

# Kirlenen Araziyi İyileştirme Teknikleri

**Prof. Dr. Ertugrul ERDIN**

Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği 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>

# Dekontaminationsverfahren

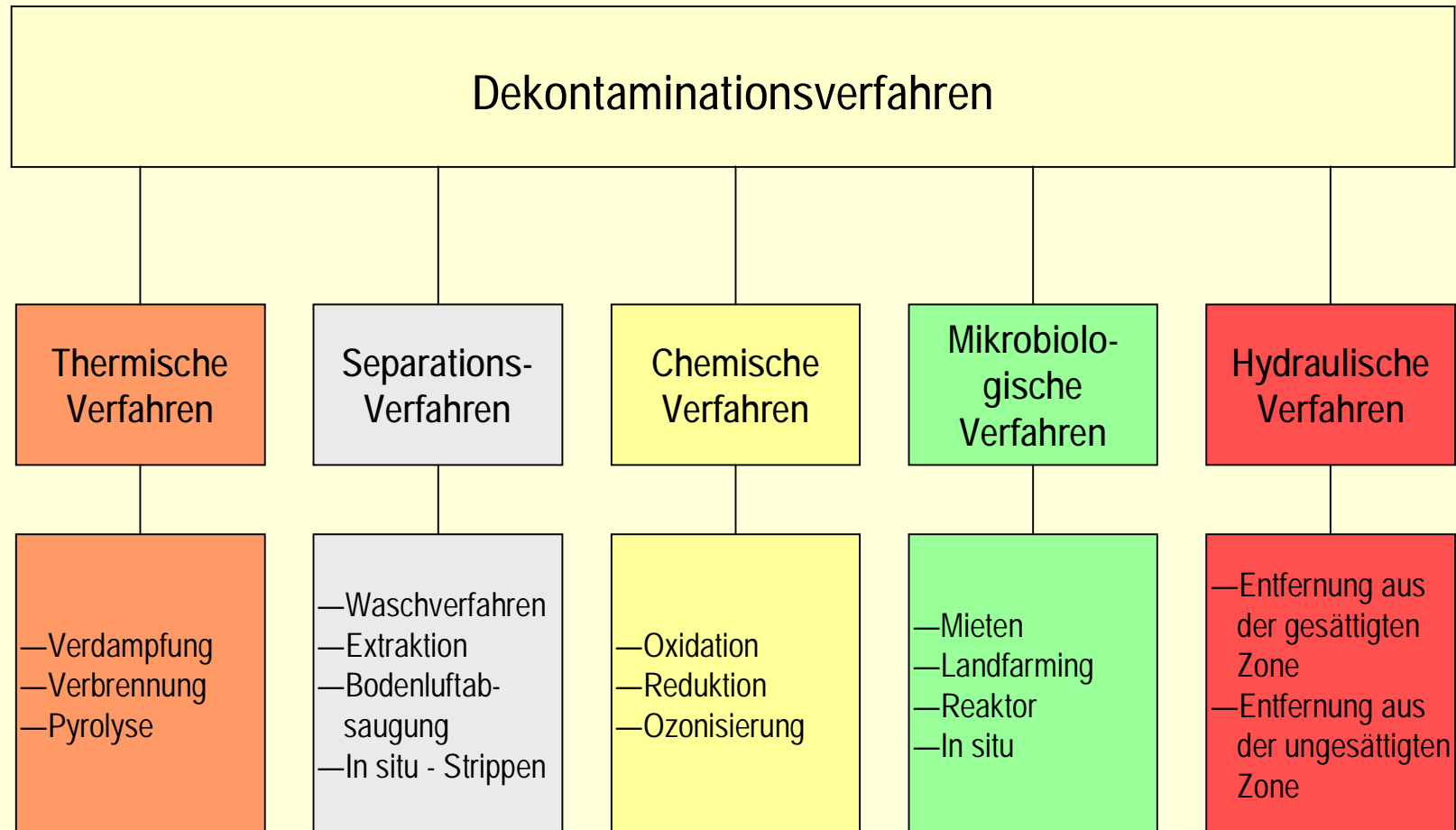


Bild D-11 Dekontaminationsmaßnahmen.

# Übersicht der in situ-Verfahren

## In situ-Verfahren zur Bodenreinigung

### Immobilisierung

- Chemikalieninjektion
- Zementhochdruckinjektion
- Durchlässigkeitsverringerung
- Elektrische Verglasung
- Umschließungsverfahren

### Schadstoffabbau

- Zufuhr inertisierender o. neutralisierender Chemikalien oder Gase
- Mikrobiologie

### Durchströmungsverfahren

- Bodenluftabsaugung
- Passive Entgasung
- Dampf- u. Heißgasinjektion
- In situ-Strippung
- Abpumpen
- Abpumpen mit Wiederversickerung und Zugabe von Chemikalien
- Elektrokinetische Schadstoffextraktion

### In situ-Wäsche

- Schadstoffausspülung bei Strukturveränderung des Bodens durch lösende Werkzeuge o. Zwangsdurchströmung
- In situ-Hochdruckwäsche allein mit Wasser

