

Grundwasserbelastungen, Sanierungsbeispiele und Schutzmaßnahmen*

1 Grundwasserwirtschaft und Wasserversorgung

Im letzten Jahrzehnt haben deutliche Veränderungen der Grundwasserbeschaffenheit als Folge zivilisatorischer Aktivitäten das Bewußtsein dafür geweckt, daß Grundwasser ein kostbares und schützenswertes Umweltgut ist. Bis dahin galt Grundwasser als von der Natur gut geschützt und rein. Die Maßnahmen zum Schutz des Grundwassers waren hauptsächlich auf die Fernhaltung von Bakterien und Viren von Anlagen der Wasserversorgung gerichtet. Später kam das Problem der Mineralölschadensfälle hinzu. Mit der Entdeckung großräumiger Grundwasserbelastungen durch Chloride, chlorierte Kohlenwasserstoffe und Nitrat – um nur die wichtigsten zu nennen – gewann der Grundwasserschutz eine neue Dimension. Eines der ersten bekanntgewordenen Beispiele für eine großräumige Grundwasserunreinigung ist die Chloridbelastung des Grundwassers der oberrheinischen Tiefebene zwischen Mulhouse und Selestat durch die Aufhaltung des Abraums aus den elsässischen Kaliminen, was natürlich Folgen für die Wasserversorgung der Region nach sich zog. Ebenfalls weithin bekannt geworden ist die großräumige Belastung des Grundwassers im Raum Mannheim – Heidelberg mit chlorierten Kohlenwasserstoffen durch eine Reihe verschiedener Schadensherde [1].

Gefährdungspotentiale für das Grundwasser ergeben sich aus nahezu allen Aktivitäten unserer Industriegesellschaft. Als Folge der dichten Wohnbesiedlung sind beispielsweise Altablagerungen von Hausmüll, Effekte der Oberflächenversiegelung oder auch die diffuse Verbreitung von Abwässern aus undichten Kanalisationen zu nennen. Das Abwas-

serkanalnetz in der Bundesrepublik weist eine Gesamtlänge von circa 200 000 km auf, wovon rund ein Drittel erneuerungs- oder sanierungsbedürftig ist. Besonders groß ist das Gefährdungspotential durch Gewerbe und Industrie sowie Verkehr und Energieversorgung. Hier sind in erster Linie Unfälle bei Transport, Umschlag und Lagerung flüssiger Brenn- und Treibstoffe zu nennen, sowie der Umgang mit Chemikalien und insbesondere mit chlorierten Kohlenwasserstoffen. Die Landwirtschaft verursacht erhebliche Grundwasserbelastungen durch Nitrat und Pflanzenschutzmittel, und auch Kiesgruben, Baggerseen und Abraumphalden stellen Gefährdungspotentiale dar. Schließlich trägt auch die Schadstoffbelastung der Luft über Deposition, Niederschlag und Versickerung zur globalen Belastung des Grundwassers bei.

Diese Aufzählung verdeutlicht, daß ein umfassender Schutz der Grundwasservorkommen sowohl hinsichtlich Menge als auch Güte in unseren dichtbesiedelten Industrieländern dringend geboten ist. Dies gilt primär für die langfristige Sicherstellung der öffentlichen Wasserversorgung, deren Rohwasser in der Bundesrepublik zu 72 % aus dem Grundwasser entnommen wird. Aber darüber hinaus ist natürliches Grundwasser an sich ein schützenswertes Umweltgut. Es ist durch eine im Vergleich zu Oberflächengewässern geringe Verschmutzungsanfälligkeit gekennzeichnet.

Dies beruht zum einen auf der ausgeprägten Schutz- und Filterwirkung der Bodenzone gegen Stoffeinträge und Auswaschungen in das Grundwasser, zum anderen auf dem Reinigungsvermögen des vom Grundwasser durchströmten Untergrunds. Dieser stellt einen eigenen Lebensraum mit Ökosystemen dar, deren Artenreichtum und Belastungsgrenzen noch wenig bekannt sind. Die langfristige Erhaltung der Leistungsfähigkeit dieser Systeme im Boden und im Grundwasserleiter ist für die Sicherstellung der Grundwasserqualität entscheidend. Weil natürliches Grundwasser und Quellwasser seit jeher wegen seiner Reinheit und seines guten Ge-

schmacks als das beste Wasser für die menschliche Nutzung gilt, dient es als Maßstab für die Anforderungen, die wir an unser Trinkwasser stellen. In den Leitsätzen der DIN 2000 heißt es: „Die Güteanforderungen an das abzugebende Trinkwasser haben sich im allgemeinen an den Eigenschaften eines aus genügender Tiefe und ausreichend filtrierenden Schichten gewonnenen Grundwassers von einwandfreier Beschaffenheit zu orientieren“.

Von grundsätzlicher Bedeutung ist das typische Zeitmaß für Grundwasserunreinigungen: zwischen der Entdeckung einer Grundwasserkontamination – meistens dadurch, daß die Kontamination im Rohwasser einer Wassergewinnungsanlage festgestellt wird – und dem verursachenden Ereignis liegen oft viele Jahre oder gar Jahrzehnte, weil Strömungsvorgänge im Grundwasser sehr langsam ablaufen und deshalb die Grundwasserbeschaffenheit auf Belastungen mit großer Zeitverzögerung reagiert. Grundwasserschäden sind demnach Langzeitschäden, deren Sanierung ebenfalls nur langsam erfolgen kann und in der Regel viele Jahre erfordert. Deshalb dienen Grundwasserschutzmaßnahmen heute der Sicherstellung der Trinkwasserversorgung in der Zukunft.

2 Klassifizierung von Grundwasserbelastungen nach der Art des Stoffeintrags

Versucht man, die wichtigsten Verschmutzungsursachen nach der jeweiligen Art des Schadstoffeintrags in das Grundwasser zu klassifizieren, dann läßt sich folgende Grobunterscheidung treffen:

- Stoffeintrag durch Infiltration aus Oberflächengewässern: Flüsse und Bäche; Seen und Speicherbecken.
- Flächiger, „diffuser“ Stoffeintrag: Niederschläge, Deposition; Landwirtschaft (Nitrat, Pflanzenschutzmittel); undichte Abwasserkanäle.

