

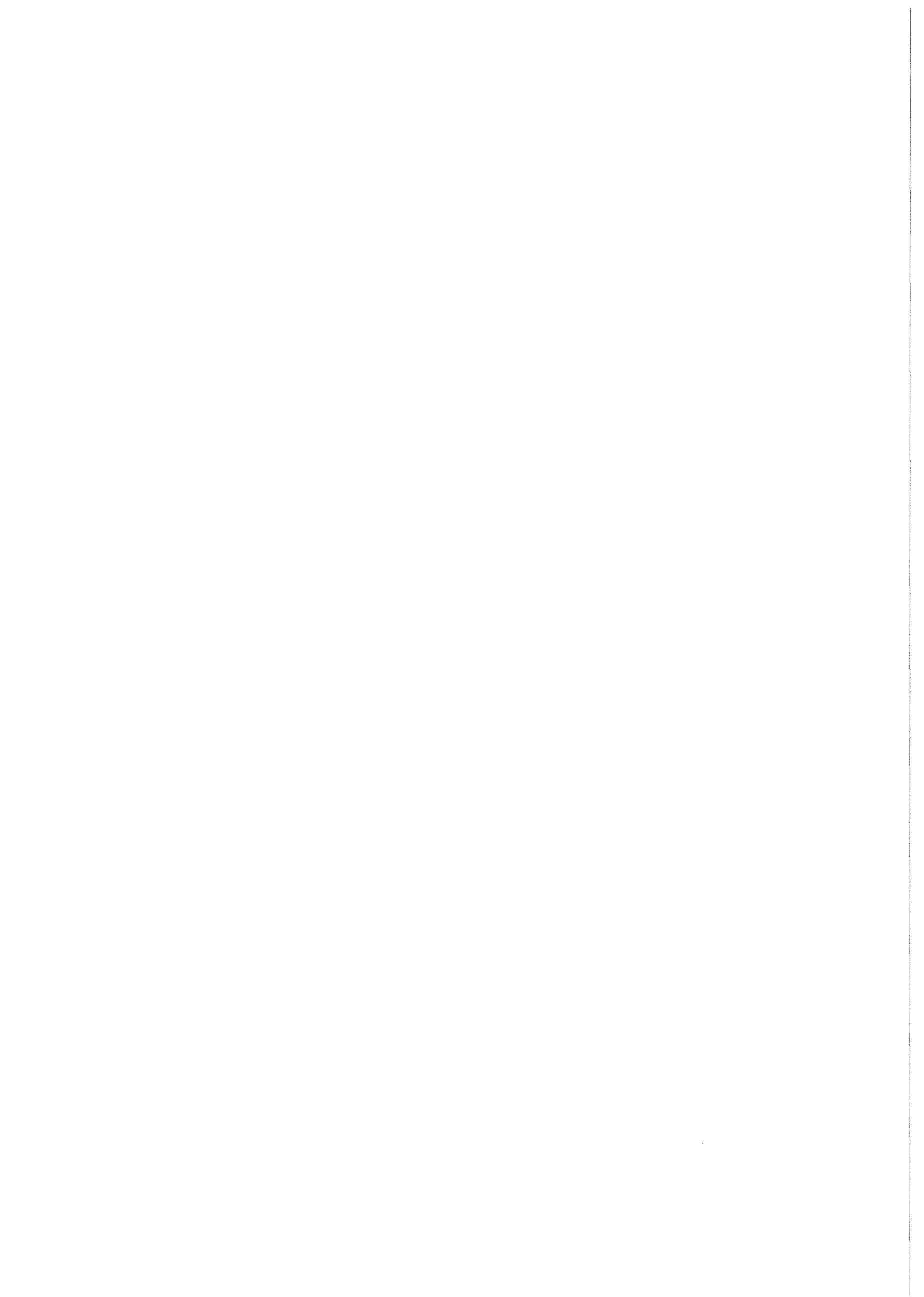
KfK 3435
Januar 1983

Hydrogeologische Verhältnisse im Bereich des KfK — Voruntersuchungen im Rahmen des F + E-Vorhabens:

**„Beseitigung tritiumhaltiger Abwässer
durch Einpressen in poröse Schichten des
tiefen Untergrundes“**

G. Tenhaeff, A. T. Jakubick
Institut für Nukleare Entsorgungstechnik

Kernforschungszentrum Karlsruhe



K E R N F O R S C H U N G S Z E N T R U M K A R L S R U H E

Institut für Nukleare Entsorgungstechnik

KfK 3435

Hydrogeologische Verhältnisse im Bereich des KfK
- Voruntersuchungen im Rahmen des F+E-Vorhabens:

"Beseitigung tritiumhaltiger Abwässer durch Einpres-
sen in poröse Schichten des tiefen Untergrundes"

G. Tenhaeff
A.T. Jakubick

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

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

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
ISSN 0303-4003

Kurzfassung

Für das F+E-Vorhaben "Beseitigung tritiumhaltiger Abwässer durch Einpressen in poröse Schichten des tiefen Untergrundes" ist es notwendig, im Rahmen von Voruntersuchungen Daten hinsichtlich der Sicherheit, der Technik und der lokalen Gegebenheiten zu ermitteln. Dieser Bericht untersucht die hydrogeologischen Verhältnisse im Gebiet um eine potentielle Einpreßstelle zur Verpressung von Tritiumwasser in tiefere geologische Schichten, z.B. in den Buntsandstein, im Bereich des KfK.

Von dem nutzbaren Grundwasser des Quartärs und Pliozäns hebt sich das tiefe Formationswasser eines Verpreßhorizonts im Tertiär durch erhöhte Mineralisation ab. Die Versalzung fängt bereits in den oberen Miozänschichten an, zwischen dem Pliozän und den tieferen Schichten besteht keine hydraulische Verbindung und unterhalb der Pliozänbasis fehlt eine aktive Wasserbewegung.

Für den Oberen und Mittleren Grundwasserleiter des Quartärs wurde ein mittlerer Durchlässigkeitsbeiwert mit $k_f = 0,95 \cdot 10^{-3}$ m/s bestimmt. Die Transmissivität beträgt $T = 0,03$ m²/s.

Im Winter 1979/80 wurde im Bereich der Erdölbohrung Lh 2 ein Tracerversuch mit 200 g Uranin im Oberen Grundwasserleiter durchgeführt. Die lokale Fließrichtung zeigte sich parallel der generellen Fließrichtung. Die mittlere Abstandsgeschwindigkeit schwankt zwischen 0,65 m/Tag und 1,29 m/Tag. Für die Dispersion wurden der longitudinale Dispersionskoeffizient $D_1 = 0,77$ m²/Tag und der transversale Dispersionskoeffizient $D_2 = 0,006$ m²/Tag ermittelt.

Im Falle einer Grundwasserverunreinigung mit Tritiumabwasser im Oberen Grundwasserleiter im Bereich von Lh 2 bewegt sich die kontaminierte Wolke nach Nordwesten. Aufgrund der geringen seitlichen Dispersion würde das Wasserwerk Leopoldshafen von einer Kontamination nicht betroffen werden.

Content

DISPOSAL OF TRITIUM CONTAINING LIQUID EFFLUENTS BY PRESSING INTO POROUS DEEP UNDERGROUND LAYERS

At the stage of the preliminary investigations for the R+D project "Deep-Well Disposal of Liquid Tritium Waste in Deep Porous Formations" data are required concerning the environmental safety, disposal technology and site specific conditions.

The report investigates the hydrogeology of a potential site in the vicinity of the Nuclear Research Centre, Karlsruhe under the assumption that disposal will take place in the Bunter Sandstone Formation..

The total dissolved solids content of the deep groundwater of the injection formation is distinctly higher than that of the Quarternary and Pliocene aquifers.

(1) The saline water occurs already in the Upper Miocene strata, (2) no hydraulic connection exists between the Pliocene aquifer and the deeper aquifers and (3) no active movement exists below the Pliocene basis.

For the upper and middle aquifer of the Quarternary an average hydraulic conductivity of $k_f = 0,95 \times 10^{-3}$ m/s is estimated. The transmissivity amounts to $T = 0.03$ m²/s.

During winter 1979/1980 we conducted a natural-gradient tracer test with 200 g fluorescene in the upper aquifer near the oil well Lh 2. The local tracer pathline coincides with the general direction of flow. The average linear velocity varied from 0.65 m/d to 1.29 m/d. From the spreading of the tracer one can calculate a longitudinal dispersion coefficient of $D_1 = 0.77$ m²/d and a transversal dispersion coefficient $D_2 = 0.006$ m²/d.

In case of a groundwater contamination of the Quarternary upper aquifer with tritium, the contamination would move northwest. As the lateral spread of contamination would be very limited no effect on the Waterwork Leopoldshafen can be expected.

Gliederung:

	Seite
1. Einleitung	1
2. Morphologie	2
3. Geologischer Aufbau	3
3.1 Mesozoikum	3
3.2 Tertiär	5
3.3 Pliozän und Quartär	7
4. Hydrologie	9
4.1 Oberirdisches Gewässer	9
4.2 Grundwasser	10
4.2.1 Hydrogeologie	10
4.2.1.1 Pliozäner und quartärer Grundwasserleiter	11
4.2.1.2 Hydraulische Kennwerte	12
4.2.1.3 Hydrogeochemie	14
4.2.2 Grundwasserbewegung	15
4.2.2.1 Pliozänes Grundwasser	15
4.2.2.2 Quartäres Grundwasser	16
4.2.3 Grundwasserentnahmen	19
5. Versuche zur Ausbreitung im Grundwasser	20
6. Zusammenfassung, Summary	29
7. Schlußwort	35
7. Literatur	36
9. Abbildungen und Tabellen	41

1. Einleitung

Bei der Datenerfassung im Rahmen von Voruntersuchungen zum F+E-Vorhaben "Beseitigung tritiumhaltiger Abwässer durch Einpressen in poröse Schichten des tiefen Untergrundes" zeigte sich die Notwendigkeit, daß die Kenntnis der hydrogeologischen Verhältnisse im Bereich einer potentiellen Einpreßstelle aus folgenden Gründen erforderlich ist:

1. Fragen hinsichtlich einer möglichen Grundwasserkontamination können nur bei bekannter hydrologischer Situation beantwortet werden.
2. Um Grundwasserschutz- und wasserwirtschaftliche Maßnahmen zu treffen, muß das hydrologische Regime bekannt sein.
3. Für den Entwurf von effektiven Grundwasserüberwachungskonzepten ist die Kenntnis der Grundwasserbewegung notwendig.

Die vorliegende Arbeit beschreibt die Hydrogeologie im Bereich des Kernforschungszentrums Karlsruhe. Diese Voruntersuchungen sind zur Beantwortung sicherheitsrelevanter Fragestellungen für den Fall einer Tritiumverpressung in tiefere geologische Formationen notwendig.

2. Morphologie

Die Oberrheinebene ist 300 km lang und durchschnittlich 40 km breit. Sie ist aus tektonischer Sicht ein Graben. Leopoldshafen und das Kernforschungszentrum liegen im nördlichen Teil auf rechtsrheinischer Seite (Abb. 1). Die Grabenschulter bildet der Kraichgau, ein flachwelliges Hügelland mit Erhebungen bis zu 300 m über NN.

Die Oberrheinebene ist flach und eben. Im Bereich Leopoldshafen gliedert sie sich in die Niederterrasse und die Rhein-Niederung. Die Niederterrasse wird oft als Hochgestade bezeichnet, die Rhein-Niederung als Tiefgestade oder Rheinaue. Durch schnelle und starke Aufschotterung der Niederterrasse wurde das Strombett des Rheins über das Niveau der Talsohle gelegt. Die Zuflüsse aus den Randgebieten bildeten eigene Rinnen aus. Die Pfinz fließt über eine Entfernung von mehreren Kilometern parallel zum Rhein. Durch Änderung der Gefällekurve im Bereich von Schaffhausen erodierte der Rhein. Es entstand die Rhein-Niederung.

Die Niederterrasse liegt im Raum Leopoldshafen ca. 110 m über NN. Die Stufenhöhe der Terrassenkante beträgt ca. 10 m.

Auf der Niederterrasse wächst Mischwald oder sie wird als Ackerland genutzt. Feuchtgebiete wie das Weingartener Moor entstanden in der Kinzig-Murg-Rinne entlang des Gebirgsrandes. Um Überschwemmungen zu verhindern, wurden Entwässerungskanäle, z.B. der Pfinzentlastungskanal, gebaut.

Die Rhein-Niederung dient als Ackerland, abgesehen von den Dünenzonen. Die von den Altrheinarmen umflossenen Auengebiete sind Feuchtgebiete. Die Altrheinarme entstanden durch die Rheinbegradigung von Tulla um 1850.

3. Geologischer Aufbau

Um das Tritium von der Biosphäre zu trennen, besteht die Möglichkeit der Verpressung in tiefere geologische Schichten. Im Oberrheingraben sind geeignete Schichten bis hinab zum Buntsandstein, der im KfK-Bereich in ca. 3500 m Tiefe ansteht, zu erwarten. Um den Abschluß nach oben zu gewährleisten, ist eine möglichst genaue Kenntnis der Petrographie des Einpreßhorizontes und der hangenden Schichtpakete sowie der tektonischen Lagerungsverhältnisse notwendig.

Durch das Abteufen mehrerer Erdölbohrungen liegen bis zur Tertiärbasis in ca. 2200 m Teufe (Bohrung Karlsruhe 1, 15 km südlich Leopoldshafen) bzw. ca. 2900 m Teufe (Bohrung Linkenheim 1, 5 km südwestlich Leopoldshafen) Informationen über die Ausbildung vor. Für die tieferen mesozoischen Schichten sind Aussagen durch Vergleich mit Tagesaufschlüssen an den Grabenschultern möglich.

3.1 Mesozoikum

Trias- und Jurasedimente bilden im Bereich Leopoldshafen das Liegende des Tertiärs.

Das anstehende Mesozoikum wird untergliedert in

Formation	Abteilung	Alter (Mio. Jahre)	Teufe (extrapoliert)
Jura	Dogger		Tertiärbasis 2300 m - 2550 m
	Lias		- 2750 m
		195	
Trias	Keuper		- 3100 m
	Muschelkalk		- 3280 m
	Buntsandstein		- 3700 m
		230	

Das unterste Glied ist der Buntsandstein mit einer Mächtigkeit von 450 bis 500 m. Der Mittlere Buntsandstein in der Fazies des Hauptkonglomerats ist grobkörnig. Häufig finden sich Tongallen. Die effektive Durchlässigkeit wird im Mittleren Buntsandstein zusätzlich zur Porosität durch Klüftigkeit erhöht. Der Obere Buntsandstein wird in den Plattensandstein und die Röttone untergliedert. Der Plattensandstein ist ein fein- bis mittelkörniger, kieseliger, schwach toniger Sandstein. In Tagesaufschlüssen beträgt die Porosität 3 - 15%, die Permeabilität 10 - 120 md. Das nutzbare Kluftvolumen in größerer Tiefe liegt nach K.EISSELE (1966) bei 0,1%. Einen dichtenden Abschluß des Buntsandsteins bilden die Röttone.

Der Muschelkalk ist ca. 180 m mächtig. Im Unteren und Mittleren Muschelkalk sind keine potentiellen Speichergesteine ausgebildet. Der Obere Muschelkalk besteht aus Kalken und Dolomiten mit geringmächtigen Tonsteinbänken. Die Mächtigkeit beträgt ca. 85 m. Die Porosität beruht auf Kluft- und Karsthohlräumen, die eine unerwünschte Ausbreitung ermöglichen. Ihre Ausbildung ist nur schwer abzuschätzen.

Die Mächtigkeit des Keupers beträgt ca. 350 m. Den Keuper bilden Tonsteine und Mergelsteine mit Zwischenlagerung von Sandsteinbänken. Der Lettenkohlsandstein des Unteren Keupers ist im Feld Rot ölproduktiv gewesen. Im Feld Forst/Weiher wurde Erdöl aus dem Schilfsandstein des Mittleren Keupers gefördert. Aussagen über die Porosität der Sandsteinlagen können infolge raschen Fazieswechsels nur schwer gemacht werden. Der Rhätsandstein des Oberen Keupers ist im Feld Weingarten schwach produktiv gewesen. Die Porosität des feinkörnigen, glimmerigen Sandsteins, ca. 3 m mächtig, wird auf 10 - 15% geschätzt.

Dogger und Lias bestehen aus Tonmergelsteinen. Diese Fazies ist als Speichergestein ungeeignet. Die im Tertiär nachgewiesene Leopoldshafener Störung reicht mit Sicherheit bis in die mesozoische Schichtenfolge hinab. Dies dürfte auch für vorhandene Parallelstörungen zutreffen. Es ist anzunehmen, daß die mächtigen Tonstein- und Mergelsteinschichten die Störungen im Grabeninneren abdichten.

3.2 Tertiär

Die Gesamtmächtigkeit der tertiären und quartären Ablagerungen (Tab. 1) beträgt im Raum Karlsruhe etwa 2900 m. Es wurden vorwiegend Tone, Schluffe und Mergel mit sandigen und kalksandigen Einschaltungen sedimentiert, Kiese fehlen. Die undurchlässigen Tone und Mergel wirken als Wasserstauer. Ölspeichernde Sande werden durch umgebende Tone abgedichtet.

Die Lymnänenmergel/Eozän bestehen in der Beckenfazies aus dolomitischen und anhydritischen Mergelsteinen ohne Speicherfähigkeit.

Im Oligozän sind die Sandsteinlagen in einzelne Bänke, Linsen und Sandfahnen aufgegliedert. In den Pechelbronner Schichten durchteuften Erdölbohrungen einige geringmächtige und wenig poröse Sandschichten, die nicht über größere Entfernungen korrelierbar sind. In den Meletta-Schichten, Cyrenen-Mergeln und den Bunten Niederröderner Schichten sind ölführende Sandsteine eingeschaltet. Besonders die Bunten Niederröderner Schichten bieten Voraussetzungen für die Aufnahme von Abwässern, da Porosität und Durchlässigkeit relativ hoch sind.

Im Miozän nimmt die Einschaltung von Sandsteinen ab. Während in den Cerithien-Schichten noch in stärkerem Umfang ockerfarbene bis rotbraune Sandsteine angetroffen werden, gibt es in den Corbicula-Schichten nur noch dünne Sandsteinlagen und in den Hydrobien-Schichten fast keine Sand-schüttungen mehr. Für geringmächtige, eingelagerte Muschelschillagen in den Unteren Hydrobien-Schichten wird eine Porosität von 25 -35% geschätzt. Hohe Drücke bei hohen Einpreßraten würden das kaum verfestigte Gefüge zerstören. In den porösen Horizonten wird Salzwasser aus der Erdölförderung versenkt.

Die tertiären Tonminerale bestehen oberhalb der Bunten Niederröderner Schichten aus 30% Illit, 25% Kaolinit, 20% Chlorit und 20% Mixed-Layer mit quellfähigem Smektitanteil. In den Oberen Hydrobien-Schichten kommt Montmorillonit vor (D. HELING, 1969). In den tieferen Schichtpaketen fehlen quellfähige Tonminerale.

Antithetische und synthetische Brüche gliedern das Grabeninnere in zahlreiche Einzelschollen. Durch synsedimentäre Bewegungen dieser Brüche mit gleichzeitiger Schollenrotation treten starke Mächtigkeitsunterschiede auf. Die Sedimente auf den einzelnen Hochschollen sind geringmächtiger als die entsprechenden Schichtenabschnitte der angrenzenden Tiefschollen.

Das Erdölfeld Leopoldshafen liegt westlich der Hauptbeckenachse. Die Hochlage der Struktur wird durch eine Nord-Süd-verlaufende, nach Westen einfallende, antithetische Abschiebung gebildet (E. WIRTH, 1962). Dieser Bruch war synsedimentär aktiv.

Der Nachweis der Mächtigkeitsänderungen gibt Aufschluß über die Sprunghöhe der Leopoldshafener Abschiebung. Je älter die unter der Verwerfung angetroffene Schicht ist, umso größer ist der Verwerfungsbetrag. Dies ist auch den Bohrprofilen der Erdölbohrungen Leopoldshafen zu entnehmen (Tab. 2).

Die Sprunghöhe der Verwerfung beträgt nach A.SCHAD (1964) maximal 561 m, aus dem Bohrprofil ist ein Betrag von 420 m im Bereich von Lh 2 zu entnehmen.

Der produktive Speicherhorizont des Erdölfeldes Leopoldshafen ist im nördlichen Teil des Feldes ein bis 5 m mächtiger Sandstein der Meletta-Schichten in rund 1200 m Tiefe. Im südlichen Teil wird Erdöl aus den Bunten Niederröderner Schichten und aus Cyrenen-Mergeln gefördert (E.WIRTH, 1962).

Am 26.10.1977 wurde in Zusammenarbeit mit dem Geophysikalischen Institut Karlsruhe (Dr. Werner) eine geothermische Messung durchgeführt. Die hierfür eingesetzte Meßapparatur erlaubt eine kontinuierliche Registrierung der Temperatur mit der Tiefe. Durchfahren wurde eine Wassersäule (mit einer geringfügig aufsitzenden Ölsäule) bei einer Sondengeschwindigkeit von 5 m/min. Die Genauigkeit der Messung beträgt $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

Die Messung im Bohrloch Lh 2 bestätigt, daß im Rheingraben - bezogen auf

den mitteleuropäischen Raum - signifikant hohe Temperaturen vorherrschen.

Die Kurve des Temperaturverlaufs im Bohrloch Lh 2 läßt sich in drei Bereiche untergliedern (Abb. 2). Im Teufenbereich von 75 m bis 240 m, Pleistozän und Pliozän, beträgt der geothermische Gradient $3,9^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$, von 240 m bis 740 m, Obere Hydrobien-Schichten, $8,2^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ und von 740 m bis 935 m, Bunte Niederrödderner Schichten und Cyrenen-Mergel, $3,6^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$. Der geothermische Gradient beträgt normalerweise $3^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$. Die Änderung der Gradienten ist mit großer Wahrscheinlichkeit auf Wärmeleitfähigkeitsunterschiede der tertiären Sedimente zurückzuführen. Es zeichnet sich eine Abnahme des Gradienten mit der Tiefe ab. Diese Erscheinung hat sich auch bei anderen Temperaturgradienten im Rheingraben gezeigt (WERNER, 1975).

