

In-situ-Sanierung in komplexer geologischer Struktur: Praxisbeispiel einer biologischen LCKW-Sanierung durch aktives hydraulisches Management



Sascha Winkler, Sensatec GmbH, Kiel



ÖVA-Technologie-Workshop



Wien, 05.11.2015



Vortragsübersicht

1. Einleitung mikrobiologische in-situ-Sanierung
2. Praxiserfahrungen auf Grundlage eines Projektbeispiels
3. Fazit

„If you fail to plan you plan to fail” (Benjamin Franklin)

Schadstoff(-zusammensetzung):

LCKW-Konzentration

LCKW-Komponenten (PCE, TCE, cDCE, VC, ...)

Residualphase

...

Hydrogeologische Parameter:

$V_{\text{fließ}}$, k_f , PV

Bodenstruktur (Horizontierung)

Mächtigkeit GWL

...

Chemische Parameter:

Redoxmilieu

Fe-, Mn-, Sulfatkonzentration und -oxidationsstufe

DOC

pH

...

Folgerung

- Entscheidung über das Sanierungsverfahren
- Bestimmung der Wirkstoffzusammensetzung und Mengen
- Eingabetechnik und Wirkstoffverteilung
- Auswahl geeigneter Monitoringparameter während der Sanierungsphase und nach Abschluss

Beispielstandort

Standortüberblick

Fläche: 225 m²

Aquifermächtigkeit ca. 6 m

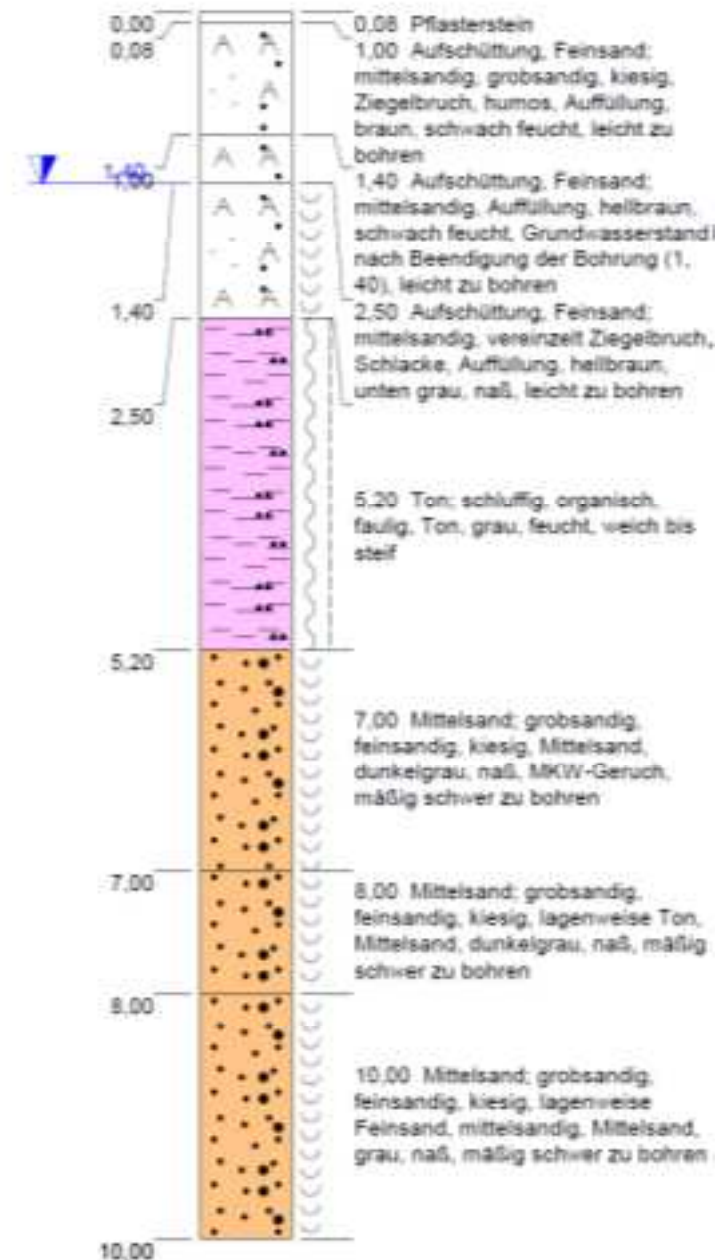
Durchfluss pro Tag ca. 2,5 m³

Maximale Belastung ΣLCKW : 3000 µg/L

Durchschnittliche Belastung: 1500 µg/L

Hauptschadstoffkomponente: PCE (80 %)

Homogener,
mächtiger und gut
durchlässiger GWL



Stöchiometrische Wasserstoffbilanz und Berechnung der Wirkstoffmenge

1. konkurrierende Prozesse zur Dechlorierung und benötigte Wirkstoffmenge

	Verbrauch an Wasserstoff bzw. Elektronen	mittlere Stoffkonzentration im Feld (mg/l)	benötigte Molafermmenge (mg/l)
Nitratreduktion	5 H ₂	5	103,52
Eisenreduktion	0,5 H ₂	15	34,42
Manganreduktion	1 H ₂	1,19	0,89
Sulfatreduktion	4 H ₂	21	385,09
Summe			523,91

2. Dechlorierungsprozesse und daraus resultierende einzusetzende Wirkstoffmenge

	Verbrauch an Wasserstoff bzw. Elektronen	mittlere Stoffkonzentration im Feld (mg/l)	benötigte Molafermmenge (mg/l)
PCE zu Ethen	4 H ₂	2,2	13,63
TCE zu Ethen	2 H ₂	1	5,86
CIS zu Ethen	3 H ₂	3,3	17,49
VC	1 H ₂	1,3	5,34
Summe			42,31

Berechnung der Wirkstoffmenge (Cosubstratbeispiel)

- Benötigte Zielkonzentration im Aquifer: 570 mg/l
- Summe aus Menge zur Reduzierung der Bodenmatrix und Schadstoffe
- Zu behandelndes Bodenvolumen: 1.350 m³
- Porenvolumen: 340 m³ (bei angenommenen 25 % PV)
- Benötigte Gesamtmenge ausgewähltes Cosubstrat inkl. Sicherheitsfaktor: 390 kg

