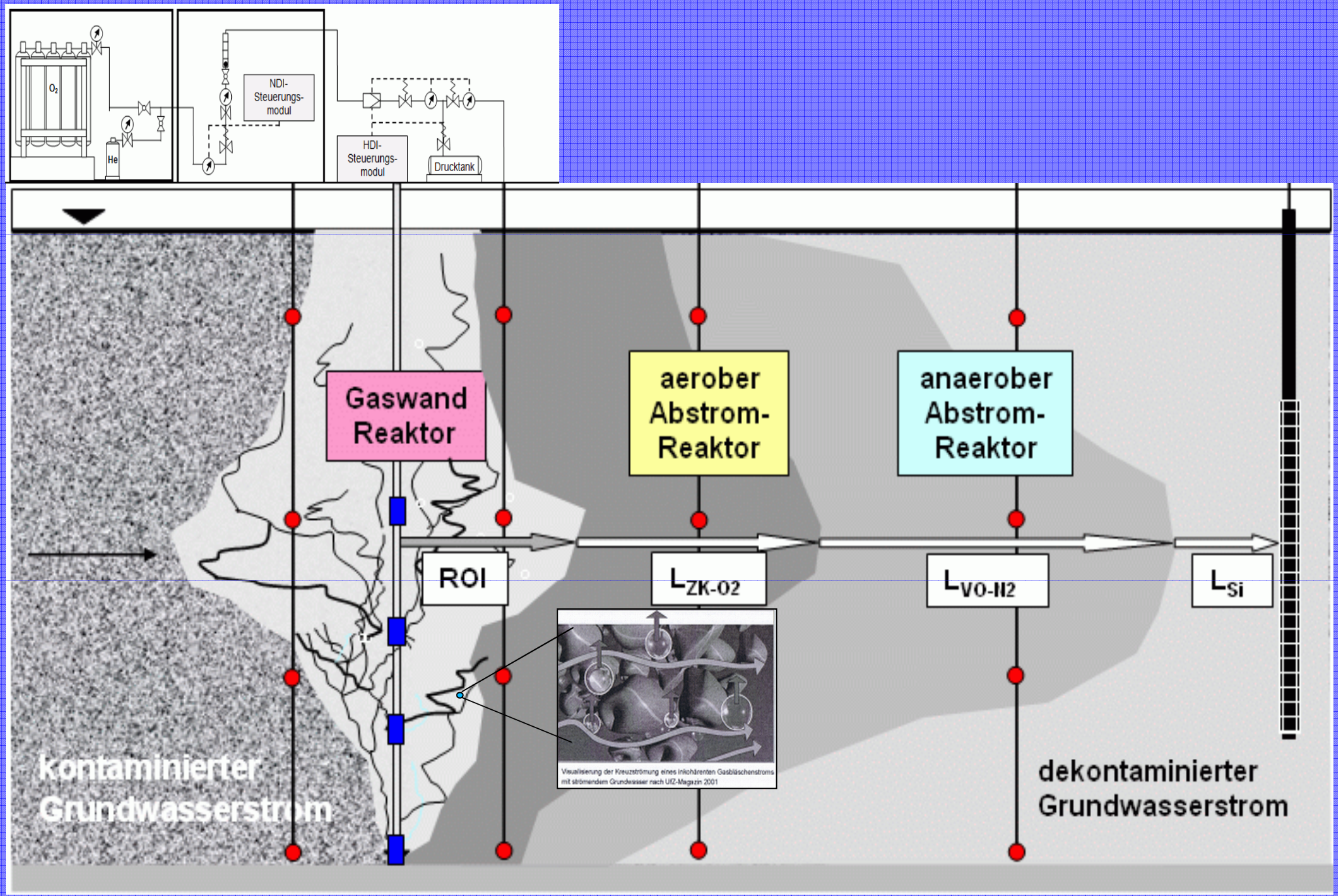
Labor- und Felduntersuchungen zum Einfluß von Direktgasinjektionen auf die hydraulische Leitfähigkeit von Grundwasserleitern

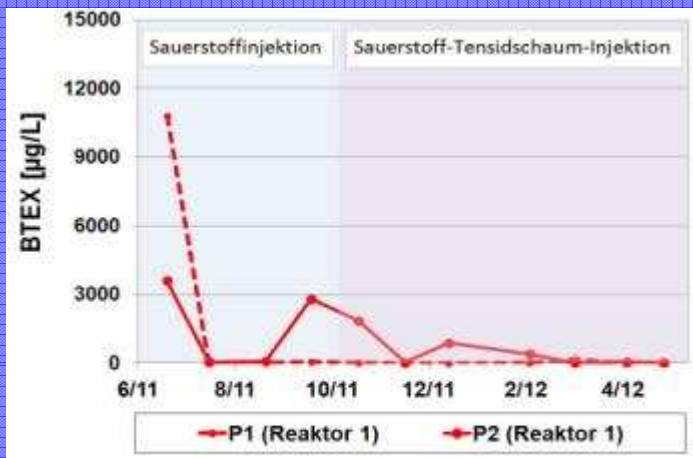
F.I. Engelmann
Sensatec GmbH
Büro Brandenburg
Fehrbellin
f.engelmann@sensatec.de
Tel. 017613890093

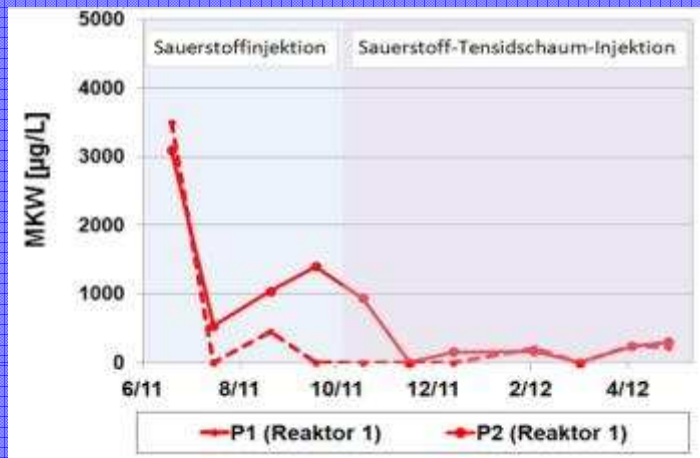
D. Burghardt, Th. Krause, S. Mann
Technische Universität Dresden
Fakultät Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften
Institut für Grundwasserwirtschaft