Das Erdölfeld Leopoldshafen weist eine positive Wärmeanomalie auf, die Temperaturverteilung in der Rheingrabenzone ist jedoch nicht gleichmäßig. Es werden starke laterale Schwankungen beobachtet. So ist z.B. der Temperaturgradient im Ölfeld Landau beträchtlich größer als im Bohrloch Lh 2. Inwieweit die Erdölförderung aus dem Förderbohrloch Lh 12 die Temperaturverteilung in Lh 2 beeinflusst, wurde nicht untersucht.

3.3 Pliozän und Quartär

Alle heute und auch künftig für Trink- und Brauchwasser genutzten Grundwasserleiter liegen in diesen oberen geologischen Formationen.

Das Pliozän besteht aus Tonen, Schluffen und Sanden mit stark zurücktretendem Kiesanteil. Infolge eines allmählichen lithologischen Übergangs in die quartären Schichten durch Aufarbeitung des Pliozäns ist die Grenze Pliozän/Quartär oft nur schwer zu ziehen.

Im Quartär wird die Grabenauffüllung grobkörniger. Kiese, Sande und Schluffe herrschen vor. Schotter und Kiese lassen sich mit Glazialzeiten parallelisieren, Tone und Schluffe mit Interglazialzeiten (J. BARTZ, 1976). Die Schotter der Niederterrasse sind glazifluvialen Ursprungs; die Schmelzwässer der Gletscher hinterließen diese Schotterkörper, die

während der Würmeiszeit (^{14}C - Alter: 10.000 bis 72.000 Jahre) sedimentiert wurden.

Durch Erosion des Rheins entstand die Rhein-Niederung.

Die quartären Ablagerungen werden untergliedert in:

Oberes Kieslager
Oberer Zwischenhorizont
Mittleres Kieslager
Altquartär

Im Juni 1978 wurde im Bereich des KfK eine 200 m-Bohrung abgeteuft. Das Profil ist in Abb. 3 dargestellt.

Im Rahmen von Baugrunduntersuchungen wurden im Bereich des Kernforschungszentrums zahlreiche Bohrungen niedergebracht. Für die Grundwasserbeobachtung wurden Pegel erstellt.

Die Bohrprofile wurden zur Konstruktion von zwei geologischen Schnitten, Nord-Süd und Ost-West, herangezogen (Abb. 4). Da nur wenige Bohrungen tiefer als 50 m sind, wurden die Profilschnitte auf die oberen Schichtpakete beschränkt.

Während im Miozän Sprunghöhen entlang der synsedimentären Brüche von 300 m nachgewiesen werden, gibt es im Pliozän nur noch geringfügigen Versatz.

Für das KfK ist tektonisch das Leopoldshafener Störungssystem wichtig.

Die Erdölbohrungen Leopoldshafen sind westlich der Leopoldshafener Störung im Bereich der Tiefscholle angesetzt. Sie durchteufen die Grenze Miozän/Pliozän bei 190 m bis 200 m Teufe. Die KfK-200 m-Bohrung und zwei weitere Bohrungen liegen östlich der Leopoldshafener Verwerfung auf der Hochscholle. Das Miozän wird schon in ca. 140 m Teufe angetroffen. Der

Bruch war bis ins Altquartär aktiv. Im Jungquartär wird keine weitere Bewegung festgestellt.

4. Hydrologie

Die Beurteilung einer potentiellen Kontamination des Grundwassers bei der Verpressung von tritiumhaltigen Abwässern setzt eine möglichst genaue Kenntnis der Hydrologie voraus.

Um diese beurteilen zu können, muß zuerst die Beziehung der grundwasserführenden Schichten zu den relevanten Vorflutern geklärt werden.

4.1 Oberirdische Gewässer

Die Oberrheinebene gliedert sich im Raum Leopoldshafen in die Niederterrasse und die Rhein-Niederung.

Für alle oberirdischen Gewässer (Abb. 5) ist der Rhein Vorfluter.

Die Niederterrasse wird im Bereich des KfK durch den Pfinzentlastungskanal und den Hirschgraben entwässert.

Der Pfinzentlastungskanal zweigt in Grötzingen von der Pfinz ab und fließt ca. 1 km südlich vom Kernforschungszentrum zum Rhein in Höhe von Leopoldshafen. Er führt ganzjährig Wasser. Die sandige Sohle des Kanals liegt oberhalb des Grundwasserniveaus. Das Kanalwasser infiltriert in das Grundwasser der Niederterrasse. Durch den Aufstau vor den Wehren, wie z.B. an der Terrassenkante, wird dieser Effekt verstärkt (H. SCHNEIDER, 1973).

Der Hirschgraben, östlich vom Kernforschungszentrum, verbindet den Pfinzentlastungskanal im Süden mit dem Alten Bach (Galgengraben) im Norden. Bei Trockenheit führt der Hirschgraben im südlichen Teil kein Wasser. Der nördliche Teil dient dem Kernforschungszentrum als Vorfluter.

Die Rhein-Niederung wird über Altrheinarme und Entwässerungsgräben entwässert.

Die Altrheinarme sind z.T. mehrere Meter breit, z.T. sind es nur noch kleine Gerinne oder sie sind kanalisiert. Ihre Wasserführung ist unterschiedlich. Sie ist abhängig vom Niederschlag und vom Rheinwasserstand. Altrheinarme, die heute trocken liegen, sind häufig Feuchtgebiete.

Weitere Feuchtgebiete gibt es direkt unterhalb der Terrassenkante. Durch die Verflachung des Grundwasserspiegelgefälles in der Rhein-Niederung kommt es zum Grundwasserstau und damit zum Grundwasseraustritt. Nördlich von Leopoldshafen wird dieses Gebiet durch drei Gräben entwässert. Bei Wasserführung ist die Fließgeschwindigkeit in den Gräben sehr gering. Nach längeren Trockenperioden können sie austrocknen.

Zwischen Leopoldshafen und Linkenheim befindet sich unterhalb der Terrassenkante das Schluttenloch. Es sind drei kleine Seen mit einer Wasseroberfläche von insgesamt 0,4450 ha.

Durch die Kiesförderung wurden mehrere Baggerseen angelegt. In diesen tritt die Grundwasseroberfläche zutage, es sind Grundwasserblänken.

Im Bereich des Leopoldshafener Baggersees wird Kies gefördert. Gleichzeitig ist es ein Freizeitgelände für Badesportler, Segler und Angler. Die Wasseroberfläche beträgt ca. 51,6 ha. Sie ändert sich durch die Kiesförderung.

Westlich von Linkenheim gibt es zwei Baggerseen. Der südliche mit einer Wasseroberfläche von ca. 20 ha ist Freizeitgelände. Aus dem nördlichen Baggersee mit ca. 29 ha Wasseroberfläche gewinnt ein Kieswerk Kies.

4.2 Grundwasser

4.2.1 Hydrogeologie

Grundwasser mit Trink- bzw. Brauchwasserqualität gibt es nur in den pliozänen und quartären Schichten. Die Formationswässer der tiefen tertiären Schichten sind stark salzhaltig. Die Grenze Miozän/Pliozän liegt im Bereich des Erdölfeldes Leopoldshafen bei ca. 200 m Teufe.

Ein vorstellbarer Austrittsweg von Tritiumwasser aus dem Speicherhorizont in die pliozänen Schichten ist entlang der Bohrung, wenn der Kontakt Gebirge - Zementierung nicht einwandfrei dicht ist. Das aufsteigende Wasser würde sich aus hydraulischen Gründen in der ersten genügend mächtigen und wasserleitenden Schicht seitlich ausdehnen. Diese Möglichkeit ergibt sich spätestens in den untersten wasserleitenden Schichten des Pliozäns. Hier würde sich das Tritiumwasser in Fließrichtung ausbreiten.

Eine Kontamination des quartären Grundwassers aus der Tiefe ist hydrogeologisch unvorstellbar.

Bei einem Aufsteigen von HTO entlang der Erdölbohrungen würden nur die untersten pliozänen Schichten kontaminiert werden. Ein Aufsteigen der Kontamination über die Leopoldshafener Verwerfung ist unrealistisch. Sollte jedoch dieser Belastungspfad existieren, dann kommt es ebenfalls zur Kontamination des pliozänen Grundwassers. Ein weiteres Ansteigen entlang der Verwerfung ist daher unvorstellbar, weil die Verwerfung im Pliozän und Quartär durchlässig ist und das Grundwasser nicht staut.

4.2.1.1 Pliozäner und quartärer Grundwasserleiter

Das Pliozän bildet die älteste Folge der fluviatilen und limnischen Lockergesteine. Tone, Schluffe und Sande überwiegen, der Kiesanteil tritt stark zurück. Grundwasser für Trink- und Brauchwasserzwecke wird in Oberhausen, nördlich von Karlsruhe, und von einer Brauerei in Grünwinkel aus dem pliozänen Aquifer gefördert. Ein potentieller Nutzer ist die Fernwasserversorgung Rheintal, die beabsichtigt, nördlich von Linkenheim mehrere Brunnen abzuteufen.

Der quartäre Aquifer gliedert sich wie folgt:

Oberes Kieslager	= Oberer Grundwasserleiter
Oberer Zwischenhorizont	
Mittleres Kieslager	= Mittlerer Grundwasserleiter
Altquartär	= Unterer Grundwasserleiter

Den unteren Grundwasserleiter bilden Sande, z.T. auch Schluffe. Die Sande und Kiese des Oberen und des Mittleren Grundwasserleiters werden lithologisch durch die Mittelsande des Oberen Zwischenhorizonts getrennt. Zahlreiche Ton- und Schluffhorizonte führen bei größerer Erstreckung zu einer weiteren Unterteilung der Grundwasserleiter. Im Bereich des Wasserwerks Tiefgestade trennt ein mächtiger Tonhorizont den Oberen und den Mittleren Grundwasserleiter (H. SCHNEIDER, 1963). Durch Lücken ("Fenster") im Oberen Zwischenhorizont stehen die drei Grundwasserleiter insgesamt in hydraulischer Verbindung miteinander.

4.2.1.2 Hydraulische Kennwerte

Hydraulische Kennwerte für tiefere als quartäre Stockwerke sind bisher kaum bekannt. Aufgrund eines Pumpversuchs bei Liedolsheim wurde für die sandigen Schichten des Pliozäns der Durchlässigkeitsbeiwert k_f mit $k_f \approx 9 \cdot 10^{-6}$ m/s errechnet (persönliche Mitteilung von Herrn Dr. Engesser, Geologisches Landesamt Baden-Württemberg, Freiburg). Im Hydrologischen Atlas (R. KELLER) wird eine "Permeabilität" von etwa $8 \cdot 10^{-5}$ m/s angegeben.

Als hydraulische Kennwerte für den Oberen und den Mittleren Grundwasserleiter wurden der Durchlässigkeitsbeiwert und die Transmissivität T bestimmt. Der Speicherkoeffizient bzw. die spezifische Ergiebigkeit wurde nicht ermittelt. Die Berechnungsverfahren sind im Arbeitsblatt "Pumpversuche in Porengrundwasserleitern" zusammengestellt.

Die oberen Grundwasserleiter sind ungespannte Aquifere.

1957 wurde für die Erstellung des Wasserwerks Süd ein Pumpversuch durchgeführt. Es wurde Grundwasser aus dem Oberen und dem Mittleren Grundwasserleiter entnommen.

Der 30 m tiefe Versorgungsbrunnen VB II ist ein unvollkommener Brunnen. Da das Altquartär feinkörniger ist als das Kieslager, wurde als Basis des Grundwasserleiters der Grenzbereich Altquartär/Mittleres Kieslager (ca. 74 m. ü. NN) angenommen. Das Verhältnis zwischen Absenkung s und

ursprünglicher Aquifermächtigkeit H ist $s : H < 1 : 50$, somit entfällt eine Korrektur der gemessenen Absenkungen.

Nach dem Verfahren von DUPUIT-THIEM für stationäre Strömung in ungespannten Leitern (G. KRUSEMAN u. N. de RIDDER, 1973) ergibt sich für die Transmissivität T

$$T = 0,0265 \text{ m}^2/\text{s} \quad \text{westlich von VB II und}$$

$$T = 0,0327 \text{ m}^2/\text{s} \quad \text{östlich von VB II.}$$

Aus der Absenkung des Grundwasserspiegels während des Pumpversuchs als Funktion des Abstandes der Grundwassermeßstellen vom Brunnen wurde folgender k_f -Wert berechnet:

$$k_f = 0,70 \cdot 10^{-3} - 1,63 \cdot 10^{-3} \text{ m/s.}$$

Nach der Brunnenformel für freies Grundwasser von DUPUIT-THIEM folgt für den k_f -Wert $k_f = 0,73 \cdot 10^{-3} - 1,66 \cdot 10^{-3} \text{ m/s.}$

Arithmetisch gemittelt ergeben diese Werte einen Durchlässigkeitsbeiwert von

$$k_f = (0,95 \pm 0,22) \cdot 10^{-3} \text{ m/s.}$$

Nach der Brunnenformel von THIEM wurde anhand der Pumpversuchsdaten von 1957 der k_f -Wert bestimmt mit $k_f = 2,0 \cdot 10^{-3} \text{ m/s.}$

1975 wurde im Bereich der Kläranlage ein Dauerpumpversuch durchgeführt. Nach DUPUIT ergab sich $k_f = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m/s.}$

Die berechneten Mittelwerte wurden für den Bereich KfK und engere Umgebung ermittelt, d.h. daß sich ihre Gültigkeit auch flächenmäßig auf dieses Gebiet sowie auf den Oberen und Mittleren Grundwasserleiter als Einheit beschränkt. Eng begrenzte lokale Bestimmungen der Durchlässigkeit können aufgrund der großen Inhomogenitäten der Grundwasserleiter von diesen Mittelwerten abweichen.

4.2.1.3 Hydrogeochemie

Wasseranalysen aus dem nutzbaren Grundwasser und dem Formationswasser der tiefen Schichten zeigen deutliche Unterschiede auf. Das Formationswasser ist wegen seines hohen Gehaltes an gelösten Stoffen als Brauchwasser nicht geeignet.

Die Anforderungen an Trinkwasser sind in der Trinkwasserverordnung festgelegt. Weitere Hinweise sind in DIN 2000, in DIN 2001, bei K. HÖLL (1970), W. RICHTER & W. LILLICH (1975), W. RICHTER & R. WAGER (1969), D. UDLUFT (1977) zu finden.

Anhand der Tab. 3 können Wasseranalysen relevanter Grundwasserleiter aus der Umgebung des KfK mit dieser Verordnung verglichen werden.

Das quartäre Grundwasser besitzt weitgehend Trinkwasserqualität. Beim pliozänen Grundwasser deuten sich schon der tiefere Fließweg und die längere Austauschzeit des Wassers durch die Abnahme des Sulfats und die Zunahme des H₂S-Gehaltes aufgrund der SO₄²⁻-Reduktion an.

Die Ähnlichkeit der quartären und pliozänen Grundwasser kommt auch in der Darstellung der Abb. 6 zum Ausdruck. Die dominierenden Komponenten im Grundwasser beider Leiter sind die Erdalkali-Hydrogenkarbonate.

Aufgrund der chemischen Verwandtschaft des quartären und des pliozänen Grundwassers kann nicht nur eine gemeinsame Herkunft aus Niederschlägen, sondern auch die Wirksamkeit von vertikalen Austauschprozessen angenommen werden. Trotz der hydraulischen Unabhängigkeit der einzelnen Horizonte muß mit vertikalem Stoffaustausch zwischen quartärem und pliozänem Grundwasser gerechnet werden.

Größere Unterschiede treten unterhalb der Pliozen/Miozängrenze auf. Zum Beispiel gehört das Formationswasser der Cyrenen-Mergel dem Chlorid-Wasser des Na-Ca (Mg) - Cl-Typs an. Bereits die höhere Wasserhärte deutet hier eine vom Oberflächenwasser unabhängige Genese an. Noch deutlicher

zeigen sich die Unterschiede am vollkommen selbständigen Verlauf der Analysenkurven des Formationswassers in Abb. 6. Diese Abgrenzung korrespondiert mit den geothermischen Gradienten. Im Bereich des Pliozäns und Pleistozäns setzt sich der etwas erhöhte geothermische Gradient aus dem Miozän noch fort, was wahrscheinlich auf eine erhöhte Grundwasserbewegung oberhalb der Miozän/Pliozän-Grenze hinweist. Generell könnte man folgern, daß unterhalb der undurchlässigen Pliozän/Miozän-Grenze die chemische Zusammensetzung des Wassers nicht mehr durch die Geschwindigkeit des Wasseraustauschers, sondern durch die geochemischen Gleichgewichte bestimmt wird.

4.2.2 Grundwasserbewegung

Die Schwankungen des Grundwasserstandes und der Grundwasserbewegung ergeben sich hauptsächlich aus den Änderungen der Niederschlagsmenge und der Grundwasserentnahme.

4.2.2.1 Pliozänes Grundwasser

Das pliozäne Grundwasser wird erst in neuester Zeit genauer untersucht. Sein Verhalten ist sehr viel einheitlicher als das des quartären Grundwassers, da es nicht von der Oberflächenmorphologie beeinflusst wird.

Die Fließrichtung ist parallel zu der des quartären Grundwassers. Der Vorfluter ist ebenfalls der Rhein.

Beide Grundwasserstockwerke sind hydraulisch nicht vollkommen getrennt. Der Druckspiegel des pliozänen Grundwassers liegt zwischen Gebirgsrand und Hirschgraben niedriger als der quartäre Grundwasserspiegel, im Bereich des Hirschgrabens ungefähr gleich und westlich bis zum Rhein höher. Großflächig gesehen ist eine Trennung zwischen beiden Aquiferen nicht gesichert; das pliozäne Grundwasser mischt sich beim Aufsteigen mit quartärem Grundwasser. Einige pliozäne Brunnen in Rheinnähe sind Arteser (R. KELLER, 1979).

Die Grundwasserneubildung in den tieferen Grundwasserleitern erfolgt unter anderem durch die Fenster in den Zwischenhorizonten.

Über die Fließgeschwindigkeit ist nichts bekannt. Sie könnte durch Tritiumdatierungen annähernd bestimmt werden.

Durch Grundwasserentnahme aus dem hydraulisch gespannten pliozänen Aquifer, wie sie die Fernwasserversorgung Rheintal bei Hochstetten plant, ist die Ausbildung eines großen Absenkungstrichters zu erwarten, der die Grundwasserfließrichtung im Pliozän bis in den Bereich des KfK beeinflussen könnte.

4.2.2.2 Quartäres Grundwasser

Für die Untersuchungen stehen die Messungen an 31 Beobachtungspegeln auf der Niederterrasse zur Verfügung. Seit 1957 werden diese Pegel wöchentlich von der Feuerwehr des KfK gemessen.

Die Beobachtungspegel sind 15 m tief. Es kann nur der Obere Grundwasserleiter beobachtet werden. Für den Mittleren und den Unteren Grundwasserleiter liegen keine Meßergebnisse vor.

Die Lage der einzelnen Beobachtungspegel ist auf den Grundwasserhöhen gleichenplänen eingetragen (Abb. 11).

Grundwasserschwankungen im Oberen Grundwasserleiter

Die Grundwasserganglinien der einzelnen Pegel in den Jahren 1976 und 1977 zeigen deutlich, daß der Verlauf der Ganglinien in größerer Entfernung vom Entnahmebrunnen, ungefähr 500 m, relativ gleichmäßig ist. Die Differenz zwischen hohem und niedrigem Grundwasserstand beträgt ca. 50 cm.

Über diesen kurzen Beobachtungszeitraum von nur zwei Jahren können keine langfristigen Grundwasserschwankungen bestimmt werden. Für vier Pegel,

Pegel 21 im Norden, Pegel 19 im Süden, Pegel 16 und 20 bei Lh 2, wurden die Grundwasserganglinien über 20 Jahre gezeichnet (Abb. 7). Es wurden die jährlichen Mittelwerte aufgetragen. Die vier Pegel zeigen einen ziemlich einheitlichen Verlauf.

Bis 1971 schwankten die Grundwasserstände stark, seit 1972 sind die Unterschiede zwischen hohem und niedrigem Stand nicht mehr so groß (Abb.8). Bei Pegel 16 betrug die Differenz zwischen hohem und niedrigem Wasserstand 1965 1,63 m, dagegen 1974 0,38 m.

Seit 1958 fällt der Grundwasserspiegel (Abb. 9). Auffällig ist das starke Absinken in den Jahren 1970 bis 1972. Danach bleibt der Grundwasserstand relativ konstant.

Das Absinken seit 1971 ist dadurch zu erklären, daß die Jahre trockener als im langjährigen Mittel waren. Besonders die Winterniederschläge waren geringer, so daß die Grundwasserneubildungsrate zurückging. Der mittlere jährliche Niederschlag betrug für die Zeit von 1965 bis 1979 710,0 mm (Messungen von KfK/HS) gegenüber dem langjährigen Mittel (1841 bis 1960) von 751 mm (H. SCHNEIDER, 1973).

Im Gebiet von Karlsruhe führt ein mittleres jährliches Niederschlagsdefizit von 25% zu einer Minderung der Grundwasserneubildungsrate um 75%. Die Abhängigkeit zwischen der Niederschlagsmenge und der Höhe des Grundwasserstandes zeigt Abb. 10. Nach den starken Niederschlägen im Mai 1978 (233,1 mm) stieg der Grundwasserspiegel innerhalb sehr kurzer Zeit um ca. 0,50 m.

Für einen hohen Grundwasserstand im Jahre 1977 (9. Mai 1977) wurden Grundwasserhöhengleichen konstruiert (Abb. 11). Die generelle Grundwasserfließrichtung ist SE-NW. Bei niedrigem Grundwasserstand ändert sich die Fließrichtung nicht. Aus dem Abstand der Grundwasserhöhengleichen ergibt sich für den Bereich der Niederterrasse ein Einfallen der Grundwasseroberfläche von 1,4 ‰. Zur Terrassenkante nimmt das Grundwassergefälle auf etwa 4 ‰ zu. In der Rhein-Niederung tritt eine deutliche

Verflachung des Spiegelgefälles ein. Unterhalb des Terrassenrandes kommt es zu Grundwasseraustritten.

Eine Ablenkung der Grundwasserhöhengleichen entsteht durch den Absenkungstrichter der Versorgungsbrunnen des KfK-Wasserwerks Süd. 1957 war das Wasserwerk Süd noch nicht in Betrieb (Abb. 11).

