

# Deponilerin Kirlettiđi Arazilerin İyileřtirme Teknikleri

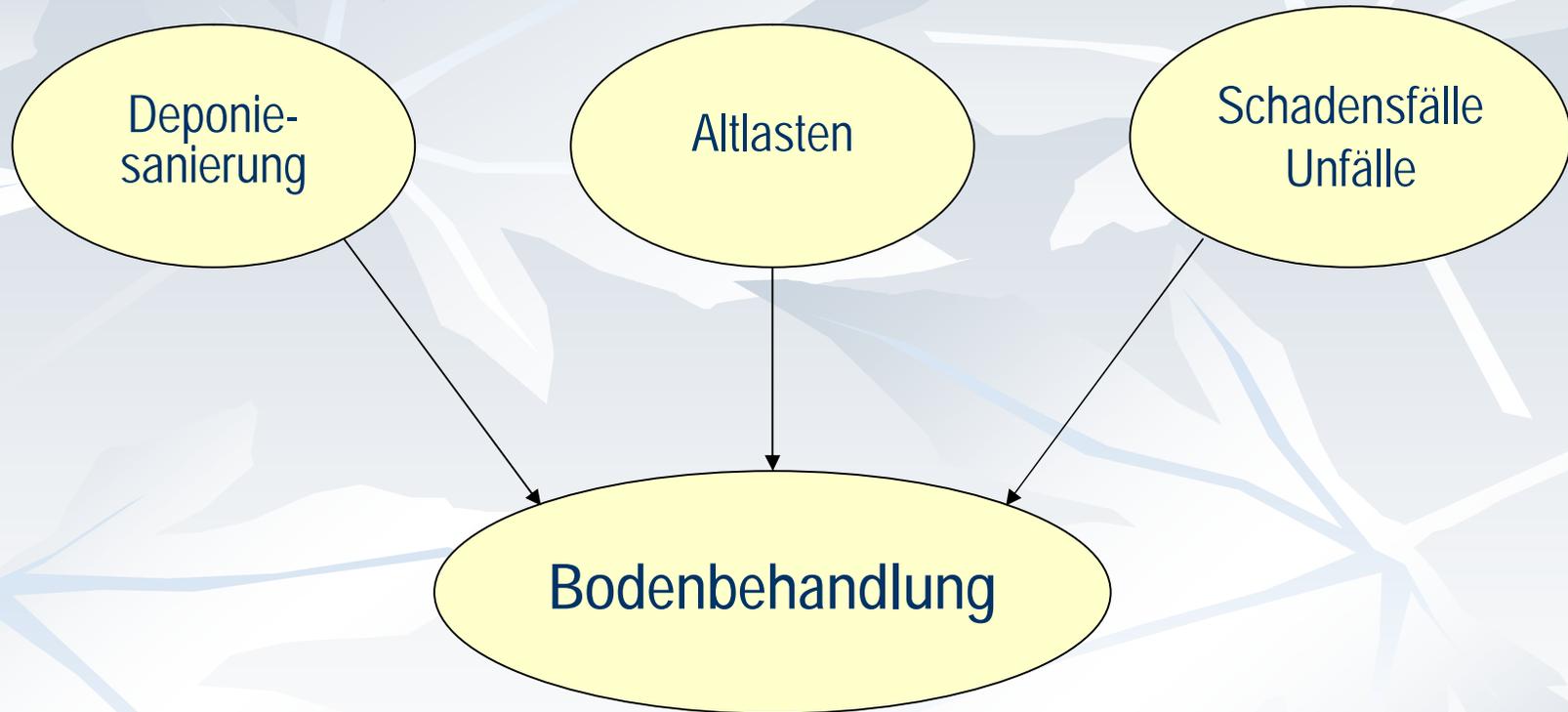
**Prof. Dr. Ertugrul ERDIN**  
Dokuz Eylöl Üniversitesi Mühendislik Fakóltesi Çevre Mühendisliđi Bölümü

**3160 BUCA- IZMIR TURKIYE**  
0090.232. 4127120; Fax: 0090.232. 3887864; 0090.232. 4531143

E-Mail: [eerdin@deu.edu.tr](mailto:eerdin@deu.edu.tr);  
[ertugrul.erdin@deu.edu.tr](mailto:ertugrul.erdin@deu.edu.tr); [eerdin@izmir.eng.deu.edu.tr](mailto:eerdin@izmir.eng.deu.edu.tr)  
[erdin@itu104.ut.tu-berlin.de](mailto:erdin@itu104.ut.tu-berlin.de)

WEB : <http://web.deu.edu.tr/erdin>

## Ursachen für erforderliche Bodenbehandlung



# Migration von Stoffen im Boden

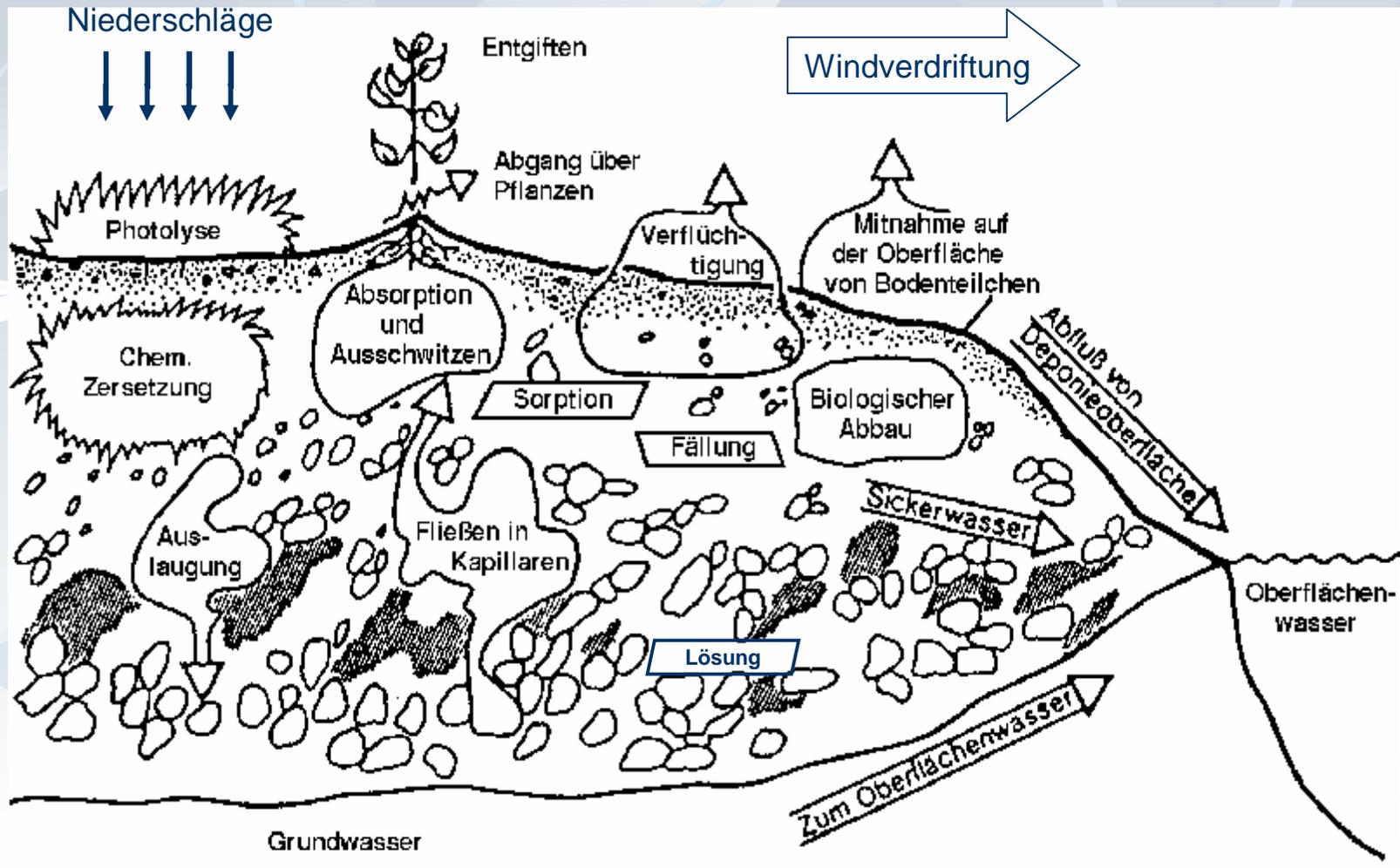


Bild C-3 Migration der Stoffe im Boden [2].

# Methoden der Altlastenbehandlung

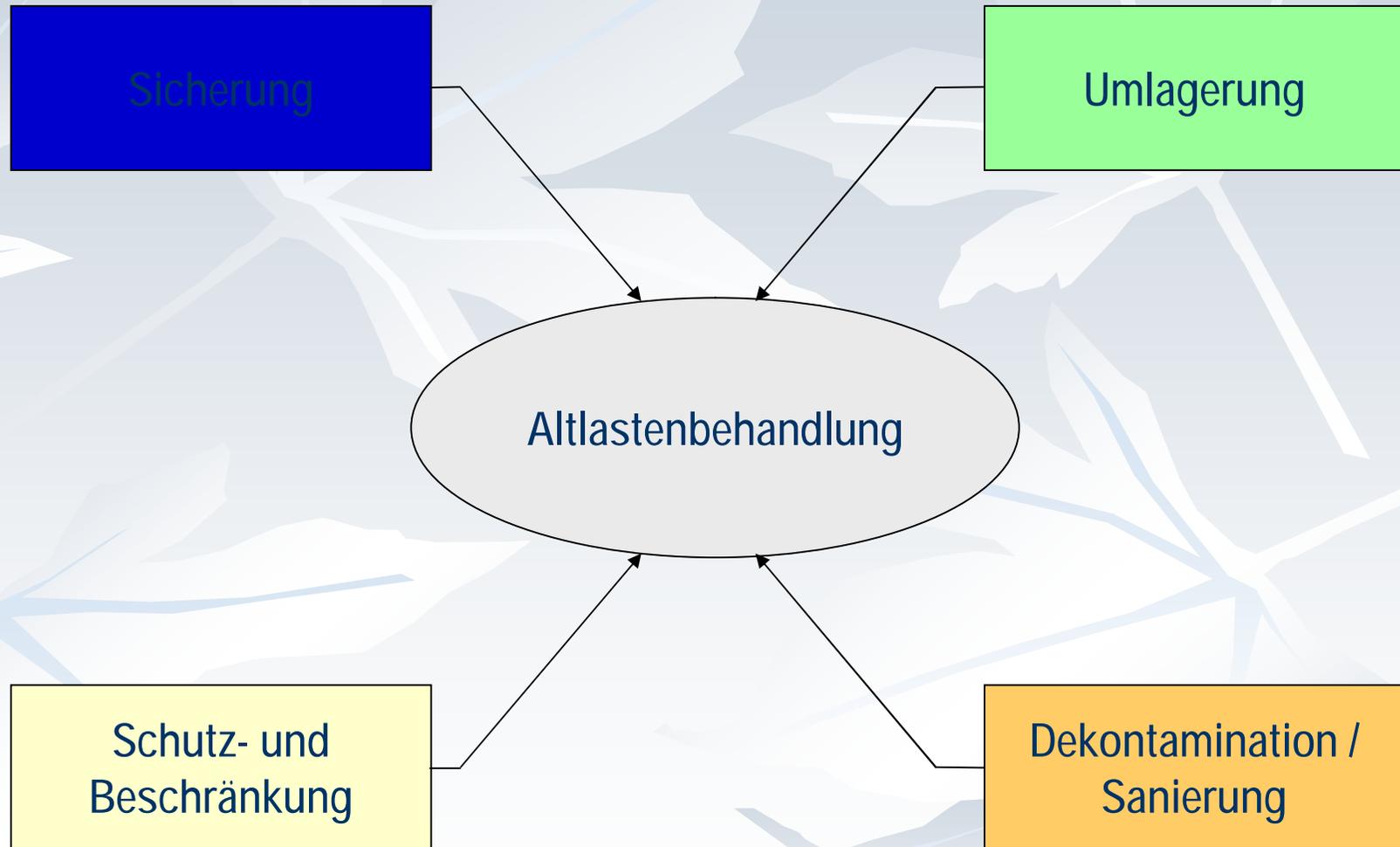
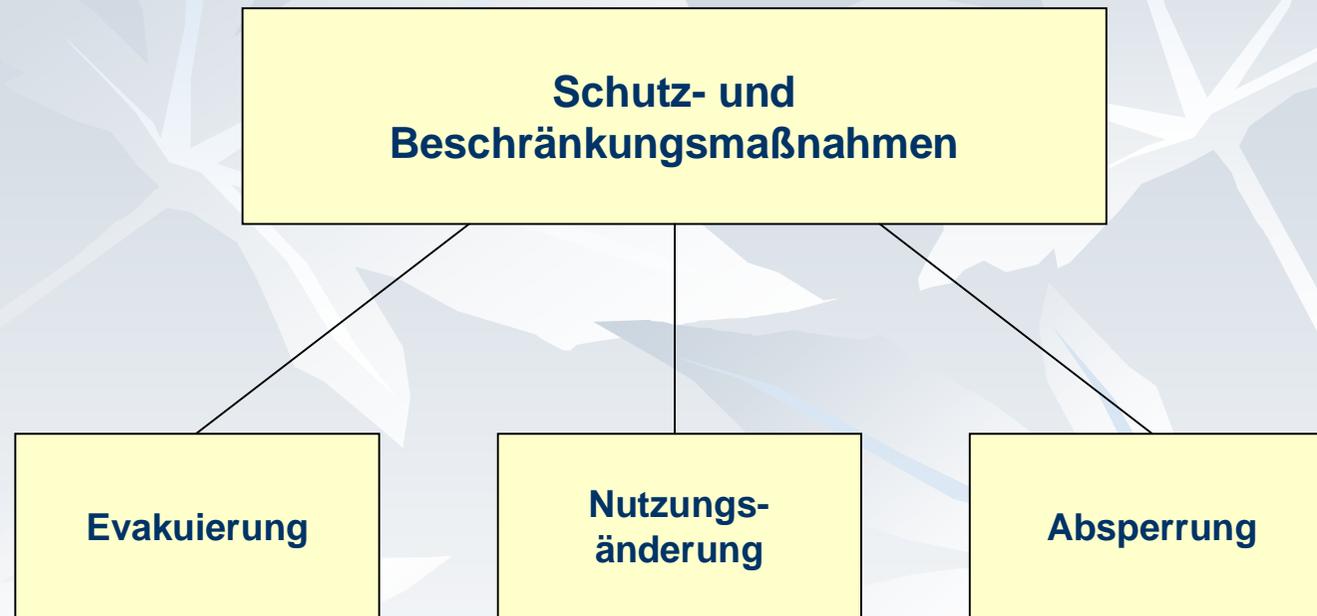


Bild D-1 Methoden der Altlastenbehandlung.

