

4.4 HYDRAULISCHE SANIERUNGSVERFAHREN

Prof.Dr.H. Kobus, Stuttgart

1. EINSATZBEREICHE UND ROLLE DER HYDRAULISCHEN SANIERUNGSVERFAHREN

Hydraulische Sanierungsverfahren werden oft in Kombination mit baulichen Maßnahmen zur lokalen Festlegung der Untergrundkontamination eingesetzt. Ebenso wichtig wie die Isolierung des Schadstoffherdes ist die Behandlung und Beobachtung der durch Schadstoffe kontaminierten Grundwasserbereiche.

Methodisch lassen sich zwei Hauptansätze der Sanierung von Grundwasserbereichen unterscheiden:

- (1) Sanierung durch Abpump- und Spülmaßnahmen
- (2) Sanierung durch In-situ-Reinigung des Untergrundes

Beide Ansätze können auch miteinander zum Einsatz kommen. In-situ-Reinigungsmethoden können sich die natürliche Strömung oder künstlich durch den Betrieb von Brunnen erzeugte Grundwasserströmung zunutze machen.

2. ELEMENTE DER HYDRAULISCHEN ABWEHR- UND SANIERUNGSMASSNAHMEN

Die zur Verfügung stehenden Elemente der Sanierung kontaminierter Grundwasserbereiche sind:

- Abpumpbrunnen und
- Infiltrationsbrunnen (seltener Infiltrationsschlitze)
- Infiltrationsschlitze und -gräben

Diese Elemente können einzeln, zusammen und in Gruppen Verwendung finden.

Das Prinzip der Grundwassersanierung mittels dieser Elemente besteht darin, kontaminiertes Grundwasser und flüssige Schadstoffe aus dem Grundwasserleiter abzupumpen, den Untergrund von Restkontaminationen freizuspülen und, wenn möglich, den mikrobiologischen Abbau oder die chemische Immobilisierung zu erreichen.

Abpumpmaßnahmen dienen zunächst dem Ziel, das kontaminierte Grundwasser aus dem Aquifer zu entfernen (Bild 1). Dem Entnahmebrunnen kann aber auch eine gewisse Sperrwirkung zukommen, das heißt durch den Brunnen wird ein weiteres Abwandern der Stoffahne in Richtung gefährdeter Nutzungen vermieden. Gelegentlich überwiegt bei einer Sanierungsmaßnahme die Absicht, mit der Förderung von kontaminiertem Grundwasser eine Stabilisierung der Grundwasserströmung und der Stoffausbreitung zu erreichen, um zunächst weiteren Schaden zu verhindern, ohne im strengeren Sinn bereits eine Sanierung zu erreichen. Hierzu sind in Bild 2 beispielhafte hydraulische Abwehrmaßnahmen illustriert.

Seit einigen Jahren bestehen erste Ansätze, die Reinigungswirkung einer Spülung des Grundwasserleiters durch Anwendung von In-situ-Verfahren erheblich zu verbessern. Grundgedanke ist dabei, entweder dem natürlichen Grundwasserstrom oder einer im Kontaminationsbereich künstlich erzeugte Strömung Reagenzstoffe beizugeben, die den Abbau oder die Immobilisierung der Schadstoffe bewirken und möglichst den Abtransport aus dem Porenraum erleichtern. Es werden chemische und mikrobiologische Ansätze unterschieden, je nachdem ob eine chemische Reaktion oder eine auf dem Wachstum von Bakterien beruhende Reaktion erzielt werden soll.

Bei Abpumpmaßnahmen besteht ein Teil der Sanierung in der Reinigung bzw. Aufbereitung des entnommenen Wasservolumens. Hierfür sind zahlreiche Verfahren in der Erprobung; sie umfassen die Filterung, die Ozonierung, Strip-Verfahren (Versprühung), Sedimentation in Becken und andere aus der Aufbereitungstechnik bekannte Verfahren. Bei der Prüfung und Planung geeigneter Verfahren ist in den meisten Fällen auch die Entsorgungsfrage zu beantworten, das heißt es ist dafür Sorge zu tragen, daß infolge des nützlichen Effektes einer Sanierung des Grundwassers nicht eine Folgeverschmutzung eines anderen Mediums, der Luft, des Bodens oder eines Oberflächengewässers, eintritt.

Die Anwendungs- und Kombinationsmöglichkeiten zur Grundwassersanierung sind vielfältig. Daher sind hier nur die Elementarkonfigurationen im Bild 1 zusammengestellt. Zur Vertiefung wird auf Kobus und Rinnert in /6/ verwiesen.