Kenngroßen Sanierungsphase 1

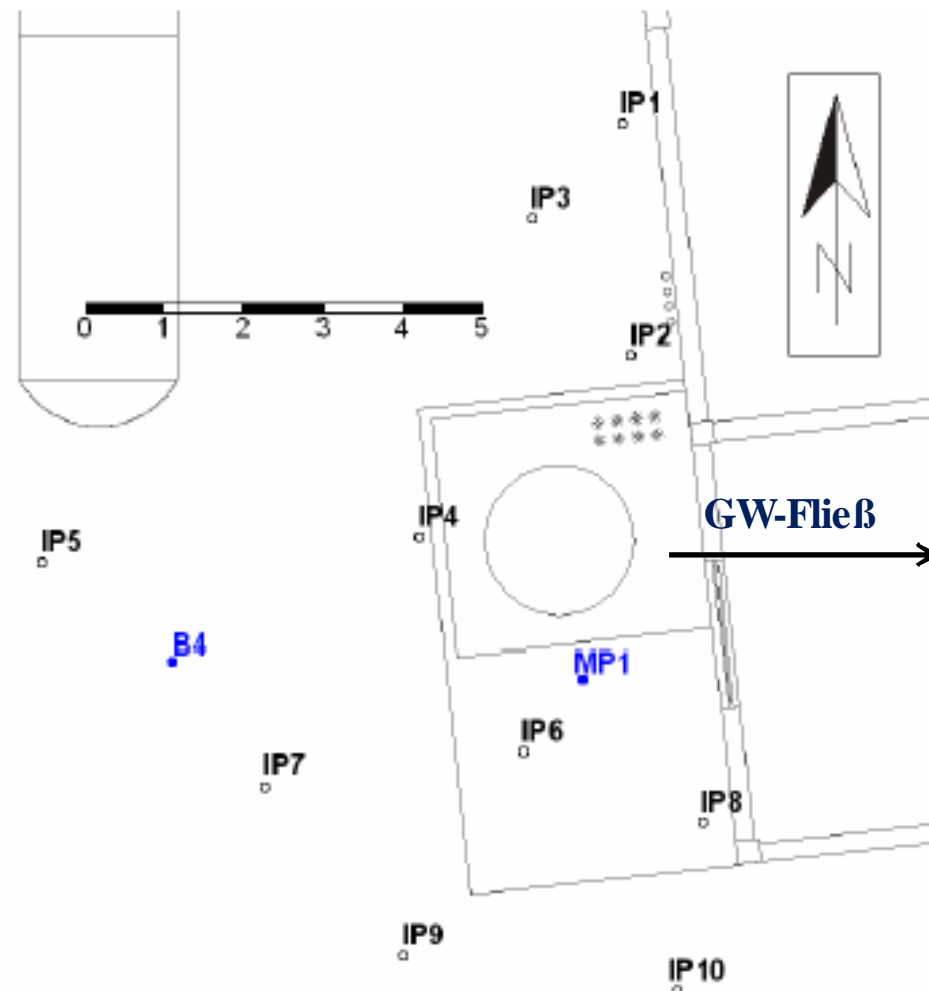
Sanierungszeitraum 3 Jahre

Wirkstoff: Cosubstrat (1%ig Melasse)

Pufferlösung nach Bedarf

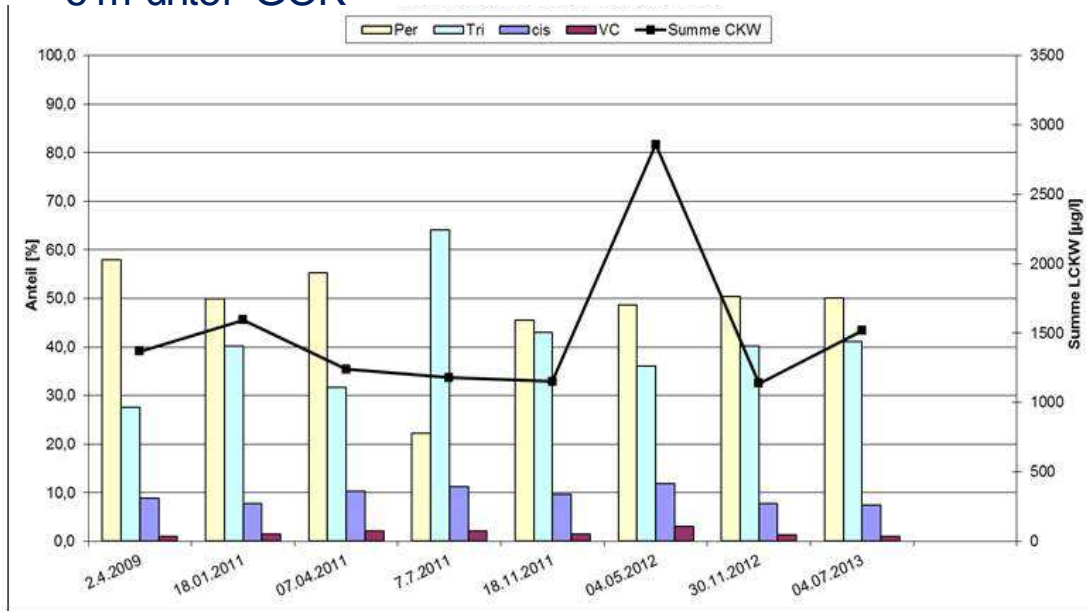
Insgesamt ca. 500 kg Cosubstrat (= ca. 100 kg DOC)

Eingabe in 10 IP:



Schadstoffentwicklung B4

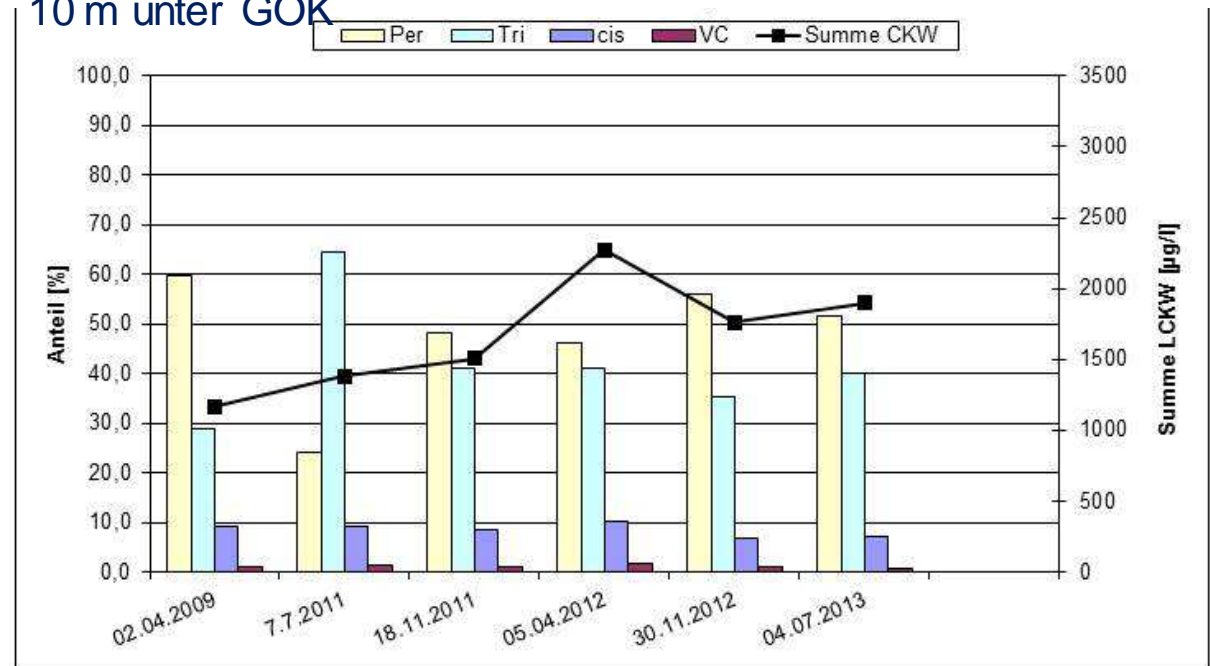
6 m unter GOK



Randbedingungen der anaeroben Dechlorierung im optimalen Bereich (Redoxpotenzial: -300 bis -450 mV, pH-Wert um 7, ..)

Kein Rückgang der LCKW-Gesamtgehalte und kein nachweislicher Anstieg von Dechlorierungsprodukten beiden Tiefen

10 m unter GOK



Was tun?

