

Komplexer Ansatz für eine belastbare Grundwassergefährdungs- und -risikobewertung von Altlasten

P. Dost, F. Kurzius, K. Hellmann & C. Nitsche
BGD ECOSAX GmbH
Migrationslabor, Dresden, Deutschland

Leoben, 08.11.2018



1. Motivation: Sanierungspraxis – Bedarf – Erfordernis
2. Möglichkeiten der Parametrisierung
3. Maßstabsfaktoren
4. Übertragbarkeit in den Feldbereich
5. BMWi Forschungsprojekt „Laborsystem“ einschließlich Datenbank Migrationsparameter
6. Anwendungsbeispiel
7. Zusammenfassung



Thesen derzeitige Sanierungspraxis

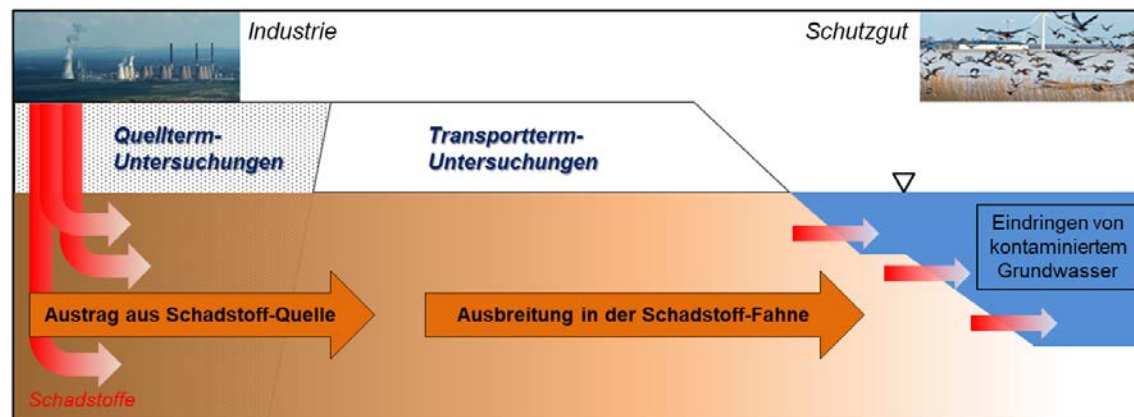
- Viele Altlasten werden hinsichtlich der Gefährdungsabschätzung **zu hoch / zu gering** eingeschätzt
- Möglichkeit von **MNA** wird **häufig unterschätzt**
- In-Situ-Sanierungs- und / oder Grundwasserbehandlungsmaßnahmen häufig **nicht effizient**

Bedarf

- Belastbare Prognosen der Kontaminationsausbreitung im Rahmen der Detailerkundung und der Erstellung von MNA- und ENA-Konzepten, sowie der daraus resultierenden Notwendigkeit, den Umfang von Sanierungsmaßnahmen abzuleiten, benötigt
- Kenntnisstand oft nicht ausreichend, um belastbare Prognosen zur Ausbreitung von Kontaminanten im Boden und Grundwasserbereich erzielen zu können
- **Ergebnis:** Unsicherheiten in der Bewertung!

Erfordernis

- **Parametrisierung** und **Bilanzierung** von Schadstoffquelle und Schadstofffahne zwingend erforderlich



Möglichkeiten der Parametrisierung

Alle Parameter und deren komplexen Wirkungen sind über theoretische Zusammenhänge ermittelbar

- + geringer Zeitbedarf
- + keine objektspezifischen Untersuchungen erforderlich
- sehr komplexe Parametermodelle
- sehr hohe Anzahl an Kennwerten und Parametern, die verfügbar sein müssen, jedoch teilweise nicht ermittelbar sind
- teilweise erhebliche Abweichungen von der Realität
- Ergebnisse sind kaum noch verifizierbar

Alle Parameter und deren komplexen Wirkungen sind aus Ergebnissen von objektspezifisch und naturnah durchgeführten Laborversuchen ermittelbar

- + die objektspezifisch zu beachtenden komplexen Wirkungen sind in den ermittelnden Parametern bereits enthalten
- + sehr einfache Parametermodelle
- + mehrfach nachgewiesene sehr gute Übertragbarkeit in den Feldbereich
- teilweise hoher Zeitbedarf (für mikrobielle Abbauraten bis zu 6 Monate)

- Die für die Versuchsdurchführung erforderliche Versuchszeit und Anzahl der Versuchsansätze hängt vor allem von den Maßstabsfaktoren ab, die zwischen dem Labor- und Feldbereich bestehen. Diese sind unabhängig vom Laborversuchsverfahren und bilden die Grundlage für die Übertragung der Laborversuchsergebnisse in den Feldbereich