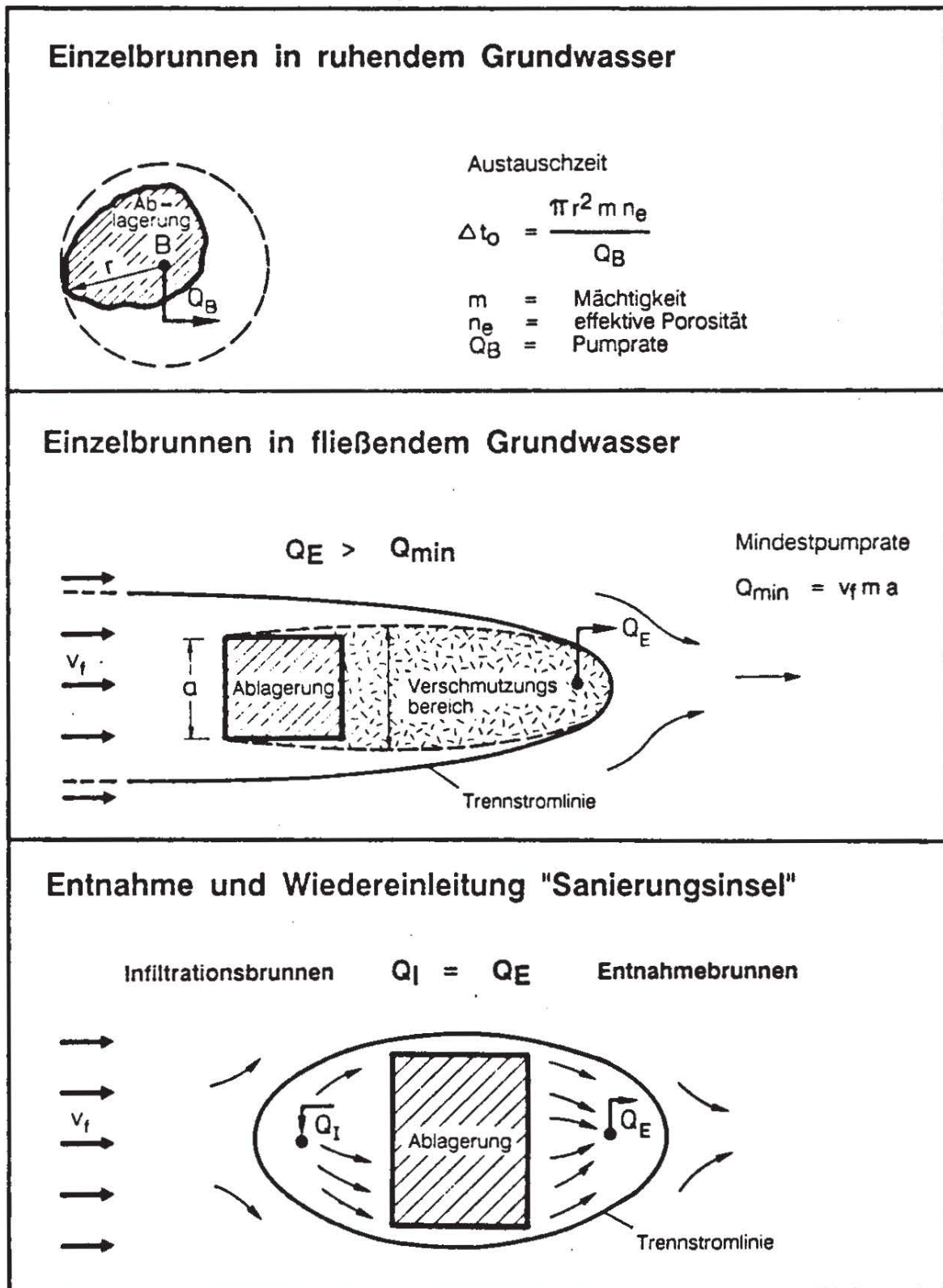


Bild 1: Typische Brunnenanordnung nach /6/

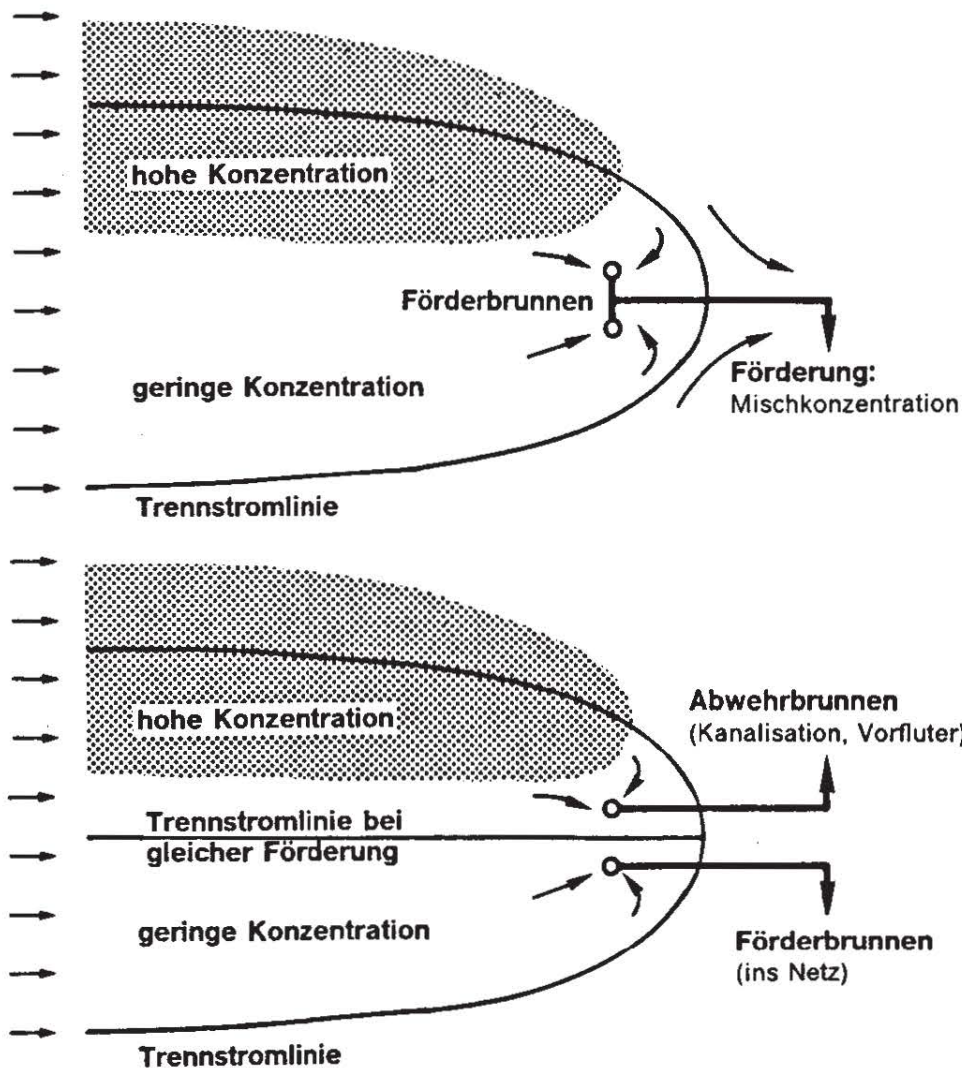
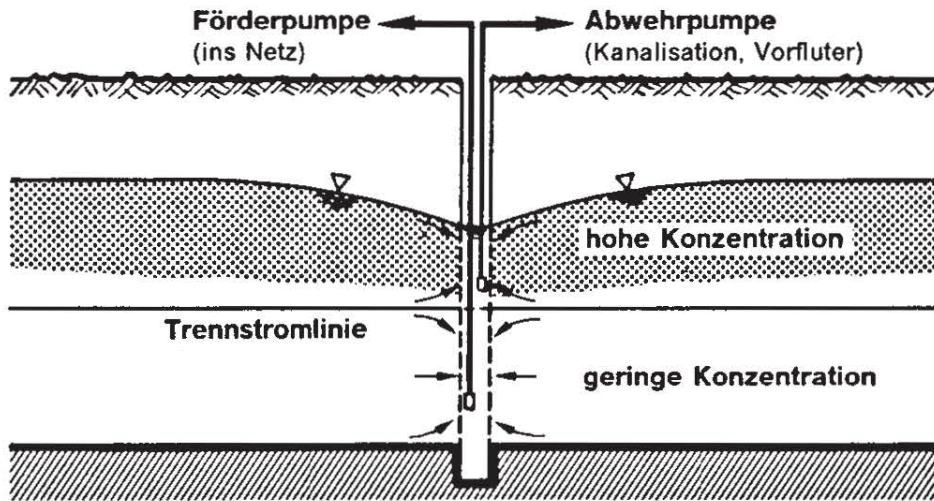