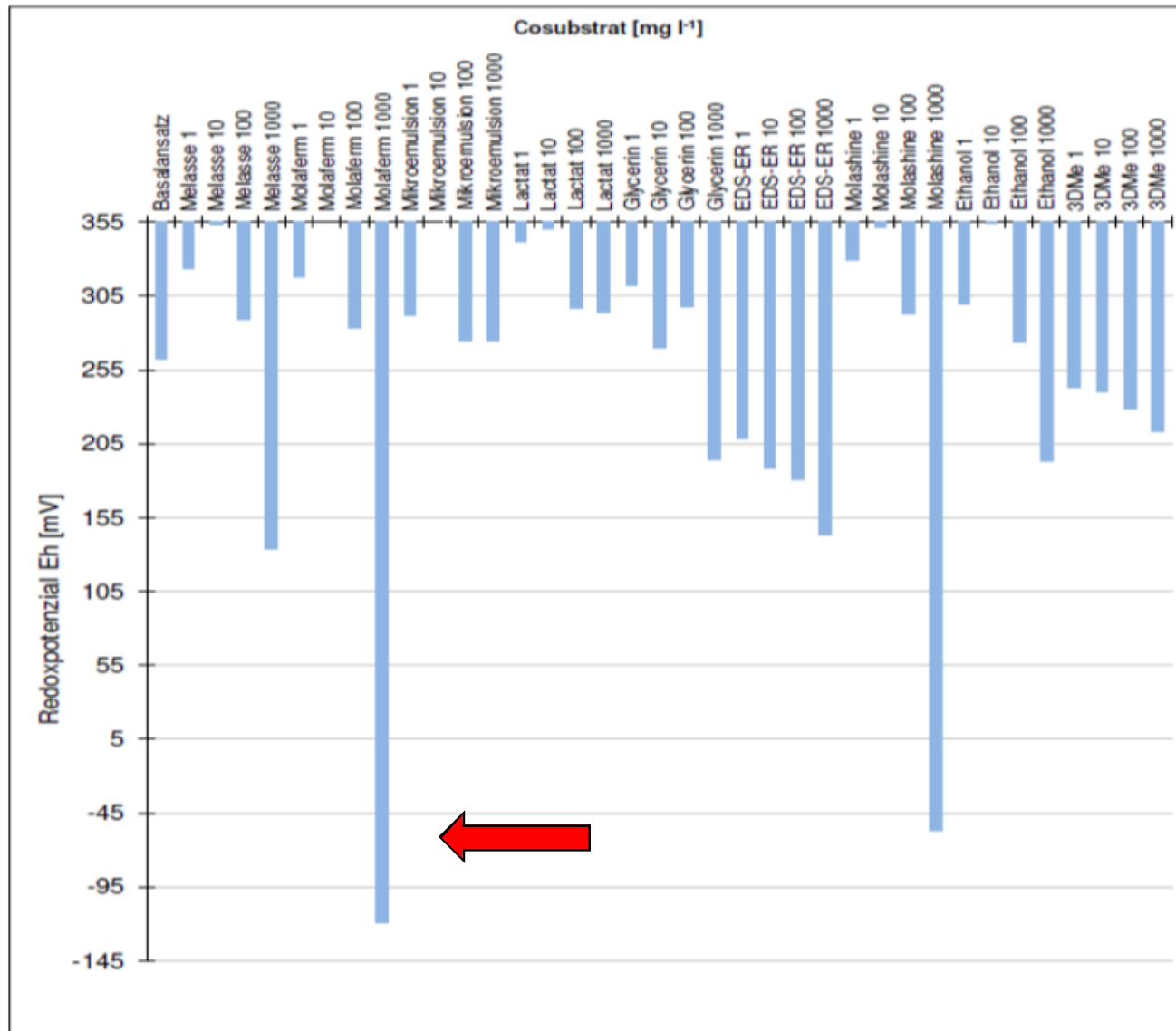


Durchgeführte Untersuchungen

- Laboruntersuchungen in Kiel zur Bestimmung des Cosubstratnutzungsprofils sowie der Nährstoffversorgung
- Pumpversuche zur Identifizierung der Wirkstoffverteilung (Tracertest)

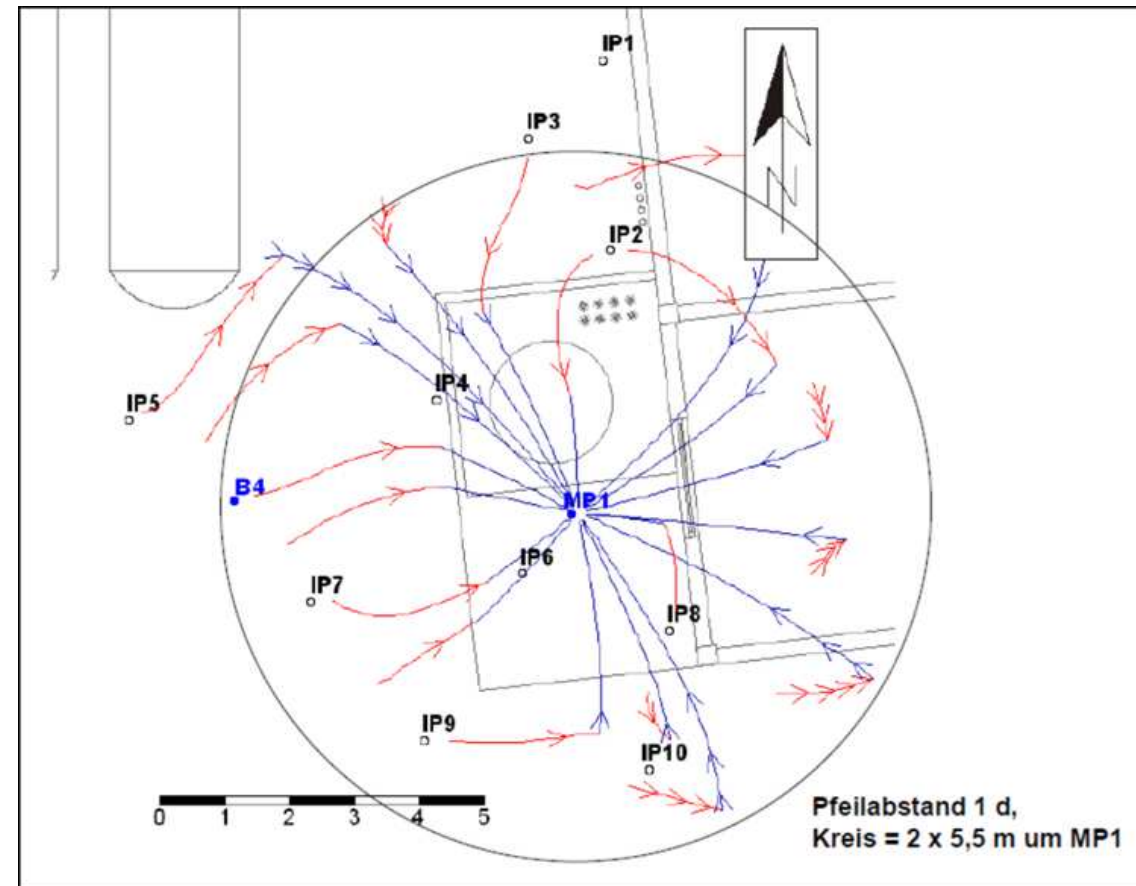
Bestimmung der Wirkstoffart (Cosubstratnutzungsprofil)