### Kombinationsverfahren

# Prinzip der Bodenluftabsaugung

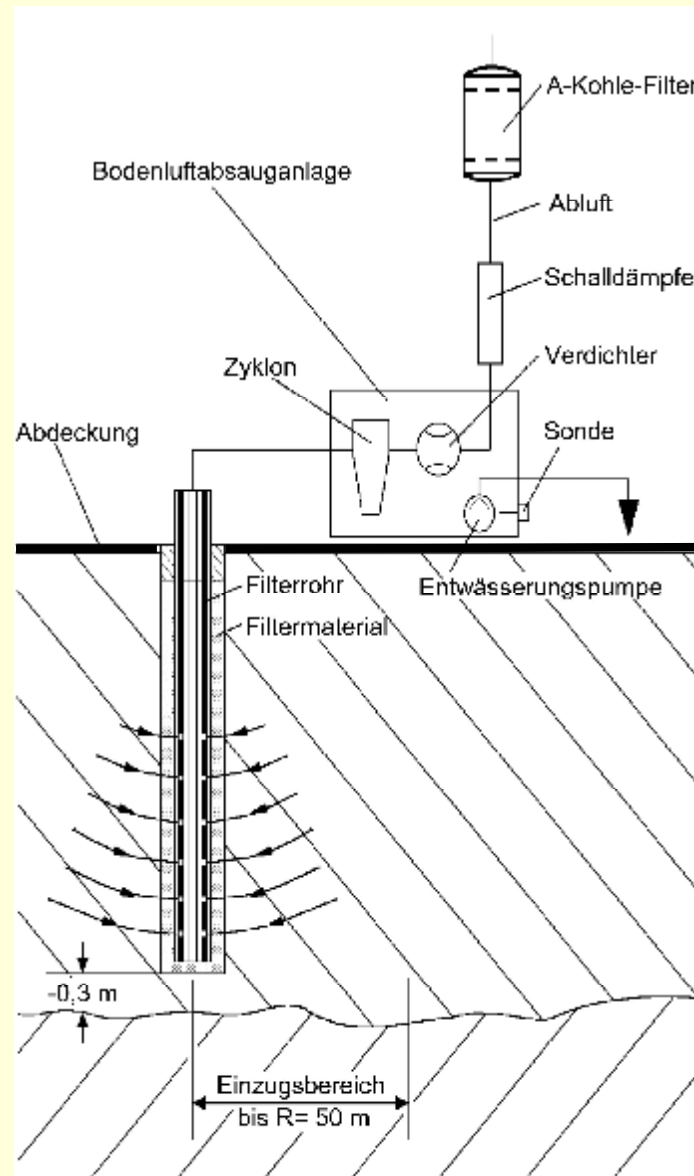
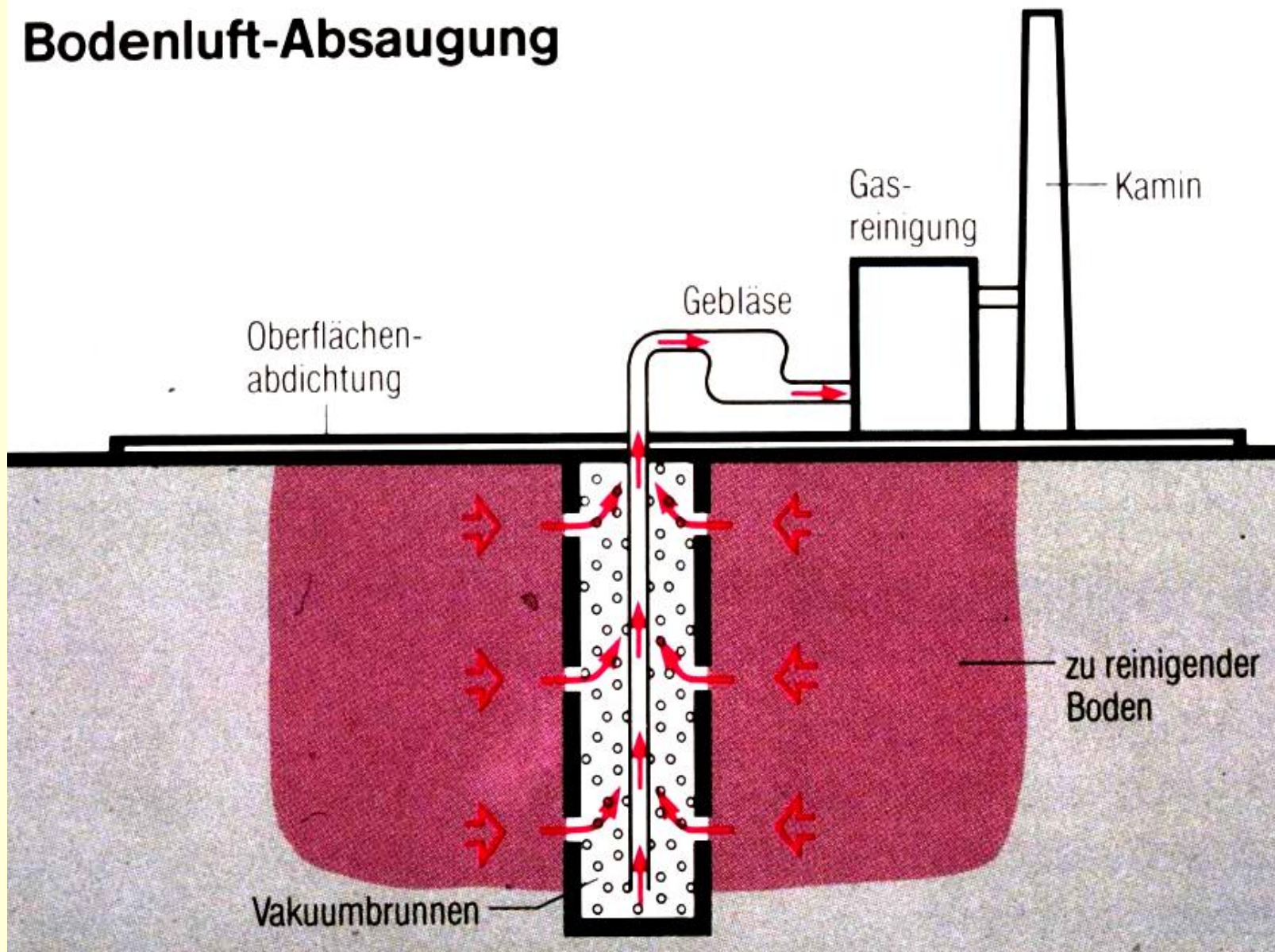


Bild D-22 Verfahrenschema einer Bodenluftabsaugung [8].