Die Isolinien verlaufen gerade. Durch die Grundwasserentnahme wird ein Absenkungstrichter gebildet, der deutlich am Umbiegen der Isolinien zu erkennen ist. Auch westlich der Versorgungsbrunnen wirkt sich die Entnahme noch aus. Da nur wenige Meßpunkte vorhanden sind, ist die Abgrenzung des Entnahmetrichters ungenau. Zur Klärung der Frage, ob im Bereich der Erdölbohrung Lh 2 die Grundwasserfließrichtung durch die Entnahme beeinflusst wird, wurde ein Uranin-Tracer-Versuch durchgeführt.

Grundwasserfließgeschwindigkeit

Es wird zwischen der Durchgangs- oder Filtergeschwindigkeit v_f und der Abstandsgeschwindigkeit v_a unterschieden.

Die Filtergeschwindigkeit entspricht derjenigen Geschwindigkeit, mit der sich offenes Wasser auf die Oberfläche eines Filters hin bewegt (DIN 4069). Für die Filtergeschwindigkeit v_f gilt $v_f = k_f \cdot dh/ds$, wobei dh/ds das Spiegelgefälle oder hydraulische Gradient bedeutet.

Die Abstandsgeschwindigkeit v_a ergibt sich aus der Zeit, die zum Durchfließen einer gegebenen Strecke benötigt wird (DIN 4049).

Für die mittlere Abstandsgeschwindigkeit v_{am} gilt $v_{am} = v_f/n$, wobei n der Nutzporenanteil ist.

Maßgebend bezüglich der Trinkwasserschutzbestimmungen ist die maximale Abstandsgeschwindigkeit $v_{a \max}$, die fast das zweifache von v_{am} erreicht (G. KELLER, 1969).

Im Bereich des Versorgungsbrunnens II ist 1957 ein Uranin-Tracer-Versuch durchgeführt worden, bei dem eine Abstandsgeschwindigkeit von 6 - 7 m/Tag gemessen wurde.

Berechnungen im Zusammenhang mit der Überwachung einer HTO-Welle im Bereich der Abwasserreinigungsanlage 1975 ergaben v_a 1 m/Tag (M. WINTER e.a. 1977).

Mehrere Gutachten zu baulichen Vorhaben von KfK nehmen anhand von Durchlässigkeitsbeiwerten Grundwasserfiltergeschwindigkeiten von 0,30 m/Tag an. Für v_{am} ergab eine Abschätzung 1 m/Tag.

Entlang eines Profils zwischen Kernforschungszentrum und Rhein (Abb.12) wurde die mittlere Abstandsgeschwindigkeit für den Oberen Grundwasserleiter geschätzt (Abb. 13).

(Die Meßwerte der Pegel 134 258, 139 258 und 163 258 stellte das Wasserwirtschaftsamt Karlsruhe zur Verfügung).

Auf der Niederterrasse erhöht sich v_{am} zur Terrassenkante hin deutlich. In der Rhein-Niederung nimmt sie sehr stark ab. Der Rhein hatte während der Berechnungszeit im Oktober 1977 Niedrigwasser. Das Grundwasser infiltrierte in den Rhein.

4.2.3 Grundwasserentnahmen

Mehrere Wasserwerke entnehmen Trink- und Brauchwasser aus dem Oberen und dem Mittleren Grundwasserleiter (Tab. 4).

Im Bereich der Kerntechnischen Hilfsdienst GmbH (KHG) gibt es einen Löschbrunnen, der nicht für Trinkwasserzwecke verwendet wird. Letzteres wird dem KfK-Wassernetz entnommen.

Die Gärtnerei Köhler im Leimersheimer Wört in der Rhein-Niederung hat einen eigenen Brunnen für Bewässerungszwecke niedergebracht. Der Brunnen wurde 9 m tief abgeteuft. Die durchschnittliche Pumpleistung beträgt 150 - 200 m³/Woche. Sie kann auf 500 - 600 m³/Nacht gesteigert werden.

Die Fernwasserversorgung Rheintal (FWR) plant Entnahmen aus den pliozänen und quartären Grundwasserleitern.

5. Versuche zur Ausbreitung im Grundwasser

Bei einer potentiellen Kontamination des Grundwassers durch KfK-Kontamination sind lediglich die westlich vom Kernforschungszentrum in Grundwasserfließrichtung liegenden Wasserwerke betroffen. Zur Abschätzung der Ausbreitung einer potentiellen Kontamination ist die Kenntnis der lokalen Grundwasserfließrichtung, der Fließgeschwindigkeit und der Dispersion wichtig. Die Auswertung eines früheren Pumpversuchs im Bereich des Wasserwerks Süd zeigte, daß sich die Ausdehnung des erzeugten Absenktrichters nicht genau feststellen ließ. Der Bereich um die Erdölbohrung Lh 2 liegt im Grenzgebiet zwischen durch die Entnahme beeinflusstem und unbeeinflusstem Grundwasser.

Zur Klärung der Grundwasserfließrichtung im Bereich um Lh 2 wurde ein Markierungsversuch durchgeführt. Die Achse des Versuchsfeldes liegt in Richtung der großräumigen Fließrichtung (Abb. 16). In 5 m und in 12 m Entfernung vom Eingabepiegel sind 2 Pegelreihen für die Beobachtung abgeteuft. Um ein mögliches Zurückfließen zum Wasserwerk Süd feststellen zu können, sind in östlicher Richtung ebenfalls 2 Pegelreihen in 5 m und 9,30 m Entfernung niedergebracht. Der seitliche Abstand der Pegel zueinander beträgt 2,50 m bzw. 3,00 m. Diese Anordnung der Pegel ermöglicht die Bestimmung der Fließrichtung, der Fließgeschwindigkeit und der Dispersion.

Die Beobachtungspiegel BP 1 bis BP 16 sind 10,20 m tief, der Eingabepiegel EP ist 8,20 m tief. Der Ausbau der Pegel erfolgte mit 2"-Kunststoffrohren, die mit Fein- bis Mittelkies hinterfüllt wurden. Beim Eingabepiegel wurden von 3,20 - 7,20 m, bei den Beobachtungspiegeln von 3,20 - 9,20 m Filterstrecken mit 0,5 mm Schlitzten eingebaut.

Die Pegel wurden nur in den Obersten Grundwasserleiter abgeteuft. Die Bohrlochprofile der Pegel EP, BP 2 (Abb. 14), BP 6 und BP 14 zeigen eine deutliche Zunahme der Korngröße mit der Tiefe. Bis in eine Tiefe von 4,50 m bis 5 m stehen Mittelsande an, bis 5,50 m stehen Grobsande an, die zum Teil kiesig sind. Ab 5,50 m herrschen Kiese vor. Bei Versuchsbeginn lag die Grundwasseroberfläche bei 5,50 m unter Gelände.

Die Bohrproben aus diesem Tiefenbereich wurden für die genaue Korngrößenbestimmung trocken gesiebt (Tab. 5 und Abb. 15a bis 15d). Es zeigen sich größere Inhomogenitäten in der Sedimentverteilung.

Zwischen Kornverteilung und Durchlässigkeit einer Bodenprobe besteht ein empirischer Zusammenhang. Für Bodenproben mit einem Ungleichförmigkeitsgrad

$$U = \frac{d_{60}}{d_{10}} < 5 \text{ wird der Durchlässigkeitsbeiwert } k_f \text{ nach der}$$

Formel von HAZEN $k_f \text{ [m/s]} = 0,0116 (d_{10} \text{ [mm]})^2$ berechnet. Für die anderen Bodenproben wurde der k_f -Wert nach dem Verfahren von K.-P. SEILER (1973) bestimmt (Tab. 6).

In Abhängigkeit von der Schichtdicke der einzelnen Bohrproben ergibt sich ein mittlerer gewogener Durchlässigkeitsbeiwert von $k_f = 1,9 \cdot 10^{-3}$ m/s. Dieser Wert ist doppelt so groß wie der in Abschnitt 4.2.1.2 berechnete k_f -Wert. Der Unterschied ist damit zu erklären, daß der niedrigere k_f -Wert über die Schichten des Oberen und des Mittleren Grundwasserleiters gemittelt wurde, während der höhere k_f -Wert lokal für den Oberen Grundwasserleiter gültig ist. Außerdem wurden für die zwei Bestimmungen verschiedene Berechnungsverfahren angewendet.

Am 26. Oktober 1979 von 15.15 Uhr bis 15.30 Uhr wurden in den Pegel EP 200 g Uranin AP, gelöst in 9 l Wasser, eingegeben. Mit 31 l Wasser wurde nachgespült. Die Tracereingabe erfolgte über einen Plastikslauch, Indendurchmesser 18 mm, dessen Ende ca. 0,50 m in das Grundwasser hineinreichte.

Zur Beobachtung wurden bis Ende Februar 1980 aus allen Pegeln Schöpfproben entnommen. Die Direktuntersuchungen auf Uranin in den Wasserproben wurden vom Geochemischen Laboratorium des Geologischen Landesamtes Baden-Württemberg, Freiburg/Brsg., unter Leitung von Herrn Reg.-Dir. Dr. W.Käß durchgeführt.

Während des Versuchs wurde der Grundwasserstand im Pegel BP 13 gemessen. Der Grundwasserspiegel fiel von Ende Oktober 1979 bis Mitte Februar 1980 um 20 cm von 5,50 auf 5,70 m unter Gelände (Abb. 16).

Im gleichen Zeitraum fielen 242,1 mm Niederschlag (gemessen von KfK/HS). Die täglichen Meßwerte sind in Abb. 16 aufgezeichnet.

Uranin wurde im Pegel BP 8 erstmals am 27. Oktober 1979, 18.00 Uhr mit einer Konzentration von 2259 mg Uranin/m³ nachgewiesen. Die maximale Farbstoffkonzentration (27 224 mg Uranin/m³) wurde am 29. Okt. 1979, 17.18 Uhr erreicht. Ein weiterer Peak wurde am 8. Nov. 1979, 20.35 Uhr nachgewiesen (10 806 mg Uranin/m³). Danach fiel die Uraninkonzentration ab.

Im Beobachtungspegel BP 3 wurden geringere Farbspuren ab dem 30. Okt. 1979, 7.22 Uhr (0,026 mg/m³) nachgewiesen. Deutlich trat der Farbstoff ab 9. Nov. 1979, 11.19 Uhr auf mit einer Konzentration von 152 mg Uranin/m³. Der maximale Farbdurchgang erfolgte am 10. Nov. 1979, 11.09 Uhr mit 761 mg Uranin/m³. Später fiel die Konzentration wellenartig.

Die starken Schwankungen der Meßwerte der einzelnen Proben sind auf Trübung durch Sand und Rost in den Proben zurückzuführen.

Weitere Farbnachweise erfolgten im Pegel BP 7 in der Zeit vom 27. Okt. 1979, 17.30 Uhr bis 4. Nov. 1979, 12.58 Uhr mit Konzentrationen von 0,002 bis 0,065 mg Uranin/m³, im Pegel BP 9 in der Zeit vom 27. Okt. 1979, 18.05 Uhr bis 8. Nov. 1979, 20.38 Uhr mit Konzentrationen von 0,008 bis 0,159 mg Uranin/m³, im Pegel BP 4 in der Zeit vom 30. Okt. 1979, 7.25 Uhr bis 12. Nov. 1979, 10.57 Uhr mit Konzentrationen von 0,002 bis 0,020 mg Uranin/m³ sowie wellenartig in den Pegeln BP 5 und BP 6 vom 30. Okt. 1979, 7.00 Uhr bis 12. Nov. 1979, 11.00 Uhr in Konzentrationen von 0,002 bis 0,028 mg Uranin/m³.

Der Tracerversuch zeigt, daß die lokale Grundwasserfließrichtung im Oberen Grundwasserleiter in Richtung der Verbindungslinie zwischen den

Pegeln EP, BP 8 und BP 3 parallel zur regionalen Fließrichtung verläuft. Der Entnahmetrichter des KfK-Wasserwerks Süd beeinflusst im Bereich der Erdölbohrung Lh 2 die Grundwasserfließrichtung nicht mehr.

Zur Bestimmung der mittleren Abstandsgeschwindigkeit $v_{am} = \frac{s}{t_{50}}$

- s ist der Abstand zwischen Eingabe- und Beobachtungspiegel im Grundwasserleiter, t_{50} ist das Zeitintervall bis zum Eintreffen von 50% der gesamten im Beobachtungspiegel beobachteten Tracermenge - wurden für die Pegel BP 8 und BP 3 die integrierten Konzentrations-Zeitkurven erstellt (Abb. 17 und 18). So wurden die Schwankungen in den Meßreihen ziemlich ausgeschaltet.

Bei beiden Pegeln lassen sich die integrierten Kurven deutlich in zwei Teilverteilungen untergliedern, die durch Subtraktion aus der Gesamtkurve bestimmt wurden.

Die erste Teilverteilung entspricht der Tracermenge, die sich während der Farbeingabe mit dem Grundwasser im Eingabepegel mischte. Die zusätzlich eingegebenen 40 l Wasser verteilten sich auch oberhalb der Grundwasser Oberfläche. Nach den Niederschlägen am 5. Nov. 1979, 2.10 Uhr bis 14.20 Uhr, 9,95 Tage nach der Injektion, in Höhe von 11,4 mm wurde der oberhalb des Grundwasserspiegels abgegebene Tracer dem Grundwasserkörper zugeführt. Während dieser Zeit fällt der Grundwasserspiegel nicht weiter ab, sondern bleibt konstant bei einer Höhe. Diesem mit einer gewissen Verspätung dem Grundwasser zugeführten Farbstoff entspricht die zweite Teilverteilung.

Unmittelbar nach der Tracerinjektion stellt sich eine Anfangsverteilung um den Eingabepegel mit einer gewissen Ausdehnung ein. Das Volumen dieser Verteilung läßt sich aus der Verdünnung von 200 g Uranin auf die nach der Injektion beobachtete Konzentration von 143 070 mg Uranin/m³ abschätzen.

200 g Tracer entspricht bei obiger Konzentration einem Volumen von 1,4 m³. Die Eingabemenge betrug 40 l, das Pegelvolumen beträgt bei einem Grundwasserstand von 5,46 m unter Gelände 5,55 l. Bei einer Nutzporosität $n = 0,25$ entspricht das Volumen von 1,4 m³ einer zylindrischen Farbstoffverteilung um den Eingabepegel mit einem Radius von $r = 1$ m und einer Höhe von $h = 1,75$, die der Filterstrecke entspricht.

Für die zweite Teilverteilung ergibt sich eine Anfangsverteilung mit $r = 1$ m und $h = 0,05$ m.

Unter diesen Voraussetzungen wurden folgende mittlere Abstandsgeschwindigkeiten berechnet:

Bereich	Entfernung $s-r$	Zeit t_{50}	Geschwindigkeit v_{am}
<hr/>			
EP-BP 8	5 m - 1 m = 4 m		
a) Gesamtverteilung		3,25 d	1,23 m/d
b) 1. Teilverteilung		3,1 d	1,29 m/d
c) 2. Teilverteilung		13,2 d - 9,25 d = 3,25 d	1,23 m/d
<hr/>			
EP-BP 3	12 m - 1 m = 11 m		
a) Gesamtverteilung		21,0 d	0,52 m/d
b) 1. Teilverteilung		16,4 d	0,67 m/d
c) 2. Teilverteilung		27,0 d - 9,95 d = 17,05 d	0,65 m/d

Die Geschwindigkeitsunterschiede liegen im Rahmen der zu erwartenden Schwankungen.

Bei der großräumigen Abschätzung der Geschwindigkeit (Kap. 4.2.2.2) wurde für den Bereich zwischen den Beobachtungspegeln 16 und 20, in dem das Versuchsfeld liegt, eine mittlere Abstandsgeschwindigkeit von $v_{am} = 0,45$ m/d ermittelt.

Im Bereich des Versuchsfeldes wurde der Durchlässigkeitsbeiwert k_f für den Oberen Grundwasserleiter nach dem DARCY'schen Gesetz aus der Fließgeschwindigkeit und dem Gefälle bestimmt. Für den Bereich EP - BP 8 wurde $k_f = 0,84 \cdot 10^{-3}$ m/s ermittelt, für den Bereich EP - BP 3 $k_f = 1,12 \cdot 10^{-3}$ m/s.

Aus der Korngrößenverteilung ergibt sich für den Durchlässigkeitsbeiwert $k_f = 1,9 \cdot 10^{-3}$ m/s. Die Auswertung eines Pumpversuchs ergab für den Oberen und den Mittleren Grundwasserleiter $k_f = (0,95 \pm 0,22) \cdot 10^{-3}$ m/s.

Diese k_f -Werte stimmen gut überein, die Abweichung beruht auf der Anwendung verschiedener Berechnungsverfahren.

Die nächste notwendige Kenngröße für die Beurteilung der Bewegung einer Kontamination im Grundwasser ist die hydrodynamische Dispersion. Sie wird durch die longitudinale und die transversale Dispersion beschrieben.

Unter der Annahme, daß der Anstieg der zeitabhängigen Konzentrationsverteilung einer Normalverteilung entspricht, läßt sich der longitudinale Dispersionskoeffizient $D_x = D_1$ aus der räumlichen Streuung x abschätzen (E. HALEVY & A. NIR, 1962; Y. ATAKAN et. al., 1974).

Für die räumliche Streuung gilt $x = v_{am} (t_{50} - t_{16}) = 2 \cdot D_1 \cdot t_{50}$.

Da die Konzentrationsverteilungen im weiteren Verlauf nicht mehr durch eine Normalverteilung angenähert werden können, sondern einen "Schwanz" besitzen, wurden zur Ermittlung von D_1 nur die räumlichen Streuungen aus dem Gauss'schen Teil herangezogen. Der longitudinale Dispersionskoeffizient D_1 wurde mit $D_1 = 0,77$ m²/Tag bestimmt.

Der laterale Dispersionskoeffizient $D_y = D_2$ wurde über die seitliche Ausbreitung der Farbstoffwolke, die in der Pegelreihe BP 7 - BP 8 - BP 9 be-

obachtet wurde, bestimmt. Es wurde für den Zeitpunkt t_{peak} in Nähe des Hauptpeaks die Konzentrations-Raumkurve ermittelt.

Für die seitliche Streuung σ_y gilt $\sigma_y = \sqrt{2 \cdot D_2 \cdot t_{\text{peak}}}$.

Die Bestimmung des lateralen Dispersionskoeffizienten D_2 ergab

$$D_2 = 0,006 \text{ m}^2/\text{Tag}.$$

Für den vertikalen Dispersionskoeffizienten D_z wird der gleiche Wert wie für D_y angenommen, also $D_y = D_z = D_2 = 0,006 \text{ m}^2/\text{Tag}$.

Für die Ausbreitung eines Tracers im Grundwasser in porösem Medium gilt:

$$\frac{c'(x,y,z;t)}{m} = \frac{1}{n \sqrt{2 \pi} \cdot \sigma_x} \exp \left\{ - \frac{(x - v_{\text{am}} t)^2}{2 \sigma_x^2} \right\} \\ \times \frac{1}{\sqrt{2 \pi} \cdot \sigma_y} \exp \left\{ - \frac{y^2}{2 \sigma_y^2} \right\} \\ \times \frac{1}{\sqrt{2 \pi} \cdot \sigma_z} \exp \left\{ - \frac{z^2}{2 \sigma_z^2} \right\}$$

mit c'	Tracerkonzentration im Medium
m	eingeebene Tracermenge
n	Nutzporosität
x, y, z	räumliche Streuung in x, y, z -Richtung
v_{am}	mittlere Abstandsgeschwindigkeit
x, y, z	Entfernung in x -, y -, z -Richtung von der Injektionsquelle
t	Zeit

(nach A.E. SCHEIDEGGER, 1960;
A. LENDA & A. ZUBER, 1970)

Bei der Berechnung ist die Ausdehnung des Tracers in X-, Y-, Z-Richtung direkt nach der Injektion (Anfangsverteilung) zu beachten, d.h.

$$\sigma_i = \sqrt{2 \cdot D_i \cdot t} \quad \text{wird ersetzt durch}$$

$$\sigma_i = \sqrt{2 \cdot D_i \cdot t + \frac{I^2}{2\pi}} \quad \text{mit } i = x, y, z \text{ und}$$

$I = X, Y, Z.$

Entsprechend muß die Anfangsverteilung in der zuvor angeführten Dispersionsgleichung berücksichtigt werden.

Für den Tracerversuch gilt für die Anfangsausdehnung der ersten Teilverteilung nach der Injektion

$X = Y = 2 r = 2 \text{ m}$ und $Z = 1,75 \text{ m}$; für die der zweiten Teilverteilung
 $X = Y = 2 r = 2 \text{ m}$ und $Z = 0,05 \text{ m}.$

Die Entnahme der Schöpfproben während des Versuchs erfolgte an der Grundwasser Oberfläche bis 0,50 m unterhalb der Wasseroberfläche. Da die Farbstoffwolke aufgrund von Dichteunterschieden langsam absinkt, wurden die Proben in einer bestimmten Entfernung vom Zentrum der Wolke entnommen; entsprechend ist eine Abweichung in z-Richtung zu beachten (Abb. 19).

Während im Pegel BP 4 Farbstoffspuren eindeutig nachgewiesen wurden, wurde im Pegel BP 2 kein Farbstoff festgestellt. Der Pegel BP 3 liegt also nicht genau in der lokalen Fließrichtung, x-Richtung, sondern weicht in y-Richtung etwas ab.

Unter diesen Voraussetzungen wurden für die Pegel BP 3 und BP 8 für jeweils beide Teilverteilungen die Werte $c' (x,y,z;t) /m$ berechnet (Tab. 7). Im Vergleich hierzu wurden die Verhältnisse der gemessenen Konzentration zur Eingabemenge ermittelt.

Dabei ist zu beachten, daß der ersten Teilverteilung ca. 70% der eingegebenen Tracermenge von 200 g entsprechen und der zweiten Teilverteilung

die restlichen 30%. Dies ergibt sich aus dem Verhältnis der integralen Verteilung der ersten Teilverteilung zu der zweiten Teilverteilung.

Die berechneten Konzentrationswerte c'/m sind immer etwas größer als die gemessenen, stimmen aber in der Größenordnung gut überein.