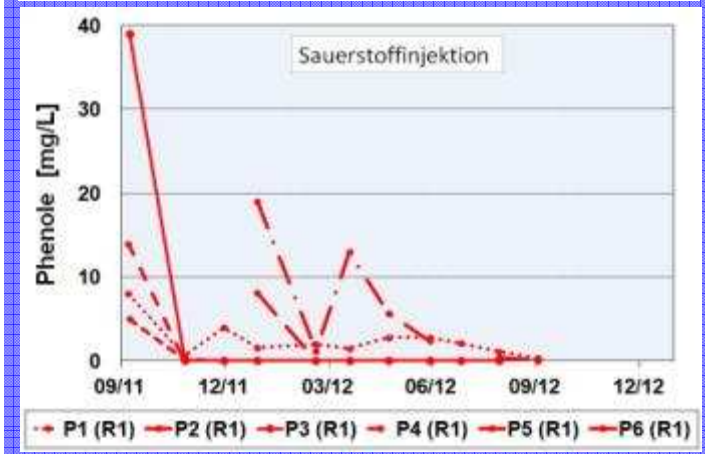
Verfahrensschema BIOXWÄNDE

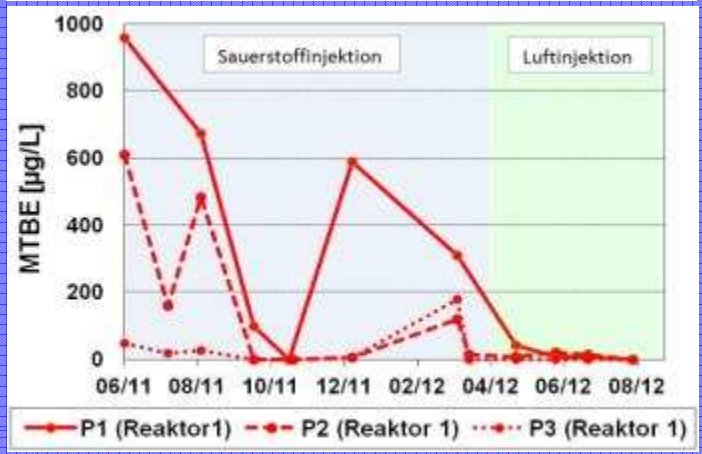


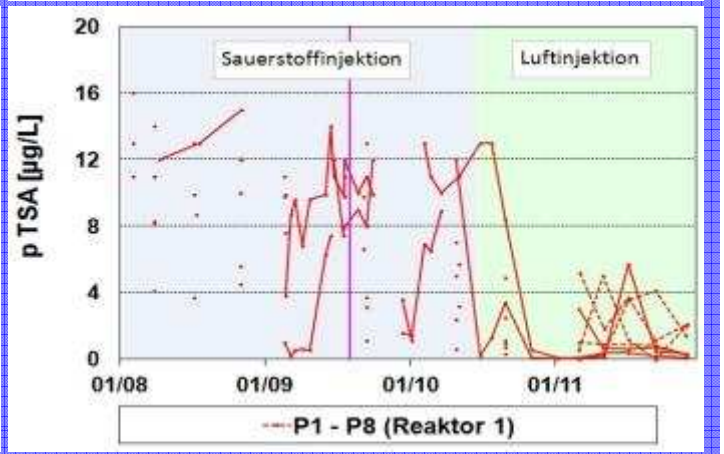
Anwendungsbeispiele für Gaswände

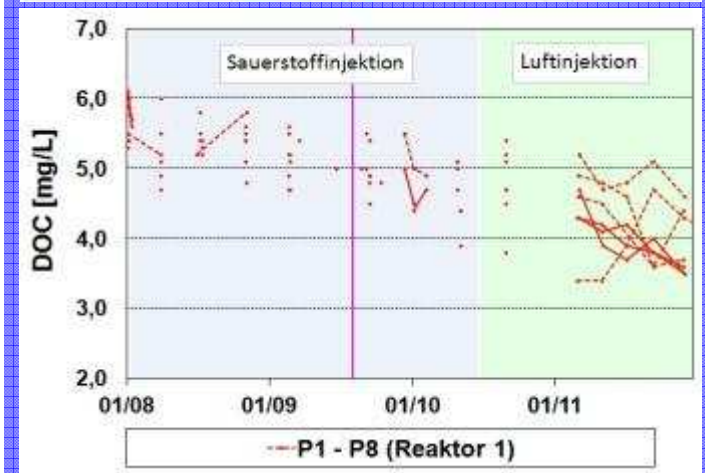


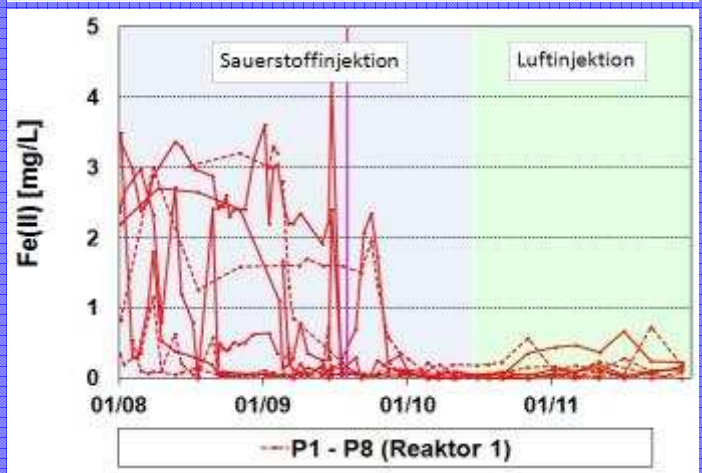


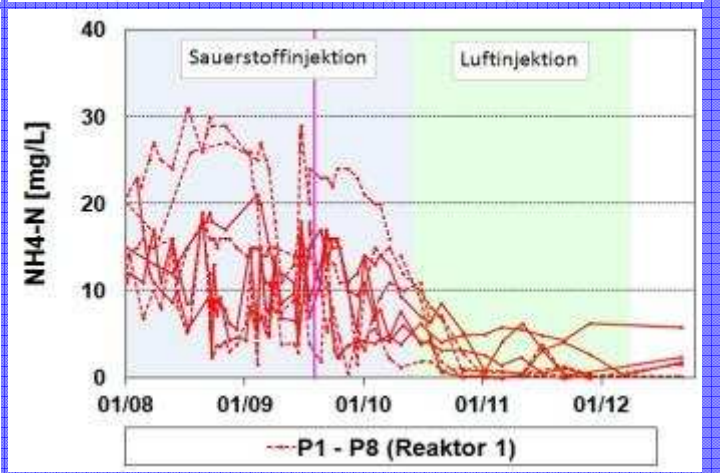




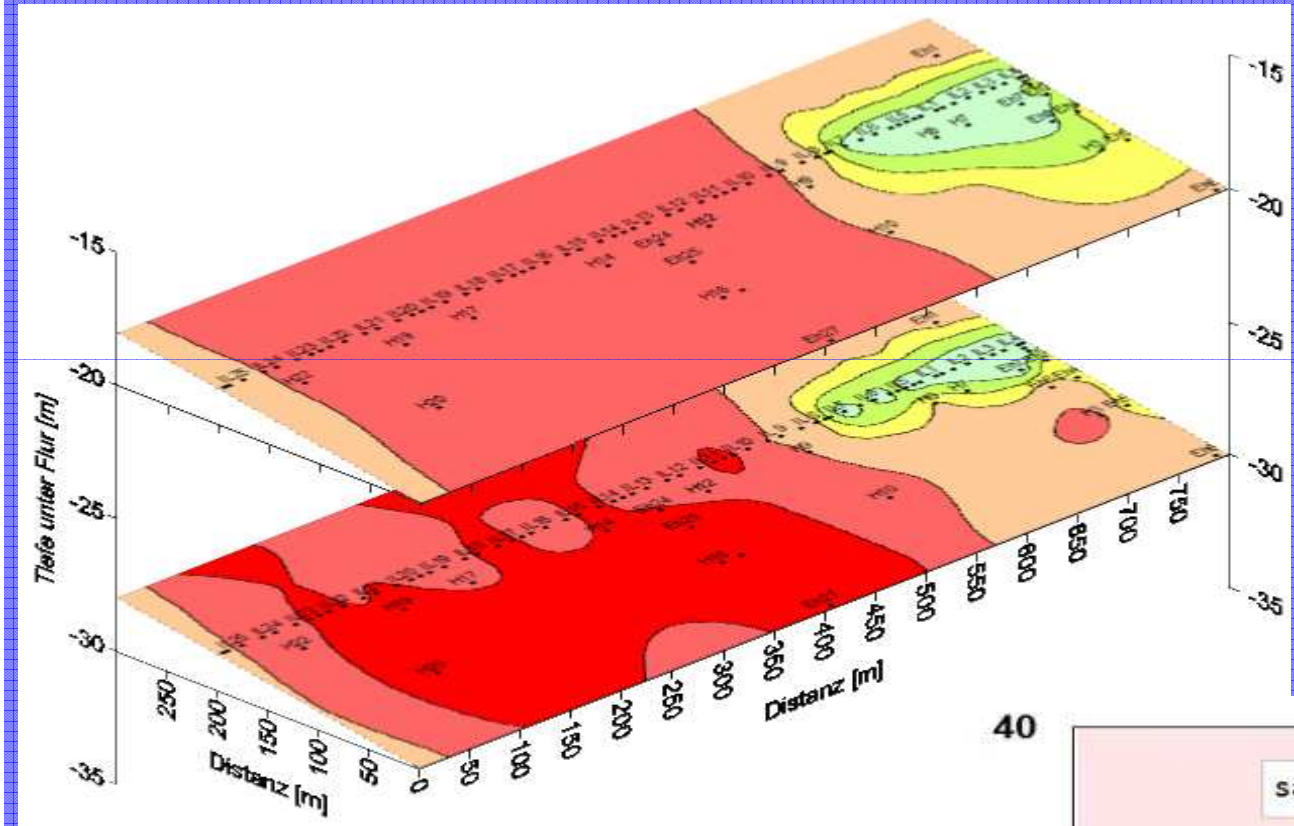


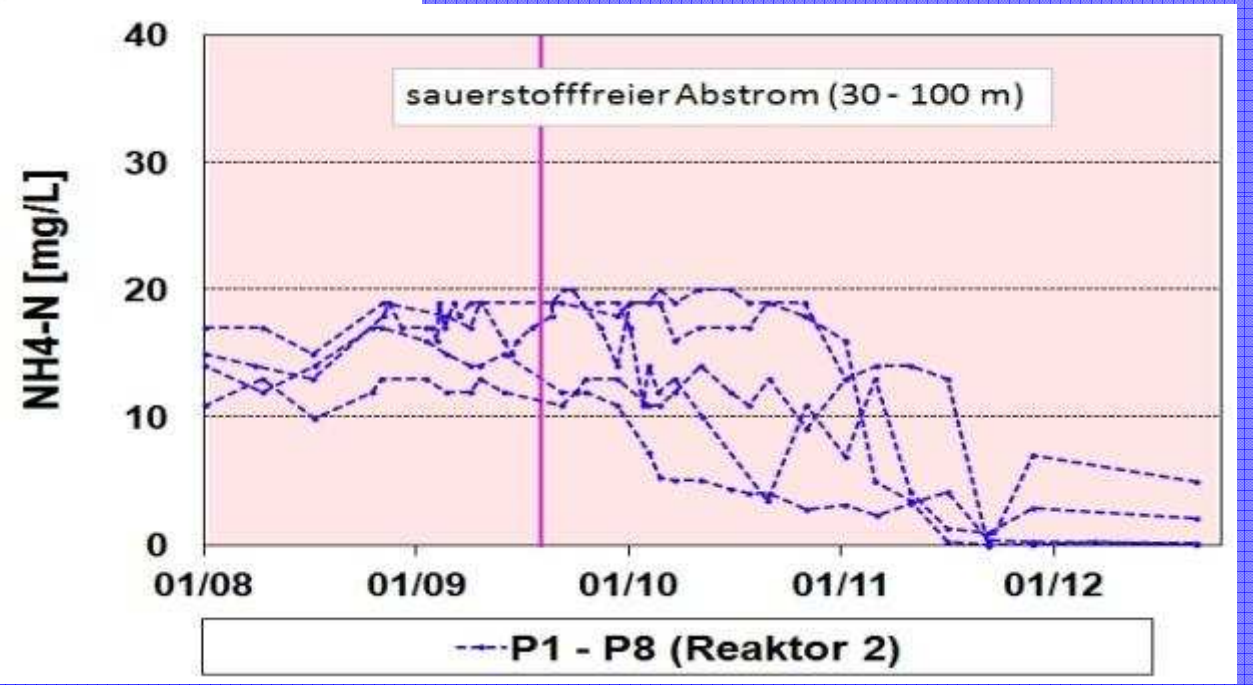




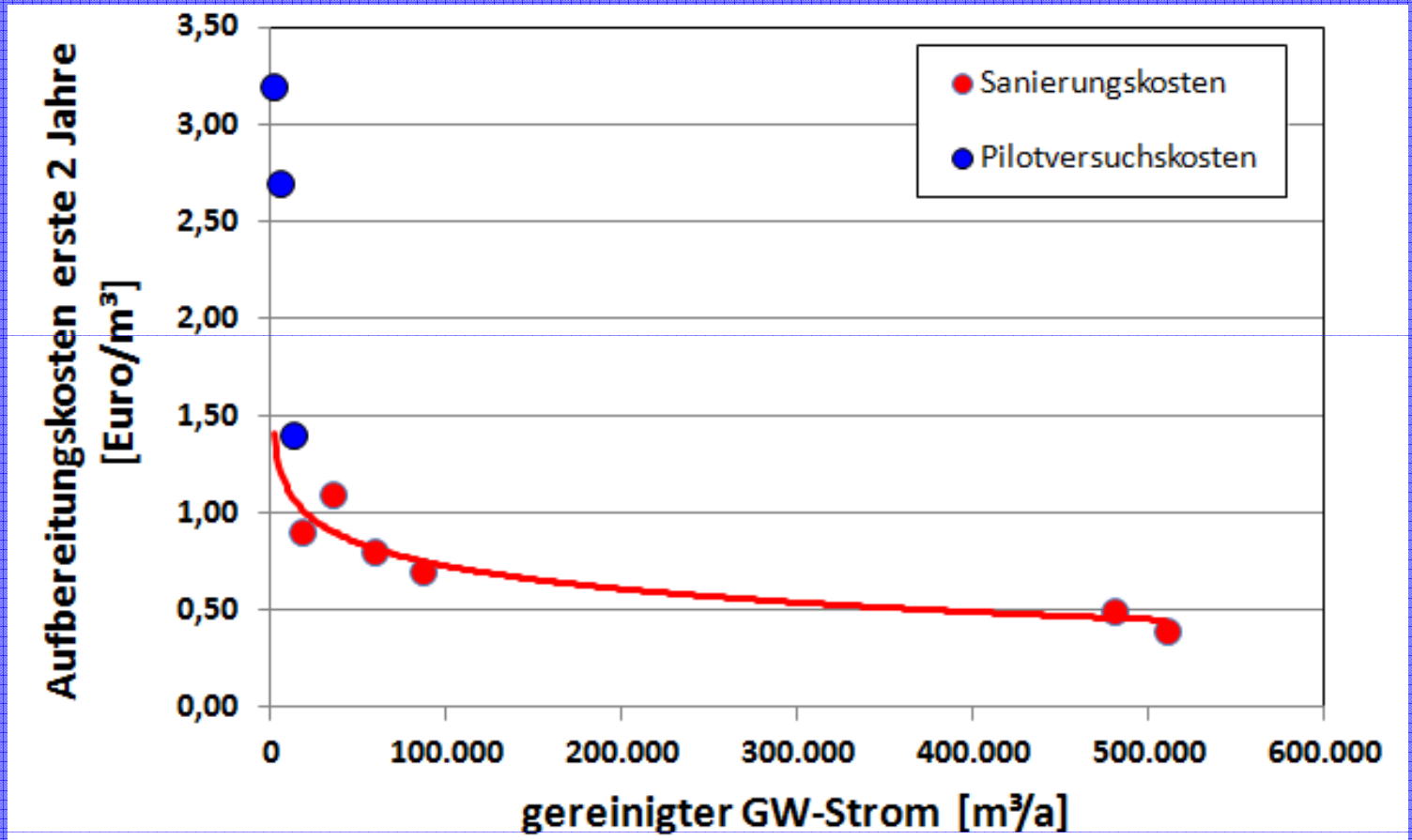


Ammonium – BIOXWAND-Abstrom





Aufbereitungskosten für GW-Ströme



BIOX-Wand	Anzahl Lanzen	Tiefe/Abstand [m]	Wanddicke in GW-Stromri. [m]	GW-Strom [m³/a]	Stoffe	Pilotversuch (P) / Sanierung (S) Aufbereitungskosten erste 2a [Euro/m³xa]
1	2	6 / 2	4	1.800	MTBE	3,20 (P)
2	3	6 / 4	4	5.000	LCKW	2,70 (P)
3	6	15 / 2	5	13.000	CIS, VC	1,40 (P)
4	3	10 / 8	6	18.000	BTEX, MKW	0,90 (S)
5	6	10 / 6	6	26.000	CIS, VC	1,50 (S)
6	10	12 / 4	8	35.000	BTEX	1,10 (S)
7	9	10 / 9	6	59.000	BTEX	0,80 (S)
8	6	28 / 7	18	86.000	MCB, LCKW	0,70 (S)
9	22	30 / 12	20	480.000	Alk-Phenole	0,52 (S)
10	12	40 / 12	25	510.000	NH4, pTSA	0,40 (S)

