

BERICHTE
der Wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung

Band 27/1973

**Die Bewegung von Mineralölen
in Boden und Grundwasser**

von L. Bernhart

Amt der Steiermärkischen Landesregierung — Landesbaudirektion
Wasserwirtschaftliche Rahmenplanung
Graz 1973

1.

Die Bedeutung des Grundwassers für die Wasserversorgung und die Notwendigkeit seines Schutzes sind in der Amtssachverständigenbewegung der Landesbaudirektion immer wieder hervorgehoben worden.

Unter den Gefährdungen des Grundwassers und auch des Quellwassers steht deren Verunreinigung im Vordergrund der Betrachtung und unter den Verunreinigungen die Kontaminierung durch Mineralöle und Mineralölprodukte.

Der Verfasser war daher der Aufforderung, im Rahmen des Fortbildungskurses der Bundesanstalt für Wasserbiologie und Abwasserforschung Wien-Kaisermühlen am 14. Mai 1971 einen Vortrag über das gestellte Thema "Öl im Grundwasser"¹⁾ zu halten, ebenso nachgekommen, als er auch ähnliche, jedoch auf die Tätigkeit von Amtssachverständigen abgestimmte Erläuterungen anlässlich einer Amtssachverständigen-Besprechung im Rahmen der Fachabteilungsgruppe Landesbaudirektion des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung unter dem Titel "Die Bewegung von Ölen in Boden und Grundwasser" gegeben hat.

In der diesen Erläuterungen folgenden Diskussion wurde wiederholt der Wunsch geäußert, die Ausführungen auch in schriftlicher Form zur Verfügung zu haben, wiewohl Unterlagen des Arbeitskreises "Wasser und Mineralöl" zum Thema in breiter Form aus der

Bundesrepublik Deutschland²⁾ vorliegen und auch der Vortrag "Öl im Grundwasser" in "Wasser und Abwasser"¹⁾ wiedergegeben worden ist.

Der Inhalt des vorliegenden Bandes soll daher nicht neue Erkenntnisse schöpfen. Er scheut sich deshalb nicht vor Wiederholungen, soll er doch in erster Linie den Amtssachverständigen als Hilfsmittel dienen.

Hat doch der Verfasser bereits im Jahre 1962 ebenfalls für die Amtssachverständigen in einem Vortrag³⁾ ausgeführt, daß „der Anstieg im Verbrauch von Mineralölen größere Gefahren für das Wasser, insbesondere das Grundwasser, mit sich bringt. Die Schäden beginnen schon bei der Vernichtung des bakteriellen Lebens im Humus, wodurch nicht nur Mineralöl ins Grundwasser gebracht, sondern auch das biologische Filter für andere abbaufähige Verunreinigungen zerstört wird. Über jene Konzentration, in der Mineralöle noch schädlich sind, bestehen verschiedene Angaben, die zwischen 1 : 1 Million bis 50 Millionen liegen. Auch Heizöl wird trotz des hohen Stockpunktes vom Grundwasser verschleppt. Dort erfolgt keinerlei Abbau. Grundsatz ist daher, daß Mineralöl nicht in den Boden gelangen darf.“ Weiters hieß es schon damals dort: "Eine starke Zunahme von Verkehrsunfällen bei Transport von Mineralöl auf der Straße ist leider festzustellen. Dabei sind rasche Maßnahmen nötig, wenn eine Sanierung wirksam sein soll - im anderen Falle wird eine Sanierung undurchführbar. Die Kosten steigen sehr rasch. Vorbeugende Maßnahmen an Tankwagen wären dringend zu wünschen. Tritt Öl aus, muß versucht werden, sein Ausbreiten zu verhindern. Die Beseitigung befallenen

Erdreichs ist meist unerläßlich, aber langwierig, dies ist oft teuer und lediglich eine Verlagerung des Problems an eine andere Stelle. Brunnen können durch Sperrbrunnen gesichert werden.

Besondere Sorgfalt im Umgang mit Mineralöl sollte durch Aufklärung aller Bevölkerungskreise selbstverständlich werden.

Einige Erfahrungen von L. ZWITTNIG bei den mannigfaltigen Tankwagenunfällen im Lande Steiermark sollte dieses Hilfsmittel ergänzen. Nachdem der Verfasser zunächst einen Öllarmdienst in Steiermark eingerichtet, diesen danach unter Mitwirkung von H. ERTL in den Anfangsstadien betreut und schließlich bis 1967 geleitet hatte, nimmt seit diesem Zeitpunkt L. ZWITTNIG nunmehr den Ölkatastrophendienst im Lande Steiermark wahr. Eine weitere Ergänzung sollte die Öl-Unfallstatistik, geführt vom Leiter des Referates Gewässergüteaufsicht der Landesbaudirektion H. ERTL bringen. Mit Rücksicht darauf glaubte der Verfasser sich auf die Darstellung eines besonderen Ölunfalles an einer Rohölfernleitung beschränken und die Behandlung von Straßen-, Tankwagen- und Tankstellenunfällen beiseitestellen zu können. Doch kamen beide Beiträge trotz Verschiebung des Redaktionsschlusses bedauerlicherweise nicht zustande. Jedoch kann vieles aus der Tagespresse entnommen werden.

2.

Wenn in diesen Ausführungen kurz von Ölen gesprochen wird, so ist nicht Öl schlechthin, sondern Mineralöl - sei es als Rohöl oder Mineralölprodukt - gemeint, ein Stoff, der sich gegenüber anderen Verunreinigungen zunächst dadurch unterscheidet, daß er wohl organischer Natur aber biologisch nur sehr schwer abbaubar ist. Aus dieser Ursache ist Mineralöl im Untergrund und im Grundwasser eine besonders schwerwiegende Verunreinigung. Daher ist insbesondere im letzten Jahrzehnt diesem Stoffe auch in Anbetracht des sprunghaften Anstieges seines Verbrauches in den Kreisen der Wasserwirtschaft zunehmende Bedeutung beigemessen worden.

So ist der Verbrauch an Mineralölen in Österreich je Kopf der Bevölkerung von 1192 kg im Jahre 1970 auf 1299 kg, im Jahre 1971, auf 1368 kg im Jahre 1972 gestiegen, ist damit aber gegenüber anderen Ländern der Erde immer noch relativ gering gewesen. Vergleichsweise verbrauchte man in Dänemark 3680 kg, in Schweden 3416 kg, in Belgien 2569 kg, in Finnland 2457 kg, in der Schweiz 2137 kg, in der Bundesrepublik Deutschland 2088 kg, in Frankreich 1948 kg, in den Niederlanden 1895 kg, in Großbritannien 1767 kg, in Italien 1478 kg Mineralöl im Jahre 1972 je Kopf der Bevölkerung. An dem Ende der Liste steht Portugal mit 519 kg/Kopf.⁴⁾ Man könnte daher vermuten, daß sich der Verbrauch von Mineralölprodukten in Österreich allmählich dem internationalen Niveau anpassen wird, wenngleich in den nordischen Staaten aus Witterungsgründen

der Heizölbedarf größer als in Österreich bleiben mag.

Die Bedeutung des Rohstoffes Öl geht unter anderem daraus hervor, daß man vor dem Entschluß steht, die Raffinerie in Schwechat von einer Kapazität von 10,5 Mio t Rohöl auf 14 Mio t Rohöl, das jährlich verarbeitet werden kann, zu erhöhen.⁵⁾ Hält man im Vergleich dazu fest, daß die Eigenproduktion Österreichs bei etwa 2,0 bis 2,2 Mio t Rohöl liegt, ergibt sich, welchen Umfang der Rohöltransport besitzt.

Von diesem ist die Bringung mittels der Rohölfernleitung der Adria-Wien-Pipeline von Würmlach nach Schwechat für etwa 5,5 Mio Jahrestonnen als Anfangsdurchsatz vorgesehen gewesen.⁶⁾ Allerdings werden die Pumpstationen der AWP vergrößert und ihr Netz verdichtet, so daß der Durchsatz bald über 8 Mio Jato steigen wird. 1972 wurden knapp über 6 Mio Jato gefördert.

1973 wurde eine weitere Steigerung erzielt, jedoch ist dafür keine Zahlenangabe bisher veröffentlicht worden. Es ist jedoch bekannt, daß die Förderleistung des Jahres 1973 bei 8 Mio Jato liegt. Weiters wurde bekannt, daß der Dezember 1973 - trotz „Ölkrise“ - der transportintensivste Monat seit Bestehen der AWP war. Die Leitung ist in diesem Monat - trotz der Weihnachtsfeiertage - insgesamt nur 4 Stunden stillgestanden. Diese Ölfernleitung wird noch eine größere Fördermenge - von 10 bis 10,5 Mio Jato - nach dem Ausbau weiterer Pumpstationen befördern können.

Die gewerbebehördliche Genehmigung zur Errichtung und zum Betrieb der Mineralölfernleitung von Würmlach, Kärnten, nach Schwechat setzt hingegen nicht die Jahresförderleistung, sondern die Förderleistung im Endausbau (mit ins-

gesamt 11 Pumpstationen in Österreich) mit 1.460 m³/h fest.⁷⁾

Der Verbrauch Österreichs an Mineralölprodukten für 1973 liegt allerdings bei etwa 9,0 bis 9,5 Mio t, also über der Summe der Anlieferung der AWP und der Eigengewinnung zusammen. Der Antransport auf der Donau geht eher zurück; vor allem gibt es kaum Anzeichen für eine Steigerung des Schifftransportes.

Die Anlieferung der Restmenge erfolgt daher auf der Straße, soweit das Rohöl betroffen ist, und auch derzeit für alle Produkte ausnahmslos mittels Straßentankwagen. Dies allerdings im Binnenverkehr, also auf kürzere Entfernungen als dies für die Rohölimporte aus dem Ausland stets der Fall ist.

1972 wurden in der Raffinerie Schwechart 52 % des in Österreich benötigten Heizöls schwer, 73 % des Normalbenzins, 66 % des Superbenzins und von den sogenannten Mitteldestillaten 95 bis 99 % gedeckt.

Die ersten Monate des Jahres 1973 brachten gegenüber dem Vorjahre eine Verbrauchssteigerung bei Normalbenzin um 9,5 %, Superbenzin um 11,2 %, 12,2 % Flugturbinentreibstoff, 5,2 % Dieselöl, rund 40 % mehr Ofenöl, 6,7 % mehr Heizöl schwer und rund 14 % mehr Heizöl leicht, soweit die Auslieferungen der Raffinerie Schwechart betroffen sind.⁸⁾ Inwieweit die Zukunft noch eine weitere Bedarfssteigerung bringen wird, scheint trotz aller Prognosefreudigkeit nicht gut vorauszusehen zu sein. So führte G. STEMBERGER schon vor der sogenannten Ölkrise aus:⁹⁾

„Erdöl und Erdgas decken derzeit weltweit etwa zwei Drittel des Energiebedarfes, wobei jedoch der Anteil der beiden genannten Energieträger in den drei Hauptverbrauchsgebieten USA, Japan und Westeuropa sogar rund 77 Prozent beträgt. Die drei genannten Gebiete haben einen Anteil am Gesamtenergiebedarf von rund 60 Prozent.

In Österreich beispielsweise ist der Anteil von Erdöl und Erdgas in den letzten zehn Jahren von 35 Prozent auf 60 Prozent angewachsen.

In den vergangenen 15 Jahren hat sich der Energieverbrauch der Welt verdoppelt. Bei Annahme eines durchschnittlichen fünfprozentigen Wirtschaftswachstums ist zwischen 1970 und 1985 mit einer neuerlichen Verdoppelung zu rechnen, wobei der Anteil der USA, Westeuropas und Japans am Weltenergieverbrauch dann noch etwa 55 Prozent betragen wird. Erdöl wird nach wie vor mehr als die Hälfte des Verbrauches decken müssen, Erdgas rund 70 Prozent. Kennzeichnend für die zukünftige Entwicklung wird die immer stärkere Importabhängigkeit der Hauptverbrauchsgebiete sein, die bereits 1972 zirka 70 Prozent ihres Erdölverbrauches einführen mußten. Bis 1985 kann sich dieser Anteil noch weiter erhöhen.

Um den wachsenden Bedarf decken zu können, wird die Förderung von rund 2,6 Mrd. t im Jahr 1972 auf etwa 5 Mrd. t im Jahr 1985 steigen müssen. Mehr als die Hälfte dieser Produktion wird aus den Förderländern des Nahen Ostens und Nordafrikas stammen.

Neun Zehntel des international verfügbaren, nicht im Förderland verbrauchten Erdöls stammen aus den OPEC-Ländern, wo sich auch über zwei Drittel der Erdölreserven befinden.

1972 betrug der Anteil der OPEC an der Energieversorgung der Welt 24 Prozent, Westeuropas 58 Prozent und Österreichs 33 Prozent. Auf die Erdölversorgung bezogen ergibt sich weltweit ein OPEC-Anteil von 52 Prozent, in Westeuropa von 91 Prozent und in Österreich von 69 Prozent.

Angesichts der heute bekannten Reserven erscheint es durchaus möglich, daß die OPEC-Staaten in den nächsten Jahrzehnten jene Erdölmengen produzieren, die zur Deckung des Importbedarfes der Industrieländer notwendig sind."

Dem steht allerdings beispielsweise das Energieprogramm der USA gegenüber, das innerhalb von 5 Jahren die USA von ausländischen Energiequellen unabhängig machen will. Der US - Präsident Nixon hat in diesem Zusammenhang in seinem Achtpunkteplan Gesetzesänderungen in dem Sinne aufgenommen, daß der Tagbau von Kohlevorkommen trotz der Proteste der Umweltschützer erhöht werden soll, um die USA nicht auf die "Gnade der Nahost-Ölländer" angewiesen sein zu lassen.¹⁰⁾

Diese Zahlen sind einem steten Wandel unterzogen, je nach dem Betrachtungsstandpunkt und der gerade geltenden Tendenz. Im wesentlichen sind aber doch die Angaben von KLEMENT davon nicht weit entfernt, der schreibt:¹¹⁾

„Was die Versorgung anlangt, so wurde Österreichs Bedarf an Mineralölprodukten bisher zu etwa 75 % aus der Produktion der Raffinerie Schwechat der ÖMV-AG und zu etwa 25 % durch den Import von Benzin und schwerem Heizöl vor allem aus Italien, der Bundesrepublik Deutschland und, bei Heizöl schwer, auch aus Ostblockstaaten gedeckt. Die Raffinerie Schwechat wird bis Ende 1973 rund 9 Mill. t Erdölprodukte erzeugen, das dazu benötigte Erdöl kommt mit etwa 2,8 Mill. t aus der heimischen Förderung, 6,5 Mill. t Erdöl müssen

importiert werden. Vom Import entfallen etwa 4 Mill. t Erdöl auf die ÖMV und 2,5 Mill. t auf die in Österreich tätigen multinationalen Konzerne (Shell, Mobil, BP, Esso, Total, Agip) zur Lohnverarbeitung in Schwechat. Das gesamte Importerdöl kommt über die Adria-Wien-Pipeline (AWP) nach Wien-Schwechat."

Nach einigen Betrachtungen über die Verschiebung der Verhältnisse ("Ölkrise") fährt KLEMENT fort:

„Aber auch ... wenn genug Öl da ist und Schwechat mit Volllast produziert, bleibt bei Heizöl schwer schon jetzt eine Versorgungslücke von rund 17 Prozent (auf den Jahresbedarf berechnet) wegen des Ausfalls der Ostimporte. Durch mehr Erdöl ist dieser Ausfall nicht wettzumachen. Die Raffinerie Schwechat ist ja schon voll ausgelastet und könnte ein Mehr erst bewältigen, wenn ihre Kapazität auf 14 Mill. Jahrestonnen erweitert sein wird, was Ende 1974 der Fall sein dürfte."

Die Nachrichten des Europarates - Natur brachten hiezu schon im Dezember 1972 unter Berufung auf Angaben der OECD eine Notiz, daß 1980 eine Weltbenzinkrise auftreten wird, wenn die Kraftfahrzeugproduktion den Vorausschätzungen gemäß zunimmt.¹²⁾

Prognosen über die weitere Entwicklung der Motorisierung können in einer Betrachtung der Kraftfahrzeugdichte in Österreich¹³⁾ einen Anhalt finden.

Kraftfahrzeugdichte in Österreich							
Bundesländer und Städte mit eigenem Statut	Bevölkerungszahl	Anzahl der Einwohner, auf die 1972 ein Fahrzeug entfiel			Anzahl der Fahrzeuge, die 1972 auf 1000 Einwohner entfielen		
		Motorrad	Pkw	Lkw	Motorrad	Pkw	Lkw
Österreich . . .	7,456.403	80,4	5,1	54,1	12,4	195,8	18,5
BURGENLAND . . .	272.119	128,7	6,7	50,5	7,8	149,9	20,0
Eisenstadt . . .	11.763	226,2	4,0	30,9	4,4	250,3	32,4
KÄRNTEN	525.728	67,6	5,5	55,8	14,8	181,6	17,9
Klagenfurt . . .	82.512	113,2	4,1	34,7	8,8	242,1	28,8
Villach	50.993	147,0	6,6	53,8	6,8	152,5	18,6
NIEDERÖSTERREICH	1,414.161	65,0	5,5	53,9	15,4	183,4	18,6
Krems a.d.Donau	23.409	86,4	4,8	44,0	11,6	208,5	22,7
St. Pölten . . .	50.144	83,9	5,4	49,0	11,9	186,8	20,4
Waidhofen a.d.Y.	11.704	86,1	7,7	81,3	11,6	129,5	12,3
OBERÖSTERREICH .	1,223.444	72,1	5,0	54,5	13,9	198,3	18,3
Linz	202.874	133,1	4,2	41,5	7,5	238,8	24,1
Steyr	40.578	99,0	4,7	51,6	10,1	214,6	19,4
SALZBURG(Land) .	401.766	89,9	4,5	43,2	11,1	222,1	23,1
Salzburg(Stadt)	128.845	109,6	3,5	31,7	9,1	289,6	31,6
STEIERMARKE . . .	1,192.100	65,0	5,6	65,5	15,4	178,3	15,3
Graz	248.500	87,1	4,3	47,0	11,5	231,6	21,3
TIROL	540.771	93,6	5,6	52,7	10,7	178,4	19,0
Innsbruck . . .	115.197	118,8	4,5	40,6	8,4	224,4	24,6
VORARLBERG . . .	271.473	84,3	5,2	58,7	11,9	191,0	17,0
Bregenz	22.839	129,0	4,6	47,6	7,7	217,8	21,0
WIEN	1,614.841	132,5	4,3	50,6	7,5	230,2	19,7

Man erkennt die großen Unterschiede zwischen den Bundesländern mit großen Abweichungen vom Bundesdurchschnitt mit 5,1 Einwohnern je Pkw zwischen den Grenzen Burgenlands mit 6,7 und Wiens mit 4,3 bei einem Extremwert in der Stadt Salzburg mit 3,5 Einwohnern je Pkw begleitet vom ebenfalls sehr niedrigen Verhältnis der Lkw mit 31,7 Einwohner je Lkw.

Die Entwicklung des Jahres 1973 ist noch nicht genau erfaßbar. Die sogenannte Ölkrise hat das Bild zumindest vorübergehend wesentlich verändert. Dabei ist einerseits z. B. der Umsatz an Neuwagen von 221.624 für das Jahr 1972 auf 186.982 für 1973 zurückgegangen. Diese Zahlen spiegeln noch nicht die Verschiebung zugunsten benzinsparender Kleinwagen oder kleinerer Wagen nieder. So haben die Erzeugnisse etwa von General Motors und Ford den prozentuell größten Rückgang, Citroen und Datsun hingegen sogar eine Zunahme zu verzeichnen.¹⁴⁾

In Zusammenhang mit dem Straßenverkehr mag auch die Entwicklung des Tankstellennetzes in Österreich nicht uninteressant sein, weil die Tankstellen jene Zielpunkte bilden, zu denen die Masse der Öltransporte hinführt. Die geringfügige Abnahme verspricht aber in dieser Hinsicht keine fühlbare Entlastung. Daneben wird diese Entwicklung durch den Zuwachs an Fahrzeugen aufgewogen, weshalb der Zuwachs an Pkw-Bestand in % und nach der Stückzahl in die nachfolgende Tabelle aufgenommen wurde.¹⁵⁾

Tabelle 1

Tankstellen per 31.12.	Veränderung absolut	in %	Pkw-Bestand ¹⁾ Zuwachs in %	Pkw ¹⁾ pro Tankst.
1970 ... 5.639	+ 45	+ 0,8	+ 6,4	212
1971 ... 5.647	+ 8	+ 0,1	+ 10,7	235
1972 ... 5.602	- 45	- 0,8	+ 10,2	261

1) einschließlich Kombi.

Verschiedentlich wird auch darauf verwiesen, daß bei größeren Tankstellen die Verschüttungsgefahr nicht gleich jener bei kleinen Tankstellen sei. Allerdings sind dabei die Stimmen nicht gleichlautend; man sieht hier diese und dort jene als die für das Grundwasser gefährlicheren an. Ohne diese Frage damit beantworten zu wollen, seien die Anteile angegeben:¹⁵⁾

Tabelle 2

	Tankstellen per 31.12.		Veränderung	
	1971	1972		
Shell	1123	1119	-	4
Elan	927	841	-	86
Martha	703	707	+	4
Mobil	704	690	-	14
BP	489	482	-	7
Aral	397	402	+	5
Esso	380	369	-	11
Agip	216	220	+	4
Total	212	214	+	2
Summe Marken- tankstellen.	5151	5044	-	107
freie Tank- stellen ¹⁾ ..	496	558	+	62
	5647	5602	-	45

1) einschließlich der Handelsmarken Avia, Stroh u.ä.

3.

Die auf der Erde zunehmende Wasserknappheit führt konsequenterweise dazu, daß dem sorglosen Umgang mit diesem immer kostbarer werdenden Gut der Wunsch nach geordneter Wasserwirtschaft entgegentritt. Dabei handelte es sich zunächst um eine Mengenwirtschaft, der alsbald auch die Gütewirtschaft folgen sollte. Deren Anliegen mußte es dann sein, alles vom Wasser fernzuhalten, was es ungenießbar oder unverwendbar machen konnte. Unter den Verunreinigungen wogen wiederum jene am schwersten, die irreparabel waren oder deren Beseitigung durch natürliche Vorgänge sehr lange Zeit benötigt. Daraus ist, soweit es sich um Reinigung durch biologische Abbauvorgänge handelt, der Begriff "schwer abbaubarer Verunreinigungen" entstanden. Dazu zählen Verunreinigungen - Kontaminierungen - durch Mineralöl.

Die Föderation Europäischer Gewässerschutz hat sich frühzeitig in Erkenntnis der Bedeutung in einem zweitägigen Symposium im Januar 1959 in Baden-Baden unter Mitwirkung der Weltgesundheitsorganisation und von Vertretern von 8 europäischen Ländern aktuelle Fragen des Gewässerschutzes erörtert. Das Symposium stellte die Ölverschmutzung ober- und unterirdischer Gewässer in den Vordergrund. Es warnte vor den sehr ernstesten Schäden und Gefahren, die der Allgemeinheit daraus erwachsen.

„Das akute Problem der Ölverschmutzung umfaßt den notwendigen Schutz des Grund- und Oberflächenwassers und darüber hinaus den gesamten Bodenschutz. Dabei geht es um die Verantwortlichkeit der heutigen Generation gegenüber

unseren Nachkommen, die ohne Belästigung durch Ölschäden leben sollen.

Ölschädigungen des Untergrundes und der Gewässer sind eine Gefahr, die alle Länder betrifft."

Und weiter wurde schon hervorgehoben:

"Ölschäden sind besonders gefährlich, weil sie das natürliche Leben im Wasser stören und vernichten. Darüber hinaus machen sie es für alle Zwecke der Nutzung unbrauchbar.

Es müssen deshalb alle technischen Maßnahmen durchgeführt werden, die solche Schäden am Wasser vermeiden lassen."

Diese erfreuliche Initiative hat aber sich zunächst nur mit den Sicherheitsmaßnahmen bei der Lagerung und bei ortsfesten Anlagen befaßt¹⁷⁾. Die noch schwierigere Problematik stellt sich aber dann ein, wenn der Ort eines Schadenereignisses nicht voraussehbar ist.