# Sofortmaßnahmen



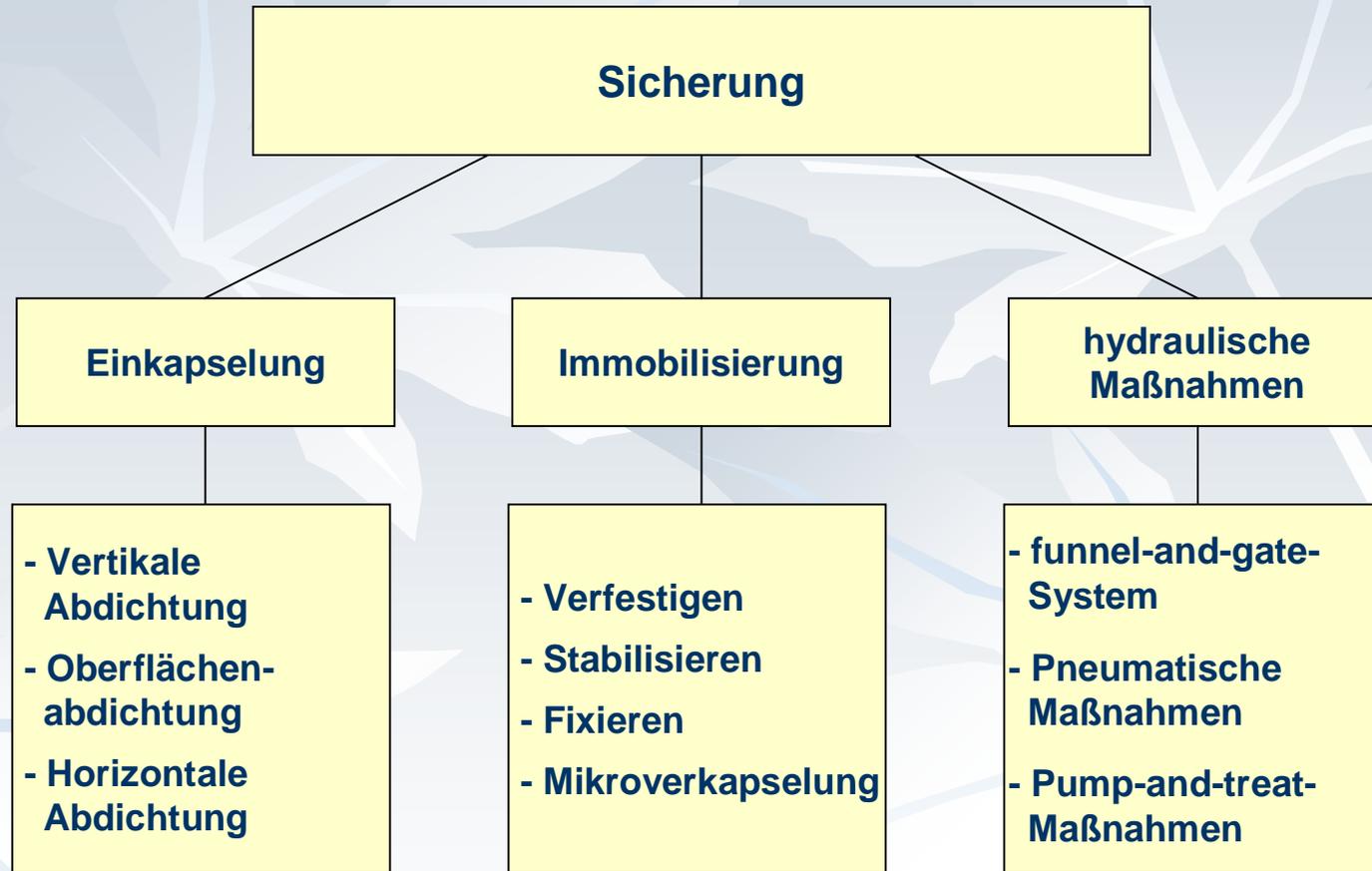
**Bild D-3** Darstellung von Sofortmaßnahmen.

# Methoden der Umlagerung



**Bild D-4** Methoden der Umlagerung.

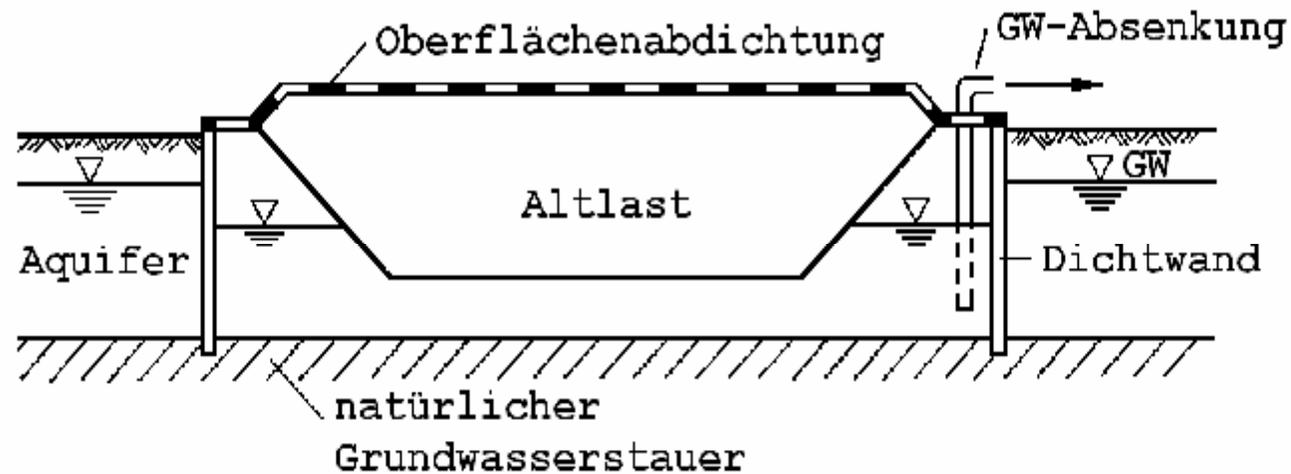
# Sicherungsmaßnahmen



**Bild D-5** Darstellung der gängigsten Sicherungsmaßnahmen.

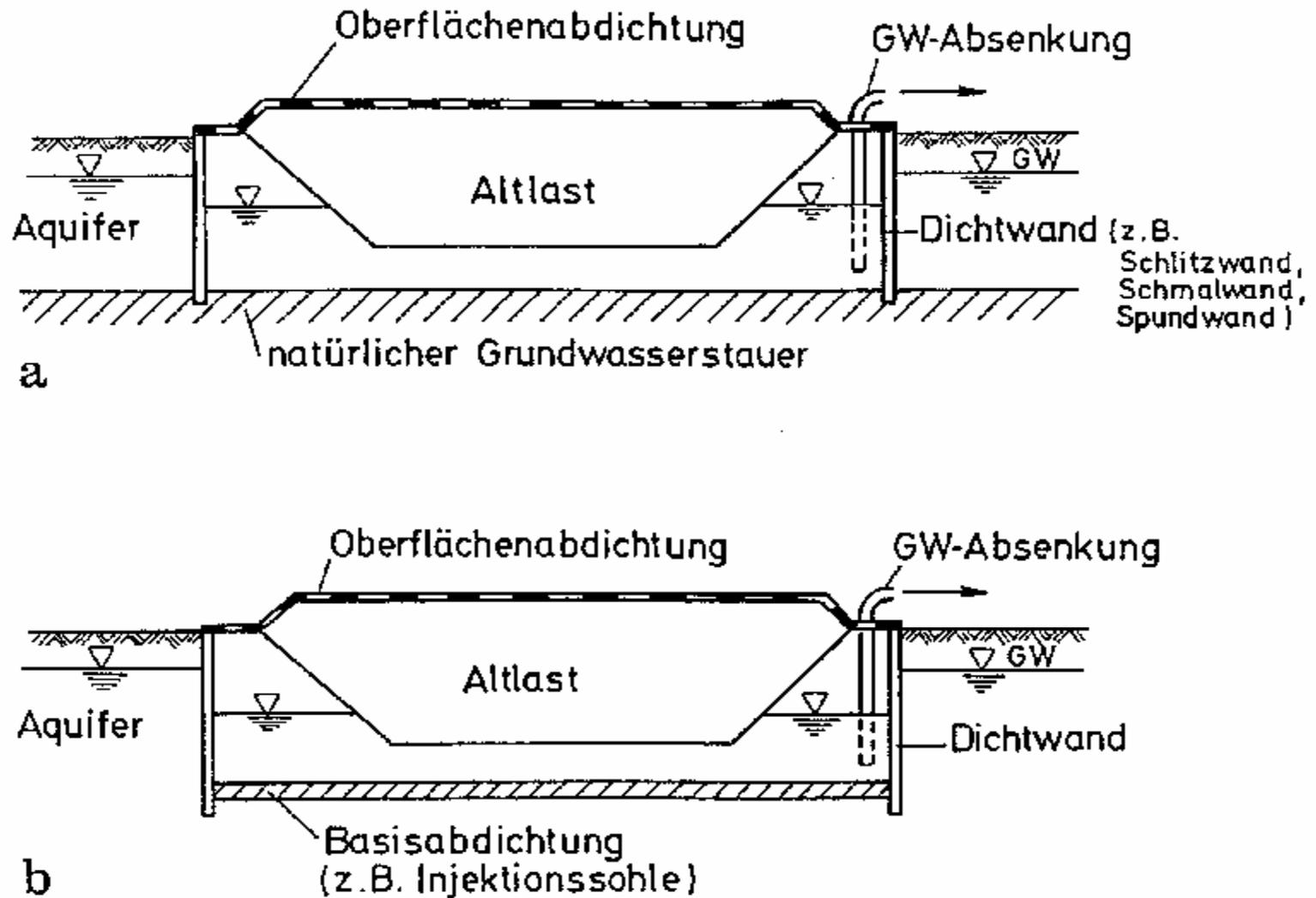


## Prinzip der Einkapselung



**Bild 2** Darstellung einer unterirdischen Schadstoffeinkapselung. Durch eine ständige Absenkung des Grundwasserniveaus innerhalb der Schadensquelle wird eine von außen nach innen gerichtete Inversionsströmung erzeugt, wodurch verhindert werden soll, dass belastete Sickerwässer nach außen in den Grundwasserleiter austreten [1].

## Altlast-Einkapselung



**Bild D-6** Einkapselung bei natürlicher (a) oder künstlicher (b) Dichtungssohle [1].

# Dichtwandsysteme

Verfahren	Baustoffe	Dicke der Wand (m)	bislang größte erreichbare Tiefe (m)	Kontrollmöglichkeit		Herstellbarkeit bei Hindernissen (z.B. Steinblöcke)	Lebensdauer 50 Jahre	chemische Beständigkeit	mittlere Kosten in DM je m <sup>2</sup> Dichtwand bei einschläger Ausführung
				auf Einhaltung der geforderten Einbindetiefe	während der Herstellung insbesondere auf Leckagen				
Spundwände	Stahl	0,01 – 0,02	15 – 20	–	–	–	0	–	200,- bis 300,-
Bohrpfahlwände	Beton, Dichtwandsuspensionen	0,60 – 1,50	25 – 30	+	0	0	+	+	400,- bis 450,-
Schmalwände	Dichtwandsuspensionen	0,05 – 0,20	15 – 20	–	0	–	+	+	80,- bis 110,-
Schlitzwände Zweimassensystem	Beton, Dichtwandsuspensionen neue Entwicklungen	0,40 – 1,50	> 50	+	+	+	+	+	400,- bis 600,-
Schlitzwände Einmassensystem	Dichtwandsuspensionen Einsatz neuer Additive und neuer Bindemittel	0,40 – 1,50	20 – 30	+	+	+	+	+	200,- bis 300,-
Gerammte Schlitzwand	Beton, Erdbeton	0,40	8 – 10	–	0	0	+	+	200,- bis 300,-
Injektionsdichtungen	Stabilisierte Susoensionen, Dicht-Injektionsmassen, Chemische Lösungen, neue Entwicklungen	HOZ- 1,00 bis beliebig	> 100	0	0	+	+	+	350,- bis 450,-
Jet-Grouting-Verfahren	Dichtsuspensionen	1,00 bis beliebig	20 – 30	0	0	0	+	+	450,- bis 600,-
Kombinationsdichtungen mit Folie	Dichtwandsuspensionen in Kombination mit HDPE-Folien	0,002 Folie 0,50 – 1,00 Dichtwand	20 – 25	+	0	+	? noch keine ge- nauen Erfah- rungen	+	250,- bis 350,-
Nach bisherigen Erfahrungen: siehe Tabelle D-2(b)				+	durchführbar			+	vorhanden
				0	begrenzt durchführbar			0	begrenzt vorhanden
				–	nicht durchführbar			–	unbekannt

**Tabelle D-2** Überblick über die bislang bekannten vertikalen Dichtsysteme [1].

# Oberflächenabdichtung

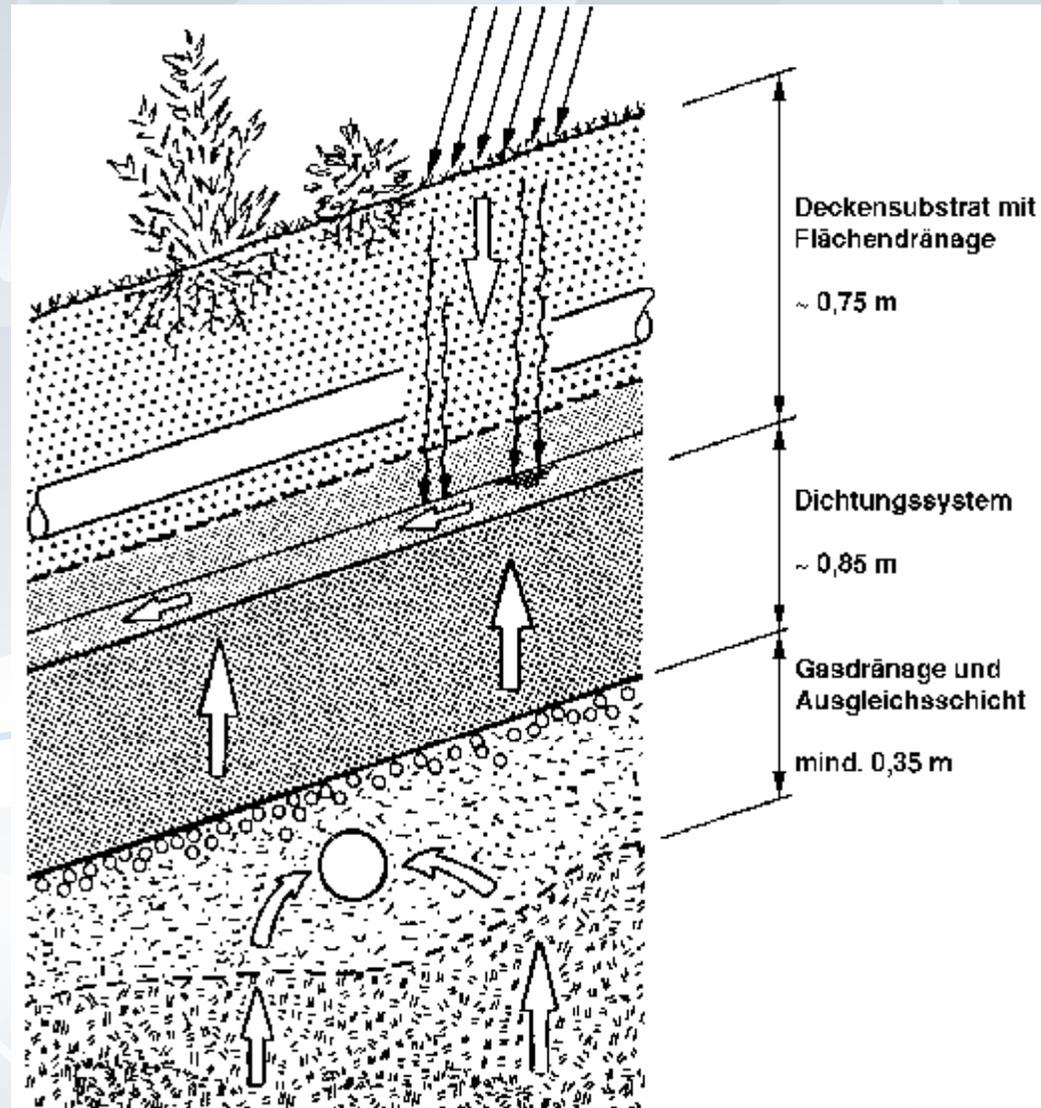
- Verhinderung des unmittelbaren Kontaktes mit Schadstoffen,
- Minimierung bzw. Verhinderung des Einsickerns von Oberflächenwasser und Niederschlag,
- Verhinderung des kapillaren Feuchtigkeitsaufstieges und damit Transport von gelösten Schadstoffen an die Erdoberfläche,
- Möglichkeit der Kontrolle und Reparatur,
- konzentrierte Fassung und Ableitung von Ausgasungen,
- Verhinderung des Eindringens von Wurzeln in den kontaminierten Boden und damit des Übertritts von Schadstoffen in Pflanzen und damit gegebenenfalls in die Nahrungskette,
- Verhinderung von Verwehungen schadstoffbelasteter Stäube.