Technische Komponenten

Gasinjektionslanzen vom Typ BIL, DIL, VIL und RIL [1] sowie zur Überwachung des Grundwassers miniaturisierte druckhaltende Probenahmetechnik, aquiferinstallierte GW-Sensorik sowie raumintegrierende Meßtechnik zur Erfassung und Bilanzierung der eingespeicherten reaktiven Gase [2].

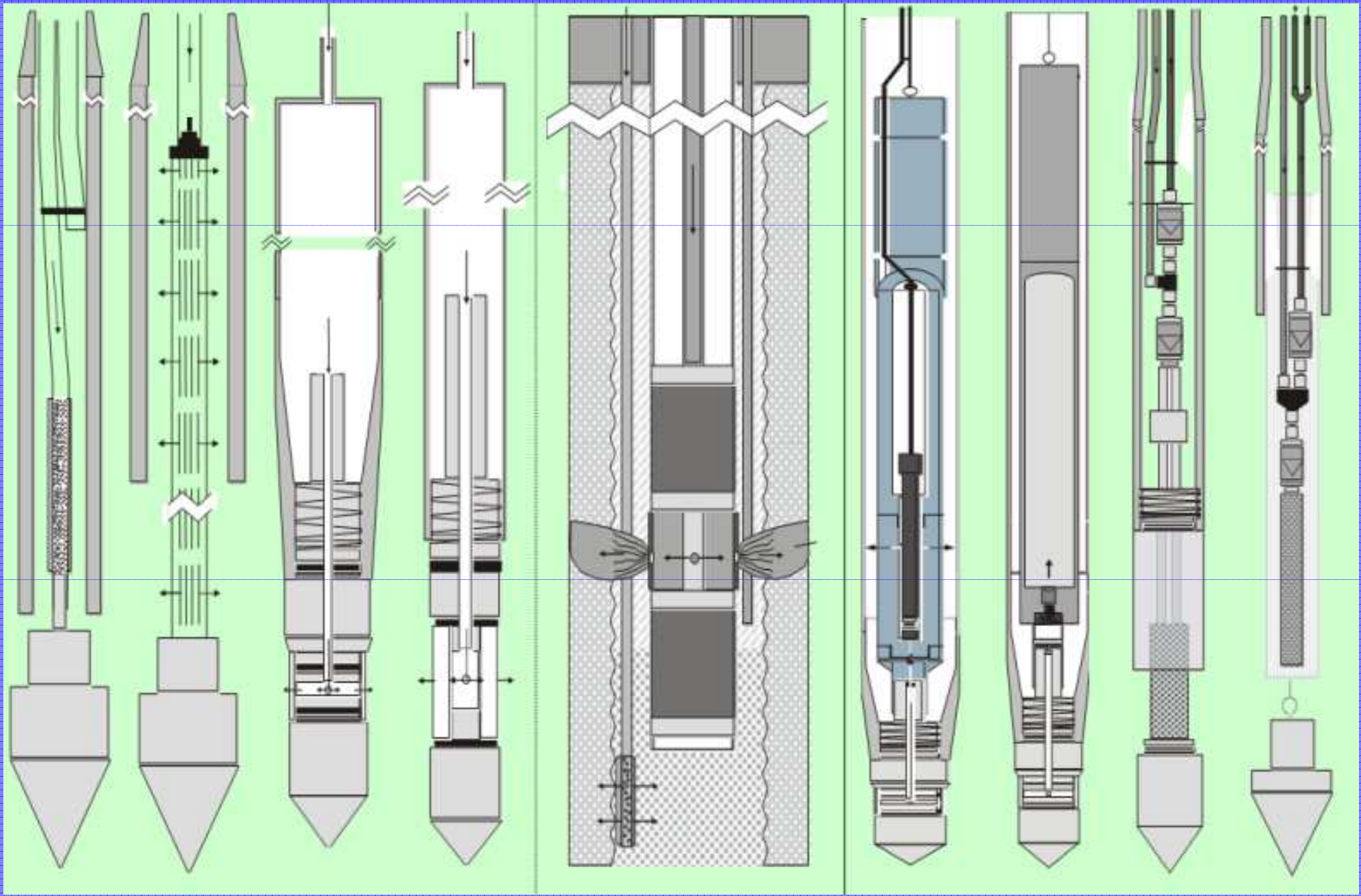
Für eine gezielte Bewirtschaftung der Gaswände erfolgen die Wirkstoffinjektionen ausgerichtet am gashydrogeologischen Strukturmodell zeitgetaktet, bei unterschiedlichem Druck und Volumenstrom [3].

Literatur:

[1,2] TerraTech11-12/09 und 2/11

[3] 4th International Contaminates Site Remidiation Conference 2011, cleanup

Gaslanzentypen



Gasdosierungs- Verteilungssysteme

Niedrigdruckinjektionen für Trägergase + Gaswirkstoffe

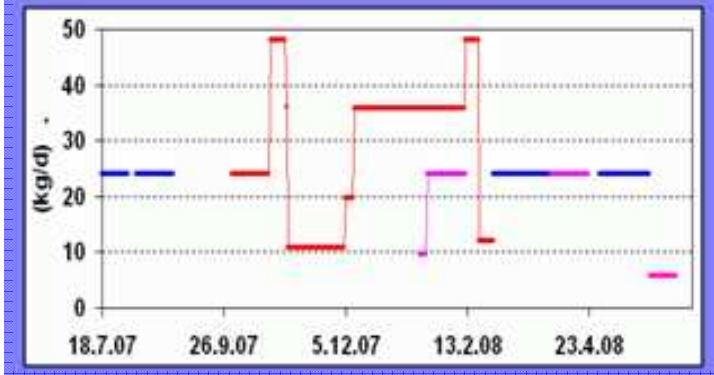
- p_{DGI} = PWD + 0,15 bar
- Q_{DGI} = 0,1-3 Nm³/h

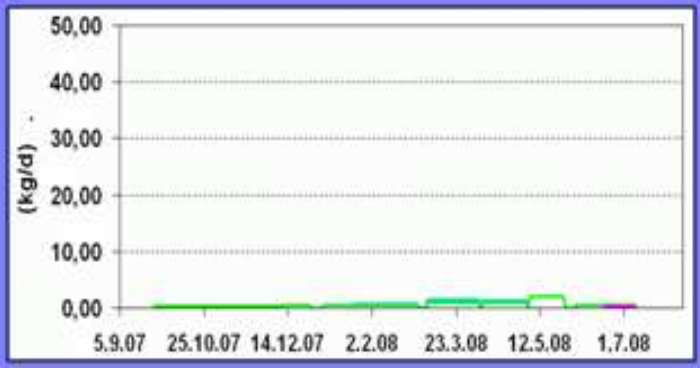
Niedrigdruckinjektion mit temp. Hochdruckinjektionen

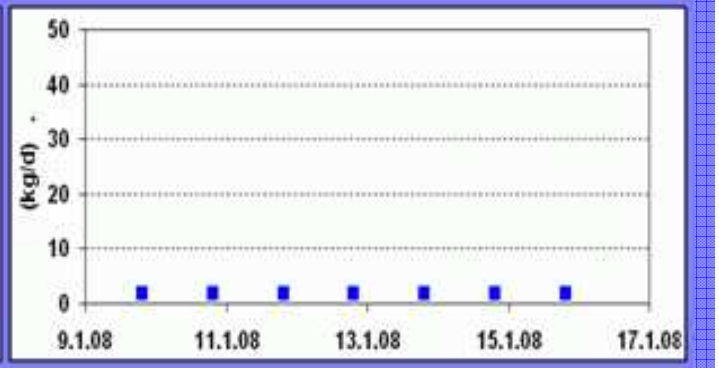
- p_{DGI} = PWD + 0,15-10 bar
- Q_{DGI} = 0,1-1 Nm³/h
- Zusatzimpulse Gaswirkstoff

gepulste Druckinjektionen

- p_{DGI} = 2-4 bar
- Q_{DGI} = 2-4 Nm³/h
- t_{DGI} = 2 min
- Gefahr für Gasdurchbrüche