Unter den Maßnahmen gegen Ölverschmutzung sind dann solche an Ölfernleitungen, Lagerbehältern, aus gewerblichen und städtischen Abwässern und bei der Binnenschifffahrt aufgeführt.

Sicherlich stand die Forderung des Schutzes des Grundwassers in den ortsfesten Anlagen möglichst nahe an einer möglichen Austrittsstelle zu Recht und verständlicherweise im Vordergrund der Betrachtung. Dabei war die Beurteilung der Dichtheit von unterirdischen Lagerbehältern wesentlich.¹⁸⁾ Ebenso ist dies auch die Vorsorge für den Unfall und dann notwendig werdende Brandbekämpfungsmaßnahmen.¹⁹⁾²⁰⁾

In verschiedenen Ländern hat man sich in diesen Jahren verstärkt die Gefahren bewußt gemacht und zunächst einmal Klarheit darüber geschaffen, daß es sich beim Schutz des Grundwassers bei der Lagerung von Mineralölprodukten um eine Ingenieuraufgabe handelt,^{21) 22) 23)} wobei zunächst die Lagerung im Vordergrund gestanden hat.

Dabei haben aber auch neben Fachleuten aus dem Behälterbau mehrere Vortragende sich mit den Ölgefahren für Oberflächengewässer befaßt, unter denen KROLEWSKI²⁴⁾, der über die Untersuchungen des Franziusinstitutes berichtet, CLODIUS²²⁾ und RINCKE²⁵⁾ genannt seien.

In dieser Frühzeit der Erkenntnis der Gefahren der Ölkontaminierung waren es nur wenige, die dieser Sorge Ausdruck verliehen. So stellte R. BUCKSCH dem Siegeszug des Öls auch seine Schattenseiten gegenüber. Nun erst wurde der Umstand, daß die größere Gefahr als die Brand- und Explosionsmöglichkeit die Gefährdung des Wassers ist, erkannt. Danach wird „der Vorrang dem Wasser eingeräumt, nicht nur, weil es für die Volkswirtschaft unentbehrlich ist, sondern weil es die Voraussetzung des Lebens überhaupt ist“.²⁶⁾

Gleichzeitig mit dieser Erkenntnis wird aber auch zum Maßhalten aufgerufen, wenn R. BUCKSCH darauf verweist, daß nicht jeder Tropfen ins Erdreich einsickerndes Öl in eine Wasserversorgungsanlage gelangt. Aber es wäre genau so falsch wie das Dramatisieren, die Gefahren wegdiskutieren zu wollen. Es wäre sinnlos, sich gegen den Siegeszug des Mineralöls zu stemmen; sinnvoll und notwendig aber ist es, Mittel und Wege zu finden, die uns trotzdem die Erhaltung des Wassers gewährleisten.²⁶⁾

Bemerkenswert ist die Feststellung der "Wassernachrichten"²⁷⁾, daß nicht nur in den industrialisierten Ländern verstärkte Abwehrmaßnahmen gegen Ölverunreinigungen der Gewässer für notwendig erachtet werden, sondern daß auch in den anderen, mehr landwirtschaftlich orientierten Ländern entsprechende Schritte unternommen werden.

„Wenn auch das Mineralöl mit einem Anteil von mehr als 50 % der wichtigste Energieträger einer modernen aufstrebenden Industriegesellschaft ist, so ist wiederum eine solche Gesellschaft ohne eine hinsichtlich Güte und Menge einwandfreie Wasserversorgung zum Scheitern verurteilt“.²⁷⁾

Seitens der Mineralölwirtschaft sind die mit der Verunreinigung von Boden und Grundwasser verbundenen Gefahren sehr häufig unterschätzt oder auch bagatellisiert worden. Man spricht sich für Maßnahmen an der Quelle der Verunreinigung aus und denkt dabei stets an Tanklager und Leitungen.

Im übrigen ist man der Auffassung, daß man der Unfälle nicht Herr werden könne. Gänzlich unkontrollierbare Sickerstellen befänden sich an jedem Kraftfahrzeugabstellplatz, Industrie - hier vor allem Chemiebetrieben - und an Verkehrswegen.

Alleine die bei Unfällen ausfließenden Chemikalien und Öle entzögen sich Maßnahmen des vollkommenen Schutzes.²⁸⁾ Auf diesem Gebiete sei auch nichts geschehen, mit dem man der Probleme Herr werden könnte.²⁸⁾

Dabei wurden die Kosten der Beseitigung verseuchten Erdreiches schon für das Jahr 1962 mit DM 20.000 - 25.000 pro m³ ausgeflossenen Mineralöles angegeben.²⁸⁾

Die Unkenntnis über die Bewegungsvorgänge von Mineralölen im Boden führte verschiedentlich dazu, das Problem zur Seite zu schieben oder wenigstens die Aufgaben anderen zu überlassen. So schreibt DOERPINGHAUS²⁸⁾ dazu, daß die Beseitigung von Schäden, die durch Unfälle von Tankfahrzeugen entstehen, ein besonderes Problem darstellen. Der entstehende Schaden könne nur dann auf ein Minimum herabgedrückt werden, wenn eine provisorische Abdichtung, sofern das Leck klein ist und die Ableitung ausfließenden Tankgutes in provisorische Behältnisse und die Meldung an Polizei, Feuerwehr oder Bahnmeisterei stattfindet, „damit von dort aus sofort der Schaden behoben werden kann“.

„Die mit der Schadensbehebung zu betrauenden Stellen (Polizei, Feuerwehr, Bundesbahn, sonstige Behörden und private Firmen) haben nach Art und Umfang des Schadens ihre Maßnahmen zu ergreifen. Sind schnelleindringende Flüssigkeiten in den Boden geraten, so wird derselbe abzutragen und abzutransportieren sein.“²⁸⁾

„Die Voraussetzung dafür, daß diese Schutzmaßnahmen (nämlich, daß das Grundwasser in Zukunft als eine der wichtigsten Versorgungsquellen für die gesamte Öffentlichkeit den Schutz erhält, der ihm zusteht, tatsächlich ergriffen werden, liegt alleine im Zuständigkeitsbereich der dafür verantwortlichen öffentlichen Körperschaften.“²⁸⁾

Dagegen sagt NOLTE; allerdings aus der Sicht des Jahres 1972:

„Die Umweltvergiftung hat ihren stärksten Verbündeten in der Gleichgültigkeit. Ein Arzt, der eine Operation durchführen will, wird sich möglichst genaue Informationen über

das Krankheitsbild des Patienten verschaffen. Bei Umweltschäden wurde dies bisher vielfach ignoriert. So konnte in der Vergangenheit immer wieder festgestellt werden, daß Sachverständige auftraten, die über das Ausmaß und die Bedeutung eventuell notwendiger Sanierungsmaßnahmen keine Erfahrung und keine konkreten Vorstellungen hatten.²⁹⁾

„Voreiliges Handeln, unüberlegte Maßnahmen von Nichtfachleuten, unverantwortliche Erdbewegungen und weite Transporte wegen fehlender Deponien, mangelhafte und nicht existierende Verbrennungsanlagen führen lediglich zu hohen Kosten und teilweise nur zu einer Verlagerung der Schadensstelle.

Genauso werden durch Panikmache und grobe Übertreibungen, zum Teil auch durch unseriöse Geschäftemacherei, wirkliche Bagatellschäden hochgespielt.²⁹⁾

Das DVGW-Arbeitsblatt W 806 von 1961 weist zwar auf die besondere Gefährlichkeit jener organischen Flüssigkeiten unter den wassergefährdenden Stoffen hin, die im Wasser und Boden fast unverändert erhalten bleiben, zu denen nicht oder schwer abbaubare Substanzen, wie Mineralöle und Mineralölprodukte, Teeröle und Teerölprodukte, also u.a. Erdöle, Schmieröle, Heiz- und Dieselöle sowie andere Kraftstoffe gehören. Über ihre Ausbreitung beim Austritt wird aber nur gesagt, daß sich diese ebenso wie die Geschwindigkeit der Versickerung im Boden besonders nach dem Grad der Zähflüssigkeit (schnell versickern, z.B. Leichtöle, Benzine) richten. Sie sind in geringem Maße in Wasser löslich, vor allem lösen sich gewisse Begleitstoffe.³⁰⁾

Das DVGW-Arbeitsblatt W 801 von 1962 gibt bereits vorläufige Hinweise zur Notstandsplanung in der zentralen öffentlichen Trinkwasserversorgung und reiht Verunreinigungen des Wassergewinnungsgeländes und der Wasserversorgungsanlagen durch Öle unter Unglücks- und Schadensfälle ein, die ihrerseits unter Notstandsfälle eingereiht werden und schuf mit dem DVGW-Arbeitsblatt W 806 "Hinweise für den Schutz der Wasserversorgung bei Unfällen und Betriebsstörungen, die mit dem Austritt von wassergefährdenden Stoffen, vor allem Mineralölen, Mineralölprodukten und dergleichen verbunden sind."³¹⁾

Ein Vorschlag für einen Ölalarmplan aus Bayern fand auch in Österreich Beachtung.³²⁾

Schließlich hat der Österreichische Wasserwirtschaftsverband im März 1963 „Richtlinien zum Schutze des Wassers bei Auslaufen von Mineralöl“³³⁾ herausgegeben, bei deren Bearbeitung der Verfasser mitwirkte.

In den Erläuterungen hiezu heißt es: Obwohl durch entsprechende Maßnahmen die Unfallgefahr bei Tankwagen herabgesetzt werden kann, läßt sie sich doch nicht zur Gänze ausschließen. In den Boden eingedrungene Mineralölprodukte gelangen ins Grundwasser und können - da das Grundwasser ja auch fließt - in kürzerer oder längerer Zeit in Brunnen oder Quellen gelangen. Dabei genügen bereits Spuren von Benzin oder Öl, um das Wasser für den menschlichen Genuß ungeeignet zu machen. Schon die Verunreinigung eines Hausbrunnens zieht sehr unangenehme Folgen nach sich; unübersehbar wird aber die Katastrophe, wenn die zentrale Wasserversorgungsanlage einer Stadt von einem solchen

Vorfall betroffen wird. Deshalb müssen alle Öl-Unfälle, gleichgültig wo sie sich ereignen, auch vom Standpunkt der Gefährdung des Wassers betrachtet werden, wobei zielbewußtes, fachkundiges und schnelles Handeln erforderlich ist.

Die finnische Regierung hat allerdings zu einem späteren Zeitpunkt ein Gesetz erlassen, das in allen Gemeinden Einrichtungen zum Einsatz gegen Ölschäden fordert. Diese Aufgabe soll von der Ortsfeuerwehr übernommen werden.³⁴⁾

4.

Bei der Betrachtung vorbeugender und sanierender Maßnahmen im Zusammenhang mit der Mineralölkontaminierung des Bodens oder des Grundwassers zeigte sich, daß allein schon der Vorgang des Eindringens, der Ausbreitung und der Fortbewegung von Öl im Boden und Grundwasser weitgehend unerforscht war.

Erste Betrachtungen sind allerdings schon 1953 von RUNGE³⁵⁾ veröffentlicht worden.

SCHWILLE³⁶⁾ gibt auch eine Literaturübersicht zur Migration von Mineralöl in porösen Medien, dargestellt anhand von Modellversuchen, wobei im Verzeichnis der Literatur der Grazer Forscher STUNDL mit seiner Arbeit von 1958³⁷⁾ am zeitlichen Beginn steht.

In den folgenden Jahren bestanden dennoch voneinander beträchtlich auseinandergelungene Auffassungen, die hier alle anzuführen sicherlich zu weit ginge.

Der Klärung der offenen Frage diente im November 1959 ein Versuchsbericht des Franzius-Institutes der Technischen Hochschule Hannover über die von HENSEN und KROLEWSKI³⁸⁾ durchgeführten Untersuchungen über das Aufnahmevermögen von Sandböden für Mineralöle.

Die Untersuchungen des Franzius-Institutes wurden im Auftrage des Mineralölwirtschaftsverbandes E.V., Hamburg, vorgenommen. In der Präambel des Berichtes heißt es:

„Je größer das Aufnahmevermögen des unter einer Leckstelle vorhandenen Bodens ist, umso geringer ist die Gefahr, daß das ausgelaufene Mineralölprodukt weit in den Boden vordringt, und je stärker die Hohlräume im Boden ausgefüllt sind, umso günstiger werden die Voraussetzungen für den etwaigen Einbau von Anzeige- und Meldegeräten außerhalb der Behältnisse.“³⁸⁾

Den Versuchen lag die Fragestellung zugrunde, welche Eigenschaften des Bodens nutzbar gemacht werden konnten, um etwa aus einem Behälter auslaufendes Öl festhalten zu können und mit Anzeigegeräten das Vorhandensein von Öl außerhalb des Behälters erkennbar zu machen.

Schon RUNGE³⁵⁾ hatte festgestellt, daß es umso schwieriger ist Öl aus dem Boden durch Wasser zu verdrängen, je größer das Verhältnis Öl : Wasser ist. Unter einem Ölannteil von 15 % des Porenraumes im Boden ist nach seinen Untersuchungen das Rohöl selbst durch Wassertrieb nicht aus dem Boden zu bringen.

Die Versuche am Franzius-Institut brachten darüber hinaus die Ergebnisse, daß - wenn auch der Einfluß der Kornzusammensetzung und der Lagerungsdichte noch nicht ausreichend beurteilt werden konnte - die Aufnahmefähigkeit von Sanden größer sein könne und es sich bei den amerikanischen Versuchsergebnissen um Mindestwerte gehandelt habe.

Der Porengehalt ist gekennzeichnet durch das Verhältnis der Differenz des Stoffgewichtes der Bodenkörner und des Raumgewichtes des trockenen Bodens zum Stoffgewicht der Bodenkörner. In der Folge wird der durch Porenwasser gefüllte Raum bestimmt.

Bereits hier wird auf den Einfluß verwiesen, den das Porenwasser besitzt, wobei allerdings hygroskopisches Wasser, Haft- und Porenwinkelwasser, Kapillarwasser und Sickerwasser gemeinsam als solches zusammengefaßt und dem Grundwasser gegenübergestellt werden. Wird das Aufnahmevermögen von Sanden für Wasser, in Abhängigkeit von der spezifischen Oberfläche, also von der Oberflächensumme der Einzelkörner je cm^3 Festmasse aufgetragen, ergibt sich Bild 1.

Eine Gegenüberstellung mit dem Aufnahmevermögen für Benzin bringt - vor allem im mittleren Bereich - keine besonderen Abweichungen der Mittelkurven und auch des Streubereiches, doch ist das Aufnahmevermögen bei größerer spezifischer Oberfläche größer als für Wasser (Bild 2).

Wohl aber zeigt sich bei der Darstellung des Aufnahmevermögens von Sanden für Heizöle (Bild 3) ein sehr beträchtlicher Unterschied gegenüber dem Aufnahmevermögen von Wasser oder Benzin. Die Versuche wurden mit Heizöl extra leicht durchgeführt.

Sie ergaben wesentlich größeres Aufnahmevermögen bei geringer spezifischer Oberfläche, das sich dann bei größerer spezifischer Oberfläche nicht mehr sehr erhöht.

Unter kapillarer Steighöhe versteht man die Höhe, um die eine Flüssigkeit im Boden durch die Oberflächenspannung und die Adhäsion zwischen Flüssigkeit und Bodenkorn über den freien Flüssigkeitsspiegel nach oben gezogen wird - dann handelt es sich um die aktive kapillare Steighöhe - oder über ihm festgehalten wird - der passiven kapillaren Steighöhe. Dabei ist die passive kapillare Steighöhe

Aufnahmevermögen von Sanden für Wasser

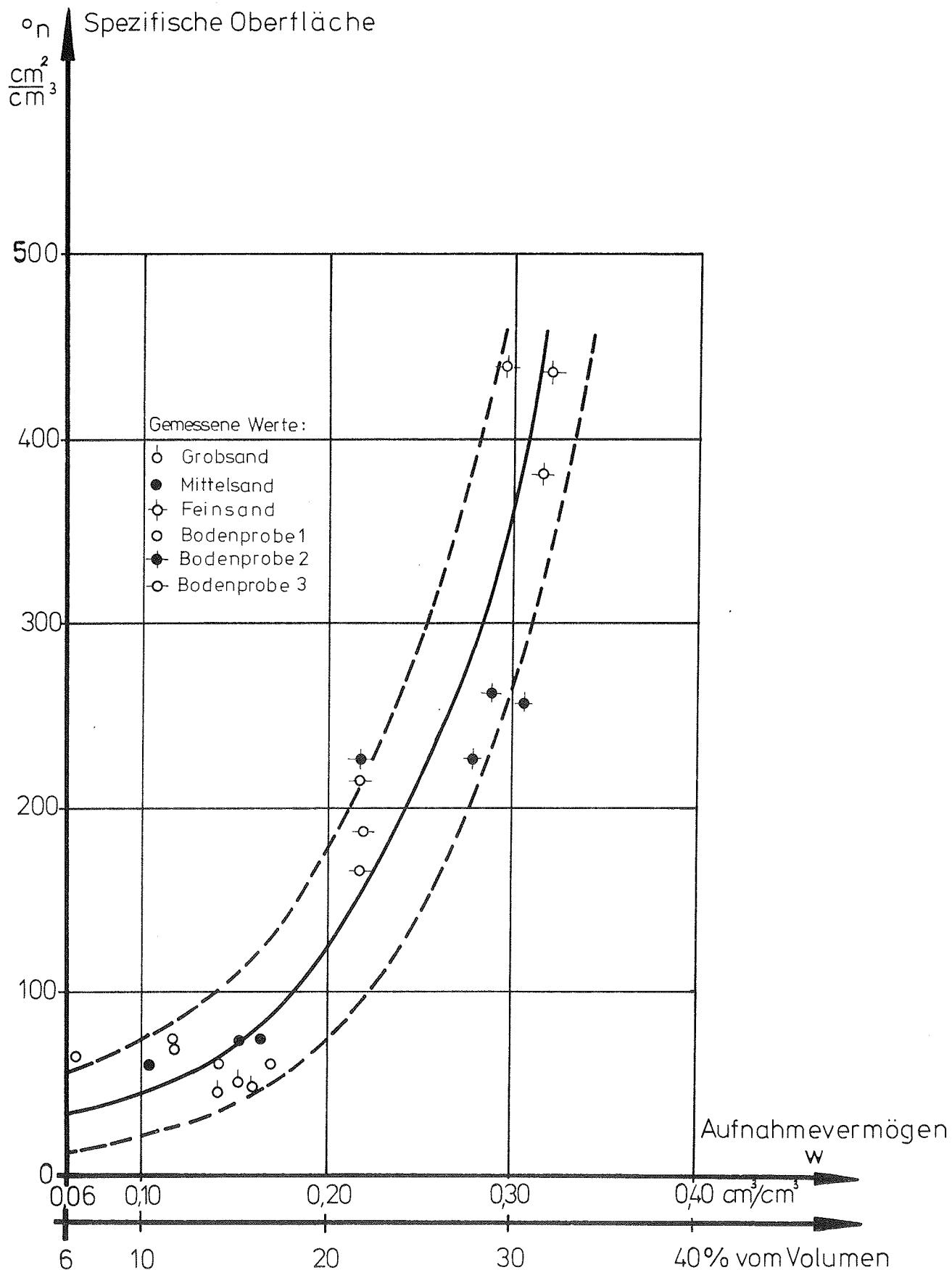


BILD 1 (nach Francius-Institut)

Aufnahmevermögen von Sanden für Benzin

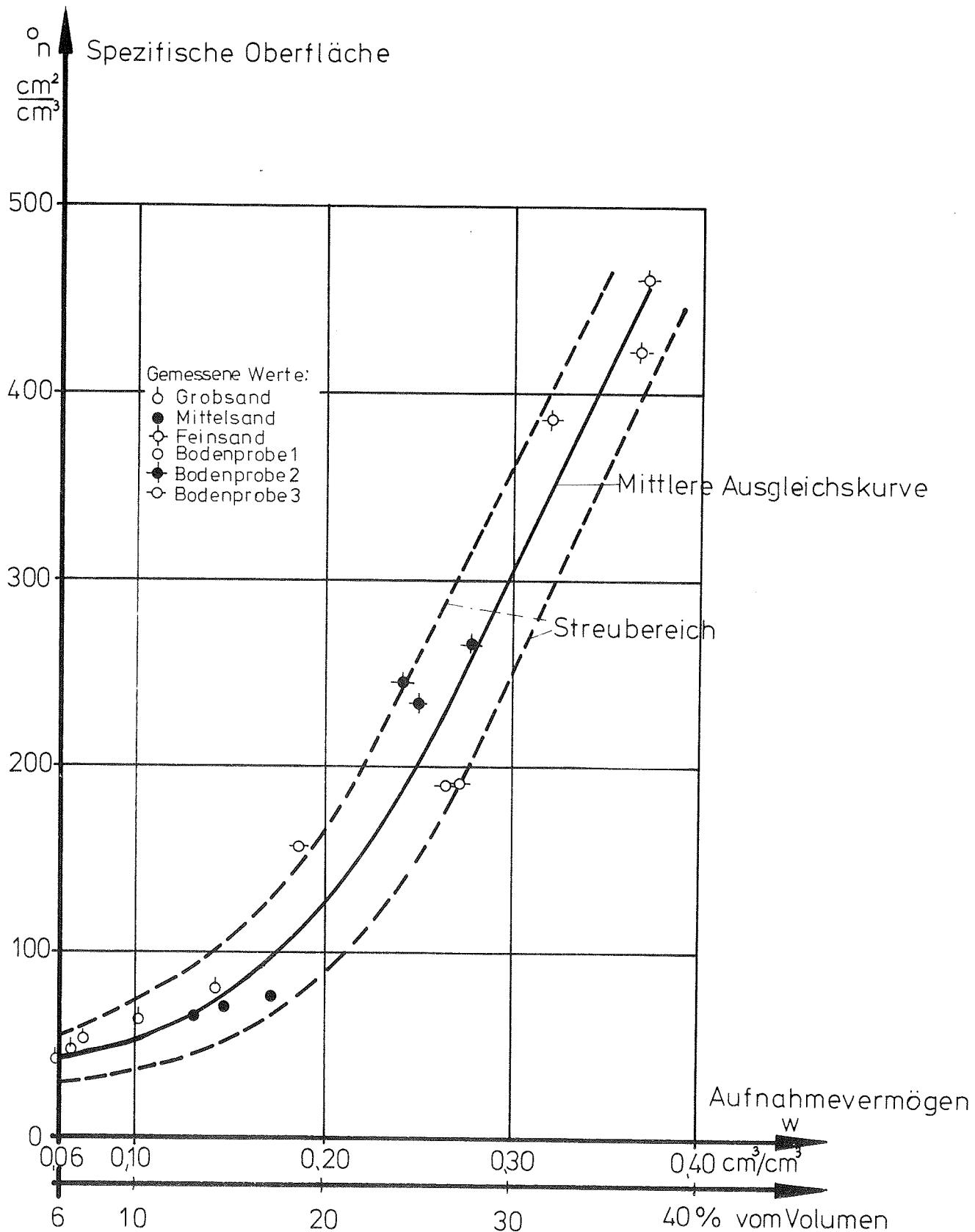
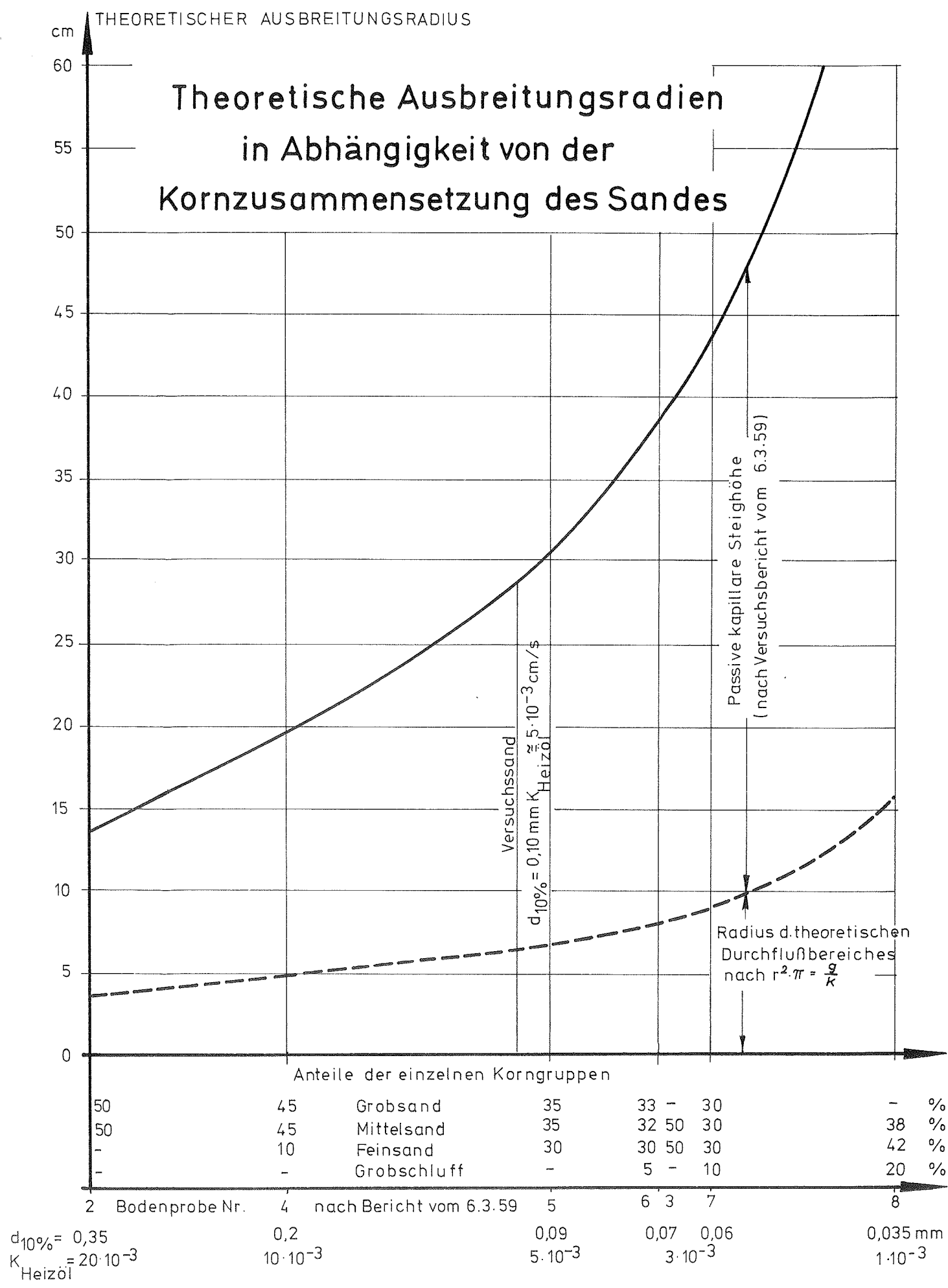