Im Fall einer Tritiumkontamination im pliozänen Grundwasserleiter im Bereich der Erdölbohrung Lh 2 würde sich die Wolke in Richtung auf die Terrassenkante ausbreiten. Für die sandig-kiesigen Schichten im Pliozen beträgt der Durchlässigkeitsbeiwert $k_f = 1,99 \cdot 10^{-4}$ m/s (persönliche Mitteilung von Herrn Dr. E. Schneider, Geohydrologisches Büro Prof. Dr. H. Schneider, Bielefeld). Bei einem mittleren Gefälle $i = 0,910/100$ errechnet sich die Filtergeschwindigkeit zu $v_f = 5,7$ m/Jahr. Unter der Annahme eines Nutzporenvolumens $n = 0,15$ folgt für die Abstandsgeschwindigkeit $v_{am} = 38,0$ m/Jahr. Im Falle einer Tritiumkontamination im pliozänen Grundwasserleiter bewegt sich die Kontaminationswolke in 26,3 Jahren 1000 m in Fließrichtung. In 26,3 Jahren sinkt die Tritiumkonzentration aufgrund der Halbwertszeiten von 12,4 Jahren auf weniger als ein Viertel des Anfangswertes ab. Für 1000 m Entfernung ergibt sich eine weitere Verdünnung aufgrund der Bewegung um das $3 \cdot 10^{-5}$ -fache der Ausgangsmenge, wenn für die longitudinale Dispersion ($D_1 = 0,77$ m²/d) und für die transversale Dispersion ($D_2 = 0,006$ m²/d) die gleichen Werte wie für den Oberen Grundwasserleiter angenommen werden, da aufgrund fehlender Daten eine Änderung der Dispersion mit der Tiefe nicht berechnet werden kann. Die Gesamtverdünnung beträgt nach 26,3 Jahren in 1000 m Entfernung das $7,5 \cdot 10^{-6}$ -fache des Ausgangswertes. Dabei wurde die Verdünnung des Tritiumwassers während eines möglichen Aufstiegs entlang der Verrohrung des Bohrlochs nicht berücksichtigt.

In einer seitlichen Entfernung von $4 \sigma_y = 43$ m vom Zentrum der Kontaminationswolke würde aufgrund der Bewegung die Konzentration das 10^{-8} -fache der Eingabekonzentration betragen.

Das Wasserwerk Leopoldshafen (Brunnentiefe 20 m) ist ca. 950 m von der Erdölbohrung Lh 2 entfernt, es liegt aber 600 m abseits der Fließrichtung. Durch die sehr geringe laterale Dispersion wird das Wasserwerk Leopoldshafen von einer Kontamination nicht betroffen.

6. Zusammenfassung

Für das F+E-Vorhaben "Beseitigung tritiumhaltiger Abwässer durch Einpressen in poröse Schichten des tiefen Untergrundes" ist es notwendig, im Rahmen von Voruntersuchungen Daten hinsichtlich der Sicherheit, der Technik und der lokalen Gegebenheiten zu ermitteln. Dieser Bericht untersucht die hydrogeologischen Verhältnisse im Gebiet um eine potentielle Einpreßstelle zur Verpressung von Tritiumwasser in tiefere geologische Schichten, z.B. in den Buntsandstein, im Bereich des KfK.

Geomorphologisch befindet sich das KfK im Oberrheingraben auf der Niederterrasse, 110 m ü. NN. Unterhalb der Terrassenkante liegt die Rheinniederung, 100 m ü. NN.

Der tertiäre Untergrund des Gebietes besteht aus Tonen, Schluffen und Mergeln. Im Unterschied zum höheren Schichtpaket des Pliozäns und Quartärs treten hier Sande nur untergeordnet auf. Die wichtigste tektonische Störung im Bereich KfK/Leopoldshafen ist das Leopoldshafener Verwerfungssystem, dieses versetzt die KfK-Scholle (Hochscholle) gegenüber der Leopoldshafener Scholle (Tiefscholle) und war bis ins Altquartär aktiv. Entlang der Verwerfung ist das Erdölfeld Leopoldshafen ausgebildet.

Über Tonen, Schluffen und Sanden mit geringem Kiesanteil im Pliozän folgen Sande und Kiese des Quartärs. Die Mächtigkeiten betragen 140 bis 200 m. Das genutzte Grundwasser wird in der Gegend durch folgende Wasserwerke dem quartären Schichtpaket entnommen: KfK-Wasserwerke Süd und Tiefgestade, Wasserwerke Leopoldshafen und Linkenheim. Trinkwasserqualität besitzt jedoch auch das pliozäne Grundwasser. Seine Nutzung für die Fernwasserversorgung Rheintal ist für die nahe Zukunft geplant.

Von dem nutzbaren Grundwasser des Quartärs und Pliozäns hebt sich das tiefe Formationswasser des Verpreßhorizonts durch erhöhte Mineralisation ab. Auf eine unterschiedliche Genese läßt sich aus dem unabhängigen Anreicherungsgrad der Einzelelemente schließen. Aus dem plötzlichen Temperatursprung und dem deutlichen Absinken des Widerstands im Bereich der

Pliozän/Miozän-Grenze in Profilen von Bohrungen folgt, daß die Versalzung bereits in den oberen Miozänschichten anfängt, daß zwischen dem Pliozän und den tieferen Schichten keine hydraulische Verbindung besteht und daß unterhalb der Pliozänbasis eine aktive Wasserbewegung fehlt. Aus der Sicht des Grundwasserschutzes ist daher das Grundwasser nur bis zur Pliozän/Miozän-Grenze relevant.

Für den Oberen und Mittleren Grundwasserleiter des Quartärs wurde ein mittlerer Durchlässigkeitsbeiwert mit $k_f = 0,95 \cdot 10^{-3}$ m/s bestimmt. Die Transmissivität beträgt $T = 0,03$ m²/s. Die Fließrichtung des Grundwassers in beiden Grundwasserleitern ist von Südosten nach Nordwesten. Im Bereich des KfK/Leopoldshafen steigt außerdem das gespannte pliozäne Grundwasser in die Quartärschichten auf.

Der Flurabstand im Oberen Grundwasserleiter beträgt ca. 5 m. Die größte lokale Beeinflussung des Grundwasserspiegels im Bereich des KfK stammt vom Wasserwerk Süd. Die jährlichen Schwankungen betragen etwa 50 cm. Langfristig zeigt der Grundwasserspiegel eine fallende Tendenz. Die Ursachen sind geringe Winterniederschläge, besonders in den Jahren 1971 und 1972 und erhöhte Grundwasserentnahme. Damit ist eine Vergrößerung der Absenkungs- und der Entnahmetrichter der Versorgungsbrunnen verbunden.

Auf der Niederterrasse steigt die Abstandsgeschwindigkeit des Grundwassers zur Terrassenkante von ca. 0,2 m/Tag auf ca. 1,1 m/Tag an. In der Rhein-Niederung nimmt sie sehr stark auf 0,05 m/Tag ab. Die Baggerseen der Rhein-Niederung sind Grundwasserblänken des unterirdisch fließenden Wassers der Niederterrasse.

Im Winter 1979/80 wurde im Bereich der Erdölbohrung Lh 2 ein Tracerversuch mit 200 g Uranin im Oberen Grundwasserleiter durchgeführt. Die lokale Fließrichtung zeigte sich parallel der generellen Fließrichtung. Die mittlere Abstandsgeschwindigkeit schwankt zwischen 0,65 m/Tag und 1,29 m/Tag. Für die Dispersion wurden der longitudinale Dispersionskoeffizient $D_1 = 0,77$ m²/Tag und der transversale Dispersionskoeffizient $D_2 = 0,006$ m²/Tag ermittelt.

Im Falle einer Grundwasserverunreinigung mit Tritiumabwasser im Oberen Grundwasserleiter im Bereich von Lh 2 bewegt sich die kontaminierte Wolke nach Nordwesten. Aufgrund der geringen seitlichen Dispersion würde das Wasserwerk Leopoldshafen von einer Kontamination nicht betroffen werden.

Summary

At the stage of the preliminary investigations for the R+D project "Deep-Well Disposal of Liquid Tritium Waste in Deep Porous Formations" data are required concerning the environmental safety, disposal technology and site specific conditions.

The report investigates the hydrogeology of a potential site in the vicinity of the Nuclear Research Centre, Karlsruhe under the assumption that disposal will take place in the Bunter Sandstone Formation. Geomorphologically the Nuclear Research Centre is located on the lower terrace of the Upper Rhine Valley (110 m above NN).

The Tertiary of the area is composed of clay, silt and marl. Unlike the upper strata of Pleistocene and Quarternary sands are subordinate within the Tertiary unit. The most important structural feature in the vicinity of the site is the Leopoldshafen fault. The fault was active until Early Pleistocene and displaces the Block of the Nuclear Research Centre (hanging-wall block) against the Leopoldshafen Block (foot-wall block). Along the fault the oil field Leopoldshafen has accumulated. Above the clays, silts and sands of Pliocene (with a minor gravel member) the Quarternary sands and gravels follow. The thicknesses are 140 to 200 meters. The groundwater in the area is tapped from the Quarternary aquifer by the following public water supplies: Nuclear Research Centre Waterwork South and Tiefgestade as well as Waterwork Leopoldshafen and Linkenheim. However, the groundwater of the Pliocene aquifer has also water of drinking quality and the use of the water is planned in the near future. The total dissolved solids content of the deep groundwater of the injection formation is distinctly higher than that of the Quarternary and Pliocene aquifers. One can deduce, according to the unrelated composition and concentration of the dissolved constituents, an independent origin for the deep saline and for the shallow groundwater. A sudden increase of the gradient in the temperature log which correlates with a distinct increase of the

electric conductance in the resistivity at the Pliocene/Miocene boundary is consistent with this assumption. From this we concluded that (1) saline water occurs already in the Upper Miocene strata, (2) no hydraulic connection exists between the Pliocene aquifer and the deeper aquifers and (3) no active movement exists below the Pliocene basis. Therefore, from a groundwater resources viewpoint, only the protection of the aquifers above the Pliocene/Miocene boundary is required.

For the upper and middle aquifer of the Quarternary an average hydraulic conductivity of $k_f = 0,95 \times 10^{-3}$ m/s is estimated. The transmissivity amounts to $T = 0.03$ m²/s. The direction of groundwater flow in both aquifers is from southeast to northwest. In the area of the Nuclear Research Centre/Leopoldshafen uprising groundwater enters the Quarternary aquifer to the Pliocene aquifer which is under artesian conditions. The unconfined groundwater level of the upper aquifer is about 5 m deep. The greatest local disturbance of the groundwater table is induced by the drawdown cone of the Nuclear Research Centre Waterwork South. The seasonal fluctuation of the groundwater level is about 50 cm. In a long-term time frame we detected a regional decline in water level. This is due to the increased groundwater development combined with low winter precipitations. The largest recharge deficit occurred during 1971 and 1972. The growth of the water-table drawdown around the extraction wells is connected with the mentioned unbalanced groundwater budget. Within the lower terrace the linear velocity of the groundwater increases from about 0.2 m/d to 1.1 m/d at the edge of the terrace. The velocity then decreases to about 0.05 m/d in the range of the Rhine flood plain. The excavated lakes here are groundwater outcrops of the subsurface flow from the lower terrace.

During winter 1979/1980 we conducted a natural-gradient tracer test with 200 g fluorescene in the upper aquifer near the oil well Lh 2. The local tracer pathline coincides with the general direction of flow. The average linear velocity varied from 0.65 m/d to 1.29 m/d. This is in accordance with the spartial irregularities of permeability as estimated from the monitoring wells. From the spreading of the tracer one can

calculate a longitudinal dispersion coefficient of $D_1 = 0.77 \text{ m}^2/\text{d}$ and a transversal dispersion coefficient $D_2 = 0.006 \text{ m}^2/\text{d}$. These dispersion coefficients, however, are not very satisfactory for the prediction of transport in the tested aquifer: variation of the dispersion coefficients is required when differential travel distances are considered.

In case of a groundwater contamination of the Quarternary upper aquifer with tritium, the contamination would move northwest. As the lateral spread of contamination would be very limited no effect on the Waterwork Leopoldshafen can be expected.

7. Schlußwort

Die vorliegende Arbeit über die hydrologischen und geologischen Verhältnisse im Bereich des Kernforschungszentrums wurde mit wertvollen Hinweisen unterstützt von:

- Reg.-Dir. Dr. W. Käß und Dr. W. Engesser, Geologisches Landesamt Baden-Württemberg, Freiburg/Breisgau
- Wasserwirtschaftsamt Karlsruhe
(Herrn Springer, Herrn Ruf, Herrn Depmeier)
- Fa. Deilmann AG., Bentheim
(Dr. Fischak, Herrn Schank)
- Herrn Neumann, Kerntechnische Hilfsdienst GmbH (KHG), Leopoldshafen
- Herrn Köhler, Gärtnerei Köhler im Leimersheimer Wört, Leopoldshafen
- Herrn Grimm und Herrn Vogt, KfK - BAU
- Frau Bittmann, KfK - HDB
- Herrn Vogt, KfK - HS
- Herrn Schuchhardt, KfK - VBW/VB
- Brandmeister Joß, KfK-Werksfeuerwehr

Wir bedanken uns bei allen Beteiligten. Ebenso danken wir dem Institutsleiter Herrn Dr. H. Krause, dem Abteilungsleiter Herrn Dr. R. Köster, dem Vorhabensverantwortlichen Herrn M.C. Schuchardt und unseren INE-Mitarbeitern Herrn G. Gutzeit, Frau I. Kahl und Frau M. Nesovic.

8. Literatur:

- /1/ ATAKAN, Y., ROETHER, W., MATTHESS, G. & MÜNNICH, K.-O., (1974):
Felduntersuchungen von Fließvorgängen in einem Porengrundwasser-
leiter mittels Farbstoffindikatoren. - gwf - wasser/abwasser,
115. Jg., H.4, S. 159 - 164; München
- /2/ BARTZ, J. (1959): Zur Gliederung des Pleistozäns im Oberrhein-
gebiet. - Z. dt.geol. Ges., 111, S. 653 - 661, 2 Abb., 1 Tab.;
Hannover
- /3/ BARTZ, J. (1974): Die Mächtigkeit des Quartärs im Oberrheingra-
ben. - In: ILLIES, J.H. & FUCHS, K.: Approaches to Taphrogenesis.
- S. 78 - 87, 1 Abb.; Stuttgart (Schweizerbart).
- /4/ BARTZ, J. (1976): Quartär und Jungtertiär im Raum Rastatt.
Jh. geol. Landesamt Baden-Württemberg, 18, S. 121 - 178,
13 Abb.; Freiburg / Breisgau
- /5/ Fa. C. DEILMANN AG, Dr. FISCHAK (Persönliche Mitteilung)
- /6/ Deutsche Forschungsgemeinschaft (Herausgeber; Gesamtleitung
R. KELLER; 1979): Hydrologischer Atlas der Bundesrepublik
Deutschland. - 2 Bände, Boppard (Harald Boldt)
- /7/ Deutscher Bundestag (1975): Vorschlag einer Richtlinie des Rates
über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch.
- Drucksache 7/3975, 18 S., Bad Godesberg (Heger)
- /8/ DVGW - Arbeitsblatt W 151 (5/1975): Eignung von Oberflächenwas-
ser als Rohstoff für die Trinkwasserversorgung
- 27 S., Frankfurt/Main (ZfGW-Verlag)

- /9/ DIN 2000: Zentrale Trinkwasserversorgung. Leitsätze für die Anforderungen an Trinkwasser, Planung, Bau und Betrieb der Anlagen. - Fachnormenausschuß Wasserwesen im Deutschen Normenausschuß. Berlin 1973
- /10/ DIN 2001: Leitsätze für die Einzel-Trinkwasserversorgung. - Fachnormenausschuß Wasserwesen im Deutschen Normenausschuß. Berlin 1959
- /11/ DIN 4049: Gewässerkunde, Fachausdrücke und Begriffsbestimmungen. - Teil I: quantitativ. - Fachnormenausschuß Wasserwesen im Deutschen Normenausschuß. Berlin 1954
- /12/ DOEBL, F. (1967): The Tertiary and Pleistocene sediments of the northern and central part of the Upper Rhinegraben. - Abh. geol. Landesamt Baden-Württemberg, 6, S. 48 - 54, 11 Fig.; Freiburg/Breisgau
- /13/ DOEBL, F., HELING, D., HOHMANN, W., KARWEIL, J., TEICHMÜLLER, M. & WELTE, D. (1974): Diagenesis of Tertiary clayey sediments and included dispersed organic matter in relationship to geothermic in the Upper Rhinegraben. - In: ILLIES, J.H. & FUCHS, K.: Approaches to Taphrogenesis. S. 192 - 207; Stuttgart (Schweizerbart)
- /14/ DOEBL, F. & OLBRECHT, W. (1974): An Isobath Map of the Tertiary Base in the Rhinegraben. - In: ILLIES, J.H. & FUCHS, K.: Approaches to Taphrogenesis. - S. 71 - 72, 1 Fig.; Stuttgart (Schweizerbart)
- /15/ EISSELE, K. (1966): Über die Grundwasserbewegung im klüftigen Sandstein. - Jh. geol. Landesamt Baden-Württemberg, 8, S. 105 - 111, Abb. 12 - 13; Freiburg/Breisgau

- /16/ Geologisches Landesamt Baden-Württemberg, Freiburg/Brsg.:
Dr. W. Engesser (Persönliche Mitteilung)
- /17/ GEYER, O.F. & GWINNER, M.P. (1968): Einführung in die Geologie von
Baden. - 2. Aufl., 228 S., 7 Tab., 73 Abb., 11 Taf.;
Stuttgart (Schweizerbart)
- /18/ HALEVY, E. & A. NIR (1962): The determination of aquifer para-
meters with the aid of radioactive tracers. -
J. geophys. Research, 67, S. 2403 - 2409
- /19/ HELING, D. (1969): Relationship between initial porosity of
Tertiary argillaceous sediments and paleosalinity in the
Rheintalgraben (SW-Germany). - Journal of Sedimentary Petrology,
Vol. 39, No. 1, P. 246 - 254
- /20/ HELING, D. (1980): unveröffentlichter Bericht
- /21/ HÖLL, K. (1970): Wasseruntersuchung. Beurteilung. Aufbereitung.
Chemie. Bakteriologie, Biologie. - 5. Auflage; 423 Seiten, Berlin
(Walter de Gruyter & Co)
- /22/ KELLER, G. (1969): Angewandte Hydrogeologie. - 412 S., 240 Abb., 38
Tafeln; Hamburg (Wasser und Boden)
- /23/ KfK-HDB: Bittmann (Persönliche Mitteilung)
- /24/ KfK-HS: Vogt (Persönliche Mitteilung)
- /25/ KfK-VBW/VB: Joß (Persönliche Mitteilung)
- /26/ KfK-BAU: Grimm, Vogt (Persönliche Mitteilung)

- /27/ KRUSE, H. (1959): Einheitliche Anforderungen an die Trinkwasserbeschaffenheit und Untersuchungsverfahren in Europa. Schr. - Reihe, Verein Wasser-, Boden-, Lufthygiene Berlin-Dahlem, Nr. 14; Stuttgart (Fischer)
- /28/ KRUSEMANN, G. & de RIDDER, N. (1973): Untersuchung und Anwendung von Pumpversuchsdaten. - 191 S., Köln-Braunsfeld (Rudolf Müller)
- /29/ LENDA, A & ZUBER, A. (1970): Tracer Dispersion in Groundwater Experiments. - Isotope Hydrologie 1970, Proc. Symp. Vienna, 1970, S. 619 - 641; IAEA, Wien
- /30/ MATTHESS, G. (1973): Die Beschaffenheit des Grundwassers. - In: Lehrbuch der Hydrogeologie, Bd. 2; Berlin-Stuttgart (Bornträger)
- /31/ Pumpversuche in Porengrundwasserleitern. - Arbeitsblatt Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Umwelt Baden-Württemberg, Wasserwirtschaftsverwaltung; 1976
- /32/ RICHTER, W. & LILLICH, W. (1975): Abriß der Hydrogeologie. 281 S., 96 Abb., 18 Tab.; Stuttgart (Schweizerbart)
- /33/ RICHTER, W. & WAGER, R. (1969): Hydrogeologie. - In: BENTZ, A. & MARTINI, H.J.: Lehrbuch der angewandten Geologie. - Bd. II/2, S. 1357 - 1546; Stuttgart (Enke)
- /34/ SCHAD, A. (1962): Voraussetzungen für die Bildung von Erdöllagerstätten im Rheingraben. - Abh. geol. Landesamt Baden-Württemberg, 5, S. 29 - 40, Abb. 7 - 9; Freiburg/Brsg.
- /35/ SCHAD, A. (1964): Feingliederung des Miozäns und die Deutung der nacholigozänen Bewegungen im mittleren Rheingraben. - Abh. geol. Landesamt Baden-Württemberg, 5, S. 1 - 56; 4 Abb., 8 Tab., Freiburg/Brsg.

- /36/ SCHEIDEGGER, A.E. (1960): The Physics of Flow through Porous Media. - 2. Aufl., Toronto (University Press)
- /37/ SCHNEIDER, H., (1963) unveröffentlicher Bericht
- /38/ SCHNEIDER, H. (1973): Die Wassererschließung. - 2. Aufl., 886 + XXIV S., 1235 Bilder, 150 Tab., 4 mehrf. Kt.; Essen (Vulkan)
- /39/ SCHWEICKERT, K. (1978): unveröffentlicher Bericht
- /40/ SEILER, K.-P. (1973): Durchlässigkeit, Porosität und Kornverteilung quartärer Kies- Sand- Ablagerungen des bayerischen Alpenvorlandes. - gwf - wasser/abwasser, 114. Jg., H. 8, S. 353 - 400; München
- /41/ UDLUFT, P. (1977): Nutzung von Tiefengrundwasser zur Trinkwasserversorgung. - Z. dt. geol. Ges., 128, S. 451 - 459, 5 Abb., 2 Tab.; Hannover
- /42/ Verordnung über Trinkwasser und über Brauchwasser für Lebensmittelbetriebe (Trinkwasser-Verordnung). - Bundesgesetzblatt, Jg. 1975, Teil I., Nr. 16; S. 453 - 463; Bonn 1975
- /43/ Wasserwirtschaftsamt Karlsruhe: Springer, Ruf, Depmeier (Persönliche Mitteilungen)
- /44/ WERNER, D.: Probleme der Geothermik am Beispiel des Rheingrabens - Dissertation 1975, Universität Karlsruhe
- /45/ WINTER, M., KÖNIG, L.A. & SCHÜLER, H. (1977): A Case of Tritium Contamination of Ground Water. - 4th Intern. IRPA Congr.; Paris, April 24 - 30
- /46/ WIRTH, E. (1962): Die Erdöllagerstätten Badens. - Abh. geol. Landesamt Baden-Württemberg, 4, S. 63 - 80, Abb. 25 - 34; Freiburg/Brsg.