Die Wasser- und/oder Gassperre in Form einer Oberflächenabdichtung muss über ein beständiges Dichtelement verfügen. Dieses Dichtelement kann aus

- bindigem Erdmaterial,
- Kunststoffdichtungsbahnen,
- Asphalt oder
- geosynthetischen Tondichtungsbahnen.

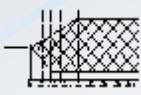
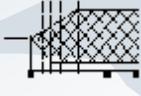
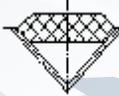
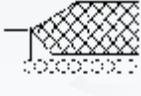
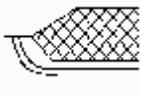
oder ähnlichen Materialien sowie Kombinationen daraus bestehen.

## Aufbau einer mineralischen Oberflächenabdichtung



**Bild D-7** Systemaufbau einer mineralischen Oberflächenabdeckung [1, 22].

# Nachträgliche hergestellte Sohldichtungen

	Verfahren	Schema	bisherige, nachweisliche Erfahrungen	Technische Probleme
Übertage-Systeme	I Injektionssohle (unterhalb der Deponie-Basis)		für Abdichtung gegen Wasser vorhanden	Bohrtechnik, Bohrgenauigkeit, Aufbrüche in den Deponiekörper hinein möglich, reduzierte Bohrabstände erforderlich, Kontrolle und Nachdichtungen möglich.
	II Jet-Grouting-Sohle (unterhalb der Deponie-Basis)		für Abdichtung gegen Wasser vorhanden	Bohrtechnik, Bohrgenauigkeit, erreichbare Tiefe, Ausspülung kontaminierter Materials, Aufbrüche möglich, reduzierte Bohrabstände, Kontrolle und Nachdichtungen möglich.
	III Injektionsdichtung in Form eines umgekehrten Daches		vorhanden im Talsperrenbau für Abdichtung gegen Wasser	Bohrtechnik, Bohrgenauigkeit bei großen Bohrlängen. Kontrolle und Nachdichtungen möglich.
Untertage-Systeme	IV Horizontal vom Tunnel aus injizierte Sohle		keine	Bohrtechnik, Bohrgenauigkeit. Aufbrüche möglich. Austritte hochkontaminierter Wasser in den Tunnel.
	V Horizontal vom Tunnel aus mit Jet-Grouting eingebrachte Sohle		keine	Horiz. Jet-Grouting unerprobt. Aufbrüche in die Deponie hinein möglich, Abwandern des Injektionsgutes. Austritte hochkontaminierter Wasser in den Tunnel.
	VI „Tunnel an Tunnel“-Sohle		als tragendes Element („Rohrschirmdecke“) bekannt	Abtransport des kontaminierten Aushubes, Arbeiten im kontaminierten Boden und Grundwasser problematisch.
	VII Injektionssohle bzw. „Tunnel an Tunnel“-Sohle mittels horizontal gesteuerter Bohrtechnik		keine	Abtransport des kontaminierten Bohrgutes Bohrtechnik, Bohrgenauigkeit

Besondere Schwierigkeiten beim Einbringen der Dichtungssohlen in stark kontaminierte Zonen und gebräuchlichem Gebirge (z.B. Tunnel) können zusätzliche Probleme zur Folge haben. Alle Verfahren wären im Falle der Ausführung in einem Testfeld zu überprüfen bzw. auf anwendungsreife weiterzuentwickeln.

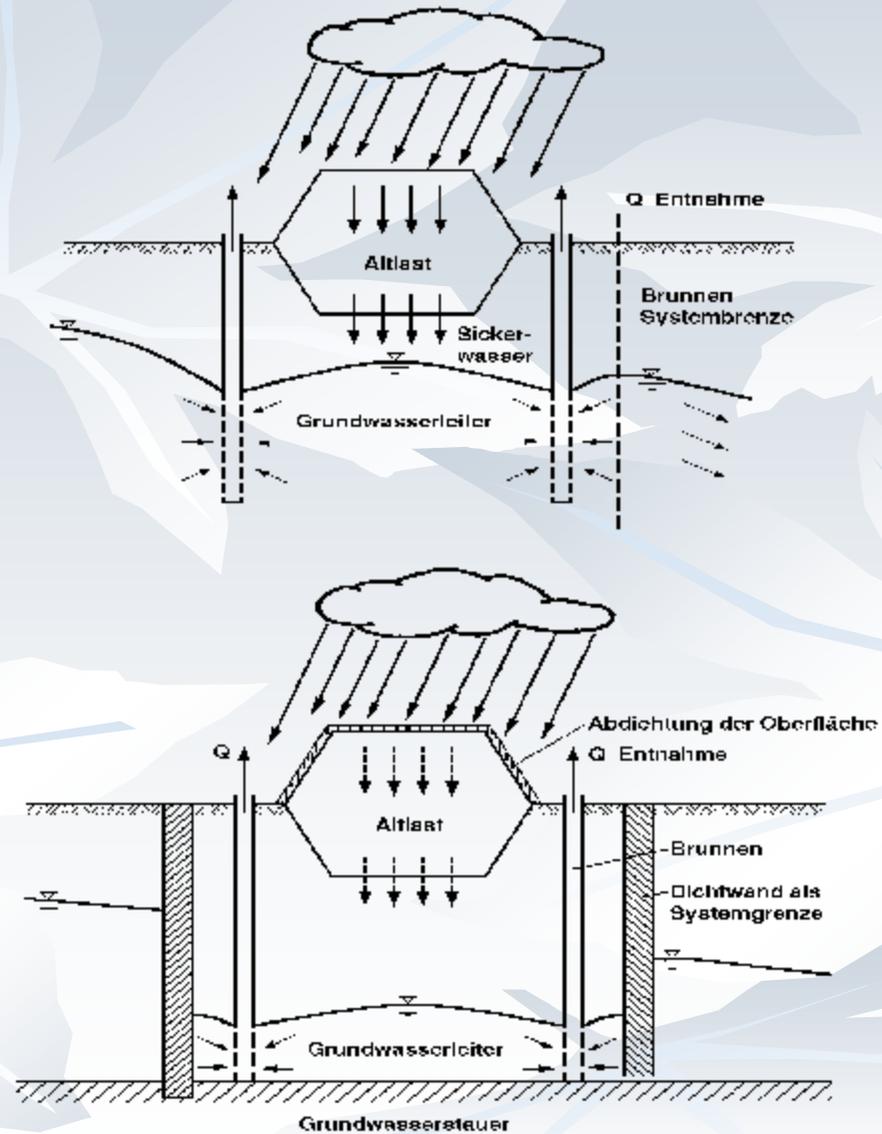
**Tabelle D-3** Verfahren zur nachträglichen Herstellung von Sohldichtungen [1].

# Immobilisierungstechniken

Verfahrens-Prinzip	durch / mittels	Maßnahme setzt an: an ...	Ziel	Ort des Eingriffs	Beispiele
Verfestigen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bindemittel- und Feststoffzugabe, Mischen</li> <li>- physikalische Einschließung in Bindemittel</li> <li>- chemische Reaktion mit Bindemitteln und physikalische Einbindung</li> </ul>	Abfallkörper (flüssige und pastöse Abfälle, lose Schüttung fester Abfälle), Erdreich (Matrix und Kontamination)	Festkörper, Verminderung der Auslaugbarkeit	„in situ“	Injektion/Verpressen erreichbarer Hohlräume mit Zement, Bentsonitsuspension, Wasserglas, Polymerlösung
				„on/off site“	Verfestigung von Schlämmen und Erdreich mit hydraulischen Bindemitteln
Stabilisieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reagenzienzugabe, Mischen</li> <li>- chemische Reaktion (pH-Verschiebung, Fällung, Oxidation-Reduktion)</li> </ul>	Kontamination (Abfallkörper, Schadstoffe im Erdreich)	verminderte Löslichkeit	„in situ“	Fällung im Erdreich mittels Reagenzieninjektion
				„on/off site“	Hydroxid-, Sulfidfällung
Umschließen / Einkapseln	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Durchgehende Hüllschicht um:</li> <li>- grobe Körper oder Brocken (Makro-einkapselung)</li> <li>- Partikeln (Mikro-einkapselung, auch „Mikroverfestigung“)</li> </ul>	Abfällen, kontaminiertem Erdreich und Abbruchmaterial	verminderte Auslaugbarkeit	„on/off site“	Umhüllen von Mauerbrocken mit Polyethylenschmelze (Makro-einkapselung)
					Umhüllen von feindispersierten Flüssigabfällen (PCB-haltigen Ölen, Säureresten) in Kalk oder Gips (Mikro-einkapselung)
Fixieren	Verteilen in großen Massen von Zuschlagstoffen oder Adsorbentien	flüssigen und pastösen Abfällen	Festhalten	„on/off site“	Öl in Asphalt / Sägemehl / Diatomeenerde
Verdichten	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reduzieren des Porenvolumens, der Durchlässigkeit und der spezifischen Oberfläche</li> <li>- Pressen / Gewicht, Rütteln, Agglomeration</li> </ul>	verdichtbaren Feststoffschüttungen (Erdreich, Abfälle, Stäube)	niedrige Durchlässigkeit	„in situ“ (evtl. „on site“ bei Rückbau)	Ramm-, Stampfgeräte, Flächenrüttler, Schockgeber, statisch und dynamisch wirkende Walzen, Pelletieren von Stäuben
Verglasen	Strom (Elektrolyse-, Lichtbogeneffekt, Bodenschmelze) (auch thermisches Verfahren)	Bodenmatrix, Metallen, Abfallkörper (flüchtige Stoffe werden ausgetrieben)	Festkörper, niedrige Auslaugrate für geologische Zeiträume	„in situ“ (mit „on site“-Abgasreinigung)	USA: radioaktiv kontaminiertes Gelände und Abfälle zu obsidianartigen Glaskörpern erschmolzen
Verziegeln	Kalziniieren (Einbrennen in Ton) (überwiegend thermisches Verfahren)	kontaminiertem Erdreich, Schlamm, Rauchgasreinigungsrückstand		„on/off site“	Filterstäube, Galvanikschlämme, Hafen- und Flusssedimente in Backstein eingebunden

Tabelle D-4 Zusammenstellung verschiedener Immobilisierungstechniken [8].

# Grundwasserhydraulische Maßnahmen



**Bild D-27** Grundwasserhydraulische Maßnahme im Nahbereich ohne und mit Einkapselung [2].

# Aufbau eines Deponiekörpers

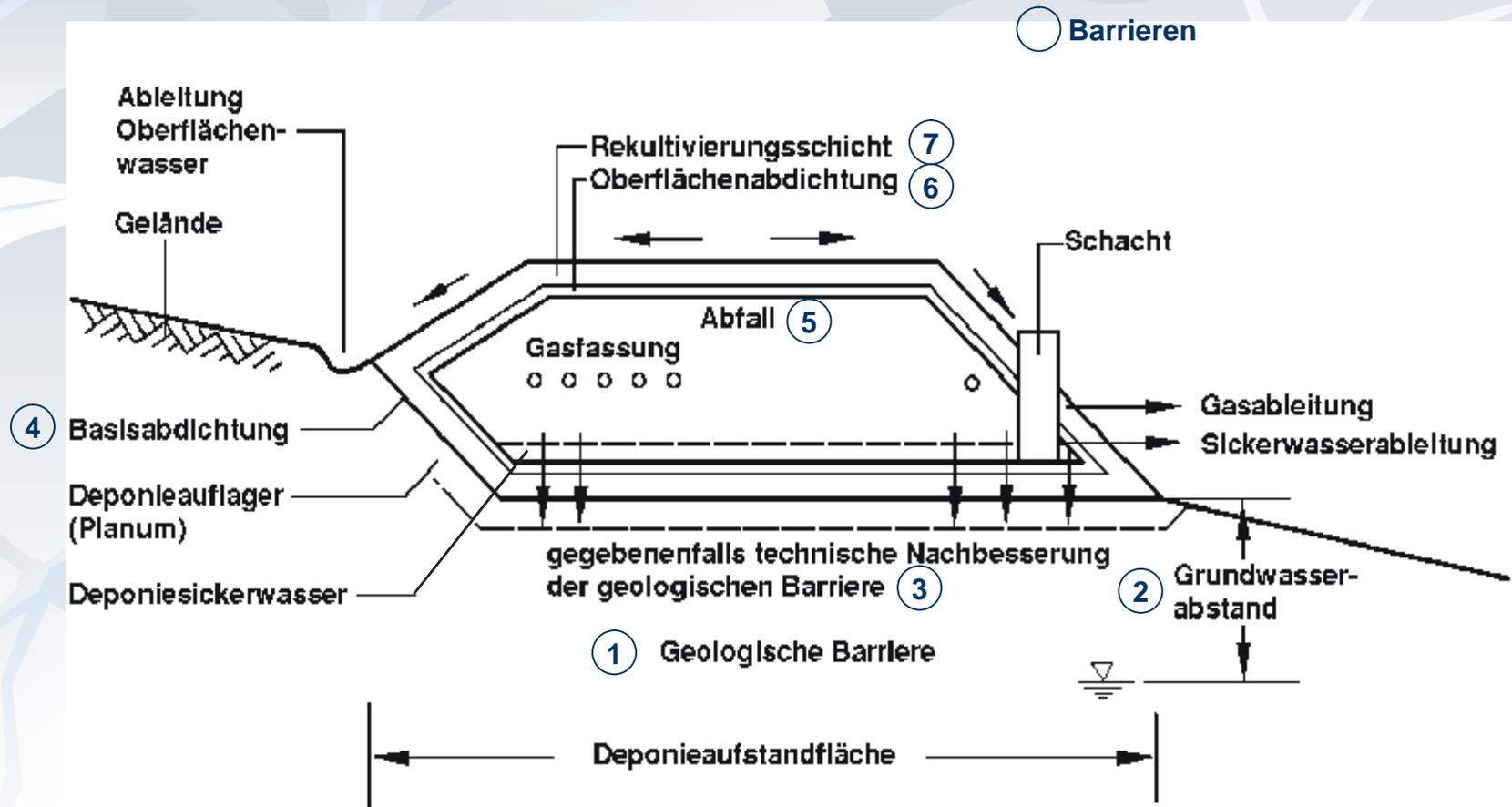


Bild D-34 Schematischer Aufbau eines Deponiekörpers [22].

