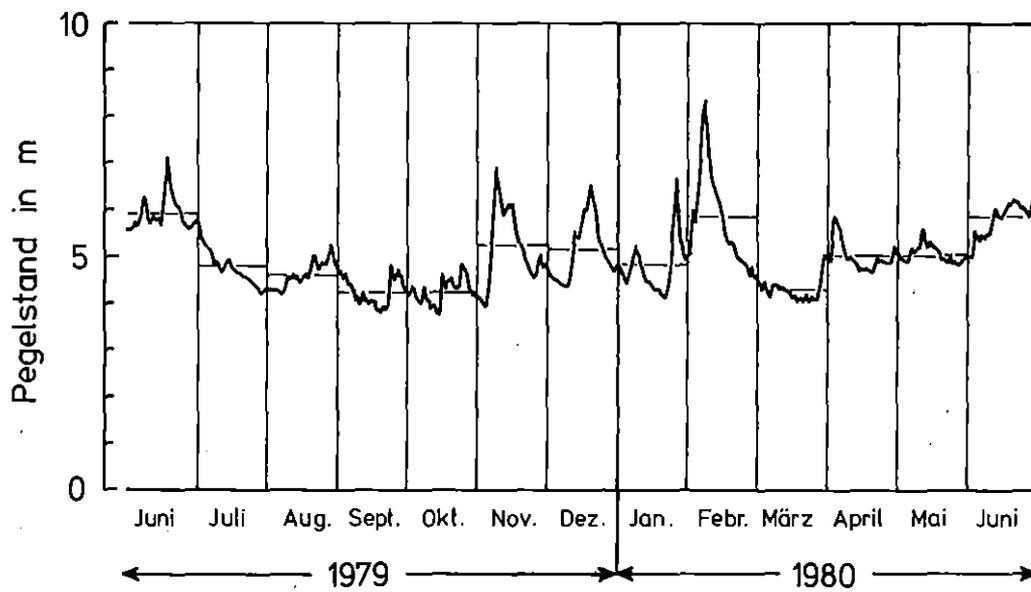
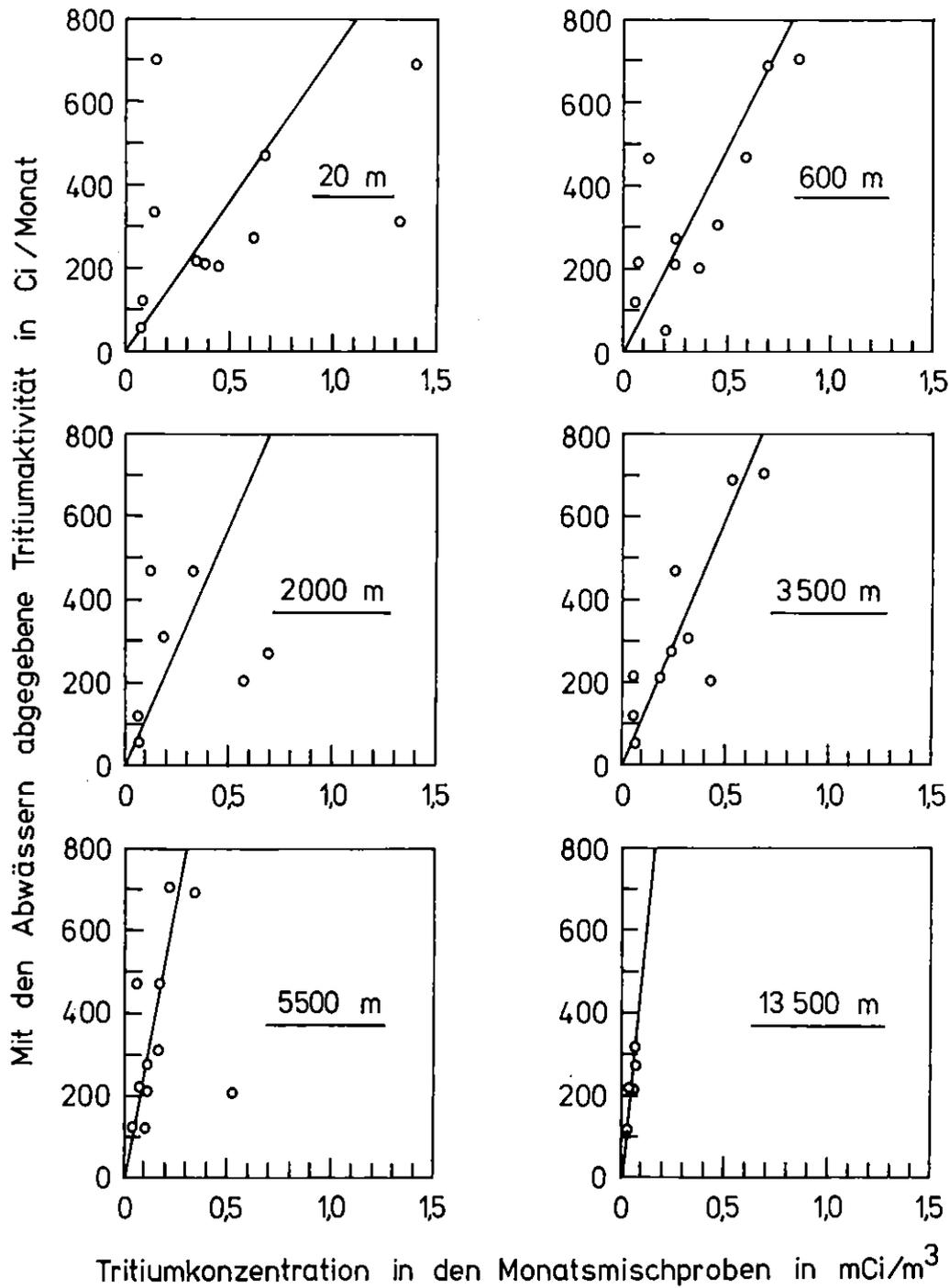