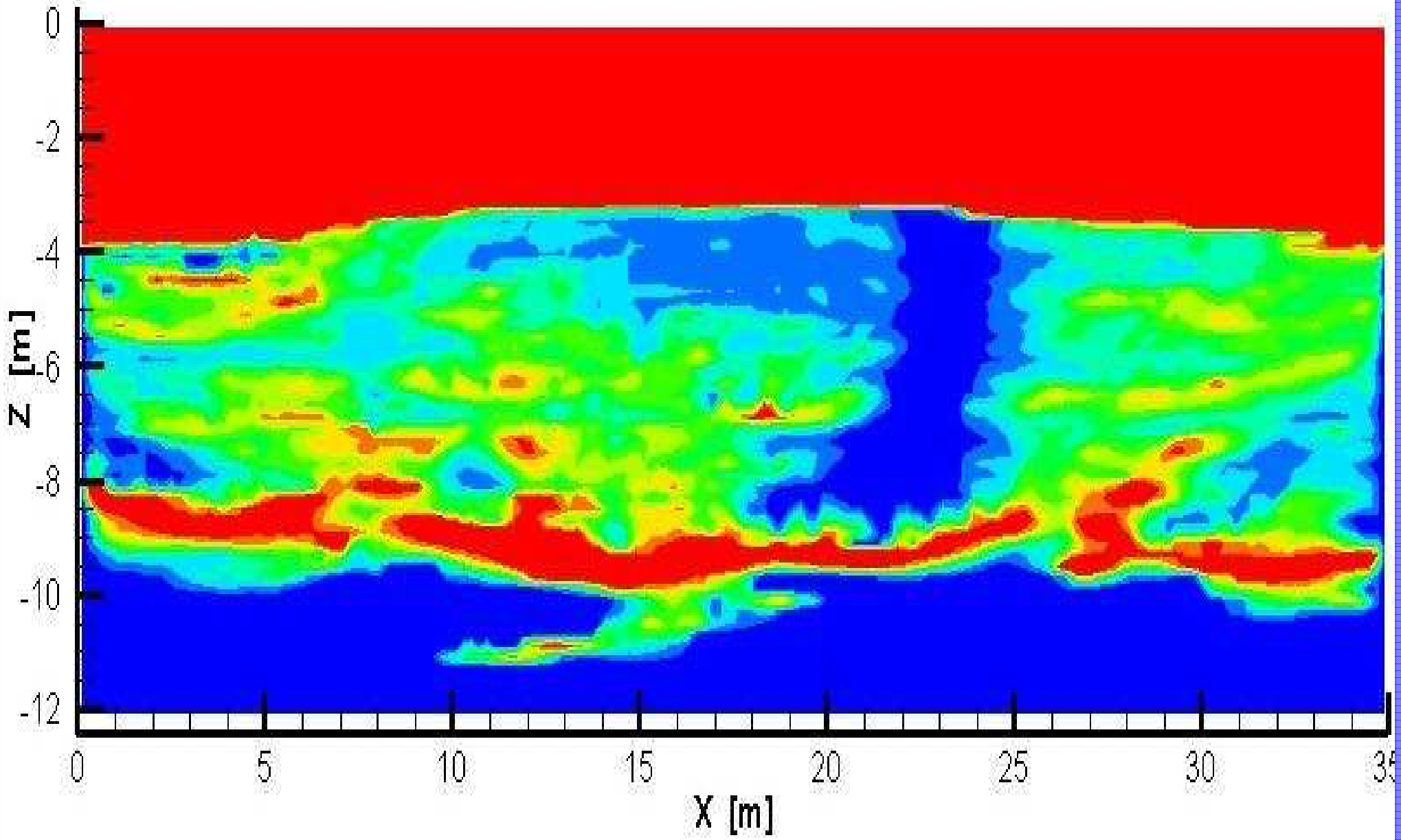




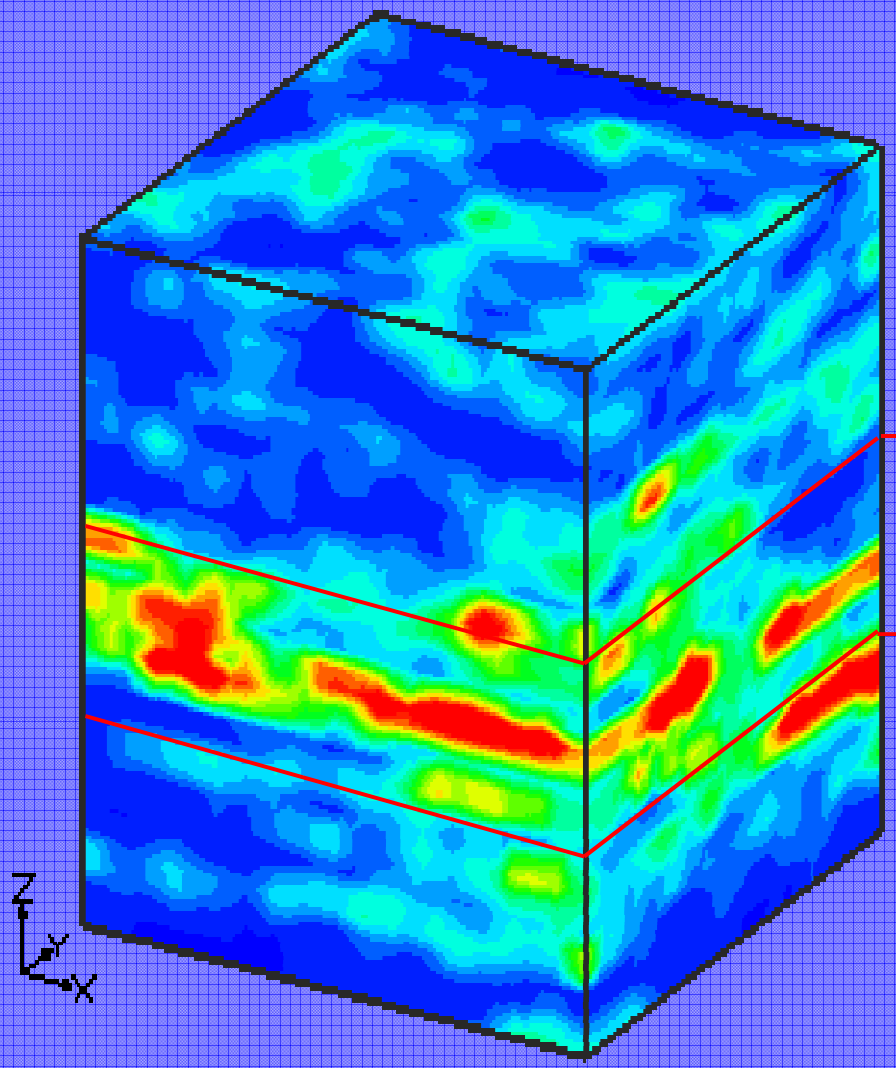


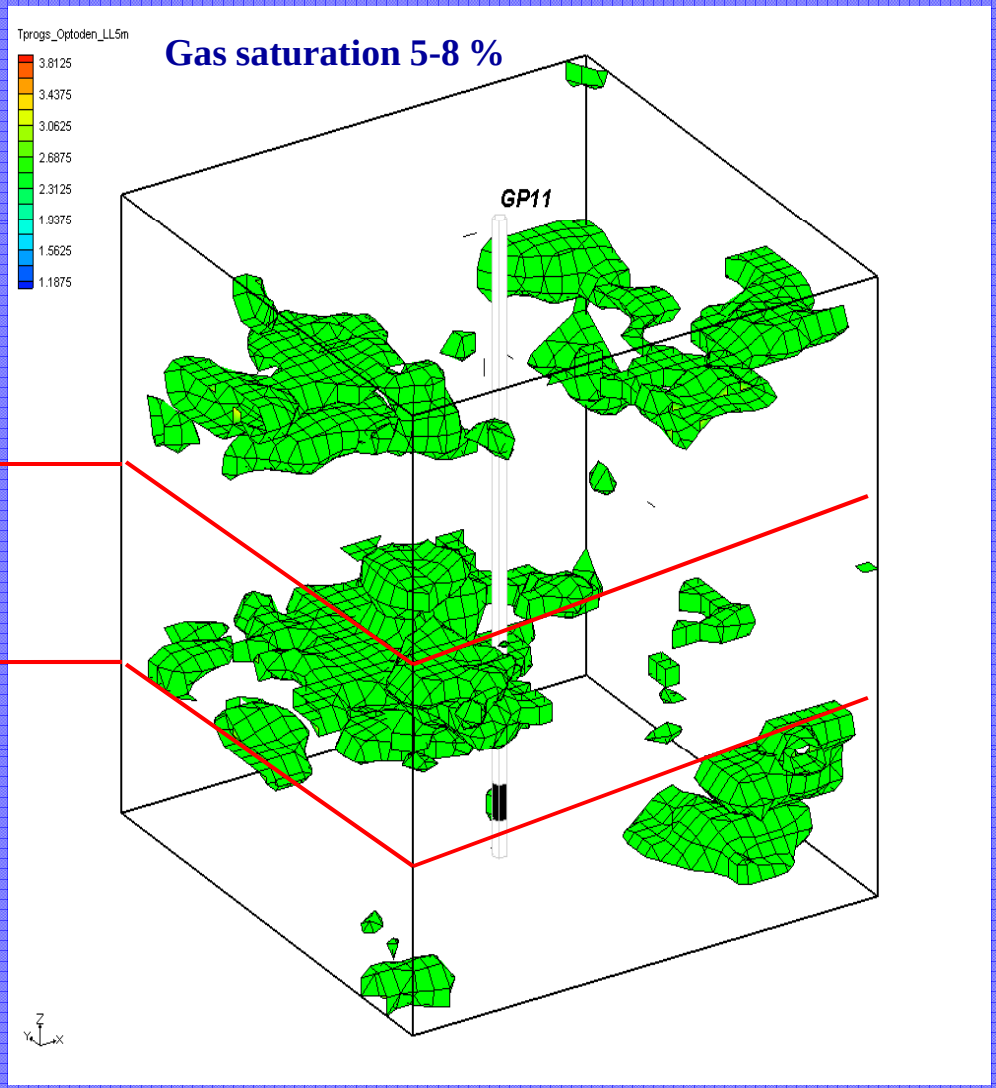
Gasverteilung im Grundwasserleiter

Quelle: UfZ Prof. Geistlinger



Bildung lokal verbreiteter Gaskissen



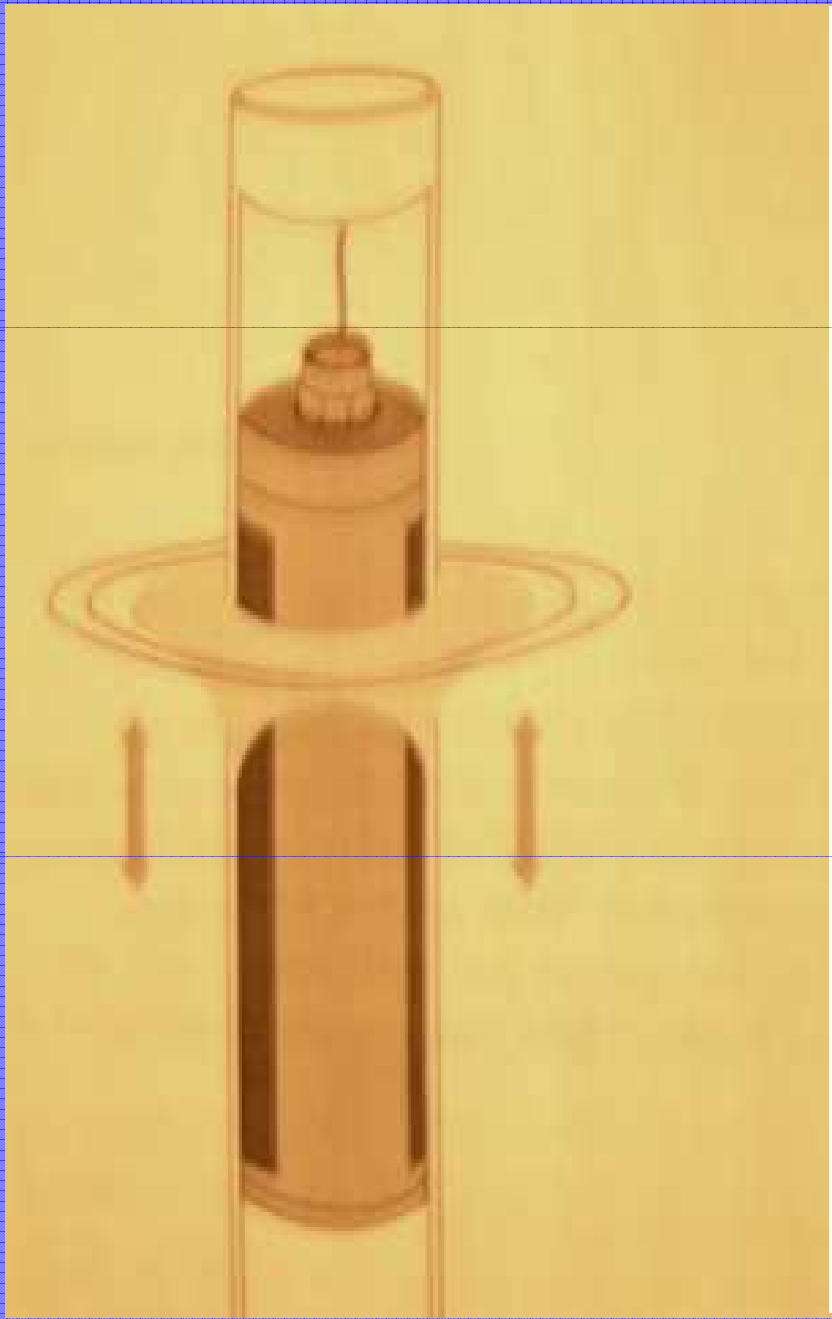


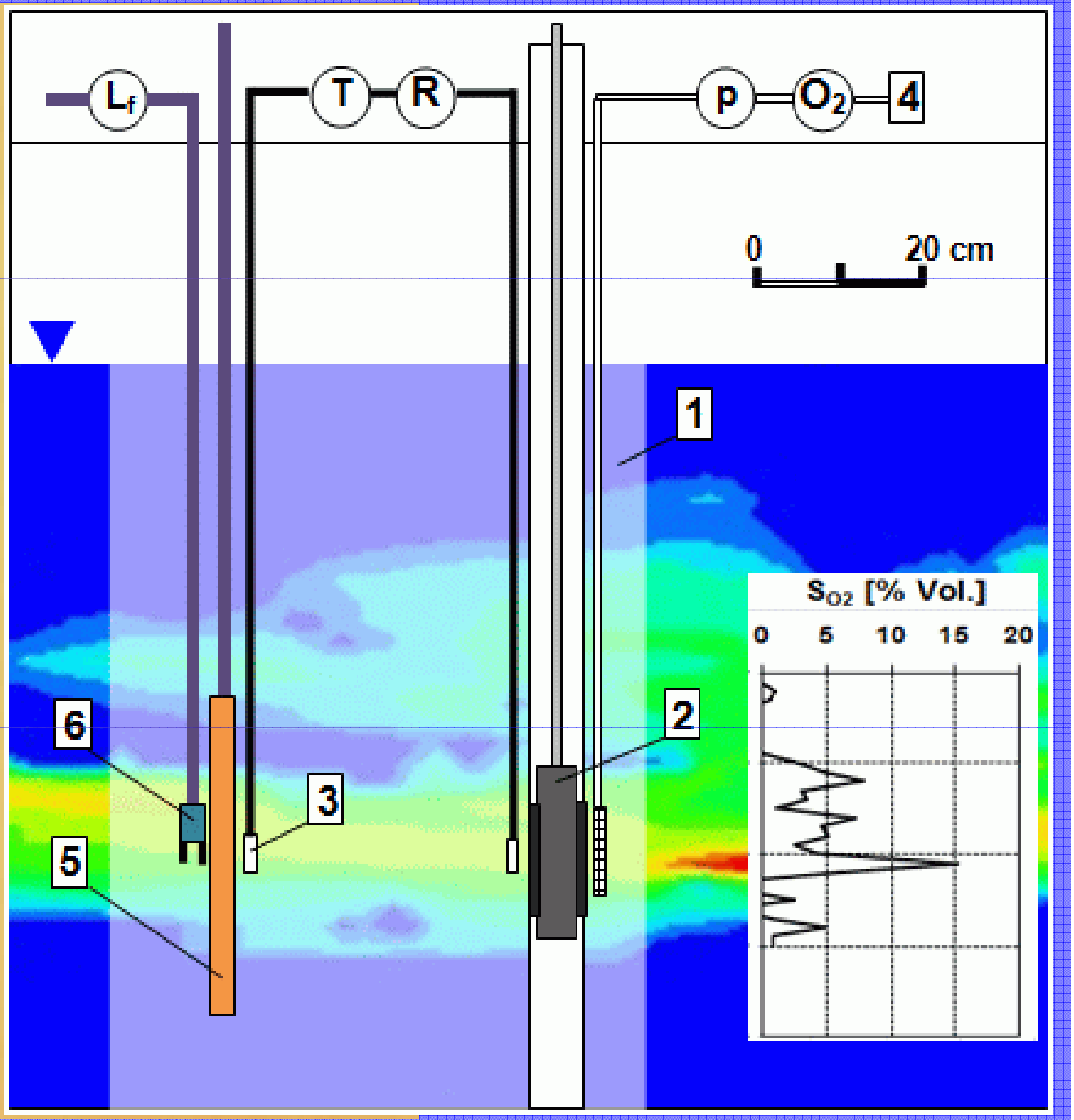
Reduzierung von Verfahrensrisiken

Quelle: Sensatec Büro Brandenburg/BWB "Handlungsalgorythmus zur Verfahrensoptimierung nach Aquifervoroxidation"

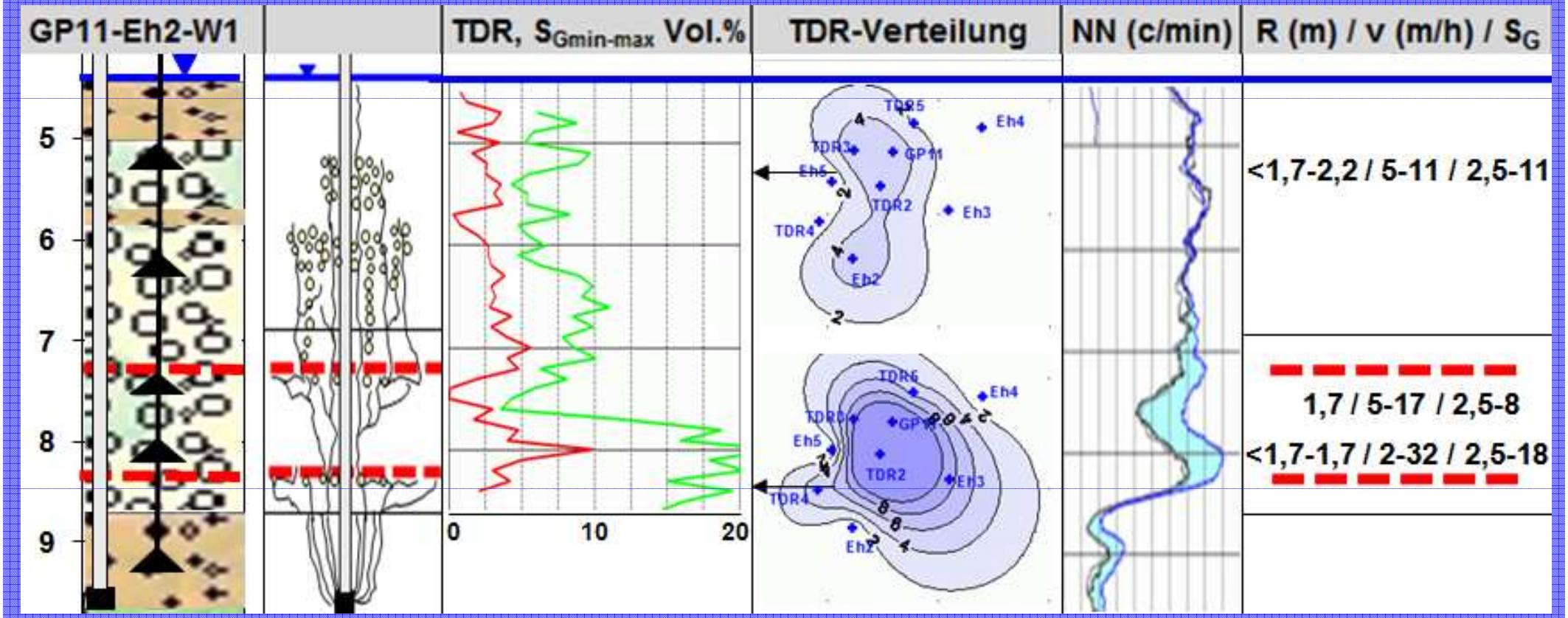
Verfahrensunsicherheit	Risikominderung	Parameteranpassung
schlechte Wirkstoffverteilung	Lageoptimierung Gaseintragspunkte	- horizontal: L_{x-y}=ROI mit ROI=M/1..3
		- ROI-Überlappung
		- 2 Injektionsgalerien in Fließrichtung
		- vertikal: Anpassung an chamberflow
		- Injektion unterhalb Kontamination
	p, Q Variation und Intervallschaltungen zur Schaffung neuer Kanäle	- Δp, ΔQ bei NDI und HDI
		- Kombination NDI-HDI
	Einsatz von Trägergasen	- N_2-Speicherformierung
		- N2-Speicherbeladung mit Wirkstoff (O_2)
