



Mikrobieller In-situ-Abbau von LCKW: Managing the Challenges



Dr. Thomas Held

**Das Prinzip
ist einfach**

Biologischer Abbau (Redoxreaktion)

Mineralisierung

MKW, AKW, PAK,
niederchlorierte LCKW, DOC...

Höherchlorierte LCKW,
Chloraromaten, ..



C_{org} = Elektronendonator (z.B. nicht-chlorierter Schadstoff oder Melasse)

E_{ox} = Elektronenakzeptor

E_{red} = „Verbraucher“ (reduzierter) Elektronenakzeptor

Terminale Elektronenakzeptoren

(DOC-Zehrer)

Terminale Elektronenakzeptoren			Prozess
TEA _{ox}		TEA _{red}	
O₂	→	H₂O	Aerobe Atmung
NO₃⁻	→	N₂	Denitrifikation
Mn(IV)	→	Mn(II)	Manganreduktion
Fe(III)	→	Fe(II)	Eisenreduktion
SO₄²⁻	→	S²⁻	Sulfatreduktion
CO₂	→	CH₄	Methanogenese

Biogeochemisches Baseline Monitoring

- ❑ Feld-Parameter: gel. Sauerstoff, elektrische Leitfähigkeit, Redoxpotential, pH-Wert und Temperatur
 - ❑ Schadstoffe
 - ❑ Redoxindikatoren (O_2 , Nitrat, Mn-II, Fe-II, Sulfat, Sulfid, Methan, DOC)
 - ❑ Abbauendprodukte: Ethen, Ethan
-
- Information über Aufwand, das vorhandene Milieu in das für die Sanierung erforderliche Milieu zu ändern