# Bodenluft-Absaugung

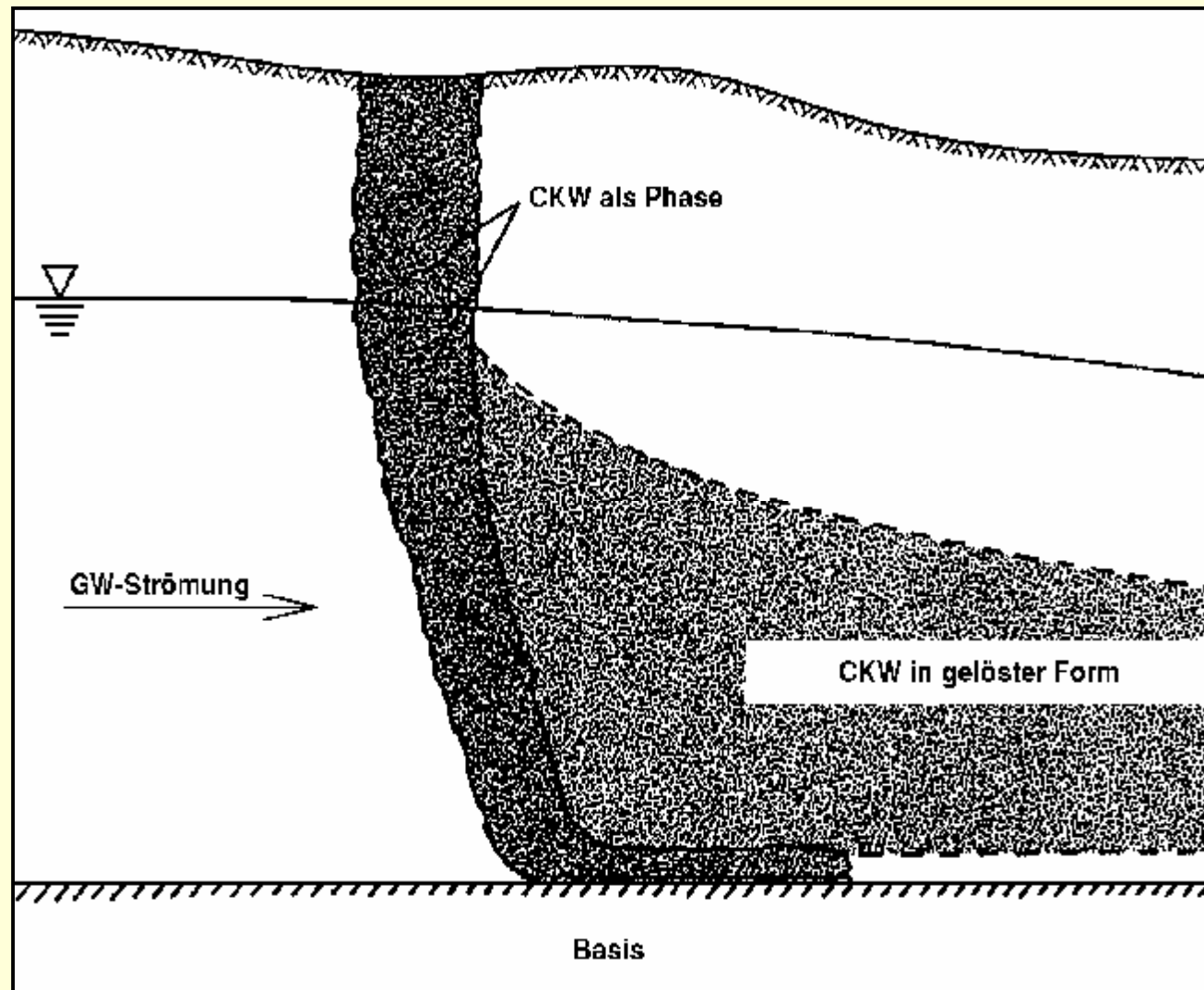


## Prinzip des in situ - Waschverfahrens



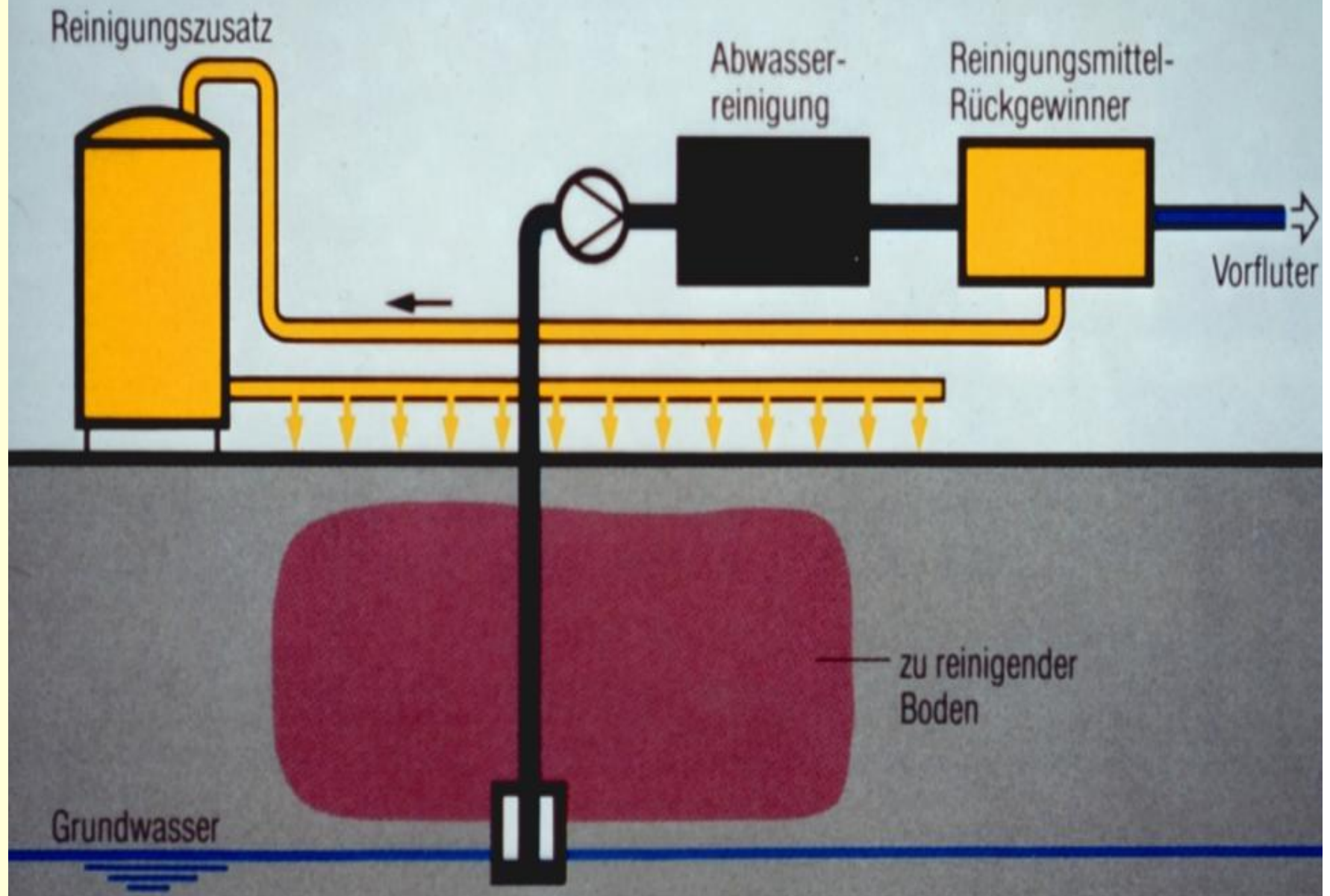
Bild D-26 Wirkungsweise der in situ-Waschverfahren [15].