9. Abbildungen und Tabellen

Abb. 1: Übersichtsplan

Abb. 2: Temperaturverlauf im Bohrloch Lh 2

Abb. 3: Bohrprofil der KfK-200-m-Bohrung

Abb. 4: Geologische Profile im Bereich des Kernforschungszentrums
Karlsruhe

Abb. 5: Oberirdische Gewässer im Raum Leopoldshafen

Abb. 6: Grundwasseranalysen

Abb. 7: Grundwasserstände

Abb. 8: Grundwasserschwankungsbereich

Abb. 9: Trendanalyse

Abb. 10: Vergleich von Niederschlagsmenge und Grundwasserstandshöhe

Abb. 11: Grundwassersituation

Abb. 12: Lage des Profils zur Abschätzung der Abstandsgeschwindigkeit

Abb. 13: Vergleich von Geländehöhe, Grundwasserstandshöhe und Grund-
wasserabstandsgeschwindigkeit im Raum Leopoldshafen

Abb. 14: Bohrprofile zweier Pegel

Abb. 15a: Korngrößenverteilung im Eingabepiegel EP

Abb. 15b: Korngrößenverteilung im Beobachtungspegel BP 2

Abb. 15c: Korngrößenverteilung im Beobachtungspiegel BP 6

Abb. 15d: Korngrößenverteilung im Beobachtungspiegel BP 14

Abb. 16: Farbdurchgangskurven beim Tracer-Versuch mit Wasserstands- und Niederschlagsangaben

Abb. 17: Integrierte Konzentrations-Zeitkurven für den Beobachtungspiegel BP 8

Abb. 18: Integrierte Konzentrations-Zeitkurven für den Beobachtungspiegel BP 3

Abb. 19: Querschnitt der Tracerausbreitung

Tabelle 1: Tertiäre und quartäre Auffüllung des Oberrheingrabens

Tabelle 2: Erdölbohrungen Leopoldshafen

Tabelle 3: Wasseruntersuchungen

Tabelle 4: Wasserentnahme durch Wasserwerke

Tabelle 5: Korngrößenverteilung in den Pegeln

Tabelle 6: Kennwerte bezüglich der Korngrößen

Tabelle 7: Bestimmung der Ausbreitung

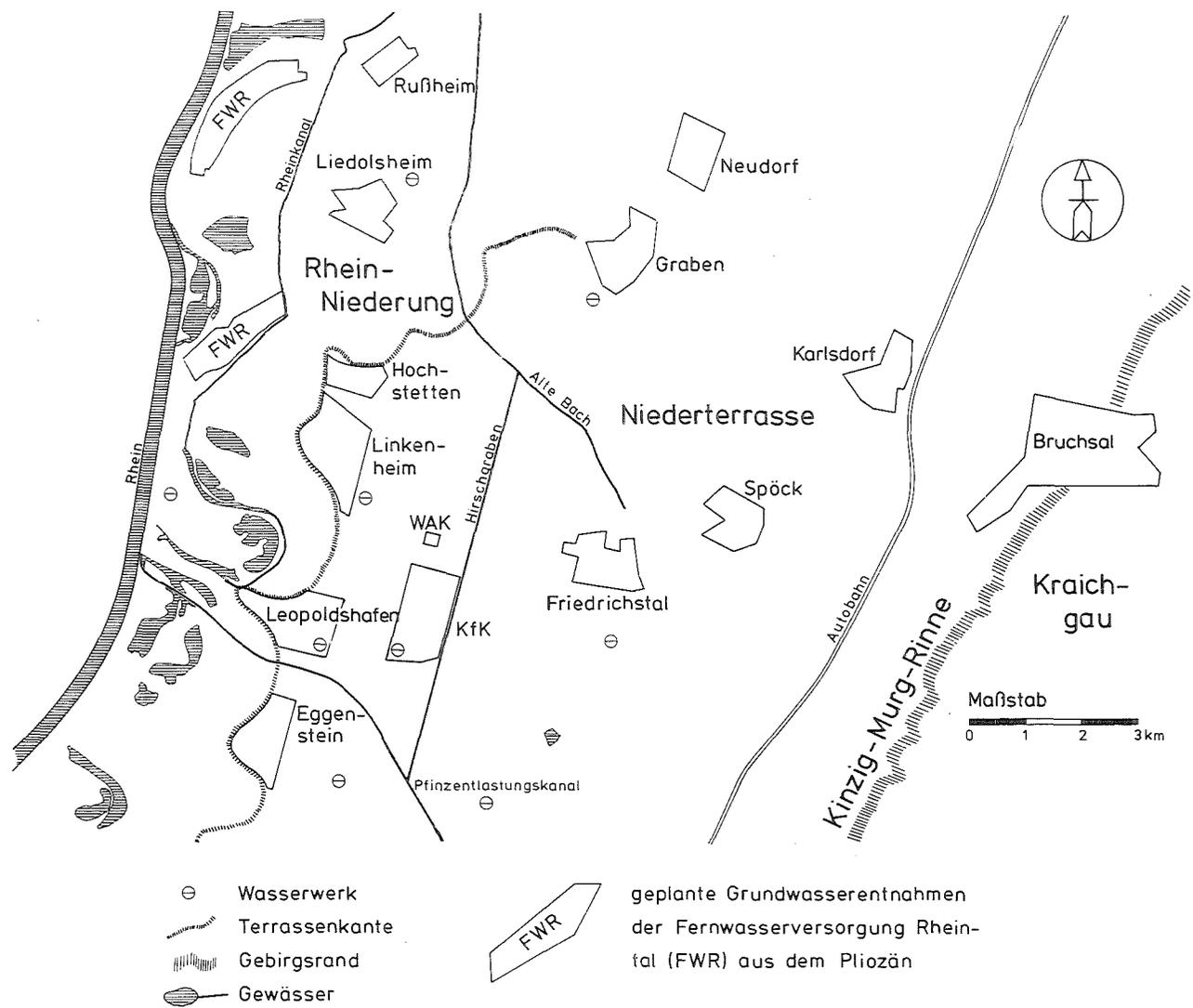


Abb.1 Übersichtsplan

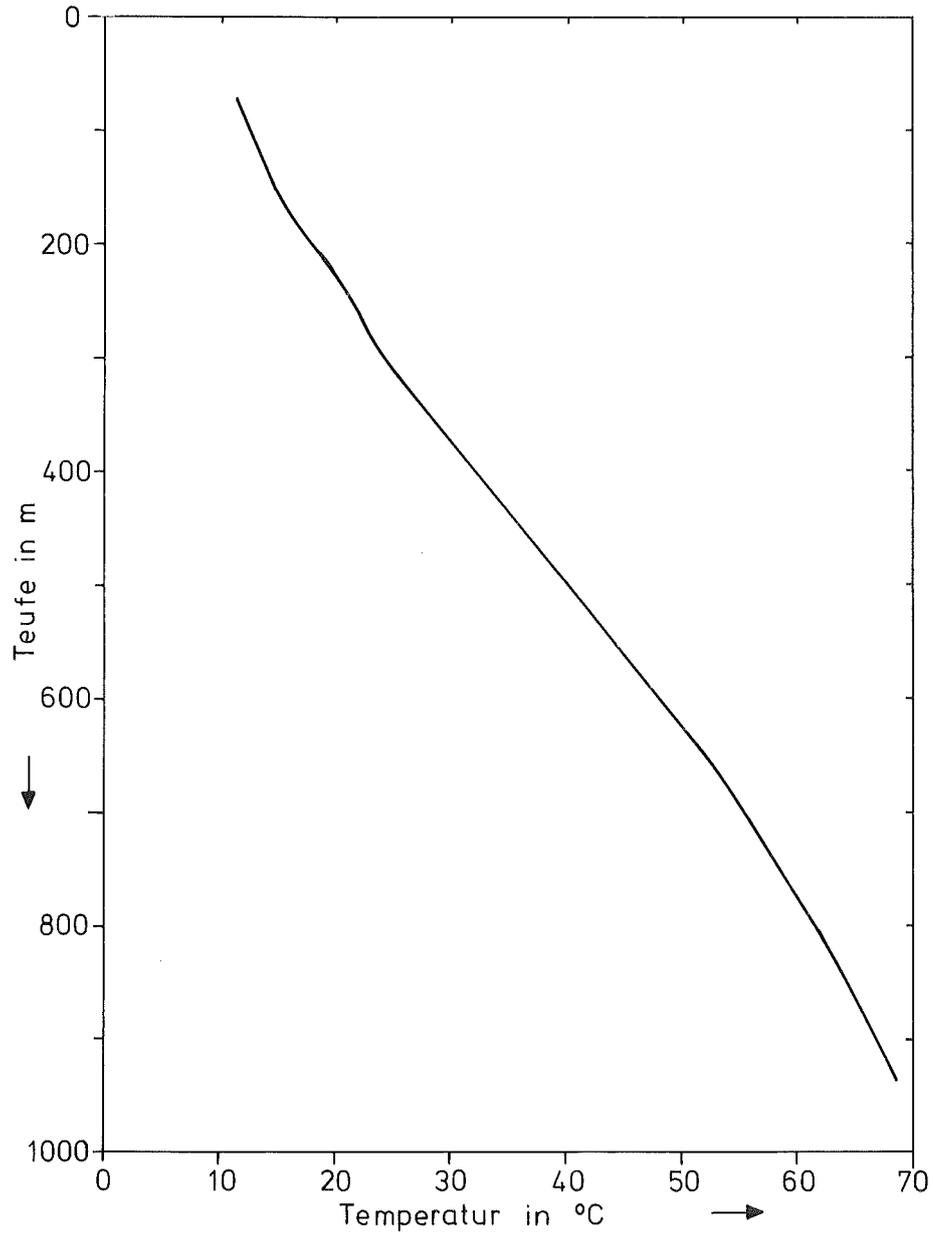


Abb. 2 Temperaturverlauf im Bohrlloch Lh 2

200m-Tiefbohrung
Kernforschungszentrum Karlsruhe

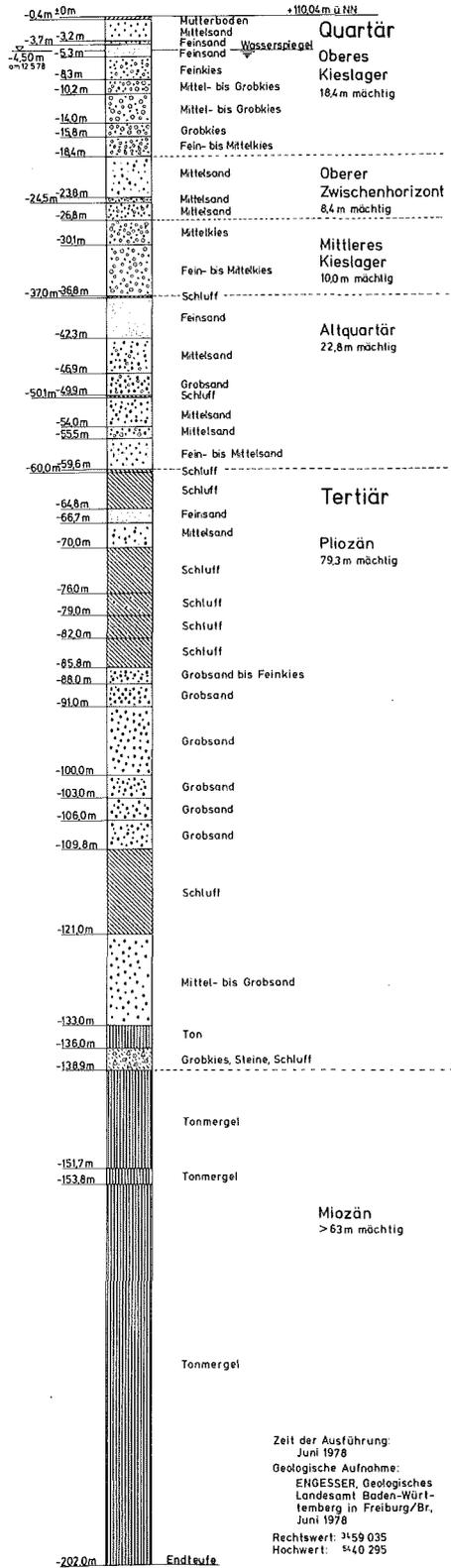


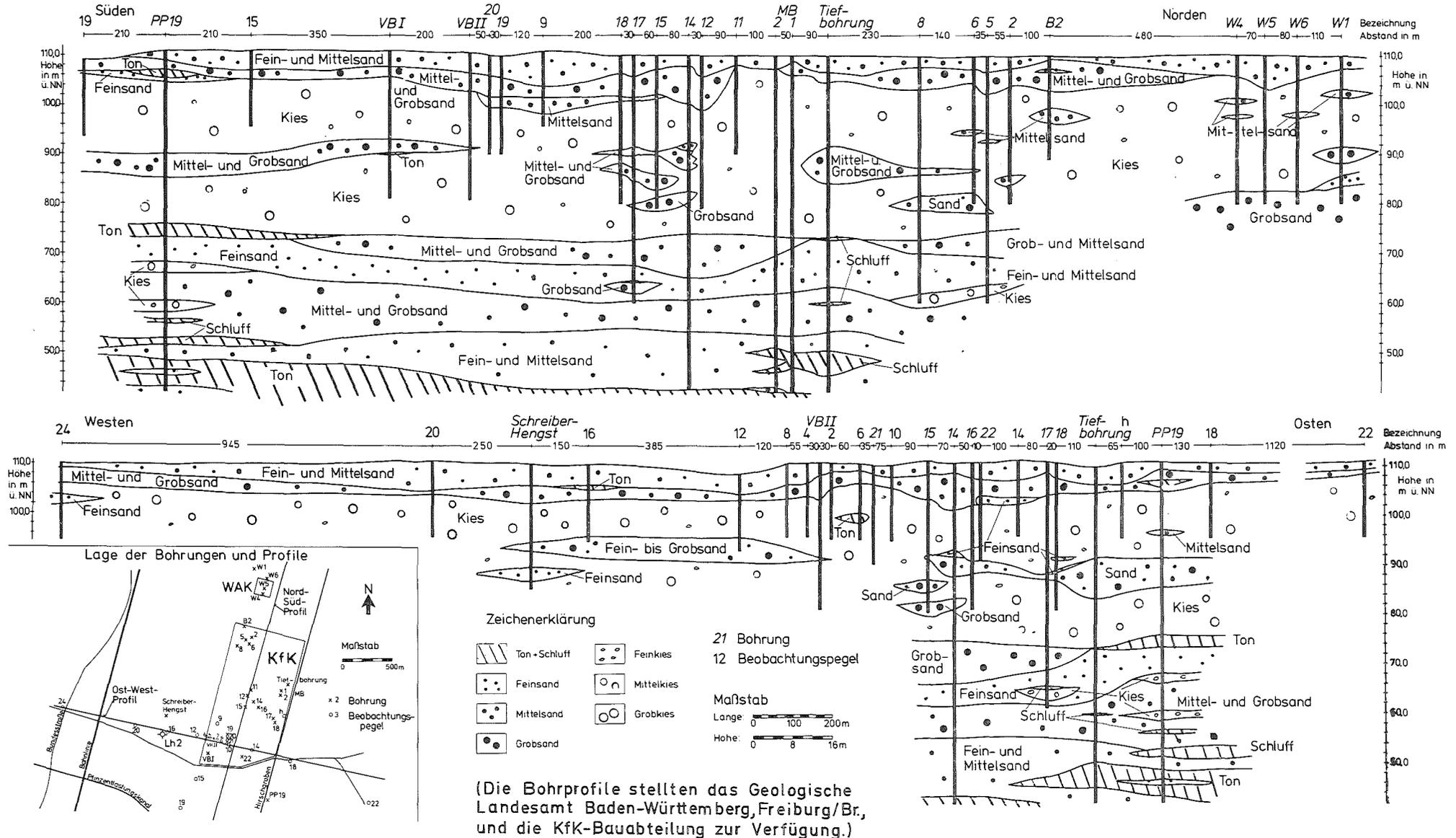
Abb. 3

Bohrprofil der
KfK - 200 m -
Bohrung

Zeit der Ausführung:
Juni 1978
Geologische Aufnahme:
ENGESSER, Geologisches
Landesamt Baden-Würt-
temberg in Freiburg/Br.,
Juni 1978
Rechtswert: 3159 035
Hochwert: 540 295