BILD 2 (nach Francius-Institut)



Aufnahmevermögen von Sanden für Heizöl

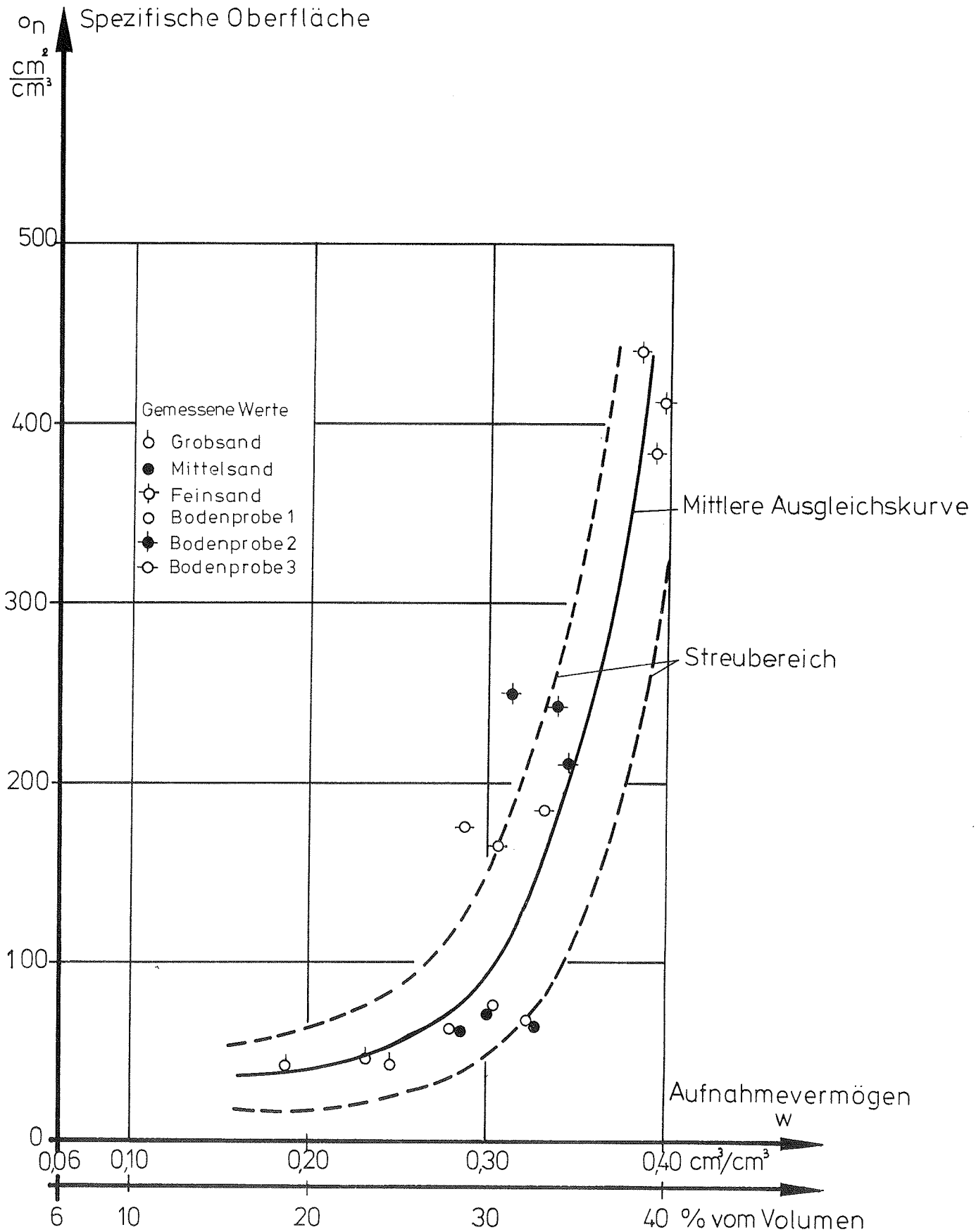


BILD 3 (nach Francius-Institut)

in der Regel größer als die aktive. Sie besitzt auch für unsere Überlegungen größere Bedeutung. Die Untersuchungen haben nun gezeigt, daß kein linearer Zusammenhang zwischen der Oberfläche eines Korngemisches und seiner Aufnahmefähigkeit besteht. Es ist aber auch kein linearer Zusammenhang der Aufnahmefähigkeit mit dem zur Verfügung stehenden Porenraum vorhanden. Mit größerer Feinheit der Kapillaren im Boden wird die Aufnahmefähigkeit größer. Die Kapillareigenschaften sind bestimmend.

Verfolgt man den Vorgang der Feuchtigkeitsaufnahme, sind die einzelnen Körner zunächst nur von einem hygroskopisch feinen Film umgeben; die Feuchtigkeitsaufnahme ist dabei sehr gering. Dies ist z.B. schon bei Berührung trockenen Sandes mit Luft durch die stets vorhandene Luftfeuchtigkeit gegeben. Dann entwickelt sich Porenwinkelwasser, also Wasser, das in den Porenwinkeln der lufthaltigen Bodenzone durch Oberflächenspannung festgehalten wird.

Der dritte Zustand tritt ein, wenn sodann die durch das Porenwinkelwasser bereits verkleinerten kapillaren Zentralbereiche sich füllen und so einen geschlossenen Flüssigkeitsfaden bilden. Durch diese allgemein geltenden Vorgänge wird der Streubereich des Aufnahmevermögens verständlich.

Damit schien zunächst soweit Klarheit in den Sickervorgang in sandigen Böden gebracht worden zu sein, also für den Vorgang, durch den überhaupt Öl bis zum Grundwasser gelangt.

Es war bereits dabei zu erkennen, daß die Abgrenzung nicht exakt sein kann, weil als Grundwasser keineswegs nur jener Teil des Grundwassers angesehen werden darf, der tiefer als der freie Grundwasserspiegel gelegen ist. Bei hydrologischen

Betrachtungen muß zumindest der Kapillarbereich mit zum Grundwasser gezählt werden. Es sei hier noch die Ermittlung der spezifischen Oberfläche an einem Beispiel gezeigt, wobei auch der Rechengang dargestellt ist.³⁸⁾

Ausgangsgleichungen: $\frac{1}{d_w} = \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{2}{d_a} + \frac{2}{d_a+d_b} + \frac{1}{d_b} \right)$

$o_s = \sum \Delta o_s = \sum \frac{6}{d_w} \cdot \Delta g_x$

Rechenschema:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
	d_b	d_a	Δg_x	d_a+d_b	$\frac{1}{d_a}$	$\frac{2}{d_a+d_b}$	$\frac{1}{d_b}$	$\frac{1}{d_a} + \frac{2}{d_a+d_b} + \frac{1}{d_b}$	$\frac{1}{d_w} = \frac{1}{3}(9)$	$\Delta o_s = \frac{6}{d_w} \cdot \Delta g_x$	
	-	-	-	-	1/(3)	2/(5)	1/(2)	(6)+(7)+(8)	$\frac{1}{3} \cdot (9)$	6 · (4) · (10)	
	cm	cm	% · 0.01	cm	cm ⁻¹	cm ⁻¹	cm ⁻¹	cm ⁻¹	cm ⁻¹	cm ² /cm ²	
1	0.006	0.010	0.03	0.016	100	126	167	393	131	23.6	
2	0.010	0.016	0.07	0.026	63	77	100	240	80	33.6	
3	0.016	0.020	0.09	0.036	50	55.6	63	168	56	30.3	
4	0.020	0.035	0.45	0.055	28.6	36.4	50	115	38	102.8	
5	0.035	0.050	0.22	0.085	20	23.6	28.5	72	24	31.7	
6	0.050	0.070	0.10	0.120	14.3	16.8	20	51	17	10.2	
7	0.070	0.140	0.04	0.210	7.2	9.6	14.3	31	10	2.4	
Kontrolle:			1.00							$o_s =$	234.6

Ermittlung der spezifischen Oberfläche für verschiedene Lagerungsdichten:

für n	$o_n = o_s \cdot (1-n)$	$\frac{o_n}{2^n}$ cm ² /cm ²
26	235 · 0.74	174
30	235 · 0.70	164
40	235 · 0.60	141
45	235 · 0.55	129

Aufnahmevermögen v. feuchtem Sand für Benzin

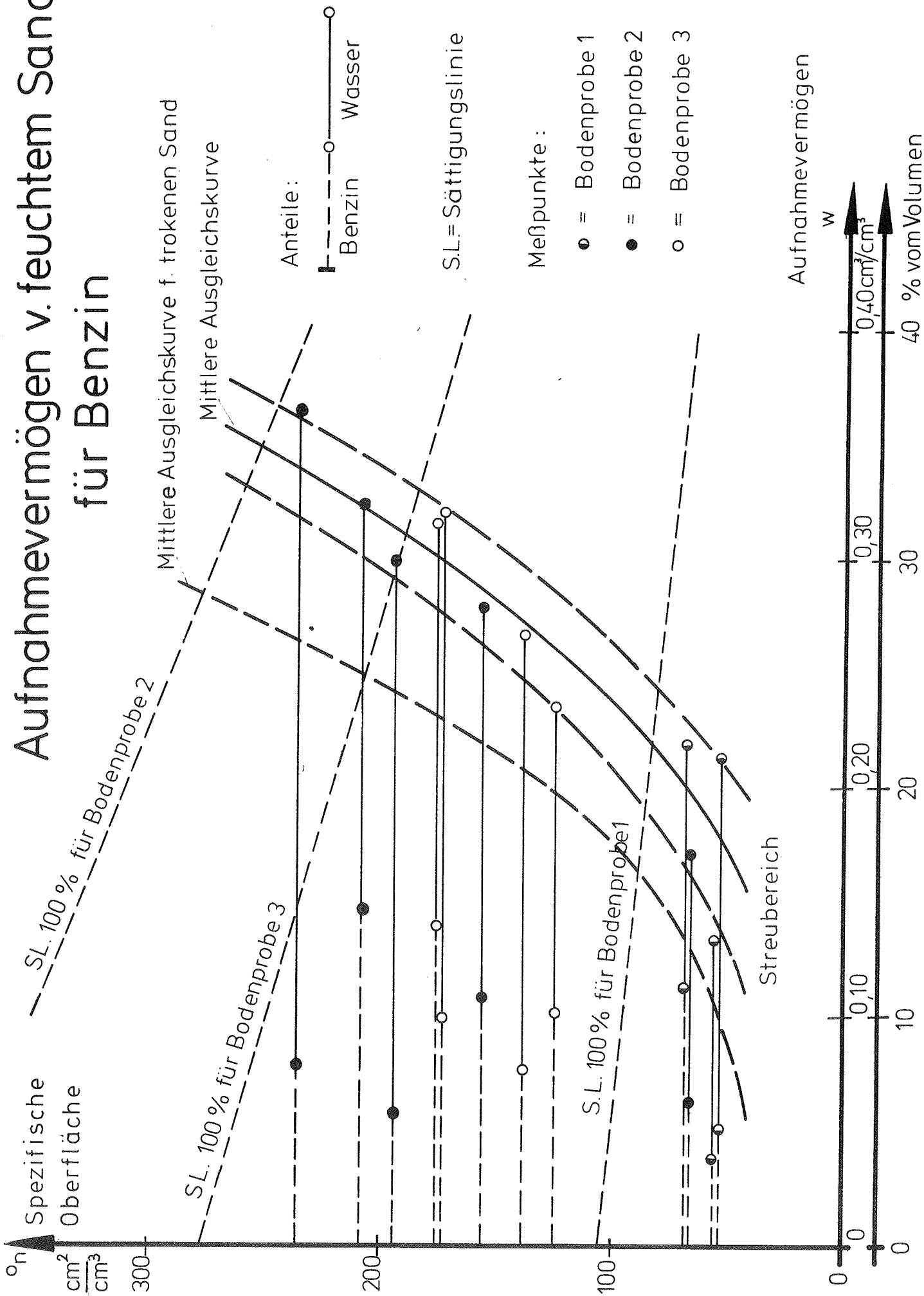


BILD 4 (nach Franciscus-Institut)

Auf den Unterschied zwischen trockenem und feuchtem Sand sei besonders hingewiesen, der in der Darstellung des Franzius-Institutes³⁸⁾ zum Ausdruck kommt. (Bild 4)

Für die einzelnen Bodenproben ist jeweils die Abszisse so eingetragen, daß der mit Benzin gefüllte Anteil strichliert dargestellt ist, während der wassergefüllte Porenanteil voll ausgezogen ist. Darüber hinaus ist in der Abbildung aber auch die mittlere Ausgleichskurve für trockenen Sand strichliert eingetragen, während jene für feuchten Sand - allerdings wohl eben mit dem ersichtlichen ungleichmäßigen Feuchtigkeitsgehalt - innerhalb des ebenfalls dargestellten Streubereiches durch eine volle Linie ersichtlich gemacht ist.

Es zeigt sich, daß zwar ein Zusammenhang zwischen der spezifischen Oberfläche eines Sandes, dem vorhandenen Porenraum und dem Aufnahmevermögen besteht, dieser Zusammenhang aber keineswegs linear ist. Mit dem Anwachsen der Kapillaren im Boden steigt die Aufnahmefähigkeit des Bodens.

Das Aufnahmevermögen von feuchtem Sand unterliegt der gleichen Gesetzmäßigkeit wie von trockenem Sand, aber die Sättigungslinie kann natürlich nicht überschritten werden. Aber der gesamte Flüssigkeitsgehalt wird für bereits feuchten Sand größer. Diese Erscheinung ist bei Benzin größer als bei Heizöl.

Nicht ohne Interesse kann auch für die vorliegende Betrachtung eine andere Untersuchung des Franzius-Institutes sein³⁹⁾, die zwar Versuche mit Meldekabeln in Sandböden zum Gegenstand hatte, aber auch eine praktische Feststellung des Ausbreitungsbereiches beinhaltet. Dort wurde in unvorbereitetem mittlerem norddeutschem Sand mit einem Po-

rengesamt von 42 % und 5,3 Volumsprozent Feuchtigkeitsgehalt mit Heizöl extra leicht, das mit Sudanrot gefärbt war, in einem Versuchsgefäß Ausbreit- und Durchleitzone festgestellt, die sich mit den anderen allgemeinen Überlegungen im wesentlichen decken. Allerdings konnte eine Abgrenzung des Kapillarbereiches vom Ausbreitungsbereich nicht vorgenommen werden.

Dort ist aber dennoch für den Ausbreitbereich (theoretischen Durchflußbereich) das Darcy'sche Gesetz verwendet und der Ausbreitbereich mit $r^2 = q : k$ gesetzt (Bild 5), wobei r den Radius des theoretischen Durchflußbereiches, k den Durchlässigkeitsbeiwert nach Darcy für die betreffende Flüssigkeit und q die Versickerungsmenge angibt. Freilich steht nun die Frage nach den hier geltenden k -Werten offen; es ergab sich dabei der für die geschilderten Verhältnisse ermittelte Wert $k = 5 \cdot 10^{-3} \text{ cm/s}$. Sicherlich spielt auch noch die Größe der Versickerungsmenge mit, die dort aus Versuchsgründen nur $q = 2,0 \text{ l/h}$ beträgt.

Bild 6 zeigt, wenn auch auf den Versuchsumfang beschränkt, die Abhängigkeit ebenso wie vor allem den großen Einfluß der Bodenzusammensetzung auf den erfaßten Kapillarbereich.

BILLIB und HOFFMANN⁴⁰⁾ haben bei lufttrockenen, gestörten Lößbodenproben für Heizöl EL kapillare Steighöhen bis 1,50 m gefunden und weisen darauf hin, daß dies ein Versuchsergebnis ist, wobei die Versuche in Steigrohren stattfanden. Bei Sickervorgängen wirkt dabei nicht wie dort die Schwerkraft entgegen, sondern ist annähernd gleichgerichtet.

PRIER⁴¹⁾ befaßt sich unter anderem eingehend mit den Vorgängen im Sickerbereich und gelangt zur Auffassung, daß versickerndes Öl durch Umgehen von Bodenteilchen auch seitlich ausweicht, wodurch kein zylindrischer, sondern ein birnen- und kugelförmiger Imprägnationskörper entsteht. In seinem Randbereich bestehe eine Benetzungszone, im Inneren - dies mache den größten Teil des Körpers aus - eine Durchleitzone.

In der Folge hat BARTZ⁴²⁾⁴³⁾⁴⁴⁾ Versickerungsversuche in der Oberrheinebene, später gemeinsam mit PRIER bzw. mit KÄSS und PRIER durchgeführt und darüber 1966, 1967 und 1969 berichtet. Bei den 1966 mit Benzin durchgeführten Versuchen wurde beobachtet, daß Benzin im ungestörten Untergrund nicht bis auf den Grundwasserspiegel einsickerte, sondern auf dem geschlossenen Kapillarsaum aufgestaut wurde. Es bildete sich ein Imprägnationskörper, der keinen direkten Kontakt mit dem Grundwasser hatte.

Wurde jedoch die Grundwasseroberfläche freigelegt, konnte das Benzin auf die freie Grundwasseroberfläche austreten und sich dort anreichern.

Die Ausbreitung des Benzins im Untergrund wird durch Haftwasser im Boden gehemmt. Es erfolgte nicht mit gleicher Geschwindigkeit, sondern zunächst relativ rasch, während die als voll bezeichnete Ausbreitung erst nach Tagen bzw. Monaten erfolgte.

Auffallend dabei ist, daß auch bei Fluten des Imprägnationskörpers keine wesentlichen Mengen freien Benzins mobilisiert werden konnten und der Anstieg des Grundwasserspiegels keinen Einfluß auf seine Größe hatte.

Für die Praxis folgt daraus, daß keine überstürzte Eile mehr nötig ist, wenn das Benzin einmal eingesickert ist, wohl aber solange die Einsickerung zu verhindern ist oder kleingehalten werden kann. Spätere Maßnahmen sind für die Randgebiete eines Sickergebietes am Platze, um das langsamere weitere Vordringen zu stoppen und daher vom Rande gegen das Sickerzentrum hin voranzutreiben.

Der 2. Bericht 1967 beinhaltet die Erkenntnisse, daß einsickerndes Heizöl und Rohöl Imprägnationskörper bilden, deren Form und Größe von der Ausbildung und Lagerung der Schichten und von Menge und Beschaffenheit des Öls abhängig sind. In gut durchlässigen Schichten wandert es im wesentlichen in die Tiefe. Schichten geringerer Durchlässigkeit hemmen die Tiefenwanderung und führen zur seitlichen Ausbreitung über diesen Schichten. Wechselnde Schichten führen zur Auslappung des Imprägnationskörpers; Schrägschichten zu asymmetrischer Form. In den Auslappungen fanden sich geringere Ölgehalte als im Zentralbereich. Die Wanderung kommt zum Stillstand, wenn ein bestimmter Ölgehalt - die Restsättigung - unterschritten wird.

MULL⁴⁵⁾ berichtet über Versuche mit Heizöl in Grobsand, das sich zunächst gemäß der Schwerkraft nach unten, dann entlang von Stromlinien weiterbewegte. Dabei war die Geschwindigkeit bei Benzin 10-mal größer als bei Heizöl.

Auffallend ist weiter nach dem 3. Bericht von BARTZ, KÄSS und PRIER⁴⁴⁾, daß der Imprägnationskörper nach 26 Monaten nach der Versickerung immer noch annähernd die gleiche Gestalt wie nach einem Jahre hatte. Diese war durch Schrägschichtung mitbestimmt. In den Randzonen hat sich der aromatische Bereich - das Ergebnis eines allmählichen

oxydativen, bakteriologischen Umwandlungsvorganges - vergrößert, wobei der Vorgang schon vor Erreichen der Restsättigung begann.

G. CLAUS⁴⁶⁾ legt dar, daß aus den Versuchen von BARTZ ins Auge fallend sei, daß die Ausbreitung der spezifisch leichteren und mit Wasser nicht mischbaren Mineralölprodukte im Untergrund durchwegs langsamer abläufe, als man das gemeinhin erwartet hatte. Er verweist sodann auf das Ausbreiten des "Ölstockes" in Grundwasserfließrichtung, die besonders gut aus den Feldversuchen von ZIMMERMANN, KRIEGER, SCHWEISFURT, MERTES und HEYL⁴⁷⁾ im ehemaligen Wasserwerk von Trier zu verfolgen sei.

Die Größe des Ölkörpers hängt nicht nur von der Schichten- ausbildung und Lagerung, sondern auch von der Beschaffenheit des Öles ab. So war ein Rohölkörper wesentlich kleiner als ein Heizölkörper. Innerhalb eines Jahres hatten sich diese Körper auf etwa das Doppelte des ursprünglichen Volumens vergrößert. In Heizölkörpern fanden sich immerhin Ölgehalte bis 2,7 Gewichts-%, in Rohölkörpern bis 3,2 Gewichts-%. Bevor die Restsättigung eintrat wurde ein aromatischer Geruch an den Randzonen bemerkt, der auf Fraktionierung, möglicherweise Veresterung des Öles, zurückgeführt wurde.