## Flüssiger Schadstoff ( $\rho > 1 \text{ t/m}^3$ )



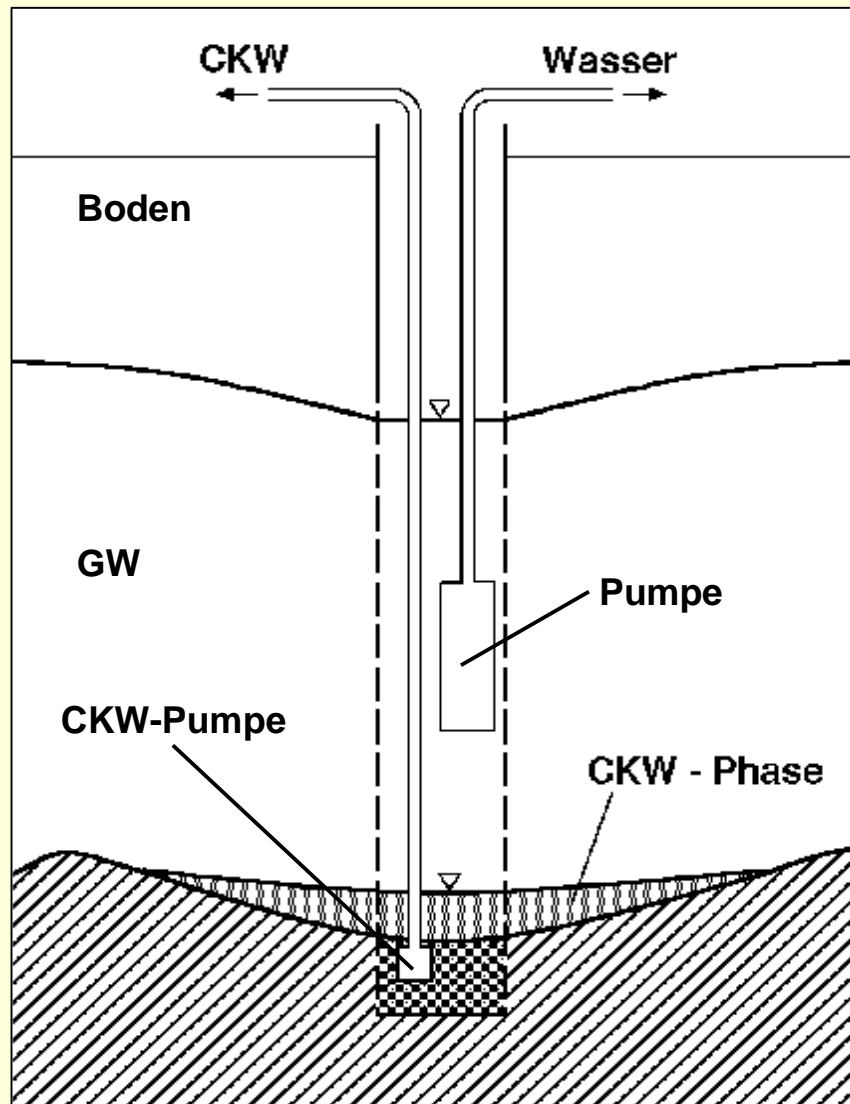
**Bild D-28** CKW im Grundwasserbereich - Ausbildung eines Strömungstrichters im Grundwasserleiter [1].