- Auswahl einer geeigneten, standortangepassten Kohlenstoffquelle

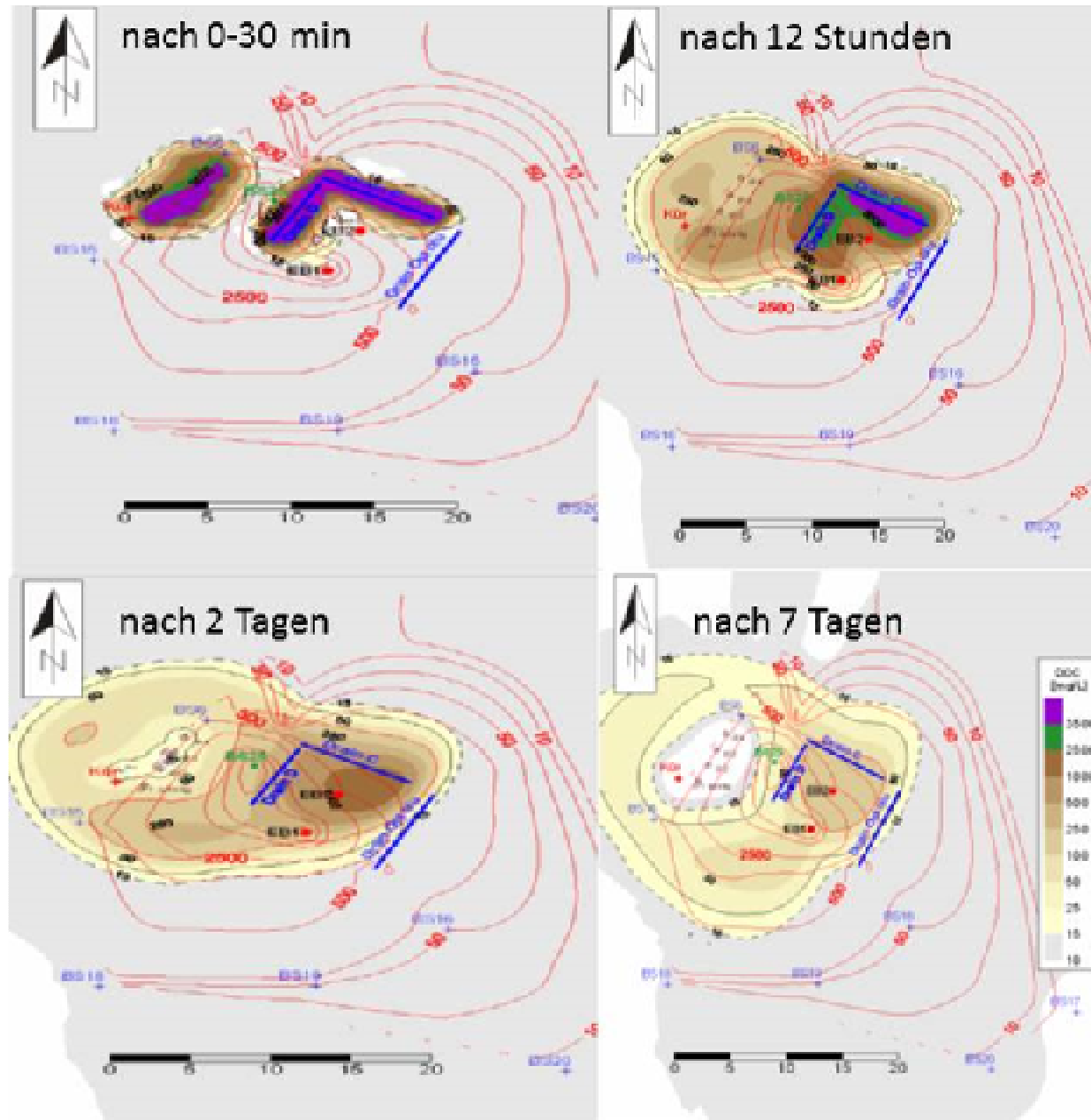


Identifizierung der Verweilzeiten (Pumpversuch, Tracertest)

- Ausarbeitung des Entnahme- und Reinfiltrationskonzepts



Modellierte Zirkulation bei Cosubstrateingabe



➤ Bei dem Einsatz von 2 m³ einer 10 %igen Melasselösung

➤ Nach ca. einer Woche bedingen die Verdünnungs- sowie Abbaueffekte eine erneute Cosubstrateingabe

Konsequenz

➤ Anpassung der Wirkstoffe

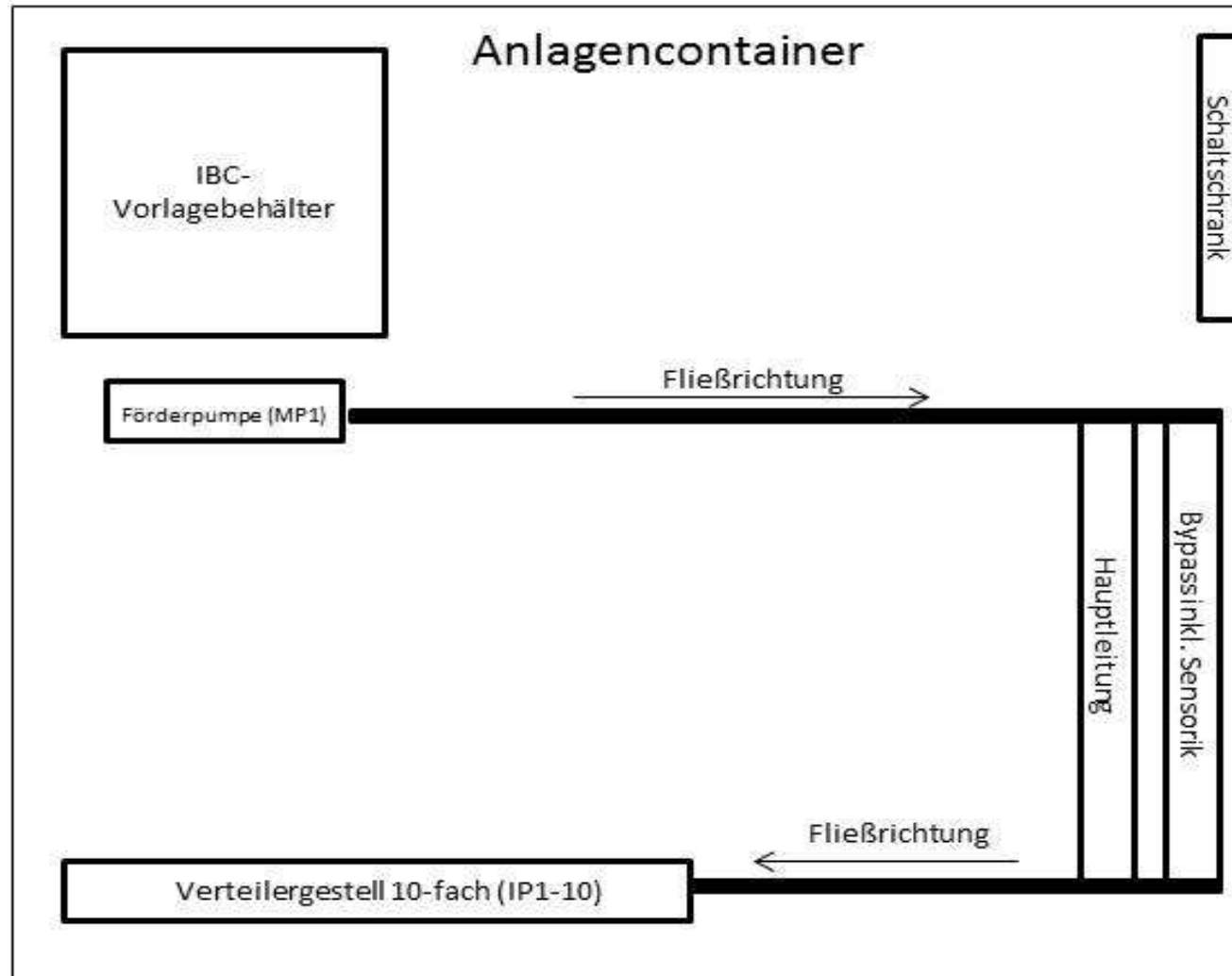
- angepasst an den Bedarf der standorteigenen Mikroorganismen