*Auszug eines Vortrags vom 2. März 1988 in Strasbourg anläßlich eines deutsch-französischen Symposiums „Kooperation bei Umweltforschung und Umweltschutz – Wasser und Boden“.

- Lokaler, „punktförmiger“ Stoffeintrag: industrielle Standorte; Altstandorte; Altablagerungen; Umgang mit und Transport von wassergefährdenden Stoffen (Tanklager/ Straße/Schiene).

3 Stoffeintrag durch Infiltration aus Oberflächengewässern

In einem alluvialen Aquifer stehen Grundwasser und Fluß in direktem Zusammenhang. Der Grundwasserhaushalt wird entscheidend mitgeprägt von den Wechselwirkungen mit den Oberflächengewässern, sowohl mengen- als auch gütemäßig. Die Hydrologie an einem natürlichen, freifließenden Gewässer ist dadurch gekennzeichnet, daß der Grundwasserleiter nicht nur durch Grundwasserneubildung aus Niederschlag und Randzuflüssen gespeist wird, sondern auch durch Infiltration von Flußwasser bei Hochwasserereignissen. In Trockenperioden hingegen wird der Niedrigwasserabfluß im Gewässer im wesentlichen durch Einspeisung aus dem Grundwasser aufrechterhalten. Aufgrund dieses Wechselspiels ist im globalen Sinn die Beschaffenheit der Oberflächengewässer mit der des Grundwassers korreliert.

Der natürliche Wasserhaushalt wird durch flußbauliche Eingriffe nachhaltig verändert. Die resultierenden Absenkungen oder Anhe-

bungen der Grundwasserstände können erhebliche Folgen für Kleingewässer, Ökologie und Wasserwerke im Flußtal haben. Deshalb sind sorgfältige wasserwirtschaftliche Untersuchungen und erforderlichenfalls Begleitmaßnahmen angezeigt [2]. Mit der Veränderung der Grundwasserbilanz und der Verschiebung der einzelnen Anteile (Infiltration oder Grundwasserneubildung) gehen auch Veränderungen in der Grundwasserbeschaffenheit einher.

Ein direkter Zusammenhang zwischen Flußwasserbeschaffenheit und Rohwasserqualität ist bei Uferfiltratanlagen gegeben, bei denen im wesentlichen infiltriertes Flußwasser mit mehr oder minder kurzer Untergrundpassage entnommen wird. Das Gefährdungspotential für Uferfiltrat – Wasserwerke durch Gewässerunreinigungen oder Stoßbelastungen zufolge von Chemieunfällen – ist deshalb besonders groß.

4 Flächige Stoffeinträge aus der Landwirtschaft

Die derzeit vieldiskutierte Belastung durch Nitrat ist ein aktuelles Beispiel für Grundwasserbelastungen durch flächige oder „diffuse“ Stoffeinträge aus der Landwirtschaft. Der verstärkte Einsatz von Düngemitteln und Bioziden in der modernen Landwirtschaft führt vor allem in den Einzugsgebieten von Grundwassergewinnungsanlagen zu Wassergüteproblemen [3]. Eine grundwasser-schonende Landwirtschaft ist in Wasserschutzgebieten besonders geboten, welche in Baden-Württemberg etwa ein Fünftel der Landesfläche ausmachen. Eine wichtige Voraussetzung für die Beurteilung der Grundwassergefährdung durch Nitrat ist das Verständnis der durch die Landwirtschaft ausgelösten Stoffumsetzungen und Transportvorgänge. Deshalb hat die Wasserwirtschafts- und Landwirtschaftsverwaltung in Baden-Württemberg im Jahr 1984 in Zusammenarbeit mit den Universitäten Stuttgart, Hohenheim und Karlsruhe ein interdisziplinäres Forschungsvorhaben mit gezielten Fallstu-

dien initiiert, das die quantitative Erfassung des Zusammenhangs zwischen landwirtschaftlicher Nutzung, insbesondere Düngepaxis, und Nitratkonzentration im Grundwasser und im Rohwasser der Wasserwerke zum Ziel hat. In diesem Rahmen werden umfangreiche Messungen und Erhebungen in Untersuchungsgebieten sowie numerische Modellberechnungen zur Nitratbilanzierung durchgeführt [4].

Aus den gemeinsamen Untersuchungen ergibt sich ein detailliertes Bild der Nitratreinträge in das Grundwasser, der jeweiligen Konzentrationsverteilungen im Grundwasserleiter (hohe Konzentrationen im landwirtschaftlichen Bereich mit Spargel- und Tabakulturen; niedrige Konzentrationen im Waldgebiet), der Einzugsbereiche der einzelnen Wasserwerksbrunnen und hieraus der Jahresbilanzen für Wasser- und Nitratfrachten im Untersuchungsgebiet. Die zeitliche Entwicklung der Nitratganglinien einzelner Brunnen läßt interessante Folgerungen über die möglichen Ursache-Wirkungszusammenhänge zu. Die Ergebnisse werden in einem demnächst erscheinenden Abschlußbericht zusammenfassend vorgestellt werden.

An dieser Stelle sei die Frage erörtert, wie der Betrieb eines Wasserwerks bei partiell kontaminiertem Einzugsbereich aufrechterhalten und optimiert werden kann. Beispielsweise zeigen die Meßdaten generell eine deutliche Abnahme der Nitratkonzentration mit der Tiefe. Dies legt den Gedanken nahe, durch eine selektive Entnahme im Wasserwerk eine verbesserte Rohwasserqualität anzustreben. Das Schema einer solchen tiefenselektiven Entnahme ist in Abbildung 1 dargestellt. Das stärker kontaminierte Wasser, das aus dem oberen Bereich abgepumpt wird, wird in die Kanalisation oder in einen Vorfluter abgeführt. Durch diese „Abwehrmaßnahme“ ist es möglich, gleichzeitig aus dem Tiefenbereich Rohwasser zu entnehmen, das deutlich geringer belastet ist, als im Fall ohne Abwehrmaßnahme, in dem die Rohwasserkonzentration dem Tiefenmittelwert im Grundwasserleiter entsprechen würde.