# Zoneneinteilung einer Sanierungsbaustelle

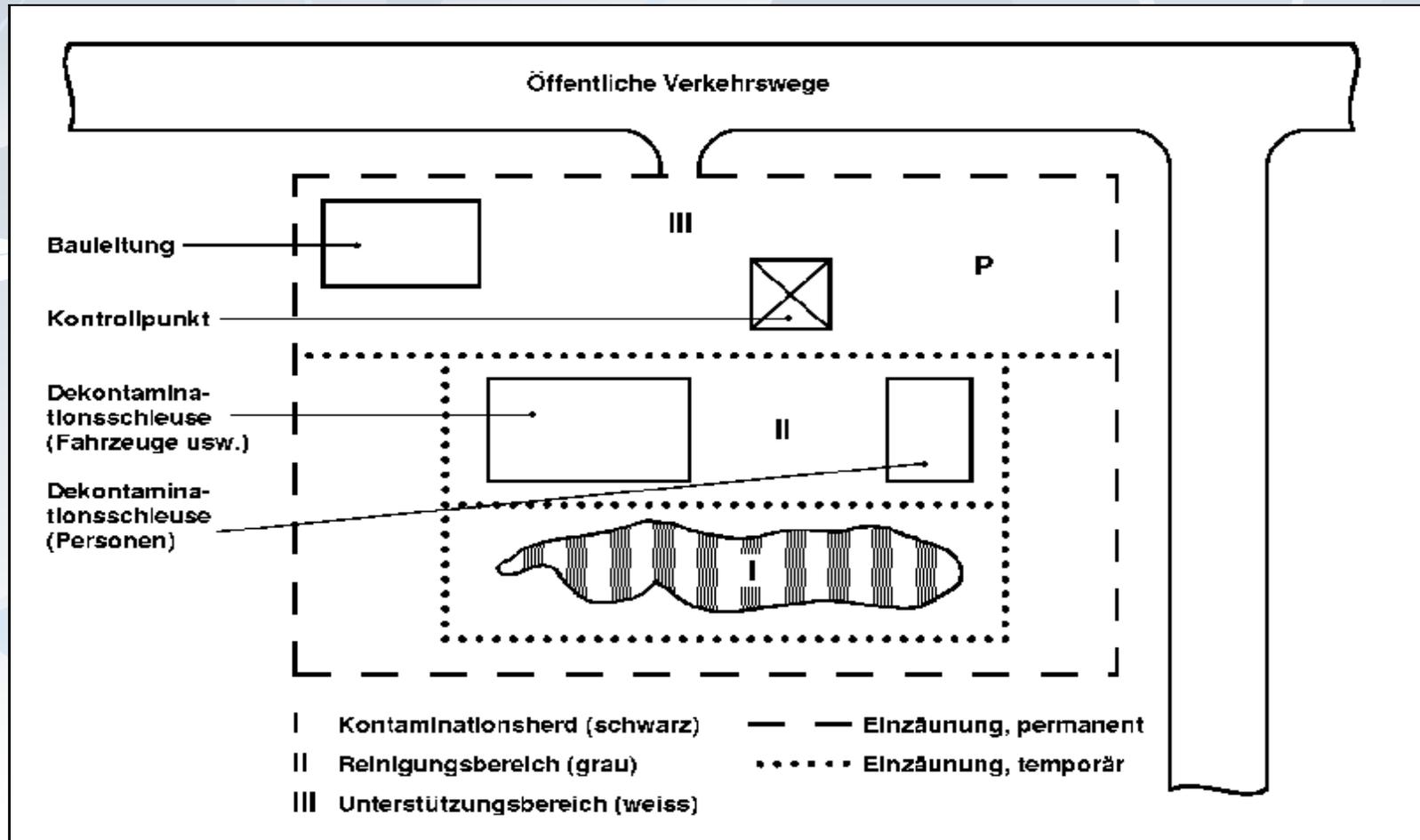


Bild E-Aufteilung der Arbeitszonen [2].

## Altlastenverdächtige Industriezweige

Industriezweige	beurteilungsrelevante Stoffe und Stoffgemische
Heizkraftwerk	Blei, Quecksilber, PAK, Uran, Phenol
Insektizide	Carbaryl, Pirimicarb, Aldicarb, Methomyl, Fenazox
Raffinerien, Altölraffinerien	MKW (Mineralöl-Kohlenwasserstoffe)
Eisenerzbergbau und -verhüttung	Giftgasstäube und -schlämme (Arsen, Blei, Cadmium, Cyanid, Quecksilber, Zink)
Aluminium-Produktion	Stäube (Aluminium, Aluminium-Fluorid, Natriumaluminiumfluorid, Natriumfluorid), Natronlauge
Wagon- und Schiffbauindustrie	FCKW, leicht flüchtige KW (Kohlenwasserstoffe)
Glasherstellung	Oxide (Arsen, Blei, Kobalt, Zirkonium), Flusssäure, Schwefelsäure, Quecksilber
Industrielle Tierhaltung	Masthilfsstoffe (Kupferverbindungen, Hormonpräparate, Antibiotika)
Waschmittelindustrie	verzweigt-kettige Alkylsulfonsäuren, Fettsäuren
Farben- und Leimindustrie	Benzinkohlenwasserstoffe, blei-, chrom- und kupferhaltige Farben, Epoxydharze, Formaldehyd, Phosphorsäure, Polyvinylacetat
Gaswerke / Kokereien	PAK, Cyanide, leichtflüchtige Kohlenwasserstoffe

**Tabelle A -** Einige altlastverdächtige Industriezweige in der ehemaligen DDR und mögliche beurteilungsrelevante Stoffe und Stoffgemische mit Stand von 1993 [6].

# Auswirkungen von Bodenverunreinigungen

- **Direkter Kontakt**  
Verschlucken oder Berühren des kontaminierten Bodens (Kinder)
- **Inhalation**  
Einatmen von giftigen Gasen und Stauben
- **Grundwasser**  
Versickerung der Schadstoffe und Vergiftung des Grund- und Trinkwassers
- **Oberflächenwasser**  
Verwehung, Versickerung oder Abschwemmung von Schadstoffen, Gefährdung des Ökosystems, Anreicherung in der Nahrungskette
- **Pflanzen**  
Schädigung der Vegetation, Ertrags- und Qualitätseinbußen
- **Nahrungs- und Futtermittel**  
Schädliche Anreicherungen in Nutzpflanzen, pflanzlichen und tierischen Produkten
- **Boden**  
Beeinträchtigung des Filter- und Transformationsvermögens z.B. durch Schädigung der Bodenorganismen
- **Bauwerke**  
Schäden durch Setzungen, Korrosion
- **Feuer / Explosion**  
Gefahren insbesondere durch Deponiegase

# Gefährdungspfade einer Altlast

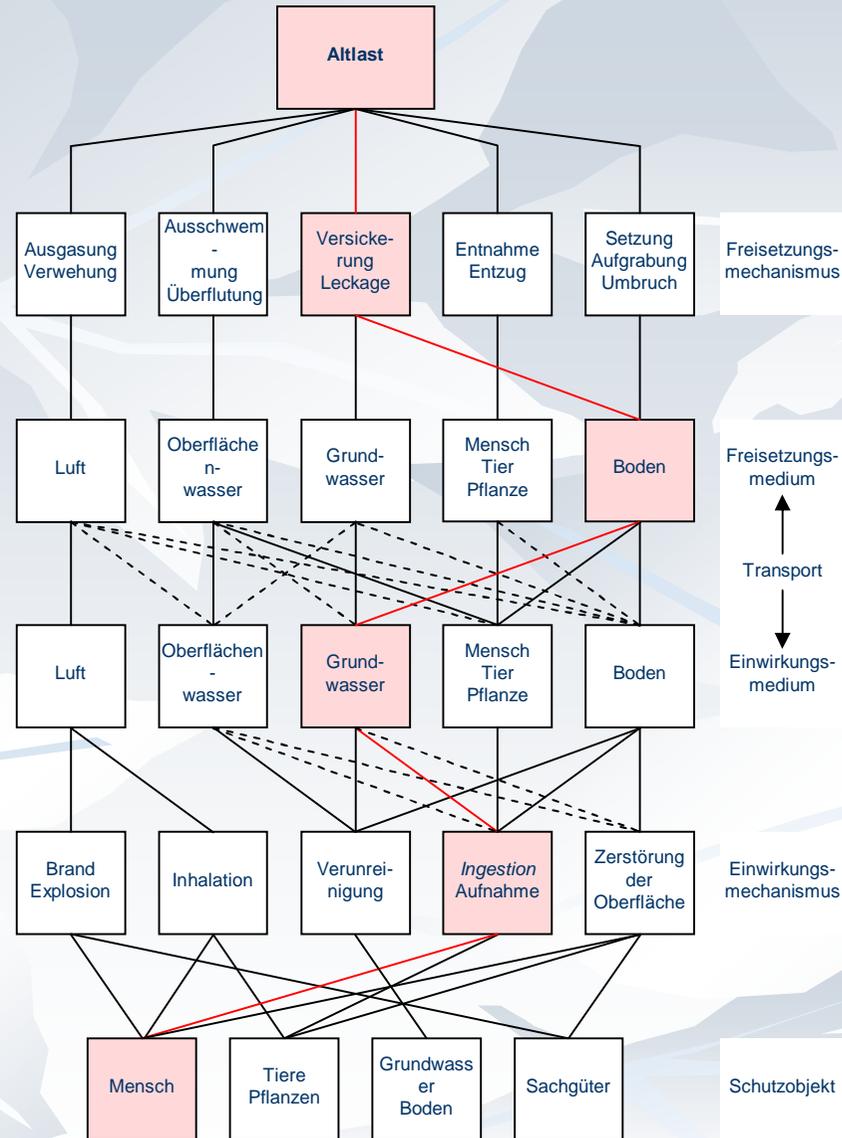


Bild A-2 Darstellung der möglichen Gefährdungspfade einer Altlast [8].

# Rechtliche Normen zur Altlastenthematik

- **Bundes-Bodenschutzgesetz**  
(BBodSchG, 1. März 1999)  
Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten. In diesem Gesetz sind die Begriffsbestimmungen für den Bereich der Altlasten sowie Regelungen über die Vorsorgepflicht gegen schädliche Bodenveränderungen enthalten. Außerdem werden die Pflichten zur Gefahrenabwehr und Sanierung schädlicher Bodenveränderungen beschrieben. Darüber hinaus werden Aussagen über Rechtspflichten zur Gefahrenermittlung und Gefahrenabwehr einschließlich Sanierungsplanung, behördlicher Überwachung, Eigenkontrolle, Mitwirkungspflichten und Kostenregelungen getroffen.
- **Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung**  
(BBodSchV, 16. Juli 1999)  
Untergesetzliches Regelwerk zum Bundes-Bodenschutzgesetz. In dieser Verordnung sind unter anderem konkrete Vorschriften und Bodenwerte (Vorsorgewerte, Prüf- und Maßnahmewerte) festgelegt. Die Verordnung gilt für die Untersuchung von Verdachtsflächen, altlastverdächtigen Flächen, schädlichen Bodenveränderungen und Altlasten sowie für die Anforderungen an die Probenahme, Analytik und Qualitätssicherung.
- **Umweltinformationsgesetz**  
(8. Juli 1994)  
Zweck dieses Gesetzes ist es, den freien Zugang zu den bei den Behörden vorhanden Informationen über die Umwelt sowie die Verbreitung dieser Informationen zu gewährleisten und die grundlegenden Voraussetzungen festzulegen, unter denen derartige Informationen zugänglich gemacht werden sollen.
- **Abfallgesetz**  
(AbfG, 27. September 1994)  
Gesetz, zur Förderung der Kreislaufwirtschaft zur Schonung der natürlichen Ressourcen und die Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen.
- **Wasserhaushaltsgesetz**  
(WHG, 12. November 1996)  
Rahmengesetz des Bundes für oberirdische Gewässer, Küstengewässer und für das Grundwasser. Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushaltes.
- **Bundes-Immissionsschutzgesetz**  
(BImSchG, 14. Mai 1990)  
Bundesgesetz, das Mensch und Umwelt insbesondere vor den Gefahren schützen soll, die von Anlagen ausgehen. Daneben enthält es Regelungen zur Überwachung der Luftqualität, zu Luftreinhalteplänen und Lärminderungsplänen.
- **Chemikaliengesetz**  
(ChemG, 16. September 1980)  
Gesetz zum Schutz vor gefährlichen Stoffen.
- **Bundesberggesetz**  
(BBergG, 13. August 1980)  
Das BBergG dient der Sicherung der Rohstoffversorgung, das Aufsuchen, Gewinnen und Aufbereiten von Bodenschätzen unter Berücksichtigung ihrer Standortgegebenheit und des Lagerstättenschutzes bei sparsamen und schonendem Umgang mit Grund und Boden zu ordnen und zu fördern.

# Technische Empfehlungen und Regelwerke

- **Holländische Liste**

Dieses holl. Regelwerk definiert Richtwerte von Konzentrationen die die chemischen Eigenschaften unterschiedlich kontaminierter Böden beschreiben und drei Kategorien unterscheiden.

- **Berliner Liste**

Die Beurteilungskriterien sind in zwei Teile unterteilt. Der 1. Teil umfasst die Auflistung von Eingriffswerten zur Sanierung kontaminierter Standorte für Boden und Grundwasser; der 2. Teil umfasst Einbauwerte für gereinigte Böden und Einleitwerte für die direkte Einleitung von gereinigtem Grundwasser in den Untergrund (Reinfiltration).

- **LAGA-Merkblätter**

Die Landesarbeitsgemeinschaft Abfall hat für viele Themen im Zusammenhang mit der Behandlung von Abfall und Kontaminationen Merkblätter herausgegeben.

- **Gefahrstoffverordnung**

Sie stammt aus dem Bereich der chemischen Industrie und beschreibt die Gefährdung, die von der Wirkung von Chemikalien ausgeht.

- **GDA-Empfehlungen**

Die Empfehlungen „Geotechnik der Deponien und Altlasten“ sind vom Arbeitskreis „Geotechnik der Deponiebauwerke“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik erarbeitet worden.

# Ablauf einer Altlastenuntersuchung

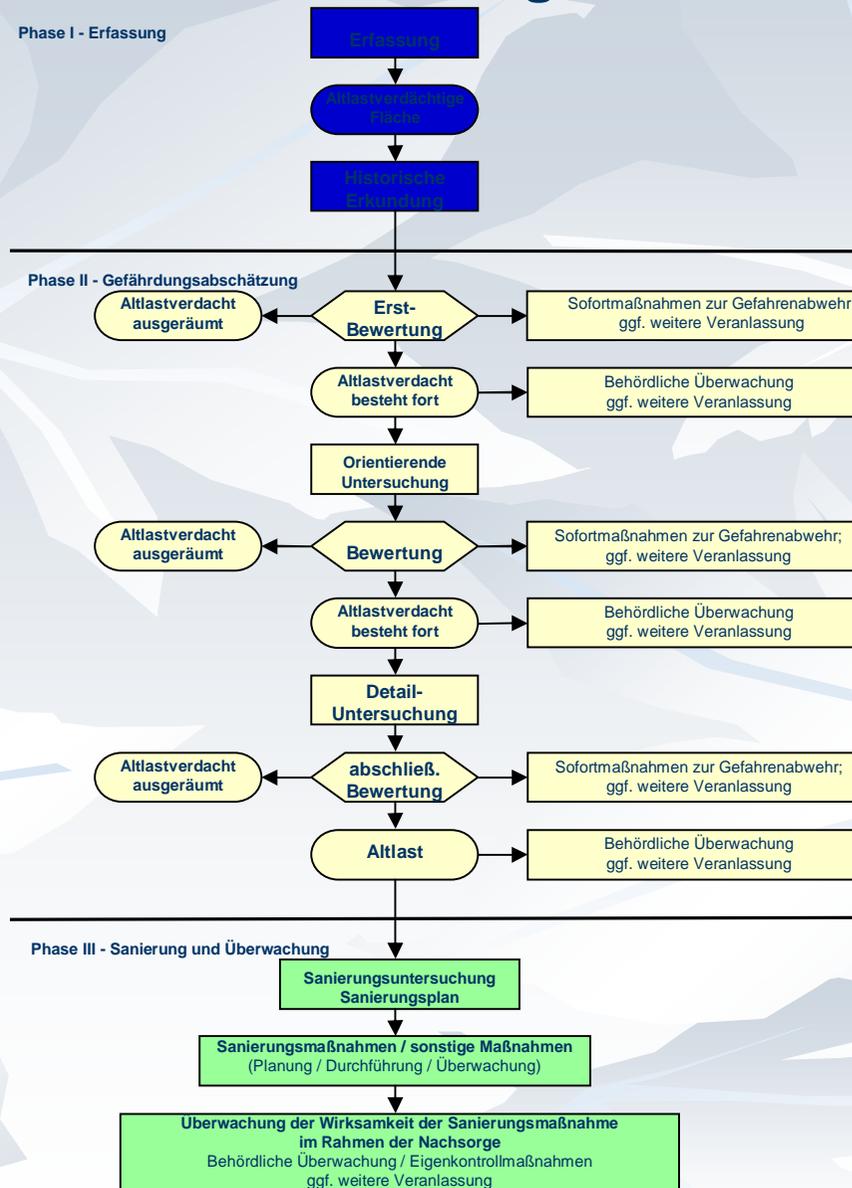
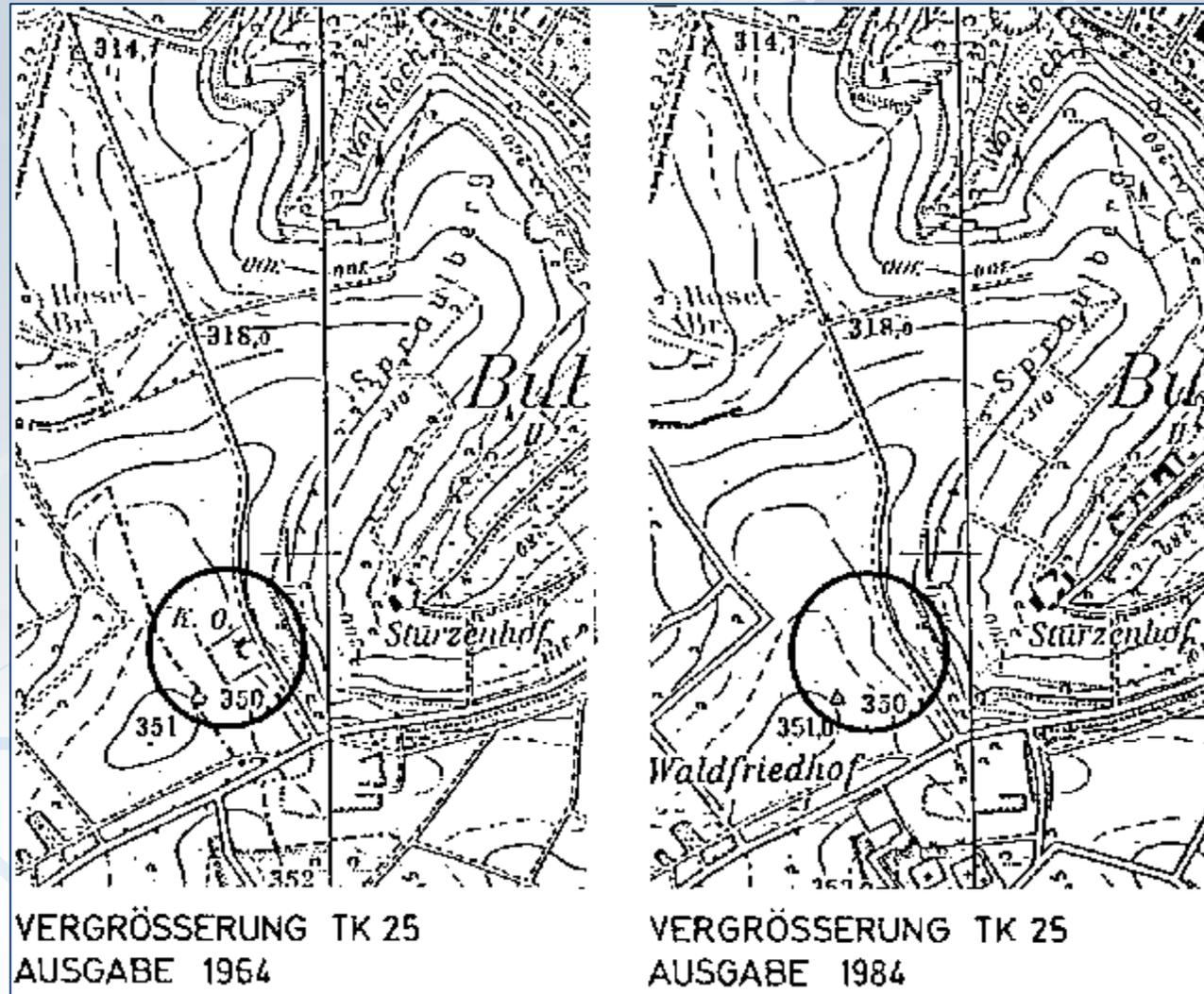