Bild 2: *Hydraulische Abwehrmaßnahmen bei Förderung aus einem partiell belasteten Grundwasserleiter*
 a) *tiefenselektive Entnahme bei überwiegend oberflächennaher Belastung nach /5/*
 b) *selektiver Betrieb einzelner Brunnen eines Wasserwerks bei unterschiedlich starker Belastung des Einzugsgebietes*

Die dargestellten Anordnungen finden Anwendung bei der Abschätzung des erforderlichen Aufwandes für die Sanierung kontaminierter Grundwasserbereiche, insbesondere bei:

- Spätfolgen eines Unfalls mit wassergefährdenden Stoffen;
- Schadensfällen kleiner räumlicher Ausdehnung (Leckagen, Altablagerungen).

Für größere Schadensfälle sind Brunnengruppen erforderlich und die Abschätzung kann mit einfachen Ansätzen nicht mehr durchgeführt werden. Hier kann unter Umständen eine numerische Abschätzung erforderlich sein.

Die Dauer der Maßnahmen und des Pumpbetriebes können unabhängig von der Anordnung der Brunnen sehr unterschiedlich sein: Handelt es sich um einen vollkommen im Grundwasser gelösten, perseveranten Stoff, so ist theoretisch das kontaminierte Grundwasservolumen nur einmal abzupumpen. Für den Fall, daß der Schadstoff am Korngerüst (zum Beispiel in den Porenzwickeln) haftet und nur langsam in Lösung geht, kann zur Sanierung ein Vielfaches der Austauschzeit notwendig sein, bis der kontaminierte Grundwasserbereich schadstofffrei ist.

Für den Fall, daß die Grundwasserkontamination über längere Zeit andauert, können die Brunnenanordnungen in Bild 3 bei Dauerbetrieb zur Stabilisierung der Schadstoffausbreitung herangezogen werden. Typisches Anwendungsbeispiel hierfür ist die Fassung des Sickerwassers aus einer Altablagerung, von der ein mengenmäßig begrenzter Stoffeintrag ins Grundwasser erfolgt. Weitere Anwendungsmöglichkeiten bestehen bei der Langzeitsicherung durchgeführter Abdichtungsmaßnahmen zur Abkapselung einer Altlast, so daß die Brunnen lediglich in Bereitschaft für den Fall unerwarteter Leckagen stehen.

3. ZIELSETZUNG UND WIRKUNGSGRAD VON SANIERUNGEN

Sanierungsmaßnahmen haben das Ziel, in das Grundwasser gelangte Schadstoffe wieder zu entfernen. Eine Sanierung des Grundwasserleiters kann mit Entnahmebrunnen erreicht werden, die gelöste CKW abpumpen bzw. CKW in Phase ausspülen und damit aus dem Grundwasser entfernen. Naturgemäß wird eine