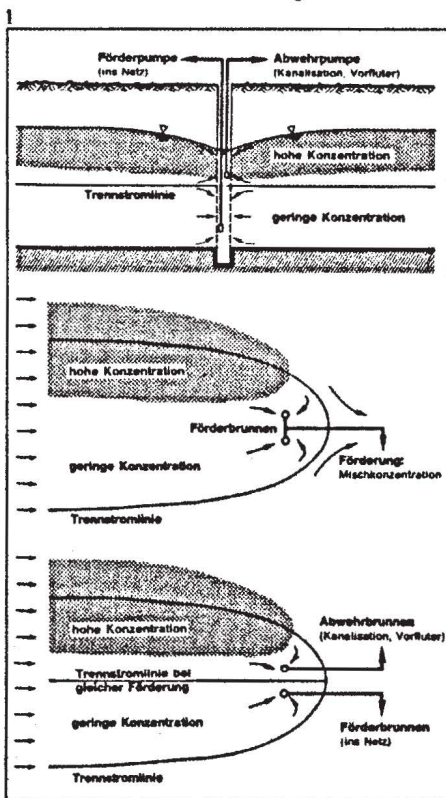


Abb. 1. Hydraulische Abwehrmaßnahmen bei Förderung aus einem partiell belasteten Grundwasserleiter. a: tiefenselektive Entnahme bei überwiegender oberflächennaher Belastung (nach [5]); b: selektiver Betrieb einzelner Brunnen eines Wasserwerks bei unterschiedlich starker Belastung des Einzugsgebiets.

wasser zu erfassen und abzuleiten, während die anderen Brunnen vergleichsweise sauberes Wasser fördern und ins Netz einspeisen. Die anfänglich geübte Praxis, den jeweils am stärksten belasteten Brunnen abzuschalten, ist sicherlich nicht sinnvoll, da in diesem Fall die Kontaminationszone von den restlichen, in Betrieb befindlichen Brunnen mit erfaßt würde. Die selektive Entnahme zur Optimierung der Rohwasserqualität kann deshalb nur dann funktionieren, wenn entsprechende Abwehrbrunnen in Betrieb gehalten werden, was selbstverständlich eine erhöhte Gesamtförderleistung mit sich bringt.

5 Industrielle Belastungen am Beispiel der chlorierten Kohlenwasserstoffe

Grundwasserbelastungen durch lokale Schadstoffeinträge aus industriellen Kontaminationen werden nachfolgend am Beispiel der chlorierten Kohlenwasserstoffe (CKW's) illustriert.

In den letzten zehn Jahren ist eine Vielzahl von Grundwasserverunreinigungen mit leichtflüchtigen Chlorkohlenwasserstoffen bekannt geworden. Chlorierte Kohlenwasserstoffe sind als Reinigungsmittel und Fettlöser in vielfältiger Form und in großen Mengen im Gebrauch. Dennoch blieben Grundwasserbelastungen durch CKW lange Zeit unerkannt – erst nachdem gezielte Untersuchungen eingeleitet wurden, wurden sie an vielen Stellen entdeckt.

Die wichtigsten Erkenntnisse für die Beurteilung und Behandlung von Grundwasserverunreinigungen durch leichtflüchtige CKW's wurden in den Jahren 1981 bis 1983 von verschiedenen Forschungsinstitutionen in Zusammenarbeit mit dem baden-württembergischen Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Umwelt und Forsten (MELUF) zusammengetragen und fanden ihren Niederschlag in einem CKW-Leitfaden für die Praxis [1].

Schadensfälle mit CKW können in der Produktionsstätte, während des Transports zum Anwender, bei der Verarbeitung und Lagerung bis hin zur Entsorgung und gegebenenfalls zur Aufbereitung verunreinigter Lösemittel auftreten. Die Untersuchung und Auswertung lokaler Schadensfälle hat gezeigt, daß diese zum weitaus größten Teil durch unsachgemäßen Umgang in Verbindung mit ungeeigneten Schutzmaßnahmen hervorgeru-