Bild B-1 Schematische Darstellung der Vorgehensweise einer Altlastenbehandlung [5].

## Beispiel: Erfassung durch Kartenvergleich



**Bild B-2** Beispiel für die Erfassung durch Kartenvergleich. Auf der topographischen Karte TK 25 von 1964 ist eine Lehmgrube zu erkennen, welche auf der Ausgabe von 1984 nicht mehr vorhanden ist. Nach [12] besteht hier der Verdacht einer nicht genehmigten Verfüllung [12].

# Branchenspezifische Leitparameter (anorg. Stoffe)

Branchenspezifische Leitparameter (Anorganische Stoffe)	Sb	As	Ba	Be	Pb	B	Co	Cr	Ca	Cu	Mn	Ni	Hg	Se	Ti	V	Zn	Sn	Cd
Abfallverwertung (z.B. Schrott, Altreifen, Altöl)					•		•	•		•		•					•		
Aufarbeitung von organischen Lösungsmitteln, Chemikalien																			
Bauschuttdeponien		•			•	•		•		•							•		
Chemische Reinigungen																			
Eisen- und Stahlherstellung sowie Metallgießereien		•			•		•	•		•	•	•	•			•	•	•	•
Elektrotechnik und Halbleiterbauelemente	•	•	•		•	•	•	•	•	•		•	•	•	•		•	•	•
Erzeugung und Verarbeitung von Leder		•	•		•	•	•	•					•				•		
Galvanik, Oberflächenveredelung, Hartung von Metallen	•	•			•	•	•	•		•	•	•	•	•			•	•	•
Gaserzeugung / Kokereien		•																	•
Hausmülldeponien		•	•		•	•	•	•		•		•					•		•
Herstellung und Verarbeitung von Glas und Keramik	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		•	•		•
Herstellung und Verarbeitung von Textilien		•			•	•	•	•		•							•	•	•
Herstellung und Verarbeitung von Zellstoff, Papier, Pappen					•		•	•									•		
Herstellung von anorganischen Grundstoffen / Chemikalien	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Herstellung von Batterien, Akkumulatoren	•	•			•		•	•		•		•	•	•			•		
Herstellung von Farben und Lacken	•	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Herstellung von Handelsdünger		•					•			•					•				
Herstellung von Kunststoffen					•	•	•	•				•		•			•	•	•
Herstellung von org. Grundstoffen, Chem. und Pharmazeutika		•			•		•	•		•		•	•				•	•	
Herstellung von Pflanzenschutzmitteln (PSM)		•			•	•		•		•			•	•	•		•	•	•
Herstellung von >Speiseölen und Nahrungsfetten			•					•				•					•		
Holzbe- und -verarbeitung, Holzimprägnierung		•				•		•		•		•	•				•		
Maschinenbau					•			•		•		•					•		•
Militärische Liegenschaften		•			•			•									•		•
Mineralölverarbeitung / Mineralöllagerung (incl. Altöl)		•			•			•		•		•		•		•	•		•
NE-Metallerzbergbau, -hütten und -schmelzwerke	•	•		•	•		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Sonderabfalldeponien		•			•		•	•		•		•	•				•		•
Tankstellen					•														
Tierkörperbeseitigung, Tierkörperverwertung																			
Verarbeitung von Gummi, Kunststoffen und Asbest	•				•		•	•		•		•	•	•					•

Tabelle B-1 Zusammenstellung branchenspezifischer Leitparameter bezüglich anorganischer Stoffe [19].

# Branchenspezifische Leitparameter (org. Stoffe)

Branchenspezifische Leitparameter (Organische Stoffe)	PAK	LHKW	PSM	PCB	MRW	STX	Phenole	Chlor-phenole	Chlor-benzole	Hetero-cyclen	Nitro-aromate	PCDD/F	PCDF/PID
Abfallverwertung (z.B. Schrott, Altreifen, Altöl)	•	•		•	•	•							
Aufarbeitung von organischen Lösungsmitteln, Chemikalien	•	•	•		•	•	•			•	•	•	•
Bauschuttdeponien	•												
Chemische Reinigungen		•				•							
Eisen- und Stahlherstellung sowie Metallgießereien	•				•	•	•						
Elektrotechnik und Halbleiterbauelemente		•		•	•	•							•
Erzeugung und Verarbeitung von Leder	•	•	•		•	•	•	•					
Galvanik, Oberflächenveredelung, Hartung von Metallen		•			•	•							
Gaserzeugung / Kokereien	•				•	•	•			•			
Hausmülldeponien	•	•	•	•	•	•	•	•	•				•
Herstellung und Verarbeitung von Glas und Keramik		•			•	•							
Herstellung und Verarbeitung von Textilien		•	•		•	•	•	•	•		•		•
Herstellung und Verarbeitung von Zellstoff, Papier, Pappen	•	•	•	•	•	•		•	•				
Herstellung von anorganischen Grundstoffen / Chemikalien		•	•					•			•		
Herstellung von Batterien, Akkumulatoren		•				•							
Herstellung von Farben und Lacken	•	•		•	•	•	•	•	•	•	•		•
Herstellung von Handelsdünger							•						
Herstellung von Kunststoffen	•	•			•	•	•				•		•
Herstellung von org. Grundstoffen, Chem. und Pharmazeutika	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
Herstellung von Pflanzenschutzmitteln (PSM)	•	•	•			•	•	•	•	•	•	•	•
Herstellung von >Speiseölen und Nahrungsfetten	•	•			•	•							
Holzbe- und -verarbeitung, Holzimprägnierung	•	•	•	•	•	•	•	•				•	•
Maschinenbau	•	•		•	•	•							
Militärische Liegenschaften	•	•	•	•	•	•					•		
Mineralölverarbeitung / Mineralöllagerung (incl. Altöl)	•	•		•	•	•	•	•				•	•
NE-Metallerzbergbau, -hütten und -schmelzwerke		•			•		•						
Sonderabfalldeponien	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		•	•
Tankstellen	•	•		•	•	•							
Tierkörperbeseitigung, Tierkörperverwertung		•			•	•				•			
Verarbeitung von Gummi, Kunststoffen und Asbest	•	•		•	•	•	•		•		•		

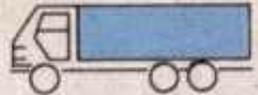
Tabelle B-2 Zusammenstellung branchenspezifischer Leitparameter bezüglich organischer Stoffe [19].



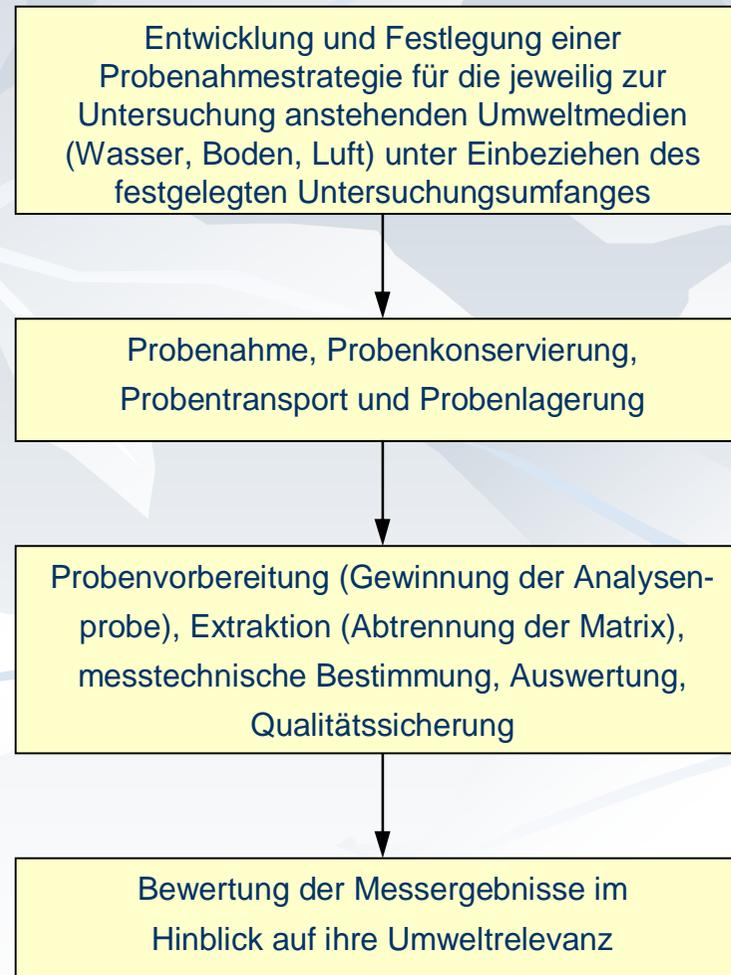
# Maßeinheiten der chemischen Analytik

## Die Analytik läßt tief blicken

Beispiel: Ein Zuckerwürfel, aufgelöst in: bringt eine Konzentration von:

				1
	0,27 Liter	1 Prozent = 1 Teil von hundert Teilen	10 Gramm pro Kilogramm	10 g/kg
	2,7 Liter	1 Promille = 1 Teil von tausend Teilen	1 Gramm pro Kilogramm	1 g/kg
	2700 Liter	1 ppm (part per million) = 1 Teil von 1 Million Teile	1 Milligramm pro Kilogramm	0,001 g/kg (10 <sup>-3</sup> )
	2,7 Millionen Liter	1 ppb (part per billion) = 1 Teil von 1 Milliarde Teile (b = billion, amerik. für Milliarde)	1 Mikrogramm pro Kilogramm	0,000 001 g/kg (10 <sup>-6</sup> )
	Talsperre 2,7 Milliarden Liter	1 ppt (part per trillion) = 1 Teil von 1 Billion Teile (t = trillion, amerik. für Billion)	1 Nanogramm pro Kilogramm	0,000 000 001 g/kg (10 <sup>-9</sup> )
	See 2,7 Billionen Liter	1 ppq (part per quadrillion) = 1 Teil von 1 Billiarde Teile quadrillion, amerik. für Billiarde)	1 Picogramm pro Kilogramm	0,000 000 000 001 g/kg (10 <sup>-12</sup> )

# Arbeitsablauf bei Probennahme und Analytik

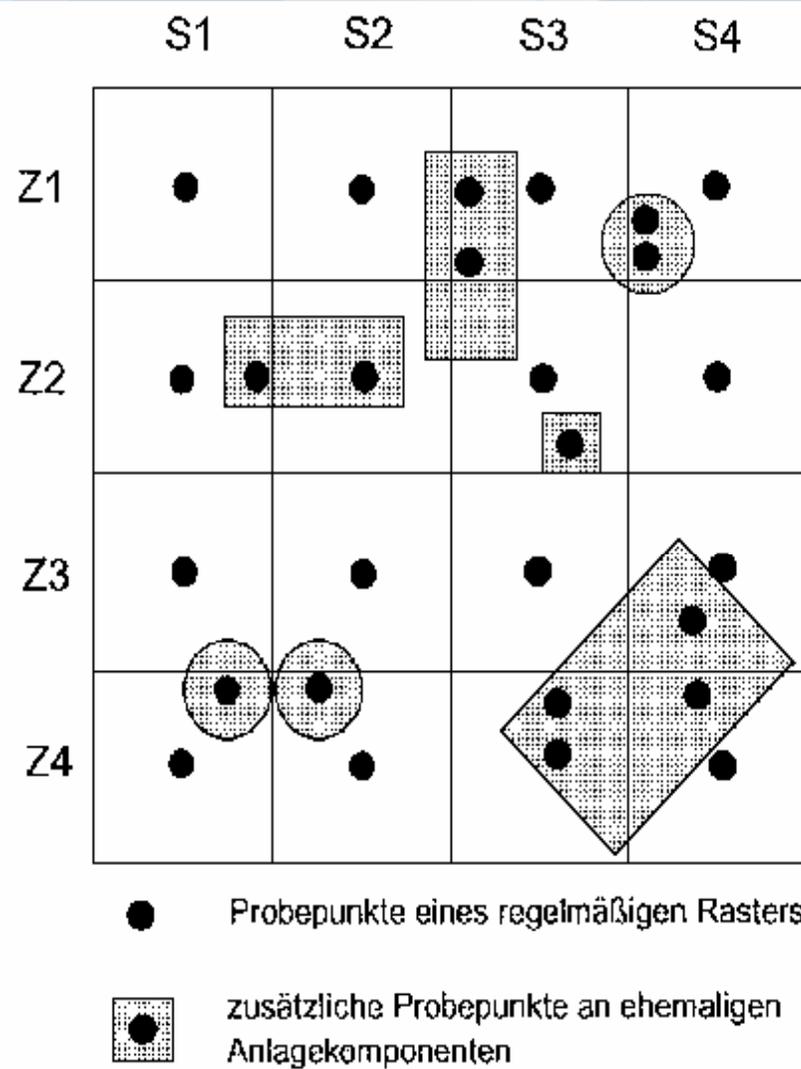


**Bild C-6** Schematische Darstellung des Arbeitsablaufes bei Probennahme und Analytik [1].

## Arten der Probennahme

- Entnahme im Oberboden- bzw. oberflächennahen Profilbereich,
- Feststoff- / Bodenentnahme im vorhandenen Verfüllungsbereich,
- Feststoff- / Bodenentnahme über den Verfüllungsbereich hinaus,
- Feststoff- / Bodenentnahme bis zur Grundwasseroberfläche,
- Feststoff- / Bodenentnahme im gesättigten Bereich des Grundwasserleiters,
- Entnahme von Bodenluftproben aus gezielten Tiefenbereichen,
- Entnahme von Luftproben unmittelbar an der Bodenoberfläche und
- Entnahme von Grundwasser.