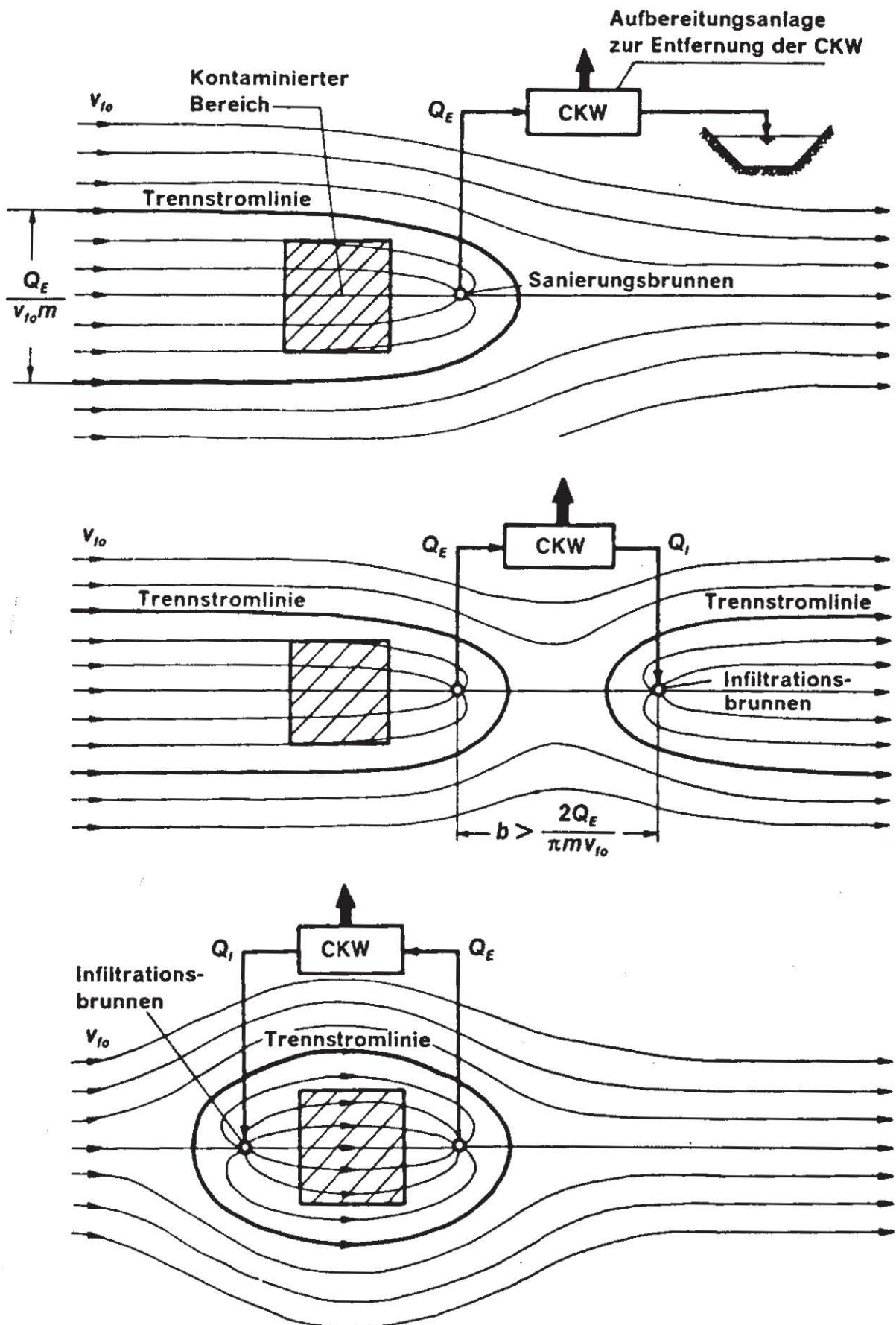


Bild 3: *Hydraulische Sanierungskonfiguration*

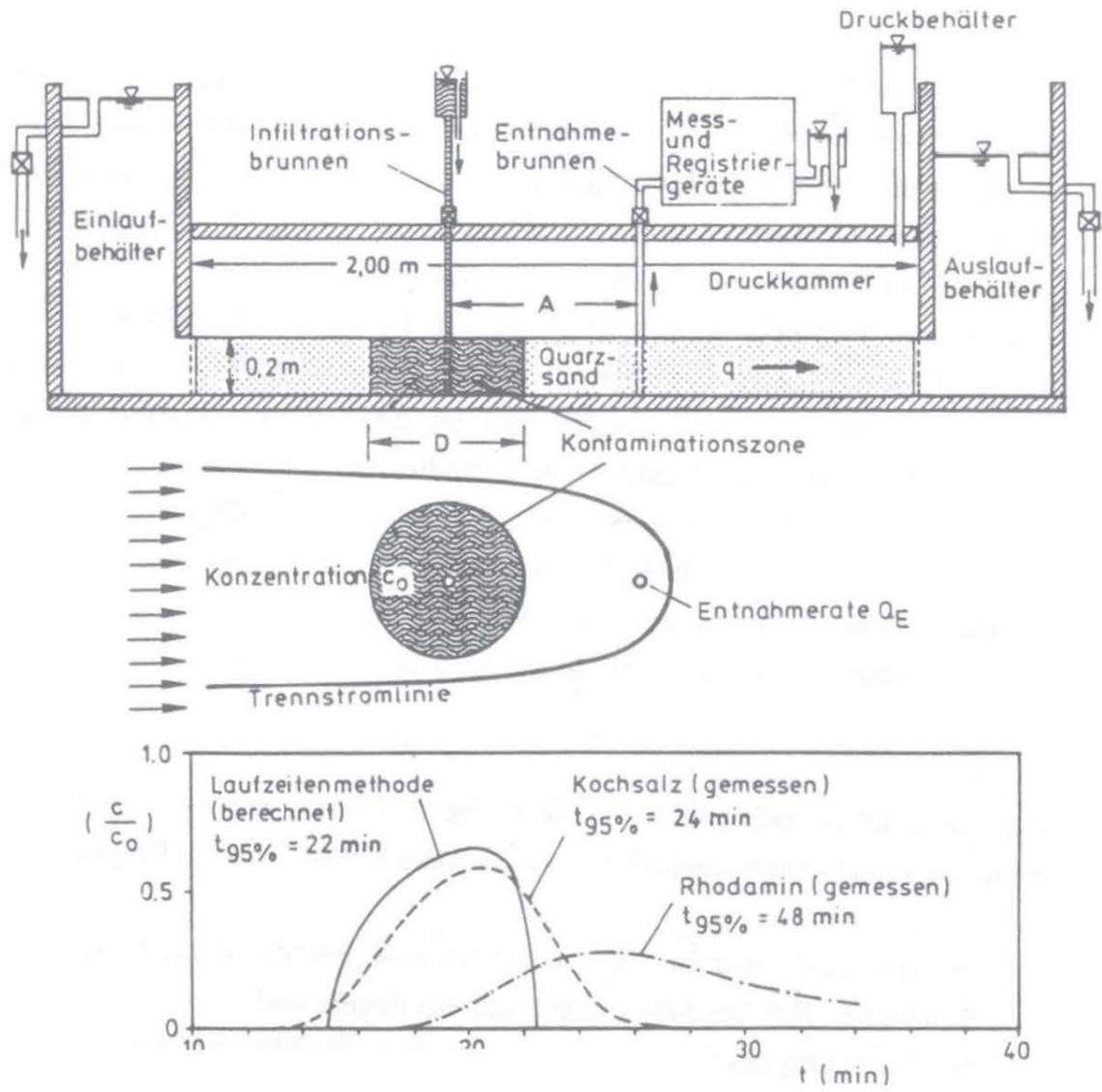
solche Maßnahme um so wirkungsvoller sein, je frühzeitiger und je näher sie am Schadstoffherd eingesetzt werden kann, bevor durch den großräumigen Transport eine starke Ausbreitung und Verdünnung der Schadstoffe eingetreten ist. Das entnommene verunreinigte Grundwasser wird nach entsprechender Behandlung /1/ durch Belüfterverfahren (Strippen) oder Adsorptionsverfahren (Aktivkohle) entweder in ein oberirdisches Fließgewässer eingeleitet oder in die öffentliche Kanalisation abgegeben. 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 werden mit Hilfe experimenteller Grundlagenuntersuchungen im Labor überprüft und verifiziert, um ihre Prognosefähigkeit für die praktische Anwendung sicherzustellen /7/. Das Bild 4 zeigt beispielhaft ein solches Grundlagenexperiment, welches in dem im Photo abgebildeten Versuchstand durchgeführt wurde.



