

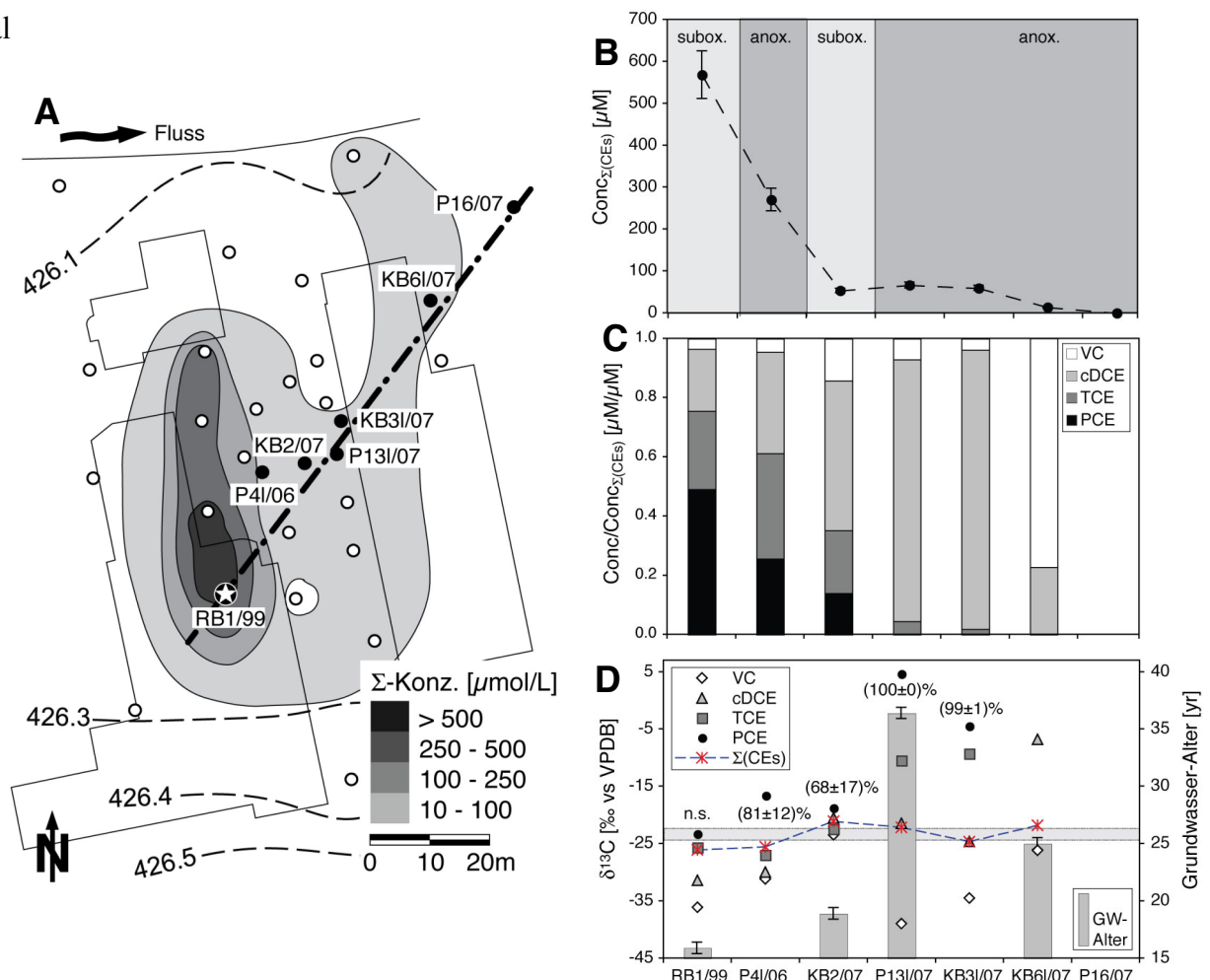
## Fall B: Ehemalige chemische Reinigung (Kurzbeschreibung)

- In Betrieb von 1940-1987.
- Ab 50er Jahren einen PCE Verbrauch von 1'000 bis 2'000 L pro Monat.
- Neben kleineren dokumentierten Schadensfällen flossen 1969 wegen eines defekten Lösungsmitteltanks grosse Mengen an PCE in den Untergrund.