# Beprobungsraster



**Bild C-7** Probestpunktanordnung (regelmäßiges Raster) unter Einbeziehung kontaminationsverdächtiger Anlagekomponenten [1].

# Analysenschema für Feststoffe

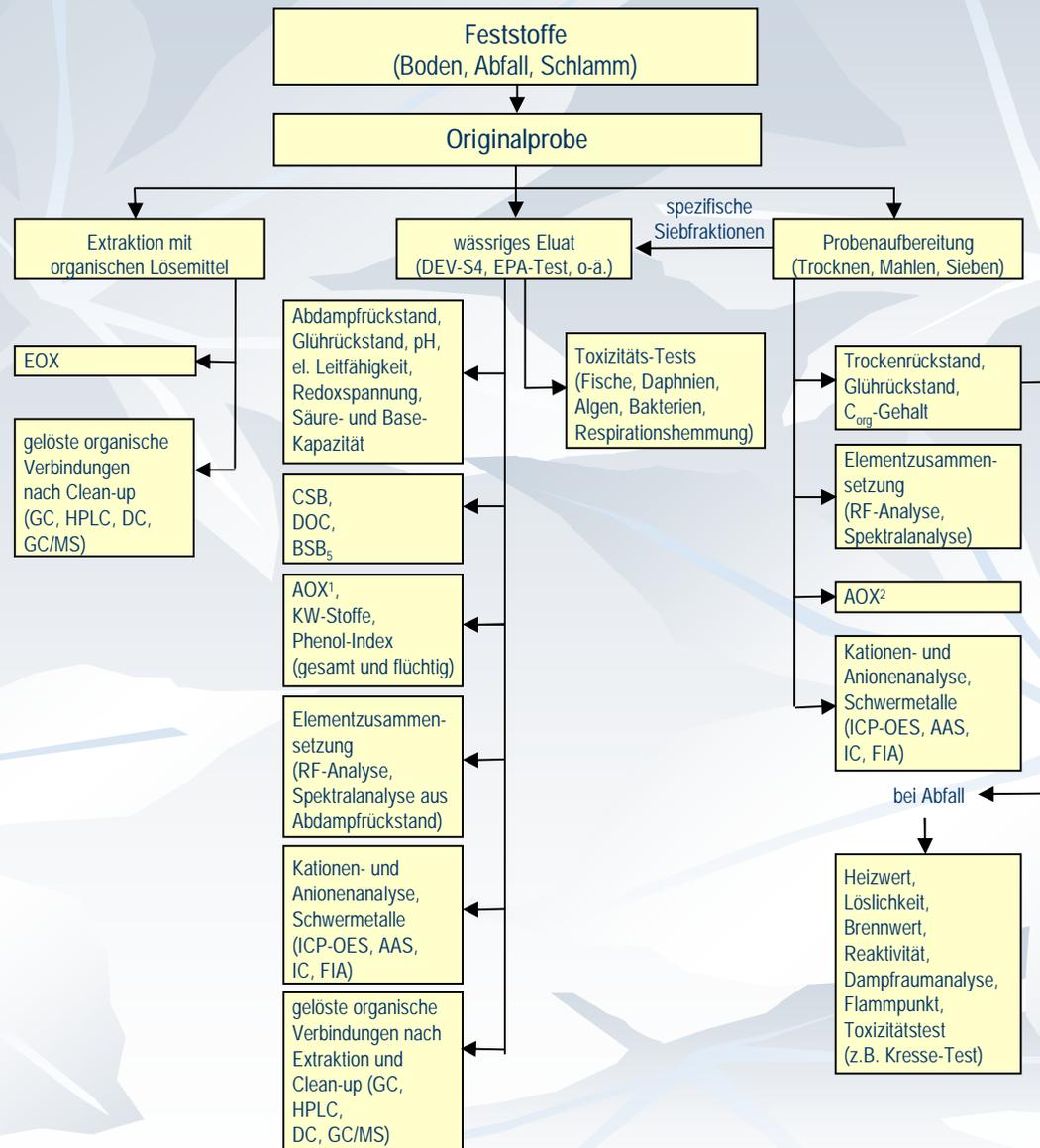


Bild C-8 Analysenschema für Feststoffe [1].

# Analysenschema für Wasser

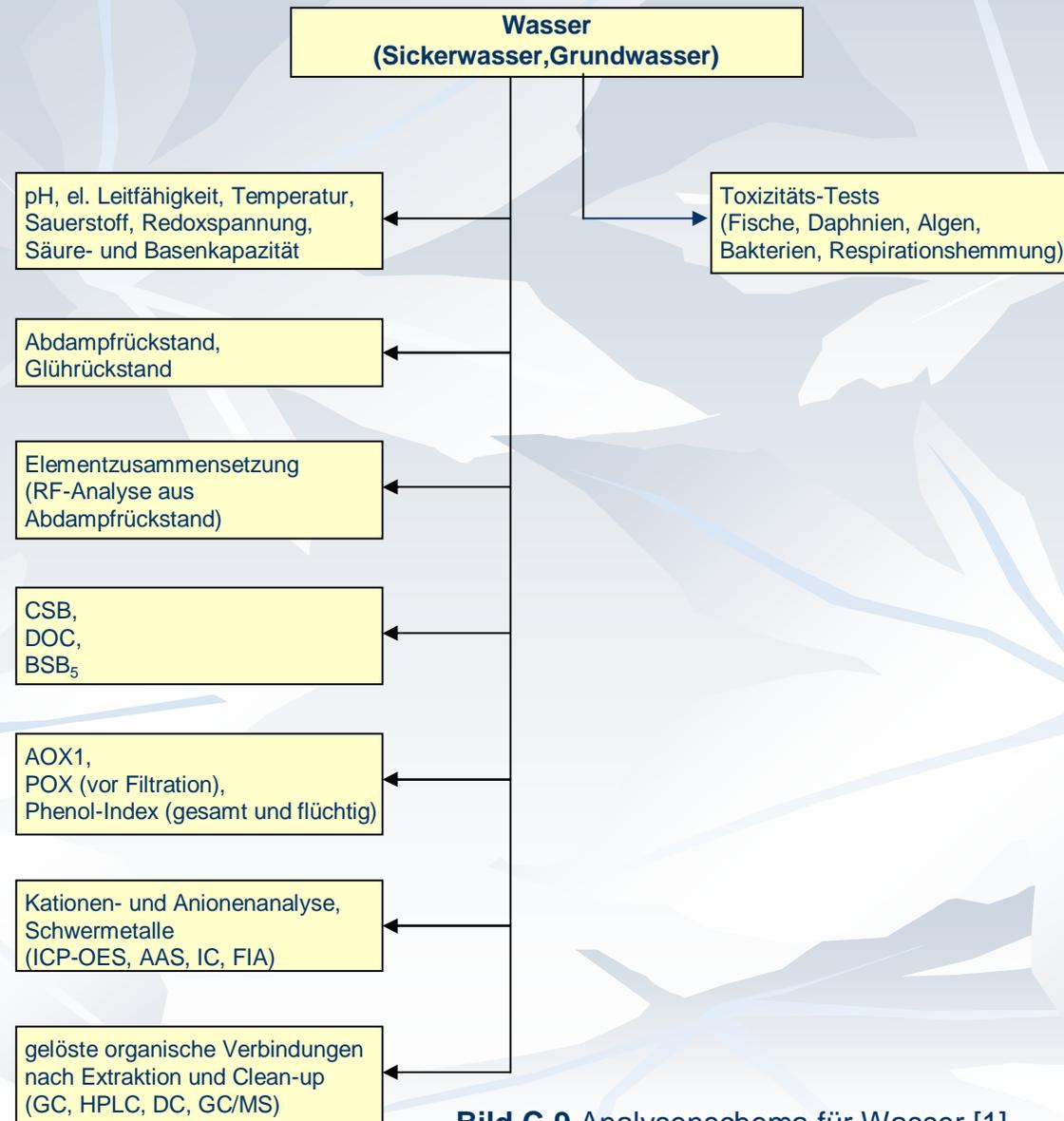


Bild C-9 Analysenschema für Wasser [1].

# Analysenschema für flüssige Abfallstoffe

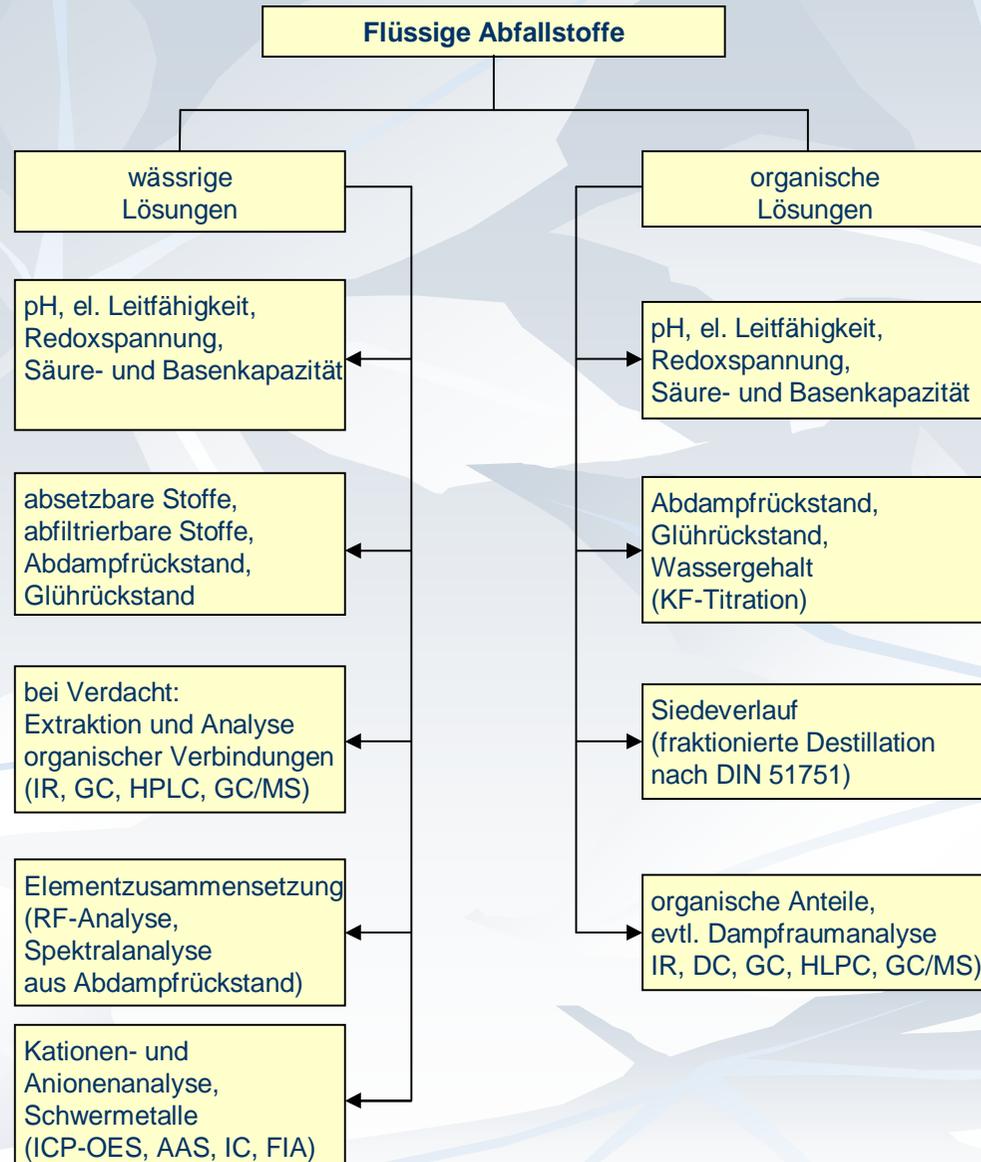


Bild C-10 Analysenschema für flüssige Abfallstoffe [1].