Grundlagenexperimente zum Wirkungsgrad hydraulischer Sanierungsmaßnahmen /7/

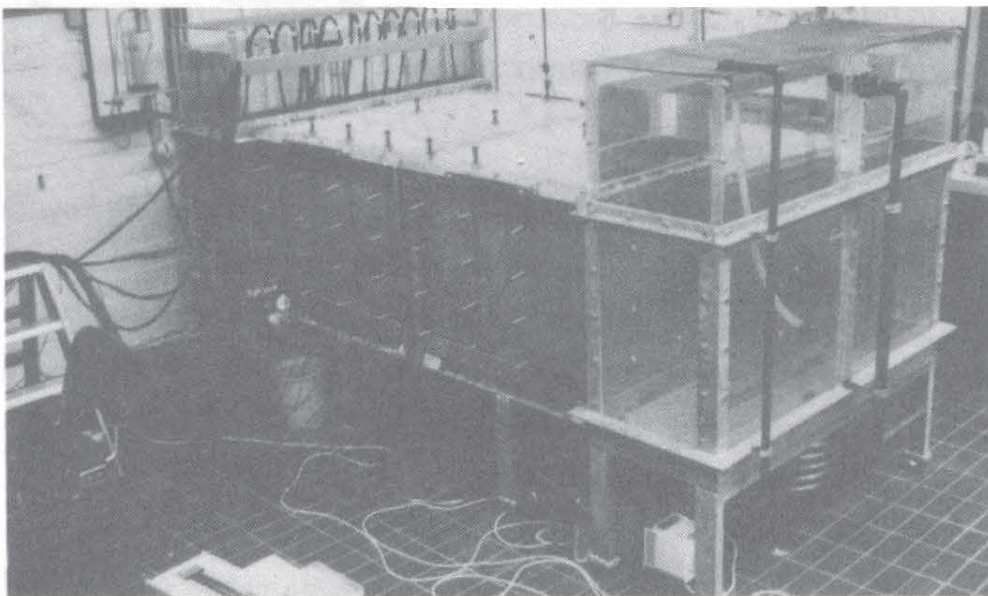


Bild 4: Laborversuchsstand für Sanierungsexperimente /7/

4. FALLBEISPIELE FÜR PLANUNG UND DIMENSIONIERUNG VON MASSNAHMEN

4.1 Sanierung eines CKW-Schadensfalls

Ein Beispiel für eine CKW-Sanierung ist der Schadensfall Karlsruhe, Ruppurer Straße, der auf Kriegseinwirkungen im Zweiten Weltkrieg zurückgeht /1/. Im Bild 5a 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 mit Bild 5b in Form von Stromlinien und Verweilzeiten dargestellt /1/. Die Markierungen geben die Laufzeiten (in Jahresschnitten) 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 Konzentration im Sanierungsbrunnen (Bild 5c), so zeigt sich, daß im Bereich des Schadensherdes noch immer eine Nachlieferung von CKW erfolgen muß. Dies deutet darauf hin, daß hier immer noch Anteile in Phase vorliegen, welche kontinuierlich in Lösung gehen.

4.2 Großräumige industrielle CKW-Kontamination

Die Vorgehensweise bei der Planung einer Sanierungsmaßnahme sei an dem im Bild 6 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 unterbindet. 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