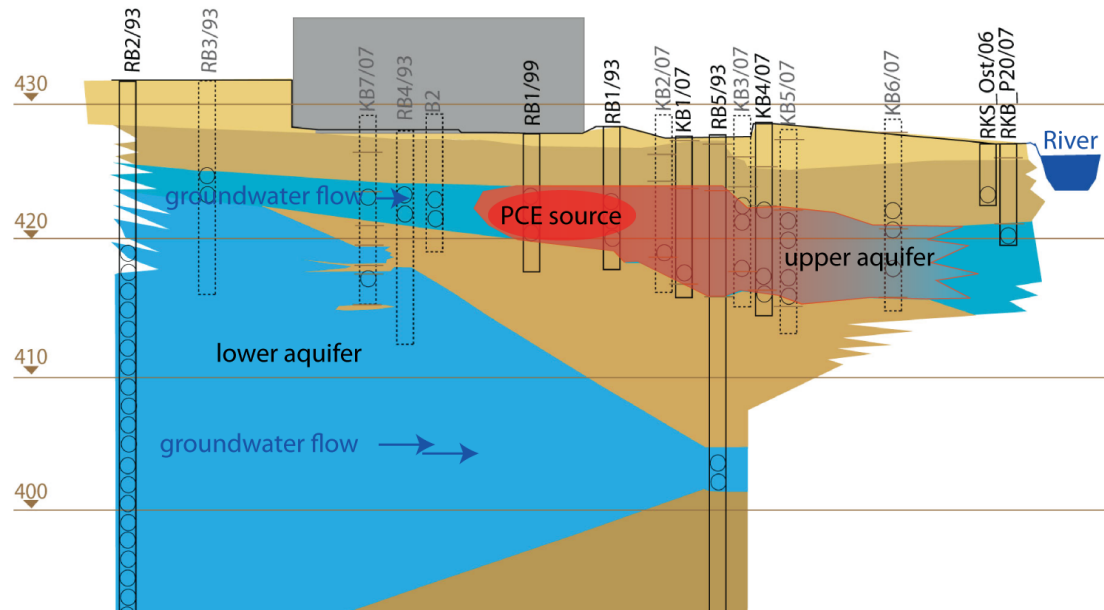
### Geologie / Hydrologie

Hydrogeologisch befinden sich am Standort zwei übereinander gelagerte Aquifere, welche durch eine undurchlässige tonige Schicht voneinander abgegrenzt sind. Der untere Aquifer besteht aus Kiesen von Gletscherablagerungen und weist dementsprechend eine gute hydraulische Durchlässigkeit auf. Die CE Kontamination befindet sich ausschliesslich im oberen Aquifer, welcher vorwiegend aus postglazialen Flusssedimenten besteht, jedoch mit Kies- und Torflinsen durchsetzt ist. Ein geringer hydraulischer Gradient (0.3%) im Bereich des Schadstoffherdes und schlechte hydraulische Durchlässigkeiten ( $1 \times 10^{-5}$  bis  $8 \times 10^{-5}$  m/s) führen im oberen Aquifer zu beinahe stagnierenden hydrogeologischen Verhältnissen mit sehr langsamen Grundwasser-Fliessgeschwindigkeiten (Grössenordnung 1 m/yr).

Areal



**Abbildung 1:** (A) Übersichtskarte mit Schadstofffahne, Beobachtungsbrunnen und Fließpfad; (B) CE Konzentration und Sauerstoffgehalt (anoxisch:  $\text{O}_2 < 0.5$  mg/L, suboxisch:  $\text{O}_2 0.5-2$  mg/L, oxisch:  $\text{O}_2 > 2$  mg/L); (C) relative Anteile von PCE und Transformationsprodukten; (D) Isotopensignaturen, isotopische Massenbilanz und Grundwasseralter entlang des Fließpfades.