		- Gemischtgaseintrag (Luft-CH_4)
	Nutzung Abstromreaktor für Abbau	- Nutzung longitudinale Makrodispersion
		- Vergrößerung Reaktorlängen
		- Erhöhung der Standzeit
limitierte Einlösung	Injektion in feinkörnige Sedimente	- Formierung engmaschiger Porennetze
		- Verbesserung der Homogenität
	Minimierung Injektion in grobe Sedimente	- Verhinderung Gaskissenbildung
abbauhemmende Wirkstoffkonzentrationen	Absenkung der Wirkstoffkonzentration	- Reduzierung der Gassättigung
		- Variation Mischgaspartialdrücke
	Änderung hydrogeochemischer Parameter	- Aerosol-, Sorptionsträgerinjektion zur:
		- pH-, Härte-Änderung, Organikabbau
		- Wasserstoffperoxid-, Puffereinträge
	Nährstoffzugaben	- Gasinjektion (N, CH4, CO2)
Verblockungen, k_f-Reduzierung	Realisierung aerob/anaerob Wechsel	- Verkürzung Eintragszyklen
		- Verlängerung Ruhephasen
		- Vermeidung Inertgaseinsatz
		- Anpassung Gasbedarf an Verbrauch
Teilumströmung von Gaswänden	Optimierung hydraulische Selbstregulierung	- Kopplung BIOXWAND-WW-Bewirtschaftung