# Bodenwasser-Absaugung mit Reinigerzusatz



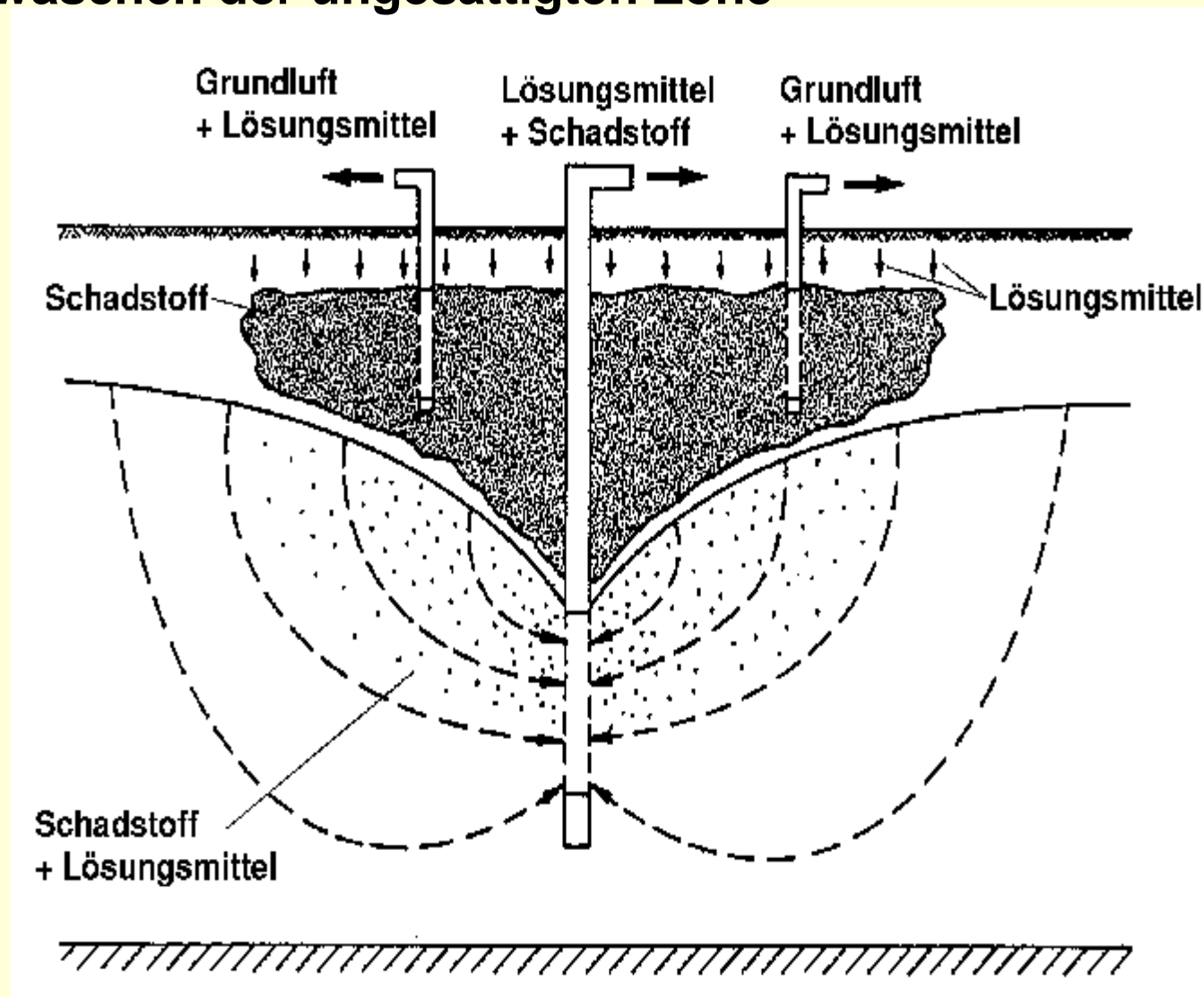


# CKW - Rückgewinnung



**Bild D-29** CKW-Rückgewinnung mittels Brunnen im Zwei-Pumpen-System [8].

## Auswaschen der ungesättigten Zone



**Bild D-33** Theoretische Möglichkeit Schadstoffe aus der ungesättigten Zone durch Auswaschen zu entfernen [1].

# Thermische Bodenreinigung

Verdampfung = indirekte Verbrennung = Niedrigtemperaturverbrennung

Verbrennung = direkte Verbrennung = Hochtemperaturverbrennung

Die Behandlung des kontaminierten Bodens findet bei thermischen Verfahren sowohl in mobilen (on site) als auch in stationären (off site) Bodenreinigungsanlagen statt. Die Dekontamination des verunreinigten Bodens erfolgt jeweils in drei Verfahrensschritten:

- Bodenkonditionierung (Aufbereitung: Sieben, Brechen)
- Thermische Behandlung (Trocknen, Brennen, Kühlen)
- Abgasreinigung (Nachverbrennung, Kondensation, Rauchgasreinigung)

Nicht nur für den anzustrebenden Erfolg, dem Sanierungsziel, sondern auch den auferlegten Richtlinien hingehend einer möglichst umweltschonenden Dekontamination, haben die Thermischen Verfahren - mit Ausnahme der Pyrolyse - folgenden Anforderungen zu genügen:

- Ausreichend hohe Temperaturen zur vollständigen Oxidation (Verbrennung) der Schadstoffe
- Ausreichend lange Temperaturanwendung (Verweilzeiten)
- Ausreichende Turbulenzen beim Verbrennungsvorgang, um eine optimale Durchmischung der Abfallstoffe mit der Luft zu erzielen
- Rauchgasreinigung