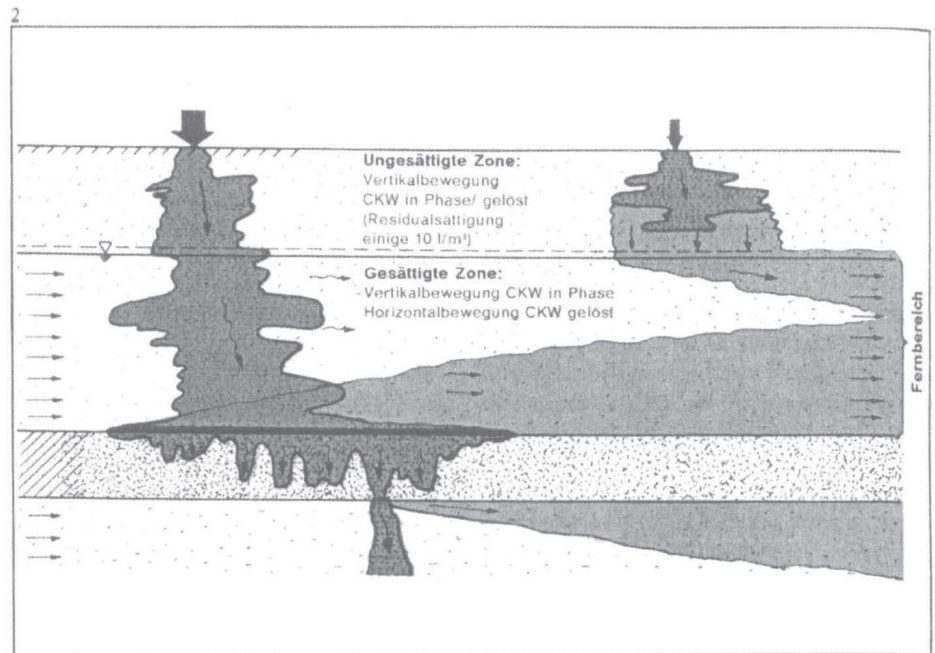


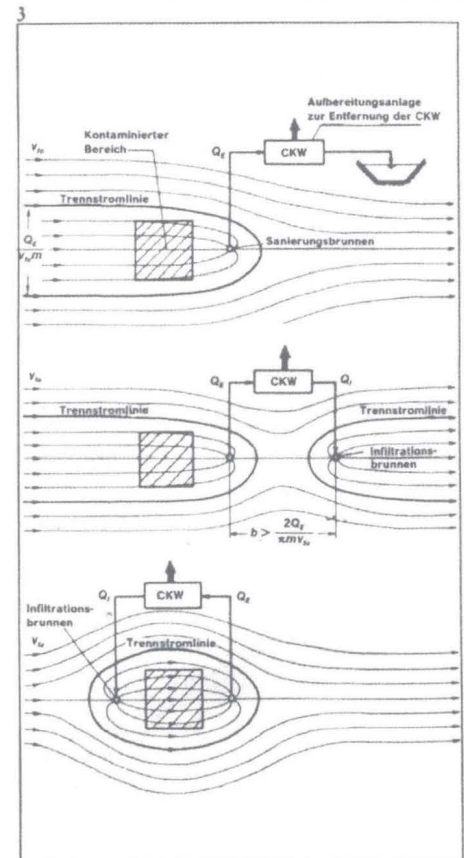
Abb. 2. Versickerung und Ausbreitung chlorierter Kohlenwasserstoffe im Untergrund im Nahbereich des Schadensherdes.

Abb. 3. Hydraulische Sanierungskonfigurationen.

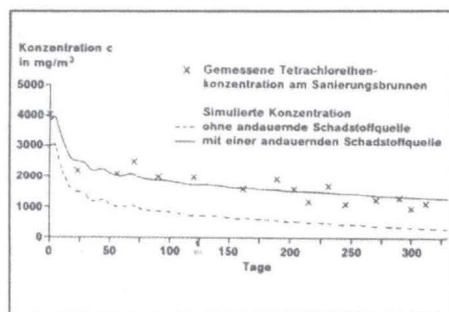
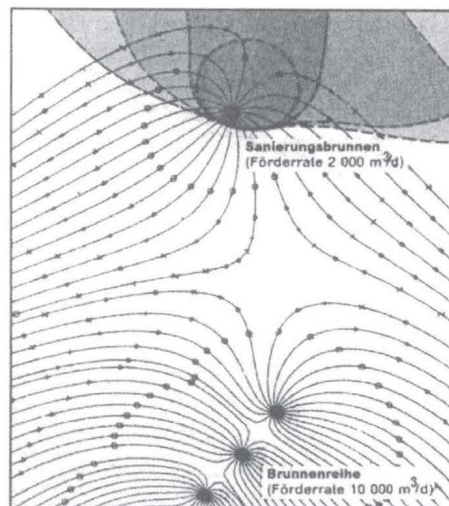
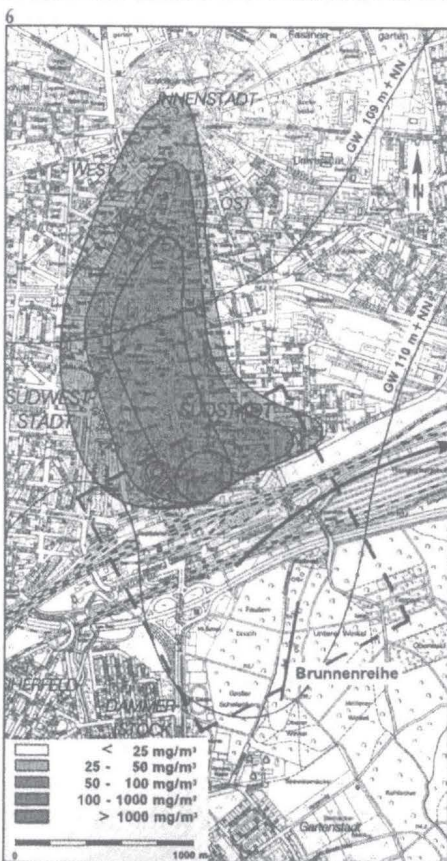
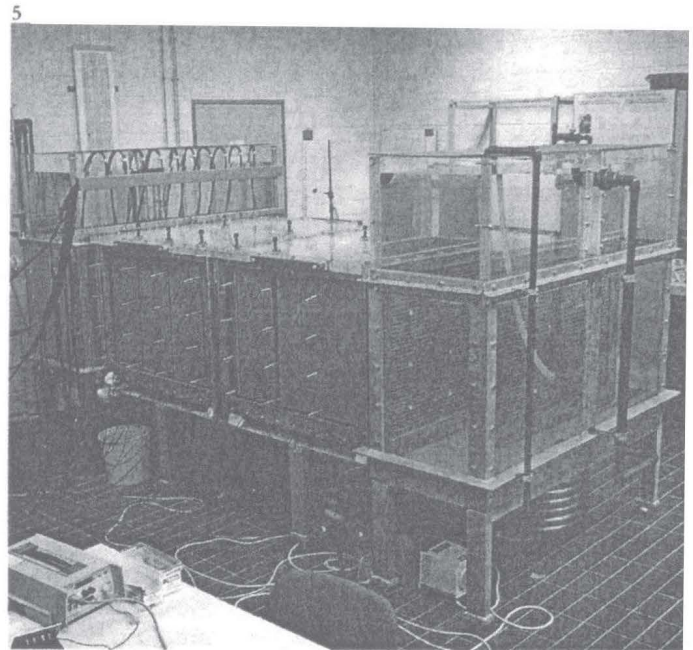
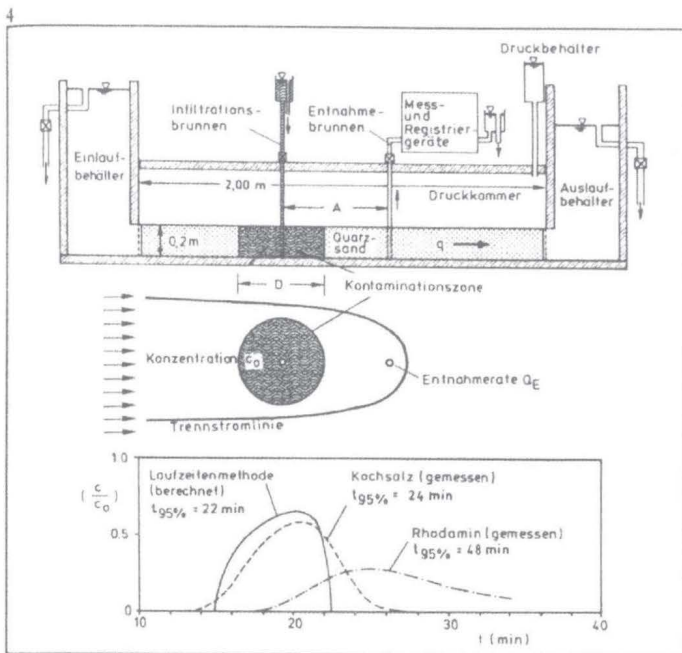
fen wurden. Daneben wurden häufig Leckagen in Lagerbehältern und Rohrleitungen als Schadensursache festgestellt.