# Analyseschema für Bodengase

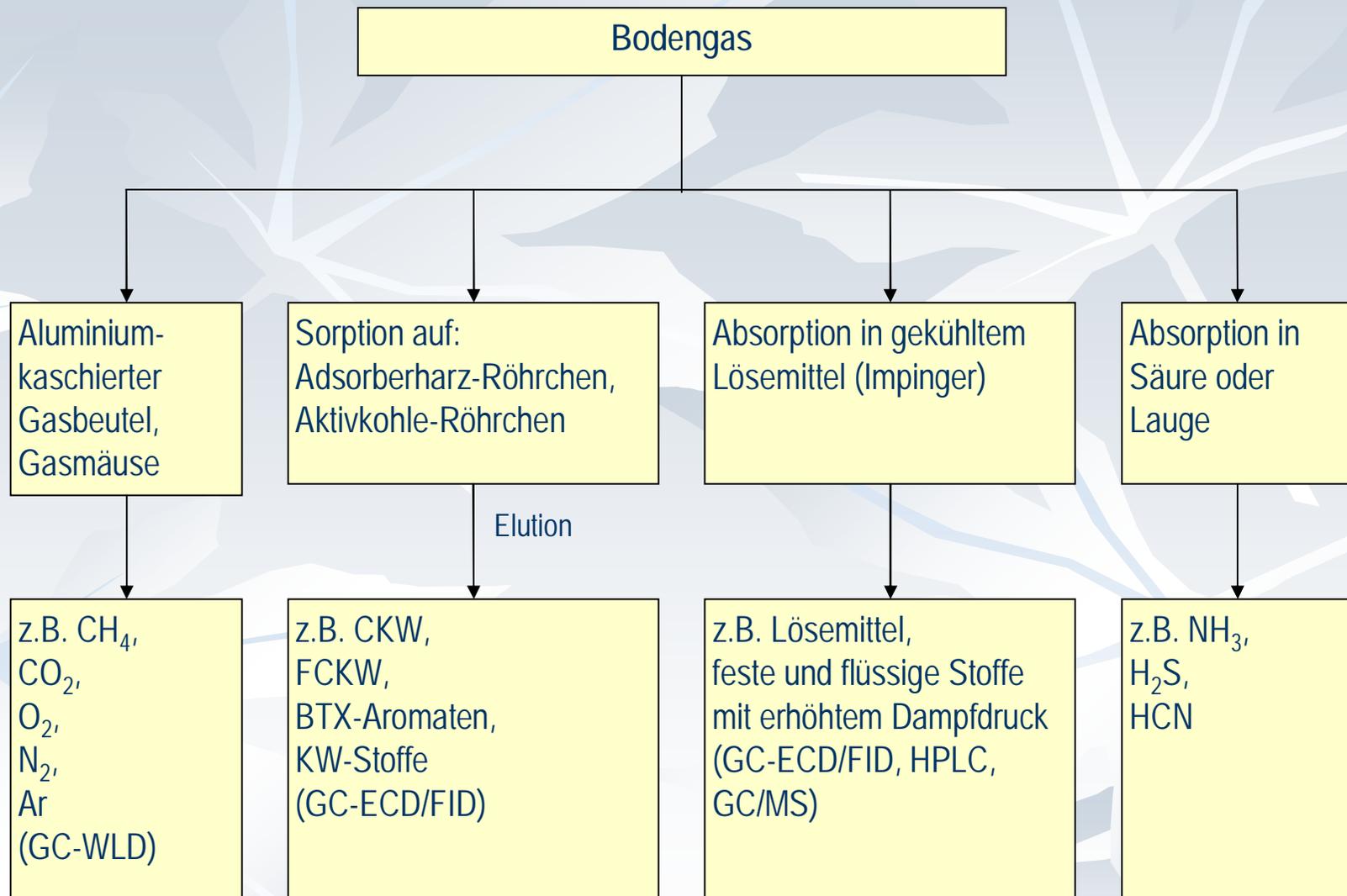


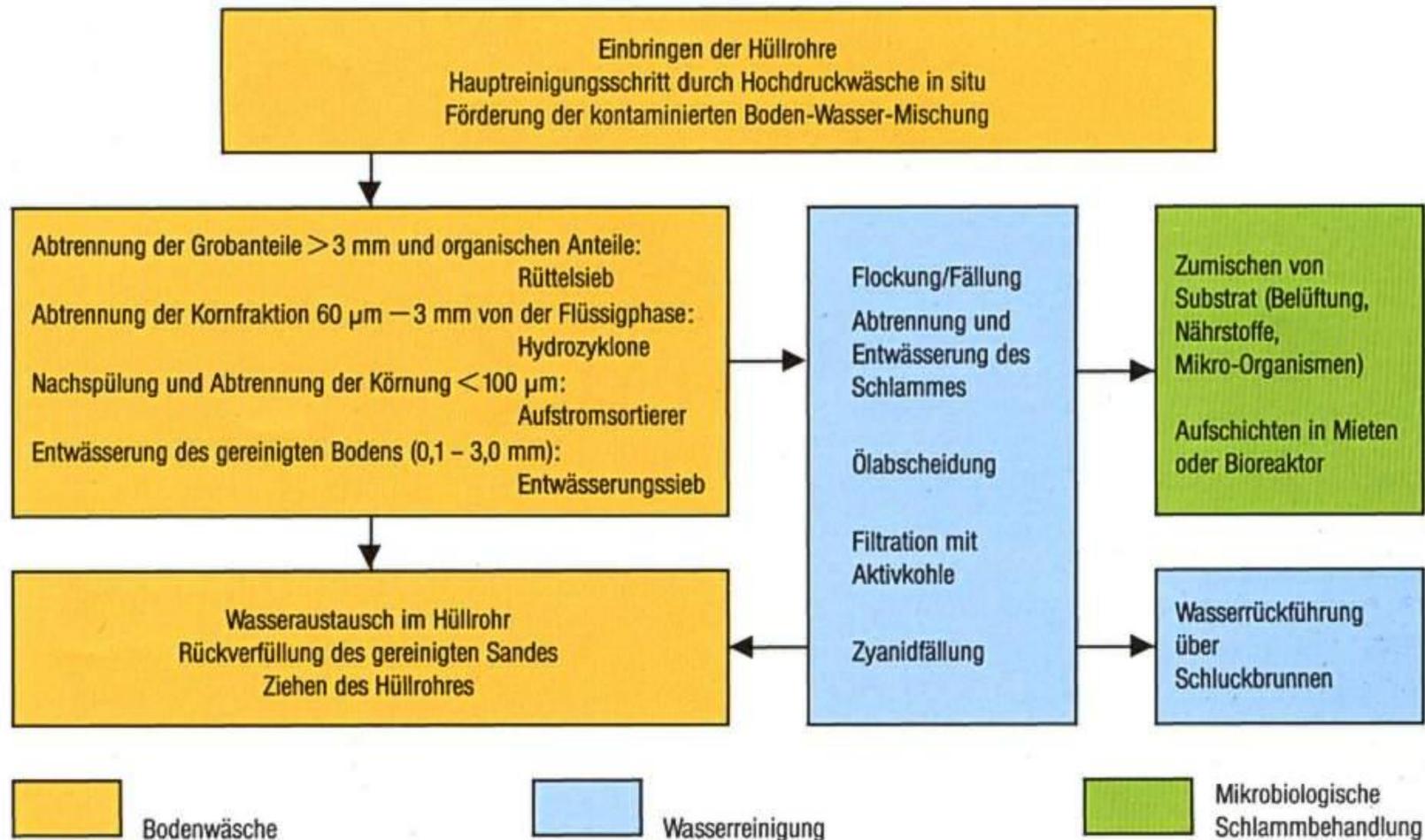
Bild C-11 Analyseschema für Bodengase [1].

## Kriterien der Verfahrensauswahl

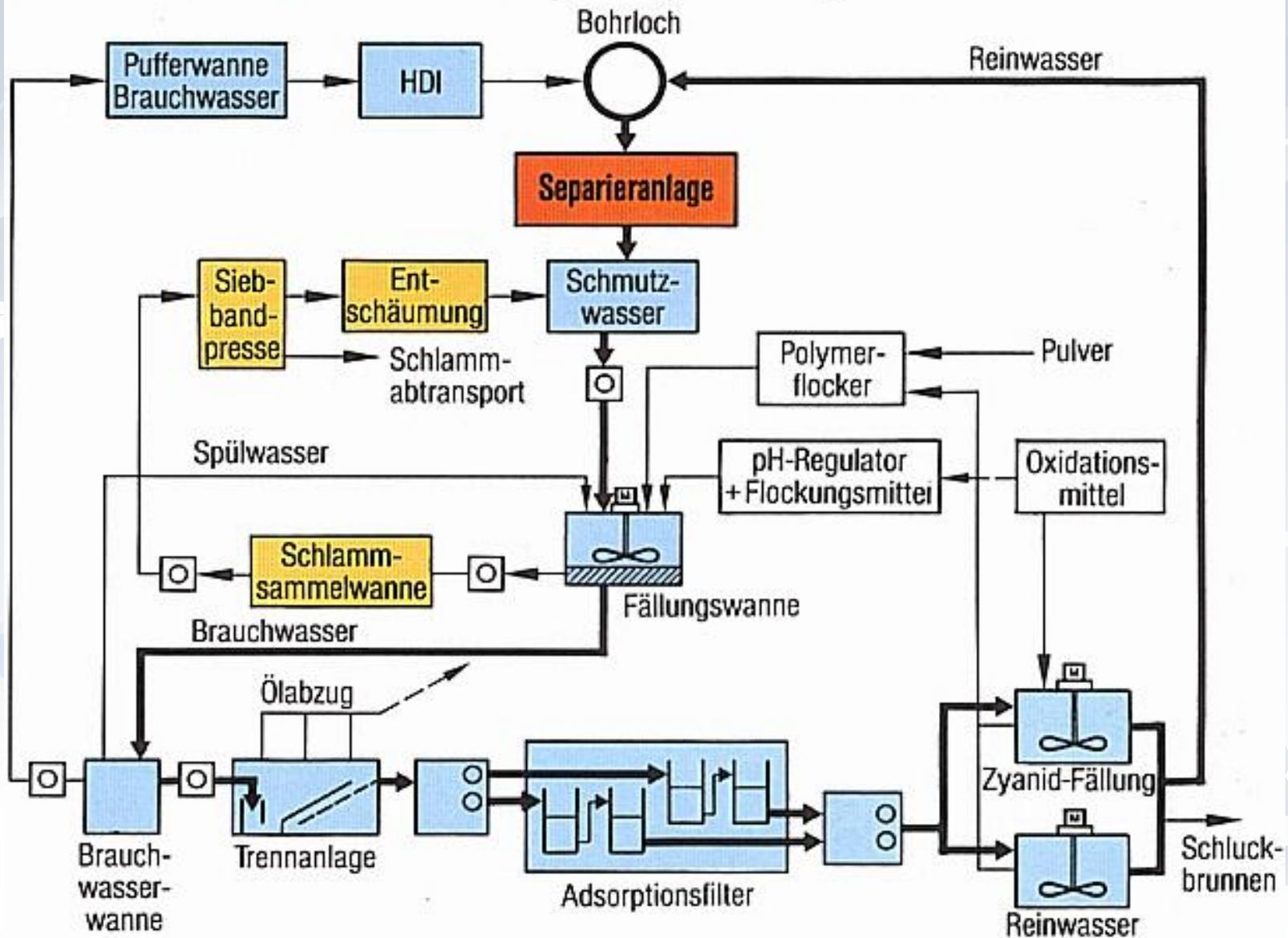
- ökologische Wirksamkeit
- technische Machbarkeit
- Anwendungssicherheit / Zuverlässigkeit
- Verbleib von Reststoffen / Konzentraten
- zeitliche Durchführbarkeit
- mögliche Nebenwirkungen
- Beeinflussung Dritter
- Kontrollierbarkeit
- erforderliche Genehmigungsverfahren
- Verhältnismäßigkeit der Mittel



# Gesamtablauf der in-situ-Bodenwäsche



# Modulare Wasserreinigungsanlage



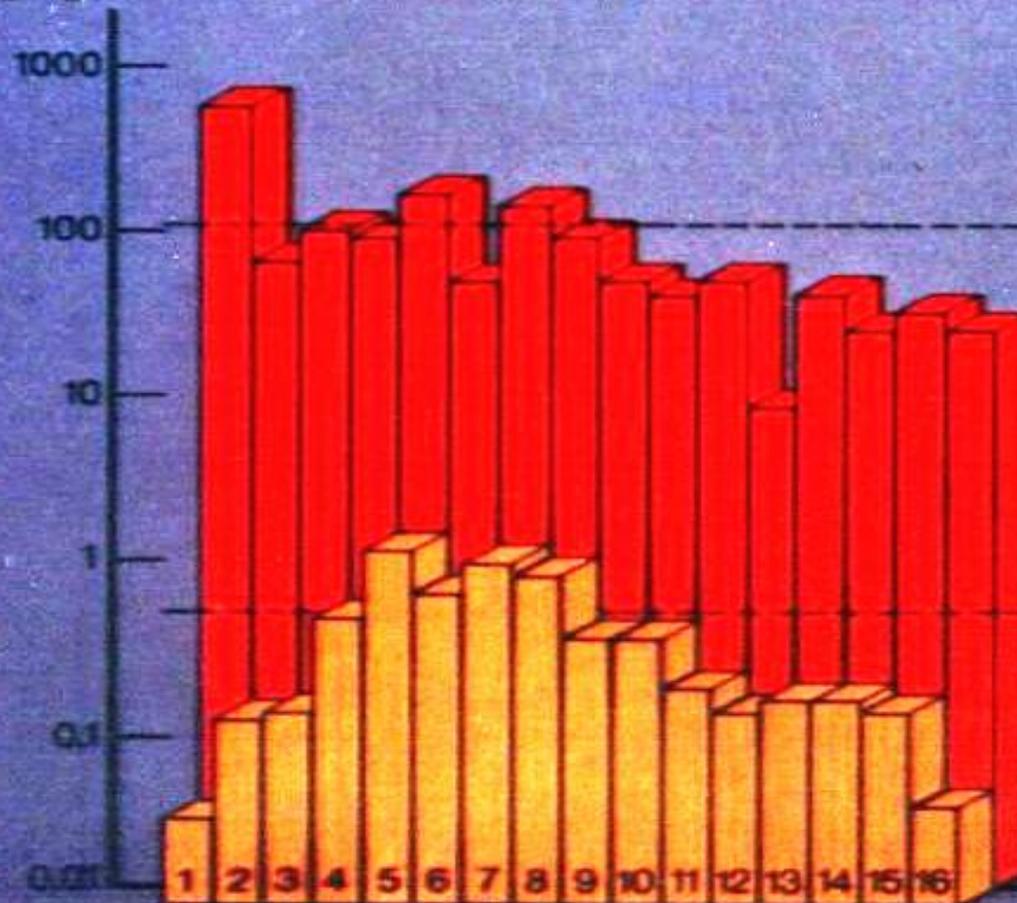
# Reinigungserfolg für die Einzel-PAK (EPA)

Durchschnittliche Abminderung  
der Verunreinigung um 99,6%  
nach der Wäsche

Sdp. [C°]

1	Naphtalin	218
2	Acenaphthylen	260
3	Acenaphten	277
4	Fluoren	294
5	Phenanthren	340
6	Antracen	342
7	Fluoranthen	384
8	Pyren	404
9	Benzantracen	
10	Chrysen	448
11	Benzo(a)pyren	311
12	Dibenz(a)anthracen	
13	Benzo(b)fluoranthen	
14	Benzo(k)fluoranthen	
15	Indeno(1,2,3-c,d)pyren	
16	Benzperylen	

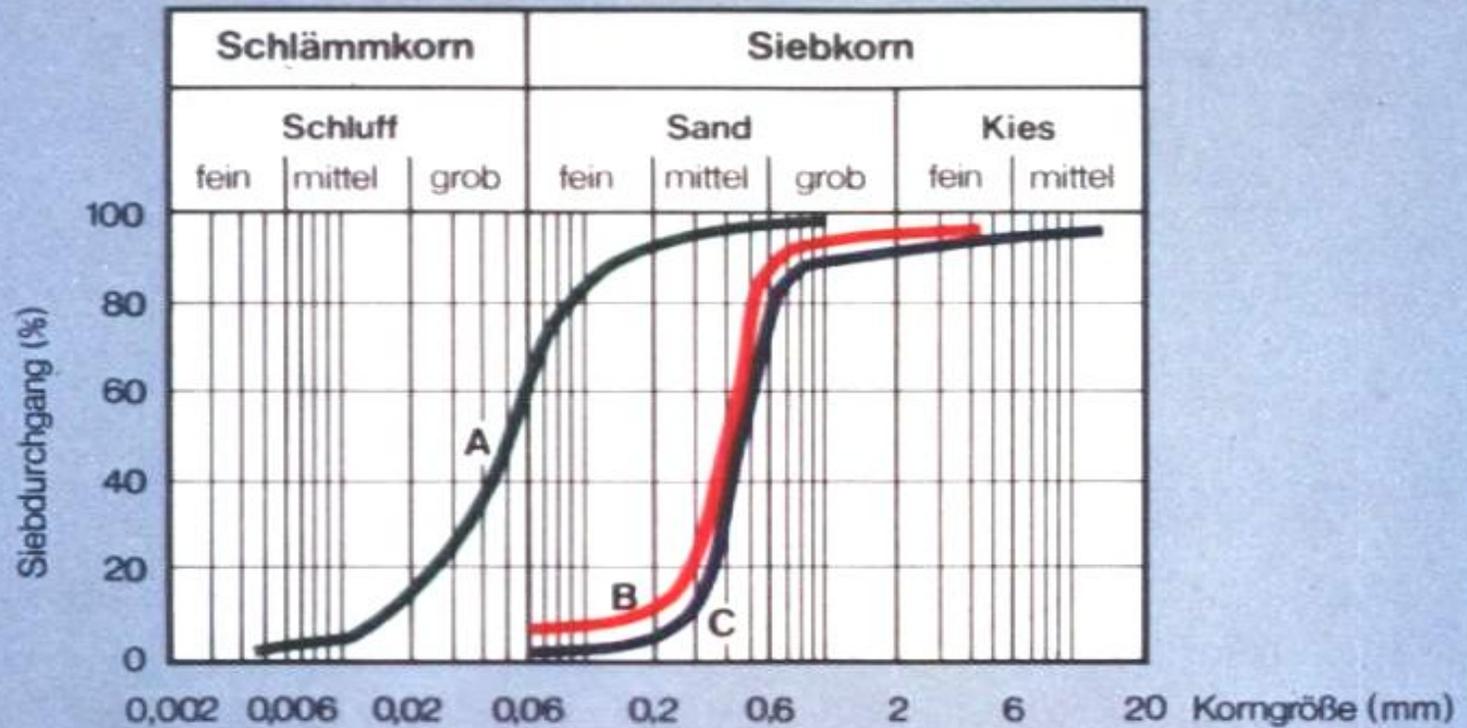
PAK-Konzentration  
mg/kg TS



99,6%

Anteile der 16 PAK (EPA)