Versuchszeit

- Maßstabsfaktor für die Versuchszeit ist eins
- im Labor durchzuführenden Versuche sind im Vergleich zum Feldbereich zeitlich nicht zu verkürzen
- **Sorption / Desorption:** Versuchszeiten von 24 h pro Versuchsstufe, Austausch zwischen mobilen und immobilen Porenraum
- **Mikrobieller Abbau:** bis zu 6 Monate unter anaeroben Bedingungen, abhängig von Stoff, Konzentration und Milieubedingungen

Probennahme

- Grundsätzlich müssen die entnommenen Feststoffproben die Übertragbarkeit der Laborversuchsergebnisse in den zu betrachtenden Feldbereich ermöglichen
- Voraussetzung dafür ist die Repräsentativität der verwendeten Proben
- Einhaltung der Lagerungsdichte
- Vermeidung Verlust leichtflüchtiger Stoffe
- Schaffung naturnaher Bedingungen (aerobe / anaerobe Verhältnisse, Temperatur 10 °C)

- Vergleich von im Feldversuch bestimmten mikrobiellen Abbauraten mit denen aus dem Labor. Untersucht wurde ein ENA-Konzept durch die Zugabe des reaktiven Stoffes Sulfat.

Feldbereich:

Zugabe von Sulfat in den Grundwasserleiter. Im Feldbereich Entnahme einer Probe nach einem Monat Ruhezeit. Bestimmung der mikrobiellen Abbauraten.

Laborversuch:

Linerkernprobe aus Untersuchungsgebiet. Bestimmung der mikrobiellen Abbauraten unter Verwendung von natürlichem Grundwasser und der Zugabe von Sulfat.

Kontaminant	Feld ENA (1 Monat)	Labor ENA (1 Monat)	Labor ENA (5 Monate)
BTEX, Summe	$k = 0,023 \text{ d}^{-1}$	$k = 0,019 \text{ d}^{-1}$	$k = 0,014 \text{ d}^{-1}$
PAK, Summe	$k = 0,020 \text{ d}^{-1}$	$k = 0,023 \text{ d}^{-1}$	$k = 0,017 \text{ d}^{-1}$