hier: Wechsel von Melasse zu Molaferm

➤ Aufbau einer GW-Zirkulationsanlage

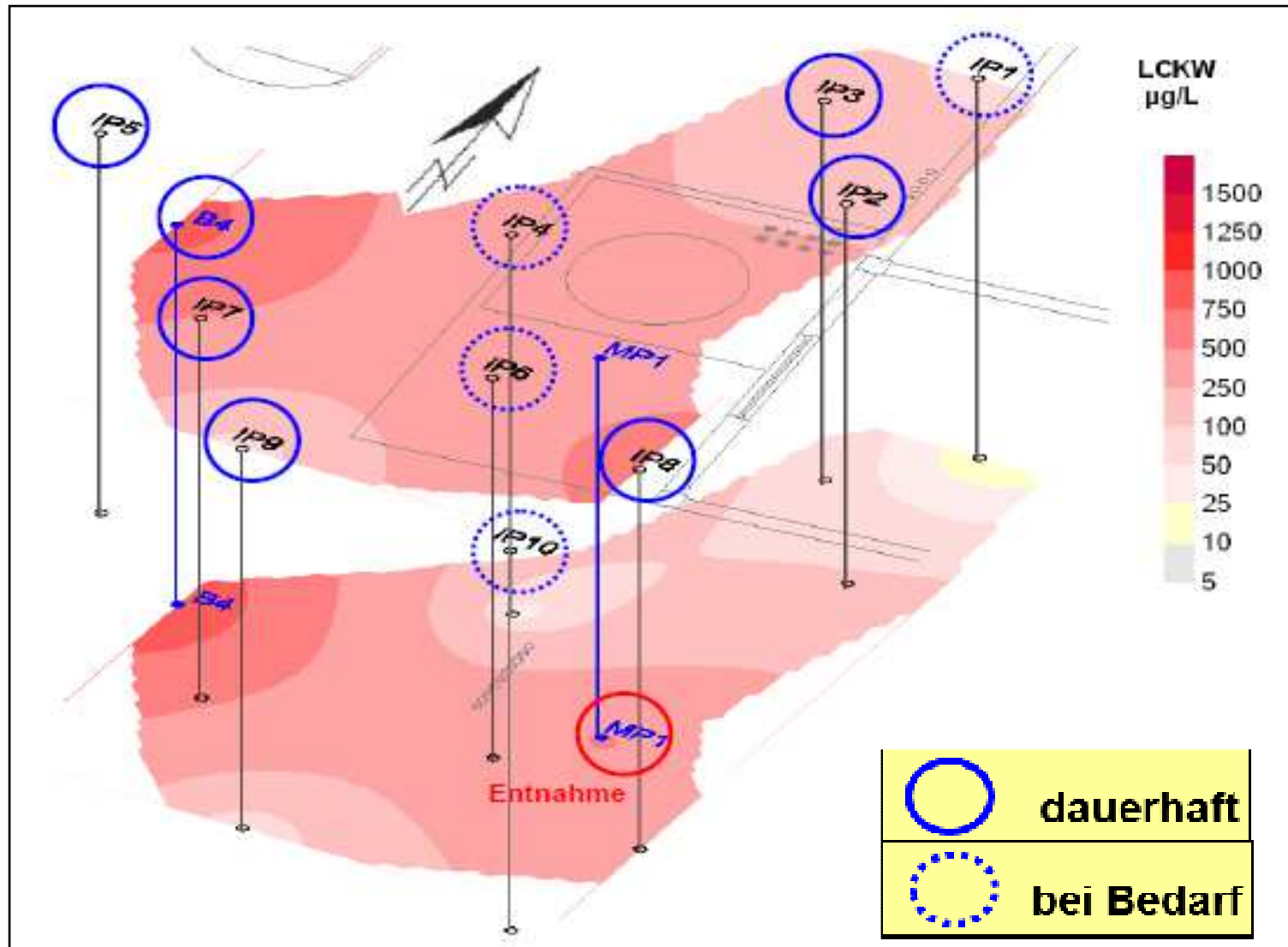
- homogene Verteilung der Wirkstoffe innerhalb der Quelle, Abfuhr mikrobieller Stoffwechselprodukte (möglicher Hemmfaktor)

Schematischer Aufbau Sanierungsanlage



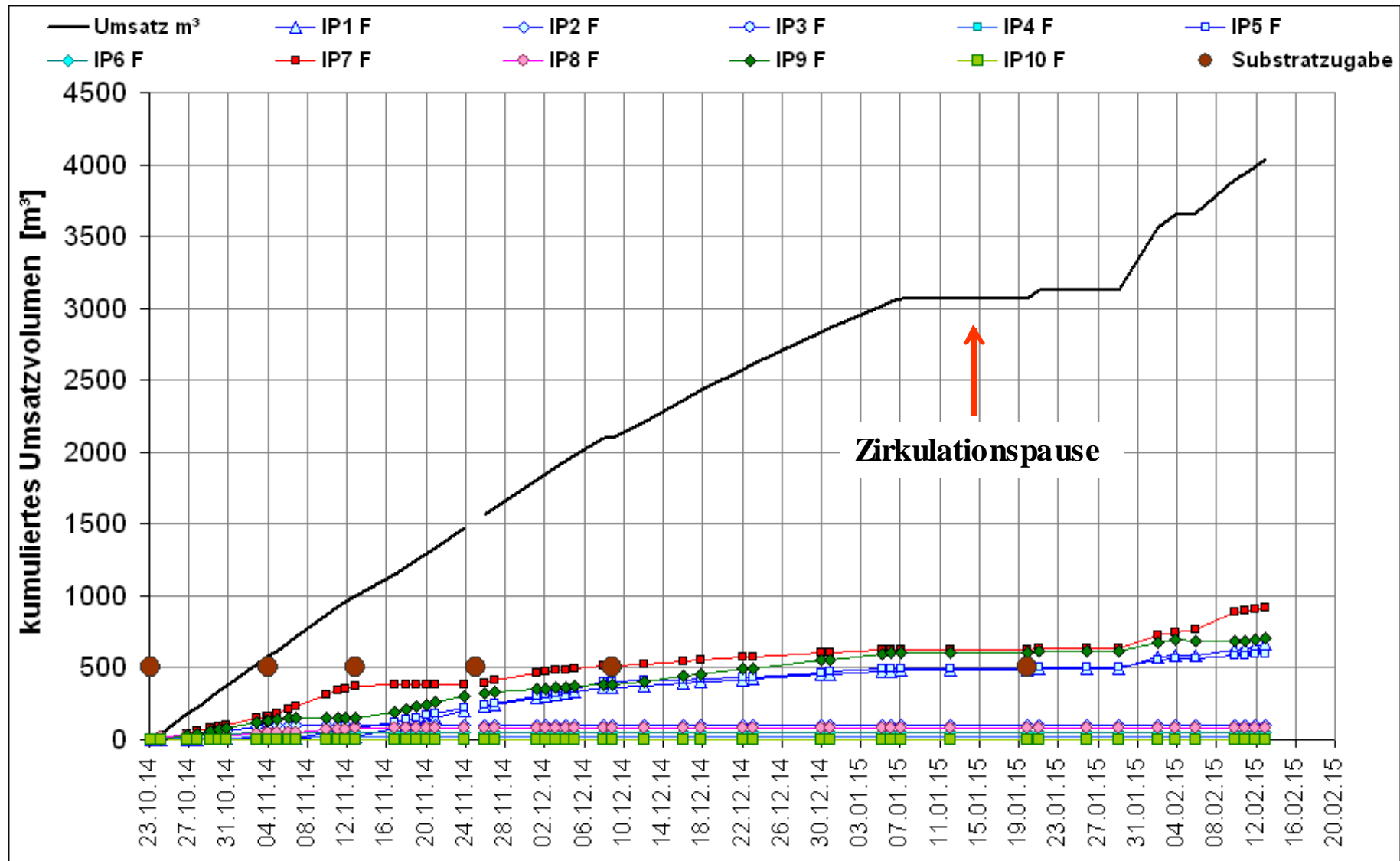
- Cosubstratzugaben auf Grundlage der in situ Lf und des analytisch bestimmten DOC
- Natriumhydrogencarbonatzugaben in Abhängigkeit vom in-situ bestimmten pH-Wert