# Temperaturen zur Schadstoffbeseitigung

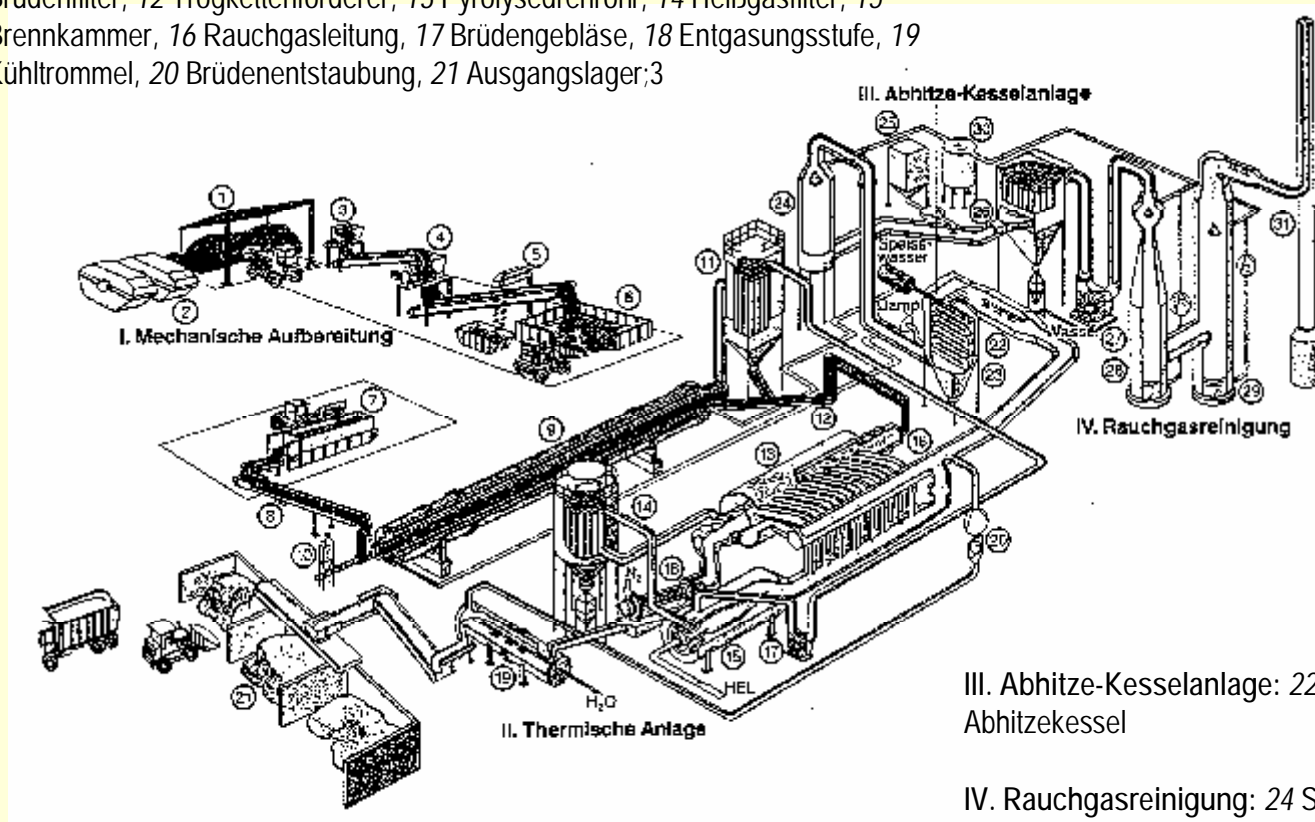
Verunreinigungen	erforderliche Temperatur °C	
	Verdampfung	Zerstörung
Mineralölkohlenwasserstoffe	200 – 300	750
Benzol, Toluol, Xylole, Naphthalin u.ä.	200 – 300	800
polycyclische Aromate	300 – 400	850
Cyanide	450	950
PCDD / PCDF	–	1200

**Tabelle D-6** Erforderliche Temperaturen zur Verdampfung und Zerstörung von Schadstoffen [2].

# Pyrolyse

I. Mechanische Aufbereitung: 1 Eingangslager, 2 Containerlager, 3 Schredderstufe I, 4 Schredderstufe II, 5 Magnetband, 6 Zwischenlager;

II. Thermische Anlage: 7 Kastenbeschicker, 8 Bandwaage, 9 Trockner, 10 Filterstaub, 11 Brüdenfilter, 12 Trogkettenförderer, 13 Pyrolysedrehrohr, 14 Heißgasfilter, 15 Brennkammer, 16 Rauchgasleitung, 17 Brüdengebläse, 18 Entgasungsstufe, 19 Kühltrommel, 20 Brüdenentstaubung, 21 Ausgangslager;3



III. Abhitze-Kesselanlage: 22 Quenche, 23 Abhitzekessel

IV. Rauchgasreinigung: 24 Sprühtrockner, 25 Adsorbenseinrichtung, 26 Schlauchfilter, 27 Saugzugventilator, 28 Venturiwäscher, 29 Gegenstromwäscher, 30 Neutralisation, 31 Kamin