Da CKW's bei der Bodenpassage im Untergrund nur extrem langsam abgebaut werden, muß bei jedem Schadensfall im Einzugsgebiet eines Wasserwerks früher oder später damit gerechnet werden, daß die in den Untergrund gelangten CKW's das Wasserwerk erreichen. Die gebräuchlichen Schutzzoneüberlegungen, die auf Laufzeiten oder Abbaueiten beruhen, sind für nicht abbaubare Substanzen bedeutungslos.

Chlorierte Kohlenwasserstoffe sind deutlich schwerer als Wasser. In der Regel dringen sie im Schadensfall durch die Bodenschichten in den Untergrund ein und sickern dort aufgrund der Schwerkraft nach unten (Abbildung 2). Der durchsickerte Porenraum wird hierbei einen Teil der Substanz zurückbehalten. Da CKW's in geringem Umfang wasserlöslich sind, wird im Laufe der Zeit durch das versickernde Niederschlagswasser und durch das vorbeiströmende Grundwasser der Schadstoff allmählich in gelöster Form ausgewaschen und von der Grundwasserströmung großräumig mittransportiert. Während



CKW's in Phase auf die unmittelbare Umgebung des Schadensherdes beschränkt bleiben, kann sich der Transport in gelöster Form über viele Kilometer erstrecken. Schließlich erfolgt auch ein Stoffübergang aus dem kontaminierten Grundwasserbereich in die Bodenluft, wo CKW's meist technisch vergleichsweise einfach nachgewiesen werden können.



Sanierungsmaßnahmen haben das Ziel, in das Grundwasser gelangte Schadstoffe wieder zu entfernen. Eine Sanierung des Grundwasserleiters kann mit Entnahmebrunnen erreicht werden, die gelöste CKW's abpumpen oder CKW's in Phase ausspülen und damit aus dem Grundwasser entfernen (Abbildung 3). Naturgemäß wird eine solche Maßnahme um

so wirkungsvoller sein, je frühzeitiger und je näher am Schadstoffherd sie eingesetzt werden kann, bevor durch den großräumigen Transport eine starke Ausbreitung und Verdünnung der Schadstoffe eingetreten ist. Das entnommene verunreinigte Grundwasser wird nach entsprechender Behandlung durch Belüfterverfahren (Strippen) oder Adsorp-

Abb. 4. Grundlagenexperimente zum Wirkungsgrad hydraulischer Sanierungsmaßnahmen [7].

Abb. 5. Laborversuchsstand für Sanierungsexperimente [7].

Abb. 6. CKW-Schadensfall Karlsruhe, Ruppurrer Straße (nach [1] und [6]). a: gemessene Schadstoffverteilung; b: mittleres Strömungsfeld im Bereich der Sanierungsmaßnahme (Stromlinien, Verweilzeiten); c: Vergleich zwischen gemessenem und im numerischen Modell ermittelten Konzentrationsverlauf im Sanierungsbrunnen.

tionsverfahren (Aktivkohle) entweder in ein oberirdisches Fließgewässer eingeleitet oder in die öffentliche Kanalisation abgegeben [1]. Aus Bilanzgründen können die Entnahmebrunnen aber auch mit entsprechenden Infiltrationen kombiniert werden, über die das gereinigte Wasser dem Grundwasserleiter wieder zugeführt wird. Dies kann entweder stromab vom Sanierungsbrunnen erfolgen oder aber auch im Zuströmbereich, so daß im Untergrund eine „Sanierungsinsel“ gebildet wird, in welcher die Strömung zwischen Schluck- und Entnahmebrunnen die Kontaminationszone erfaßt und sie somit vom natürlichen Grundwasserstrom abschirmt.

Das Ziel, die Schadstoffmasse vollständig und unter möglichst geringem Aufwand aus dem Grundwasserleiter zu entfernen, beinhaltet zwei Forderungen:

- der aus dem Grundwasser zu entfernende Schadstoff muß gänzlich im Einzugsbereich des Sanierungsbrunnens liegen, und
- die Sanierungsmaßnahme soll aus Wirtschaftlichkeitsgründen mit einem möglichst geringen zu pumpenden Wasservolumen bewerkstelligt werden.

Die Auslegung einer Sanierungsmaßnahme nach diesen Kriterien hinsichtlich Anordnung und Anzahl der Sanierungsbrunnen und deren Pumpraten setzt fundierte Kenntnisse über das Transportverhalten der Schadstoffe im Grundwasserleiter voraus.

Die Basis für die Berechnung, Prognose und Optimierung hydraulischer Sanierungsmaßnahmen bilden numerische Strömungs- und Transportmodelle [6]. Die theoretischen Ansätze der Simulationsmodelle werden mit Hilfe experimenteller Grundlagenuntersuchungen im Labor überprüft und verifiziert, um ihre Prognosefähigkeit für die praktische Anwendung sicherzustellen [7]. Abbildung 4 zeigt beispielhaft ein solches Grundlagenexperiment, welches in dem in Abbildung 5 abgebildeten Versuchsstand durchgeführt wurde.

Ein Beispiel für eine CKW-Sanierung ist der Schadensfall Karlsruhe, Rüppurrer Straße, der auf Kriegseinwirkungen im Zweiten Weltkrieg zurückgeht [1]. In Abbildung 6 a ist die von den Stadtwerken Karlsruhe ermittelte Ausdehnung der Schadstofffahne zu Beginn der Sanierungsmaßnahme dargestellt. Diese hat sich mit dem natürlichen Grundwasserstrom in nördlicher Richtung bewegt und das südlich gelegene Wasserwerk nicht tangiert. Als Sanierungsmaßnahme wird am Schadensherd kontaminiertes Grundwasser abgepumpt.