Umsetzung der Entnahme- und Reinfiltration



Kreislaufanordnung um MP1 vor dem Hintergrund der LCKW- Konzentration

Zirkulationsbetrieb

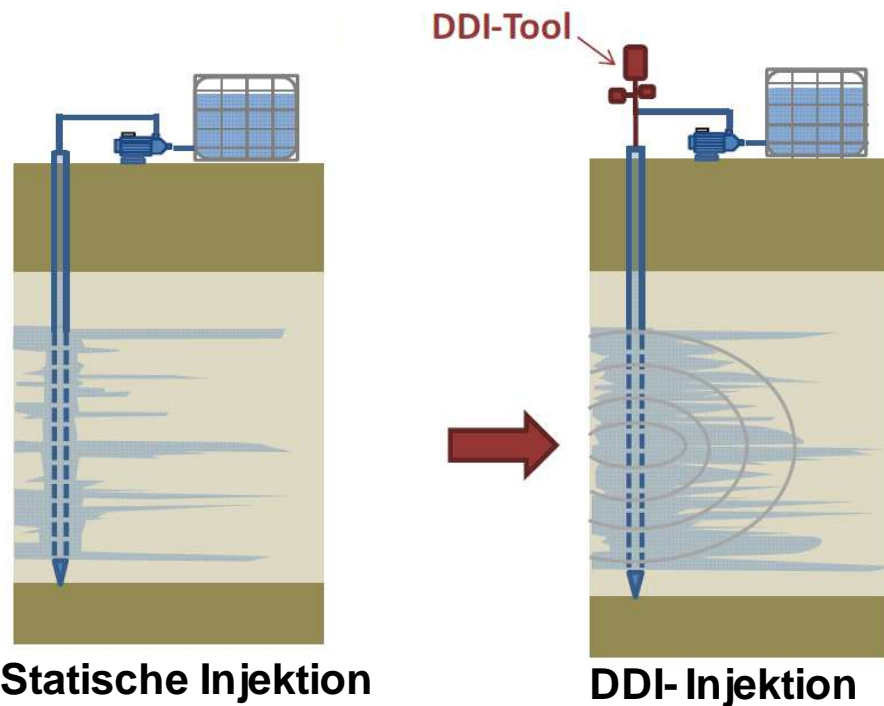


- umgesetzt Gesamtvolumen in 4 Monaten ca. 4000 m³

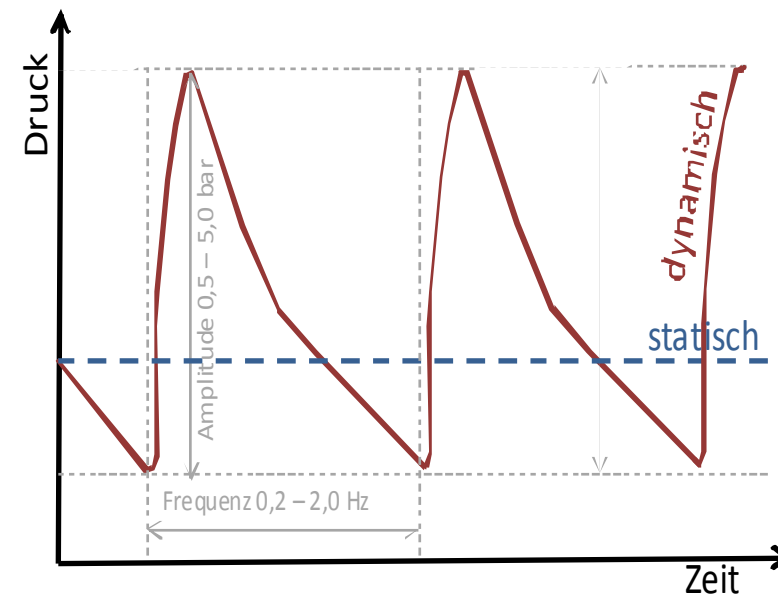
- 14 maliger Austausch (Umwälzung) des gesamten gesättigten Porenvolumens

Zusätzlich eingesetzte Technik: Dynamische-Druck-Injektion (DDI)

Problem statischer Fluidinjektionsmaßnahmen: Ausbildung bevorzugter Fließwege – hydraulischer Weg des geringsten Widerstandes



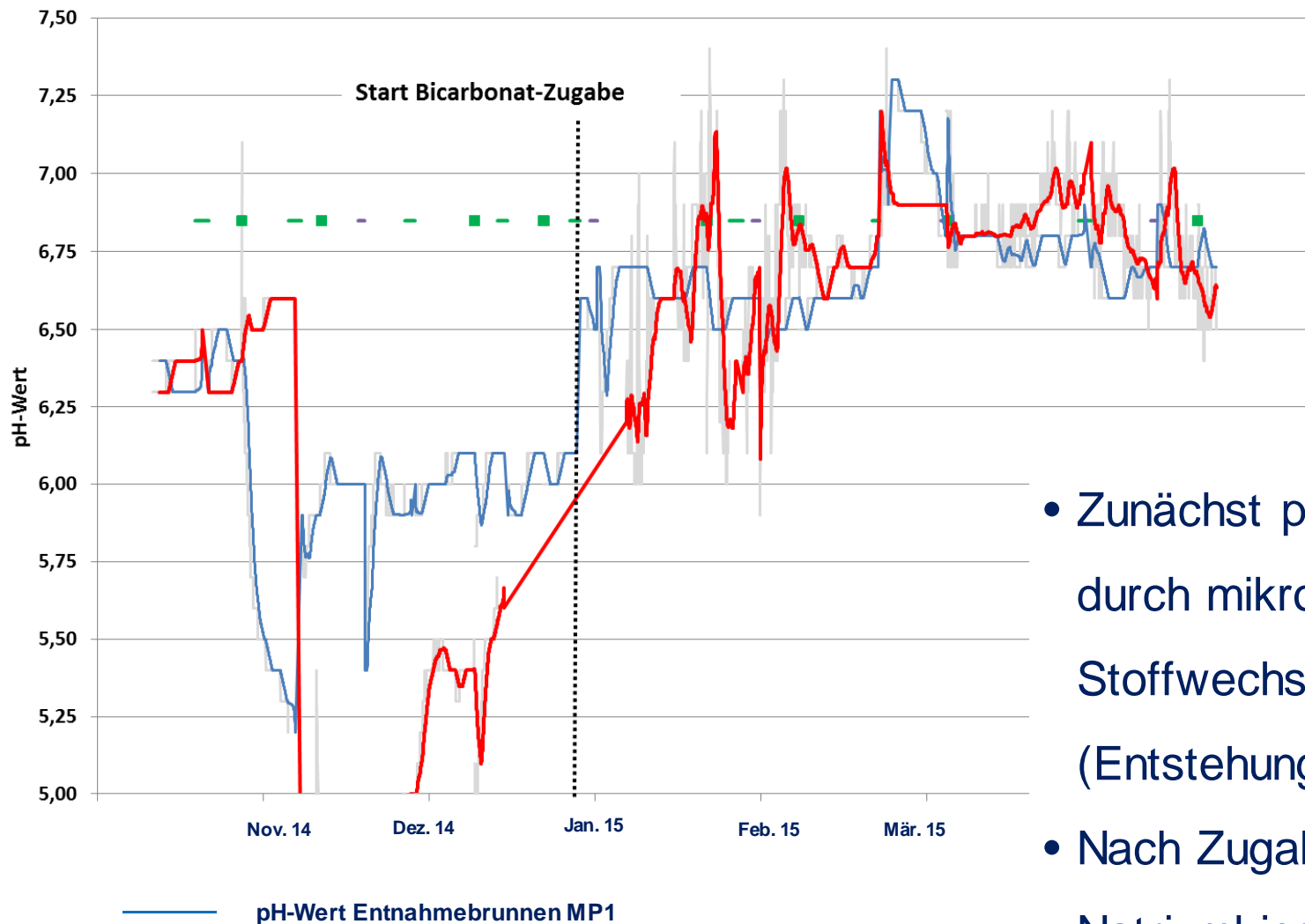
Durch das DDI-Tool wird eine Dynamisierung von Fluid-Injektionen durch Druckpulse bewirkt – Fluide werden zur Druckentlastung in den gesamten durchströmbaren Porenraum gezwungen