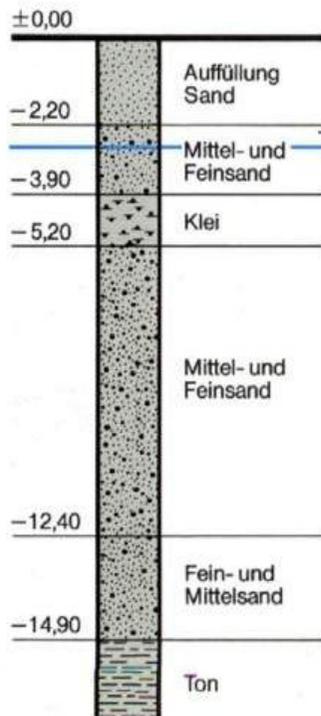
# Korngrößenverteilung vor und nach der Hochdruckbodenwäsche



Linie	Bodenart	Anteil Feststoff (Gew.-%)
A ———	gU, s Spülgut	14,2
B ———	Ausgangsboden	
C ———	B nach Spülung	

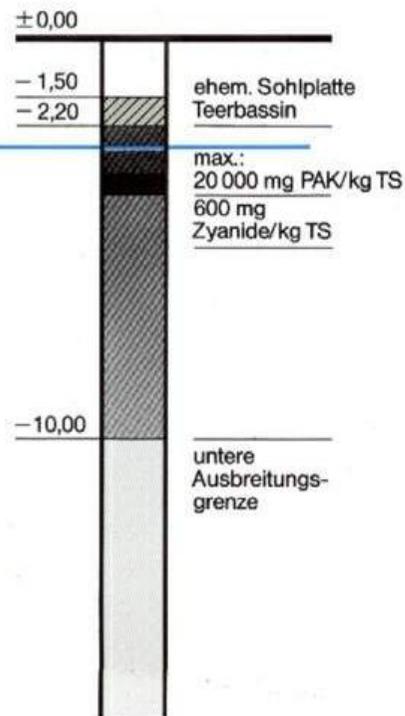
# Bodenverhältnisse

## Bodenprofil



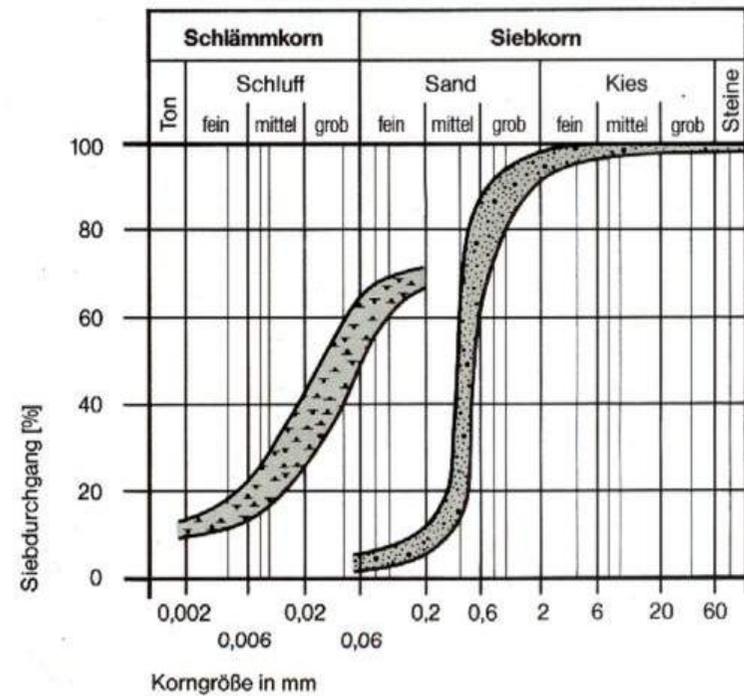
## Kontamination

### PAK und Zyanide



## Typische Körnungsbänder

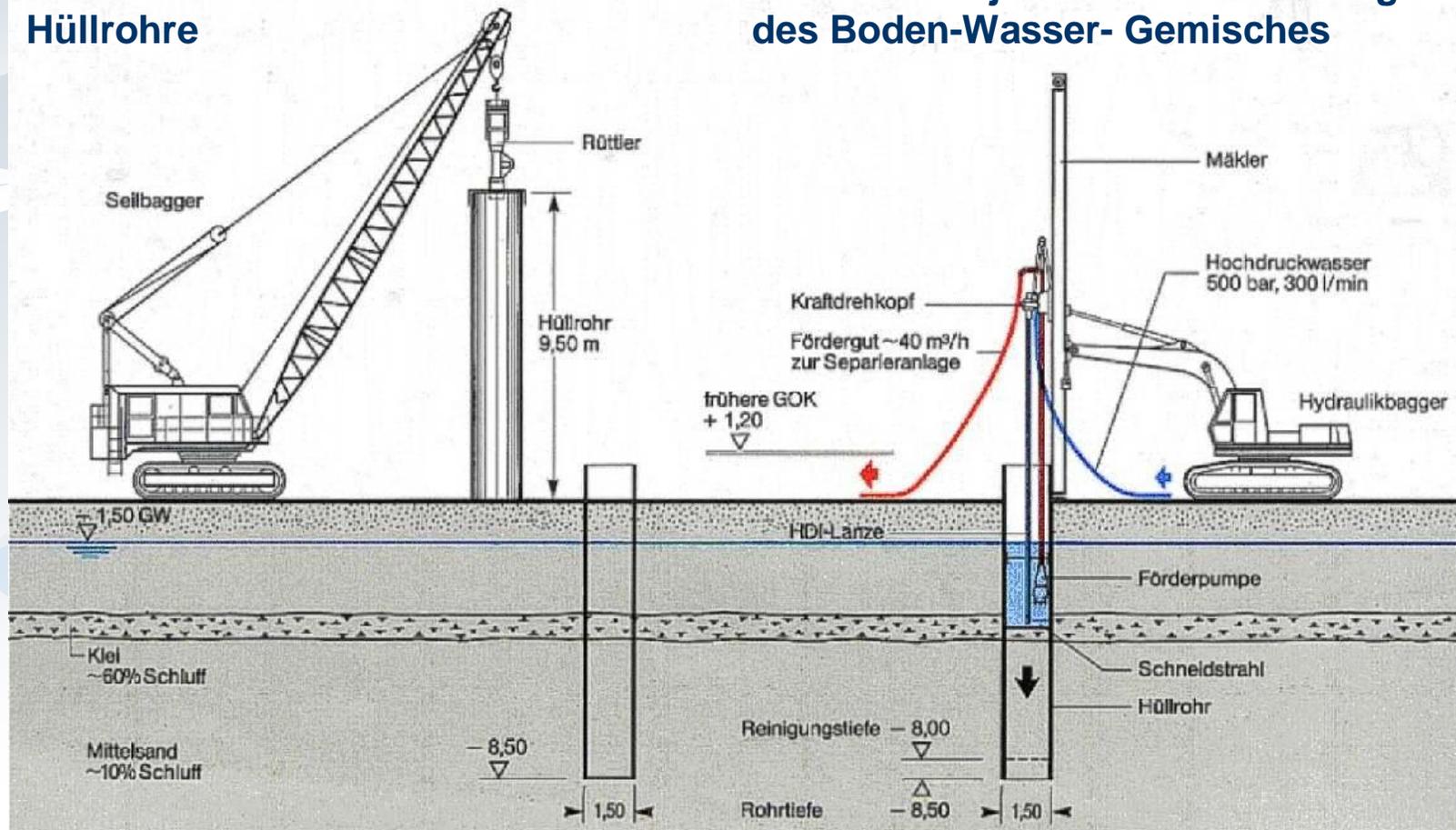
Kleischicht    
 Mittelsand



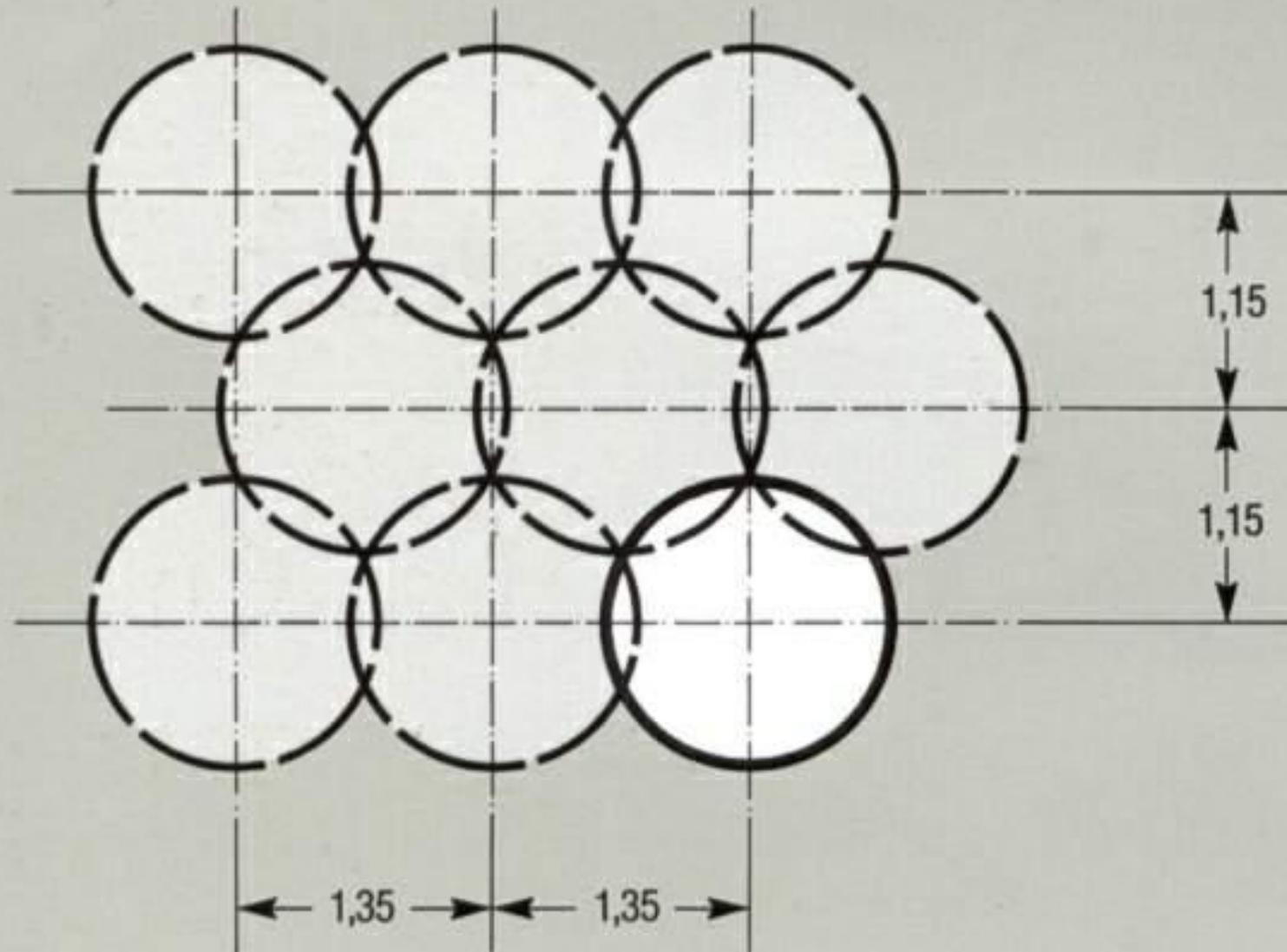
# Arbeitsschritte

## Einrütteln der Hüllrohre

## Hochdruckinjektion und Förderung des Boden-Wasser-Gemisches



# Anordnung der Hüllrohre im Grundriß

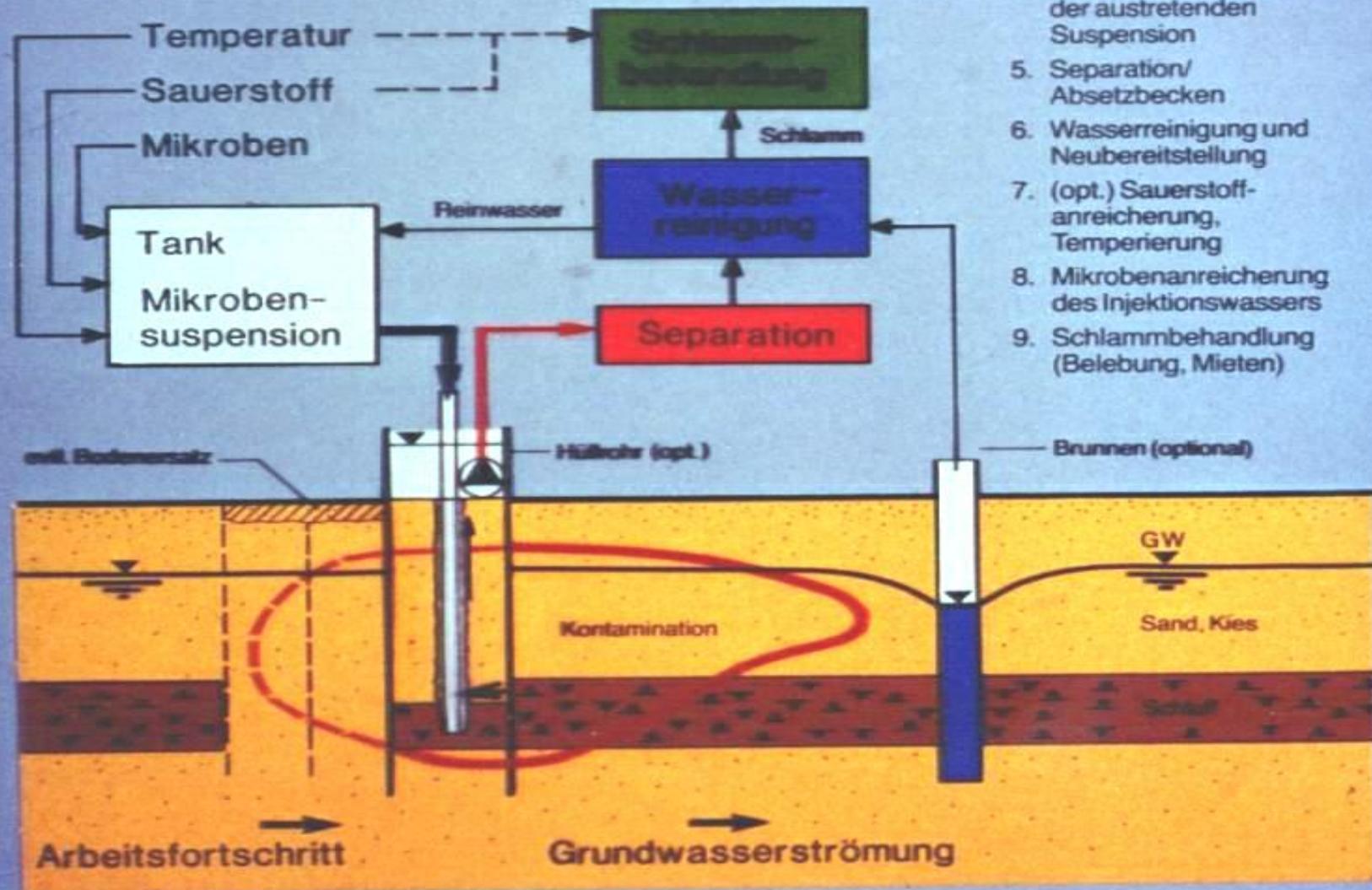








# Ablauf der in situ-Hochdruckbodenwäsche mit Mikrobeninjektion



## Verfahrensschritte

1. (opt.) Hüllrohr setzen
2. Absenken der Injektionslanze
3. Injektion Mikroben-suspension von unten nach oben
4. Aufnehmen und Fördern der austretenden Suspension
5. Separation/ Absetzbecken
6. Wasserreinigung und Neubereitstellung
7. (opt.) Sauerstoff-anreicherung, Temperierung
8. Mikrobenanreicherung des Injektionswassers
9. Schlammbehandlung (Belebung, Mieten)

# Teşekkürler