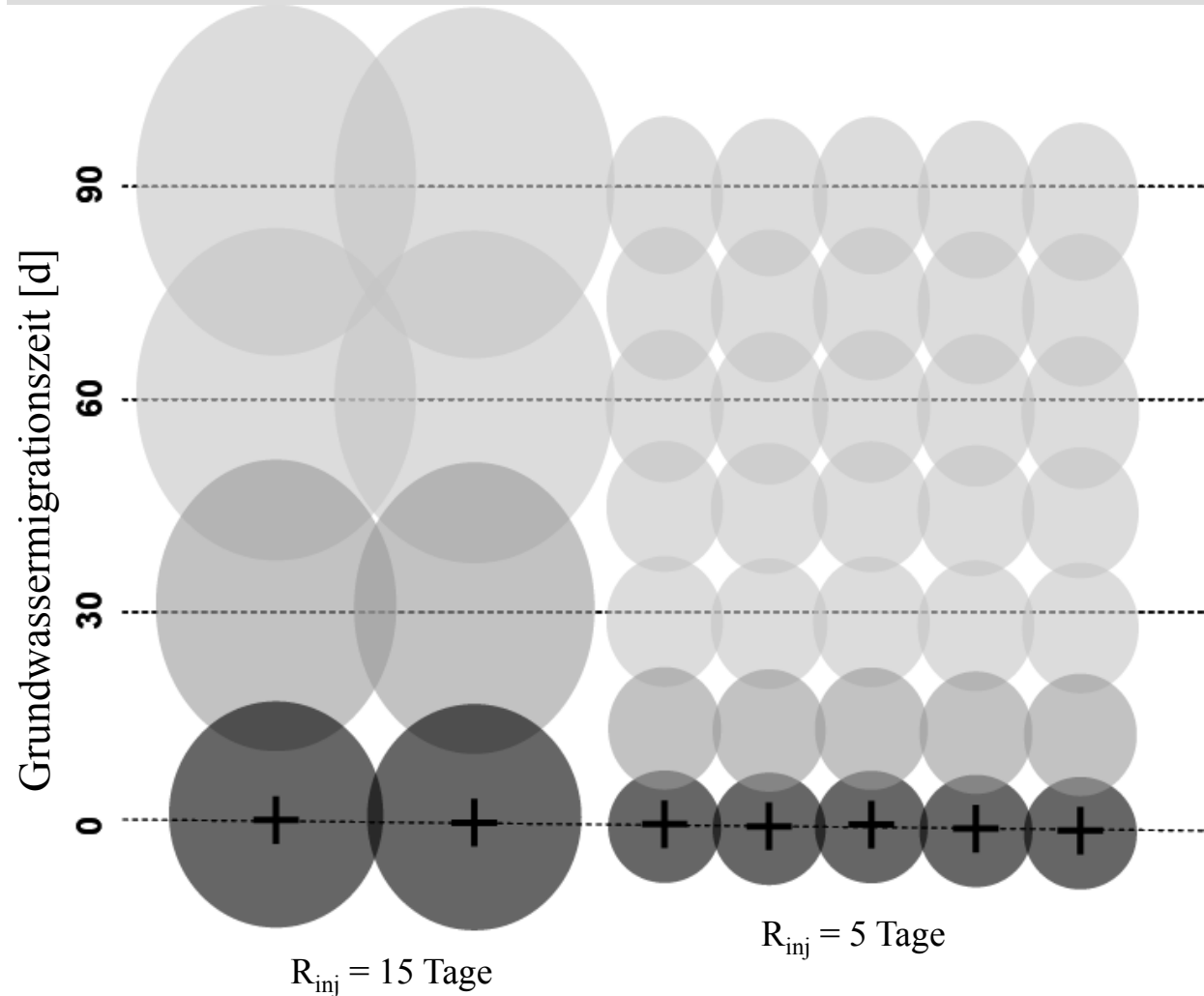
Injektionsregime

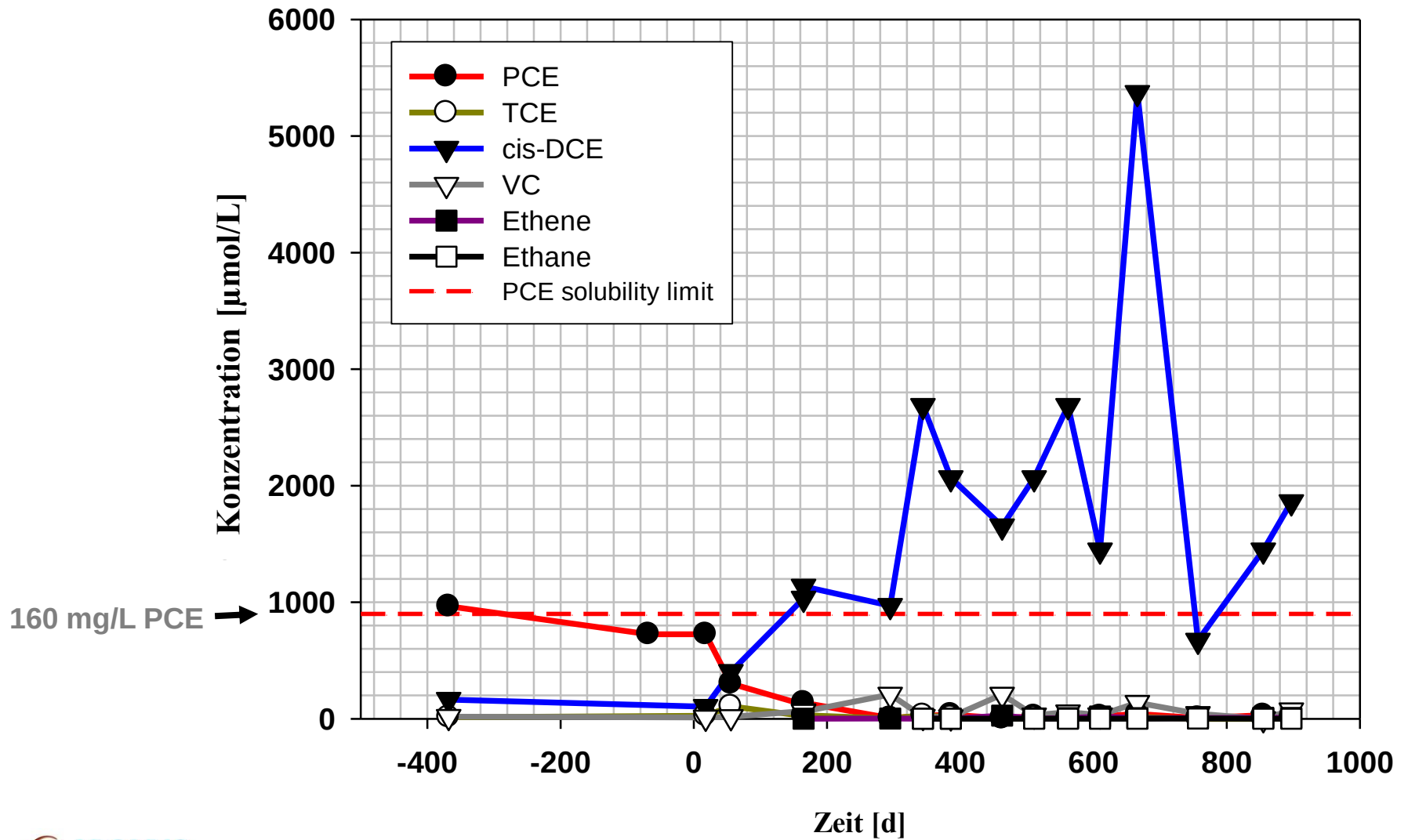
$$C_t = C_o \cdot e^{-\lambda t}$$

λ = „Zehrungsrate“

Vollflächige DOC-Versorgung

Reaktionsraum: 100 d



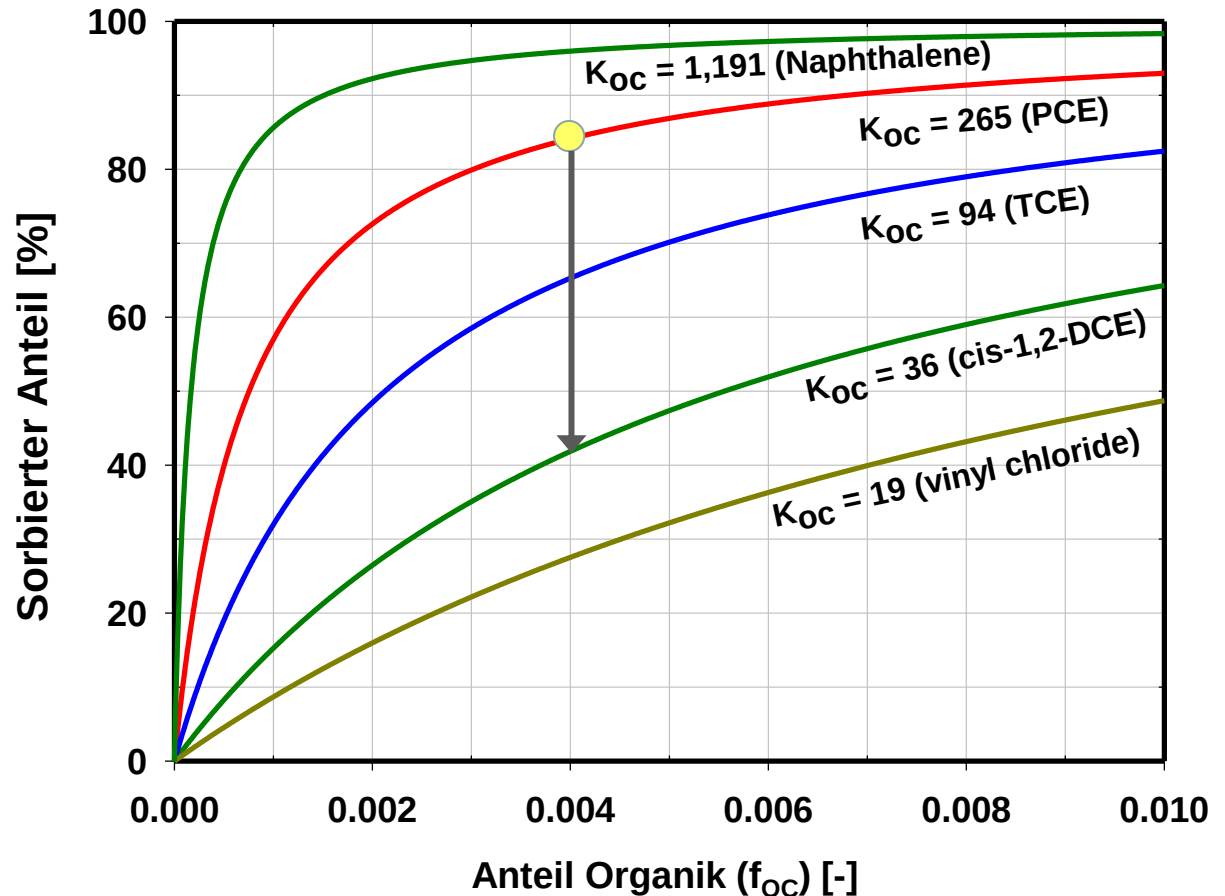


Sorption (Aquifer Matrix)

Intrinsisch

Transformation
Biotenside
Lösungsvermittler
(Alkohole, Fettsäuren)

Mobilisierung =
Zunahme der
Bioverfügbarkeit
(Beschleunigung
der Sanierung)



Eckpunkte des Sanierungsdesigns

- ❑ Vollflächige Versorgung mit TOC/DOC
- ❑ Mindestreaktionsraum: ≥ 100 d (Erfahrungswert)
- ❑ **Zielkriterium: Methanogenese**
- ❑ **Zielkriterium: Bildung von Ethen und Ethan**
- ❑ **Keine signifikante pH-Wert-Absenkung im Bereich der Injektion**