Vorteile

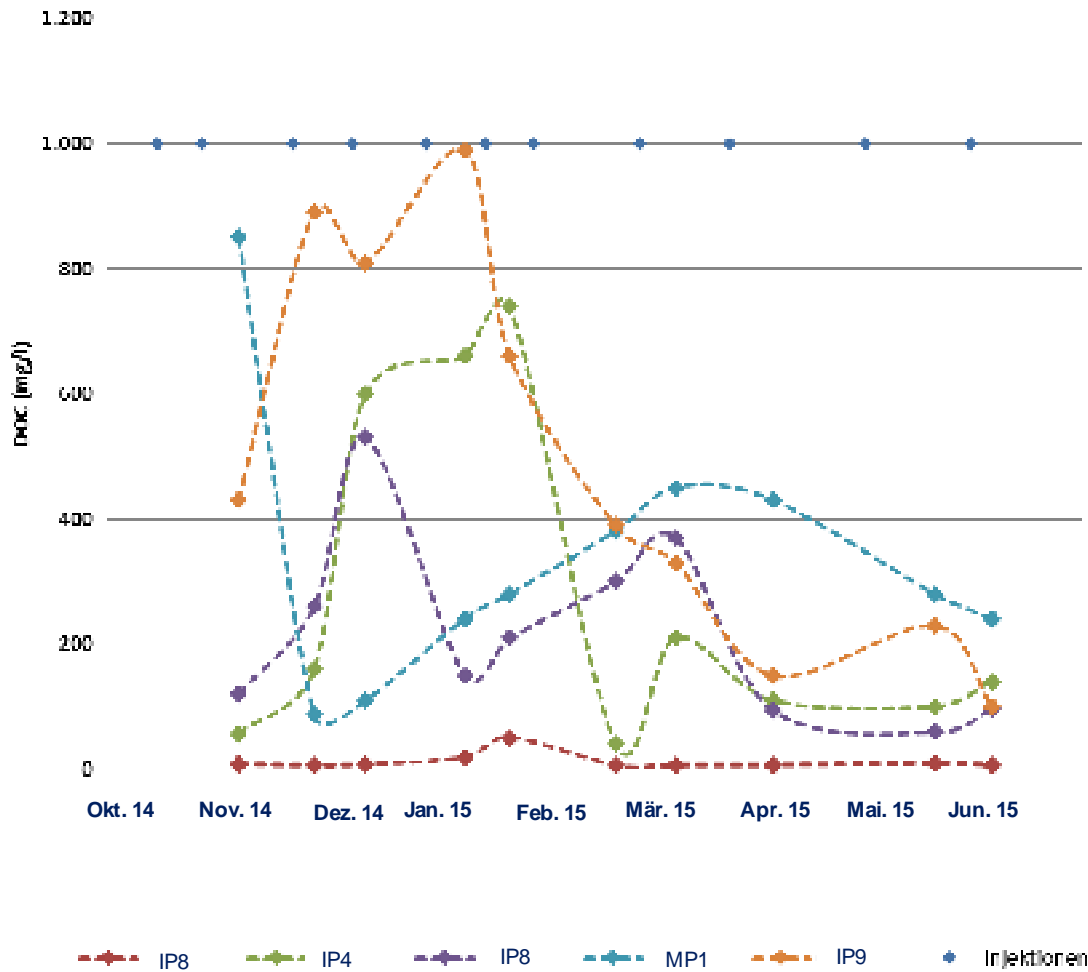
- Die am (Haupt-)Fluß nicht beteiligten Porenräume werden erreicht
- Die Ausbildung bevorzugter Fließwege wird verhindert
- Es erfolgt eine gleichmäßige Verteilung über gesamte Filterstrecke
- Beschleunigung der Infiltrationszeit, erhöhte Aufnahmekapazität des Untergrundes
- Erhöhung der Dispersion, bessere Raumwirkung

Aufzeichnung der pH-Sensordaten

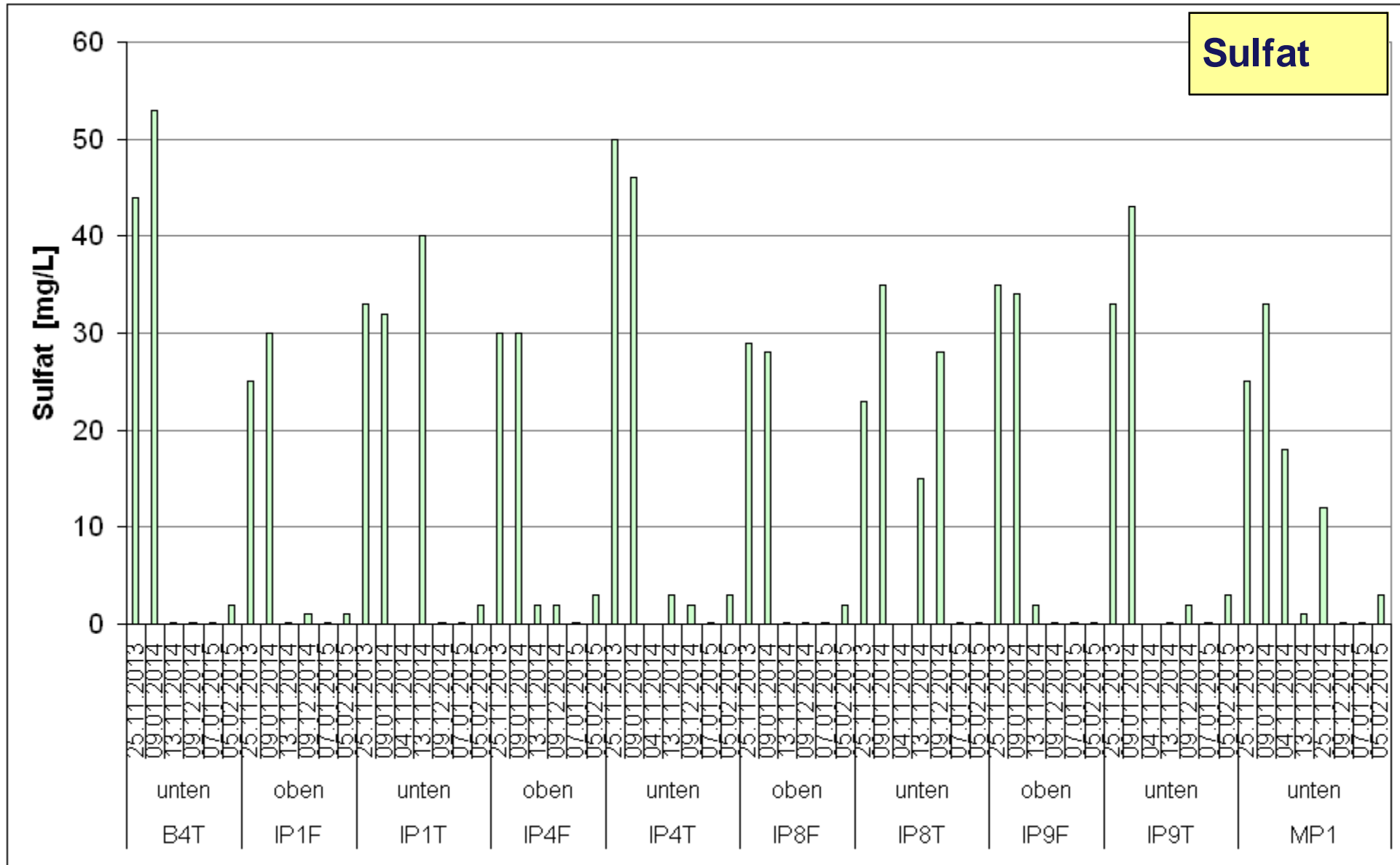


- Zunächst pH-Wert-Senkung durch mikrobielle Stoffwechselprozesse (Entstehung organischer Säuren)
- Nach Zugabe der Puffersubstanz Natriumbicarbonat über die Injektionslösung Anhebung des pH-Wertes