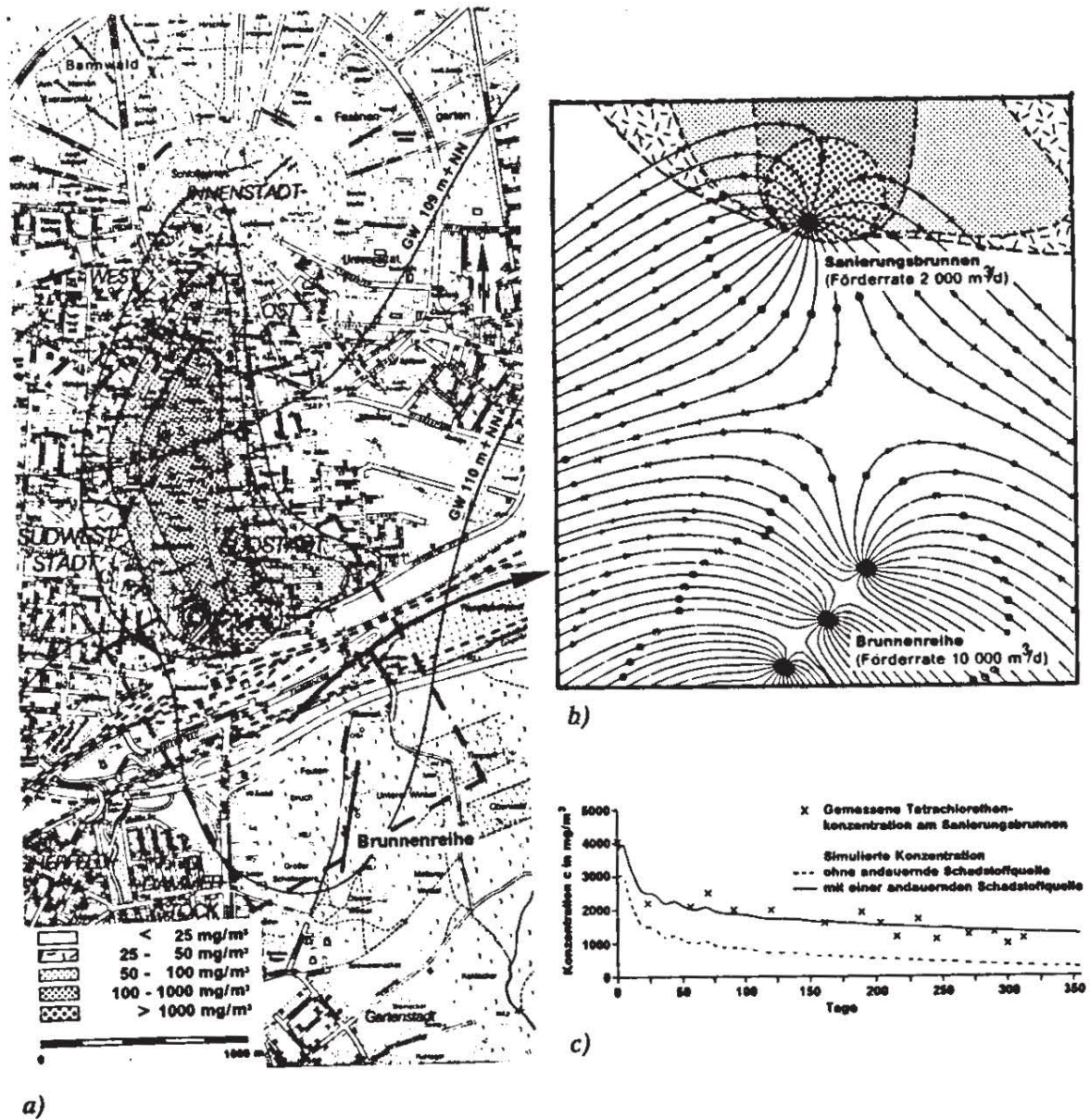


Bild 5: CKW-Schadensfall Karlsruhe, Rüppurer Straße, nach /1/ und /6/
 a) Gemessene Schadstoffverteilung
 b) Mittleres Strömungsfeld im Bereich der Sanierungsmaßnahme (Stromlinien, Verweilzeiten)
 c) Vergleich zwischen gemessenem und im numerischen Modell ermitteltem Konzentrationsverlauf im Sanierungsbrunnen

Spitze der Kontaminationsfahne einen einzelnen Sanierungsbrunnen niederzu bringen und diesen über sehr lange Zeit zu betreiben. Das resultierende Strömungsfeld ist ebenfalls dargestellt (Bild 6), wobei gleichzeitig der Betriebsbrunnen durch einen zentral im Schadensherd angeordneten Sanierungsbrunnen ersetzt wurde. Alternativ dazu kann an eine Vielzahl gleichzeitig betriebener Sanierungsbrunnen gedacht werden (Bild 7). 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. Sanierungskonfigurationen 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. Im Bild 7 sind mehrere mögliche Sanierungskonfigurationen vergleichend dargestellt. Die Entscheidung für die jeweils optimale Sanierungsstrategie kann hierauf basierend nach finanziellen, betrieblichen und rechtlichen Gesichtspunkten getroffen werden.

5. ERFORDERLICHE DATEN UND ERFOLGSKONTROLLE

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

Die Anforderungen an die einzusetzende Meß- und Erkundungsmethoden sind demgemäß sehr hoch und übersteigen bei weitem die üblichen Erkundungserfordernisse für Grundwasserströmungen.