Das durch den Sanierungsbrunnen veränderte Strömungsfeld ist in Abbildung 6 b in Form von Stromlinien und Verweilzeiten dargestellt [1]. Die Markierungen geben die Laufzeiten (in Jahresschritten) an, die ein Fluidteilchen bis zum Erreichen des jeweiligen Entnahmebrunnens noch im Untergrund

verweilt. Berechnet man aus der bekannten Schadstoffkonzentrationsverteilung und dem Strömungsfeld den Verlauf der Konzentrationen im Sanierungsbrunnen (Abbildung 6 c), so zeigt sich, daß im Bereich des Schadensherdes noch immer eine Nachlieferung von CKW's erfolgen muß. Dies deutet darauf hin, daß hier noch immer Anteile in Phase vorliegen, welche kontinuierlich in Lösung gehen.

Die Vorgehensweise bei der Planung einer Sanierungsmaßnahme sei an dem in Abbildung 7 dargestellten Beispiel illustriert. Hier wurde eine langgezogene CKW-Kontamination des Grundwassers festgestellt, deren Ursache im Bereich eines großen Industriebetriebs liegt. Das Grundwasserströmungsfeld ist durch die Brunnenreihe eines Wasserwerks geprägt, der das Grundwasser großräumig zuströmt. Ebenfalls ist zu erkennen, daß ein im Industriegelände vorhandener Betriebsbrunnen eine weitere Schadstoffnachlieferung unter-

bindet. Die im Laufe mehrerer Jahre bereits weit fortgeschrittene Schadstofffahne wird hiervon jedoch nicht mehr erfaßt.

Will man eine solche Kontamination sanieren, dann kommen hierfür mehrere hydraulische Konfigurationen in Frage. Eine Möglichkeit besteht darin, an der Spitze der Kontaminationsfahne einen einzelnen Sanierungsbrunnen niederzubringen und diesen über sehr lange Zeit zu betreiben. Das resultierende Strömungsfeld ist in Abbildung 8 dargestellt, wobei gleichzeitig der Betriebsbrunnen durch einen zentral im Schadensherd angeordneten Sanierungsbrunnen ersetzt wurde. Alternativ dazu kann an eine Vielzahl gleichzeitig betriebener Sanierungsbrunnen gedacht werden (Abbildung 9). Dies bringt zwar deutlich größere Investitionskosten mit sich, hat aber den großen Vorteil, daß die Dauer der Sanierungsmaßnahmen auf diese Weise drastisch reduziert werden kann. Sanie-

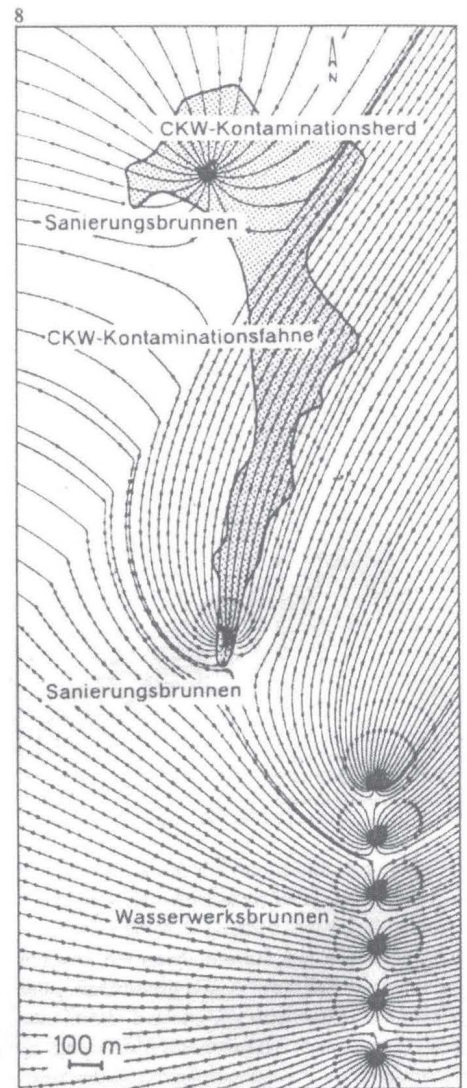
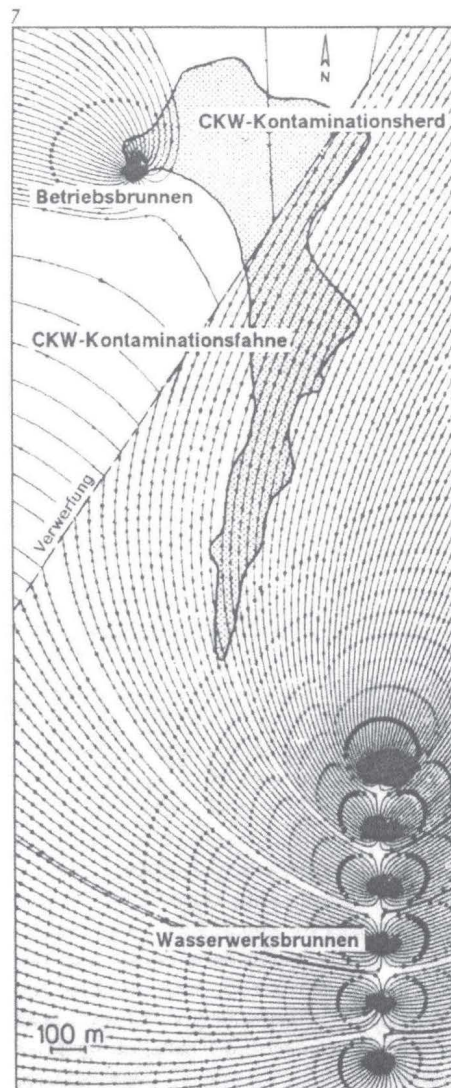


Abb. 7. Industrielle CKW-Kontamination: CKW-Fahne und Strömungsfeld ohne Maßnahmen [7].