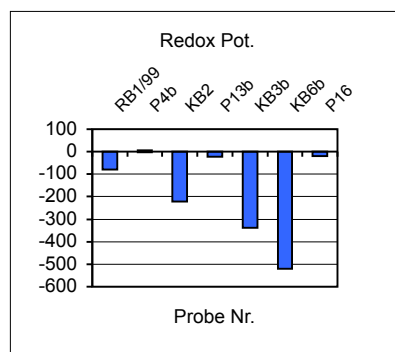
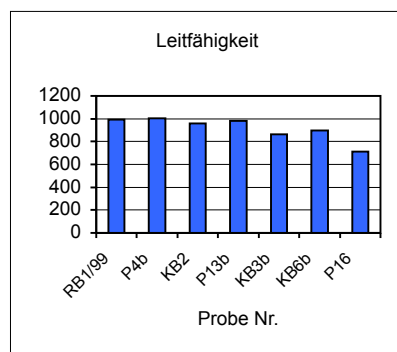
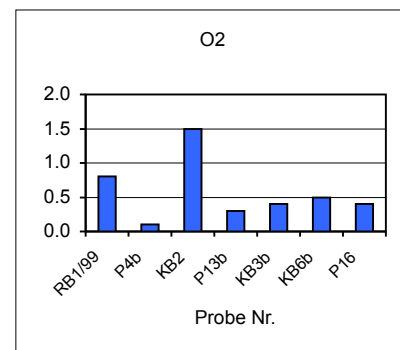
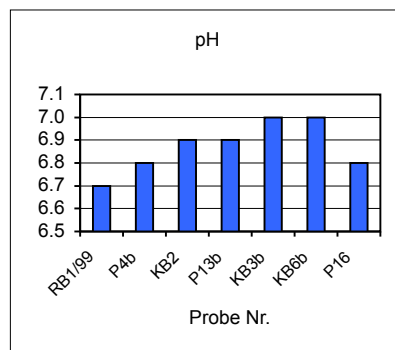
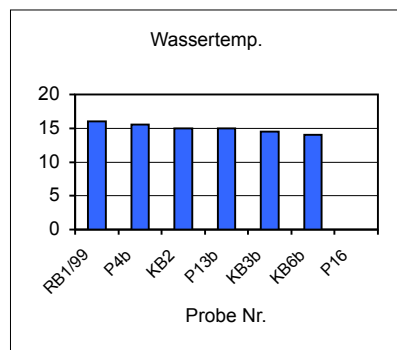


**Abbildung 2:** Geologisches Profil

8.3.2010 / Eawag, mb

**Fall B: Ehemalige chemische Reinigung****Feldparameter**Michael Berg  
Eawag

Nr.	Well	Wassertemp. (°C)	Leitfähigkeit (us/cm, ref 25°C)	pH	Redox Pot. (mV)	O2 (mg/L)
1	RB1/99	16	995	6.7	-76	0.8
2	P4b	15.5	1002	6.8	7	0.1
3	KB2	15	957	6.9	-219	1.5
4	P13b	15	983	6.9	-19	0.3
5	KB3b	14.5	861	7.0	-334	0.4
6	KB6b	14	899	7.0	-518	0.5
7	P16	—	714	6.8	-16	0.4



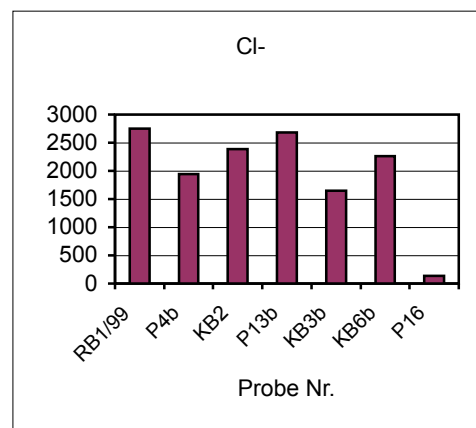
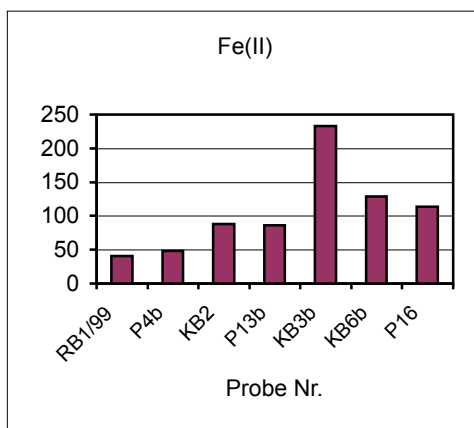
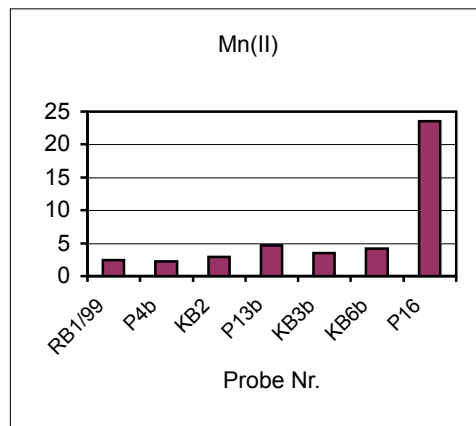
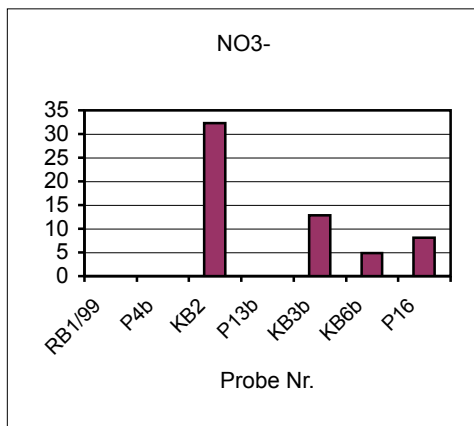
Nr.	Well	Verfilterung (m)
1	RB1/99	3-9
2	P4b	7-8
3	KB2	9-11
4	P13b	8.5-9.5
5	KB3b	10.5-12.5
6	KB6b	10-12
7	P16	7.5-9