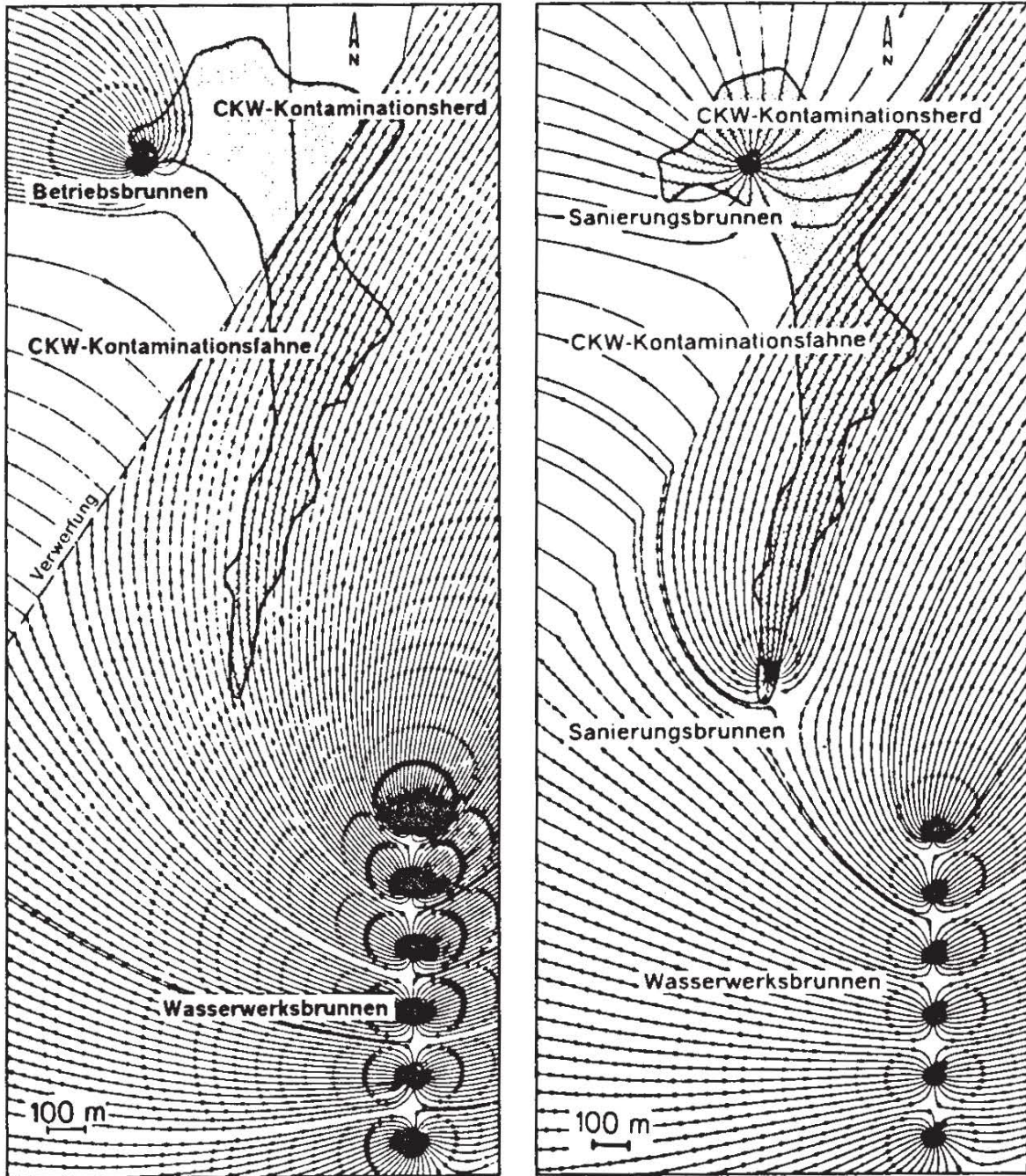
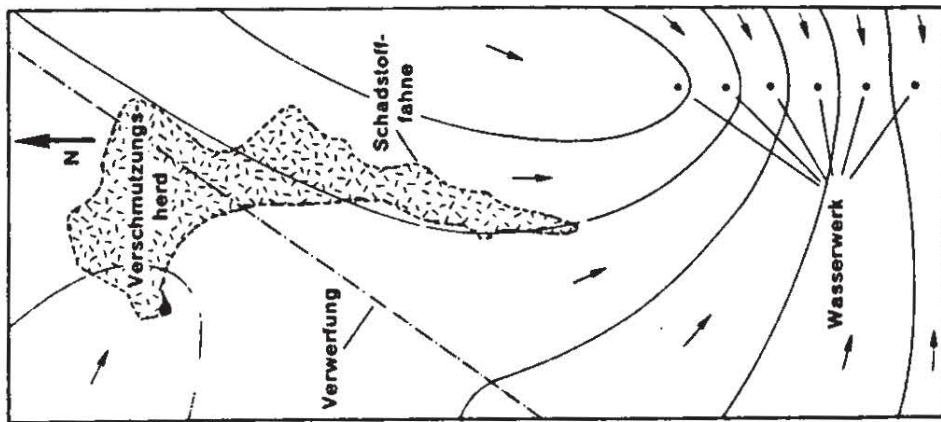
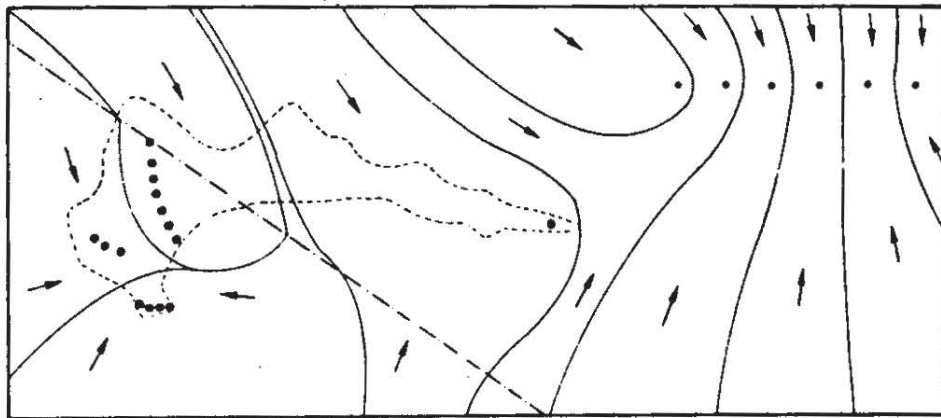


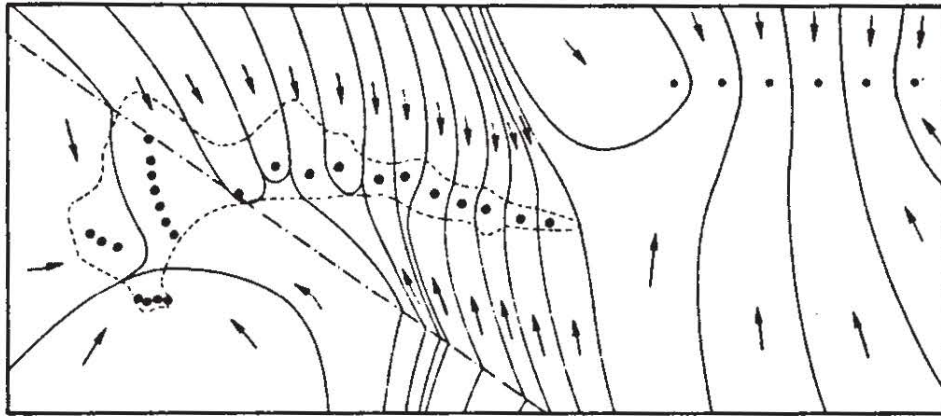
Bild 6: Industrielle CKW-Kontamination:
 a) CKW-Fahne und Strömungsfeld ohne Maßnahme /7/
 b) Sanierungsbrunnen im Schadensherd und zur Erfassung der CKW-Fahne