Eine Bestätigung fanden diese Auffassungen in Untersuchungen über einen Fall von Untergrundverunreinigung durch Dieselmotorenkraftstoffe. Hierbei hatten KRIEGER und SCHWILLE⁴⁸⁾ versucht, aus einem Praxisfall Erkenntnisse zu gewinnen, die aus Modellversuchen ihrer Auffassung nach nicht zur eindeutigen Klärung der Vorgänge bei Verunreinigungen von Untergrund und Grundwasser ausreichen könnten. Aus einem etwa

20 Jahre unterirdisch gelagerten, vermutlich durch Innerkorrosion leckgewordenen Stahlbehälter mit 35 m^3 Inhalt waren etwa 17.000 l Dieselkraftstoff versickert, der bis zu 7,5 m aus vulkanischem Bims von Sand- bis Feinkiesgröße mit sandigen und tonigen Beimengungen, wie sie in der rheinischen Tiefebene vorkommen, besteht. Durch Trockenbohrungen wurden unterhalb der Leckstelle und in 6 m Entfernung bis zu 8,2 m Tiefe Bodenproben entnommen und mit Hilfe von Pentanextrakten die der Tiefe nach an- und abnehmenden Ölgehalte festgestellt. Maximas lagen zwischen 5 und 7 m bei einem Höchstwert von 11 Gewichts-%. Der in 10,2 m Tiefe liegende Grundwasserspiegel wies ölhaltiges Wasser auf, während unterhalb des ruhenden Spiegels ölfreies Wasser festgestellt wurde. In Privatbrunnen mit Tagesentnahmen von $5 - 15 \text{ m}^3$ in Entfernungen von 19 und 26 m von der Leckstelle waren auch nach 1 1/2 Jahren keine Beanständungen aufgetreten.⁴⁸⁾ Die Verfasser schließen, daß das Öl in dem Boden hoher Kapillarität im wesentlichen festgehalten werde. Auch habe man berechnet, daß von den Grenzflächen des Kuchens durch Niederschlagswasser nicht soviel Öl ausgelöst werden könne, daß eine geschmackliche Beeinträchtigung des Wassers nicht zu befürchten sei. Dazu hat jedoch bereits ein Rezensent Zweifel geäußert.⁴⁹⁾

Nach STECK⁵⁰⁾ ist die Kenntnis der Wasserlöslichkeit unbedingt notwendig, um beurteilen zu können, wie weit Mineralöl in den Untergrund eindringt, weil im Rohöl viele Tausende, im Heizöl viele Hunderte verschiedener Kohlenwasserstoffe enthalten sind.

SCHAAK, WEYER und LOTZING⁵¹⁾ berichten von einem Tankwagenunfall im Grundwassereinzugsgebiet des Wasserwerks Westhoven im Bereich von Köln, bei dem ca. 10.000 l Heizöl leicht

ausgeflossen sind. Durch zahlreiche entnommene Bodenproben, die durch Beriechen und mit einer Analysen-Quarzlampe untersucht wurden, konnten die durch Heizöl beeinflussten Bereiche sehr genau - nach Angabe bis auf einige Zentimeter - festgestellt werden. Das Heizöl war innerhalb von 12 Stunden im allgemeinen 2,5 m tief, im Versickerungszentrum bis 5 m tief in den Boden eingedrungen, der aus einer 1 m mächtigen Hochflutlehmschichte (lehmgiger Sand bis sandiger Lehm) und darunter liegenden etwa 23 m mächtigen Rheinsanden und Rheinkiesen bestand. Innerhalb von 12 Stunden erreichte das Öl den 7 m unter Gelände liegenden Grundwasserspiegel nicht. Dies ist deshalb auffallend, weil doch schon die abdeckende Lehmschichte durchtränkt gewesen sein muß, ansonsten das Vordringen in 5 m Tiefe nicht hätte stattfinden können.

Die Verfasser knüpfen daran die Vermutung, daß das rasche Eindringen des Öles in den Boden auf den zwischen den Öl- und Wassermolekülen wirkenden Kräften beruhe, durch die das Öl bestrebt ist, sich auf dem Wasser oder wasserbenetzten Flächen schnell zu einer sehr dünnen Schichte in der Größenordnung der Moleküldurchmesser auszubreiten. Im Bereich des feuchten Erdreiches werde das Vordringen des Öles weniger durch Auffüllen des Porenvolumens, sondern vielmehr durch fortschreitende Oberflächenbenetzung des Kornes erfolgen. Nur auf diese Weise sei übrigens die Größe der Ausbreitfläche zu erklären.⁵¹⁾

Eines der massivsten Ereignisse der Verunreinigung des Bodens mit Mineralöl trat in der Lobau auf, wobei KOCHANEK⁵²⁾ die außerordentlich hohe Absorptionsfähigkeit des Untergrundes hervorhebt. Dort waren einige Bombenrichter mit Öl gefüllt worden und dann zwei Jahrzehnte später von ei-

nem Rohrgraben durchschnitten worden, so daß gewissermaßen Querschnitte über den Umfang der Ölkontaminierung sich ergaben. KOCHANEK berichtet, daß zwei bis drei cm außerhalb der asphaltähnlichen zähen bis festen Masse im Bereich der Trichter der Sand vollkommen rein war und das höchstens einen halben Meter unterhalb der Trichtersohle stehende Grundwasser geruchslos und rein war.

BECHSMANN⁵³⁾ hebt hervor, daß ein Problem der heterogenen Strömung vorliege und führt aus, daß die Kapillarströmung die Grenzflächenspannung überwinden müsse. Solche Spannungen bestehen aber nicht nur zwischen Wandung und Flüssigkeit, sondern auch zwischen den Flüssigkeiten Wasser und Öl und ändern sich dabei mit jedem anderen Verhältnis dieser beiden Flüssigkeiten zueinander. Daraus ist der Begriff der relativen Permeabilität entwickelt worden. Bei einem Wasseranteil bis etwa 30 % ist die relative Permeabilität des Wassers kaum meßbar, bei gleichem Mengenanteil von Wasser und Öl beträgt die relative Permeabilität beider hingegen nur etwa 20 %, was weit langsamere Bewegung oder sogar Stillstand bedeutet.

WEISFLOG⁵⁴⁾ hat auch die im Untergrund im Mikrobereich zwischen fester und flüssiger Phase sich abspielenden Vorgänge nach Färbung der beiden Flüssigkeiten mikroskopisch erfaßt und dabei ebenfalls den Einfluß der Porengröße auf die Fließbewegung des Öles aufgezeigt.

Nach KLOKE und LEH⁵⁵⁾ beträfe die höchste Sättigungskapazität von Heizöl in Lößlehm 76 % der maximalen Wasserkapazität.

5.

Dem Wasserwirtschaftler kommt es darauf an, zu erfahren, für welche Zwecke und in welchem Maße mineralölkontaminiertes Wasser nur beschränkt verwendbar oder unverwendbar wird.

In den Boden eingedrungenes Öl unterliegt einem Transportvorgang, der im wesentlichen neben der Bodenart, durch die hydrologischen Verhältnisse und die Eigenschaften des Mineralöles bestimmt und durch die Schwerkraft im Gegensatz mit Grenzkräften hervorgerufen ist.

Dabei sind die physikalischen Eigenschaften und unter diesen die Viskosität von Mineralölen und Mineralölprodukten von Belang. Rohöle stellen immer und die in praktischer Verwendung stehenden Öle immer in Teilen ein Gemenge mehrerer chemischer Verbindungen dar.

Daher ist der Schwankungsbereich der Eigenschaften beträchtlich.

Die folgende Tabelle gibt für einige Rohöle und Mineralölprodukte Dichte, Viskosität und Stockpunkt, sowie den Siedebeginn²⁾ an.

Eigenschaften verschiedener Rohöle
und Mineralölprodukte

(sämtliche angegebenen Ziffern sind nur Anhaltswerte)

	Dichte (15°C) g/ml ca.	Viskosität bei 20°C ca. cSt	Stockpunkt ca. °C	Siede- beginn ca. °C
1. Rohöle				
Libyen	0,83-0,85	10-30	+0 bis +20	+30
Mittelost	0,85-0,87	10-30	+20	+30
Venezuela	0,85-0,98	15-800	-40 bis +0	+30 bis 100
Europa				
Leichtöl	0,82-0,90	5-150	-20 bis +45	+30
Mittel- u. Schwer-Öl	0,90-0,95	150-4000	-30 bis +5	+75
2. Mineralölprodukte				
Fahr- u. Flugbenzi- ne	0,70-0,80	0,7	unter -50	+30
Petroleum u. Dü- sentreibstoff	0,70-0,83	2-4	unter -50	+150
Heizöl El u. Die- sel-Kraftstoff	0,81-0,86	2-6	-5 bis -20	+170
Schmieröle	0,80-0,95	über 5	-40 bis +0	über 250
Heizöl schwer	0,90-0,98	gestockt	+20 bis +45	über 200

Tabelle

(nach Arbeitskreis "Wasser und Mineralöl"²⁾)

Die Viskosität - die Fließfähigkeit - ändert sich mit steigendem Siedebereich, was zur Folge hat, daß sich die höher siedenden Produkte langsamer ausbreiten, wenn sie dies unbehindert können.

Außerdem ist die Viskosität temperaturabhängig; bei sinkender Temperatur wird das Öl schwerflüssiger und erreicht schließlich den Stockpunkt.

Die Viskosität ist aber auch vom Paraffingehalt abhängig, was sich ebenfalls auf die Höhe des Stockpunktes auswirkt.

Das Auskristallisieren der Paraffine erfolgt im Boden früher als im Laborversuch, weshalb das Stocken paraffinreicherer Öle im Boden schon oberhalb des Stockpunktes eintritt.

Wenn alles Öl in den Boden eingesickert ist, sinkt der Staudruck und es verringert sich die Konzentration. Im sogenannten rückwärtigen Bereich wird schließlich eine Restsättigung erreicht. Daher ist der erreichte Endzustand nur metastabil.

Durch die Auflast nachsickernden Wassers bei Regenfällen usw. setzen wieder Bewegungsvorgänge in dem Maße ein, als die Wirkung auf das haftende Ölteilchen des hydrostatischen Druckes, der Auflast und des Eigengewichtes gegenüber den Haftungskräften überwiegt.

Dabei haben nach BILLIB und HOFFMANN⁵⁶⁾ länger haftende, am Bodenkorn gealterte Teilchen größere Haftkräfte

aufzuweisen.

Das von der Oberfläche her in den Boden eindringende Öl bildet also zunächst einen zusammenhängenden Ölkörper, der alle Poren des Bodens ausfüllt, sofern diese nicht mit Porenwasser gefüllt sind. Solange es sich um einen gleichmäßig gekörnten Boden handelt, muß das Absinken in zylindrischer Gestalt erfolgen.

Trifft der absinkende Ölkörper auf Zonen geringerer Durchlässigkeit - also kleinerer k_f -Werte, wird sich der vergleichbare Durchmesser des absinkenden Ölkörpers entsprechend erweitern, hingegen bei größerer Durchlässigkeit nicht oder kaum verringern.

Stößt der absinkende Zylinder auf Böden sehr geringer Durchlässigkeit oder auf Schichten mit wassergesättigten Poren, tritt eine wesentliche Verbreiterung bzw. eine völlige Hemmung des Fortschreitens der Bewegung in vertikaler Richtung ein.

G. CLAUS⁴⁶⁾ unterstreicht die Feststellung, daß nicht das Porengefüge der Gesteine unmittelbar, sondern seine Füllung mit Kapillar- und Haftwasser die Ölverbreitung und Wanderung im Untergrund herabmindern. Damit ergibt sich aber eine nicht unwesentliche, mit der Zeit veränderliche Komplikation bei der Beurteilung der Untergrundverhältnisse. Diese wirkt sich im Sickerbereich über dem Grundwasserspiegel, aber auch in dessen Schwankungsbereich aus, so daß sich dasselbe Gestein vor allem je nach dem Sickerwasseranfall verschieden ölwegsam erweist. Der Arbeitskreis "Wasser und Mineralöl"²⁾ hat auch dafür Werte als Anhalt bekanntgegeben, wobei die Werte für das Ölrückhaltevermögen im Sickerbereich natürlich

nur Mittelwerte darstellen.

Richtwerte für Lockergesteinsgruppen

Typische Korngrößen bzw. überwiegende Korngrößen bei Gemischen	Durchlässigkeit k_f (m/s)		äquivalente kapillare Steighöhe h_c (mm)		Ölrückhaltevermögen $U_{\text{öl}}$ (l/m^3)	Ölschichtdicke $D_{\text{öl}}$ (mm)	Auffächervwert z (m)
	von	bis	von....	bis...			
Block, Geröll, Grobkies		$1 \cdot 10^{-2}$		50	5	5	-
Kies, Grobsand	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-3}$	50	150	8	8	0,5
Grobsand, Mittelsand	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-4}$	150	300	15	12	0,5
Mittelsand, Feinsand	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-5}$	300	600	25	20	0,3
Feinsand, mehr oder weniger schluffig	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-7}$	600	1000	40	40	-

Tabelle

(nach Arbeitskreis "Wasser und Mineralöl"²⁾)

Mit ihnen kann die Eindringtiefe ermittelt werden. Reicht diese bis zum Grundwasserspiegel, findet eine Berührung des Ölkörpers mit dem Grundwasser statt. Im anderen Falle wird nur Öl in gelöster Form ins Grundwasser gelangen können.

Wenn also z.B. das Grundwasser in 10 m Tiefe ansteht und beispielsweise Mittel- bis Grobsand vorliegt, besitzt der Bodenkörper immerhin ein Ölrückhaltevermögen von 150 l/m^2 Versickerungsfläche. Bei Feinsanden können es unter sonst gleichen Verhältnissen bis 400 l/m^2 sein, während in Gerölle nur etwa 50 l/m^2 erwartet werden dürfen. Auch die Zugehörigkeit der k_f - Werte ist aus der Tabelle zu entnehmen.

Die Tabelle zeigt ebenso auch die Größenordnung der kapillaren Steighöhe.

Wenn der Ölkörper auf die wasservollgefüllten Poren der Obergrenze des Kapillarsaumes stößt, breitet er sich auf der Grundwasseroberfläche aus, wobei dieses Ausbreiten mit einer charakteristischen Schichtdicke stattfindet, die ebenfalls aus der Tabelle zu entnehmen ist. Über das daraus errechenbare Maß hinaus ist eine Ausbreitung des Ölkörpers in seiner Grenzausbreitung an einer ruhenden ebenen Grundwasserspiegelfläche nicht zu erwarten. Die Bewegung des Grundwasserspiegels in vertikaler Richtung während der Ausbreitungszeit vermag eine wesentliche Verringerung der Ausbreitfläche herbeizuführen, weil durch das Heben oder Senken des Grundwasserspiegels während des Ausbreitens eine größere Schichthöhe ölbenetzt wird.

Der Form nach wäre die Ausbreitungsfläche unter der Annahme von gleichdurchlässigem Boden nur dann eine Kreisfläche,

wenn das Grundwasser keine Strömung aufweist. Beides wird nicht in der Praxis vorkommen. Die Grundwasserströmung wird begreiflicherweise eine bevorzugte Ausdehnung in Strömungsrichtung zur Folge haben, wonach in Querrichtung und grundwasserstromaufwärts eine dementsprechende Verringerung eintritt. Hierbei wird die Ausbreitung in Bereichen größerer Durchlässigkeit weiterreichen, als in Zonen kleinerer Durchlässigkeit. Die Stauwirkung von Schichten geringerer Durchlässigkeit findet bei der Ausbreitung keine Parallele.

Die Schichtdicke der Ausbreitschichte liegt nach dieser Tabelle bei mittleren Verhältnissen bei 1,2 cm. Sie kann bis 4,0 cm oder bis 0,5 cm dick sein.

Nehmen wir also ein Ereignis an, bei dem 5000 l Mineralöl auf einer Fläche von 50 m^2 versickert sind - bei einem k_f - Wert von etwa $10 \text{ m}^3/\text{s}$, also mittleren Sanden, - Grundwasser in 10 m Tiefe - können etwa $150 \text{ l}/\text{m}^2$ Sickerfläche rückgehalten werden, so daß gar nicht damit zu rechnen ist, daß das Öl bis zum Grundwasser gelangt. Liegt der Grundwasserspiegel jedoch in 4 m Tiefe, können um $60 \text{ l}/\text{m}^2$ Sickerfläche rückgehalten werden. Bei gleichmäßiger Beaufschlagung der Sickerfläche werden daher nur etwa 3000 l innerhalb des Sickerkörpers zurückgehalten. Etwa 2000 l gehen in die Ausbreitschichte. Diese ist etwa 1,2 cm dick, so daß bei einem Porenvolumen von ca. 0,25 ca. $3 \text{ l}/\text{m}^2$ Ausbreitfläche im Boden enthalten sein werden. Die Größe der Ausbreitfläche wird daher etwa $2000:3 = 700 \text{ m}^2$ betragen.

Damit ist der Vorgang des Eindringens von Öl in den Boden an sich beendet. Wenn sich die äußeren Umstände nicht ändern, besteht kein Anlaß, daß sich der Ölkörper als solcher verändern müßte.

6.

Als Veränderung der äußeren Umstände kommt insbesondere aber wieder die Bewegung des Grundwassers in Frage. Hebt sich der Grundwasserspiegel, hebt sich die Ausbreitschichte zum größeren Teil mit; senkt sich der Grundwasserspiegel, vergrößert sie sich; Sickerwasser überlagert sie, so daß im Laufe der Zeit der Schwankungsbereich des Grundwasserspiegels von einem Wasser-Ölgemenge anstelle der Ausbreitschichte erfüllt wird. Auch dieses Gemenge lagert an sich stationär an seiner Stelle.

Im Schwanken des Grundwasserspiegels liegt möglicherweise der Vorteil, daß damit ein Belüften verbunden ist und die Voraussetzung für bakterielle Abbauvorgänge geschaffen wird. Andererseits bringt das Absinken des Grundwasserspiegels ein Absinken der Ausbreitzone und dadurch ein Nachrücken in diese aus dem Versickerungskörper, wenn dieser noch nicht sonderlich stabil geworden ist, mit sich.

Vor allem darf nicht außer acht bleiben, daß diese Überlegungen für horizontale Schichtungen angestellt wurden; schräge Schichtung kann sehr bedeutenden Einfluß haben.

- Wenn diese Angaben auch viele Möglichkeiten der Abweichung beinhalten, erscheinen sie doch wertvoll, weil sie ein Abschätzen des möglichen Umfanges der Kontaminierung des Untergrundes gestatten und dabei eher ein Höchstmaß erwarten lassen.

CLAUS⁴⁶⁾ knüpft an die Modellversuchsreihe von LIPPCK⁵⁷⁾ an, wonach durch den ansteigenden als auch durch den fal-

lenden Grundwasserspiegel verhältnismäßig große Ölmengen mobilisiert worden seien. Dabei wurde beobachtet, daß das Öl dem absinkenden Grundwasserspiegel mit seinem Kapillarsaum unter voller Schwerkraftwirkung folge, während bei der aufsteigenden Bewegung nur der Auftrieb aus der Differenz des spezifischen Gewichtes zwischen Öl und Wasser wirksam werde. Dabei wurde bei der Aufwärtsbewegung das Öl regelmäßig seitlich umflossen und war unterhalb des aufsteigenden Kapillarsaumes im Grundwasserkörper verblieben.

Diese bedinge eine gewisse Abbautendenz der Ölimprägnationskörper. Dazu komme noch ein gewisser Spüleffekt absickernder Niederschlagswasser.

Wenn diese auch an sich gering sind, summieren sie sich nach der Auffassung von CLAUS⁴⁶⁾ im Laufe der Zeit.

So bestehen Dispersionsvorgänge im gesamten Ausbreitungsbereich, die eine Auflockerung der als Folge des ersten Ausbreitungsstadiums entstandenen Ölzone hervorrufen.

7.

Die Wassernachrichten²⁷⁾, eine Information des Bundesministeriums des Inneren in Bonn, führen aus, daß die Fragen der Wasserverschmutzung durch Mineralöl ein so bedeutendes, modernes Problem seien, daß man gezwungen sei, dies ohne einseitiges Engagement sachlich und wissenschaftlich zu untersuchen, seien doch vorher von verschiedenen Seiten Berichte verfaßt worden, die die von Mineralölen ausgehenden Gefahren harmloser erscheinen ließen, als sie wirklich sind.

Darin ist auf einen Arbeitsbericht des deutschen Bundesministeriums für Gesundheitswesen, Bad Godesberg, über „Beurteilung und Behandlung von Mineralölungfällen auf dem Lande im Hinblick auf den Gewässerschutz“²⁾ als Zusammenfassung des neuesten Standes des Wissens mit dem Datum November 1969 hingewiesen und auch hervorgehoben, daß sich im Dezember 1969 in Genf in einer Sonderveranstaltung der Europäischen Wirtschaftskommission - ECE - Fachleute aus 23 Ländern der Erde sowie von 13 nationalen und internationalen Organisationen zusammengefunden haben, um ihre Erfahrungen über die Gefahren der Verunreinigung der Gewässer durch Mineralölprodukte auszutauschen. Die Tätigkeit des deutschen Bundesfachausschusses „Wasser und Mineralöl“ hat dabei internationale Anerkennung gefunden.

BILLIB und HOFFMANN⁴⁰⁾ weisen darauf hin, daß bei gleichmäßiger Sättigung ein stationärer Zustand eingetreten ist, wobei für die Sickergeschwindigkeit das Darcy'sche Filtergesetz gilt. Dies gilt für die Durchleitzone, nicht aber

für die vorschreitende Versickerungsfront, an der nicht stationäre Verhältnisse unter überwiegendem Schwerkraftseinfluß, sondern bis zur Sättigung die Kapillar- und Adsorptionskräfte vorherrschen. Beide Bewegungen können für verschiedene Öle rascher als für Wasser erfolgen.

KOPPE⁵⁸⁾ gibt ein Berechnungsverfahren für den Einfluß der Grenzflächenkräfte auf die Fortbewegung unter Verwendung eines Äquivalenzporenradius an, wonach die Ausbreitung von Öl im Untergrund mit und ohne Abdrift ermittelt und jene Druckdifferenz angegeben werden kann, bei der ein Abdriften nicht stattfindet bzw. unter welchem Äquivalenzporenradius bei gegebener Druckdifferenz keine Abdrift erfolgt.

Zur Anwendung bedarf es allerdings der Kenntnis der Bodenstruktur. Das Geschehen wird durch die weitesten Poren an der Stirnseite der Öllinse bestimmt.

Zur Ermittlung des Umrechnungsfaktors zwischen Äquivalenzradius und Korndurchmesser eines gleichkörnigen, gut verdichteten Sandes wurden Versuche angestellt und dabei für Quarzsande Werte $r/d = 0,20$ bis $0,25$, bei Kalkstein zwischen $0,18$ und $0,23$ gefunden, woraus ein Mittelwert $r = 0,22 d$ angegeben wird. Durchbruchdruckmessungen ergänzten die Theorie. Es wurde weiters dargelegt, daß, wenn der Staudruck des Grundwassers an der Öllinse so groß ist, daß diese abdriftet, von ihr im Bereich der kapillaren Steighöhe dauernd etwas Öl am Mineral zurückgelassen wird, das auch vom nachfolgenden, langsam fließenden Grundwasser nicht ausgewaschen wird. Auch Losreißgeschwindigkeiten wurden errechnet.

Für üblich vorkommende Werte wird die Näherungsformel für die Ausbreitfläche ohne Abdrift

$$F_1 = \frac{d \cdot Q}{p} \cdot 2 \cdot 10^4$$

mit F_1 = Ausbreitungsfläche (m^2)

d = Körnung (cm)

Q = versickerte Ölmenge

p = Hohlraumgehalt des Mineralgerüsts in Volumsprozenten

entwickelt.

Für die maximal ölverunreinigte Fläche bei Ölbadrift wird als Näherung für durchschnittliche Werte angegeben

$$F_2 = 10^5 \cdot d \cdot Q$$

und für den Verschiebungsdruck P in cm Wassersäule, der an der Rückseite der Öllinse herrschen muß,

$$P = \frac{0,2}{d}$$

Dazu wird ein Zahlenbeispiel angeführt: Versickern $10 m^3$ Öl und hat die Öllinse einen Durchmesser von 20 m beträgt bei 1 % Grundwassergefälle die Druckdifferenz 20 cm Wassersäule; die kritische Körnung, unter der kein Abdriften mehr erfolgt, liegt bei $d = 0,01$ cm.