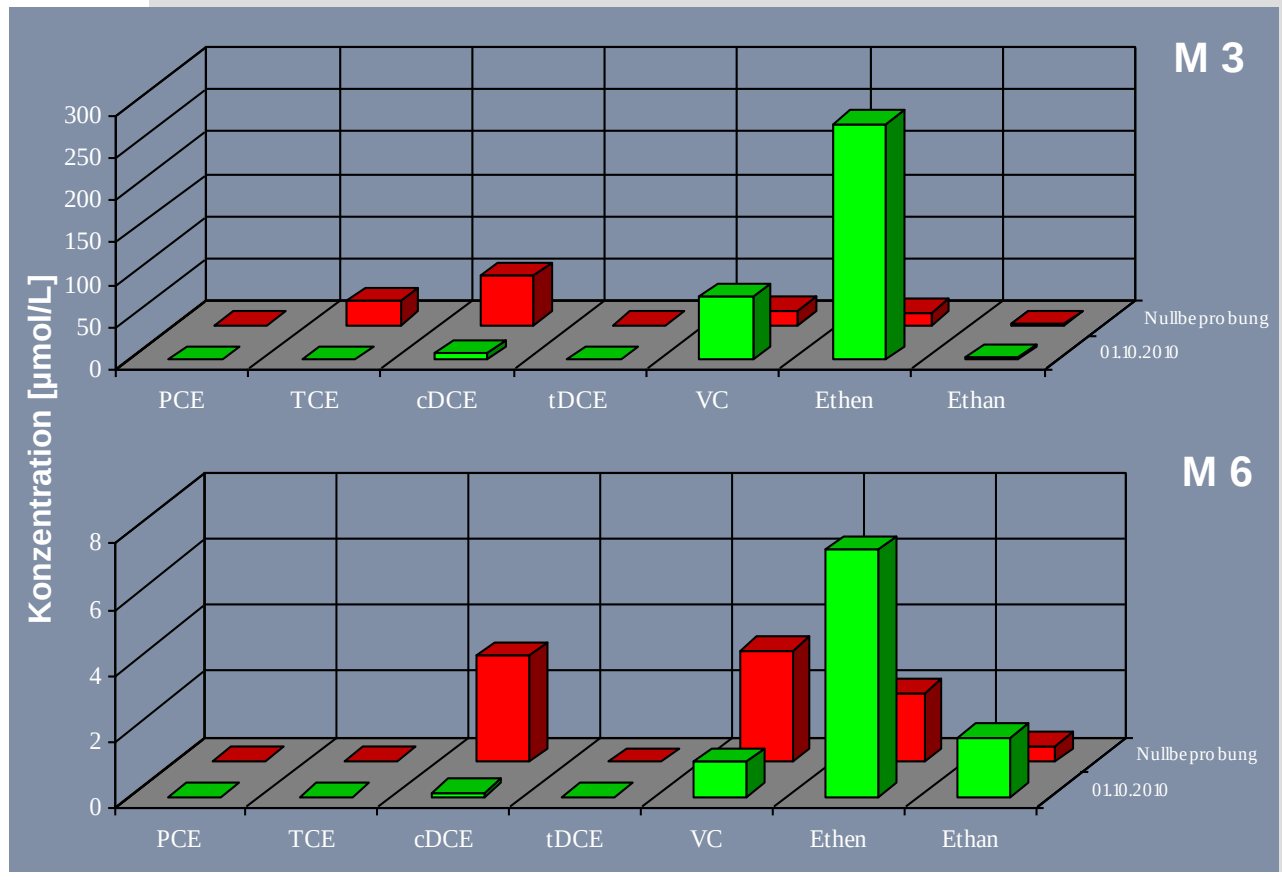
Abbaurate

Summe C₂

März 120 µmol/L
Okt. 360 µmol/L

März 9,2 µmol/L
Okt. 10,5 µmol/L

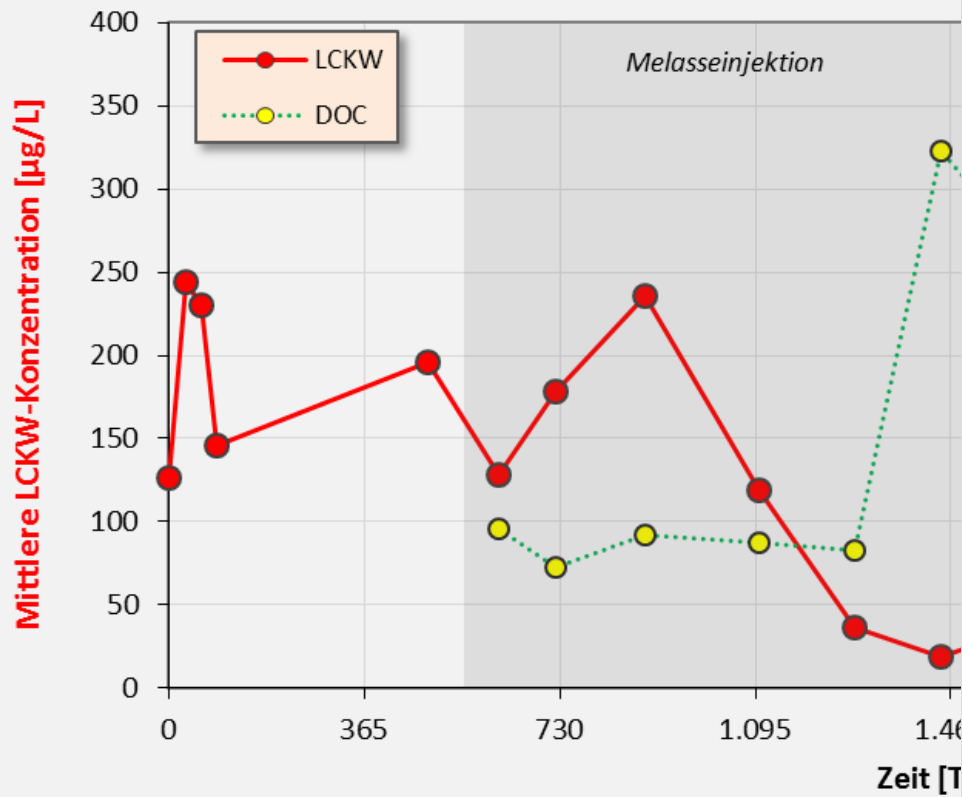
528 µg/L LCKW



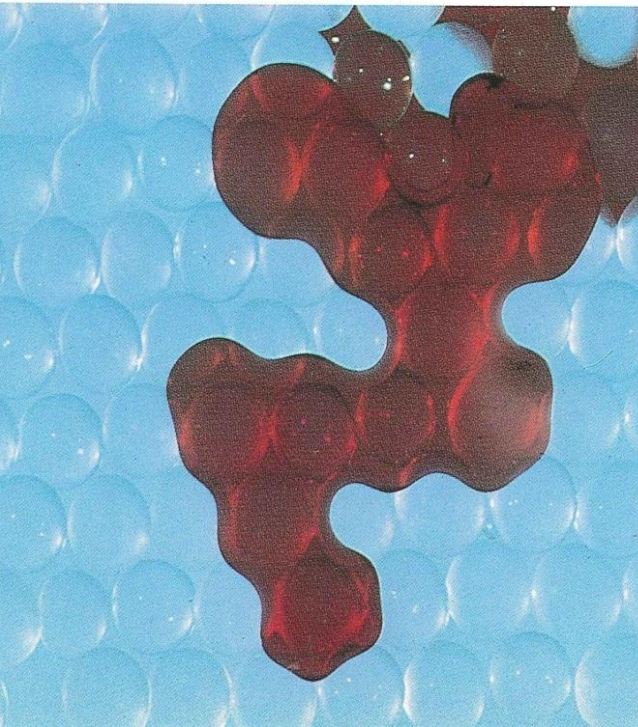
Die Realität

The Challenge

Rebound



The Challenges



- ❑ Konkurrierende Nebenreaktionen
- ❑ Thermodynamik (cDCE-Stopp)
- ❑ Produktphasen (NAPL) (Pools, Blobs, Ganglia)
- ❑ Heterogenität
- ❑ DOC-Versorgung / Mischung / Verdrängung

Managing the Challenge

Konkurrierende Nebenreaktionen

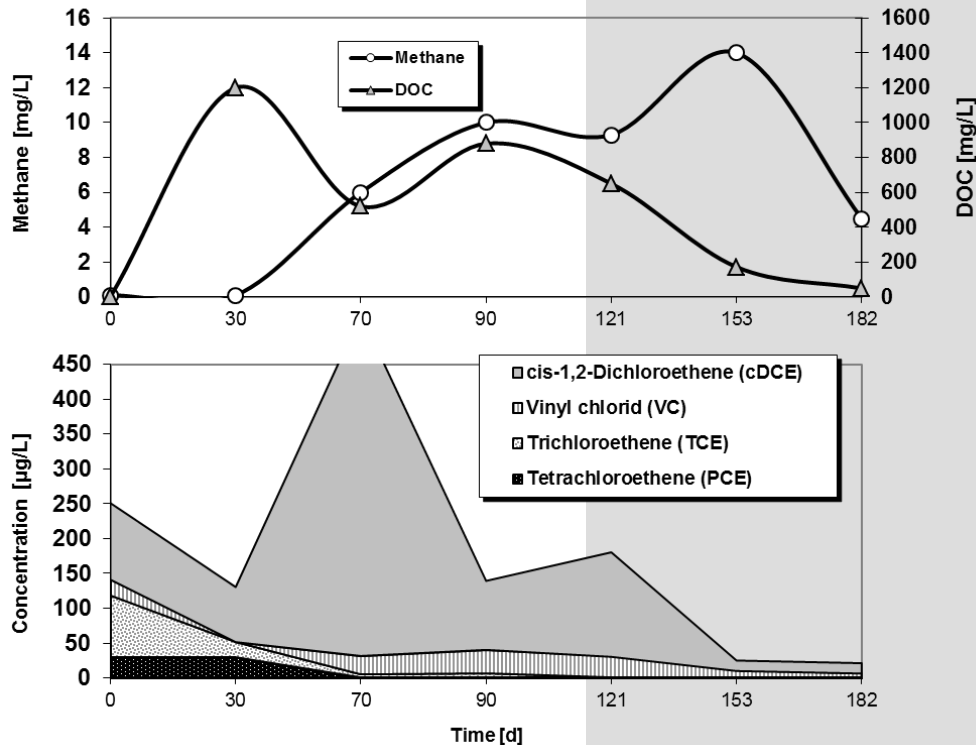
Konkurrierende Nebenreaktionen

- ❑ Aktuell ist des Redoxmilieu gering reduziert
- ❑ Hohe Konzentrationen an biogenem Fe-III konserviert Eisenreduktion (Beispiel: > 400 mg/L Fe-II)
- ❑ Lösung: Slurry-Batchversuche im Labor
- ❑ Eventuell andere Sanierungsverfahren besser geeignet (ISCO)