Abb. 4

Geologische Profile im Bereich des Kernforschungszentrums Karlsruhe



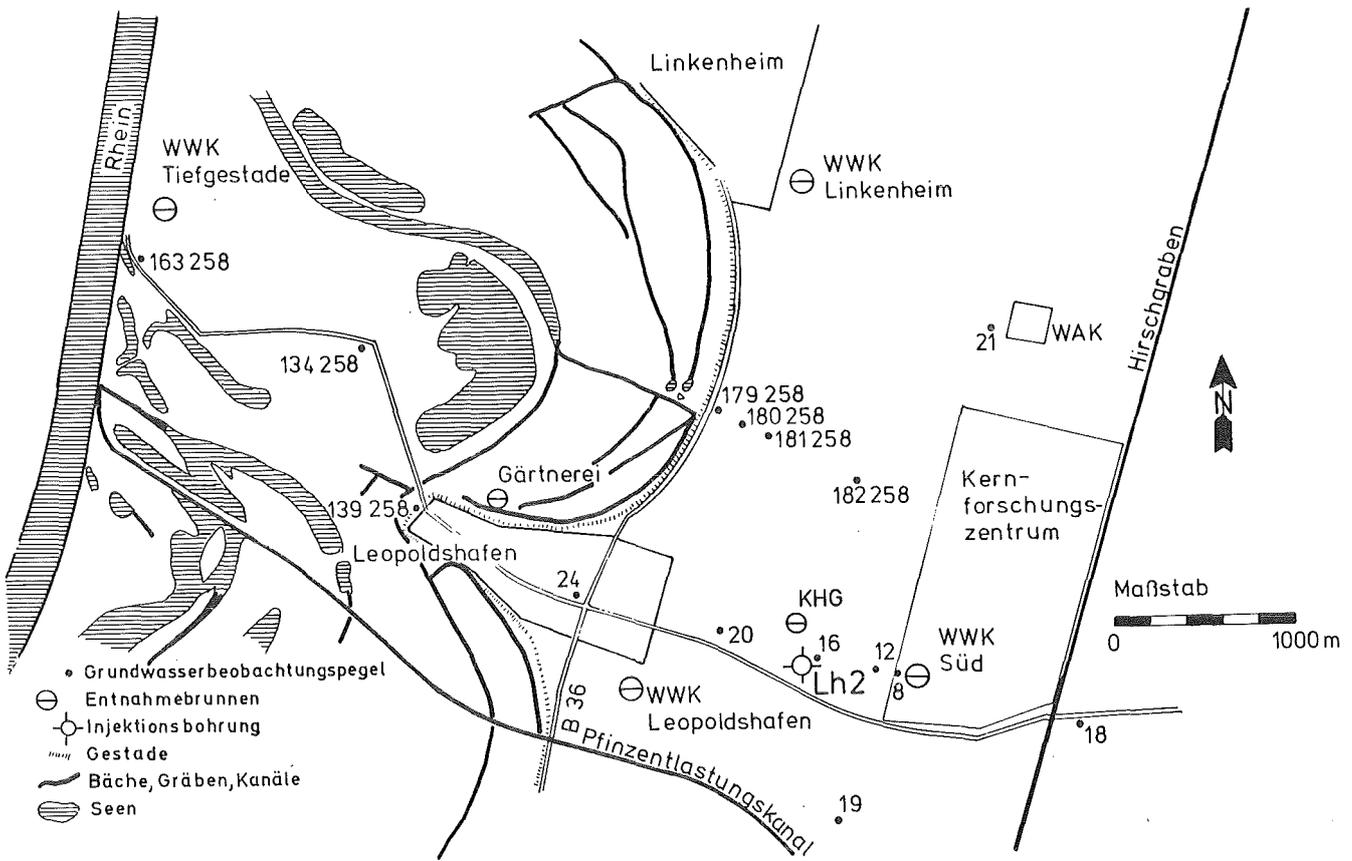


Abb.5 Oberirdische Gewässer im Raum Leopoldshafen

Grundwasseranalysen im Bereich der Niederterrasse

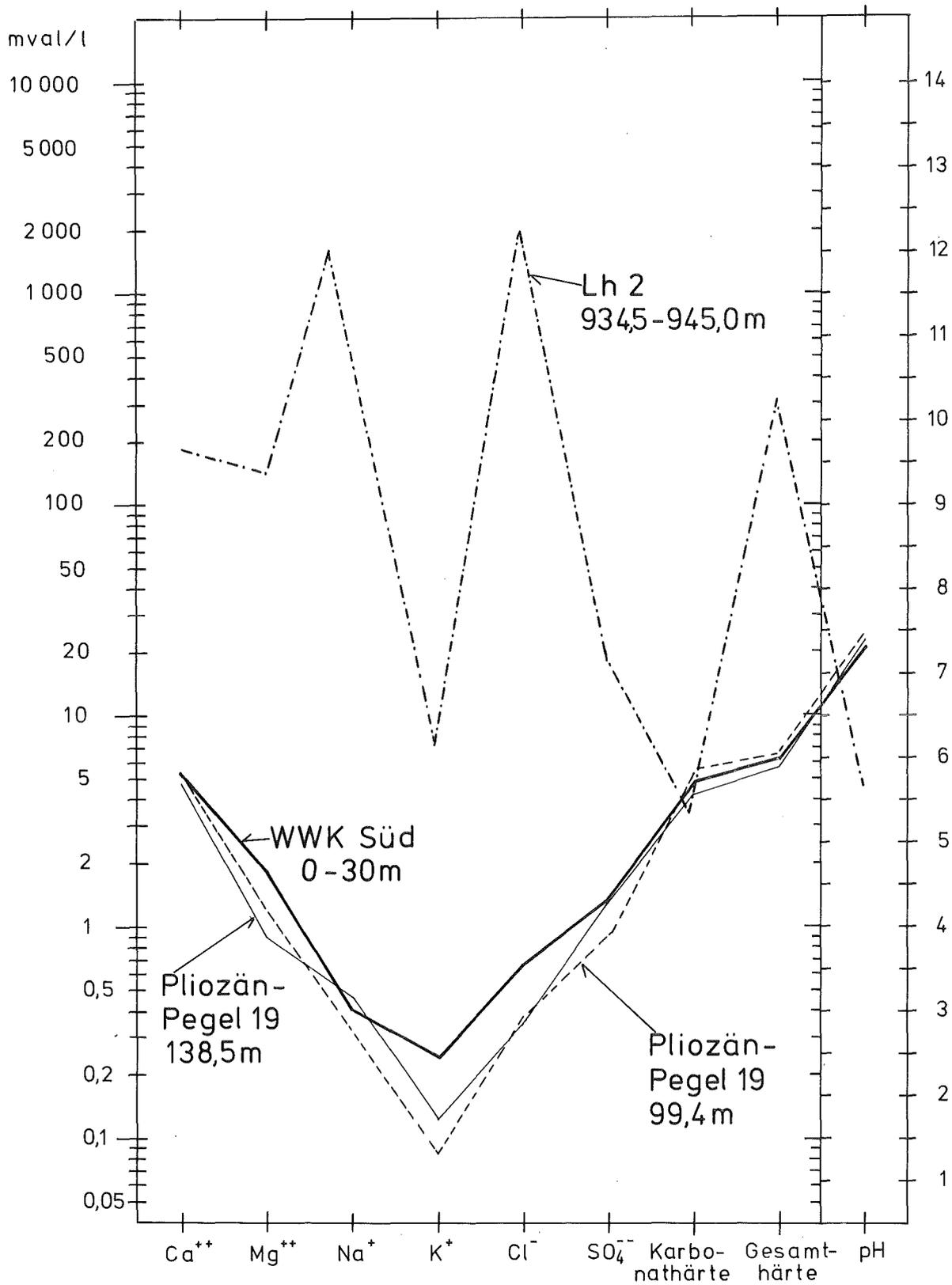


Abb. 6: Grundwasseranalysen

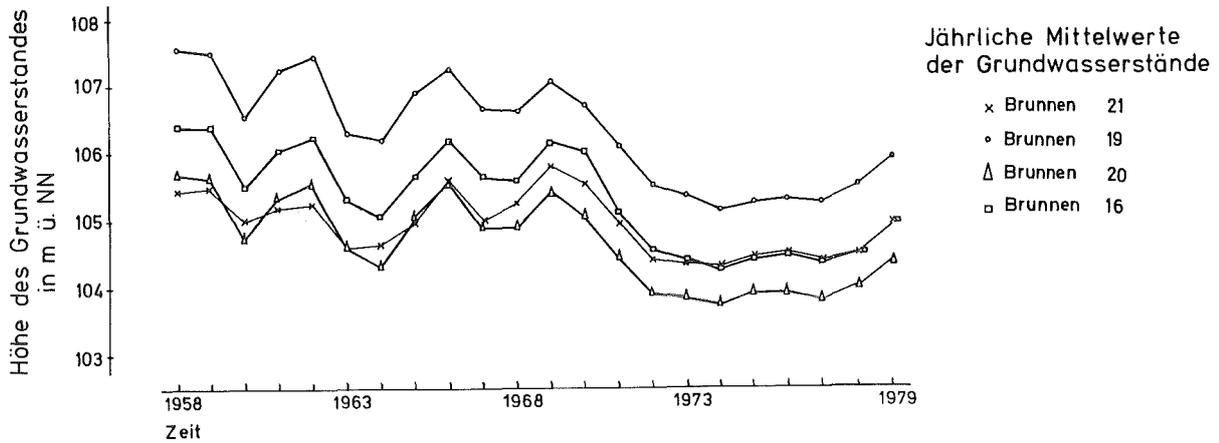


Abb. 7 Grundwasserstände

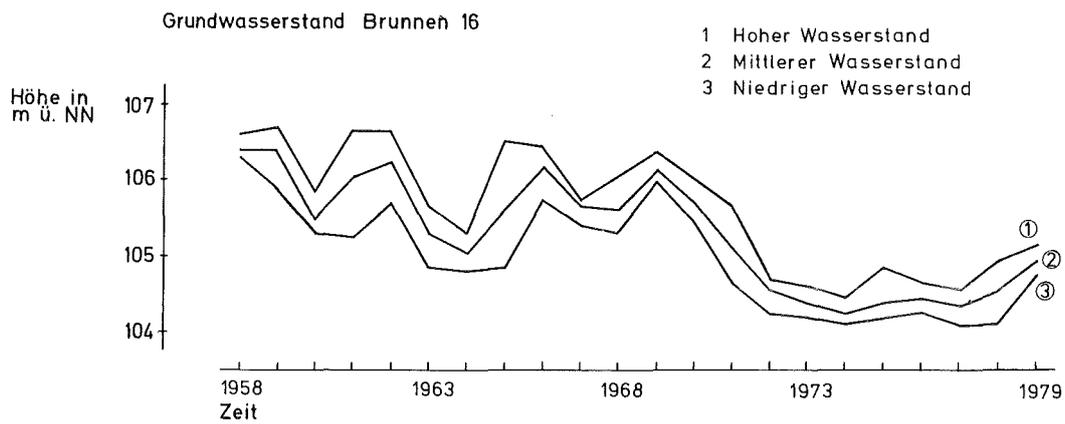


Abb. 8 Grundwasserschwankungsbereich

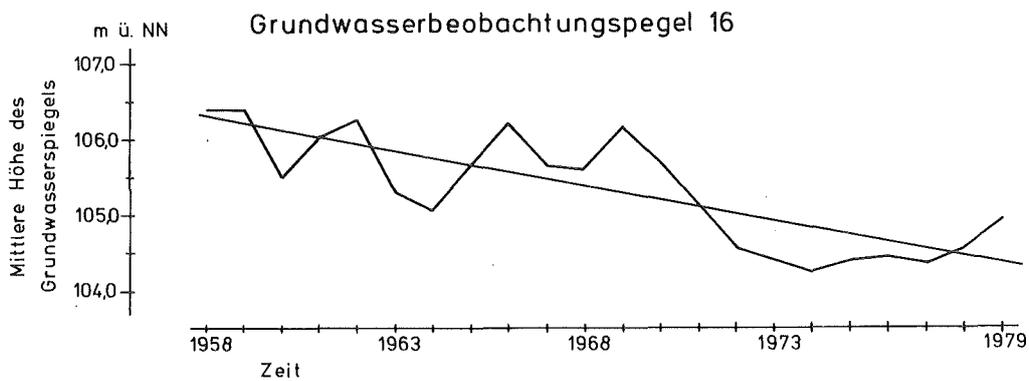
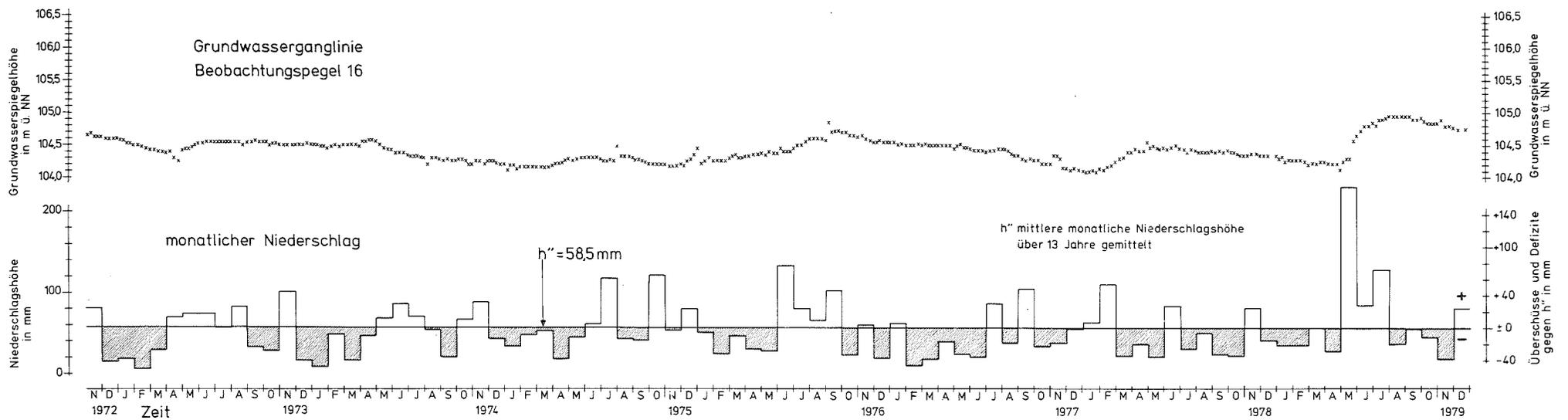
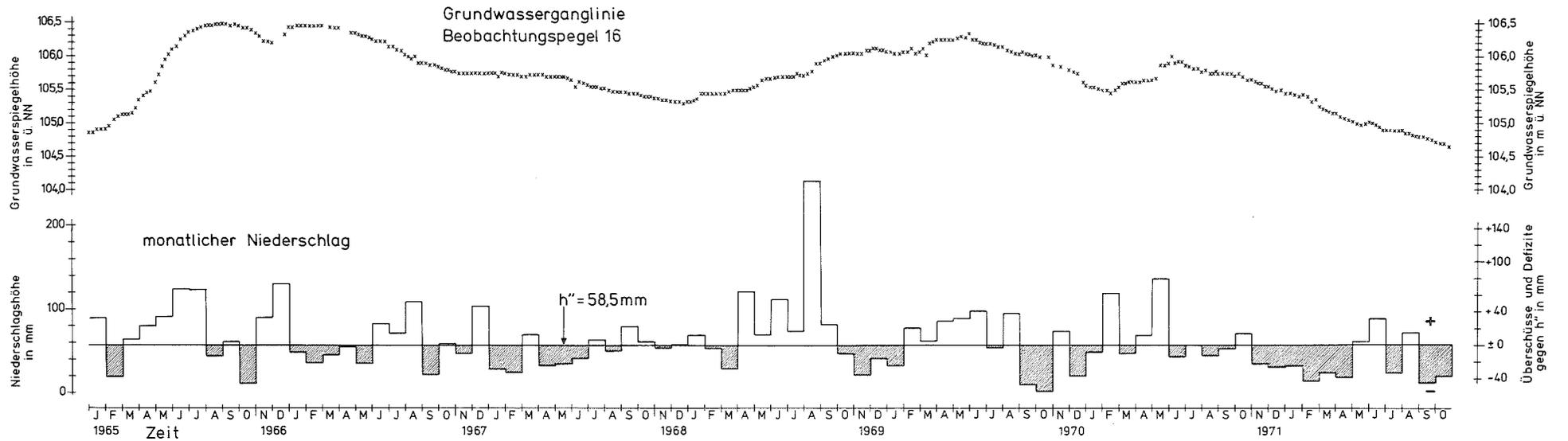


Abb. 9 Trendanalyse

Abb. 10

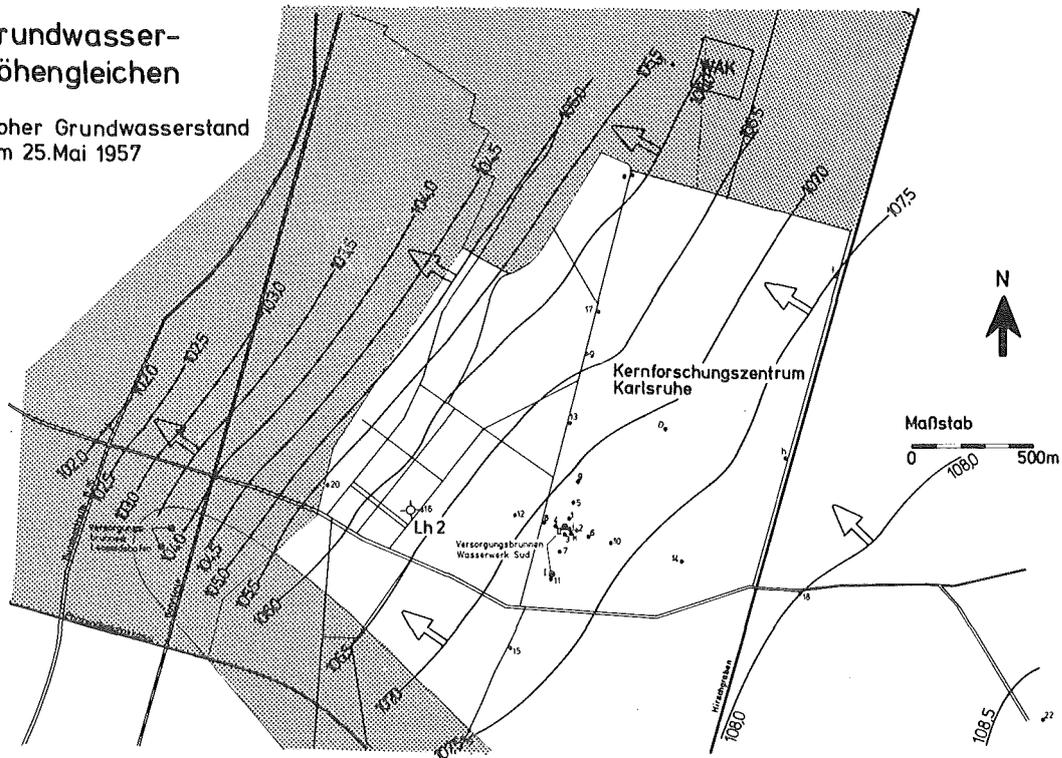
Vergleich von Niederschlagsmenge und Grundwasserstandshöhe



Grundwassersituation im Bereich des Kernforschungszentrums Karlsruhe

Grundwasserhöhengleichen

Hoher Grundwasserstand am 25. Mai 1957



Grundwasserhöhengleichen

Hoher Grundwasserstand am 9. Mai 1977

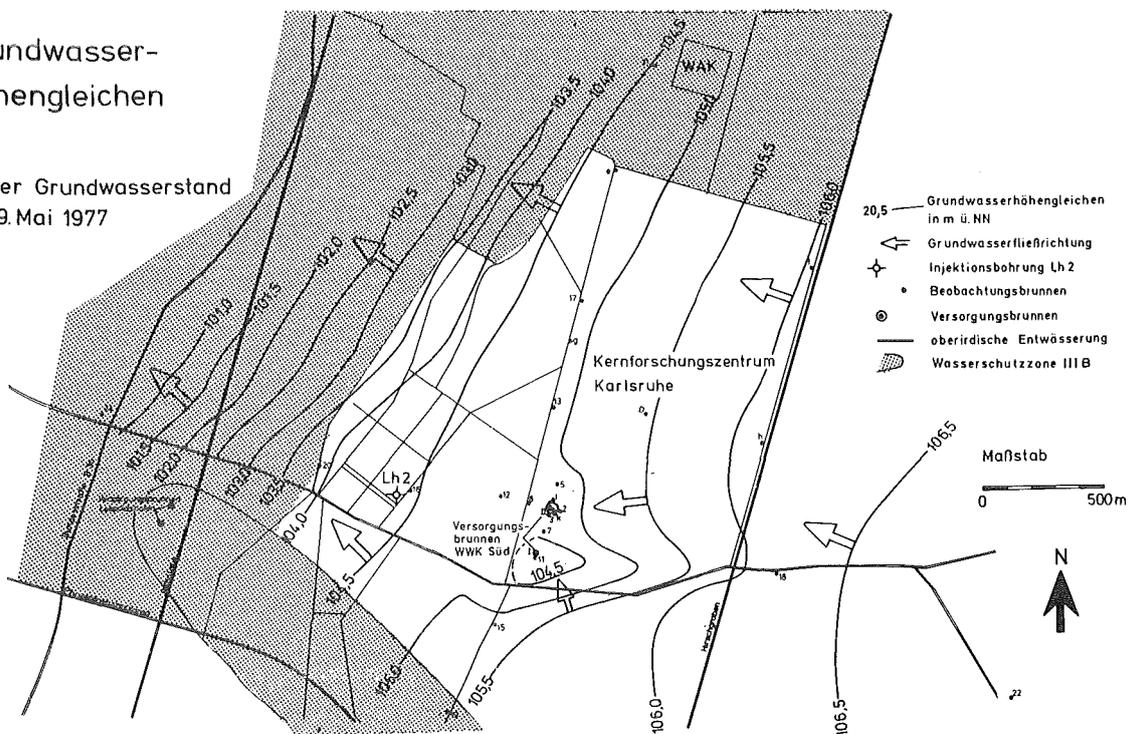


Abb.11 Grundwassersituation

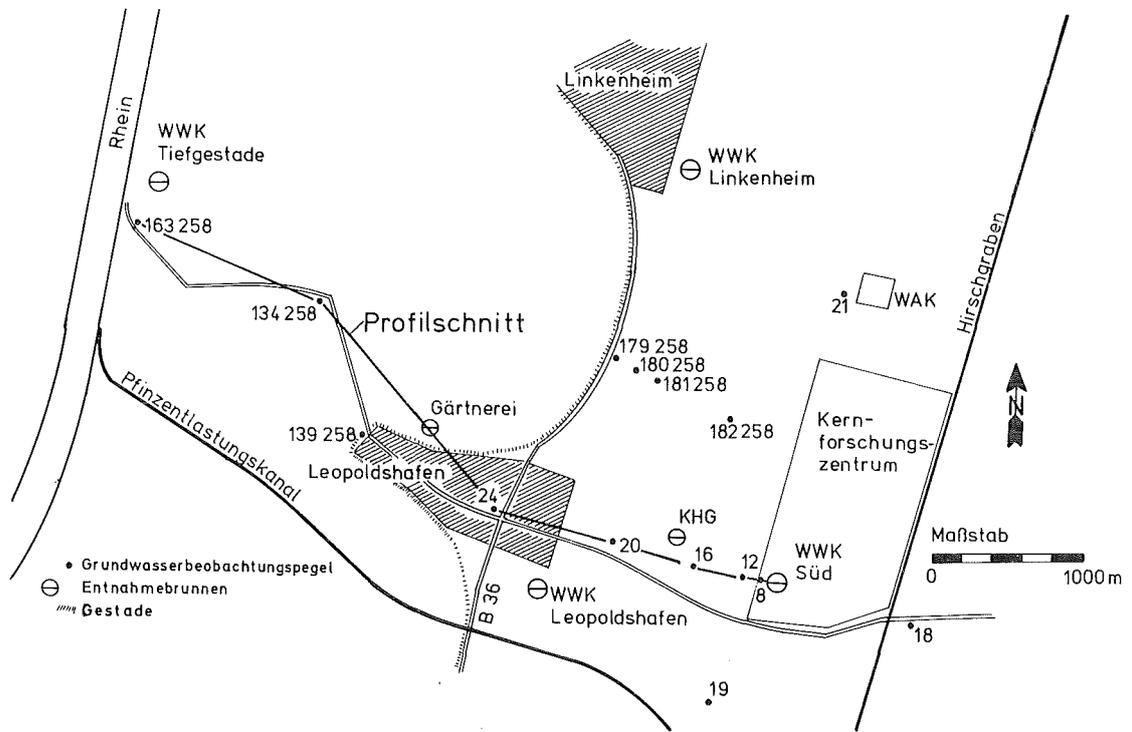
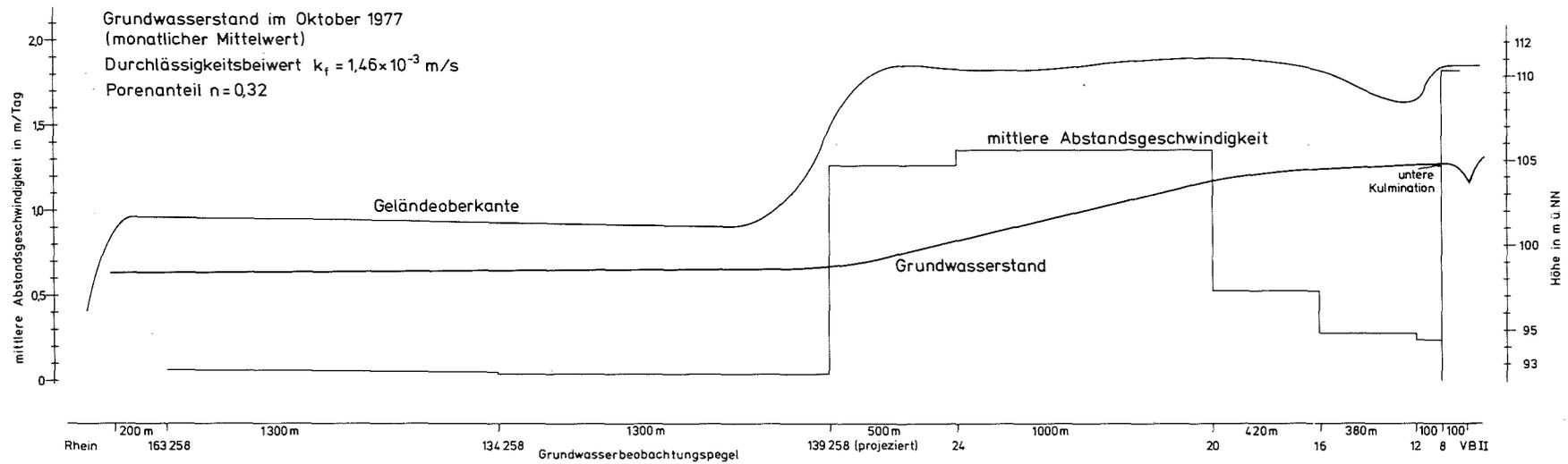


Abb. 12: Lage des Profils zur Abschätzung der Abstandsgeschwindigkeit

Abb. 13: Vergleich von Geländehöhe, Grundwasserstandshöhe und Grundwasserabstandsgeschwindigkeit im Raum Leopoldshafen