**Bild D-12** Darstellung einer Thermischen Bodenreinigungsanlage der Firma Hochtief [1].

# Schadstoffverbrennung

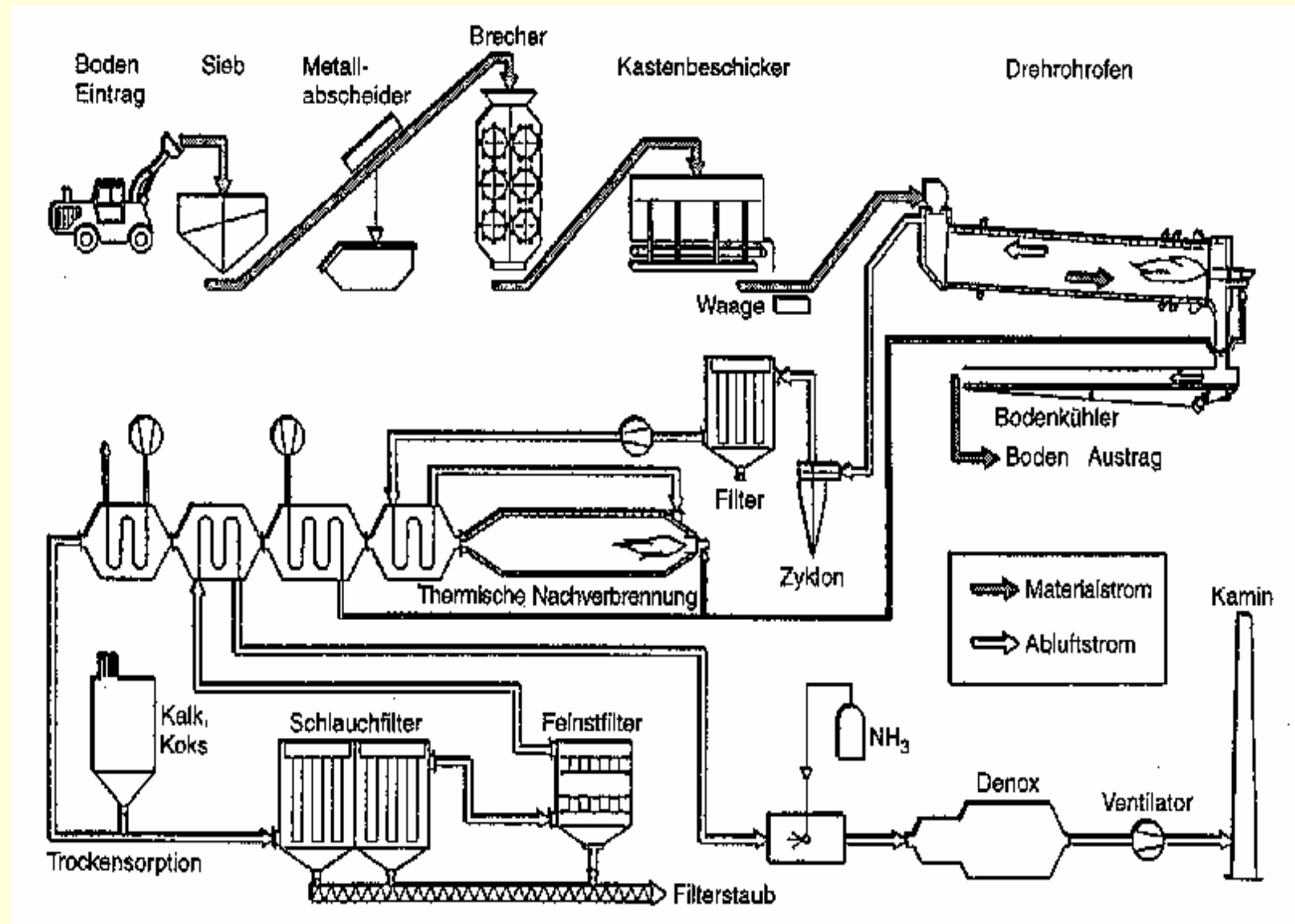


Bild D-13 Darstellung einer Thermischen Bodenreinigungsanlage der Firma Züblin [1].

## Ablaufschema der Bodenwäsche

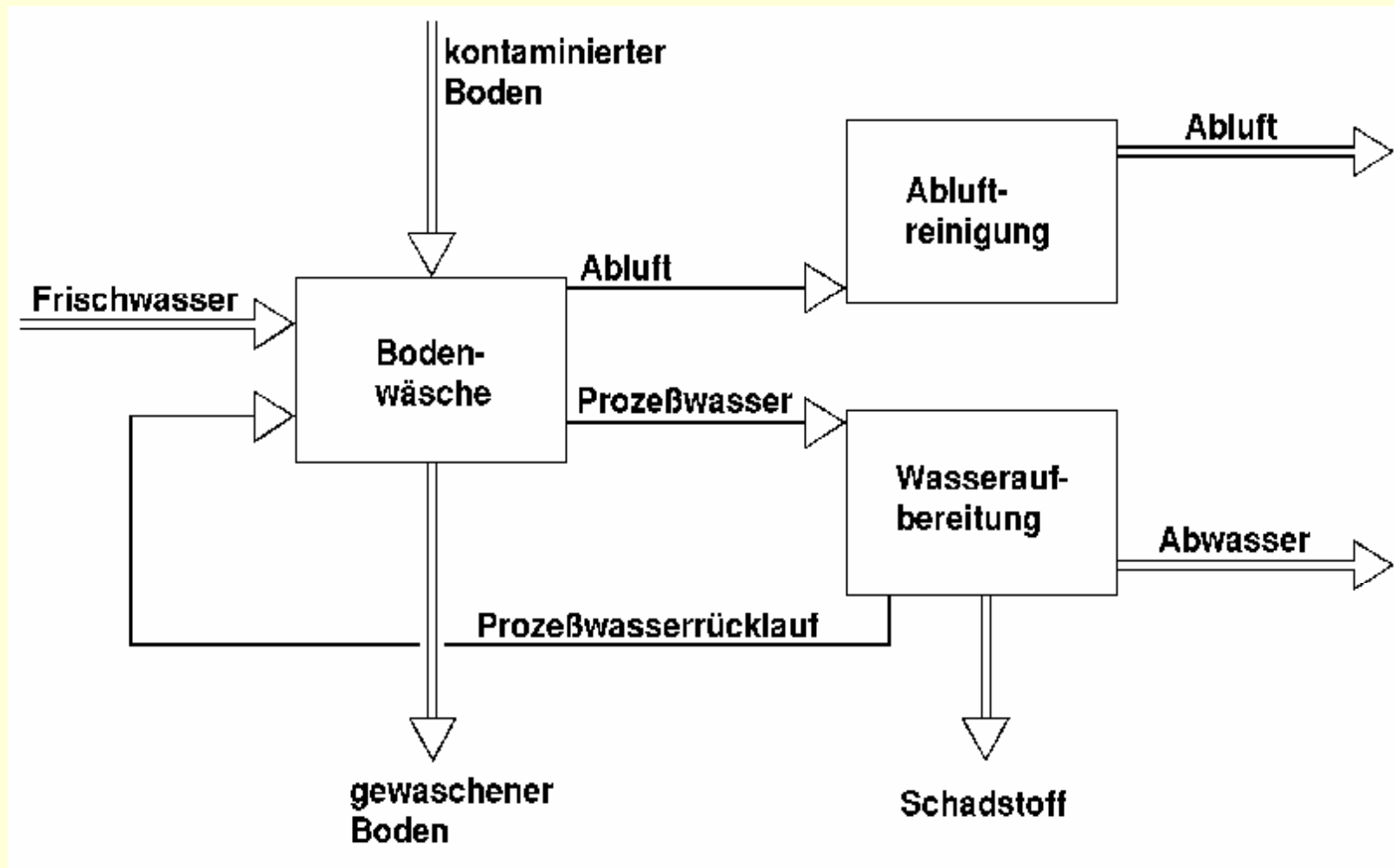


Bild D-15 Bodenwäsche, Übersicht über den Verfahrensablauf [1].