Managing the Challenge

Thermodynamik

Thermodynamik

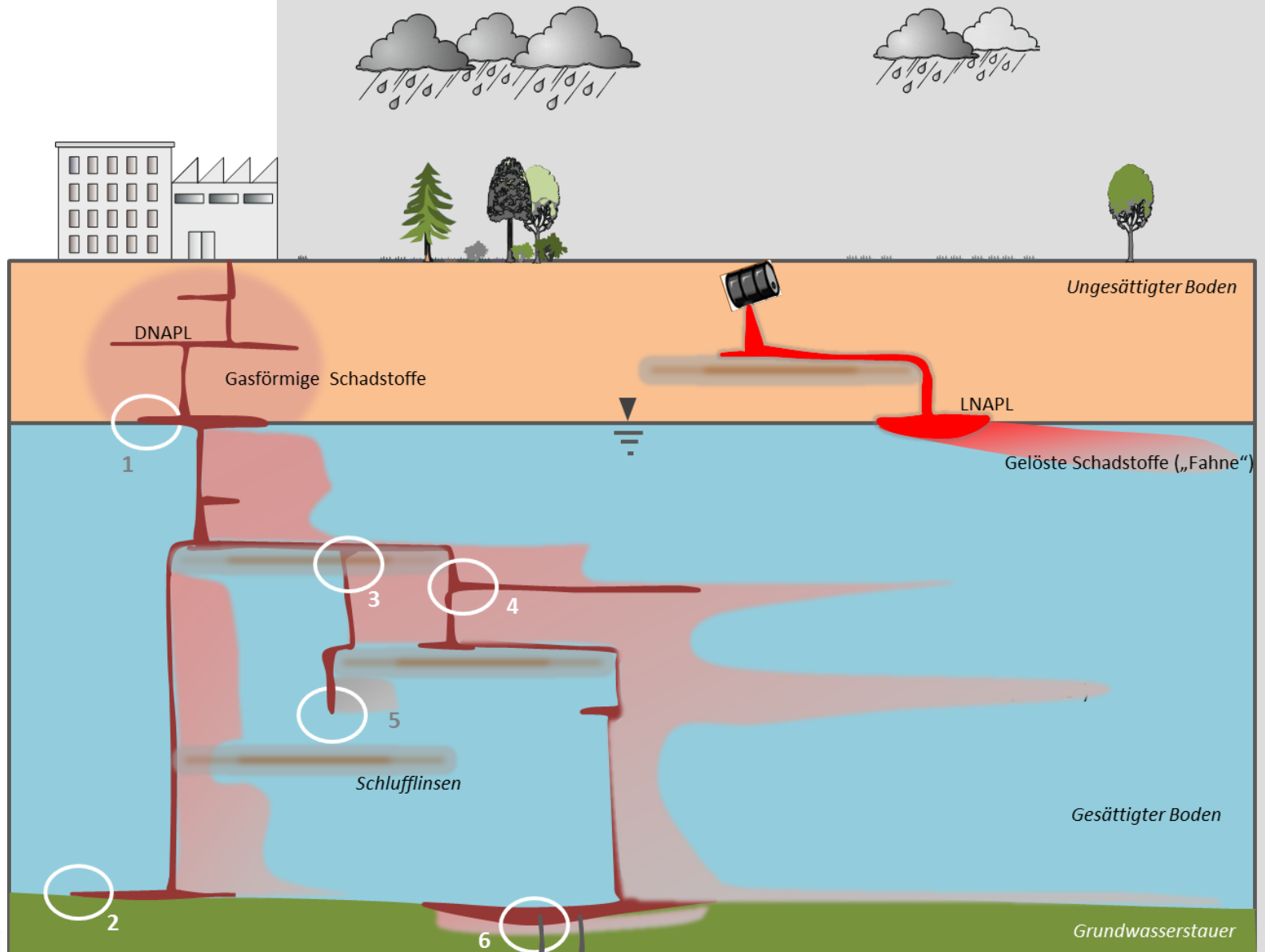


- ❑ „cDCE stall“
- ❑ Voraussetzung: geeignete Bakterien sind in ausreichender Anzahl vorhanden
- ❑ Transformation von cDCE erfordert relativ geringe DOC-Konzentrationen

Managing the Challenge

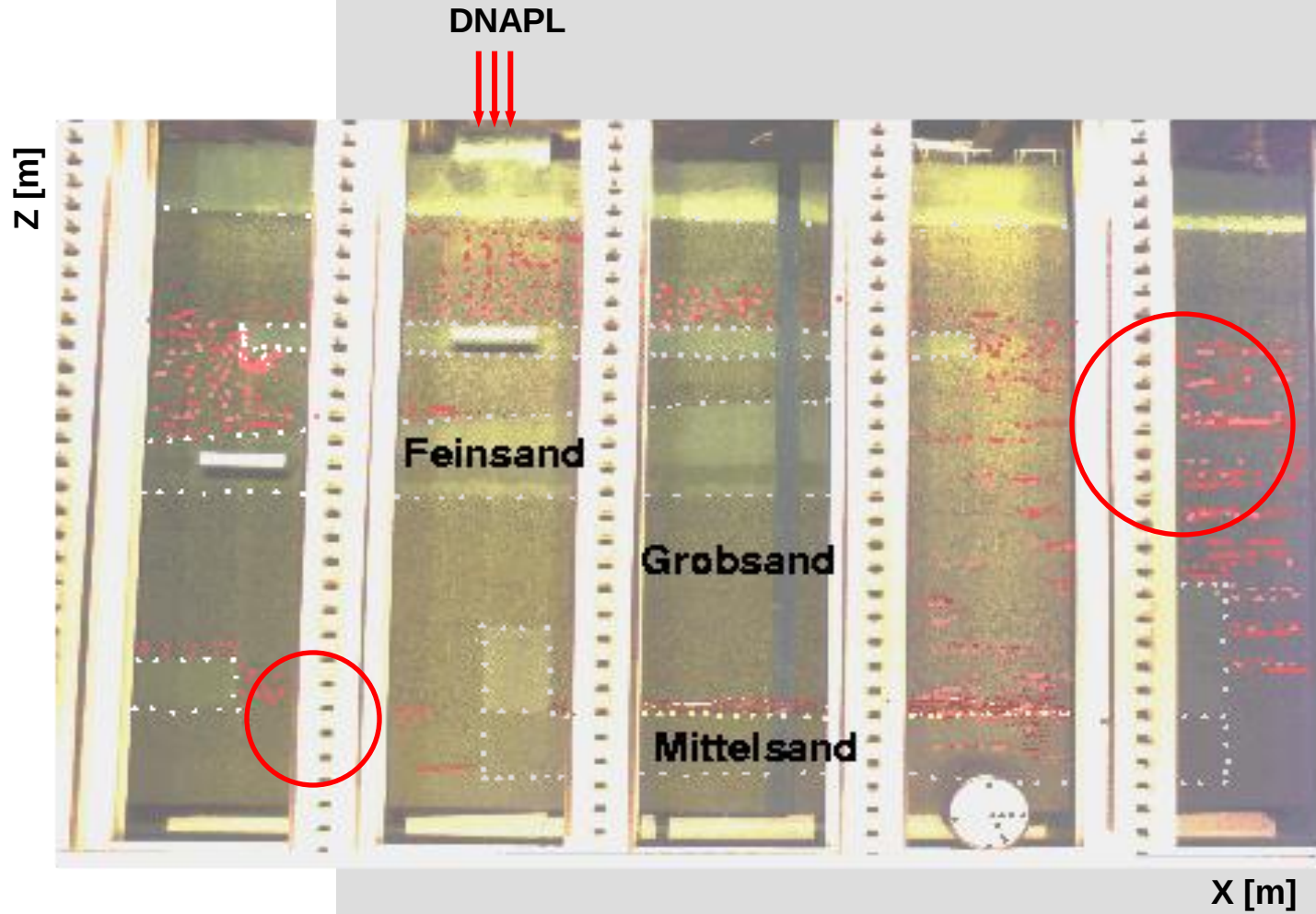
Produktphasen

Phasenmigration (DNAPL)