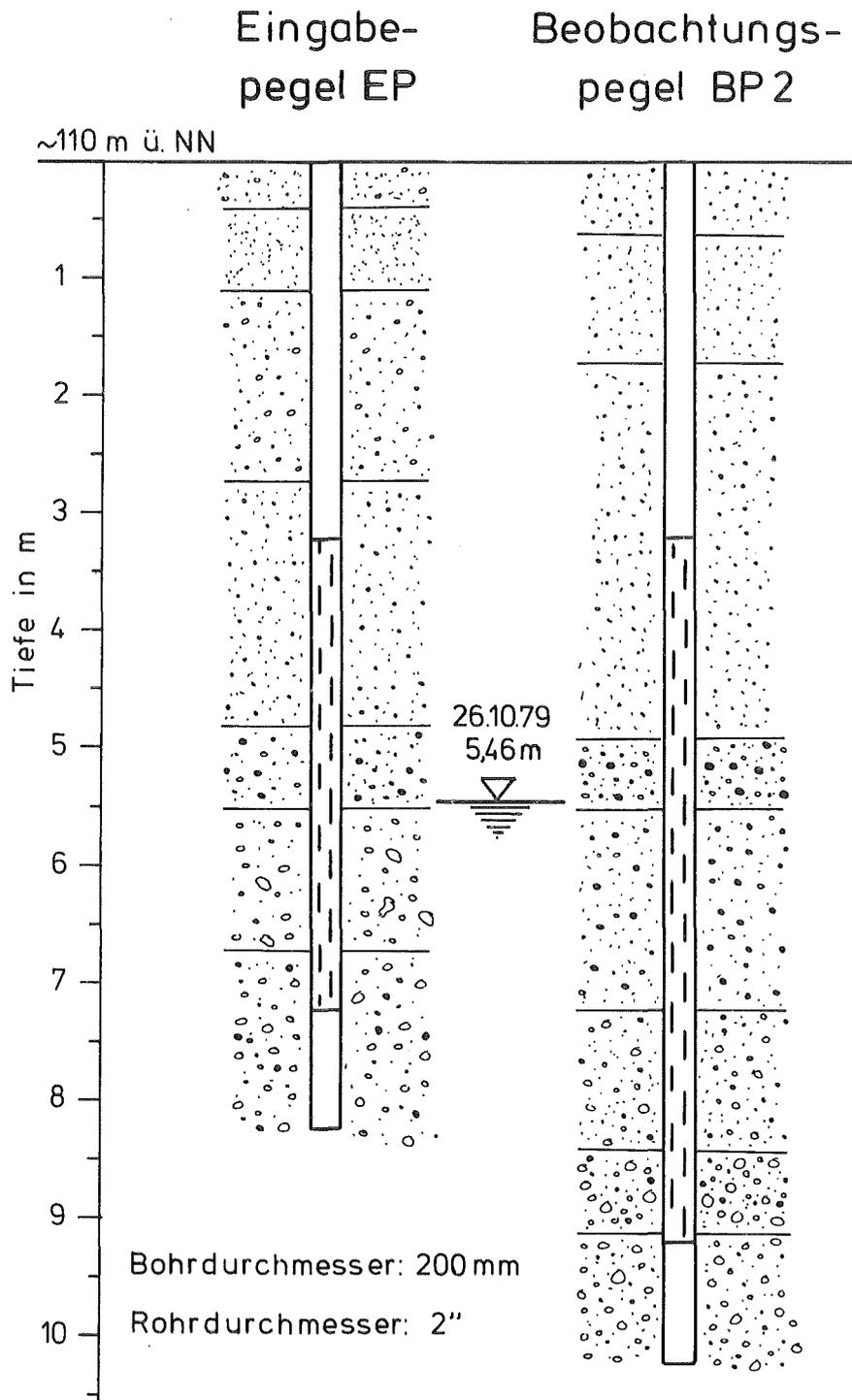


Abb. 14: Bohrprofile zweier Pegel

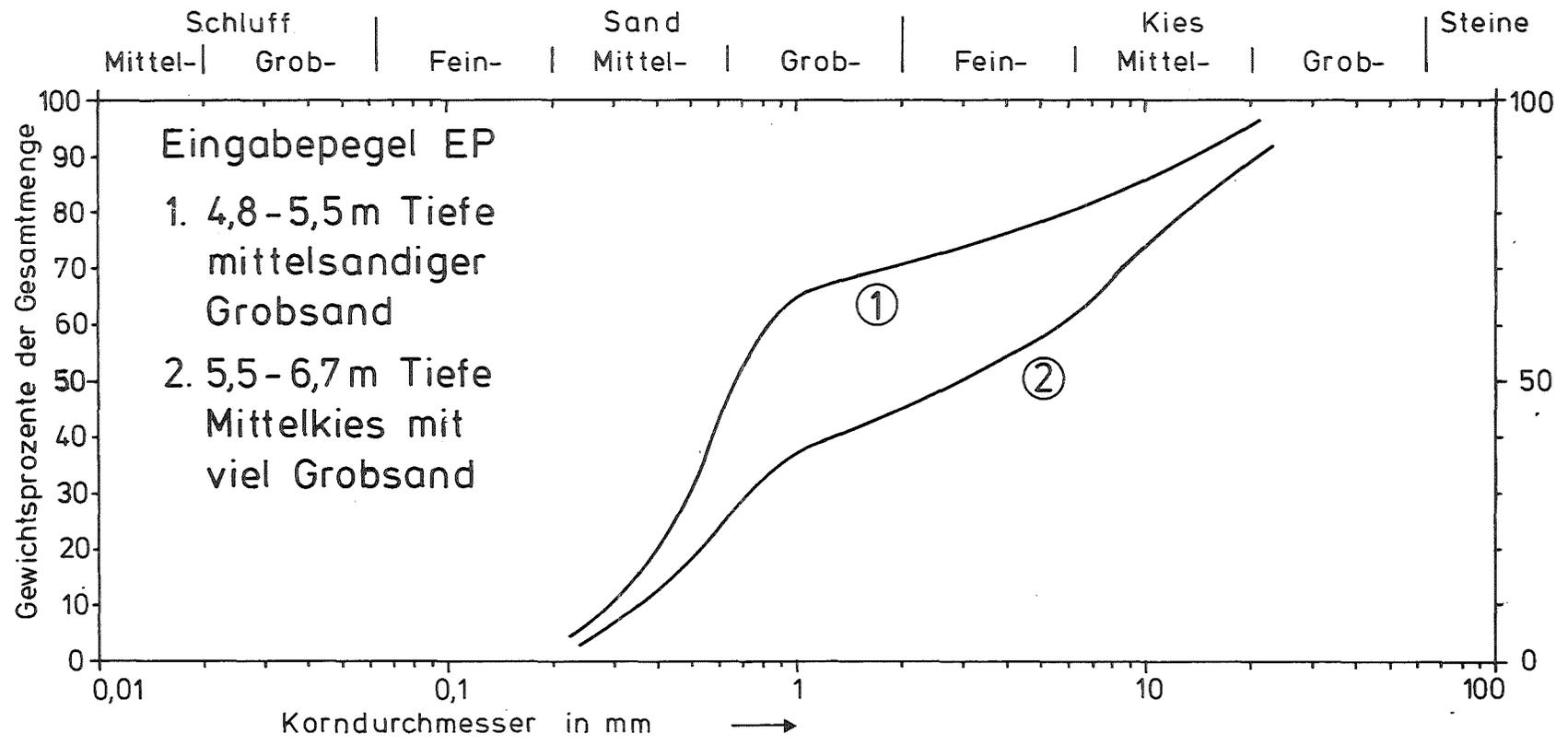


Abb. 15 a: Korngrößenverteilung im Eingabepegel EP

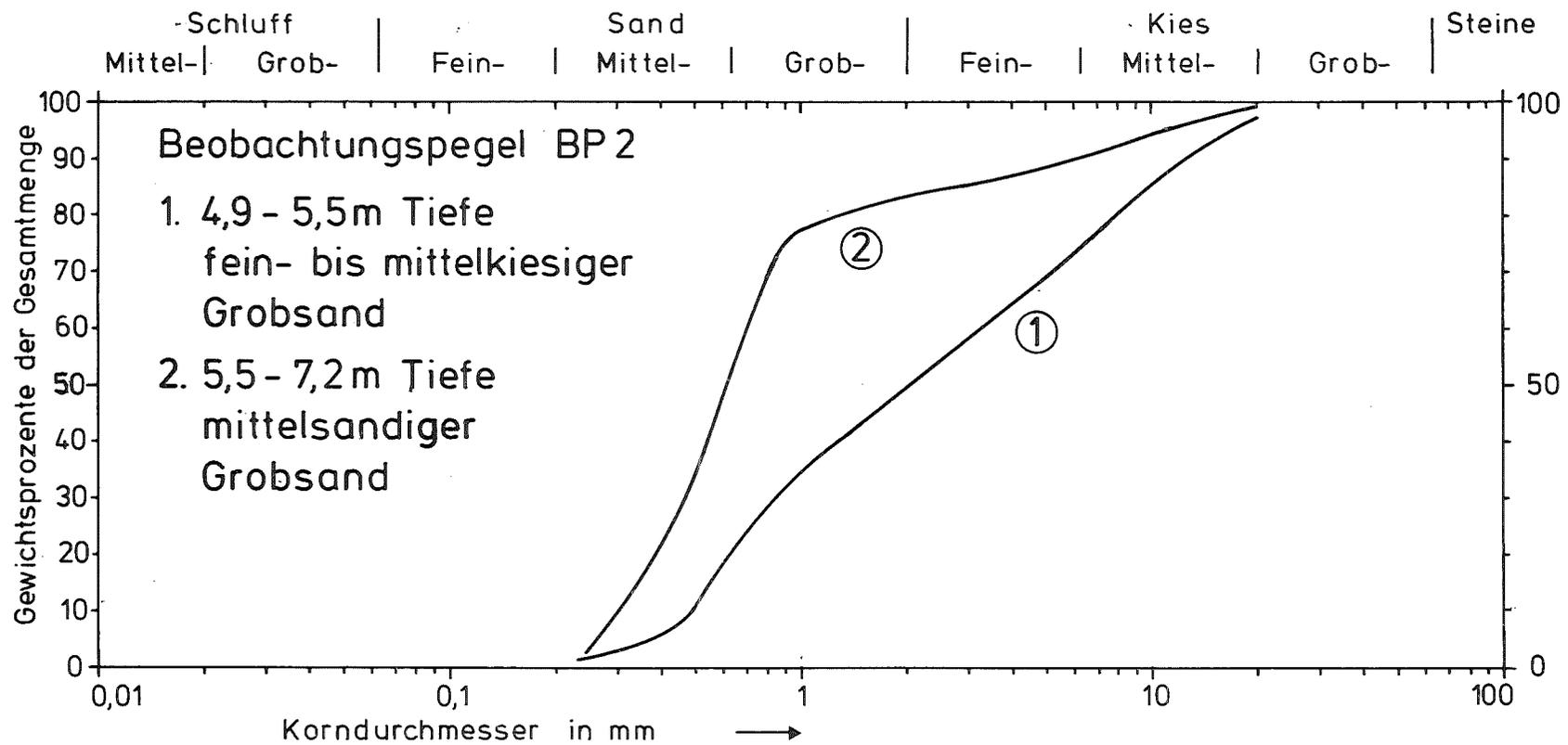


Abb. 15 b: Korngrößenverteilung im Beobachtungspegel BP 2

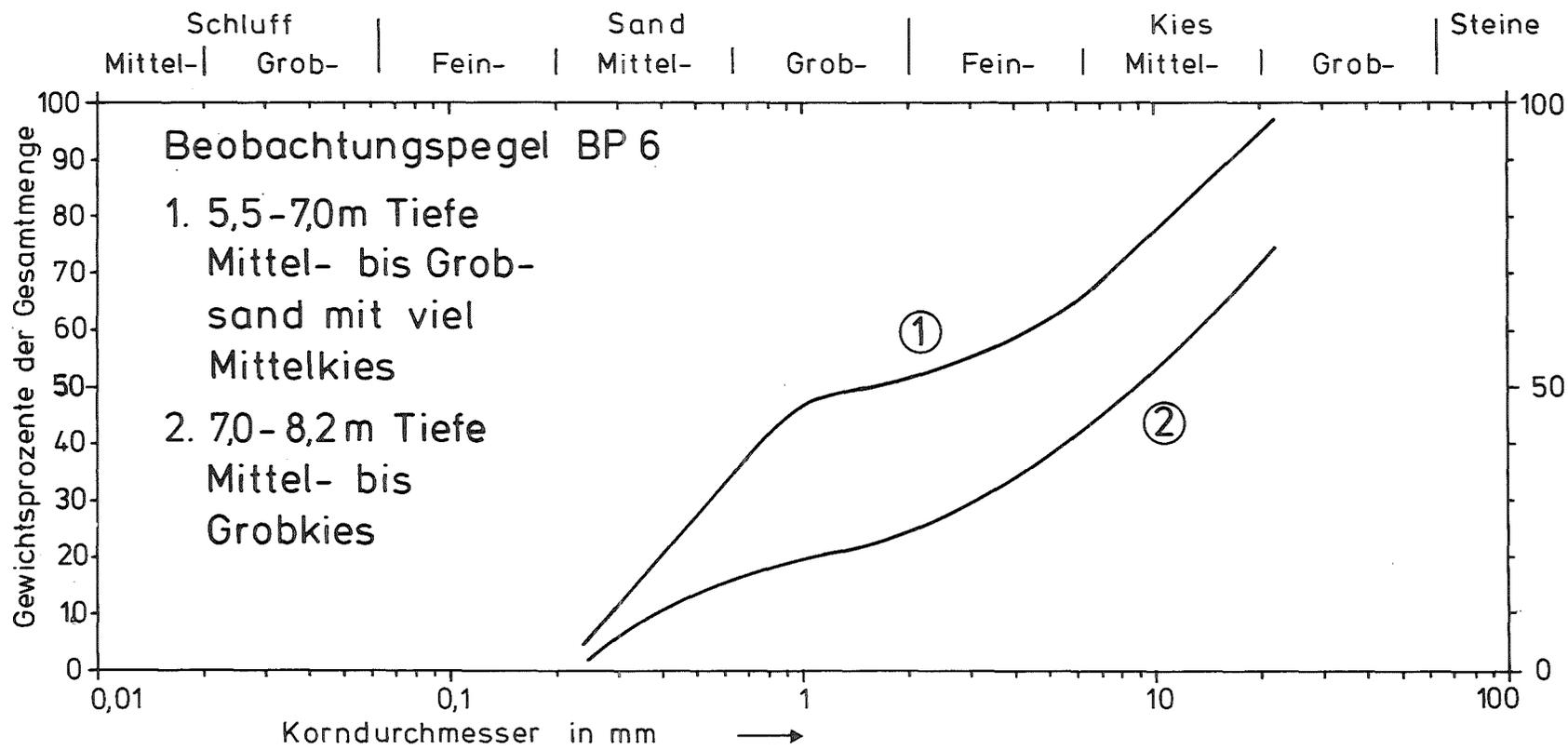


Abb. 15 c: Korngrößenverteilung im Beobachtungspegel BP 6

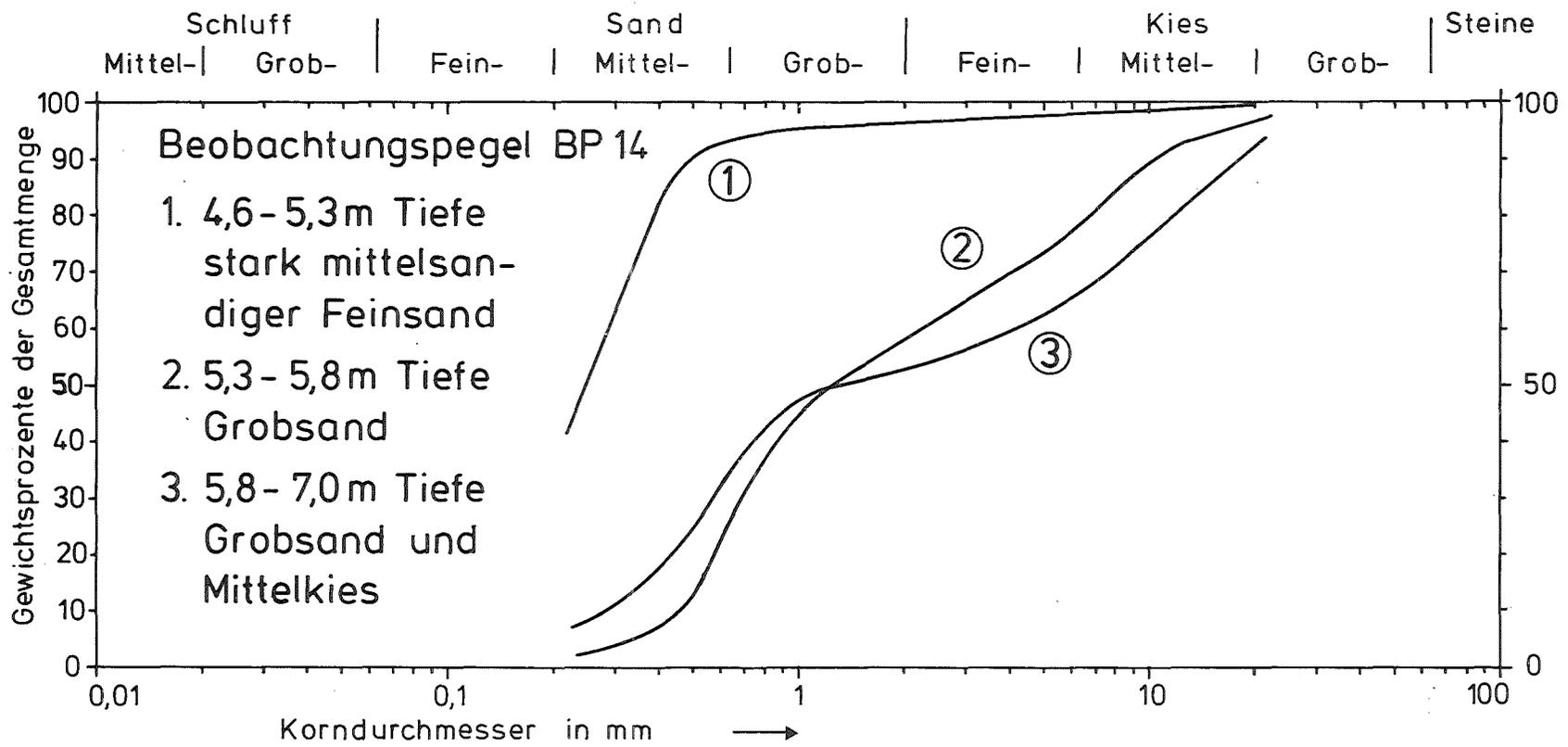


Abb. 15 d: Korngrößenverteilung im Beobachtungspegel BP 14

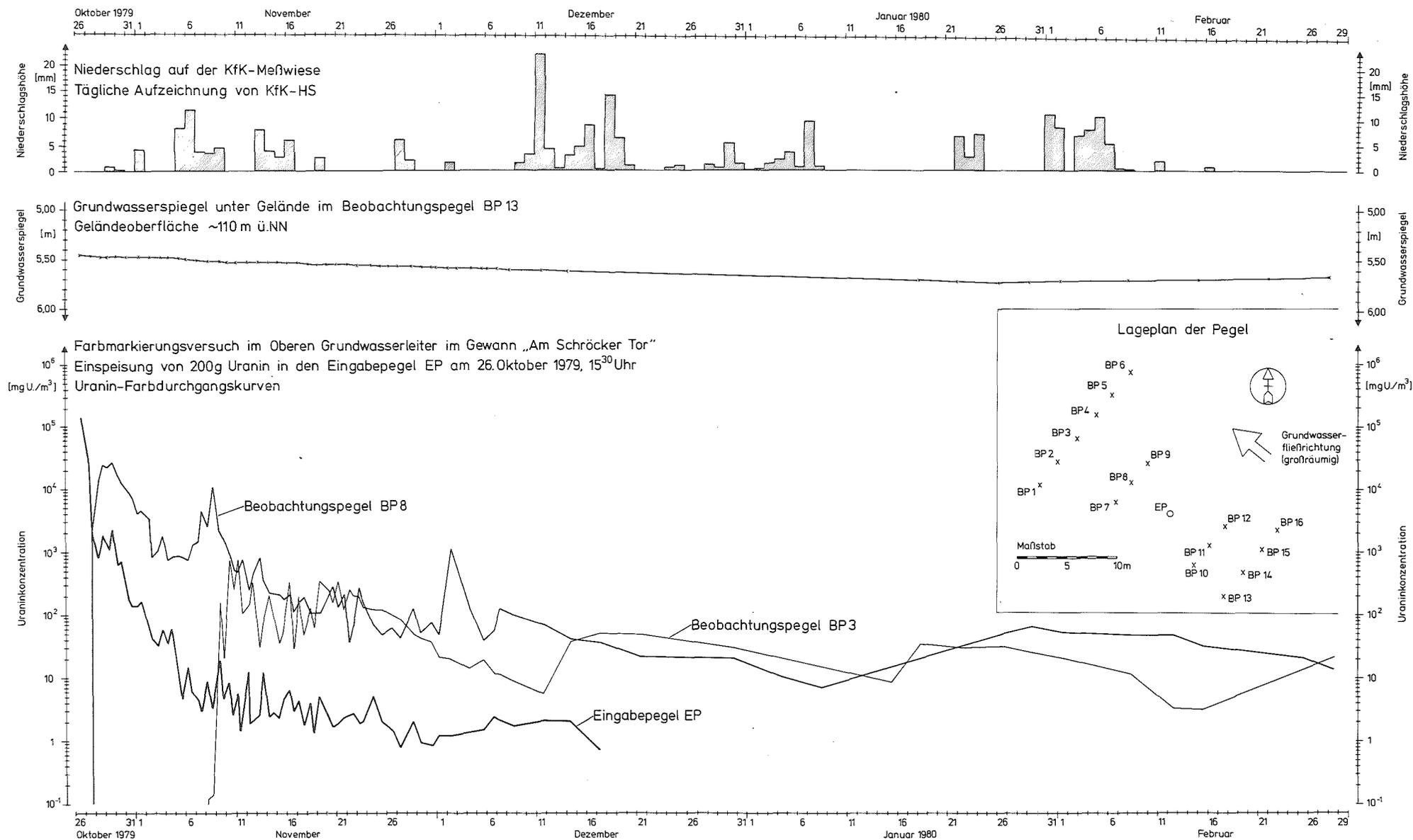


Abb. 16: Farbdurchgangskurven beim Tracer-Versuch mit Wasserstands- und Niederschlagsangaben