Abb. 8. Industrielle CKW-Kontamination: Sanierungsbrunnen im Schadensherd und zur Erfassung der CKW-Fahne [7].

rungskonfigurationen mit einer ausgeglichenen Wasserbilanz könnten so aussehen, daß im Bereich der Fahne entnommen wird und nach einer Aufbereitung in den seitlichen Bereichen wieder infiltriert wird. Dies führt insgesamt zu einer weiteren Beschleunigung des Sanierungsablaufs, allerdings um den Preis einer aufwendigeren Wasseraufbereitung wegen der hohen Anforderungen an die Beschaffenheit des wiedereinzuspeisenden Wassers. In Abbildung 9 sind mehrere mögliche Sanierungskonfigurationen vergleichend dargestellt. Die Entscheidung für die jeweils optimale Sanierungsstrategie kann hierauf basierend nach finanziellen, betrieblichen und rechtlichen Gesichtspunkten getroffen werden.

6 Strategien für Grundwasser-schutzmaßnahmen

Eine sachgerechte Planung von Sanierungsmaßnahmen setzt voraus, daß für die jeweiligen Gegebenheiten des Schadensfalls hinreichende Kenntnisse in folgenden Bereichen vorliegen:

- Kenntnis der Untergrundverhältnisse und der Hydrogeologie,

- Kenntnis der Grundwasserströmung (und ihrer Veränderung durch Maßnahmen),
- Kenntnis der Transporteigenschaften der Schadstoffe,
- Kenntnis der möglichen Sanierungsverfahren und deren Wirkung,
- Beurteilungskriterien zur Sanierungsbedürftigkeit:
- *Prognose des Ausbreitungsverhaltens und der Auswirkungen (auf Wasserwerke etc.),
- *Sanierungsziele (Grenzwerte).

Die Anforderungen an die einzusetzenden Meß- und Erkundungsmethoden sind demgemäß sehr hoch und übersteigen bei weitem die üblichen Erkundungserfordernisse für Grundwasserströmungen. Im Rahmen des Forschungsschwerpunkts Grundwasserschutz an der Universität Stuttgart werden deshalb in Ergänzung zur numerischen Modelltechnik neue Meß- und Erkundungsmethoden im Laborexperiment und in Felduntersuchungen entwickelt. Abbildung 10 zeigt ein Meßfahrzeug des Instituts für Wasserbau beim Einsatz im interdisziplinären Testfeld „Horkheimer Insel“.

Wegen der Vielfältigkeit der Schadensursachen, der Schadstoffe, der hydrogeologischen und hydrologischen Gegebenheiten und der wasserwirtschaftlichen Randbedingungen lassen sich für Grundwasserschutzmaßnahmen keine Kataloglösungen formulieren. Dennoch lassen sich allen Planungen zwei Leitsätze voranstellen:

- Vorbeugen ist besser als heilen, und
- die Reinhaltung des Grundwassers hat Priorität vor der ausschließlichen Sicherstellung der Trinkwasserversorgung.

Hieraus ergibt sich eine klare Priorität für die Reihenfolge möglicher Grundwasserschutzmaßnahmen, welche grob vereinfachend in der beigefügten Tabelle aufgelistet sind. An vorderster Stelle stehen Präventivmaßnahmen zur Verhinderung von Stoffeinträgen sowie Direktmaßnahmen verschiedenster Art an der Schadstoffquelle – ein Bereich, der derzeit eine stürmische technologische Ent-

Abb. 9. Unterschiedliche Strategien zur hydraulischen Sanierung der industriellen CKW-Kontamination (nach [7]).