Bemerkenswert ist auch die Arbeit von J. VAN DAMM⁵⁹⁾, die relativ einfache Gleichungen aus den Potentialgleichungen unter zusätzlicher Einführung des Kapillardruckes entwickelt, mittels derer man unter Umständen die Ölausbreitfläche und die Schichtdicke berechnen kann.

Eine Angabe über Sickererowschwindigkeiten befindet sich ebenfalls bei BARTZ, KÄSS und PRIER⁴⁴⁾, die mitteilen,

daß nach den zitierten Versuchen in der Oberrheinebene der sich bildende Ölkörper in gut durchlässigen Schichten schon nach wenigen Stunden etwa $2/3$ seines späteren Volumens erreichte. Die weitere Ausbreitung erfolge hingegen sehr langsam.

In einer anderen Untersuchung gehen BILLIB, HOFFMANN und MULL⁶⁰⁾ für eine theoretische Betrachtung von der Diffusionstheorie aus und verwenden deren Differentialgleichungen aus der Kombination der Darcy'schen Gleichung für horizontale oder vertikale Bewegungen, die sodann mit Versuchsergebnissen gegenübergestellt werden. Damit wird es ermöglicht, sofern man die notwendigen Messungen durchgeführt hat, die Sättigungsverteilung zu ermitteln und „das Ziel, die Ausbreitung der Sättigung der Mineralölprodukte aus wenigen Messungen in eindimensionaler Richtung quantitativ vorherzusagen zu können“ erreicht. Es bleibt allerdings noch zu erproben, ob sich diese Ergebnisse in der Praxis zeitgerecht werden befriedigend anwenden lassen.

F. SCHWILLE⁶¹⁾ hebt hervor, daß bei der Beschreibung der Ölausbreitung streng zwischen der Migration von Öl als mit Wasser nicht mischbarer flüssiger Phase und der Migration von Öl, das in gelöster Form im Wasser vorhanden ist, unterschieden werden müsse. In einem Falle gelten die Gesetze des Mehrphasenfließens, im anderen die Gesetze der hydrodynamischen Dispersion mischbarer Flüssigkeiten. Diffusionsvorgänge bilden nur eine untergeordnete Rolle. Bei leichtflüssigen Ölen kommt noch die Bildung einer Zone gasförmiger Kohlenwasserstoffe hinzu.

Für verschiedene Berechnungen ist nach BECHSMANN⁵³⁾ die Benützung des Darcy'schen Gesetzes nicht nach der allgemeinen Formel

$$v = K \cdot i ,$$

wobei K im cgs-System die Dimension cm/s zukommt, sondern ein Koeffizient

$$K = k \frac{e}{\eta}$$

zu setzen, wobei diesem die Dimension cm² zukommt und der Faktor k als Petro-Permeabilität, der flüssigkeitsspezifische Quotient $\frac{e}{\eta}$ als Fluido-Permeabilität bezeichnet wird. Der reziproke Wert $\frac{\eta}{e}$ stellt die kinematische Zähigkeit dar.

Die relative Permeabilität wird in % der Permeabilität der homogenen Strömung angegeben.

Einige Zahlenwerte dazu bringt die folgende Tabelle:

	Dichte ρ	Viskosität η	Fluido- Permeabilität $\frac{e}{\eta}$	kinematische Zähigkeit $\frac{\eta}{e}$
Heizöl S ...	0,95 ... 0,98	71 ... 372	0,013 ... 0,003	75 ... 380(500)
Heizöl M ...	0,92 ... 0,95	10 ... 32	0,05 ... 0,03	21 ... 34(500)
Heizöl EL ..	0,83 ... 0,845	2,8 ... 5,5	0,29 ... 0,15	3,4 ... 6,4
Diesel- kraftstoff .	0,82 ... 0,86	2,3 ... 5,5	0,36 ... 0,15	2,8 ... 6,4
Super- Benzin	0,76 .. 0,785	0,49 ... 0,51	1,54	0,65
Normal- Benzin	0,725 .. 0,745	0,47 ... 0,48	1,54	0,65
Wasser	0,9982	1,005	0,9932	1,0068

Mit Ausnahme der beiden schwereren Heizölsorten gelten diese Werte für die Temperatur von 20°C.

Es muß aber wieder beachtet werden, daß das Darcy'sche Gesetz nur für eine Einphasenströmung gilt.

Unter den Berichten, die anlässlich der Sitzung des Komitees für Wasserprobleme der EWG-Kommission für Europa im Dezember 1969 gegeben wurden, steht wieder ein Bericht von H. BILLIB an hervorragender Stelle⁶²⁾, der weitgehend mathematisch bearbeitet ist und auch eine Beziehung zwischen der Eindringungsgeschwindigkeit der Ölfront durch die dort sogenannte spezifische Permeabilität k_o (cm²) und der hydraulischen Permeabilität k_f (m/s) herstellt. Weiters wird die relative Permeabilität k_r , die eine Funktion der Sättigung des Bodens mit der in Betracht kommenden Flüssigkeit ist, behandelt.

8.

Untersuchungen über das Verhalten von Öl in Festgesteinen sind nicht zahlreich, PRIER widmet diesem Thema einen Teil seiner Arbeit⁶³⁾. Danach sind Tongesteine nur sehr gering gefährdet, weil sie auf Beanspruchung weniger durch Bruch als durch Verformung reagieren. Wenn dort überhaupt Spalten entstehen, werden sie bald zugeschlämmt. Anders ist dies bei Kalksteinen und Dolomit, deren Höhlensysteme oft große Wassermengen mit großer Geschwindigkeit transportieren. Auch auf den „Tauchwandeffekt“ wird verwiesen.

In Festgesteinen ist naturgemäß die Fortbewegung nur in Spalten und Klüften möglich, wobei die Problematik der Auswirkung der Verkarstung auf das Karstwasser unter Hinzutritt einer weiteren Variablen - die Verschiedenheit der Öle - uns gegenübersteht. Unerforscht ist der Rückhalt durch Haftung an den inneren Oberflächen des Gesteins der unterirdischen Wasserwege.

Eine Teilfrage ist dabei, inwieweit diese Haftung durch teilweise Füllung der Karstwasserwege beeinflusst wird, weil die bessere Benetzung durch Wasser eine Verringerung der Adsorption des Öles bedingen kann. Nach örtlichen Gegebenheiten ist es durchaus denkbar, daß das Fließen so schnell erfolgt, daß innerhalb einer Kluft eine Vermengung eintritt und damit Öl mit dem Wasser in Bereiche gelangt, die es allein nicht erreichen würde und dabei in sehr kurzen Zeiten eine überraschend weite Ausbreitung erfolgt. Es ist aber ebenso möglich, daß das Fließen innerhalb der Klüfte so langsam erfolgt, daß durch die Be-

ruhigung eine Mineralölabscheidewirkung eintritt, Öl in den Hohlräumen zur Wasseroberfläche aufsteigt und dort durch tauchwandähnliche Gesteinsformen zurückgehalten wird, wonach der erwartete Ausdehnungsumfang nicht erreicht wird.

Sind Klüfte einmal trockengefallen, endet die Abscheidewirkung. Es bleibt die Haftung an den Wandungen. Einsetzende Regenfälle führen zum Fluten der Klüfte und allmählich mechanischen Abtransport der zurückgehaltenen Ölteile.

So ist die Problematik der Fortbewegung in Festgesteinen doch nicht unwesentlich von der Fortbewegung in Lockergesteinen verschieden.

Weil keine darauf abzielende Untersuchungen bekannt geworden sind, kann doch als erste Näherung angenommen werden, daß die Untersuchung des Franzius-Institutes³⁸⁾ nicht ausschließlich auf Sande, sondern über die Lockergesteine hinaus auch für kluftreiche Festgesteine angewendet werden kann. Die dabei vorhandenen spezifischen Oberflächen sind allerdings viel kleiner als sie bei Sanden in Frage kommen, weshalb das Aufnahmevermögen der kluftreichen Festgesteine beträchtlich geringer als von Lockergesteinen angesehen werden muß.

EISENHUT⁶⁴⁾ berichtet über 6 untersuchte Schadensfälle in verschiedenartigen Gesteinen und zeigt an den Beispielen die sehr unterschiedliche Auswirkung auf. So kommt er zu dem Schluß, daß es dabei schwierig sei, allgemeingültige Regeln aufzustellen und bei fast jedem Schadensfall Geologen, Hygieniker gemeinsam mit den Wasserwirtschaftlern die Prüfung vornehmen müssen.

SCHWILLE³⁶⁾ berichtet mehrfach über die Migration von Mineralöl in porösen Medien und hebt dabei hervor, daß seitens der (bundesdeutschen) Bundesanstalt für Gewässerkunde sowohl Modellversuche als auch Untersuchungen von Schadensfällen durchgeführt werden, woraus sich eine gegenseitige Überprüfung ergäbe. So wird dargelegt, daß es sicherlich nicht möglich sei, die ganze Vielfalt der geologischen und hydrologischen Verhältnisse zu erfassen, weshalb es zweckmäßig wäre, die Untersuchung auf einen Normalölfall, also einen wasserwirtschaftlich interessanten Fall, zu beschränken. Dabei wird bedauert, daß keine Versuche in Festgesteinen durchgeführt worden sind, andererseits aber darauf verwiesen, daß nach der Erfahrung verhältnismäßig viel weniger Unfälle in solchen Gebieten eingetreten seien, als es dem Anteil auf Grund des Flächenanteils zukommen würde. Eine der Ursachen sei die Verwitterungshülle, in der Ölversickerungen vielfach hängen blieben. Der Verfasser dieses Bandes darf jedoch hier hinzufügen, daß es vor allem die schottergefüllten Täler sind, in denen die Verkehrswege geführt werden und daher die Mehrzahl der Ölunfälle in diesen erfolgen, sei es, daß es sich um Tankwagenunfälle, sei es daß es sich um Lecks in Behältern z.B. von Tankstellen handelt.

Diese Erfahrungen zeigen, wie sehr die Bewegung des Öles nicht nur von seinen Eigenschaften, sondern auch vom Aufbau des Untergrundes abhängt. Dabei muß von einem wellenförmigen Eintauchen feinerer Schichten in den Grundwasserbereich durchaus gerechnet werden. Der Verlauf der Trennflächen der Bodenschichten wird aber kaum je sicher bestimmt werden können. Es sind daher auch die Vorhersagen bezüglich des Vordringens der Ölfront immer unsicher.

Wenn man sich vor Augen hält, daß das Öl einige Kilometer weit wandern kann, so ergibt sich daraus wohl deutlich, wie schwierig die Bekämpfung eines Ölunfalles wird, wenn die Gegenmaßnahmen nicht unverzüglich und noch bevor das Öl versickert, anlaufen. Dann wird nämlich die Frage nach der Ausbreitung des Ölkörpers aktuell, die, wie gezeigt wurde, die Sachverständigen vor schier unlösliche Aufgaben stellt⁶⁵⁾.

Da der Abbau erst nach einer gewissen Ausbreitung eintritt, wobei die zurückgelegten Entfernungen bedeutend sein können, muß der Fließmechanismus des Öles in dem Dreiphasensystem Boden-Wasser-Öl beachtet werden. Die bei dieser Dreiphasenströmung zwischen den einzelnen Phasen auftretenden Kapillarkräfte bewirken, daß das Öl bei dem Übergang vom gröberen zum feineren Material stets eine resultierende Kraft in Richtung vom feineren zum gröberen Material tendieren und nie umgekehrt. Diese vorstehende Überlegung gilt natürlich nur, wenn im Boden Öl und Wasser vorhanden sind. Öl für sich allein kann ohne weiteres auch vom gröberen ins feinere Material gelangen.

Daraus ergibt sich, daß eine „Ölfalle“ - eine Schichte, die ins Grundwasser eintaucht und das Öl wie eine Tauchwand zurückhält - durchaus nicht aus undurchlässigem Material bestehen muß. An der Front des Ölkörpers, der sich in Grundwasserfließrichtung auf dem Grundwasser und im Kapillarsaum desselben ausbreitet, werden die vorgeschriebenen Verhältnisse - Öl in Wasser - gegeben sein. Es ist aber durchaus denkbar, daß durch das allmählich nachfolgende Öl sich eine solche Menge an der Übergangszone vom groben zum feinen Korn sammelt, daß in einem Bereich sich eine Zweiphasenströmung ausbildet und das Öl die Ölfalle überwinden kann.

9.

In weiterer Folge haben wir 4 Vorgänge zu erörtern, die sich anschließen können oder anschließen könnten, nämlich mechanischen Abtransport, Lösung, Übergang in die gasförmige Phase und Abbau.

Voraussetzung für einen mechanischen Abtransport wäre das Auftreten einer Schleppkraft des Sickerwassers oder des Grundwassers, die so groß ist, daß sie in der Lage ist, die Haftungskräfte zu überwinden und Ölteilchen aus ihrem Zusammenhang mit dem Ölkörper zu reißen sowie sie dann weiter zu transportieren.

Nun ist es zwar wohl vorstellbar, daß versickerndes Wasser an der äußeren Begrenzung des Ölsickerkörpers Teilchen mitnimmt, die dann allmählich doch zur Ausbreiterschichte gelangen bzw. in kleinsten Schritten den Ölkörper bis zum Grundwasser absinken lassen; ein Vorgang, der, wenn er überhaupt auftritt, sicherlich jahrelang währt.

Hingegen ist es kaum vorstellbar, daß die Schleppkraft an der Oberfläche des Kapillarsaumes jeweils so groß wird, daß dabei Teilchen mitgerissen werden.

So wird eine weitere Ausbreitung wohl nur durch Lösungsvorgänge bewirkt.

Die Betrachtung kann daher an der Wasserlöslichkeit von Mineralöl nicht vorbeigehen. Löslichkeit ist überall gegeben, allerdings ist eine Abhängigkeit von der jeweils vorliegenden Verbindungsgruppe als auch in beträchtlichem Maße vom Mol-Volumen gegeben, wie Bild 6 zeigt.

Abhängigkeit der Löslichkeit vom Mol-Volumen

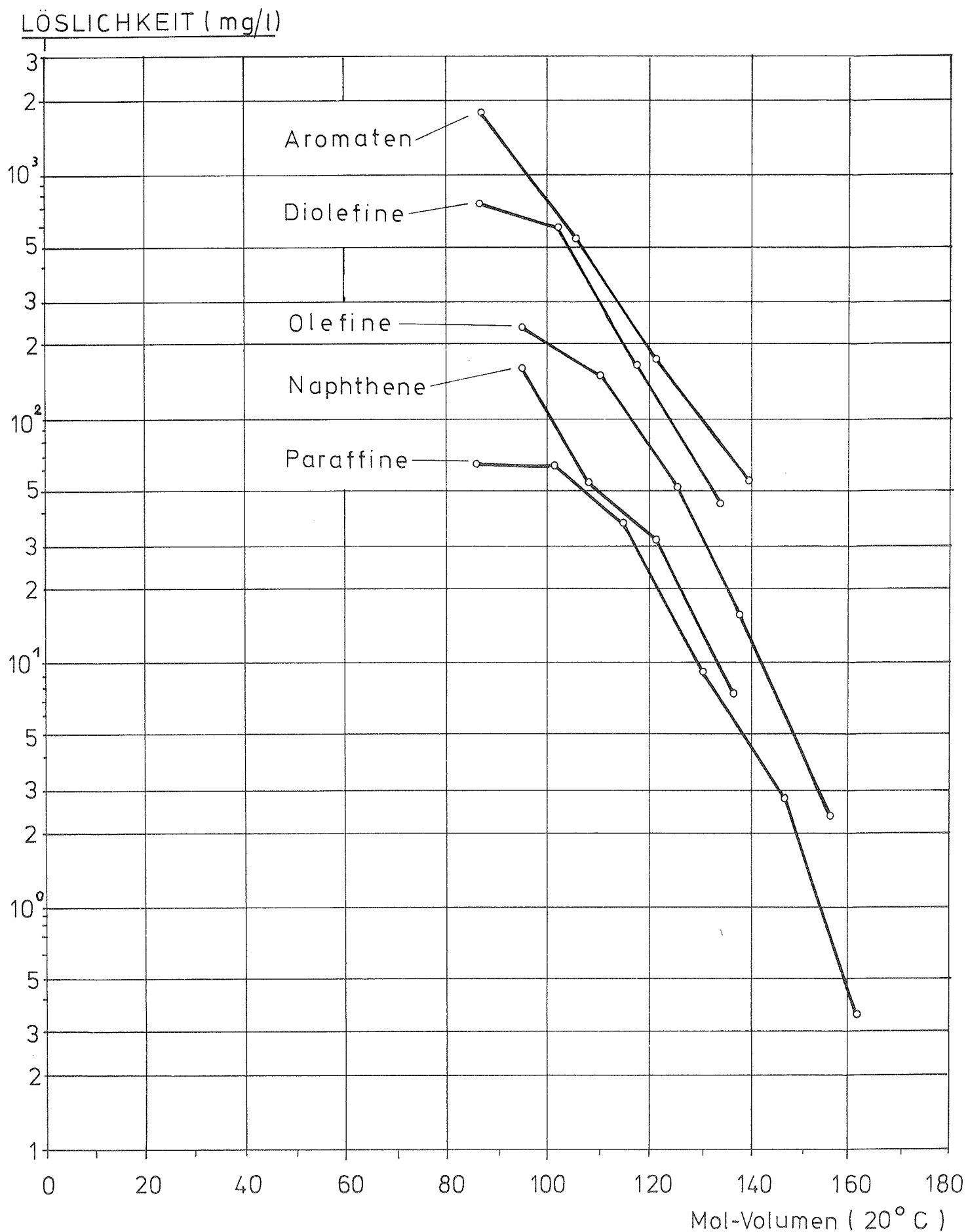


BILD 6 (nach Arbeitskreis „Wasser u. Mineralöl“ 11)

Weil aber jedes in der Praxis vorkommende Rohöl und jeder Treibstoff etc. ein Gemenge darstellt, kann man von einer bestimmten Löslichkeit nicht sprechen, sondern verwendet an deren Stelle die Sättigungskonzentration in Wasser, die für einige Stoffe nachfolgend angegeben ist. Die Schwankungsbreite ist sehr beträchtlich.

Sättigungskonzentrationen

Art des Mineralöl- produktes	Sättigungskonzentration in Wasser (mg/l)
Benzol	1700
Autobenzin	50 bis 500
Dieselmkraftstoff) Heizöl EL	10 50
Kerosin) Petroleum)	0,1 5

(nach Arbeitskreis „Wasser und Mineralöl“²⁾)

Auch die Lösungsgeschwindigkeit ist von Wichtigkeit, die wiederum für die verschiedenen Mineralkomponenten, Temperaturen, Konzentrationen verschieden ist, so daß man sich auch hier mit einem empirischen Sammelbegriff, der Austauschkonstanten, behelfen kann, also jener Menge Mineralöl, die von der Oberfläche eines Wasserkörpers in einer Sekunde in diesen eindringt. Wenngleich die Tabelle nur Richtwerte beinhaltet, zeigt sie doch, daß das in Lösunggeben für Benzine etwa 100-mal zu schnell erfolgt als für schweres Heizöl.

Stoffaustauschkonstanten

Gruppe	E (mg/m ² . s)
Benzin, Teeröl	0,1
Heizöl, Dieselkraftstoff, Kerosin	0,01
Schmieröle, Heizöl S	0,001

(nach Arbeitskreis „Wasser und Mineralöl²)

Die Vielfalt der Variationsmöglichkeit von Einflüssen und Vorgängen erschwert die Betrachtung sehr. Auch die sogenannten Austauschkonstanten sind keineswegs als konstant anzusehen, sondern verringern sich mit zunehmender Konzentration des Öles im Wasser.

Grundsätzlich gibt es Lösungsvorgänge solange, als es einen Ölkörper gibt, dessen Oberflächen mit Wasser in Berührung kommen. Das ist an der Unterfläche einer Ausbreitschicht immer der Fall. Das ist weiter an der Oberfläche dieser Schicht im Falle schwankender Grundwasserspiegel der Fall. Das ist ferner bei jedem Sickerprozess von Wasser entlang der Außenflächen der Ölsickerkörper der Fall.

Der große Unterschied liegt dabei darin, daß an den Außenflächen der Ölimprägnationskörper, wenn Wasser entlang sickert, dieses auch weitertransportiert wird und somit neuem, noch ölungesättigtem Wasser Platz macht.

Anders an der Unterseite der Ausbreitschicht. Dort kann keine oder auch nur geringe Wasserbewegung vorhanden sein, weil sich ja das Wasser im Kapillarbereich kaum an einer Grundwasserströmung beteiligt. Damit sind die berührten Wasserteile bald mit gelöstem Öl gesättigt. Der ölgesättigte

Wassertropfen wird jedoch hier nicht oder fast gar nicht abtransportiert. Die Ausbreitung des gelösten Öles geht daher praktisch um in Abhängigkeit vom versickernden Wasser, kaum aber von einer Grundwasserströmung vor sich. Das gelöste Öl wird allerdings gemeinsam mit dem Sickerwasser über dem sonstigen Grundwasserspiegel abziehen und wegen dessen Gefälle auch dessen Richtung folgen.

Viel eher noch ist ein Lösen von Ölteilchen aus der Oberfläche der Ausbreitschichte anzunehmen, wenn nämlich Sickerwasser entlang des Imprägnierungskörpers oder über der Ausbreitschichte versickert und das Grundwasser anreichern würde, wenn es nicht durch die ölgefüllten Poren der Ausbreitschichte am Eintritt in den Grundwasserkörper gehindert würde. Weil es dies nicht kann, fließt es entlang der Oberseite der Ausbreitschichte ab. Ist das Wasser nicht auf seinem Wege bisher zur Sättigung gelangt, löst es nun Ölteilchen aus deren Oberfläche. Dieser Vorgang baut zwar sehr langsam die Ausbreitschichte von oben her ab, ist aber jener Vorgang, der eine Kontaminierungsaufnahme entstehen lassen kann.

Soweit Ölkontaminierungen durch Jahrzehnte als Fahnen im Grundwasser beobachtet wurden, sind sie in erster Linie auf diese Erscheinung zurückzuführen. Die Breite gibt dabei einen Anhalt für die Ausdehnung der Ausbreitfläche quer zur Grundwasserströmungsrichtung, wenn man die Aufächerung mitberücksichtigt.

Hier kann man, ähnlich wie bei der Grundwasserentnahme eine Einzugsparabel annehmen, deren Achsrichtung die Grundwasserströmungsrichtung in deren Brennpunkt das Versickerungszentrum bildet.

Die Ausbreitung grundwasserstromaufwärts hängt dabei vom Grundwasserspiegel und der Dicke der Ausbreitschichte ab, kann aber in der Praxis nicht sehr bedeutend sein, wenn man die Gegengefällsverhältnisse bedenkt.

Der Arbeitskreis Wasser und Mineralöl²⁾ machte auch dazu Angaben in mathematischer Form. Allerdings führte er aus, daß aus dem gesamten festliegenden Ölkörper laufend und gleichmäßig Bestandteile herausgelöst und weitertransportiert werden, wobei eine Verdünnung, eine seitliche Auffächerung und eine bevorzugte Ausdehnung in der Hauptfließrichtung des Grundwasserstromes eintritt. Wenn eine kritische Grenzkonzentration, für die 0,1 mg/l vorgeschlagen wird, als Grenzlinie gedacht wird, hat die Ausbreitungsfläche danach eine etwa eiförmige Gestalt, wobei ihre maximale Längsausdehnung in Fließrichtung sich aus dem Produkt aus infiltrierter Ölmenge und Stoffaustauschkonstante, gebrochen durch das Produkt aus Schichtdicke, Grundwassergeschwindigkeit und einem Auffächerungsbeiwert errechnet wird. Dies ist für die Schulung der Vorstellung sicherlich wertvoll, wird aber kaum ohne weiteres für einen praktischen Fall herangezogen werden können. Dies vor allem deshalb, weil der Faktor Zeit hier mit eine Rolle spielt.