## Fall B: Ehemalige chemische Reinigung

### Chemische Analysen

Michael Berg  
Eawag

Nr.	Well	NO <sub>3</sub> - umol/L	Fe(II) umol/L	Mn(II) umol/L	Cl- umol/L
1	RB1/99	<0.5	41	2.4	2750
2	P4b	<0.5	48	2.2	1940
3	KB2	32.3	88	2.9	2390
4	P13b	<0.5	86	4.7	2680
5	KB3b	12.9	233	3.5	1650
6	KB6b	4.8	129	4.2	2260
7	P16	8.1	114	23.5	141



## Fall B: Ehemalige chemische Reinigung

### Grundwasserdatierung

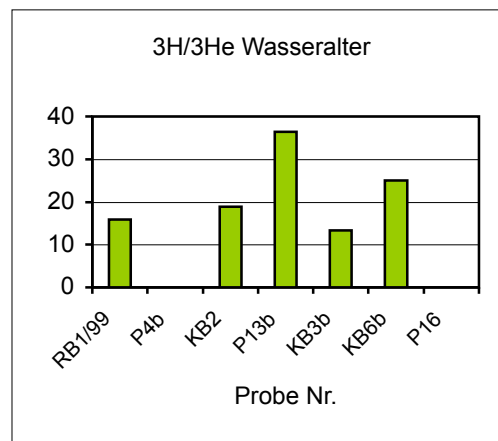
#### $^3\text{H}$ - $^3\text{He}$ Methode

Analysenmethode: Vacuum Extraction - Ultra MS - Tritium Ingrowth Method  
(Literatur: Beyerle Environ. Sci Technol. 2000, pp. 5042–2050.)

Probenahme in Kupferquestschen

Rolf Kipfer  
Eawag

Nr.	Well	3H	3H/ $^3\text{He}$ Wasseralter
		TU	Jahre
1	RB1/99	113	15.9
2	P4b	nd	nd
3	KB2	94	18.9
4	P13b	14	36.4
5	KB3b	24	13.3
6	KB6b	7	25
7	P16	nd	nd



Fall B: Ehemalige chemische Reinigung

Chlorethene (PCE, TCE, cDCE, VC)

Einzelstoff Isotopenanalysen (CSIA, Compound-specific Isotope analysis)