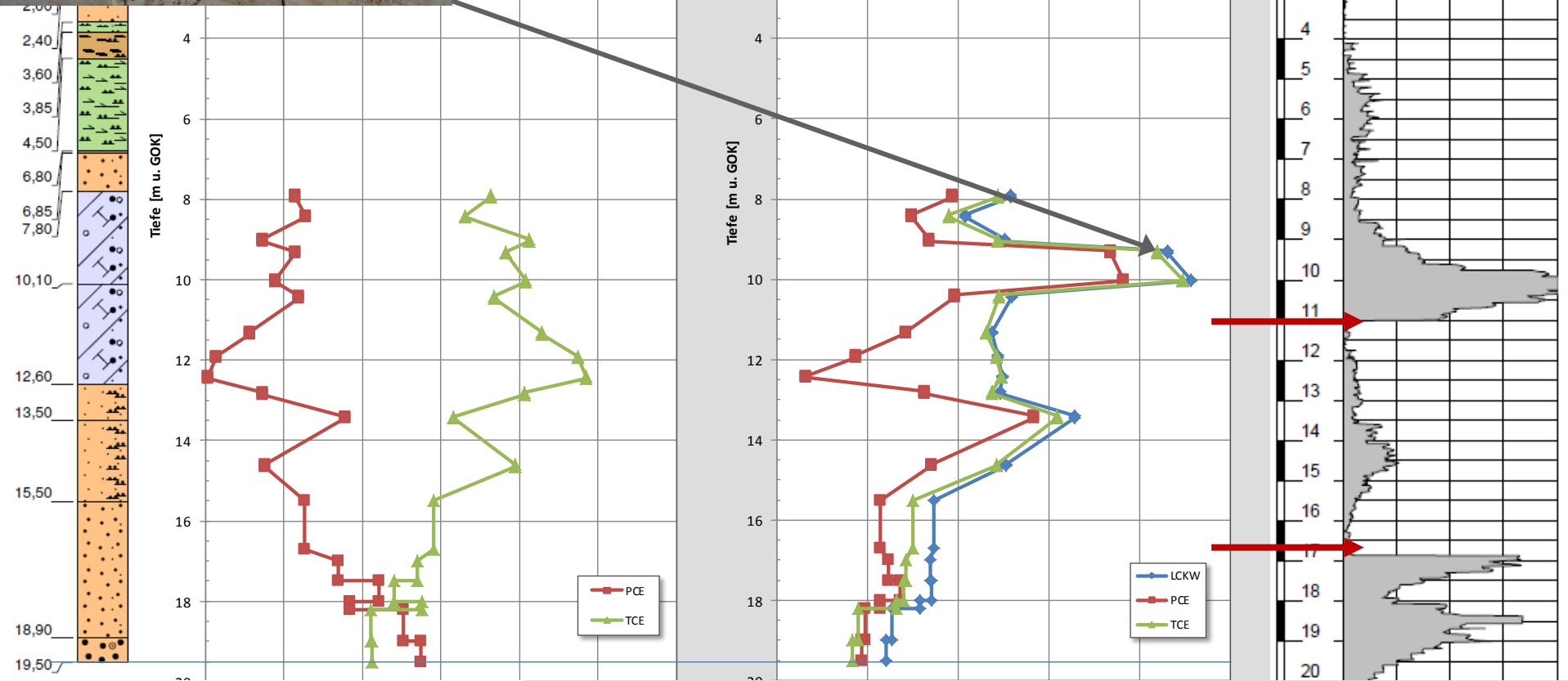


Verteilung von LCKW-Phasen im Grundwasserleiter

(Tankexperiment)



Phasenmigration (LNAPL)





Partitioning Tracer Test

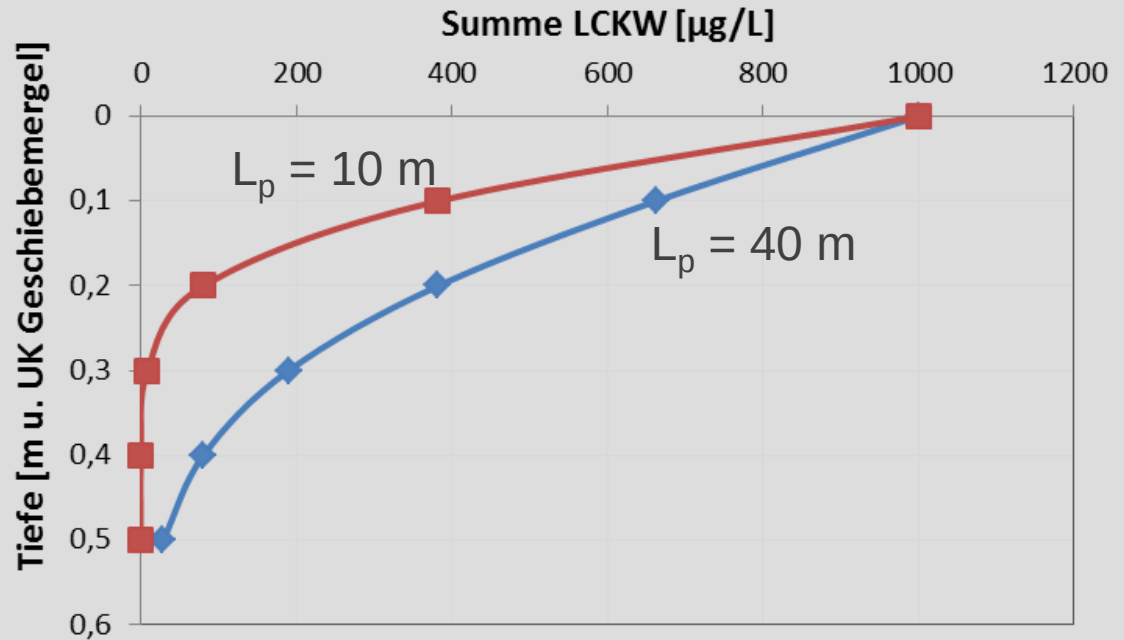
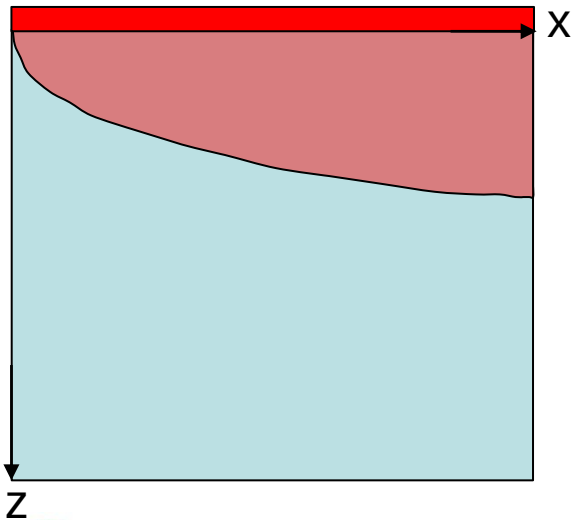
- ❑ Laborversuch (Linerprobe)
- ❑ Push-Pull-Feldversuch (GWM)
(1 m Filterstrecke, 500 L Tracer-Lösung)
- ❑ Empfindlichkeit der Methode gering bei
20-cm-Ganglien

2-Propanol	800 mg/L	}	konservativ
Butanol	800 mg/L		
Hexanol	800 mg/L		
Heptanol	350 mg/L	}	partitionierend
2-Ethyl-1-hexanol	100 mg/L		
2,4-Dimethyl-3-pentanol	1000 mg/L		

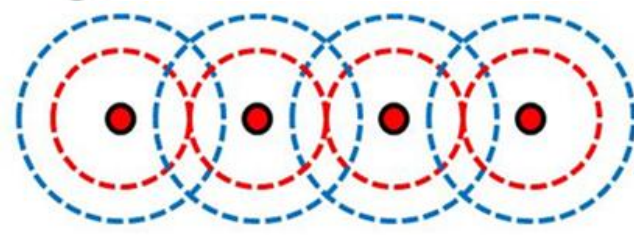
„Ausbluten“ hochbelasteter Bereiche

Fracht (Worst-Case-Ansatz)

$$C(L_{p,z}) = C_{\text{sat}} \cdot \operatorname{erfc} \left(\frac{z}{2 \sqrt{\frac{D_v L_p}{V_a}}} \right)$$