Abb. 6: Der Wasserstand des Rheins bei Maxau von Juni 1979 bis Juni 1980

5. DIE BERECHNUNG DES DURCHFLUSSES UND DER VERDÜNNUNG ENTLANG DEM ALTRHEIN

Außer den in Tab. 3 in Klammer gesetzten Tritiumkonzentrationen wurden alle Werte flußabwärts von der Einleitungsstelle für die Berechnung des mittleren Durchflusses des Altrheins in den Probenahmezeiten verwendet. Da nach (11) die Aktivität, die während der Probenahme aus dem Endbecken abgeleitet wurde, proportional ist der mittleren im Altrhein gemessenen Tritiumkonzentration, wurden in kartesischen Koordinaten die jeweils abgeleiteten monatlichen Gesamtaktivitäten den mittleren im Probenahmezeitraum gemessenen Tritiumkonzentrationen gegenübergestellt. Durch die so erhaltenen Punktscharen wurde nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate eine optimale Gerade gelegt. Die Steigung dieser Geraden, dividiert durch die Probenahmedauer t_p , ist der wahrscheinlichste Durchfluß des Altrheins an der jeweiligen Entnahmestelle im Jahresmittel. Die Ergebnisse an den sechs flußabwärts gelegenen Probenahmestellen werden in Abb. 7 und in Tab. 5 wiedergegeben. Aus Tab. 5 geht hervor, daß bei der Einleitungsstelle der Abwässer ein mittlerer Durchfluß von $0,28 \text{ m}^3/\text{s}$ als Jahresmittel für den Altrhein gültig ist. An der letzten Probenahmestelle 13,5 km unterhalb der Einleitungsstelle hat sich der Wasserdurchsatz um den Faktor 6 bis 7 erhöht. Aus Abb. 9 ist zu entnehmen, daß das östliche Herrenwasser und der Rußheimer Altrhein die wesentlichen Zuflüsse darstellen, die zur Erhöhung des Wasserdurchsatzes im Vorfluter auf dem Weg zum Rhein führen.