Zu bedenken ist dabei weiter, daß auch diese eiförmige Fläche eine Zone metastabiler Kontaminierung ist, während die Parabelfläche eine Zone der Bewegung von Wasserteilchen, in denen Öl gelöst ist, darstellt. In ihr sinkt die Konzentration dann nach einer angemessenen Laufzeit und Verdünnung unter die Grenze der Wahrnehmbarkeit bzw. Toleranzgrenze.

Das gelöste Mineralöl macht alle Bewegungen des Grundwassers mit.

Sodann wird noch die Frage der Einschichtung jenes Wassers, das gelöstes Mineralöl beinhaltet, gegenüber dem übrigen Auswirkungen haben. Das Gedankenmodell setzt einen Vorgang voraus, der sich auf die geringhohe rechnerische Öldichtdicke beschränkt. Hier wird die Praxis wohl stets ein Vielfaches davon zu bedenken haben, weil es immer Spiegelschwankungen gibt. Ebenso wie sich diese auf die Ausbreitungsfläche des Ölkörpers auswirken, geschieht dies auch bei Ausbreitung gelöster Teilchen.

Bringen starke Regenfälle eine Auflast von Wasser auf die Ausbreitschicht oder auf die Zone der Kontaminierung durch gelöstes Öl, ist nicht völlig geklärt, in welchem Maße das Öl nach oben zu steigen vermag. Einem Teil wird der Aufstieg zufolge seines geringen spezifischen Gewichtes gelingen. In anderen Teilen vermag das Sickerwasser das Öl jedoch nicht zu verdrängen, wenn es Porenwinkel füllt, weil Wasser eben die Poren nicht in jenem Maße wie Öl zu füllen vermag.

Weiters muß bedacht werden, daß dabei die verschiedenen Bestandteile des als Mineralöl bezeichneten Gemenges durchaus verschiedenes Verhalten aufweisen müssen, weil die Lösung in verschiedenem Maße erfolgt. Bekannt ist der Fall des Herauslösens der Aromaten aus schweren Ölen. So kann eine einheitliche Grenzkonzentration - habe sie welche Größe immer - nicht befriedigen, zumal gerade Aromaten in besonderer Weise zur Geruchs- und Geschmacksbeeinträchtigung des Wassers führen.

Geruchsschwellenkonzentrationen

Art des Mineralöl- produktes	Geruchsschwellen- konzentration (mg/l)	
Benzol	1 bis 10	
Autobenzin	0,001	0,01
Dieselmkraftstoff) Heizöl EL	0,001	0,01
Kerosin) Petroleum)	0,01	0,1

(nach Arbeitskreis „Wasser und Mineralöl“²⁾)

Welch große Unterschiede auch innerhalb des Rohöles bestehen, kommt in Bild 7) zum Ausdruck, das von SONTHEIMER, KÖLLE und SPINDLER⁶⁶⁾ angegeben wird. Dieses zeigt sehr große Unterschiede z.B. auch hinsichtlich des Geruchsschwellenwertes und beim Rührversuch in Abhängigkeit von der Rührdauer.

In der so reichhaltigen Information über Wasserwirtschaft und Umweltschutz „Umwelt + Wasser = Leben“ wird eine Geschmacksschwelle von Mineralölen in Wasser mit 1:1000 angegeben.⁶⁵⁾

SCHAACK, WEYER und LOTZING machten ebenfalls die Feststellung, daß die Geruchsprobe empfindlicher als UV-Fluoreszenzbeobachtung sei und ermittelten die Geruchsschwellenkonzentration des dort ausgeflossenen Heizöles leicht mit

Gang der Geruchsschwellenwerte beim Rührversuch mit verschiedenen Rohölen

nach SONTHEIMER, KÖLLE u. SPINDLER

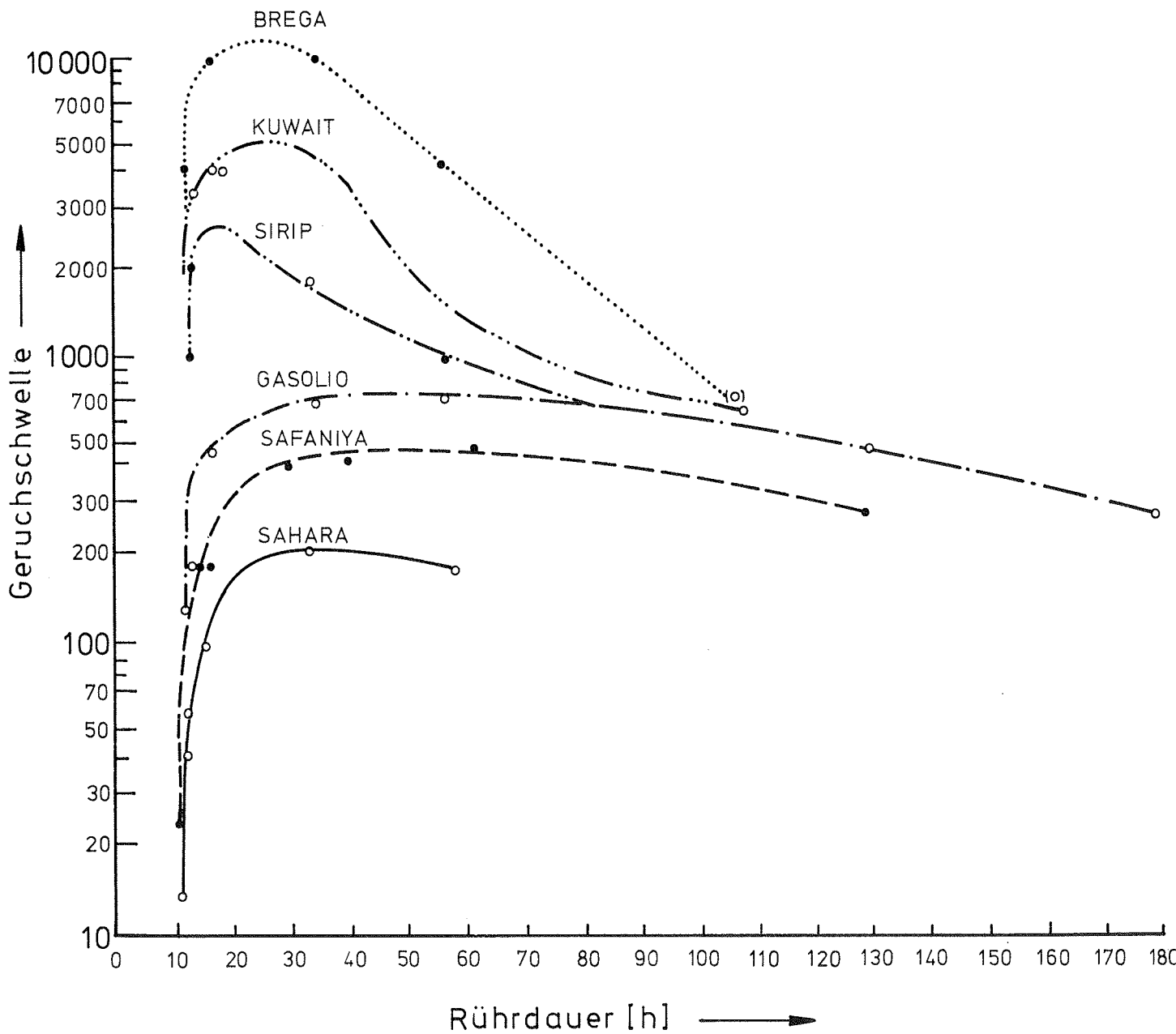


BILD 7 (gwf „Wasser - Abwasser“ 108/2)

6 mg/m³. Das bedeutet, daß 1 l dieses Heizöles in einem Verdünnungsverhältnis von 1 : 150 Millionen eine geruchsbelästigende Beeinträchtigung herbeiführen kann.⁵¹⁾

Dem Ingenieur obliegt jedoch nur die Darstellung der Bewegungsvorgänge von Mineralöl im Boden und im Grundwasser und sein weiteres Verhalten. Es muß anderen Fakultäten überlassen bleiben, die allfällige Schadwirkung in gesundheitlicher Beziehung zu beleuchten und Toleranzgrenzen zu nennen.

Auch im Untergrund verdunsten die niedrig siedenden, leicht flüssigen Vergaserkraftstoffe verhältnismäßig rasch. Die Verdunstung hängt wiederum von der Durchlässigkeit des Bodens ab und findet nur im belüfteten Bereich des Bodens statt. Soweit der Boden nicht durch späteren Regen, Sickervorgänge etc. wieder wassergefüllt wurde, wird daher an den Oberflächen des Ölkörpers und der Ausbreitschichte sowie aus gelösten Mineralölbestandteilen im Kapillarbereich eine Zone entstehen, die durch Öl in gasförmigem Zustand ganz oder teilweise gefüllte Poren besitzt. Die Gase sind schwerer als Luft, daher bleibt die Gasfüllung erhalten und beteiligt sich nicht an einem Austausch. Wohl aber wird auch aus der Gasfüllung durch Sickerwasser wieder Öl gelöst und gelangt mit dem Wasser wieder in den Grundwasserkörper, dessen Strömungsverhältnisse für den weiteren Weg maßgeblich sind.

10.

Nun soll auf die sehr häufig gestellte Behauptung - etwa in der Druckschrift des Mineralölwirtschaftsverbandes Hamburg, Mineralöllagerung und Gewässerschutz vom Oktober 1962⁶⁷⁾ - der mikrobielle Abbau der Mineralöle sei eine der bedeutendsten Seiten des Gewässerschutzes, die bisher kaum beachtet worden sei, eingegangen werden.

Die Informationsschrift „Umwelt + Wasser = Leben“⁶⁵⁾ hebt hervor, daß nach allgemeiner Ansicht der mikrobielle Abbau des Mineralöles im Boden zu spät eintritt, als daß Infiltrationen sicher verhindert würden. Dort wird eine Veröffentlichung der Hannover'schen Versuchsanstalt für Grundbau und Wasserbau hervorgehoben, die ausdrückt, daß „der Abbau nicht in einer für die Wasserversorgung tragbaren Zeit stattfindet“.

Zutreffenderweise legt die sonst recht subjektive Schrift „Mineralöl und Gewässerschutz“⁶⁷⁾ dar, daß der mikrobielle Abbau von Mineralölen als eine der bedeutendsten Seiten des Gewässerschutzes angesehen werden muß, daß aber kein Abbau von innen her in homogenen Öl-Sandkörpern erfolgen kann. Von den in Betracht kommenden Mikroben werden zwei Arten unterschieden, „deren eine Gruppe mehr oder weniger auf den Abbau bestimmter Kohlenwasserstoffe spezialisiert“ sei, „während die andere Gruppe sich auf einer größeren Bandbreite homologer Reihen fester Verbindungen des Kohlenstoffes befände“.⁶⁷⁾

Anläßlich der Informationstagung „Wasser und Mineralöl“ in Koblenz im Oktober 1971 erläuterte SCHWILLE⁶⁸⁾, daß

der Abbau des Öles mikrobiell meist unter aeroben Bedingungen erfolge. Aromaten werden dabei schon nach wenigen Monaten angegriffen. Dabei tritt starke Sauerstoffzehrung auf; das nun sauerstofffreie Wasser löse Eisen und Mangan und enthalte aggressive Kohlensäure.

Die Kleinstlebewesen benötigen außer den Nährstoffen Sauerstoff und Wasser. Sie können sich daher nicht im Inneren eines Ölkörpers ansiedeln, sondern nur in einer Wasserphase. Nur dort kann sich daher ein Abbau vollziehen. Möglichst große Kontaktflächen sind daher eine Voraussetzung. Eine Voraussetzung ist aber auch das Massenvorkommen der Mikroben. Das kann vielleicht noch an den Außenflächen eines Ölsickerkörpers erhofft werden.

Weil aber der Abbau vornehmlich die gelösten Kohlenwasserstoffe erfassen sollte, müßten auch dort genügende Zahlen von Mikroben vorhanden sein. Wer jedoch mit Grundwasser zu tun hat, weiß, daß dort - wenn das Grundwasser ansonsten intakt ist - nur sehr geringe Keimzahlen vorhanden sind. Der erhoffte sichere und schnelle Abbau innerhalb des Grundwassers kann daher durchaus nicht zu recht erwartet werden.

Nach Ausführungen von SCHWEISFURTH⁶⁹⁾ bilden beim aeroben Abbau von Kohlenwasserstoffen durch Bakterien einzelne Arten CO_2 und H_2O , andere organische Säuren und Aldehyde. Die entstehenden Stoffe unterliegen wieder einem aeroben Abbau; es kommt zu einer Minderung des Sauerstoffgehaltes. Neben dem häufigen aeroben Abbau wurde auch ein anaerober Abbau beobachtet. Bei diesen anaeroben Prozessen dürften mehr organische Säuren gebildet werden. Bei Gegenwart von Nitrat wird Benzol anaerob verwertet werden; dabei werden

Nitrite aus Ammoniak gebildet. Über die Rolle des Sulfates als Sauerstoffspender ist bisher nichts bekannt. Beim Abbau der organischen Säuren wird Methan gebildet.

SCHWEISSFURTH und SCHWILLE⁷⁰⁾ gingen bei der bereits erwähnten Untersuchung bei den mikrobiellen Untersuchungen von der Annahme aus, daß die ubiquitär vorhandenen Kohlenwasserstoffaufbauenden Mikroben infolge der Ölanwesenheit zu erheblicher Vermehrung kommen müßten. Mit dem Ausschütteln der Bodenproben mit sterilem Leitungswasser gewonnenen Suspensionen wurden Keimzahlbestimmungen auf Fleischextraktagar und einem speziell für die Kw-Mikroben geeigneten Spezialagar ausgeführt, die aber keine eindeutige Abhängigkeit vom Ölgehalt zeigen; die ölhaltigsten Proben wiesen sogar die verhältnismäßig niedrigsten Keimzahlen auf, so daß eher die ebenfalls ventilierte Theorie einer Vermehrungshemmung durch Kohlenwasserstoffe bestätigt wird. Die Verfasser, denen es hier hauptsächlich auf die Untersuchungsmethodik ankam, betonen daher die Problematik und warnen vor einer Überbewertung der Ergebnisse.

Wenngleich die Ausführungen im Grunde einem anderen Thema, nämlich dem allgemeinen Gewässerschutz galten, verdienen hier die Ausführungen von WUHRMANN⁷¹⁾ über den Abbau von Kohlenwasserstoffen in Belebtschlammanlagen Aufmerksamkeit. Auf der Abwasserreinigungsanlage in Dübendorf, Schweiz, wurden Gaschromatogramme des Kläranlagenzulaufes und -ablaufes aufgenommen, wobei ein Versuch die Beigabe von 0,6 mg Heizöl/ 36 mg Trockensubstanz des Belebtschlammes erfolgte. Während sich nach 4 und 8^h Kontaktzeit keine wesentlichen Minderungen ergaben, sind diese nach 24 und vor allem nach 48^h sehr beachtlich. Nach 24^h waren die Paraffine schon sehr zurückgetreten und andere

Verbindungen dafür mehr hervorgetreten. Wenn auch für Kläranlagen zu recht gesagt wurde, welche davon 48^h Aufenthaltszeit hat, bleibt doch im Grundwasser dafür genügend Zeit. Dort ist die Frage eher, ob die aeroben Verhältnisse aufrecht erhalten werden können. Diesem Vorteil gegenüber der Kläranlage steht die Unmöglichkeit künstlicher Belüftung gegenüber. Wohl aber darf geschlossen werden, daß durch das Öffnen des Bodens eine besser belüftete und daher durch günstigeren Abbau gekennzeichnete Zone geschaffen werden kann.

SCHWILLE und VORREYER⁷²⁾ verwenden den Begriff „reduziertes“ Grundwasser und dehnen ihn auf Reduktionserscheinungen mikrobieller Art beim Mineralölabbau aus, wenngleich sich die Reduktionszone keineswegs mit jener Zone deckt, in der gelöste Kohlenwasserstoffe nachweisbar sind. Die Folgen einer Reduktion müssen beseitigt werden. Bedeutende Kosten können durch die Behebung der Auswirkungen auftreten.

Dabei werden unter reduzierten Wässern allgemein solche Grundwässer verstanden, die auf ihrem Einzugswege, d.h. auf ihrem Wege vom Infiltrationsort zum Gewinnungsort, Zonen passiert haben, in denen reduzierende, sauerstoffverbrauchende Vorgänge überwiegen. Auch Mineralölprodukte im Untergrund können sich danach reduzierend auf das Grundwasser auswirken. An die Reduktionszone schließt stromab eine zur Oxydationszone überleitende Zone an, in der zeitweise Sauerstoff auftritt. Hierbei werden auch analoge Untersuchungen über die Auswirkung von Industriemüll und von Hausmüll auf das Grundwasser zitiert.

Dort wird auch auf die Methodik der Untersuchung einge-

gangen. In diesem Zusammenhang sei auch auf die Beobachtungen von EXLER⁷³⁾ an einem Schadensfall im Unterstrom einer Mülldeponie hingewiesen, weil dort eine sehr ausgeprägte Methodik zur Untersuchung herangezogen werden konnte. Die Auswirkungen der Mülldeponie wurden im Grundwasser auf eine Strecke von 3000 m durch 27 Bohrungen nachgewiesen und die andernorts beschriebene Reduktionszone und Übergangszone dabei beobachtet.

In ähnlicher Weise sind auch die Mitteilungen von GRAMMEL⁷⁴⁾ von Interesse, der berichtet, daß sich aus einer Salzschlackenablagerung trotz dem fast ungestörten Vorhandensein abdichtender Schichten unterhalb liegende Quellen beeinflusst wurden.

Gäbe es doch nach NÖRING⁷⁵⁾⁷⁷⁾ nur wenige Stoffe, die dem Festhalte- und Abbauvermögen des Untergrundes auf die Dauer erfolgreich zu trotzen vermögen.

11.

Im Mai 1973 hat PICHLER-STAINERN⁷⁶⁾, der im ECE-Sekretariat in Genf tätig ist, in einem Vortrag „die Tätigkeit der ECE in bezug auf Gewässerschutz“ die Tätigkeit der ECE als besonders wesentlich hervorgehoben.

Als wesentliche Feststellungen aus der Tätigkeit ist hervorzuheben, daß bei den im allgemeinen geringen Konzentrationen keine akute Giftwirkung auf Mensch und Tier zu befürchten ist. Es ist „aber dennoch nicht auszuschließen, daß ein über Jahre andauernder Genuß mineralölkontaminierter Wassers selbst unterhalb der Geruchs- oder Geschmacksgrenze auch nachteilige gesundheitliche Folgen zeigen“⁷⁶⁾ kann.

Allerdings darf nicht außer acht bleiben, daß Fertigprodukte in der Regel verschiedene Zusatzstoffe - Adjektive - beinhalten, die z.B. die Klopfestigkeit verbessern, die Oktanzahl erhöhen oder die Korrosionsbeständigkeit günstiger gestalten sollen. Dazu dient eine Vielzahl von Stoffen, deren Art häufig unbekannt ist, die aber sehr wohl toxische Wirkung haben können. Schließlich ist die Bleibeigabe zu erwähnen, deren toxische Wirkung an sich bekannt ist, wenngleich die Konzentrationen wohl stets unter einer Schädlichkeitsgrenze liegen, soweit es sich im Trinkwasser um Kontaminierung mit Mineralöl handelt, dem Blei beigegeben ist. Verschiedene, vor allem die schweren Destillationsprodukte des Rohöles, wie z. B. Teer, werden üblicherweise als krebsfördernde Stoffe angesehen.

Über die Gefährlichkeit von Blei und Bleiverbindungen gehen die Auffassungen oftmals weit auseinander. So liest man: „Fast alle unsere „Zivilisationskrankheiten“ sind auch Erkrankungen, die durch Bleivergiftungen entstehen können: Blei ist ein stark psychotropes, das heißt die Psyche beeinflussendes, zu Aggression stimulierendes Gift. Bei Schulkindern im Ruhrgebiet zeigten Reihenuntersuchungen Störungen im Schulverhalten, geschwächtes Konzentrationsvermögen, mangelndes Gedächtnis, Unfähigkeit, abstrakt zu denken und häufigere Kariesfälle.

Blei führt zu Funktionsstörungen der Schilddrüsensekretion, zu Störungen der Nebennierenrindentätigkeit, zu Fermentschädigungen an den Schwerpunkten des Zellstoffwechsels, Blei ist als Krebserreger anzusehen, Blutkrankheiten, Störungen der Eiweiß-Synthese und im Knochengewebe sowie Allergien werden durch Blei begünstigt.

Am Untergang der großen Hochkulturen Indiens, Ägyptens und Roms, die alle „bleireiche“ Kulturen waren (Pro-Kopf-Verbrauch im alten Rom: 4 kg/Jahr) läßt sich ein Zusammenhang zwischen dem Blei und dem Zivilisationsverfall erkennen. Nur die Hochkultur Chinas überdauerte Jahrtausende, sie war „bleiarm““⁷⁷⁾

Seitens der Mineralölindustrie legte man einen differenzierteren Maßstab an. So schreibt WOLTERECK⁷⁸⁾ im Zusammenhang mit einer Schilderung des neuen Gesetzes in der Deutschen Bundesrepublik, das ab 1.1.1972 den zulässigen Bleianteil im Benzin auf 0,4 g/l begrenzt, nachdem es vorher 0,635 g/l gewesen waren:

„Dieses Blei - genauer: Bleitetraäthyl und -tetramethyl - zeichnet für eine der wichtigsten Eigenschaften des Kraftstoffs verantwortlich: Für die Klopfestigkeit. Schon sehr geringe Beimischungen davon erhöhen die Oktanzahl stark - und auf eine genügend hohe Oktanzahl sind unsere modernen Hochleistungsmotoren angewiesen.“⁷⁸⁾

„Blei und seine Verbindungen haben allerdings einen Nachteil, der in ihrem Umgang Vorsicht erforderlich macht: Sie sind giftig. Dies gilt für Farben und für Ornamentmaterial etwa an Steingut-Geschirr, und dies gilt auch für die beiden Kraftstoff-Zusätze. Das aber zog den Unmut der Umweltschützer auf sich, die nicht eher ruhten, bis in jenem August 1971 besagtes Anti-Blei-Gesetz erlassen wurde. 1976 muß der Bleigehalt im Benzin noch viel weiter heruntergehen: auf 0,15 Gramm pro Liter.

Bemühungen um den Umweltschutz sind, wir wissen es alle, grundsätzlich zu begrüßen. Blinder Eifer allerdings kann auch hier nur schaden - und man fragt sich, ob die Anti-Blei-Kampagne wirklich in dieser Form nötig ist. Wenn sich in Pflanzen unmittelbar am Rande viel befahrener Straßen Blei nachweisen läßt, so bedeutet dies nicht, daß die Menschheit bedroht ist. Und niemand weiß bis heute definitiv, ob überhaupt und welche Giftwirkungen vom Auspuff-Blei tatsächlich ausgehen. Der Einwand der Mineralölleute schon bei der Beratung des Gesetzes, es sei noch niemand an diesem Blei gestorben, ist noch immer nicht widerlegt.“⁷⁸⁾

12.

Es würde hier wohl zu weit führen, wenn auch über die Methoden zum Nachweis von Mineralölen und zu deren Identifizierung gesprochen werden sollte, ein Fragenkomplex, der den Chemikern überlassen bleiben soll. Doch sei auf die Arbeit von KRIEGER⁷⁹⁾ hingewiesen und auf die Arbeiten von GIEBLER, KOPPE und KEMPF⁸⁰⁾ verwiesen.

Unter dem Titel „Ölverschmutzung von Gewässern“ wird schon 1962 in der Zeitschrift „Bauamt und Gemeindebau“ im Zusammenhang mit einer Arbeit von LADENDORF über eine kritische Betrachtung der bestehenden Methoden zur Bestimmung von Kohlenwasserstoffen in Wasser darauf verwiesen, daß eine wesentliche Voraussetzung zur Beurteilung von Ursachen, Folgen und Maßnahmen zur Vermeidung von Ölverschmutzungen in unseren Gewässern der einwandfreie analytische Nachweis von technischen Kohlenwasserstoffgemischen in den verschiedenen Wässern ist. Den meisten quantitativen Analysenmethoden haften noch erhebliche Fehlermöglichkeiten an oder sie sind nicht auf alle Erdölprodukte wie Benzine, Treiböle, Heizöle usw. mit ausreichender Genauigkeit anwendbar. Auf eine genaue Bestimmung kleinster Mengen solcher Stoffe kommt es aber in der Praxis oft an.⁸¹⁾

Nicht unerwähnt soll die Infrarot-Methode bleiben, durch die es nach Angabe der Wissenschaftler, die sie ausgearbeitet und erprobt haben, dank ihrer hohen Empfindlichkeit schnell möglich macht, die horizontale und vertikale Ausbreitung des Mineralölproduktes im Untergrund in Bohrproben zu bestimmen.⁸²⁾

13.