DNAPL-Sanierung

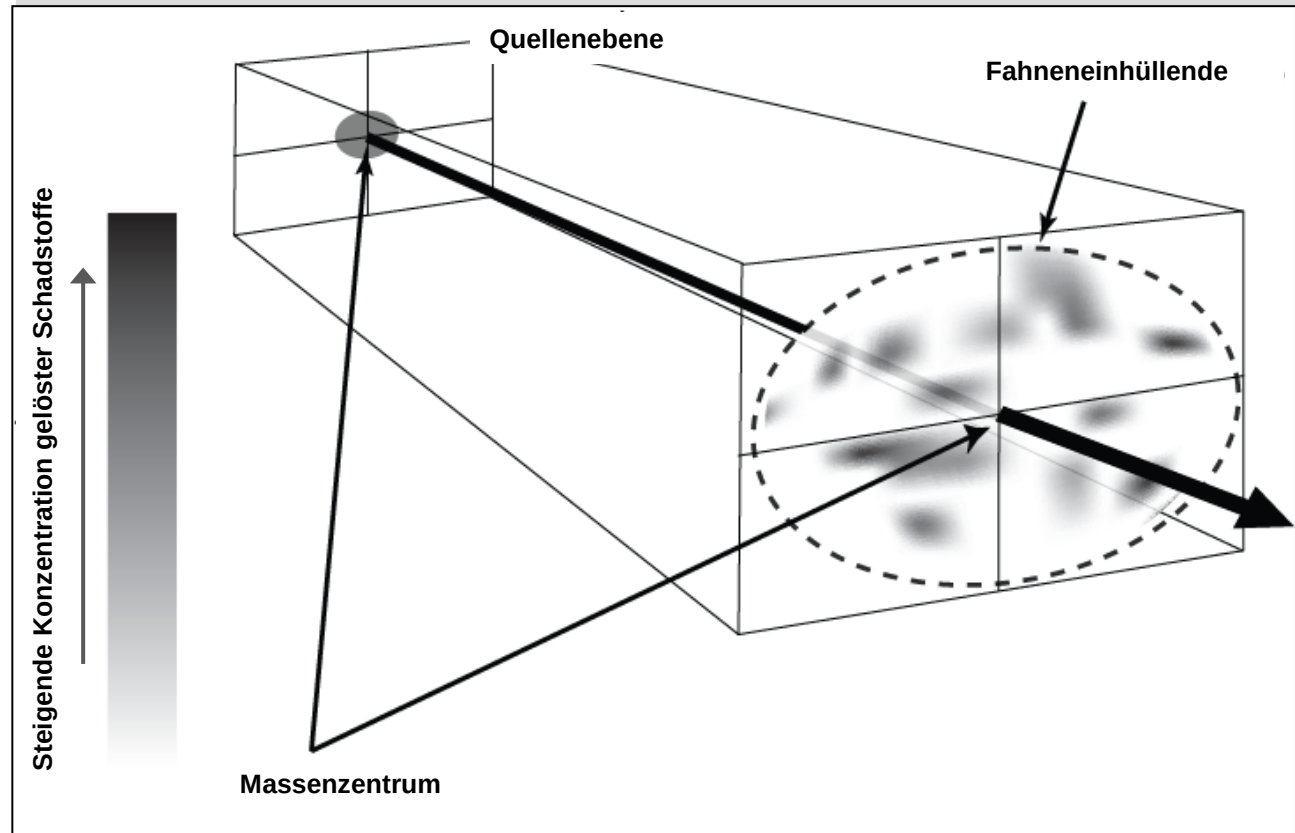


- ❑ **Abbau erhöht Konzentrationsgradient**
- ❑ **Mobilisierung der LCKW durch Organik ist bekannt** (Transformation, Lösungsvermittler, Biotenside)
- ❑ **Phase verändert ihre Zusammensetzung** (Partitionierung von cDCE und VC)
- ❑ **Bis zu 16-fach schnellere Auflösung**
- ❑ **Zeitbedarf für natürliche Auflösung ca. 70 Jahre (Standort X)** („Grathwohl-Gleichungen“, NSZD = Natural Source Zone Depletion)
- ❑ **Verringert auf 4,5 Jahre (Best Case)**
- ❑ **Optimal: Substrat mit Depot-Effekt** (Speiseölemulsionen)

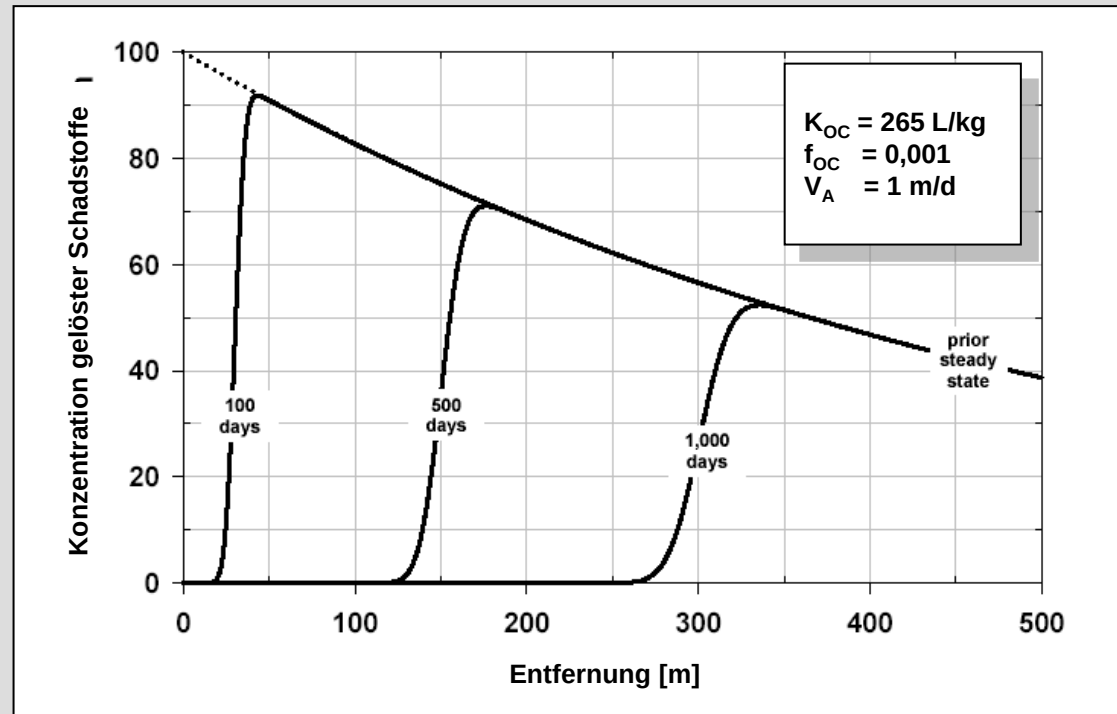
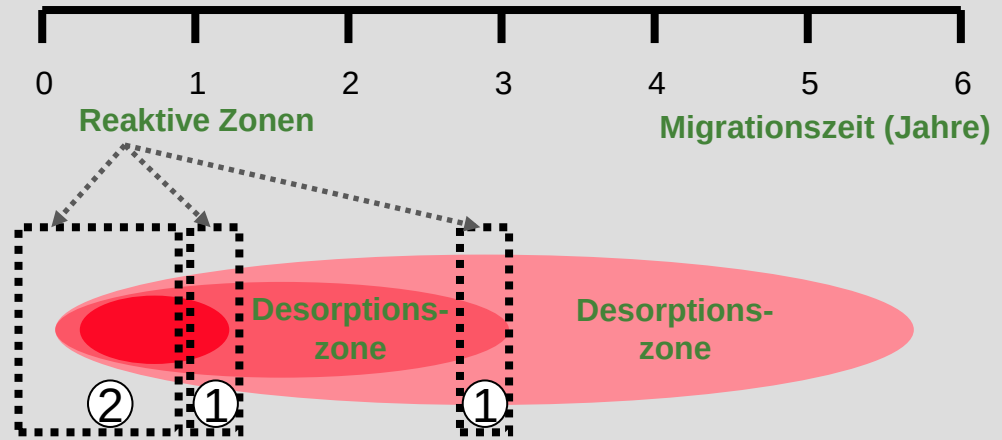
Managing the Challenge