räumliche Kontrolle der Gassättigung

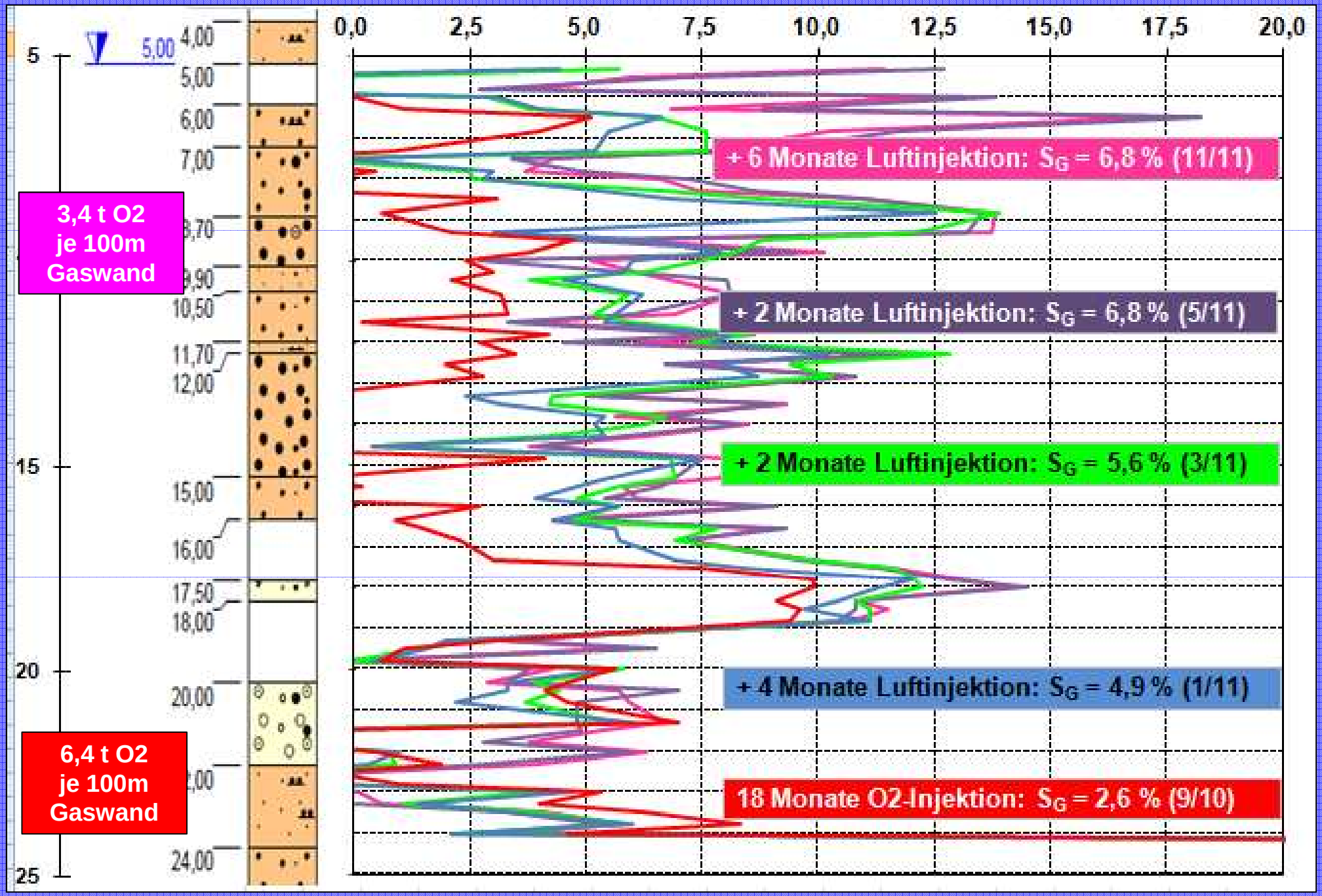




Gasverteilung, Reichweiten

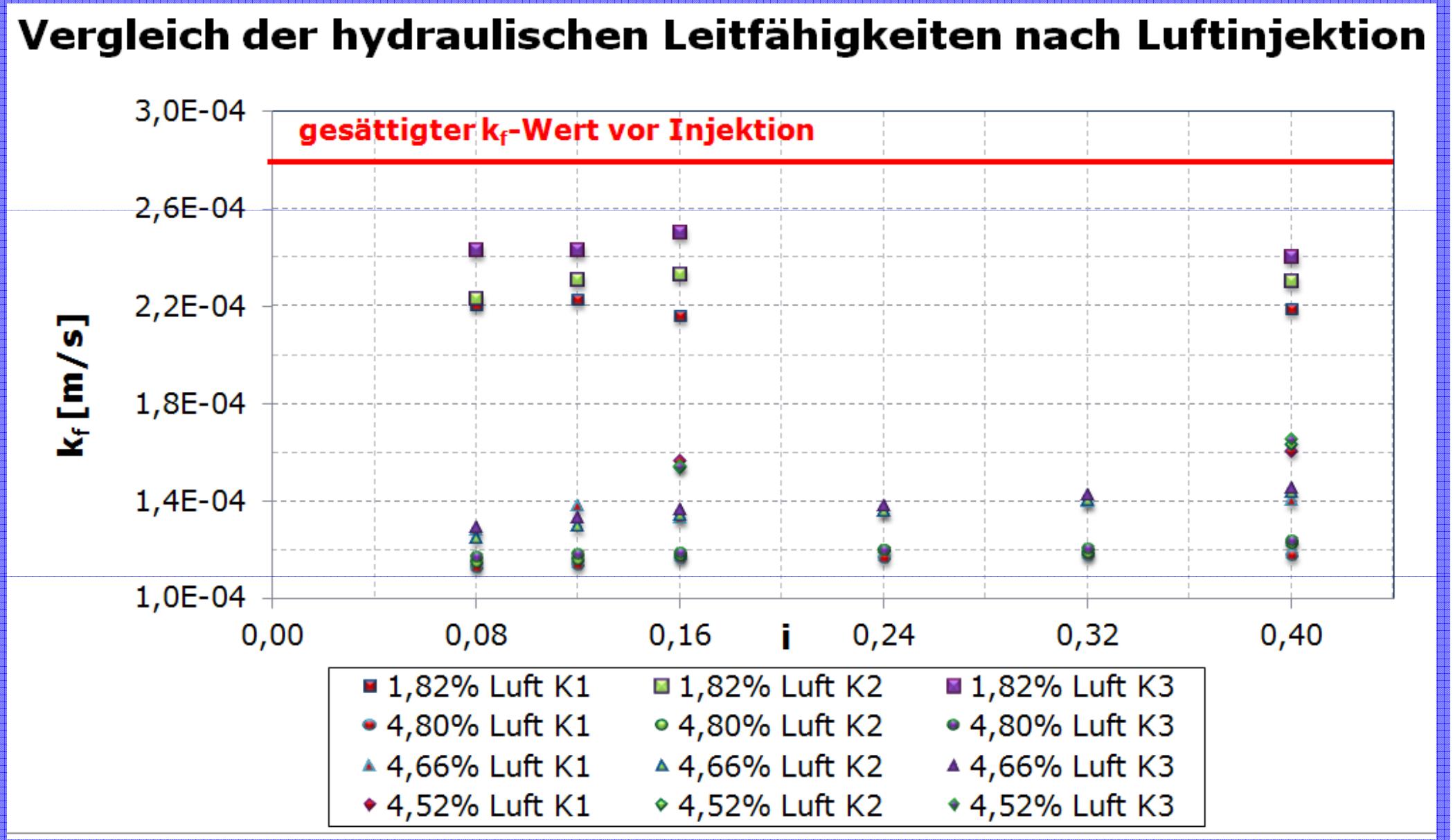


Trägergasinjektionen

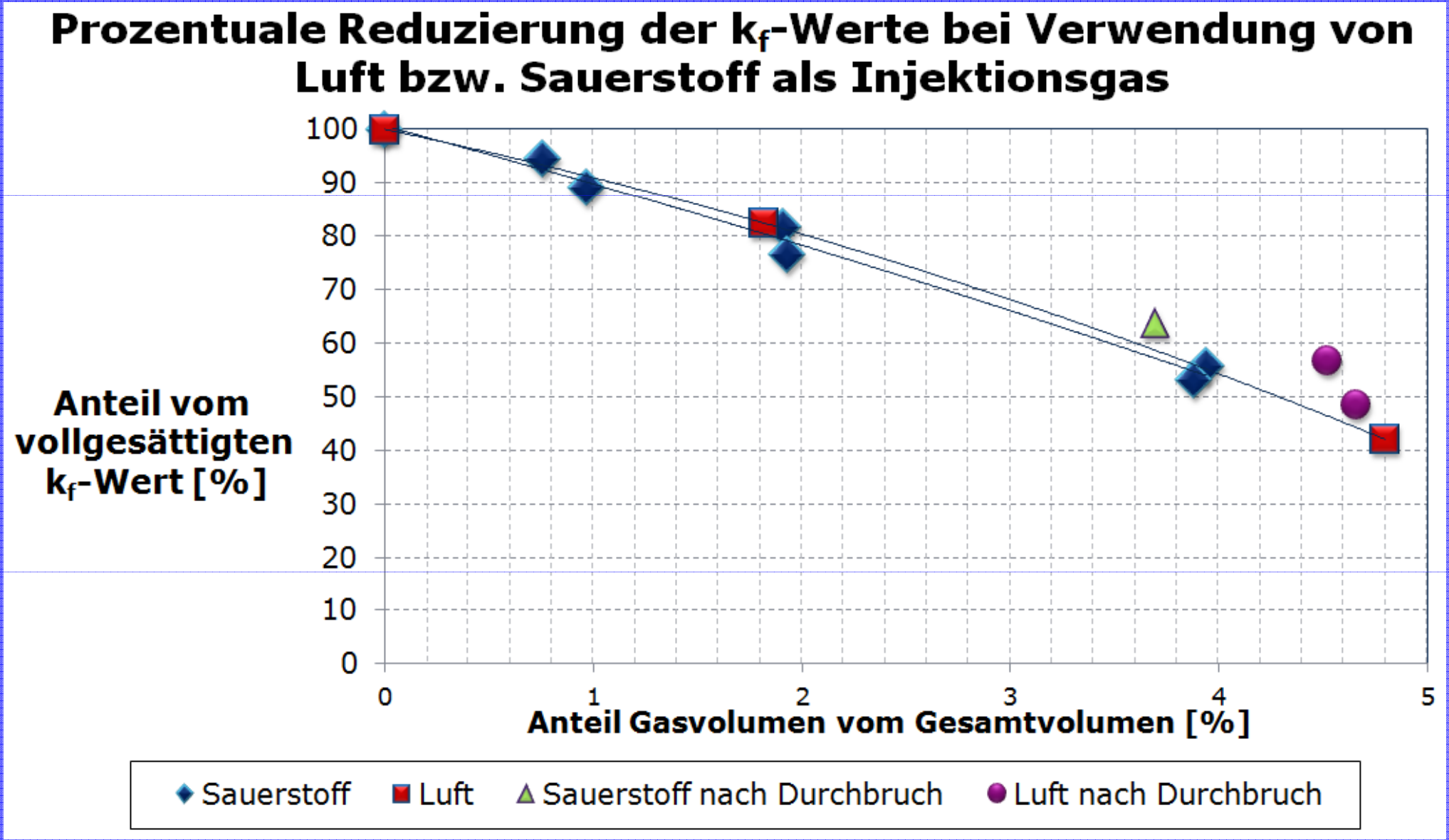


Laborversuche zur hyd. Leitfähigkeit

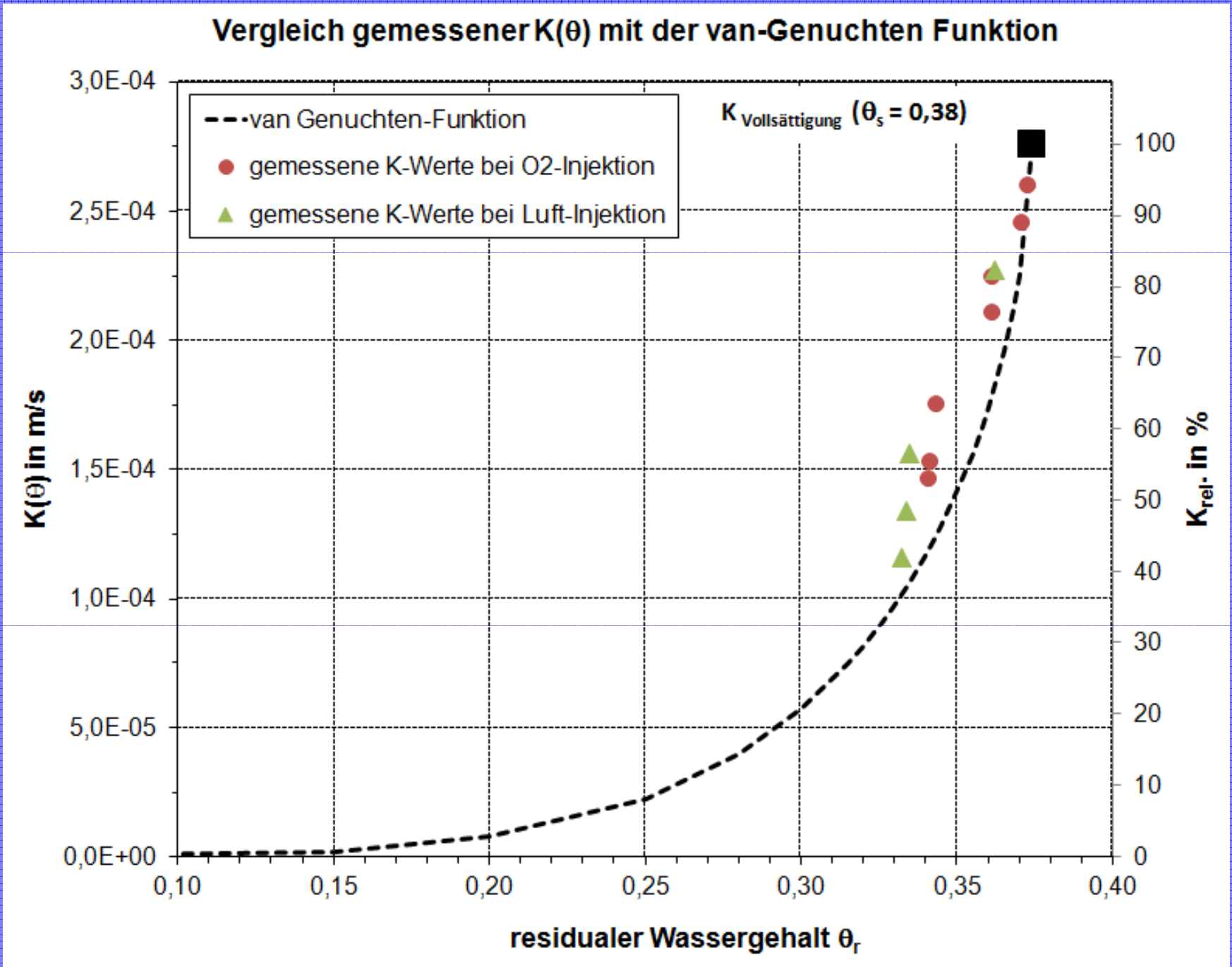
k_f - Reduzierung unter Luft



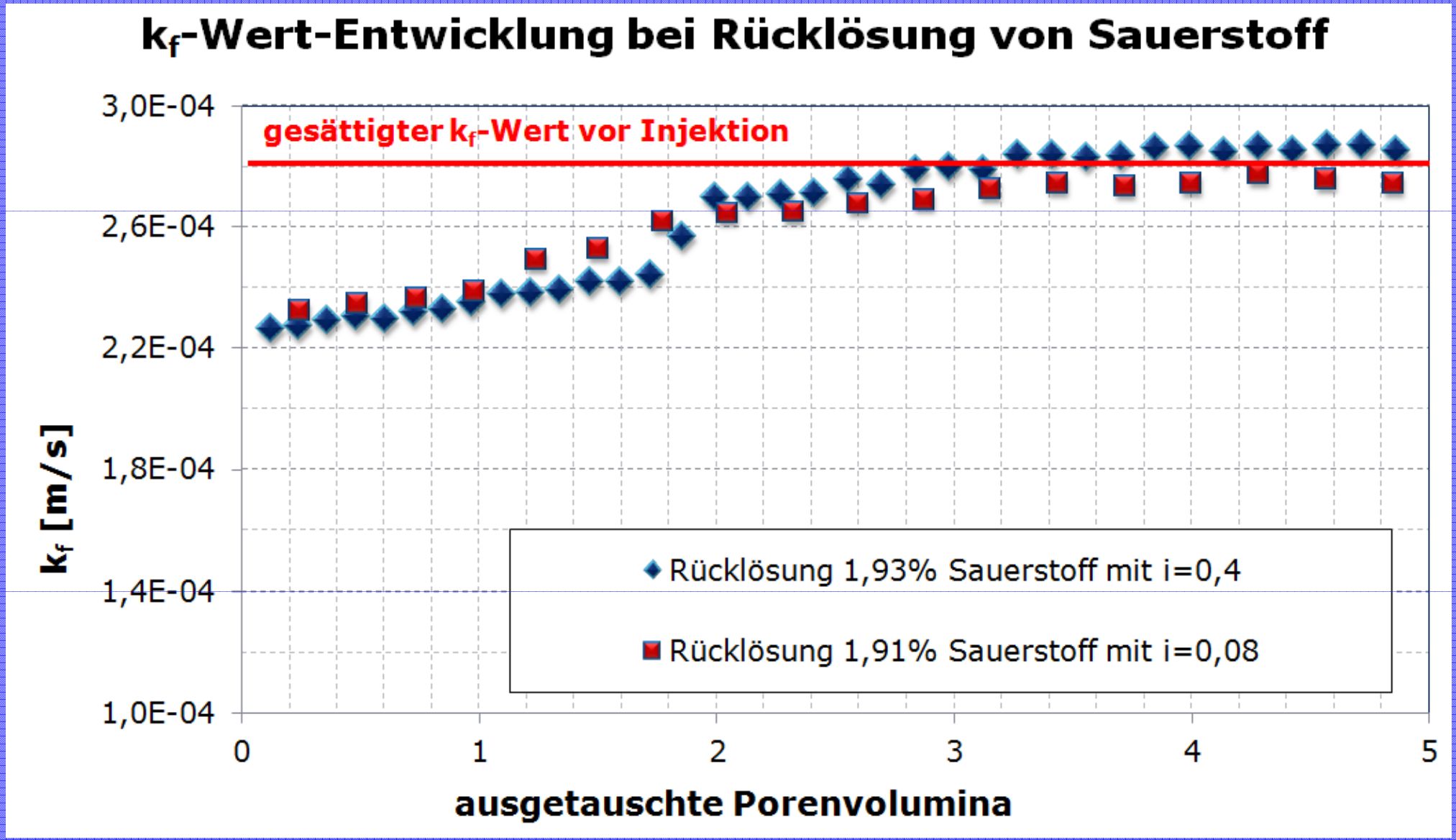
k_f - Reduzierung und Gaseinfluß



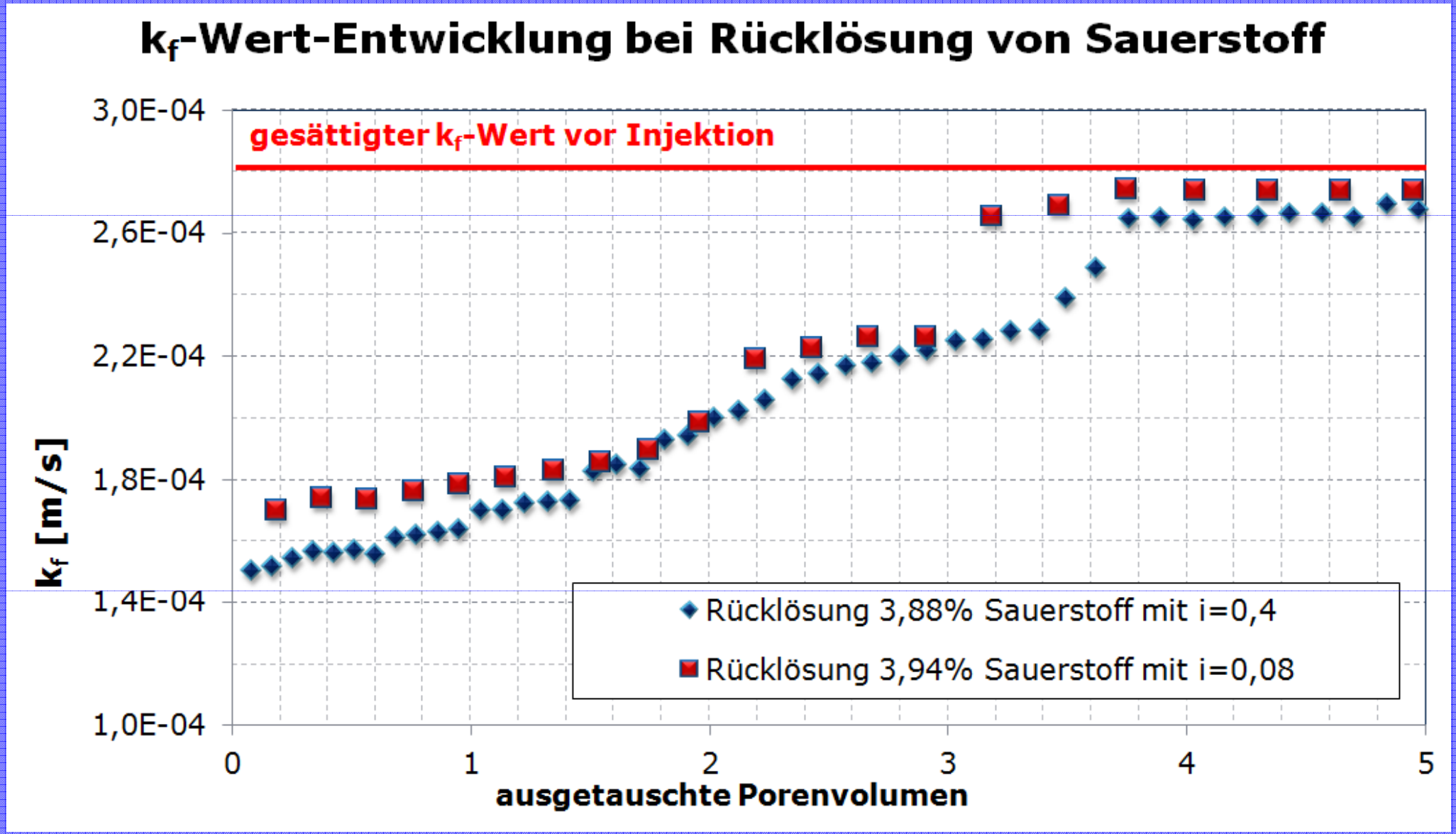
k_f - Reduzierung und Gaseinfluß



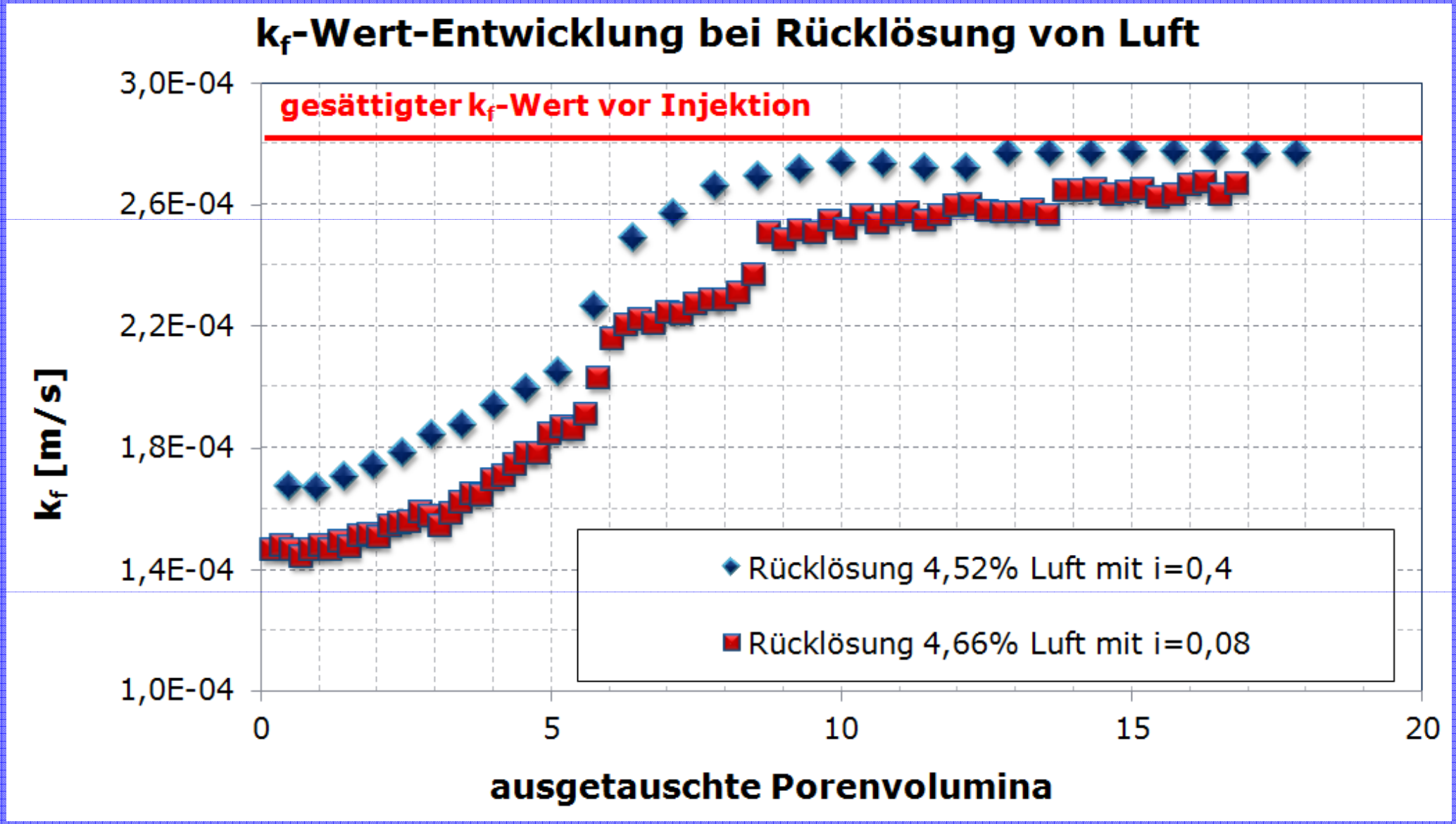
Reduzierung k_f und Gaseinlösung