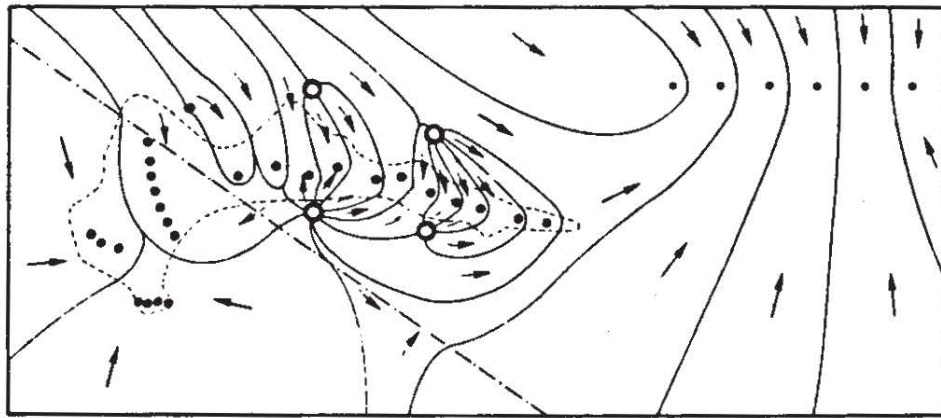
keine Sanierungsmaßnahme



14 Sanierungsbrunnen (SB)
im Schadensherd
1 Abwehrbrunnen in der Fahne



14 Sanierungsbrunnen (SB)
im Schadensherd
11 Sanierungsbrunnen in der Fahne



14 SB im Schadensherd
12 SB in der Fahne
4 Infiltrationsbrunnen zur Rück-
führung des gereinigten Wassers

Bild 7: *Unterschiedliche Strategien zur hydraulischen Sanierung der industriellen CKW-Kontamination (nach [7])*

Wegen der Vielfältigkeit der Schadensursachen, der Schadstoffe, der hydrogeologischen und hydrologischen Gegebenheiten und der wasserwirtschaftlichen Randbedingungen lassen sich für Grundwasserschutzmaßnahmen keine Kataloglösungen formulieren. Wesentlich ist neben einer klaren Vorgabe des Sanierungsziels auch eine wirksame Überwachung und Erfolgskontrolle nach Abschluß der Maßnahme.

Literaturverzeichnis

- /1/ MELUF Baden-Württemberg, Herausgeber: *"Leitfaden für die Beurteilung und Behandlung von Grundwasserverunreinigung durch leichtflüchtige Chlorkohlenwasserstoffe"*, Wasserwirtschaftsverwaltung Heft 13, 1983
- /2/ Kobus, H.: *"Staustrufen am Oberrhein. Grundwassermodelle als Planungshilfe"*, Kongreßbeiträge WASSER Berlin, 1977
- /3/ Kobus, H.: *"Nitrat und Biozide im Grundwasser und Konsequenzen für die Trinkwassergewinnung"* in: Umwelt, Wirtschaft, Gesellschaft - Wege zu einem neuen Grundverständnis, Maisch-Queck-Verlag, 1986
- /4/ Forschungsvorhaben *"Nitrat im Grundwasser - Fallstudien"* des MELUF Baden-Württemberg, Zwischenberichte der Forschungsinstitute 1987 (unveröffentlicht):
 - (a) Institut für Bodenkunde und Standortslehre, Universität Hohenheim (van der Ploeg, R.R., H. Götz-Huwe, W. Simon)
 - (b) DVGW-Forschungsstelle am EBI, Universität Karlsruhe (Sontheimer, H., U. Rohmann, M. Rödelsperger)
 - (c) Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart (Franz, T., V. Kaleris, C. Kauffmann, W. Kinzelbach, H. Kobus)
- /5/ BRGM, 1984. *"Les nitrates dans les eaux souterraines"*, Bureau des Recherches Géologiques et Minières, Orleans, Bericht Nr. 84SGN 148 EAU
- /6/ Herr, M., 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
- /7/ Herr, M.: *"Grundlagen der hydraulischen Sanierung verunreinigter Porengrundwasserleiter"*, Mitteilungsheft 63, Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart, 1986
- /8/ MELUF Baden-Württemberg, Herausgeber: *"Altlasten-Handbuch: Untersuchungsgrundlagen"*, Wasserwirtschaftsverwaltung Heft 19, 1987
- /9/ Kobus, H. (Hrsg.): *"Unterrichtsmaterialien DVWK-Lehrgang GRUNDWASSER, Weiterbildungsstudium Hydrologie-Wasserwirtschaft"*, Universität Hannover, 1986.

Bilderverzeichnis:

- Bild 1:** *Typische Brunnenanordnung nach /6/*
- Bild 2:** *Hydraulische Abwehrmaßnahmen bei Förderung aus einem partiell belasteten Grundwasserleiter*
- a) *tiefenselektive Entnahme bei überwiegend oberflächennaher Belastung nach /5/*
 - b) *selektiver Betrieb einzelner Brunnen eines Wasserwerks bei unterschiedlich starker Belastung des Einzugsgebietes*
- Bild 3:** *Hydraulische Sanierungskonfiguration*
- Bild 4:** *Laborversuchsstand für Sanierungsexperimente /7/*
- Bild 5:** *CKW-Schadensfall Karlsruhe, Rüppurer 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 ermitteltem Konzentrationsverlauf im Sanierungsbrunnen*
- Bild 6:** *Industrielle CKW-Kontamination:*
- a) *CKW-Fahne und Strömungsfeld ohne Maßnahme /7/*
 - b) *Sanierungsbrunnen im Schadensherd und zur Erfassung der CKW-Fahne*