Zur Bestimmung der Verdünnungsfaktoren wird die Formel (15) verwendet. Danach ist die mittlere Tritiumkonzentration im Endbecken proportional der mittleren gemessenen Konzentration im Altrhein, der Proportionalitätsfaktor ist der Verdünnungsfaktor. In Abb. 8 wurden die nicht in Klammern stehenden Daten von Tab. 3 und die mittleren Tritiumkonzentrationen von Tab. 1 eingetragen. Durch die so erhaltenen Punktscharen wurden nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate optimale Geraden gelegt. Die Steigung der so erhaltenen Geraden ist gleich dem Verdünnungsfaktor. Die Ergebnisse für die Verdünnungsfaktoren sind in Tab. 6 für die verschiedenen flußabwärts gelegenen Probenahmepositionen angegeben.



 KfK

Abb. 7: Die Tritiumkonzentration im Altrheinwasser an den verschiedenen Entnahmestellen in Abhängigkeit von der monatlich mit den Abwässern eingeleiteten Tritiumaktivität von Juni 1979 bis Juni 1980

Entnahmestelle	Wasserdurchsatz in		
	m ³ /Jahr	m ³ /Monat	m ³ /Sekunde
20 m	8,7·10 ⁶	727·10 ³	0,28
600 m	11,9·10 ⁶	988·10 ³	0,38
2 000 m	13,8·10 ⁶	1 153·10 ³	0,45
3 500 m	14,4·10 ⁶	1 201·10 ³	0,46
5 500 m	29,1·10 ⁶	2 423·10 ³	0,93
13 500 m	57,9·10 ⁶	4 823·10 ³	1,86

Tab. 5: Der mittlere Wasserdurchsatz im Altrhein an den verschiedenen Probenahmestellen von Juni 1979 bis Juni 1980

Entnahmestelle	$f_V = \frac{{}^3\text{H-Konzentration im Altrhein}}{{}^3\text{H-Konzentration im Abwasser}}$
20 m	0,051
600 m	0,038
2 000 m	0,032
3 500 m	0,032
5 500 m	0,015
13 500 m	0,008

Tab. 6: Die mittlere Verdünnung der in den Altrhein eingeleiteten Abwässer des Kernforschungszentrums Karlsruhe an den verschiedenen Entnahmestellen von Juni 1979 bis Juni 1980