Immer wieder wird auch die Frage der Gefährlichkeit und der Unfallhäufigkeit von Ölfernleitungen erwogen. Allerdings sind die dazu nötigen Unterlagen nicht überall im erforderlichen Umfang vorhanden.

Dazu gilt es, in Betracht zu ziehen, daß derzeit im westlichen Teil Europas ohne die Länder des Ostblockes rund 12.800 km Ölfernleitungen liegen, die im Jahre 1972 etwa 310 Mio m³ Rohöl und Raffinerieprodukte transportiert haben, was etwa 260 Mio t entspricht. Von den Leitungen dienen etwa 7.700 dem Rohöltransport und 5.100 dem Transport von Fertigprodukten.

Zur Beurteilung der Unfallshhäufigkeit und der Gefahren liegt eine Aufstellung aus den fünf Jahren 1967 bis 1971 vor. In diesen Jahren wurden etwa 1,3 tausend Millionen Öl transportiert, wobei sich insgesamt 35 Unfälle ereigneten. Dies entspricht im Jahresdurchschnitt 7 Unfällen oder in bezug auf die transportierte Ölmenge einem Unfall je 36,5 Mio t transportierten Öles.

Jahr	Unfälle in		ausgeflossenes Öl m ³	aufgefangenes Öl ca.m ³	transportiertes Öl Million m ³
	Pipeline	Stationen			
1967	3	2	33.2	0	224
1968	2	0	1.8	0.5	236
1969	3	3	61.5	45.0	248
1970	9	2	719.1	502.0	250
1971	7	4	2730.5	2667.0	310
Summe	24	11	3546.1	3214.5	1268

Dabei sind aber rd. 2.000 m³ bei einem Unfall ausgeflossen. Bei den drei größeren Unfällen sind 2.302 m³ oder 84 % ausgetreten, so daß außer diesen eigentlich nur mehr geringfügige Unfälle vorkamen. Vom ausgetretenen Öl sind nach Angabe 2.667 m³ wieder aufgefangen worden, so daß tatsächlich nur 64 m³ wirklich verloren gingen, also in Boden und Gewässer eingedrungen sind.

Vergleicht man die vorstehende Aufstellung mit jener des vorangegangenen Jahres, findet man wieder einen 5-Jahreszeitraum betrachtet, in dem das Jahr 1971 jedoch fehlt und daher die große in der Station Ochtrup ausgetretene Menge nicht enthalten sein kann.

Wohl aber zeigt dann das Jahr 1966 wieder überdurchschnittliche Zahlen.

Betrachtet man vergleichsweise die Jahre 1966 bis 1970 findet man 29 Unfälle, bei denen 2.400 m³ ausgeflossen sind, von denen nur 65 % aufgefangen werden konnten. Hierbei sind nun mehr Unfälle an der Pipeline selbst aufgetreten, nämlich 21, von denen 15 durch menschliches Versagen verursacht wurden und zum Austritt von 1.020 m³ Öl führten. 7 Unfälle waren durch äußere Umstände verursacht und führten zum Austritt von 540 m³ und nur 3 Unfälle waren durch Unfälle an der Pipeline selbst eingetreten.

Davon unterscheiden sich die Angaben für die 5-Jahresperiode 1967 - 1971 nicht unerheblich.

Jahr	Unfälle in		ausgeflossenes	aufgefangenes	transportiertes
	Pipeline	Stationen	Öl m ³	Öl ca.m ³	Öl Million m ³
1966	4	1	1527.5	972	212
1967	3	2	33.2	0	224
1968	2	0	1.8	0.5	236
1969	3	3	61.5	45.0	248
1970	9	2	719.1	502.0	250
Summe	21	8	2343.1	1519.5	1170

1966 war ein großer Unfall zu verzeichnen, bei dem allein 1.300 m³ ausgeflossen sind - für den Durchschnitt bestimmend. In diesem Jahre konnten von den ausgelaufenen 1.527,5 m³ nur 972 m³ aufgefangen werden.

Bemerkenswert kann noch sein, daß nach Angabe nur 3 Unfälle zur Gewässerverunreinigung führten, die jedoch geringfügig waren und behoben werden konnten.

Korrosionsschäden haben 2 Austritte verursacht, bei denen insgesamt 5 m³ Öl austraten.

Schon vor dem hier betrachteten Zeitraum hat anlässlich einer Arbeitstagung der Vereinigung für Siedlungswasserwirtschaft in München SCHICKHARDT von einem Schadensfall an der Ölleitung bei Oberhausen (Rheinland) berichtet, bei dem Wassererfassungsanlagen in einer Entfernung von 450 m gefährdet waren. Die Beseitigung des ölgetränkten Bodens und ein Abwehr- und Sicherungsbrunnen kostete DM 200.000.-.⁸³⁾

A. UHDE hatte bei derselben Tagung über die Erfahrungen bei dem Schaden der Nord-West-Ölleitung ausgeführt, daß trotz der vielfachen Sicherungsmaßnahmen beim Bau und Betrieb dieser 390 km langen Leitung nicht verhindert

werden konnte, daß ein Rohr aufplatzte und etwa 1.500 t Rohöl austraten.⁸³⁾

„Lange Jahre ist von interessierter Seite die Legende verbreitet worden, daß in den USA trotz ihrer hunderjährigen Praxis der Erdölgewinnung und -verwendung bisher irgendwie nennenswerte Wasserverunreinigungen nicht vorgekommen seien.“⁸⁴⁾

„Um so überraschender kam es für die Fachwelt, daß beim 6. Internationalen Wasserversorgungskongreß 1964 in Stockholm der amerikanische Rapporteur die Ölfahr als eines der größten Probleme der Wasserversorgung in den USA „bezeichnete“. Als größte Gefahrenquelle wurden die Ölpipelines betrachtet.“⁸⁴⁾

Nun hat man in den USA jedoch schon seit 1924 einen Oil Pollution Act auf Bundesebene, der sich auf die Öltransporte auf Binnengewässern bezog. 1929 folgte die Bildung eines Ausschusses für Raffinerieabwässer. Schließlich behandelte der umfassende Federal Water Pollution Control Act von 1958 mit wesentlichen Änderungsgesetzen 1956, 1965 als Water Quality Act, 1966 als Clean Water Restoration Act und 1970 als Water Quality Improvement Act, der auch besondere Vorschriften über Öl enthält⁸⁴⁾, dieses Thema.

Unter den Schadensfällen wird häufig auf die Ereignisse in der Pumpstation Ochtrup der Nord-West Ölleitung am 5.12.1972 hingewiesen. An diesem Tage wurden, nachdem vorher gemäß einer Vereinbarung mit dem Energieversorgungsunternehmen der Strombezug eingeschränkt und die 4 Pumpen der Station abgeschaltet gewesen waren, zunächst wieder drei Pumpen eingeschaltet. Danach trat beim Ein-

schalten der 4. Pumpe eine unklare Situation auf. Die Ursache eines durch die Fernmeldeanlage angezeigten Druckabfalles war nicht eindeutig erkannt worden. Daher wurde die Leitung durch das Wirken der selektiven Pumpabschaltung zunächst in Ochtrup, dann in den benachbarten Stationen und schließlich ganz abgeschaltet. Nachdem sich der Druck in der Leitung auf einen konstanten Stand eingependelt hatte, wurde nach etwa 10 Minuten neuerlich die Betriebsaufnahme versucht. Beim Einschalten der 4. Pumpe in Ochtrup ergab sich wieder Druckabfall, wonach die Leitung ohne diese Pumpe in Betrieb genommen wurde. 33 Minuten nach der ersten Feststellung langte dann die Nachricht von der Polizei ein, daß in der unbesetzten Pumpstation Ochtrup Öl austrete, wonach Ölalarm gegeben wurde.

Beim Zuschalten der 4. Pumpe fiel der Druck nach dem Regelventil in kurzer Zeit auf den Wert des Eingangsdruckes, stieg aber dann wieder sowohl in Ochtrup als auch in den Nachbarstationen auf einen konstanten Druck, so daß ein Leck in der Leitung ausgeschlossen werden konnte. Es ergab sich schließlich bei Besichtigung an Ort und Stelle, daß ein Leck - ein etwa 40 cm langer Längsriß - in dem von der 4. Pumpe zum zugehörigen, durch Pumpensteuerfolge betätigten Ausgangsschieber führenden Rohrbogen vorhanden war, durch das eine Ölfontäne austrat. Weil die Pumpstation nicht überdacht war und starker Wind herrschte, wurde das angeblich bis 14 m Höhe emporgeschleuderte Öl auf eine größere Fläche ausgebreitet. Von der Feuerwehr und verschiedensten zur Hilfe herangezogenen Organisationen wurde was möglich war zur Verhinderung der Ausbreitung des Öles unternommen, Wasserläufe eingedämmt, Ölbindemittel eingesetzt und der

Hornerbach durch einen Damm abgeschlossen. Das ankommende Wasser wurde unter der Oberfläche abgesaugt. Später wurde der Damm durch regulierbare hölzerne Ölsperren ersetzt; 52 Tankwagen und 20 Saugwagen mit einem Fassungsraum von 1.162 m^3 wurden eingesetzt und mit ihnen etwa 600 m^3 abgesaugtes Öl mit Wasser vermischt in die Raffinerie Lingen transportiert. Die Gewässer wurden mit Hilfe von weiteren Ölbindemitteln von Ölresten gereinigt. Zufolge des Absaugens des Öles in den Gräben floß dabei Öl vom Gelände in diese nach und konnte vielfach ebenfalls abgesaugt werden.

Anfangs war in den Hornerbach, dem Vorfluter dieser Gräben, Öl in einer Schichtdicke bis 30 cm geflossen.

Die Reinigung des Geländes erfolgte durch „Ziehen kleiner Gruppen, Abfegen, Abspülen und auch durch Abflämmen“. Von den 15 im betroffenen Gelände gelegenen Brunnen, die zunächst vorsorglicherweise gesperrt worden waren, wurden nach Untersuchung 7 Brunnen sofort, 5 weitere Brunnen nach 5 Tagen freigegeben. Ein Brunnen wurde nach Reinigung eines vorbeiführenden Grabens freigegeben und zwei Brunnen, in der Entfernung von 5 m und von 30 m von ölführenden Gräben gelegen, nach Reinigung und einem 48-stündigen Probepumpen ohne Ölverunreinigung wieder in Betrieb zu nehmen gestattet.

Was die Verunreinigung des Geländes anbelangt, wurde darauf verwiesen, daß die geologischen Verhältnisse sehr günstig waren, weil an der Pumpstation direkt Lehm anstand.

Gegen den erwähnten Hornerbach zu nehmen die über dem Lehm lagernden Talsande bis zu 70 bis 80 cm an Mächtigkeit zu.

So wird es verständlich, daß sich die Vertreter der Landwirtschaft gegen ein Abräumen und Abfuhr des Bodens aussprachen.

Hervorgehoben muß hier ein Bericht von NOLTE werden, der hervorhebt, daß zur allgemeinen Überraschung und Enttäuschung festgestellt werden mußte, daß die sonst vielfach bewährten Ölbindemittel bei dem noch nicht raffinierten Rohöl nicht ansprachen, weshalb man zum Absaugen Zuflucht nahm. Dabei wurde aber wieder eine etwa 1 : 9 gemischte Öl-Wasseremulsion gepumpt, so daß man auch wegen der fehlenden Entemulgierung nicht etwa abgeschiedenes Wasser zum Bach abfließen lassen konnte.⁸⁵⁾

„Im Schadensfall Ochtrup war die Hauptaufgabe die Absicherung und Sanierung der ölverschmutzten Gewässer, damit kein Rohöl mehr nach Holland abfließen konnte“, wird von NOLTE⁸⁶⁾ an anderer Stelle angeführt. Eine solche Betrachtungsweise geht an den Beeinträchtigungen des Grundwassers und damit von Wasserversorgungen vorbei.

Diese Vorfälle ließen auch für Steiermark die Besorgnis ähnlicher Ereignisse befürchten. Es zeigte sich, daß der Bereich der Pumpstationen als mehr gefährdet anzusehen ist, als dies für die freie Strecke gilt. Eine konsequente Regelung forderte daher für die in Steiermark gelegenen Pumpstationen zusätzlich zu der hier aus Witterungsgründen (Schneefall) ohnehin überall bereits vorhandenen Überdachung der Pumpen auch die Unterbringung in Gebäuden mit allseitigen Wänden. Von diesen wird nur der aus Kühlgründen benötigte Wandteil ausgenommen, aber auch wieder - dies auch wegen der Sonnenbestrahlung - durch Jalousien wieder soweit abgedeckt, daß eine Fontäne bei einem Leckwerden einer Leitung innerhalb der Pump-

station Öl nur ins Innere, nicht aber nach außerhalb des Pumpenhauses auswerfen kann. Alle Bodenflächen innerhalb des Pumpenhauses müssen mit ölundurchlässigem Boden, der Gefälle zu Ableitungen in den Leckölbehälter ausgestattet sein. Soweit kleinere Mengen in Betracht kommen, können sie dort aufgenommen werden. Größere Mengen finden im untersten Teil des hier wannenartig ausgebildeten Gebäudes selbst Aufnahme. Das Fernleitungsrohr wird in Hinkunft in den in Steiermark gelegenen Stationen nicht mehr unterirdisch an den Stationsgebäuden vorbei, also nicht mehr daneben geführt werden, sondern durch Vergrößerung der Gebäude in diesen und zwar in offenen, mit Betonwänden und -sohle ausgestatteten Gräben verlaufen. Durch Schwimmer mit Fernanzeige wird eine Füllhöhe von 20 cm im Graben nicht nur angezeigt werden, sondern auch die Stations-"Notaus"-Schaltung auslösen.

14.

Einige Überlegungen der Praxis mögen sich anschließen.

Der Tankwagenunfall stellt uns der Frage des Mineralöls im Boden und im Grundwasser gegenüber. Durch das Leckwerden der Transportgefäße durch die Unfallschäden wird eine bestimmte Sickerfläche mit Öl benetzt. Diese Sickerfläche kann ganz unregelmäßige Gestalt haben.

Konzentriertes Eindringen in den Boden erschwert die Sanierung, weil es sich dann um größere Tiefen handelt, in die z.B. gebaggert werden muß. Um die Ausbreitschicht, die wenige Zentimeter dick ist, zu erreichen, müßten mehrere Meter nicht kontaminierten Materials entfernt werden.

Aus der Feststellung, daß nicht das Porengefüge der Gesteine unmittelbar, sondern in erster Linie seine Füllung mit Kapillar- und Haftwasser die Ölverbreitung und Wanderung im Untergrund herabmindert, ergibt sich nach G. CLAUS eine wesentliche, mit der Zeit veränderliche Komplikation für die Beurteilung der Untergrundverhältnisse, die bedeutet, daß ein Gestein nach dem Klimaablauf und dem Sickerwasseranfall der jüngsten Vergangenheit verschieden ölwegsam ist.⁴⁶⁾

Unzureichend ist der Stand der Kenntnis darüber, welcher Grad der Mineralölverunreinigung im Grundwasser als nicht mehr nachteilig oder schädlich anzusehen ist. Objektive Angaben über den Gefährlichkeitsgrad fehlen.⁴⁶⁾

Auch muß dem Hinweis beigespflichtet werden, daß es nicht genügt, wenn durch Rekultivierungsmaßnahmen in relativ kurzer Zeit der schädliche Einfluß der Mineralölprodukte

überwunden werden kann, weil dies nur für die eigentliche Bodendecke gilt, wenn diese durch die Bearbeitung gut durchlüftet und in der wärmeren Jahreszeit ausreichend erwärmt ist, wodurch ein intensiver bakterieller Abbau ermöglicht wird.⁴⁶⁾

Der Faktor Zeit muß mehr als bisher berücksichtigt werden, denn der Gewässerschutz ist eine Aufgabe auf lange Sicht.

Weiters muß man CLAUS⁴⁶⁾ zustimmen, wenn er ausführt, daß Schadensfälle nicht erst entstehen, wenn genutztes Grundwasser verunreinigt wird, sondern wenn eine schädliche Verunreinigung des Grundwassers oder eine sonstige nachteilige Veränderung seiner Eigenschaften schlechthin erfolgt.

Ist der Boden gefroren, kann Öl nur in jenem Maße eindringen, als die Poren nicht wassergefüllt sind, wobei der Anteil des freien Porenvolumens durch die Eisbildung beträchtlich herabgesetzt wird oder die Poren überhaupt völlig verschlossen werden. Durch das Öl kann aber Auftauen bewirkt werden, wonach wegen der Volumensverminderung das Eindringen von Öl wieder möglich wird. Weit schwieriger ist die Sickerfläche in anderen Fällen abzuschätzen, wenn die Ausbreitung an der Erdoberfläche unter einer Schneedecke stattfindet oder bei denen die Verfärbung der benetzten Fläche schwer erkennbar ist. Großflächige Verteilung auf der Geländeoberfläche sieht bedeutungsvoller aus. Von der Oberfläche her wird sehr wohl ein Abbau erwartet werden dürfen, jedoch dauert dies sehr lange. Die je Flächeneinheit versickernde Ölmenge ist dann aber in der Regel nicht sehr groß, so daß der Ölkörper kaum das Grundwasser erreichen wird und sich daher dort auch nicht ausbreitet. Allerdings muß auch die anschließende Sanierung des Gelän-

des als solches mitbedacht werden, die dabei kostspieliger wird, weil es sich um große Flächen handelt. Die Sanierung kann sich dabei dann aber auf geringe Tiefe erstrecken. Alle diese Erwägungen stellen die Voraussetzung für eine Sanierung dar. Will man nicht ganz im Ungewissen handeln, sollte man sich jedenfalls auch über die Art und Menge des auslaufenden Öles ebenso klar sein, wie über die Art des Bodens und die Tiefenlage undurchlässiger Schichten bzw. des Grundwasserspiegels. Als Sanierung kommt einzig und allein das Entfernen des kontaminierten Materials in Frage. Dabei ist die Frage, ob größere Flächen seicht auszuheben oder tiefere Aushübe auf kleinerer Fläche durchzuführen sind, eigentlich schon eine Vorfrage von der Kostenseite her. Damit liegt die Entscheidung vor, inwieweit die oberflächliche Ausbreitung verhindert werden soll.

CLAUS⁴⁶⁾ meint dazu, daß gerade wegen der gefundenen geringen Wanderungsgeschwindigkeit von Mineralölprodukten auf dem Kapillarsaum und im obersten Bereich des Grundwassers die an oft auch unzureichend gestalteten oder unzweckmäßig angesetzten Beobachtungsstellen ausgeführten Kontrollmaßnahmen keine schlüssige Begründung dafür liefern können, daß das Grundwasser in der Regel nur in der unmittelbaren Umgebung von Ölunfallstellen gefährdet sei.

Die negative Entscheidung - nicht Entfernen kontaminierten Erdreiches - ist heute schon die schwierigere geworden, weil die Verantwortung zu sagen „hier wird nichts passieren“ weit schwieriger zu tragen ist, als jene für den Entschluß „Aushub des kontaminierten Materials“ mit Abtransport. Wird die Ausbreitung an der Erdoberfläche - z.B. durch Schnee - behindert, hat man viel eher zu erwarten,

daß der Ölkörper den Grundwasserspiegel erreicht und auf ihm eine Ausbreitung stattfindet. In anderen Fällen ist die Ausbreitung auf der Oberfläche durch Unterschreiten des Stockpunktes verhindert. Das Einsickern ist dann nur gering. Es werden nur mehr Lösungsvorgänge zu erwarten sein.

CLAUS⁴⁶⁾ kommt zu dem Schluß, daß sofortige Abwehrmaßnahmen bei Ölunfällen nur dann erforderlich sind, wenn noch nicht in den Boden eingedrungenes Öl am Versickern verhindert werden kann. Das bedeute aber logischerweise, daß bereits in den Boden eingedrungenes Öl möglichst weitgehend entfernt werden muß.

Bei theoretischen Überlegungen kann begreiflicherweise nur von idealisierten Verhältnissen ausgegangen werden, denen die Wirklichkeit oftmals nicht gerecht wird. Besonders krass werden die Abweichungen, wenn z.B. unterirdische Leitungen - etwa Drainagen - im Sickergebiet vorhanden sind. Ölaustritt weitab von der Sickerstelle kann die Folge sein.

CZEJKA weist nicht zu Unrecht auf den Unterschied zwischen Ölaufsaugmitteln und Ölbindemitteln hin, die auch vom Standpunkt der Feuerwehr nicht übersehen werden sollten.⁸⁷⁾

Die Verwendung von Ölbindemitteln verschiedener Art setzen Kenntnisse über das betreffende Mittel voraus, weil ihnen sehr unterschiedliche Eigenschaften zukommen. Dabei ist auch eine attestierte Unschädlichkeit für Fische nach einem Aquarierversuch keine völlige Gewähr dafür, daß das betreffende Mittel in jeder Weise vom chemischen oder biologischen Standpunkt harmlos ist.

Schließlich bleibt immer noch die Frage der Bedeutung an der Häufigkeit von auftretenden Schadereignissen zu erwägen.

Eine Gegenüberstellung der Häufigkeit von Mineralölungfällen von ortsfesten Anlagen bzw. Tankwagen, Pkw oder Lkw und Eisenbahn der Gewässergüteaufsicht der Fachabteilung Ia der Fachabteilungsgruppe Landesbaudirektion gibt folgendes aufschlußreiches Bild. Dort heißt es für das Jahr 1972:⁸⁸⁾

„Verständigungen über Unfälle mit Mineralölen oder Chemikalien sind in 151 Fällen eingegangen und waren zu bearbeiten. Die Unfälle gliedern sich nach ihren Ursachen in folgender Weise:

Stationäre Mineralöllagerungen (vorwiegend Heizöl)	73
Straßentankwagenunfälle mit Mineralölen .	16
Aufreißen von Treibstoffbehältern von Pkw oder Lkw	47
Unfälle auf der Eisenbahn	5
Unfälle mit Chemikalien	10

Bei diesen Unfällen flossen große Mengen von Mineralölen und kleine Mengen an Chemikalien aus, versickerten zum Teil in den Boden, konnten aber durch Sanierungsmaßnahmen soweit unschädlich gemacht werden, daß keine nachteiligen Auswirkungen an Gewässern verblieben.

Außerdem wurden insgesamt 58 Mineralölungfälle der verschiedensten Art erfaßt, so daß nunmehr insgesamt 296 Mineralölverunreinigungen verzeichnet sind."

In früheren Jahren gelangten nur Tankwagenunfälle auf der Straße zur Kenntnis. Eine Liste verzeichnet 3 Unfälle im Jahre 1958, 2 Unfälle im Jahre 1959, 7 Unfälle im Jahre 1960, 7 Unfälle 1961 und 6 Unfälle allein im ersten Vierteljahr von 1962.⁸⁹⁾

Wenngleich nicht alle Zusammenhänge völlig geklärt sind, sind doch viele Abhängigkeiten und Vorgänge auch für die Praxis in hinreichendem Maße erkannt und Möglichkeiten für die Abschätzung des Ausmaßes einer Mineralölverunreinigung des Bodens und des Grundwassers geschaffen worden.

Voraussetzung für eine wirksame Vorgangsweise bei der Bekämpfung von Ölunfällen ist durch die Kenntnis der Bewegungsvorgänge geschaffen. Nur mit dieser Kenntnis kann das Ausmaß der erforderlich werdenden Maßnahmen bestimmt werden.