Heterogenität

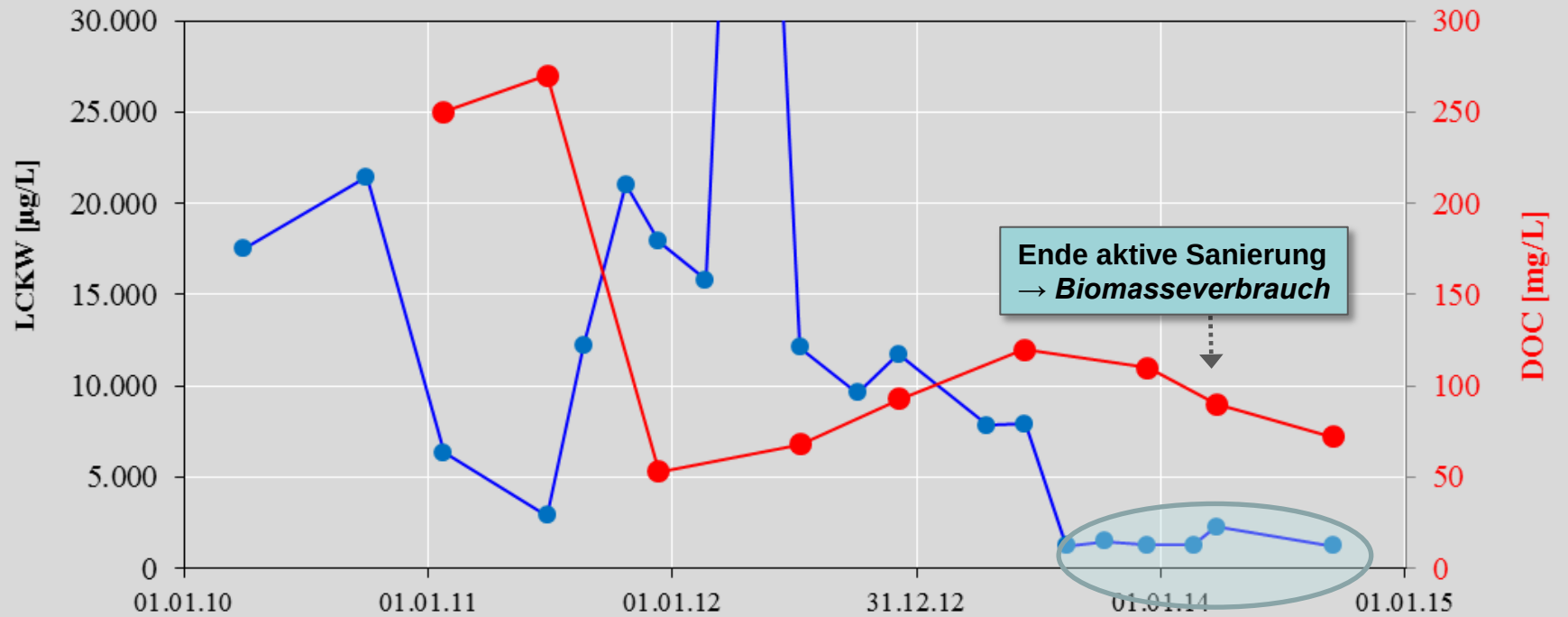
Transport und Schadstoffminderung



IRZ-Konzept



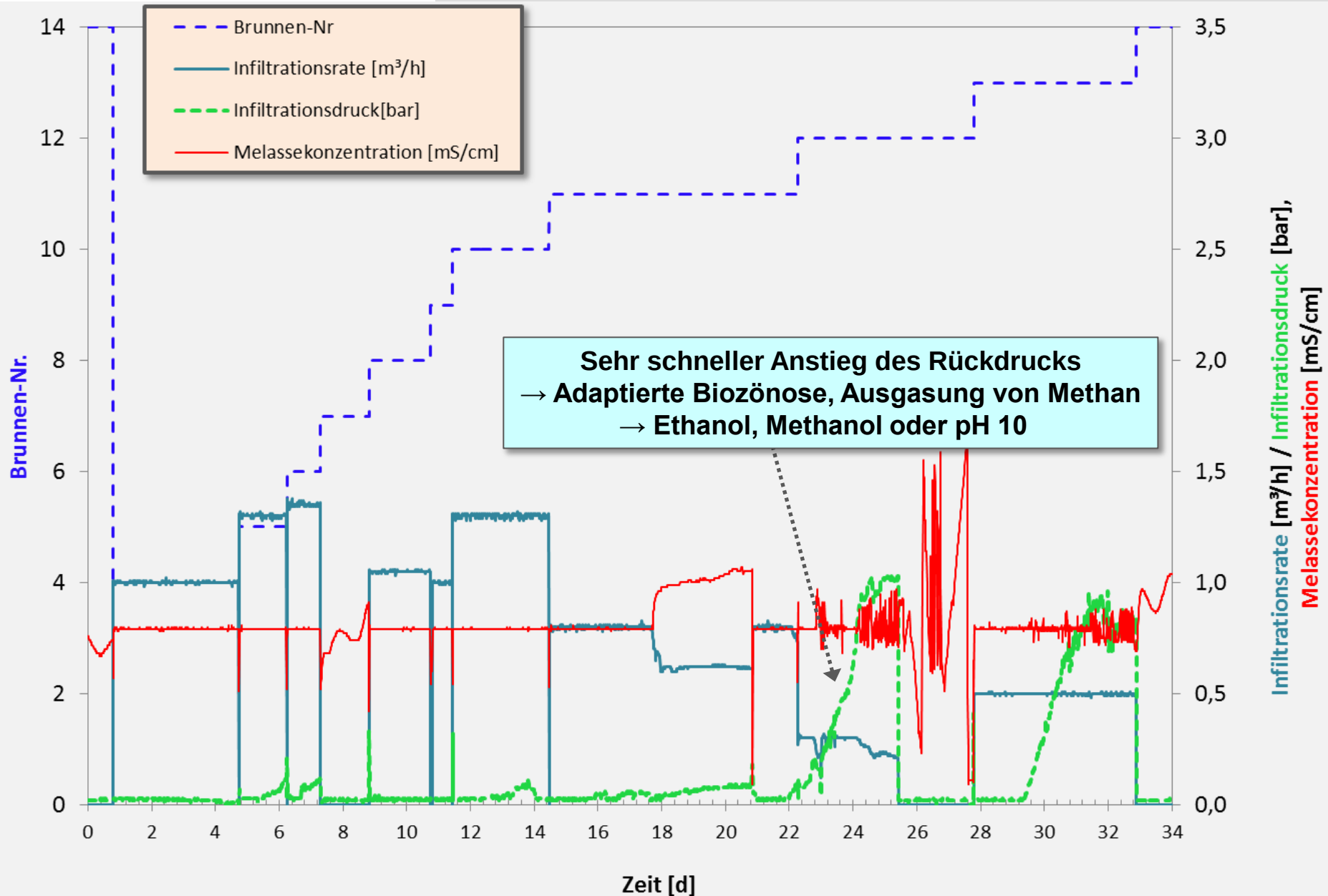
Abbaurate (Fahne)



Managing the Challenge

DOC-Versorgung / Mischung / Verdrängung

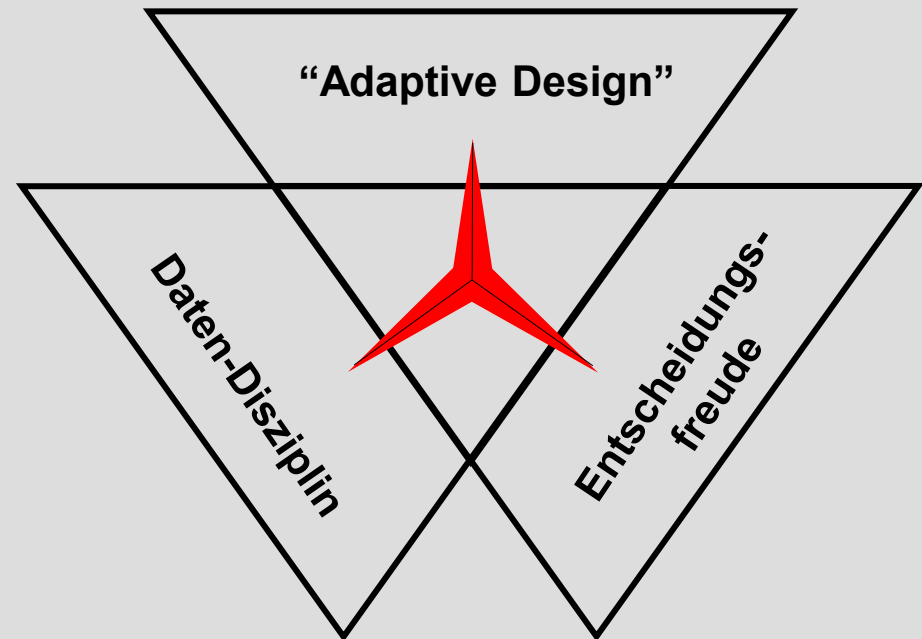
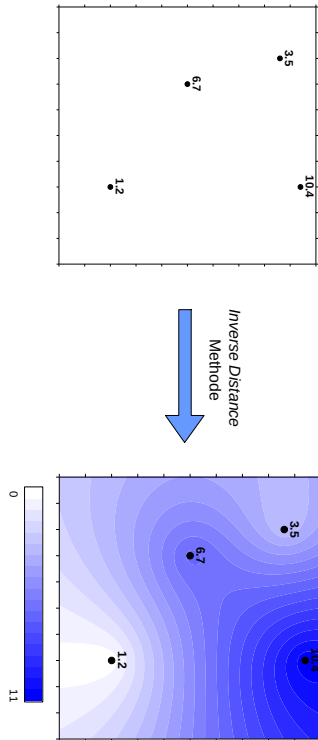
Automatisierte Infiltration