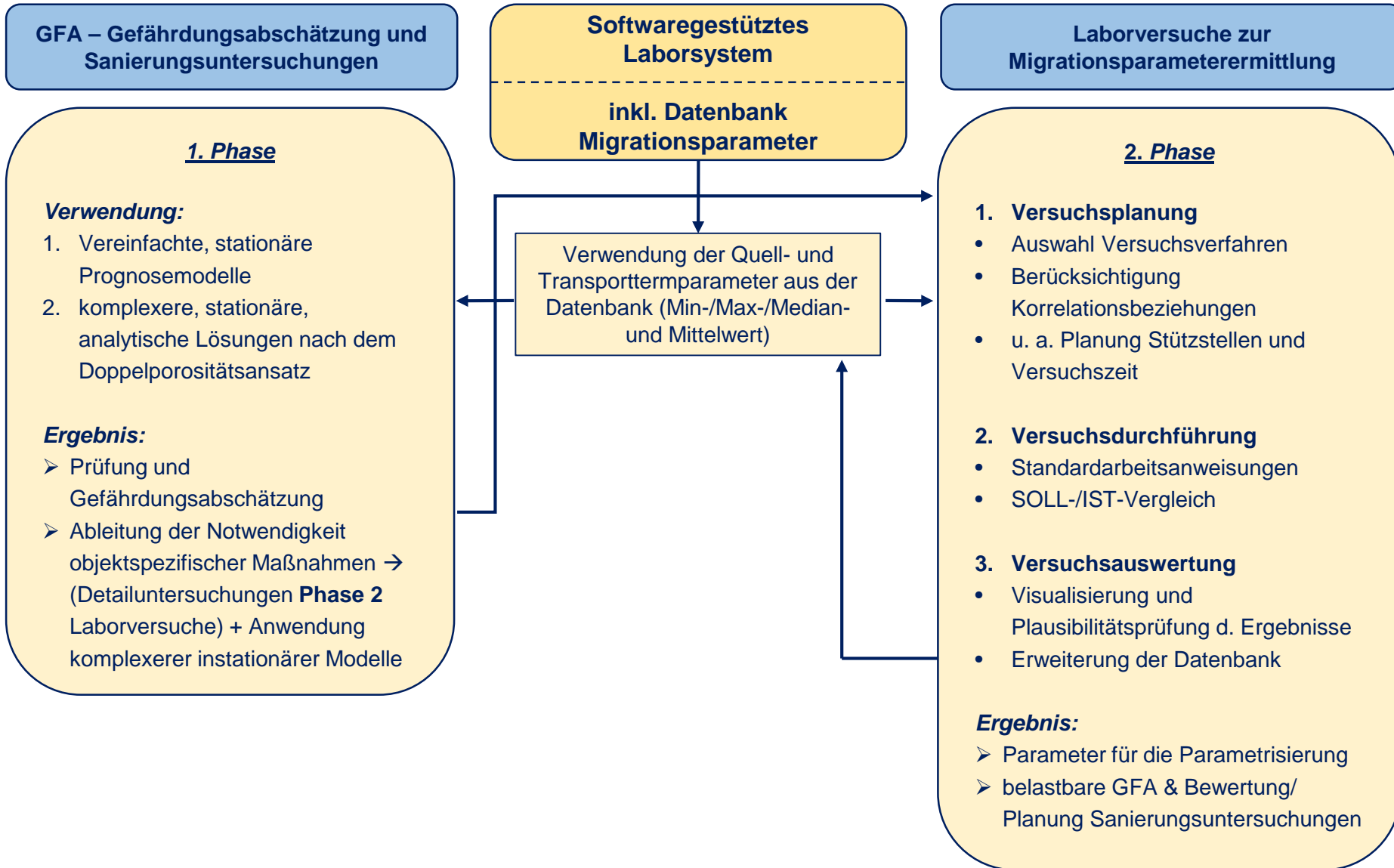


„Entwicklung eines verfahrenstechnischen Laborsystems für die automatisierte Ermittlung von Migrationsparametern für den Boden und Grundwasserbereich“ (2014 – 2018)

- Das übergeordnete Ziel besteht in der verfahrenstechnischen Lösung einer definierten Problemstellung im Boden- und Grundwasserbereich (Eingabe/Ziel einer Untersuchung oder eines Laborversuches), welche in Abhängigkeit des eigentlichen Untersuchungs-/Sanierungsziels und deren einzelnen dafür nötigen Versuchsschritte auf Laborebene zu einer belastbaren Ausgabe/Ergebnis führt.
- Entwicklung eines Lösungsansatzes für die Abschätzung von Erfordernis und Kosten für Sanierungsmaßnahmen
- Erhöhung der Prognosefähigkeit durch integrierte Migrationsparameterdatenbank mit aktuell 5.000 boden- und stoffspezifischen Kennwerten und Parametern