Nur so begegnet man der Gefahr des Zuviels an Maßnahmen, ebenso wie das Zuwenig der Maßnahmen oder der Gefahr der Bekämpfung am unrichtigen Ort. Das erste hätte über längere Zeit zur Folge, daß man alle Maßnahmen als übertrieben und daher unnötig ansieht und alle Abhilfe unterläßt. Das zweite unterläßt ebenfalls die richtigen Maßnahmen. Unabsehbarer Schaden am Grundwasser wäre dann stets die betrübliche Konsequenz.

Die Wasservorräte unserer Heimat sind nicht so gewaltig, daß wir es uns erlauben könnten, auch nur auf einen kleinen Teil zu verzichten. Wir müssen sie erhalten. Dies wird nur möglich sein, wenn der überhandnehmenden Verunreinigung durch Mineralöl wirksam entgegengetreten wird, wozu die Kenntnis der Bewegungsvorgänge von Öl im Boden und Grundwasser unerlässlich ist.

L i t e r a t u r :

- 1) Bernhart, L.: Öl im Grundwasser. Wasser und Abwasser. "Seen-Grundwasserschutz". Forschung und Fortschritte, Band 1971, herausgegeben von der Bundesanstalt für Wasserbiologie und Abwasserforschung, Wien-Kaisermühlen. Wien 1973.
- 2) Beurteilung und Behandlung von Mineralölnfällen auf dem Lande im Hinblick auf den Gewässerschutz, herausgegeben vom Arbeitskreis "Wasser und Mineralöl", veröffentlicht vom Bundesministerium für Gesundheitswesen, Bad Godesberg 1969.
- 3) Bernhart, L.: Bekämpfung der Mineralölverunreinigungen in Böden und Wasser, Vortrag in Graz am 5. Juni 1962.
- 4) Mineralölverbrauch relativ gering. Südost-Tagespost, 18. September 1973, S. 15.
- 5) Rohölpreis: Die OeMV schlägt Alarm. Südost-Tagespost vom 11. September 1973, S. 11.
- 6) Bescheid des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung vom 17. Dezember 1968, GZ. 3-348 A 5/117-1968.
- 7) Bescheid des Bundesministeriums für Handel, Gewerbe und Industrie vom 15. Jänner 1970, Zl. 159.001-II-13/1969.
- 8) Steinmann, H.Ch.: Österreichs Öl-Bedarf gesichert. Südost-Tagespost vom 14. November 1973, S. 9.
- 9) „Energiereserven werden reichen“. Südost-Tagespost vom 14. Juli 1973, S. 25.
- 10) Nixon: Erdöl-Pipeline in Alaska. Südost-Tagespost vom 11. September 1973, S. 1.
- 11) Klement, R.: Österreichs Kraftstoffversorgung hängt an der OeMV-Raffinerie Schwechat. Südost-Tagespost vom 13. Dezember 1973, S. 9.

- 12) Europarat-Nachrichten, Natur, Nr. 72-12, Dezember,
Deutsche Ausgabe, herausgegeben von der
Europäischen Informations-Zentrale für
Naturschutz, Straßburg.
- 13) Wien und Burgenland sind Extreme der Motorisierung.
Auto-Touring, November 1973, 1. Ausgabe,
Nr. 429, S. 12.
- 14) Weniger Tankstellen - größere Rentabilität. Auto-Touring
Nr. 423/424, August 1973, S. 2.
- 15) 1973 um 35.000 Autos weniger. Auto-Touring Nr. 435,
Februar 1974, 1. Ausgabe, S. 15.
- 16) Die Folgen der Ölverschmutzung ober- und unterirdischer
Gewässer. Ergebnisse des FEG-Symposiums
im Januar 1959 in Baden-Baden.
- 17) Schläpfer, P.: Die Ölverschmutzung und Maßnahmen zu ihrer
Bekämpfung bei ober- und unterirdischer
Lagerung in Großbehältern, Tanks usw.
FEG, Redaktioneller Teil, 1959, Zürich.
- 18) Mayreder, R.: Beurteilung der Dichtheit von unterirdi-
schen Mineralöllagerbehältern. Österrei-
chische Ingenieur-Zeitschrift, 5. Jahrgang,
Heft 3, S. 83.
- 19) Ausobsky, S.: Tankwagenunfälle und Feuerwehreinsatz.
Zur Verfügung gestellte Abschrift eines
Berichtes, Graz 1965.
- 20) Erfahrungen aus dem Tankwagenbrand in Graz.
Zur Verfügung stehende Berichte, nicht
gefertigt, nicht veröffentlicht, Graz, 1965.
- 21) Der Schutz des Grundwassers bei der Lagerung von Mineral-
ölprodukten als Ingenieuraufgabe.
Erdöl und Kohle - Erdgas - Petrochemie,
14. Jahrgang, Nr. 5, Mai 1961, S. 411.
- 22) Clodius, S.: Schutz des Grundwassers als wichtige Vor-
aussetzung für die Sicherung der Trink-
und Brauchwasserversorgung.
Erdöl und Kohle - Erdgas - Petrochemie,
14. Jahrgang, Nr. 5, Mai 1961, S. 412.

- 23) Hettche, : Der Schutz des Grundwassers bei der Lagerung von Mineralölprodukten als Ingenieuraufgabe. Tagungsberichte. Städtehygiene, Nr. 6/1961, S. 124.
- 24) Krolewski, H. : Verhalten von Mineralöl im Boden; Städtehygiene, Nr. 6/1961, S. 125.
- 25) Rincke, G. : Gewässerschäden durch Mineralölprodukte, Städtehygiene, Nr. 6/1961, S. 126.
- 26) Bucksch, R. : Sorgen mit Öl. Berichte zur Landesforschung und Landesplanung, 6. Jahrgang 1962, H. 1.
- 27) Grundwasserschutz und Mineralölnfälle.
Wassernachrichten, Information des (deutschen) Bundesministeriums des Inneren, Heft 4/1970, 1. Jahrgang.
- 28) Doerpinghaus, H. : Probleme des Grundwasserschutzes, Die Mineralölwirtschaft, Heft 5, 5. März 1963.
- 29) Nolte, Cl. G. : Theorie und Praxis bei Umwelt- und Gewässerschäden. IKZ-Fachzeitschrift für Sanitär- und Heizungstechnik, Heft 21/1972.
- 30) Hinweise für den Schutz der Wasserversorgung bei Unfällen und Betriebsstörungen, die mit dem Austritt von wassergefährdenden Stoffen, vor allem Mineralölen, Mineralölprodukten und dergleichen verbunden sind. DVGW-Arbeitsblatt W 806, September 1961, ZdGW-Verlag GmbH, Frankfurt (Main).
- 31) gwf (Wasser - Abwasser), 103. Jahrgang, Heft 2, 12. Januar 1962, S. 56.
- 32) Ölalarmplan "Wasser, Luft und Betrieb", Nr. 9/1962.
- 33) Richtlinien zum Schutz des Wassers bei Auslaufen von Mineralölen. Herausgegeben vom Österreichischen Wasserwirtschaftsverband, Wien, März 1963.
- 34) Europarat-Nachrichten, Natur Nr. 72-12, Dezember 1972, Deutsche Ausgabe, herausgegeben von der Europäischen Informationszentrale für Naturschutz, Straßburg.

- 35) Runge, H.: Erdöl, Erdgas, Grundwasser. gwf (Wasser-Abwasser), 96. Jahrgang, 1953, S. 468.
- 36) Schwille, F.: Die Migration von Mineralöl in porösen Medien. Dargestellt anhand von Modellversuchen. gwf (Wasser-Abwasser) 112. Jahrgang, 1971, Heft 6, S. 307 und S. 465.
- 37) Stundl, K.: Beeinflussung von Bodenorganismen durch versickernde Treibstoffe. Österreichische Wasserwirtschaft 10(1958), Heft 5/6, S. 113.
- 38) Hensen u. Krolewski, H.: Untersuchungen über das Aufnahmevermögen von Sandböden für Mineralöle, Hannoversche Versuchsanstalt für Grundbau und Wasserbau, Franzius-Institut, Hannover, November 1959.
- 39) Hensen u. Krolewski, H.: Versuche mit Meldekabeln in Sandböden (Versuchsbericht). Franzius-Institut für Grund- und Wasserbau der Technischen Hochschule Hannover, Hannover, März 1960.
- 40) Billib, H. u. Hoffmann, B.: Wie bewegen sich Mineralölprodukte im Boden? gwf (Wasser-Abwasser), 107. Jahrgang, Heft 6, Februar 1966, S. 139.
- 41) Prier, H.: Über das Verhalten von versickerten Mineralölprodukten im Untergrund. Gesundheitsingenieur 88, Jg. 1967, Heft 5, S. 145.
- 42) Bartz, J.: Öl- und Benzinversickerungs-Versuche in der Oberrheinebene. gwf (Wasser-Abwasser), 107. Jahrgang, 1966, Heft 6, S. 143.
- 43) Bartz, J. u. Prier, H.: Öl- und Benzinversickerungsversuche in der Oberrheinebene. gwf (Wasser-Abwasser), 108. Jg. 1967, Heft 4, S. 91.
- 44) Bartz, J., Käss, W. und Prier, H.: Öl- und Benzinversickerungsversuche in der Oberrheinebene. gwf (Wasser-Abwasser), 110. Jg 1969, Heft 22, S. 592.
- 45) Informationstagung "Wasser und Mineralöl" in Koblenz vom 26. bis 28.10.1971.
Darin:
Mull, R.: Modellmäßige Beschreibung der Ausbreitung von Öl als Phase im Untergrund. gwf (Wasser-Abwasser), 113. Jg. 1972, Heft 8, S. 361.

- 46) Claus, G.: Ein Beitrag zur Frage der Gefährdung des Grundwassers durch Mineralölprodukte. Die Wasserwirtschaft 3/1967, S. 127.
- 47) Zimmermann, W., Krieger, H., Schweisfurth, R., Mertes, R., Heyl, E.: Experimentaluntersuchungen über die Verschmutzung von Grundwasser durch Mineralölprodukte. gwf (Wasser-Abwasser), 105. Jg. 1964, S. 1033 und 1089.
- 48) Krieger, H. u. Schwille, F.: Untersuchungen über einen Fall von Untergrundverunreinigung durch Dieselkraftstoffe. Geologische und chemische Untersuchungen. gwf (Wasser-Abwasser), 103. Jg. 1962, Heft 7, S. 164/72.
- 49) gwf (Wasser - Abwasser), 103. Jahrgang, 1962, Heft 48
- 50) Steck,,: Stoffaustausch zwischen öligem und wässriger Phase, in "Informationstagung" "Wasser und Mineralöl" in Koblenz vom 26. bis 28. 10. 1971", gwf (Wasser-Abwasser), 113. Jg. 1972, S. 362.
- 51) Schaack, E. A., Weyer, P. und Lotzing, H.: Tankwagenunfall in der Nähe eines Wasserwerks. gwf (Wasser-Abwasser), 102. Jg., Heft 40, S. 1105.
- 52) Kochanek, F.: Öl und Wasser beim Grundwasserwerk in der Lobau, gwf (Wasser-Abwasser), 108. Jg., 1967, Heft 2.
- 53) Bechsmann, E.: Das Verhalten der Erdölderivate im Grundwasser. gwf (Wasser-Abwasser), 104. Jg., 1963, Heft 24, S. 690.
- 54) Weisflog, D.: Mikroskopische Untersuchungen über das Verhalten von Wasser und Mineralöl im porösen Medium, Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen 10 (1966), Heft 5, S. 158.
- 55) Kloke, A. und Leh, H. O.: Untersuchungen über das Verhalten von Heiz- und Treibölen im Boden. Wasser und Boden 18 (1966), S. 422.
- 56) Billib, H. u. Hoffmann, B.: Wie bewegen sich Mineralölprodukte im Boden? gwf (Wasser-Abwasser), 107. Jg., Heft 6, S. 138.

- 57) Lippok, W.: Modellversuche über das Verhalten von Heizöl EL im porösen Medium. Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen 10(1966), S.145.
- 58) Koppe, P.: Der Einfluß der Grenzflächenkräfte auf die Fortbewegung von flüssigen Kohlenwasserstoffen mit dem Grundwasser. Gesundheitsingenieur. 87.Jg. 1966, Heft 2, S. 50.
- 59) Dam, J.van: Die Ausbreitung von Mineralöl im Grundwasser. Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen, 11.Jg (1967), Heft 1.
- 60) Billib, H., Hoffmann, B.u. Mull, R.: Quantitative Messung der eindimensionalen Ölausbreitung im Sandboden. gwf (Wasser-Abwasser), 108.Jg., 11. August 1967, Heft 32.
- 61) Schwille, F.: Zur Frage des flüssigkeitsdynamischen Verhaltens von Mineralöl im Untergrund. gwf (Wasser-Abwasser), 108.Jg. 1967, S.38.
- 62) Billib, H.: Advanced methods and measures undertaken for routine and emergency treatment in the case of surface water, ground water, waste water and soil contamination by crude oil and oil products, in: Economic Commission for Europe, Proceedings of the Seminar on the Protection of Ground and Surface Waters against Pollution by Crude Oil and Oil Products, Genf Dezember 1969 Volume II, S. 250.
- 63) Prier, H.: Über das Verhalten von versickernden Mineralölprodukten im Untergrund. Gesundheitsingenieur, Heft 5, 88.Jg. 1967, S. 145.
- 64) Eisenhut, E.: Gesteinsabhängigkeit bei Auswirkung von Ölunfällen, Gesundheitsingenieur, Heft 2, 90. Jg. 1969, S. 49.
- 65) Umwelt + Wasser = Leben. Information über Wasserwirtschaft und Umweltschutz. Herausgeber und Verlag: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Wien, 1972.
- 66) Sontheimer, H., Rohöl- und Trinkwasseruntersuchungen zum Kölle, W. und Pipelineproblem am Bodensee. gwf (Wasser-Abwasser), 108.Jg. 1967, Heft 2, S. 29.

- 67) Mineralöl und Gewässerschutz. Mineralölwirtschaftsverband e.V., Hamburg, Oktober 1962.
- 68) Informationstagung "Wasser und Mineralöl" in Koblenz vom 26. bis 28.10.1971, darin
Schwille, F.: Erläuterung des Leitfadens (Beurteilung und Behandlung von Mineralölaufällen auf dem Lande im Hinblick auf den Gewässerschutz".
gwf (Wasser-Abwasser), 113. Jg. 1972, Heft 8, S. 361.
- 69) Schweisfurth, R.: Mikrobiologischer Abbau von Kohlenwasserstoffen unter aeroben und anaeroben Bedingungen, in "Informationstagung "Wasser und Mineralöl" in Koblenz vom 26. bis 28.10.1971",
gwf (Wasser-Abwasser), 113. Jg. 1972, S. 362.
- 70) Schweisfurth, R. u. Schwille, F.: Untersuchungen über einen Fall von Untergrundverunreinigung durch Dieselkraftstoffe. Mikrobiologische Untersuchungen.
Wasser und Abwasser 1962, Heft 7, 164/72.
- 71) Wuhrmann, K.: Zukunftsanforderungen an den Gewässerschutz, Vortrag beim 9. Seminar des Österreichischen Wasserwirtschaftsverbandes, Raach, März 1974.
- 72) Schwille, F. u. Vorseyer, Ch.: Durch Mineralöle reduzierte Grundwässer,
gwf (Wasser-Abwasser), 110. Jg. 1969, Heft 44, S. 225.
- 73) Exler, H. J.: Ausbreitung und Reichweite von Grundwasser-
verunreinigungen im Unterstrom einer Mülldeponie. gwf. (Wasser-Abwasser) 113. Jg. 1972, Heft 3, S. 101.
- 74) Grammel, U.: Über die Auswirkungen einer Salzschlacke-
ablagerung auf das Grundwasser. gwf (Wasser-
Abwasser), 113. Jg. (1972), H. 3, S. 113.
- 75) Nöring, F.: Schutzgebiete für Trinkwasser. Wasser und
Boden 14 (1962).
- 76) Pichler-Stainern, A.: Die Tätigkeit der ECE in bezug auf Gewässerschutz, Vortrag, Wien, Mai 1973.
- 77) Blei ist der gefährlichste Umweltvergifter. Südost-Tagespost vom 2. September 1973.

- 78) Woltereck, St.: Klopffeister schlafen wieder. Aral Journal, Heft 79, Winter 1972, Industrie-Presse-Verlag GmbH., Stuttgart.
- 79) Krieger, H.: Über ein neues Verfahren zum Nachweis und zur Identifizierung von Mineralölen im Boden auf chromatographischem Wege. gwf (Wasser-Abwasser), 104.Jg., Heft 24, 14. Juni 1963, S. 695.
- 80) Giebler, G., Koppe, P. und Kempf H.-T.: Methode zur Bestimmung von Heiz- und Schmierölen in Wasser und Boden.
1. Teil: Gravimetrische Bestimmung von Mineralölen und "fettartigen Substanzen". gwf (Wasser-Abwasser), 105.Jg., Heft 38, 18. Sept. 1964, S. 1039.
2. Teil: Qualitativer Nachweis und quantitative Bestimmung von Mineralölen mittels Dünnschicht-Chromatographie, gwf (Wasser-Abwasser), 105.Jg. Heft 40, 2. Oktober 1964, S. 1093.
- 81) Ölverschmutzung von Gewässern, Rg. signiert, Bauamt und Gemeindebau, Heft 11/1962.
- 82) Rübelt, Ch., Schweisfurth, R. u. Zimmermann, W.: Experimentaluntersuchungen über die Verschmutzung von Grundwasser durch Mineralölprodukte. II. Teil, gwf (Wasser-Abwasser), 108.Jg. 1967, S. 893.
- 83) Schutz des Trinkwassers gegen Öl und Benzin. gwf (Wasser-Abwasser) 103.Jg. 1962, Heft 14, S. 352.
- 84) Boettcher, F.: Amerikanische Aktivität gegen die Wasser-Verölungsgefahren. gwf (Wasser-Abwasser), 113.Jg. (1972), S. 352.
- 85) Nolte, Cl. G.: Theorie und Praxis bei Umwelt- und Gewässerschäden. Sonderheft IKZ-Fachzeitschrift für Sanitär- und Heizungstechnik, Heft 21/1972, Hemer 1972.
- 86) Nolte, Cl. G.: Ölkatastrophe Ochtrup-Gronau, Spezialzeitschrift Gefährliche Ladung Nr. 1/1973, Verlag K.O. Storck & Co., Hamburg.
- 87) Czejka, F.: Umweltschutz-Ölwehr. Österreichische Abwasser-rundschau, Jahrgang 18, Folge 5, Wien 1973.

- 88) Rechenschaftsbericht der Dienststellen des Amtes der Steiermärkischen Landesregierung für das Jahr 1972, S. 135, Steierm. Landesdruckerei, Graz.
- 89) Bernhart, L.: Zusammenstellung der von 1958 bis heute gemeldeten und erhobenen Tankwagenunfälle in der Steiermark, im April 1962 zusammengestellt, nicht veröffentlicht.

Anschrift des Verfassers:

Dipl.-Ing.Dr.techn. Lothar Bernhart
Wirkl.Hofrat
Referat für Wasserwirtschaftliche
Rahmenplanung
8011 Graz, Landhausgasse 7.

Berichte der Wasserwirtschaftlichen Rahmenplanung des Amtes
der Steiermärkischen Landesregierung - Landesbaudirektion -

Verzeichnis der bisher erschienenen
Bände:

Band 1	Vortragsreihe Abfallbeseitigung 18. April 1964, Neuauflage 1968, von W. Tronko, P. Bilek, J. Wotschke, K. Stundl, F. Heigl, E. v. Conrad	S	84.--
Band 2	Ein Beitrag zur Geologie und Morpho- logie des Mürztales von R. Sperlich, W. Scharf, A. Thurner, 1965	S	84.--
Band 3	Vortragsreihe Abfallverarbeitung 18. März 1965 v. F. Fischer, R. Braun, F. Schönbeck, W. Tronko, K. Stundl, B. Urban	S	84.--
Band 4	"Gewässerschutz ist nötig" von J. Krainer, F. Hahne, H. Kalloch, F. Schönbeck, H. Moosbrugger, L. Bern- hart, W. Tronko, 1965	S	56.--
Band 5	Die Müllverbrennungsanlage, Versuch einer zusammenfassenden Darstellung von F. Heigl, 1965	S	140.--
Band 6	Vortragsreihe Abfallverarbeitung 18. November 1965 von F. Schönbeck, H. Sontheimer, A. Kern, H. Rasworschegg, J. Wotschke, J. Brodbeck, R. Spinola, K. Stundl, W. Tronko, 1966	S	112.--
Band 7	Seismische Untersuchungen im Grundwas- serfeld Friesach nördlich von Graz von H. Zetinigg, Th. Puschnik und H. Novak, F. Weber, 1966	S	140.--
Band 8	Der Mürzverband von E. Fabiani, P. Bilek, H. Novak, E. Kauderer, F. Hartl, 1966	S	140.--

Band 9	Raumplanung, Flächennutzungspläne der Gemeinden von J.Krainer, H.Wengert, K.Eberl, F.Plankensteiner, G.Gorbach, H.Egger, H.Hoffmann, K.Freisitzer, W.Tronko, H.Bullmann, I.E.Holub, 1966	S	140.--
Band 10	Sammlung, Beseitigung und Verarbeitung der festen Siedlungsabfälle von H.Erhard, 1967	S	66.--
Band 11	Siedlungskundliche Grundlagen für die wasserwirtschaftliche Rahmenplanung im Flußgebiet der Mürz von H.Wengert, E.Hillbrand, K.Freisitzer, 1967	S	131.--
Band 12	Hydrogeologie des Murtales von N.Anderle, 1969	S	131.--
Band 13	10 Jahre Gewässergüteaufsicht in der Steiermark 1959 - 1969 von L.Bernhart, H.Sölkner, H.Ertl, W.Popp, M.Noë, 1969	S	112.--
Band 14	Gewässerschutzmaßnahmen in Schwerpunktsgebieten Steiermarks, 1970 (Das vorläufige Schwerpunktsprogramm 1964 und das Schwerpunktsprogramm 1966) v. F.Schönbeck, L.Bernhart, E.Gangl, H.Ertl	S	66.--
Band 15	Industrieller Abwasserkataster Steiermarks von L.Bernhart, 1970	S	187.--
Band 16/ 17	Tätigkeiten und Organisation des Wirtschaftshofes der Landeshauptstadt Graz Abfallbehandlung in Graz		
	Literaturangaben zum Thema Abfallbehandlung von A. Wasle	S	112.--
Band 18	Abwasserfragen aus Bergbau und Eisenhütte von L.Bernhart, K.Stundl, A.Wutschel, 1971	S	66.--

Band 19	Maßnahmen zur Lösung der Abwasserfragen in Zellstoffabriken von B.Walzel-Wiesentreu, W.Schönauer, 1971	S	150.--
Band 20	Bodenbedeckung und Terrassen des Murtales zwischen Wildon und der Staatsgrenze von E.Fabiani, M.Eisenhut, mit Kartenbeilagen, 1971	S	168.--
Band 21	Untersuchungen an artesischen Wässern in der nördlichen Oststeiermark von L.Bernhart, J.Zötl, H.Zetinigg, 1972	S	112.--
Band 22	Grundwasseruntersuchungen im südöstlichen Grazerfeld von L.Bernhart, H.Zetinigg, J.Novak, W.Popp, 1973	S	90.--
Band 23	Grundwasseruntersuchungen im nordöstlichen Leibnitzer-Feld von L.Bernhart, E.Fabiani, M.Eisenhut, F.Weber, E.P.Nemecek, Th.Glanz, W.Wessiak, H.Ertl und H.Schwinghammer, 1973	S	250.--
Band 24	Grundwasserversorgung aus dem Leibnitzerfeld von L.Bernhart, 1973	S	150.--
Band 25	Wärmebelastung steirischer Gewässer von L.Bernhart, H.Niederl, J.Fuchs, H.Schlatte und H.Saliger, 1973	S	150.--
Band 26	Die artesischen Brunnen der Süd-West-Steiermark v. H. Zetinigg, 1973	S	120.--
Band 27	Die Bewegung von Mineralölen in Boden und Grundwasser von L.Bernhart, 1973	S	150.--

In diesen Preisen ist die 8 %ige Mehrwertsteuer nicht enthalten!