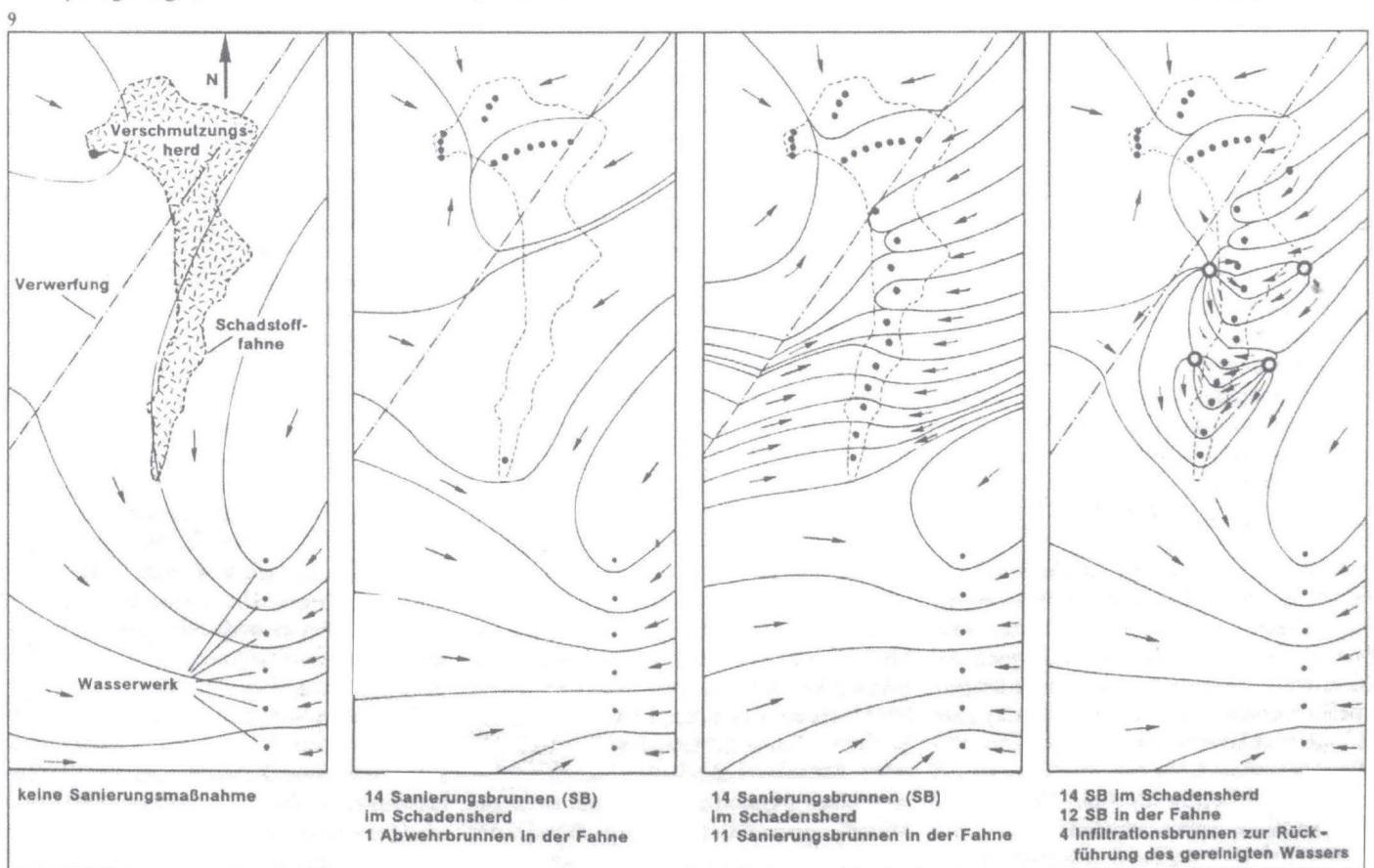


Tabelle. Grundwasserschutzmaßnahmen (Aufzählung in der Reihenfolge der strategischen Prioritäten).

Präventivmaßnahmen

- (Vermeidung von Schadstoffeinträgen)
- Ausweisung von Schutzzonen mit Nutzungsbeschränkungen
 - Anwendungsbeschränkungen
 - Vorschriften über den Umgang mit und Transport von wassergefährdenden Stoffen (Betrieb/Tanklager/Straße/Schiene)
 - Produktionsverbote

Sofortmaßnahmen bei Unfällen

- (Verminderung des Schadstoffeintrags)
- Aushub und Entsorgung

Rückhalte- und Sanierungsmaßnahmen am Schadensherd

- (Verhinderung der Schadstoffausbreitung)
- Geotechnische Maßnahmen (Abdichtung)
 - Hydraulische Maßnahmen (Entfernung der Schadstoffe durch Auswaschung und Grundwasserentnahme)
 - In-situ-Sanierungsmaßnahmen (Abbau der Schadstoffe durch chemische und mikrobiologische Prozesse)
 - Bodenluftabsaugung (für leichtflüchtige Substanzen)
 - Aushub, On-site-Behandlung und Wiedereinbau

Abwehrmaßnahmen im Vorfeld von Wasserwerken

- Optimierung des Betriebs von Entnahmehäusern und Brunnenanlagen (bei partiell verschmutzten Grundwasserleitern)

Maßnahmen zur Sicherstellung der Trinkwasserversorgung

- Aufbereitung im Wasserwerk
- Beimischung von Fremdwasser
- Umstellung auf Fernwasserversorgung

wicklungsphase erlebt [8]. Auf die Möglichkeiten, durch Maßnahmen im Wasserwerk wie Aufbereitung oder Beimischung von Fremdwasser die Trinkwasserversorgung sicherzustellen, sollte stets erst dann zurückgegriffen werden, wenn die Maßnahmen im Grundwasserbereich versagen oder zu spät kommen und auch die begrenzten Möglichkeiten von Abwehrmaßnahmen im Vorfeld von Wasserwerken erschöpft sind.



Abb. 10. Einsatz neuer Meßverfahren zur Bestimmung hydraulischer Untergrundparameter im Testfeld.

Literatur

[1] MELUF Baden-Württemberg (Hrsg.): Leitfaden für die Beurteilung und Behandlung von Grundwasserverunreinigungen durch leichtflüchtige Chlorkohlenwasserstoffe, Wasserwirtschaftsverwaltung Heft 13, 1983, 104 S.

[2] H. Kobus: Staustufen am Oberrhein. Grundwassermodelle als Planungshilfe. Kongreßbeiträge Wasser Berlin, 1977, S. 549-559.

[3] H. Kobus: Nitrat und Biozide im Grundwasser und Konsequenzen für die Trinkwassergewinnung, in: Umwelt, Wirtschaft, Gesellschaft - Wege zu einem neuen Grundverständnis. Maisch-Queck-Verlag, 1986, S. 127-137.

[4] Forschungsvorhaben „Nitrat im Grundwasser - Fallstudien“ des MELUF Baden-Württemberg, Zwischenberichte der Forschungsinstitute 1987 (unveröffentlicht): a: Institut für Bodenkunde und Standortslehre, Universität Hohenheim (R. R. van der Ploeg, H. Götz-Huwe, W. Simon); b: DVGW-Forschungsstelle am EBI, Universität Karlsruhe (H. Sontheimer, U. Rohmann, M. Rödelberger); c: Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart (T. Franz, V. Kaleris, C. Kauffmann, W. Kinzelbach, H. Kobus).

[5] BRGM: Les nitrates dans les eaux souterraines. Bureau des Recherches Géologiques et Minières, Orleans, Bericht Nr. 84SGN 148 EAU. 1984, 16 S.

[6] M. Herr, J. Herzer, W. Kinzelbach, H. Kobus, B. Rinnert: Methoden zur rechnerischen Erfassung und hydraulischen Sanierung von Grundwasserkontaminationen, Mitteilungsheft 54, Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart, 1983, 384 S.

[7] M. Herr: Grundlagen der hydraulischen Sanierung verunreinigter Porengrundwasserleiter, Mitteilungsheft 63, Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart, 1986, 176 S.

[8] MELUF Baden-Württemberg (Hrsg.): Altlasten-Handbuch: Untersuchungsgrundlagen. Wasserwirtschaftsverwaltung, Heft 19, 1987, 95 S.

Helmut Kobus, geb. 1937. Bauingenieurstudium in Stuttgart, Promotion 1965 in Mechanics and Hydraulics in Iowa, USA, Habilitation 1973 in Karlsruhe. Nach Tätigkeiten an der Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau in Berlin, an der Universität Karlsruhe und am California Institute of Technology Pasadena, Cal. USA, seit 1977 Professor an der Universität Stuttgart. Lehrstuhl für Hydraulik und Grundwasser. Hauptarbeitsgebiete: Wasserbauliches Versuchswesen, Wasser-Luftgemische, Umweltströmungsmechanik, Grundwasserhydraulik, Grundwasserwirtschaft.

Anschrift:

Prof. Dr. Helmut Kobus, Institut für Wasserbau, Lehrstuhl für Hydraulik und Grundwasser, Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 61, D-7000 Stuttgart 80.