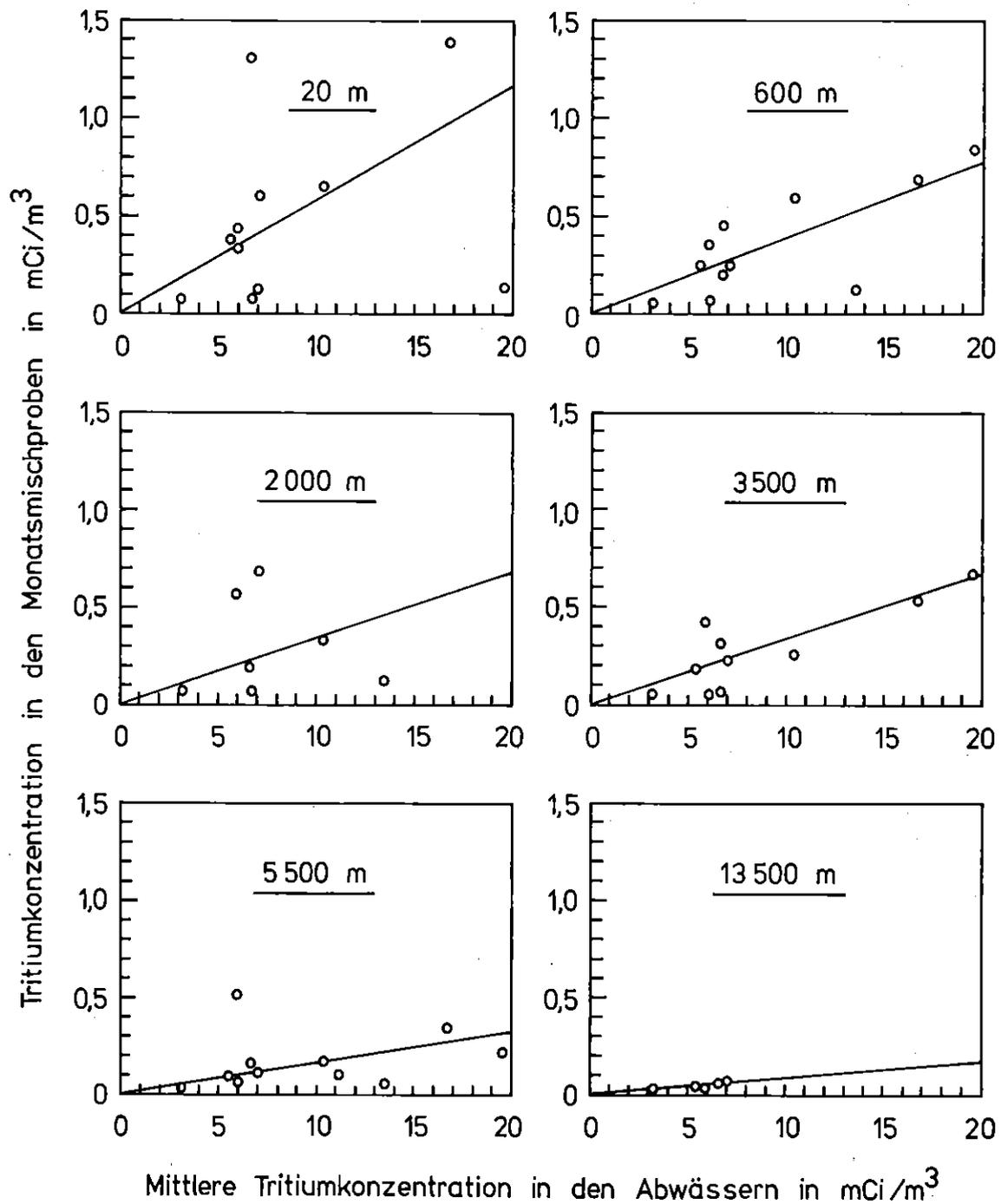


Abb. 8: Die Tritiumkonzentration im Altrheinwasser an den verschiedenen Entnahmestellen in Abhängigkeit von der mittleren monatlichen Tritiumkonzentration in den Abwässern von Juni 1979 bis Juni 1980