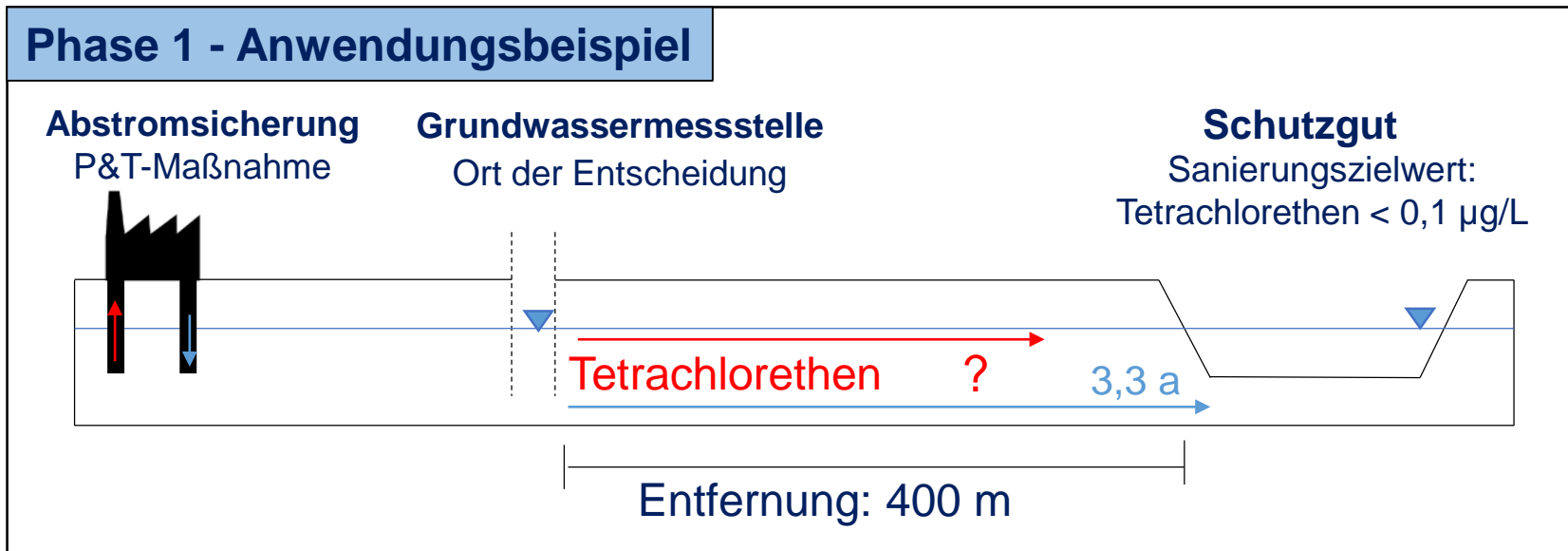
Datenbank Migrationsparameter

- 560 Bodenproben
- 3.200 bodenphysikalische Kennwerte und Parameter
- 1.500 stoffspezifische Parameter Organik
- 400 stoffspezifische Parameter Anorganik



Vereinfachte Prognosemodelle

- 0,2 mg/L sind ohne Abstomsicherung maximal zu erwarten → kann Abstomsicherung abgeschaltet werden?
- steigende Tetrachlorethen-Konzentration in der Abstrom-GWM der Quelle festgestellt
- Hydraulik ist bekannt (Abstandsgeschwindigkeit $v_a = 120 \text{ m/a}$, $n_{\text{eff}} = 0,25$)
- Welche **Konzentration ist an der GWM zulässig**, damit die Vorgabe (Tetrachlorethen $< 0,1 \text{ } \mu\text{g/L}$ im Schutzgut) mit Sicherheit eingehalten wird?



Vereinfachte Prognosemodelle (Einporensystem)

1A

- $C_t = C_0 * e^{-k * t}$ und $L_F = v_a * t$
- **Prozesse:** Advektion und Abbau 1. Ordnung

C_t
 C_0
 t
 L_F
 v_a

Endkonzentration [$\mu\text{g/L}$]
Ausgangskonzentration [$\mu\text{g/L}$]
Zeit [d]
Länge der Fahne [m]
Abstandsgeschwindigkeit [m/d]

Komplexe Analytische Lösungen

1B

- Einporensystem: 1D, zeitlich (un)begrenzter Puls, Sorption, Abbau und Produktion, Randbedingung 1. Art → van Genuchten & Alves, Analytical Solutions of the one-dimensional convective-dispersive solute Transport (1982)
- **Prozesse:** Advektion, hydrodynamische Dispersion, Abbau 1. Ordnung und Sorption

Komplexe Analytische Lösungen

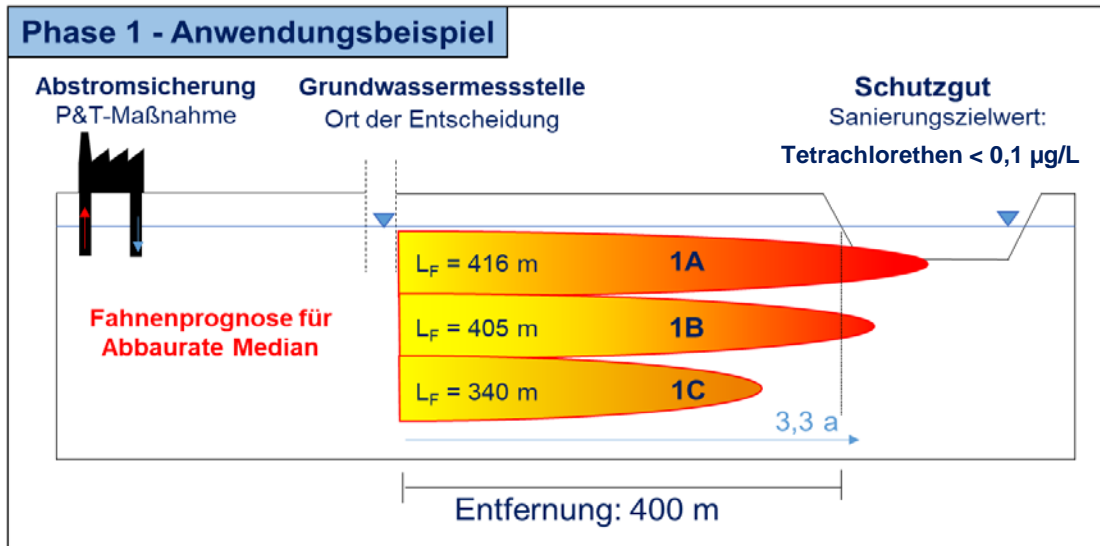
1C

- Doppelporositätsansatz: 1D, zeitlich (un)begrenzter Puls, Sorption, Doppelporosität, Abbau und Produktion, Randbedingung 1. Art → Toride, Leij, & van Genuchten (1993)
- **Prozesse:** hydrodynamische Dispersion, Advektion, Sorption, Abbau 1. Ordnung und Produktion