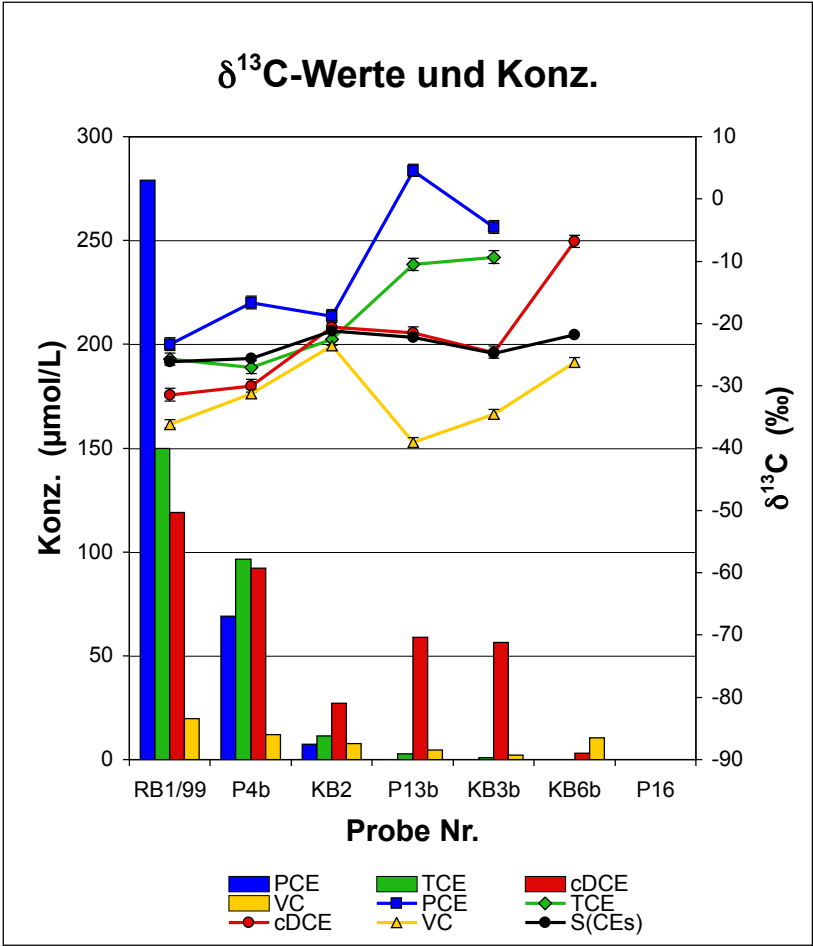
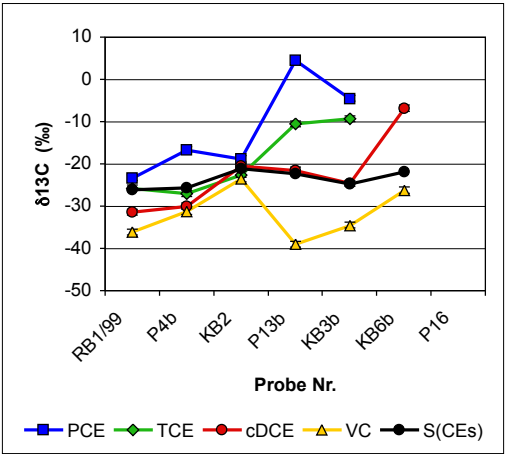
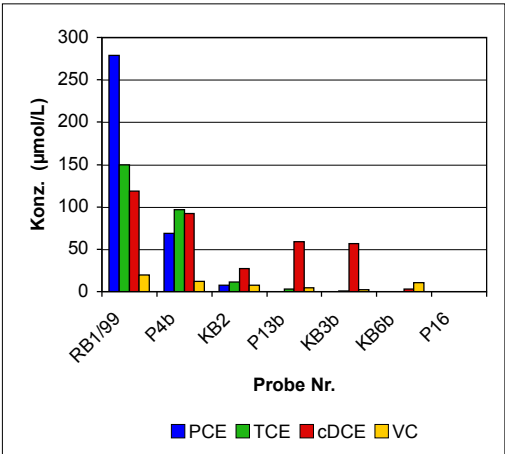
Analysenmethode: P&T-GC/IRMS (Literatur: Zwank. et al., Anal. Chem. 2003, pp.5575–5583.)  
Nachweisgrenzen: 1–5 µg/L  
Messfehler: Konz. ≤10%; δ13C ≤1.2‰