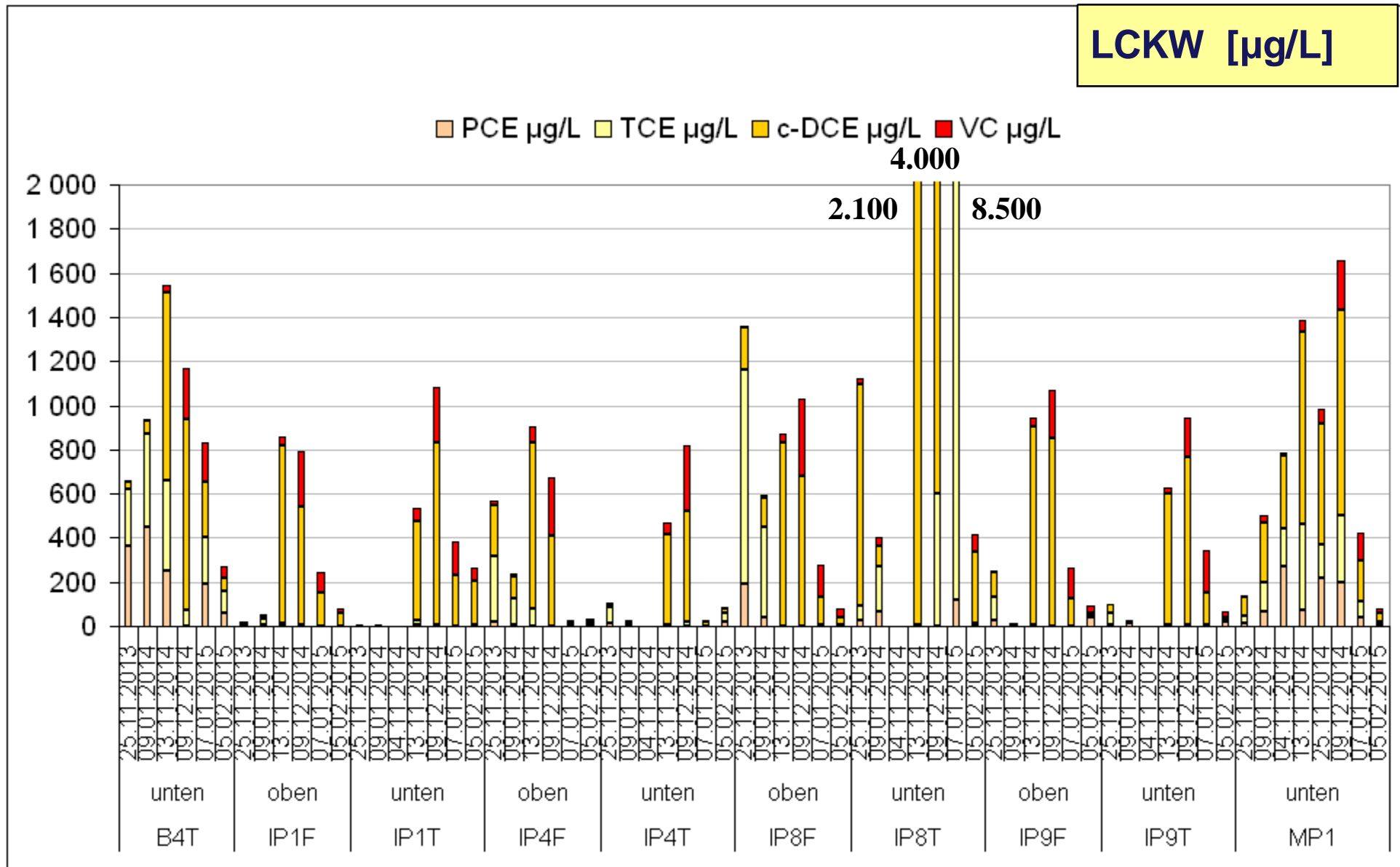
DOC- Gelöstkohlenstoff



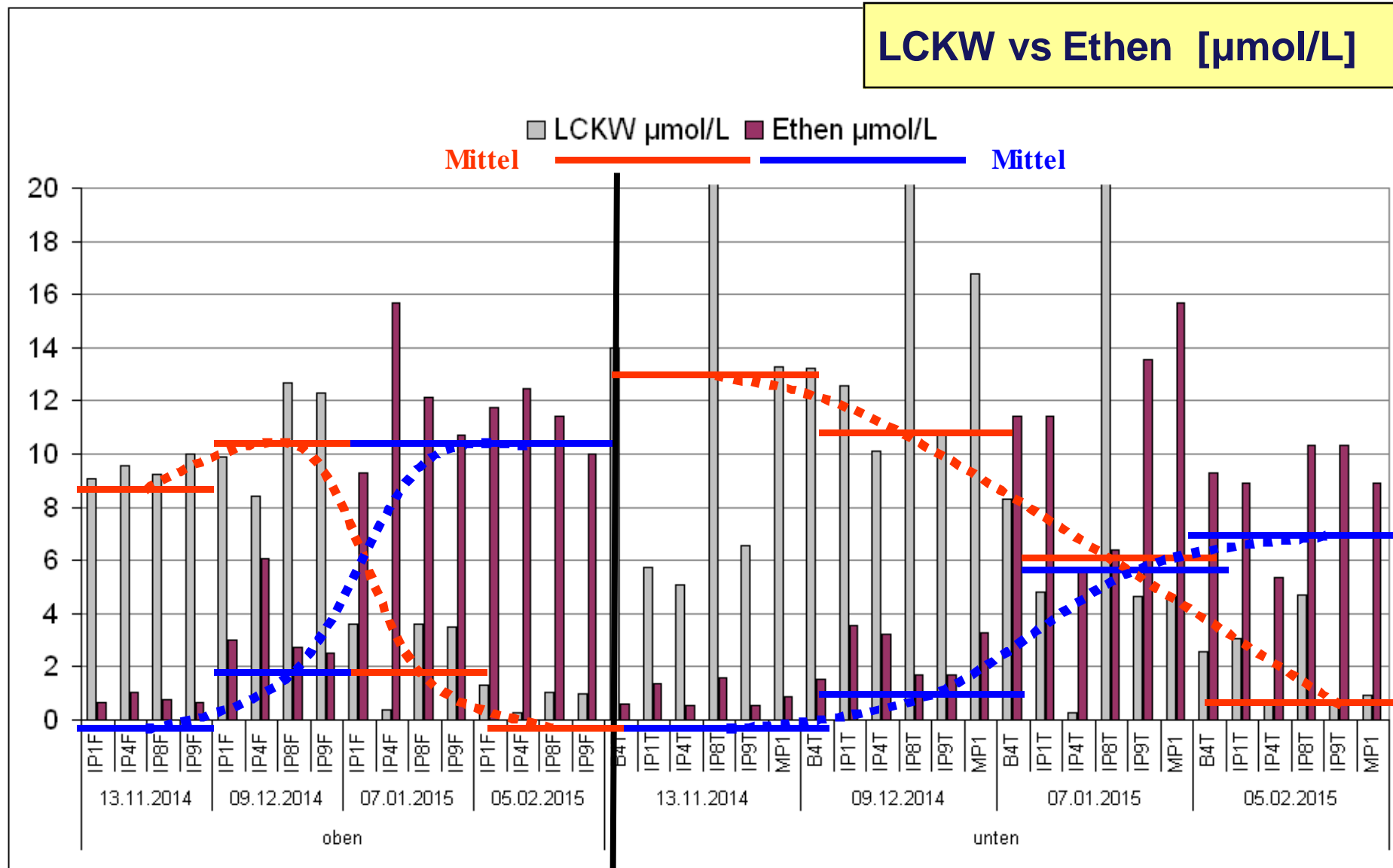
- Erhöhte DOC-Gehalte in allen Messstellen bereits nach der zweiten Infiltration (Ausnahme IP8 → hydraulische Sonderstellung)
- Konzentrationsabnahme im Grundwasser im Sanierungsverlauf aufgrund Reduzierung der Konzentration in der eingebrachten Wirkstofflösung und Zehrung



– Sulfatreduzierende Bedingungen im gesamten Feld konnten eingestellt werden



- Reduktion der LCKW-Gesamtgehalte in der gesamten Schadensquelle
- Anstieg von niedrigchlorierten Metaboliten (vor allem cDCE und VC)
- Sonderstellung IP8 (Nachlösung von Residualphasen)



- LCKW Abnahme in µmol/L entspricht weitgehend der Ethenzunahme in µmol/L
- Verdünnungseffekte können durch diesen Nachweis ausgeschlossen werden

- Standortspezifische Cosubstratanforderungen untersuchen (Cosubstratnutzungsprofil)
- Hohe Effizienz durch aktive Wirkstoffverteilung
 - passive Wirkstoffeingabe führt am Standort nicht zu einer Abreinigung der LCKW
 - aktive Wirkstoffzirkulation führt zu einem schnellen Sanierungserfolg
- Kreisläufe dienen nicht nur der besseren Wirkstoffverteilung
- Stoffdurchsatz, "Bewegung" = Antransport von Nahrung, Abtransport von Stoffwechselprodukten und toter Zellmasse (möglicher Hemmfaktor)
- Deutlich homogenere Milieubedingungen durch beständig aufrechterhaltenes Fließregime
- Versorgung der bindigen Deckschicht durch gepulste Druckinjektion sowie Einsatz der DDI-Technik (temporäre GW-Aufhöhung)