Ergebnisse der Prognosen 1A bis 1C

- Max. Konzentration in Fahne wenn P&T-Maßnahme abgeschaltet: 200 µg/L

Abbauraten Datenbank [d ⁻¹]		zulässige PER-Konzentration an der GWM [µg/L]			Sanierungszielwert erreichbar?		
		1A	1B	1C	1A	1B	1C
Min	0,0042	17	23	62	Nein	Nein	Nein
Median	0,0060	148	190	750	Nein	unsicher	Ja
Max	0,0073	720	910	4.220	Ja	Ja	Ja



- Hydraulik ✓
- Sorption ✗
- Abbau ✗

- Fazit:**
- Gefährdung des Schutzgutes kann nicht ausgeschlossen werden
 - Mikrobielle Abbauraten 1. Ordnung ist für die belastbare Prognose zu bestimmen
 - Prognoseberechnung mit Doppelporositätsansatz (Bestimmung Massentransferk.)

Beispiel – Mikrobieller Abbau für Tetrachlorethen

Probe

Labornummer: 1234/15
 Entnahmehorizont: 4-5m
 Bohransatzpunkt: BAP1
 Bemerkung: Schadstofffahne
 NA oder ENA: NA

Summe LCKW
 Einzelstoffe
 1,1,1-Trichlorethan
 1,1-Dichlorethan
 Bromdichlormethan
 cis-1,2-Dichlorethan
 Dibromchlormethan
 Dichlormethan
 Monochlorethan
 Monochlormethan
 Tetrachlorethan
 Tetrachlormethan
 trans-1,2-Dichlorethan
 Tribrommethan
 Trichlorethan
 Trichlormethan

	Bodenphysik	Organik
Parameter	<input checked="" type="checkbox"/> kf-Wert BEYER	<input type="checkbox"/> Sorption
	<input checked="" type="checkbox"/> kf-Wert DARCY	<input type="checkbox"/> Retardation
	<input checked="" type="checkbox"/> hydraulisch wirksame Porosität	<input type="checkbox"/> Elution
	<input checked="" type="checkbox"/> hydraulisch gering wirksame Porosität	<input checked="" type="checkbox"/> mikrobieller Abbau
	<input checked="" type="checkbox"/> longitudinale Dispersivität	
	<input checked="" type="checkbox"/> Anteil neff an n	
	<input type="checkbox"/> Massentransferkoeffizient	
Kennwerte	<input type="checkbox"/> van-Genuchten Parameter	
	Bodenphysik	Organik
	<input checked="" type="checkbox"/> Bodenart (KSL / KVF)	<input type="checkbox"/> Glühverlust
	<input checked="" type="checkbox"/> Trockenrohddichte	<input checked="" type="checkbox"/> Total Organic Carbon
	<input checked="" type="checkbox"/> Reindichte	
	<input checked="" type="checkbox"/> Porosität n	
	<input type="checkbox"/> Feldkapazität	
	<input type="checkbox"/> nutzbare Feldkapazität	
<input checked="" type="checkbox"/> TS-Gehalt		

Verfahrensanweisungen

SOP AB14 Trockensiebung
 kf-Wert BEYER, Bodenart (KSL / KVF)

SOP AB15 Nasssiebung
 kf-Wert BEYER, Bodenart (KSL / KVF)

SOP AB11 Trockenrohddichte
 Trockenrohddichte

SOP AB10 Reindichte
 Reindichte

SOP AB12 Porosität
 Porosität n

SOP AB13 kf-Wert
 kf-Wert DARCY

SOP AB38 Migrationsparameter
 hydraulisch wirksame Porosität, hydraulisch gering wirksame Po

SOP AB 37 Transportterm
 Retardation, mikrobieller Abbau, Retardation

SOP AB32 BSE (für Bodensättigungsextrakt)
 Elution, mikrobieller Abbau, Elution

SOP AB43 Porenvolumen
 Elution, Retardation, mikrobieller Abbau, Elution, Retardation