Managing the Challenge

Ausblick

Drei Elemente der Sanierungsstrategie



t.held@arcadis.de
Tel.: 0151-17143-327

WILEY-VCH

Thomas Held

In-situ-Verfahren zur Boden- und Grundwassersanierung

Verfahren, Planung und Sanierungskontrolle



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit


ARCADIS

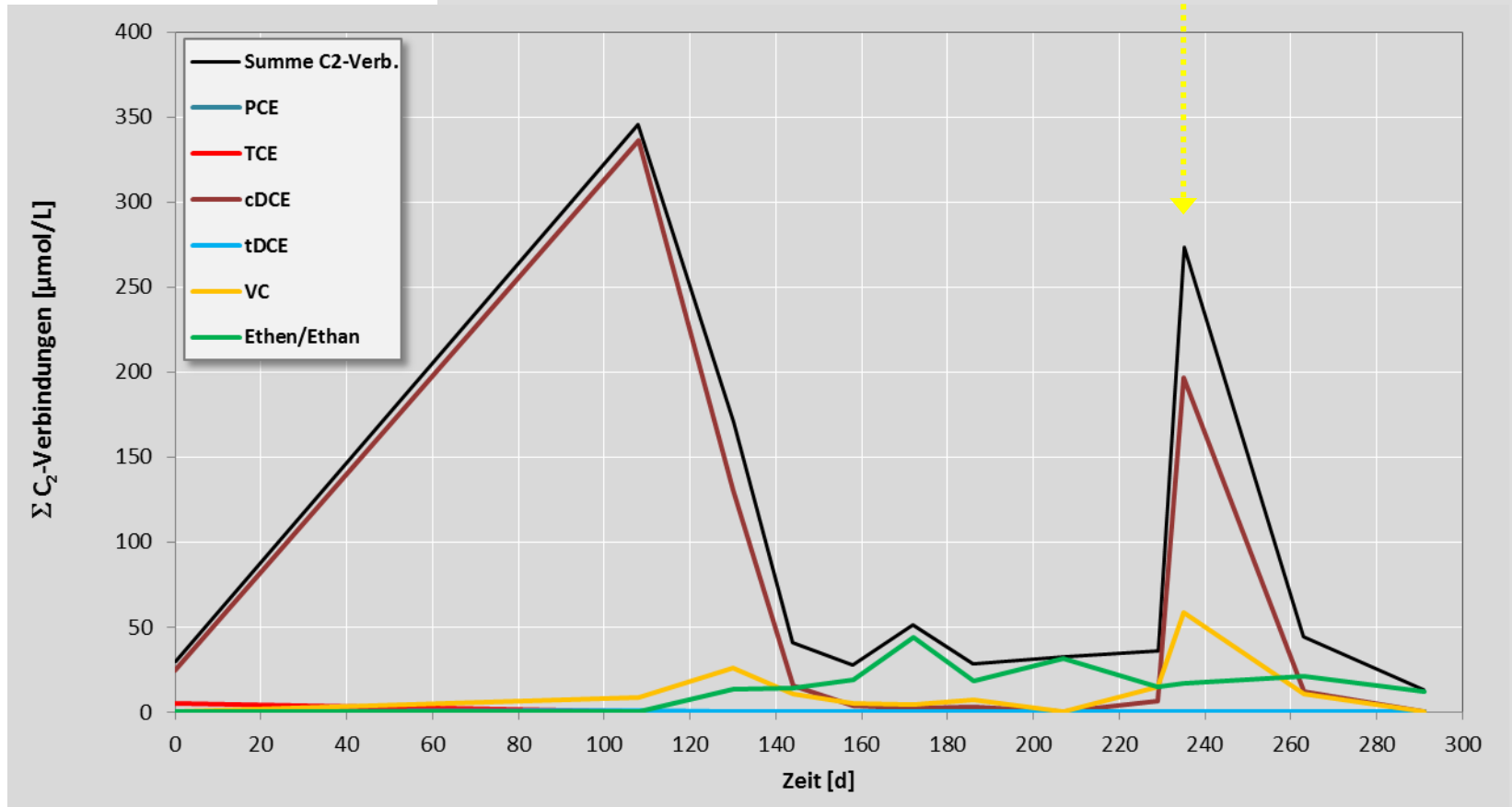
Managing the Challenge

Monitoring

Redoxindikatoren, DOC, TOC, LCKW + Endprodukte

Prozessmonitoring (ggf. Schöpfproben)
Erfolgsmonitoring (LCKW)

Schöpf- und Pumpproben

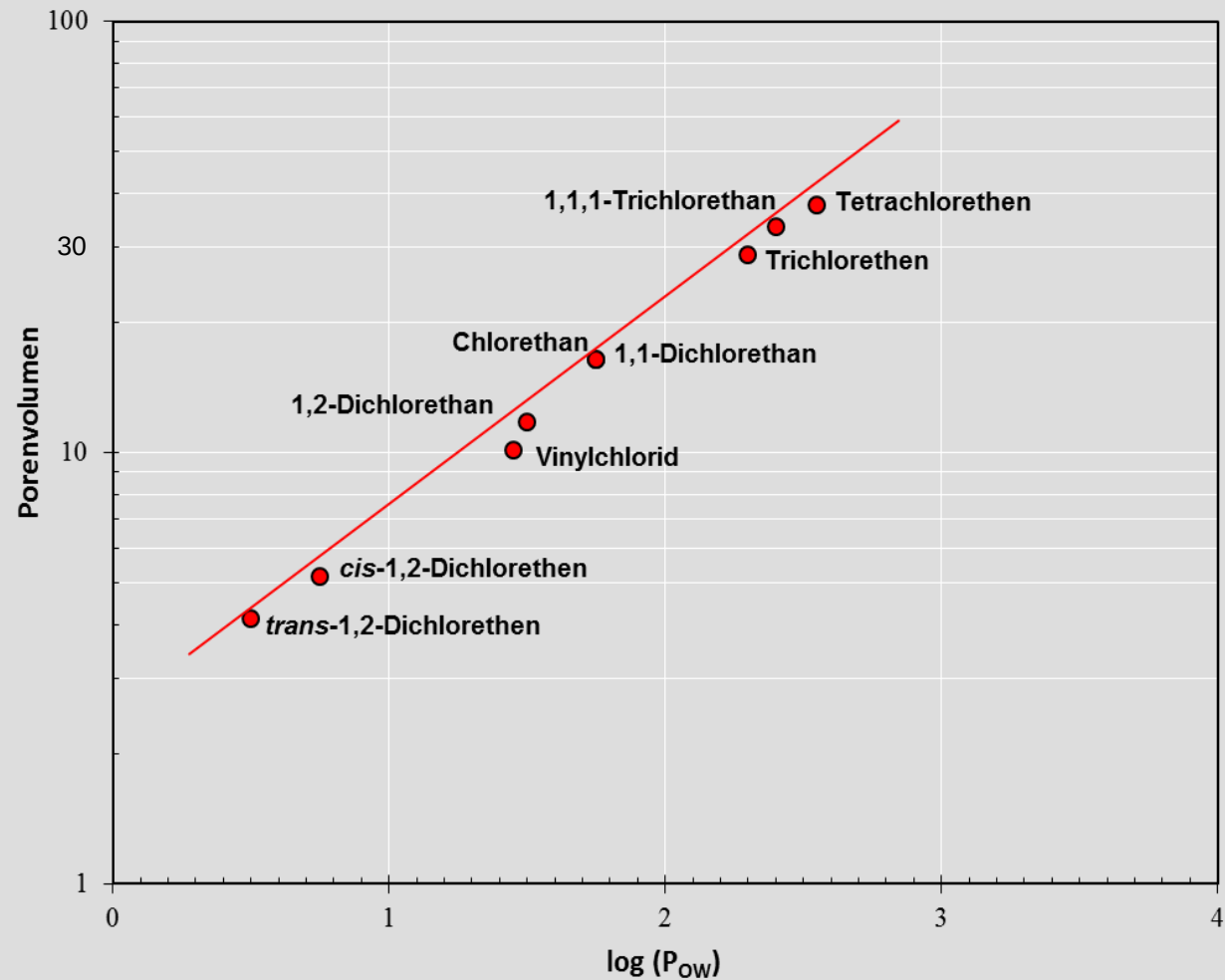


„Auswaschung“ von LCKW

(nur sorbierte LCKW)

Beispiel

L_p 40 m
 V_a 20 m/a
 t_{TCE} 60 Jahre



Schadstoffverteilung