# Materialeigenschaften und Aufbereitungstechnik

Eigenschaften des Bodens/Schadstoffgemisches,  
die zur Reinigung genutzt werden

Physikalische/chemische Eigenschaften

Aufbereitungs-  
verfahren

- Korngröße

Klassierung

- Kornform

- optische Eigenschaften

- Geruch

Sortierung

- mechanisch/strukturelle Eigenschaften

- Oberflächeneigenschaften

- spezifisches Gewicht

- Löslichkeit

- Siedepunkt

- elektrische Eigenschaften

- Phase fest/flüssig

- Phase fest/gasförmig

Phasentrennung

- Phase flüssig/gasförmig



# Prinzip des Extraktionsverfahrens

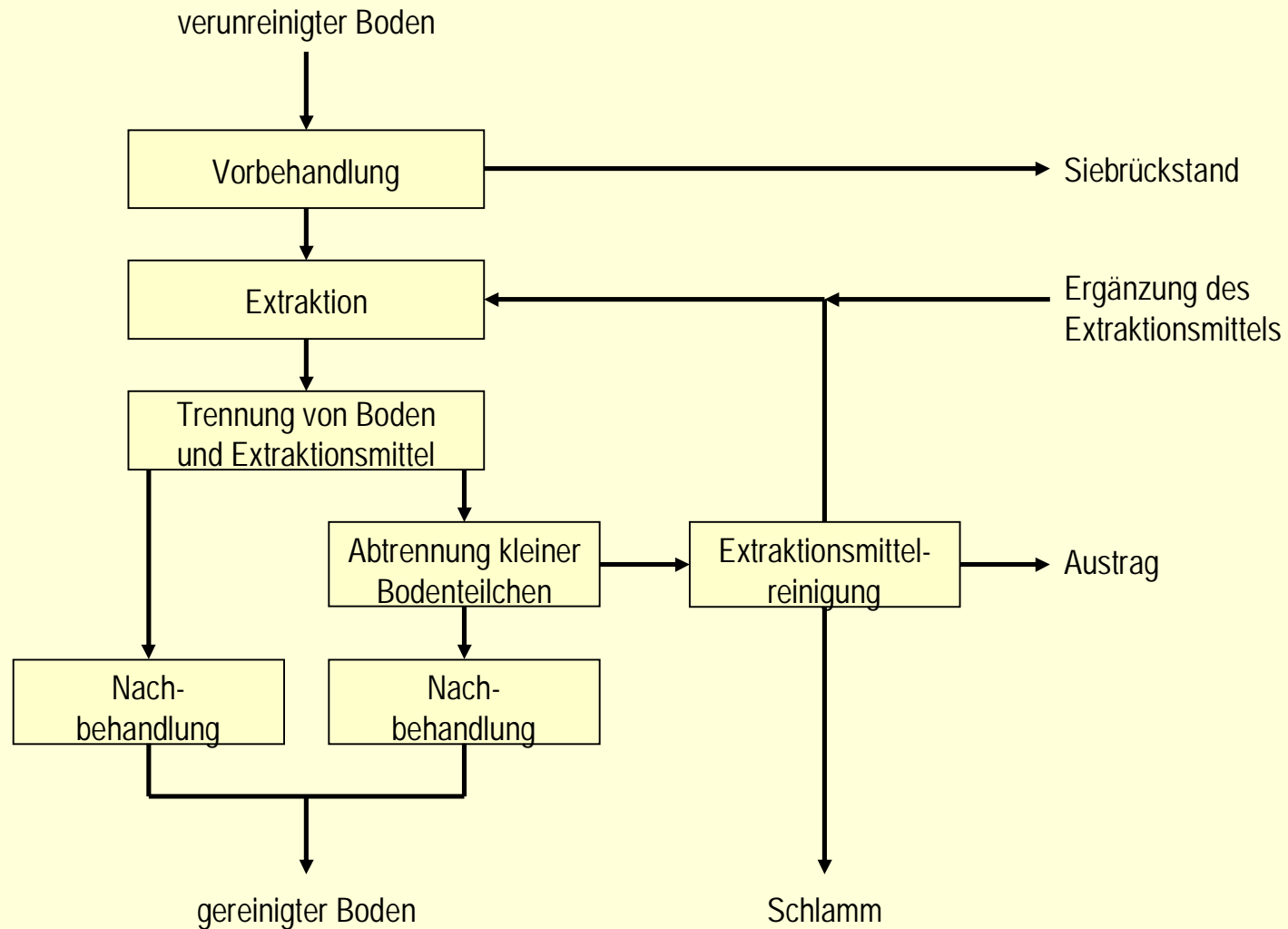


Bild D-21 Darstellung des generellen Prozesses eines Extraktionsverfahrens [8].

# Kosten der Verfahren zur Altlastenbehandlung

<b>Biologische Verfahren</b> on site in situ	50 bis 150 DM/t 100 bis 200 DM/t
<b>Chemisches Verfahren</b> on site in situ	20 bis 200 DM/t 250 bis 350 DM/t
<b>Einkapselung</b> <i>Oberflächenabdichtung</i> - Rekultivierung  <i>vertikale Abdichtung</i> - Spundwand - Schmalwand - Düsenstrahl / Hochdruckinjektion - Bodenvereisung - Schlitzwand  <i>horizontale Abdichtung</i> - Düsenstrahl / Hochdruckinjektion - Stollen mit/ohne Füllung - durchgehende Sohlabdichtung	20 bis 60 DM/m <sup>2</sup> 80 bis 150 DM/m <sup>2</sup>  80 bis 280 DM/m <sup>2</sup> 35 bis 55 DM/m <sup>2</sup> 300 bis 600 DM/m <sup>2</sup> 360 bis 1400 DM/m <sup>2</sup> 110 bis 350 DM/m <sup>2</sup>  400 bis 700 DM/m <sup>2</sup> 800 bis 2000 DM/m <sup>2</sup> 400 bis 600 DM/m <sup>2</sup>
<b>Extraktionsverfahren</b> on site	100 bis 350 DM/t
<b>Immobilisierungsverfahren</b> on site in situ	ab 150 DM/t 160 bis 300 DM/t
<b>Thermische Verfahren</b> on site (T = 300° C; Verdampfung) on site (T = 500 bis 1500° C; Verbrennung) in situ	100 bis 250 DM/t 250 bis 1500 DM/t 300 bis 800 DM/t

**Tabelle F-** Kostenübersicht der verschiedenen Verfahren [2, 15].

# Teşekkürler