Probe
Versuchsplanung
Versuchssteuerung
Versuchsauswertung

Beispiel – Mikrobieller Abbau für Tetrachlorethen

Probe
Versuchsplanung
Versuchssteuerung
Versuchsauswertung

Annahmen

Bodenart

Bodenarten-Hauptgruppe	Bodenarten-Gruppe	weitere Anteile
<input checked="" type="checkbox"/> S Sand	<input type="checkbox"/> mS Mittelsand	<input type="checkbox"/> ms mittelsandig
	<input type="checkbox"/> gS Grobsand	<input type="checkbox"/> gs grobsandig
	<input type="checkbox"/> fS Feinsand	<input type="checkbox"/> fs feinsandig
<input type="checkbox"/> G Kies	<input type="checkbox"/> mG Mittelkies	<input type="checkbox"/> mg mittelkiesig
	<input type="checkbox"/> gG Grobkies	<input type="checkbox"/> gg grobkiesig
	<input type="checkbox"/> fG Feinkies	<input type="checkbox"/> fg feinkiesig
<input type="checkbox"/> U Schluff	<input type="checkbox"/> u schluffig	
<input type="checkbox"/> T Ton	<input type="checkbox"/> t tonig	

Porosität n

Min 0,26 Median 0,38 Mittelwert 0,39 Max 0,75 316 Stichproben

hydraulisch wirksame Porosität

Min 0,07 Median 0,27 Mittelwert 0,26 Max 0,37 68 Stichproben

k_f-Wert vertikal

Min 6,68E-09 Median 2,4E-05 Mittelwert 9,19E-05 Max 0,0019 78 Stichproben

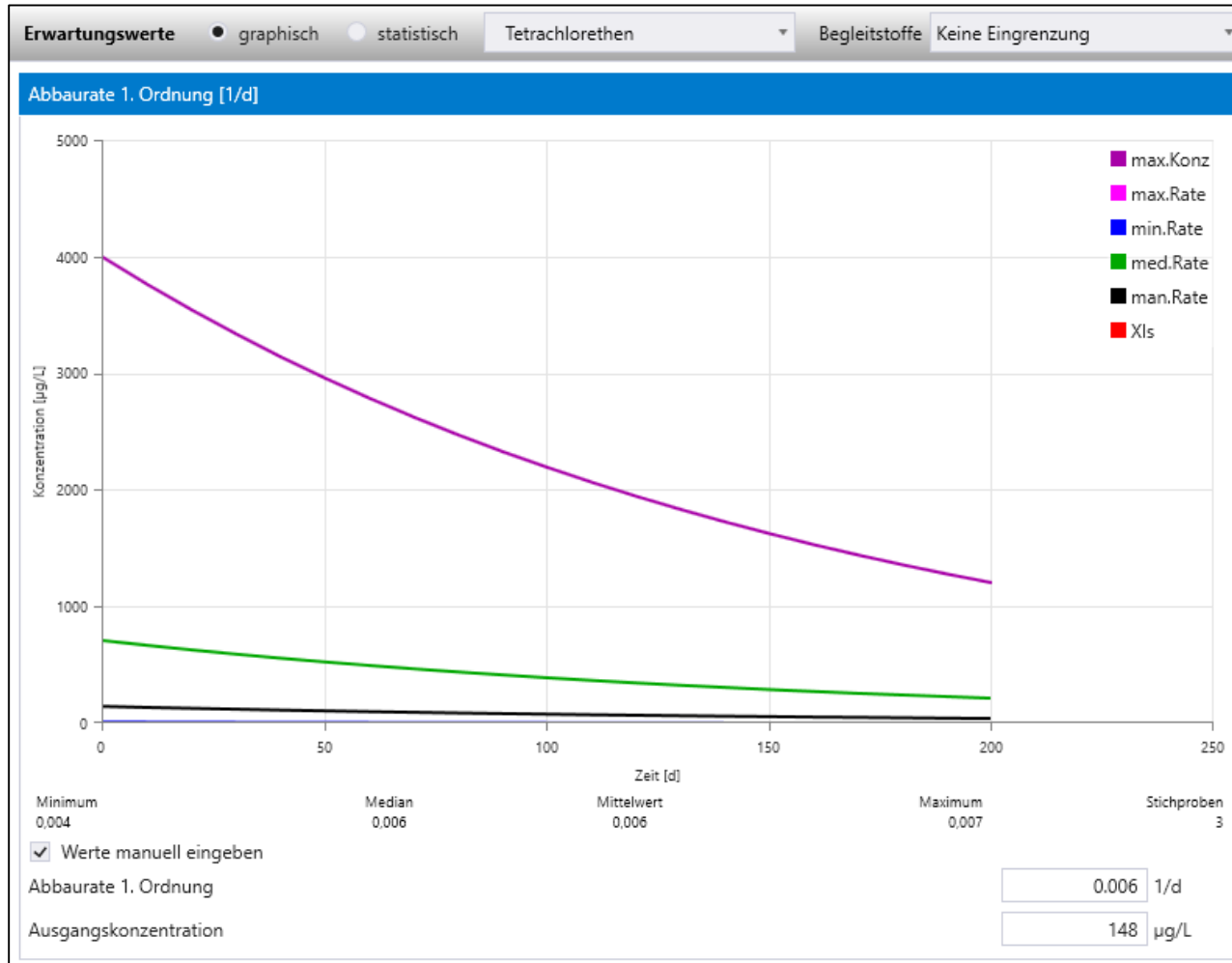
Total Organic Carbon alle verfügbaren Konzentrationen