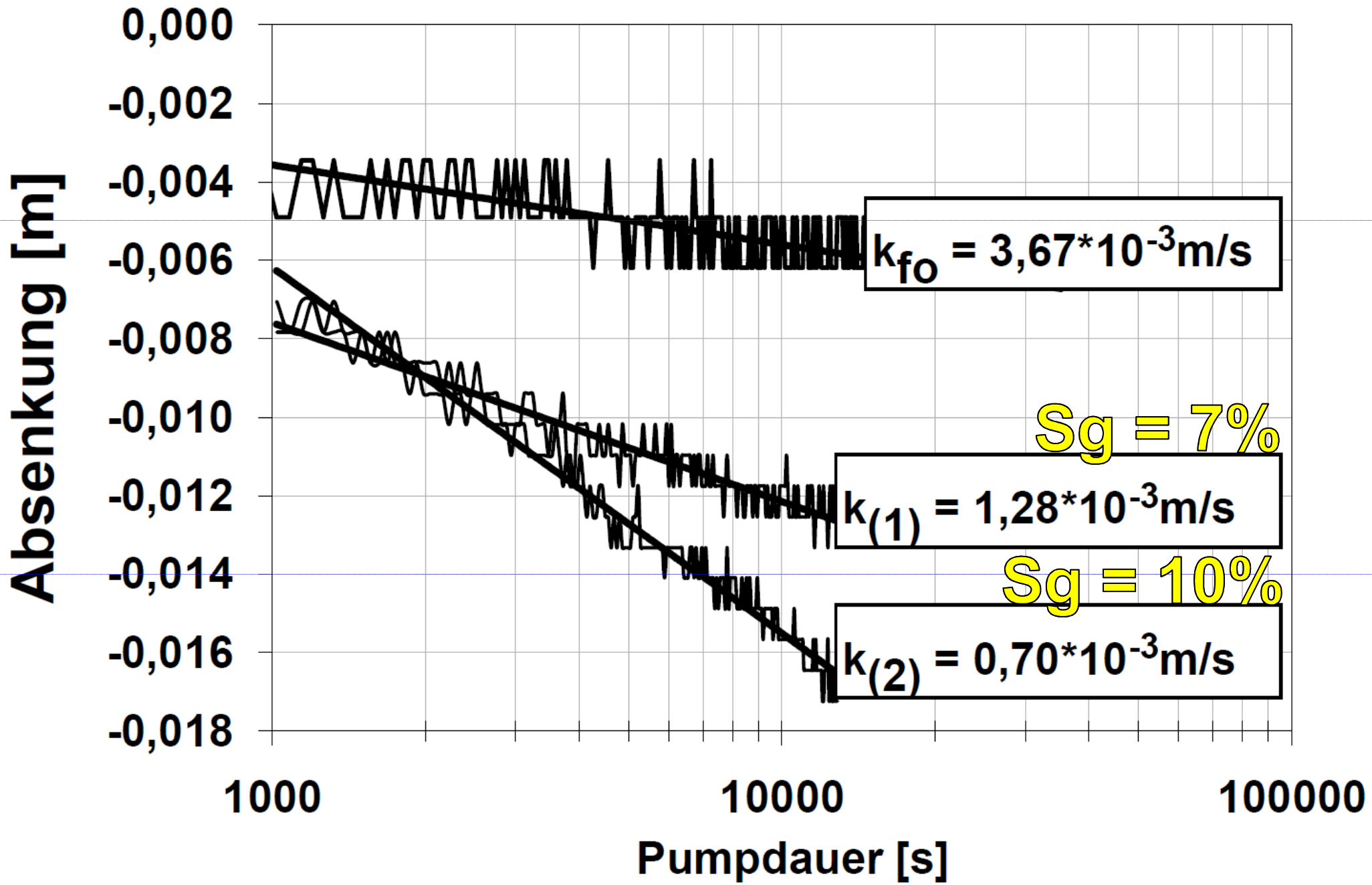
Reduzierung k_f und Gaseinlösung



Lufteinlösung



Gasspeicherpumpversuche



Tracertests

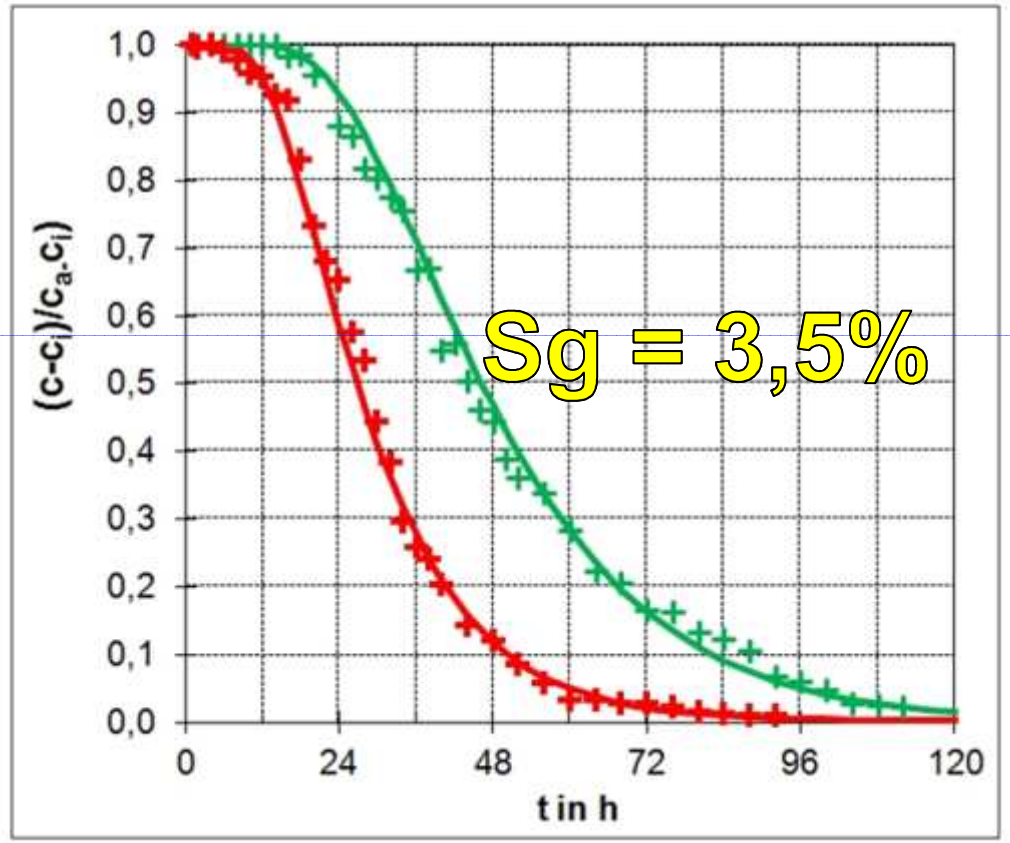


Abb. 8.3.8: L_f-Austragskurven (V1-V1.1)
rot: S_G = 0 %; grün: $S_{G(Krel)}$ = 2,8%

k_f [m/s]	$K_{ungesättigt}$ [m/s]	K_{rel}	v_a [m/d]
0,0012		1,0	1,40
	0,00063	0,52	0,79

n_e	D [m]	R	$S_{G(Krel)}$ [%]
0,26	0,030	1,0	
0,24	0,035	1,0	3,5

$$\frac{c_{(x,t)} - c_i}{c_a - c_i} = 0{,}5\left[erfc\left(\frac{x - v_a t}{2\sqrt{\alpha_L * v_a t}}\right) + \exp\left(\frac{vx}{\alpha_L}\right) erfc\left(\frac{x + v_a t}{2\sqrt{\alpha_L * v_a t}}\right)\right] \quad 1$$

$$v_a = (k_f * \Delta H)/(x * n_e) \quad 1.1$$

$$K_{rel} = K_{ungesättigt}/K_{gesättigt}$$

Anmerkung:

c(x,t) = Konzentration zum Zeitpunkt t im Abstand x vom Eingabepunkt, c_a = Ausgangskonzentration, c_i = Inputkonzentration, x = Transportlänge, v_a = Abstandsgeschwindigkeit, v = Filtergeschwindigkeit, t = Betrachtungszeitpunkt, α_L = longitudinale Dispersivität (D), R = Retardationsfaktor, k_f = Durchlässigkeitsbeiwert, ΔH = Piezometerunterschied auf der Konzentrations-randbedingung 1. Art (c_a, c_i), n_e = effektive Porosität