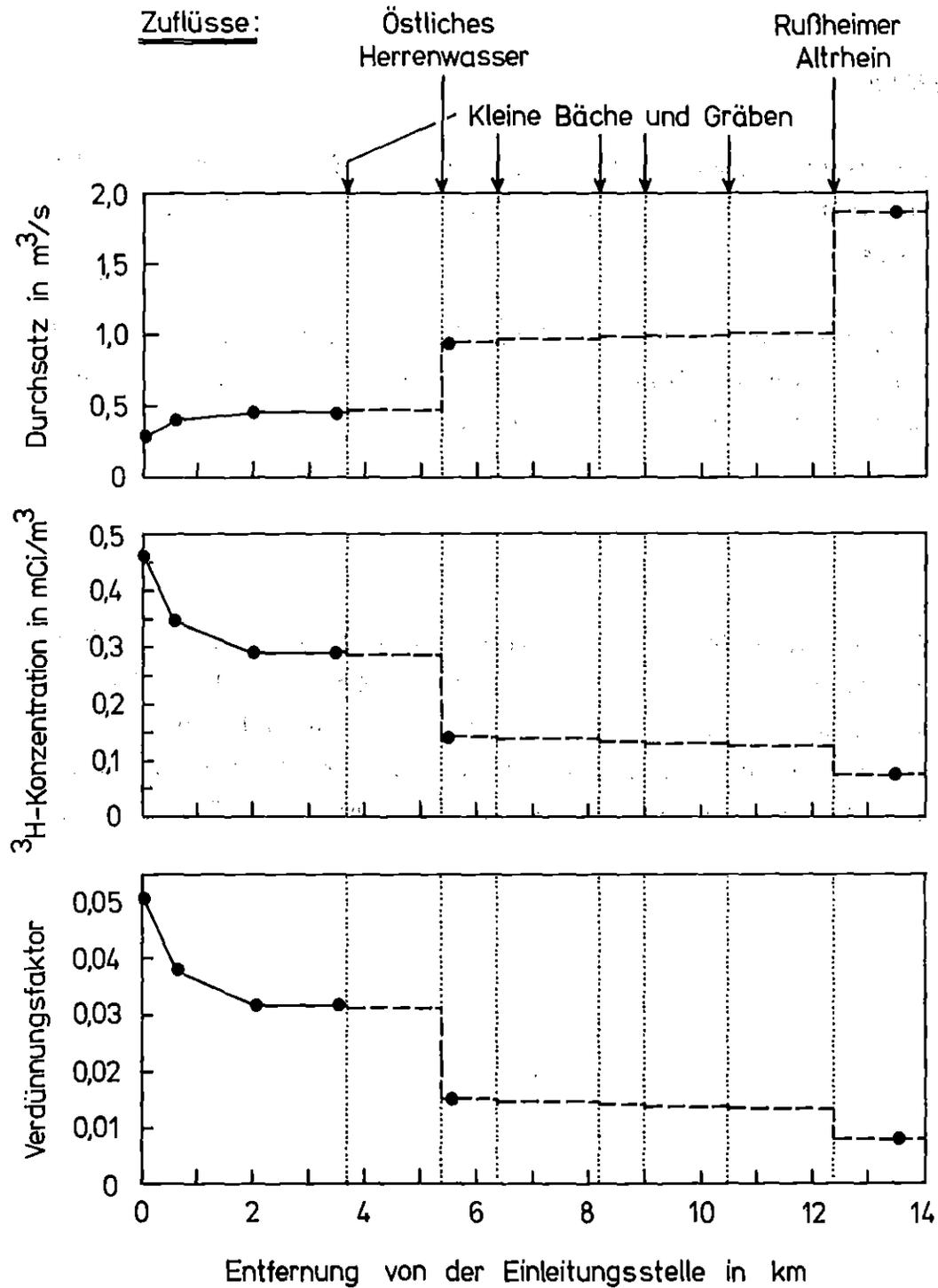


Abb. 9 : Mittlerer Wasserdurchsatz, mittlere Tritiumkonzentration und mittlerer Verdünnungsfaktor an den verschiedenen Entnahmestellen des Altrheins von Juni 1979 bis Juni 1980

6. LITERATUR

- [1] Die Plutoniumkontamination des Altrheins: Die Kontamination der Sedimente, M. Pimpl, H. Schüttelkopf, M. Afsar, KfK-2892 (Dezember 1979)
- [2] Allgemeine Berechnungsgrundlagen für die Strahlenexposition bei radioaktiven Ableitungen mit der Abluft oder in Oberflächengewässern, GMBI. 30 (Nr. 21), 371 (1979)

Wir danken an dieser Stelle allen Mitarbeitern der HS/R, die mit ihrer Arbeit die Voraussetzung für die Erstellung dieses Berichtes schufen. Insbesondere danken wir Herrn Bailer für seinen unermüdlichen Einsatz bei der Probenahme und Probenvorbereitung und Herrn Dr. Langguth und seinen Mitarbeitern für die sorgfältige Durchführung der Tritiumanalysen.