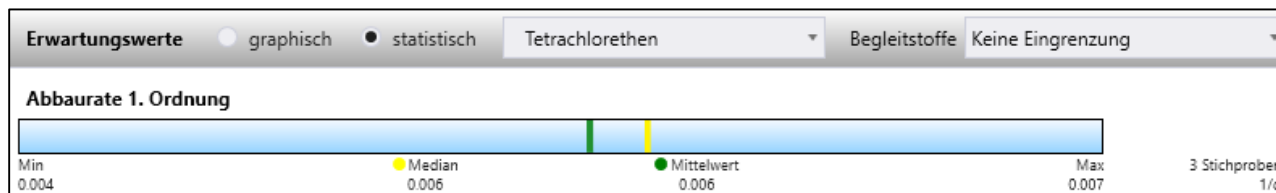
Angaben zum Liner					
Länge	100,0	cm	eff. Länge	100,0	cm
Durchmesser	10,4	cm	Fläche	84,9	cm ²
Kernverlust	0,0	cm	Volumen	8.494,9	cm ³

- **k_f-Wert:** $9,51 \cdot 10^{-6}$ m/s bestätigt Durchführung intermittierend betriebener Säulenversuch (IBSV)

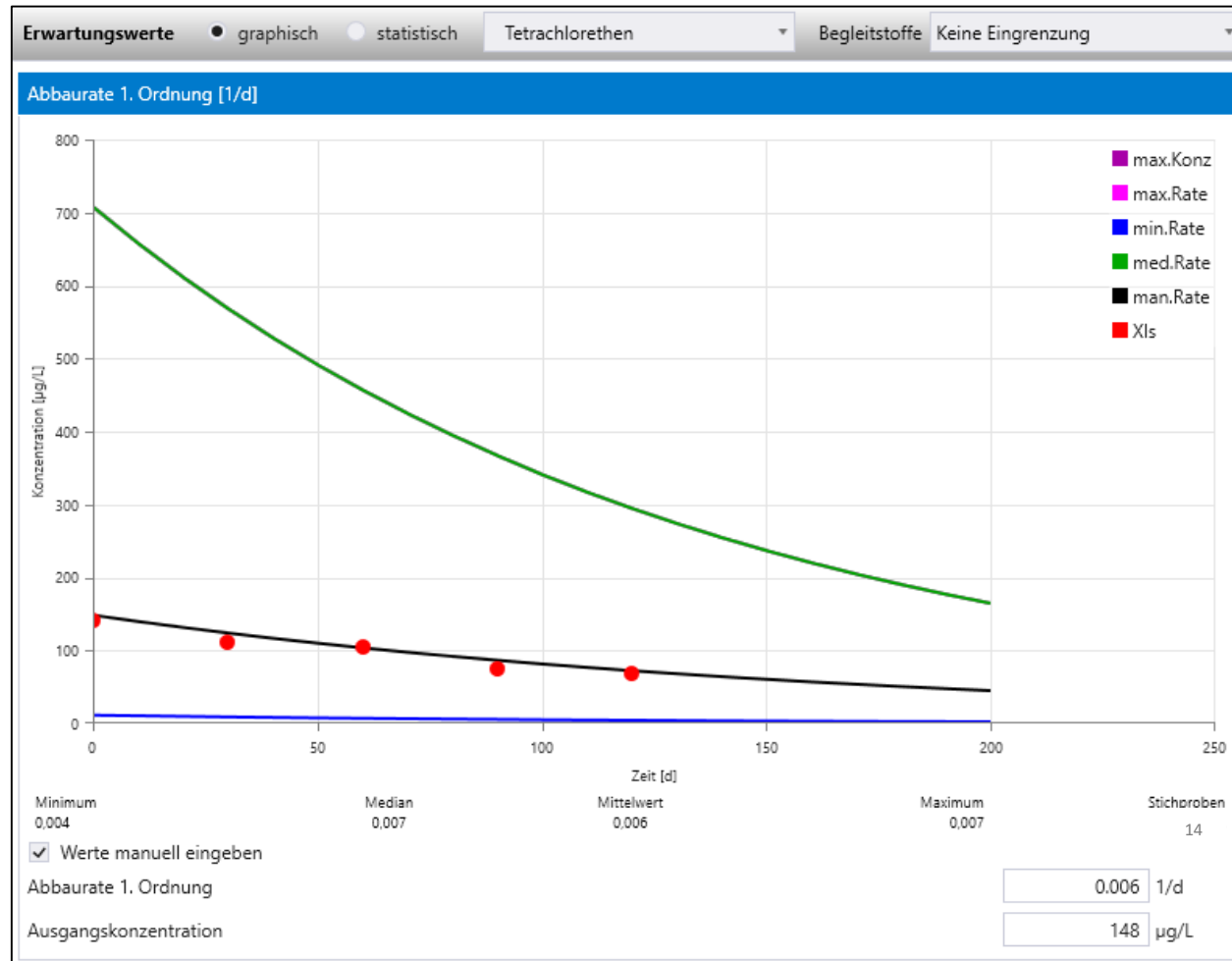
6. Anwendungsbeispiel – Phase 2: Softwaregestützte Durchführung von Laborversuchen zur Migrationsparameterermittlung