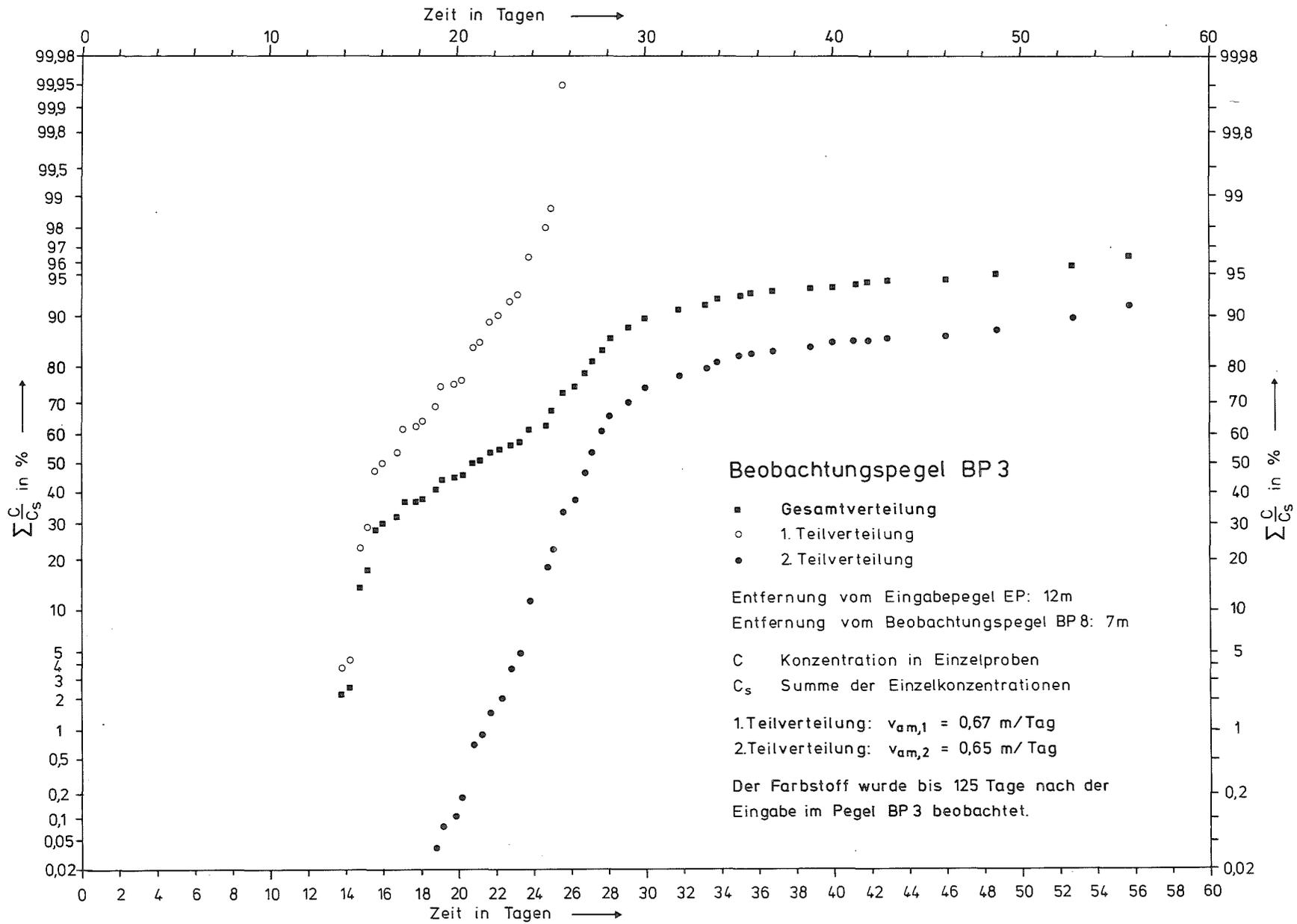


Abb. 18: Integrierte Konzentrations-Zeitkurven für den Beobachtungspiegel BP 3

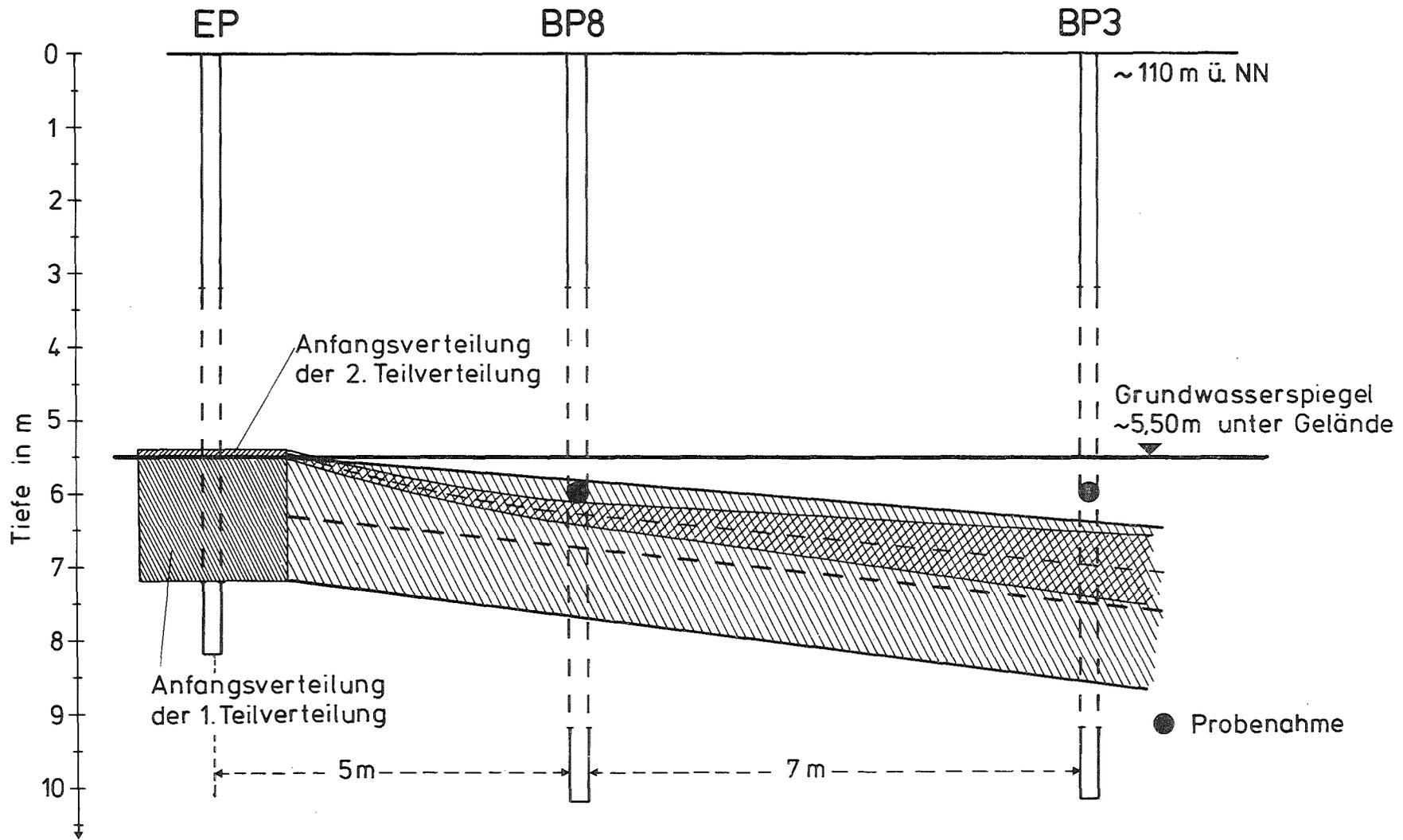


Abb. 19: Querschnitt der Tracerausbreitung

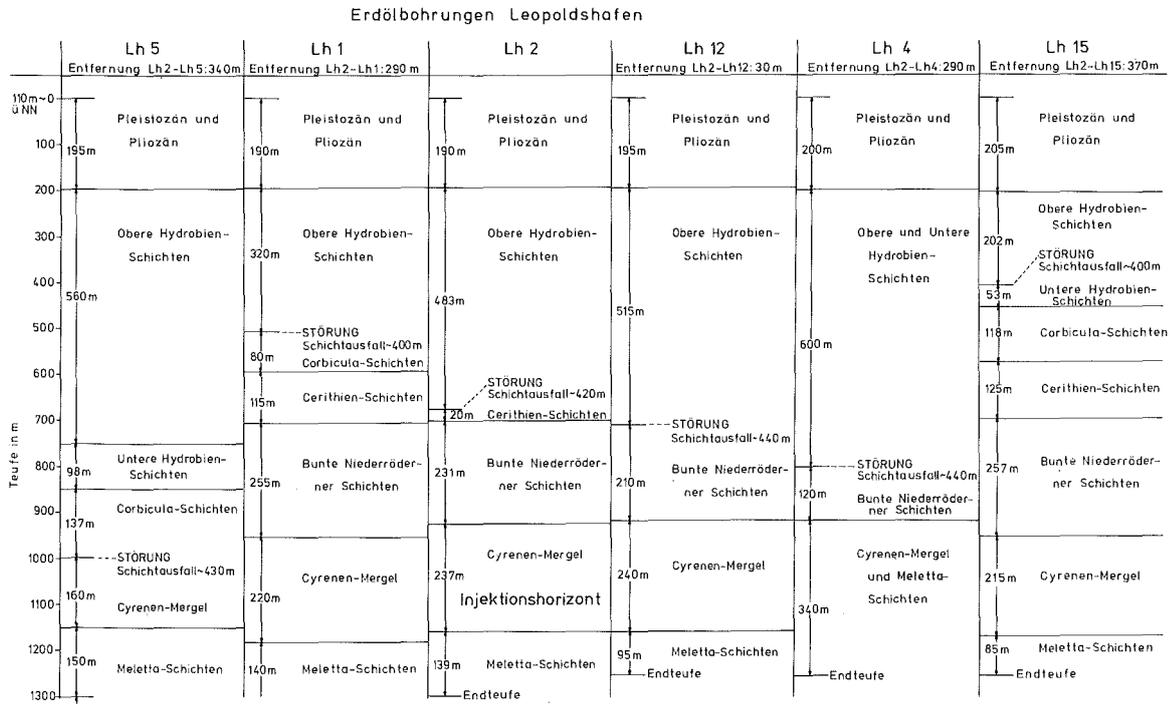
Tab. 1

Tertiäre und quartäre Auffüllung des Oberrheingrabens

Formation Abteilung Alter (Mio a)	lokalstratigraphische Bezeichnung	Petrographie	Fazies	Bemerkungen	
Quartär Pleistozän	Oberes Kieslager	sandiger Kies	fluviatil und limnisch		
	Ob. Zwischenhorizont	Mittelsand			
	Mittl. Kieslager	Fein- bis Grobkies			
	Altquartär	Sand, Schluff			
1,83 Tertiär Pliozän	Jungtertiär II	Schluff, Mittel- und Grobsand		Leopoldshafen: Denudation des Jungtertiärs I u. v. Teilen der Ob. Hydrobien- Schichten	
5 Miozän	Ob. Hydrobien- Schichten	bituminöse Mergel	brackisch		
	Unt. Hydrobien- Schichten	Mergel, z.T. bituminös mit Sandstein- u. Dolomitbänken	marin	fast keine Sandschüttung	
	Corbicula- Schichten	Mergel, z.T. bituminös Bändermergel mit Kalklamellen	brackisch	dünne Sandsteinlagen Tiefscholle: Anhydrit Hochscholle: kein Anhydrit	
	Cerithien- Schichten	Mergel, in Randbe- reichen Kalke	Basis limnisch, ob. Teil marin	in stärkerem Umfang Sandstei- ne, kein Anhydrit, z.T. Braunkoh- len u. kohlige Tone	
22,5 Oligozän	Bunte Niederrö- derner Schichten	Tonmergel mit ein- zelnen Kalksand- steinbänken	limnisch- brackisch	Ölträgerhorizonte, Sandstein- lagen > 10m mächtig, schnelles seitliches Auskeilen	
	Cyrenen-Mergel	Graue Schichtentfolge	glimmersandige Ton- mergel mit Einschäl- tungen von sandigen Schichtkomplexen u. Kalksandsteinen	marin - brak- kisch - limnisch	Ölträgerhorizonte, Sandstein- bänke, -linsen, -fahnen
	Meletta- Schichten		glimmersandige Ton- mergel, wechsellagernd mit Kalksandsteinen u. Sandlagen	brackisch - limnisch	Ölträgerhorizonte, Sandstein- bänke, -linsen, -fahnen
	Fischschiefer Foraminiferen- mergel		bituminöse Ton- mergel	marin	
	Pechelbronner Schichten		bunte Tonmergel mit kalkigen, dolomiti- schen Bänken, sali- nare Einschaltungen	limnisch - brak- kisch - salinar	
37 Eozän	Lymnäenmergel		Mergelsteine und Dolomitmergel	brackisch - limnisch	
	Eozäner Basis- ton	Tonsteine mit san- digen Zwischenlagen	terrestrisch	älteste Grabenfüllung Tertiärbasis	

[Literatur: J. BARTZ 1974 u. 1976, F. DOEBL 1967, O.F. GEYER & M.P. GWINNER 1968, A. SCHAD 1962 u. 1964, E. WIRTH 1962]

Tab.:2



[Die Bohrprofile der Erdölbohrungen wurden von der Fa. C.DEILMANN AG, Bentheim, zur Verfügung gestellt.]

Tab. 3

Wasseruntersuchungen

	Trinkwasser ob. Grenze	Lh 2 9345-945 m	WWK Süd 0-30 m	WWK Tief- gestade	Pliozänpegel 19		Pliozänpegel 20		Pliozän-P 18	Meerwasser
					99,4 m	138,5 m	117,4 m	142,5 m	118 m	
Farbe	farblös / 1/1	farblös	farblös	farblös	farblös	farblös	farblös	farblös	farblös	
Trübung	klar / 1/1	vorhanden	klar	klar	klar	klar	klar	klar	klar	
Geruch	geruchlos / 1/1	nach Mineralöl	ohne Besonderheit	ohne Besonderheit	schwach nach H ₂ S	nach H ₂ S	schwach nach H ₂ S	schwach nach H ₂ S	nach H ₂ S	
Geschmack	einwandfrei / 1/1	satzig	ohne Besonderheit	ohne Besonderheit	normal	laugig	normal	normal	laugig	
Temperatur [°C]	5-15 / 1/1		11,5	13,0	12,5	12,8	12,0	11,3	14,1	
pH-Wert	9,5 / 2/1	5,7	7,35	7,45	7,45	7,45	7,35	7,45	7,40	
Leitfähigkeit (20°C) [µS/cm]	1 250 / 2/1	120 000	502	654	524	517	530	495	550	
Abdampfdruckstand [mg/l]	1 500 / 2/1	129 000	376	487						
Gesamthärte [mval/l]	2-10 / 8/1	328,57	6,18	4,63	6,50	5,75	6,70	6,00	5,50	
Karbonathärte [mval/l]		4,0	4,79	3,75	5,40	4,60	6,60	5,35	5,35	
Nichtkarbonathärte [mval/l]		324,57	1,39	0,88	1,10	1,15	0,10	0,65	0,15	
Oxidierbarkeit [mg KMnO ₄ /l]	12 / 5,6,7/1	80	1,4	1,9	1,6	1,9	2,9	2,2	1,6	
Natrium [mval Na ⁺ /l]	4,35 / 2/1	1580	0,408	2,844	0,335	0,476	0,150	0,260	1,120	467,54
Kalium [mval K ⁺ /l]	<0,26 / 2/1	705	0,240	0,175	0,085	0,120	0,033	0,029	0,095	9,97
Ammonium [mval NH ₄ ⁺ /l]	0,028 / 2,5,6,9/1	5,2	n.n.	n.n.	0	0,01	0,02	0	0,04	
Calcium [mval Ca ²⁺ /l]	4,99 / 2,4/1	185	5,09	3,79	5,25	4,85	4,60	5,00	4,10	20,76
Magnesium [mval Mg ²⁺ /l]	8,22 / 5/1	143	1,086	0,789	1,25	0,90	2,10	1,00	1,40	106,50
Eisen [mval Fe ²⁺ /l]	0,0054 / 5,6/1	2,30	0,013	0,02	0,027	0,001	0,026	0,07	0,03	
Mangan [mval Mn ²⁺ /l]	0,0018 / 2,4,5,6,8,9/1	—	0,0004	0,009	0,001	0,0007	0,005	0,017	0,004	
Chlorid [mval Cl ⁻ /l]	9,87 / 5,6,9/1	1920	0,65	3,65	0,38	0,34	0,15	0,34	1,24	545,54
Fluorid [mval F ⁻ /l]	0,079 / 2,3,6,8,9/1				0,007	0,009	0,012	0,011	0,012	0,068
Bromid [mval Br ⁻ /l]		2,0								0,826
Jodid [mval J ⁻ /l]		0,1								
Nitrat [mval NO ₃ ⁻ /l]	1,613 / 5,6,8,9/1	—	0,02	0,001	0,089	0,089	0,027	0,005	0,02	
Nitrit [mval NO ₂ ⁻ /l]	Spur / 5,6,8/1	Spur	n.n.	n.n.	0,0003	0,001	0	0,0002	0	
Hydrogenkarbonat [mval HCO ₃ ⁻ /l]		4,0	4,79	3,75	5,40	4,60	6,60	5,35	5,35	2,38
Sulfat [mval SO ₄ ²⁻ /l]	5,2 / 2,3,5,6,8,9/1	10,85	1,30	0,60	0,97	1,24	0,11	0,62	0,09	56,27
Phosphat [mval PO ₄ ³⁻ /l]	Spur / 5,6/1	negativ	0,0095	0,013	0,083	0,078	0,045	0	0	
Kieselsäure [mg SiO ₂ /l]		10	9,3	10,6	16,0	16,1	15,7	18,5	20,92	
Borsäure [mg HBO ₂ /l]	44 / 4/1	—			0,041	0,041	0,151	0,083	0,173	
Feststoffinhalt [mg/l]	400 / 4/1	111 332	519,22	556,75	546,123	500,675	561,006	509,303	534,028	35 124,3
Freie Kohlensäure [mg CO ₂ /l]		vorhanden	24,2	14,3	7,70	6,60	8,80	7,70	n.b.	
Sauerstoff [mg O ₂ /l]	> 5 / 2,6,8,9/1	—	1,4	0,6	1,69	4,04	2,81	2,53	4,79	
Sauerstoff-Sättigung			13,4%	5,9%	16%	38%	26%	23%	47%	
Schwefelwasserstoff [mg H ₂ S/l]	0 / 5,6,7,9/1	negativ	n.n.	n.n.						
Probenahme am		25.6.1963	1.2.1979	1.2.1979	13.3.1978	13.3.1978	13.3.1978	13.3.1978	14.3.1978	
Durchführung der Analyse	nach / 1/ DIN 2000, DIN 2001, / 2/ DIN Bur- destag 7/3975, / 3/ Trinkwasserverordnung, / 4/ DVOW, W 151, / 5/ W RICHTER & W LILLICH (1975), / 6/ W RICHTER & R WAGER (1969), / 7/ K HÖLL (1970), / 8/ G MATTHESS (1973), / 9/ H KRUSE (1959)	C. DEILMANN AG, Bentheim	KIK - ADB		Geologisches Landesamt Baden-Württemberg, Freiburg / Breisgau					nach W RICHTER & W. LILLICH (1975)

Tab. 4 Wasserentnahme durch Wasserwerke

Wasserwerk	Entnahmebrunnen	Tiefe (m)	Förderleistung (l/s)
Leopoldshafen	1	20,5	8
	2	19,0	8
KfK-WWK	1	39,0	69
Tiefgestade	2	39,0	69
	4	39,2	55
	5	35,4	55
	6	37,5	55
KfK-WWK	1	30,3	36
Süd	2	30,0	36
Linkenheim	1	25	} 132
	2	28	
	3	28	
	4	36	

Tabelle 5: Korngrößenverteilung in den Pegeln

Bodenprobe	Siebdurchgang (in Gew.-%)					
	Feinsand	Mittelsand	Grobsand	Feinkies	Mittelkies	Grobkies
	0,25 mm	0,5 mm	2 mm	6,3 mm	20 mm	63 mm
BP 2 4,9 - 5,5 m	1,9	8,3	39,1	24,5	23,9	2,5
BP 2 5,5 - 7,2 m	3,1	27,8	52,5	6,4	9,9	0,3
BP 6 5,5 - 7,0 m	6,1	20,7	25,2	13,1	29,8	5,1
BP 6 7,0 - 8,2 m	1,9	11,5	10,4	16,8	31,0	28,4
BP 14 4,6 - 5,3 m	49,9	41,6	5,4	1,2	1,7	-
BP 14 5,3 - 5,8 m	3,3	9,1	46,0	19,1	19,4	3,2
BP 14 5,8 - 7,0	8,0	16,2	29,0	11,8	28,3	7,2
EP 4,8 - 5,5 m	6,8	25,9	38,8	8,6	15,8	4,1
EP 5,5 - 6,7 m	4,1	14,8	26,7	16,9	27,7	9,7

Tabelle 6: Kennwerte bezüglich der Korngrößen

Bodenprobe	Korndurchmesser (in mm) bei Siebdurchgang			$U = \frac{d_{60}}{d_{10}}$	Durchlässigkeitsbeiwert k_f (in m/s)	
	10%	25%	60%		SEILER	HAZEN
BP 2 4,9-5,5 m	0,5	0,75	3,3	6,6	$4,3 \times 10^{-3}$	-
BP 2 5,5-7,2 m	0,31	0,44	0,62	2,0	-	$1,1 \times 10^{-3}$
BP 6 5,5-7,0 m	0,3	0,47	4,8	16,0	$0,5 \times 10^{-3}$	-
BP 6 7,0-8,2 m	0,4	2,25	13,0	32,5	$6,0 \times 10^{-3}$	-
BP 14 4,6-5,3 m	-	-	0,29	-	-	-
BP 14 5,3-5,8 m	0,46	0,63	2,2	4,8	$4,5 \times 10^{-3}$	$2,5 \times 10^{-3}$
BP 14 5,8-7,0 m	0,29	0,52	4,3	14,8	$0,6 \times 10^{-3}$	-
EP 4,8-5,5 m	0,28	0,44	0,8	2,9	-	$0,9 \times 10^{-3}$
EP 5,5-6,7 m	0,34	0,60	5,9	17,4	$0,3 \times 10^{-3}$	-

Tabelle 7: Bestimmung der Ausbreitung

1. Teilverteilung

$X = 2 \text{ m}, \quad Y = 2 \text{ m}, \quad Z = 1,75 \text{ m}, \quad n = 0,25$

Pegel	D_1 (m^2/d)	D_2 (m^2/d)	x (m)	y (m)	z (m)	t (d)	v_{am} (m/d)	c'/m (berechnet) (m^{-3})	c'/m (gemessen) (m^{-3})
BP 8	0,77	0,006	4	-	-	3,1	1,29	0,184	0,160
BP 3	0,77	0,006	11	1	1,6	16,4	0,67	0,006	0,005

2. Teilverteilung

$X = 2 \text{ m}, \quad Y = 2 \text{ m}, \quad Z = 0,05 \text{ m}, \quad n = 0,25$

BP 8	0,77	0,006	4	-	0,3	3,25	1,23	0,208	0,180
BP 3	0,77	0,006	11	1	1,0	17,05	0,65	0,006	0,004