- Probe
- Versuchsplanung
- Versuchssteuerung
- Versuchsauswertung



Beispiel – Mikrobieller Abbau für Tetrachlorethen



Probe

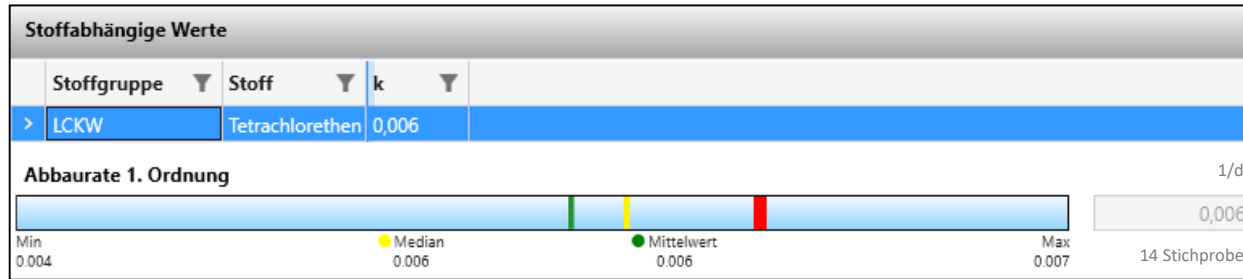
Versuchsplanung

Versuchssteuerung

Versuchsauswertung

- **Durchführung:** Soll-Ist-Vergleich zwischen Versuchsplanung und Versuchsdurchführung

6. Anwendungsbeispiel – Phase 2: Softwaregestützte Durchführung von Laborversuchen zur Migrationsparameterermittlung



- Probe
- Versuchsplanung
- Versuchssteuerung
- Versuchsauswertung

Forschungsprojekt „Laborsystem“

- Entwicklung einer Systemkomponente, welche den Nutzer bei der Versuchsplanung, der Versuchsdurchführung und der Versuchsauswertung sowie der vereinfachten bzw. erweiterten modellgestützten Gefährdungsabschätzung maßgeblich unterstützt
- Erhöhung Qualitätssicherung auf laborativer Ebene
- Eigebundene Datenbank Migrationsparameter erhöht die Möglichkeit der Plausibilitätsprüfung ermittelter Quell- und Transporttermparameter unter Berücksichtigung existierender Korrelationsbeziehungen
- 2-stufiger Ansatz für die **1)** sofortige Bewertung auf der Grundlage der in der Datenbank enthaltenen Quell- und Transporttermparameter einschließlich Prüfung der Gefährdung des zu betrachtenden Schutzgutes mittels vereinfachter, stationärer Prognosemodelle (analytischer Lösungen) und, wenn nötig **2)**, die Ermittlung objektspezifischer Quell- und Transporttermparameter unter Anwendung des entwickelten Laborsystems und, wenn erforderlich: Anwendung komplexerer, instationärer Prognosemodelle
- Gefahr einer Über- sowie einer Unterschätzung eines Schadenfalls kann im Vergleich zu oft verwendeten Literaturwerten erheblich reduziert werden, ohne komplexe Stofftransportmodelle anwenden zu müssen

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!