Michael Berg  
Eawag

Nr.	Well	PCE	PCE	TCE	TCE	cDCE	cDCE
		µmol/L ±10%	δ13C (‰)	µmol/L ±10%	δ13C (‰)	µmol/L ±10%	δ13C (‰)
1	RB1/99	279 ± 28	-23.3 ± 1.2	150 ± 15	-25.7 ± 1.2	119 ± 12	-31.4 ± 1.2
2	P4b	69 ± 6.9	-16.6 ± 1.2	96 ± 9.6	-27.0 ± 1.2	92 ± 9.2	-30.0 ± 1.2
3	KB2	7.4 ± 0.7	-18.8 ± 1.2	11 ± 1.1	-22.5 ± 1.2	27 ± 2.7	-20.5 ± 1.2
4	P13b	0.15 ± 0.01	4.6 ± 1.2	2.8 ± 0.3	-10.5 ± 1.2	59 ± 5.9	-21.5 ± 1.2
5	KB3b	0.11 ± 0.01	-4.5 ± 1.2	0.99 ± 0.1	-9.3 ± 1.2	56 ± 5.6	-24.6 ± 1.2
6	KB6b	<0.01		<0.01		3.1 ± 0.3	-6.8 ± 1.2
7	P16	<0.01		<0.01		<0.01	

Nr.	Well	VC	VC	Σ(CEs)	Σ(CEs)
		µmol/L ±10%	δ13C (‰)	µmol/L ±10%	δ13C (‰)
1	RB1/99	20 ± 2	-36.1 ± 1.2	568 ± 57	-26.1 ± 1.2
2	P4b	12 ± 1.2	-31.2 ± 1.2	270 ± 27.0	-25.6 ± 1.2
3	KB2	7.6 ± 0.8	-23.5 ± 1.2	53.4 ± 5.3	-21.1 ± 1.2
4	P13b	4.7 ± 0.47	-39.0 ± 1.2	66.4 ± 6.64	-22.2 ± 1.2
5	KB3b	2.3 ± 0.23	-34.5 ± 1.2	59.6 ± 5.96	-24.7 ± 1.2
6	KB6b	10.5 ± 1.1	-26.2 ± 1.2	13.6 ± 1.4	-21.8 ± 1.2
7	P16	<0.01		<0.01	

Alle Messwerte aus Dreifachbestimmungen (n=3)

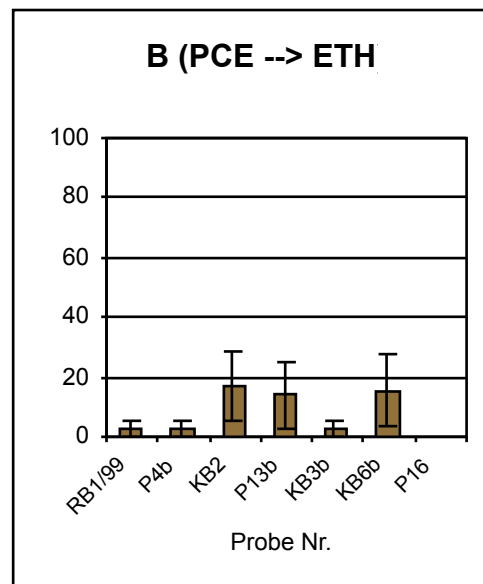
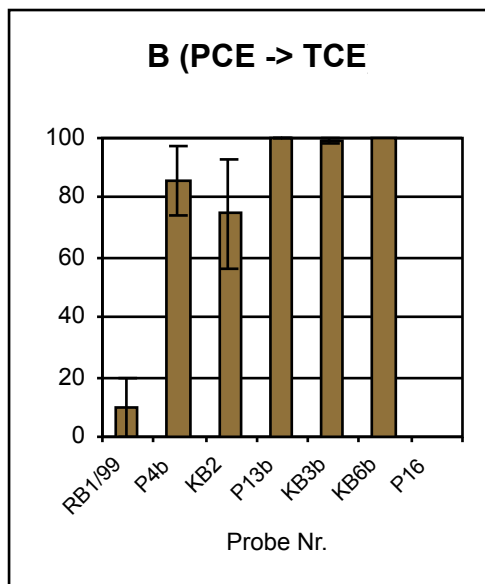


**Fall B: Ehemalige chemische Reinigung****Biotransformation (B)**einstufige Transformation **B (PCE -> TCE)****B (PCE --> --> ETH)**

$$B_{PCE} = 1 - \left( \frac{\delta^{13}C_{PCE} + 1000}{\delta^{13}C_{PCE}^{Herd} + 1000} \right)^{1000/\epsilon_{PCE}}$$

$$B_{\Sigma(CEs)} = 1 - \left( \frac{\delta^{13}C_{\Sigma(CEs)} + 1000}{\delta^{13}C_{\Sigma(CEs)}^{Herd} + 1000} \right)^{1000/\epsilon_{\Sigma(CEs)}}$$

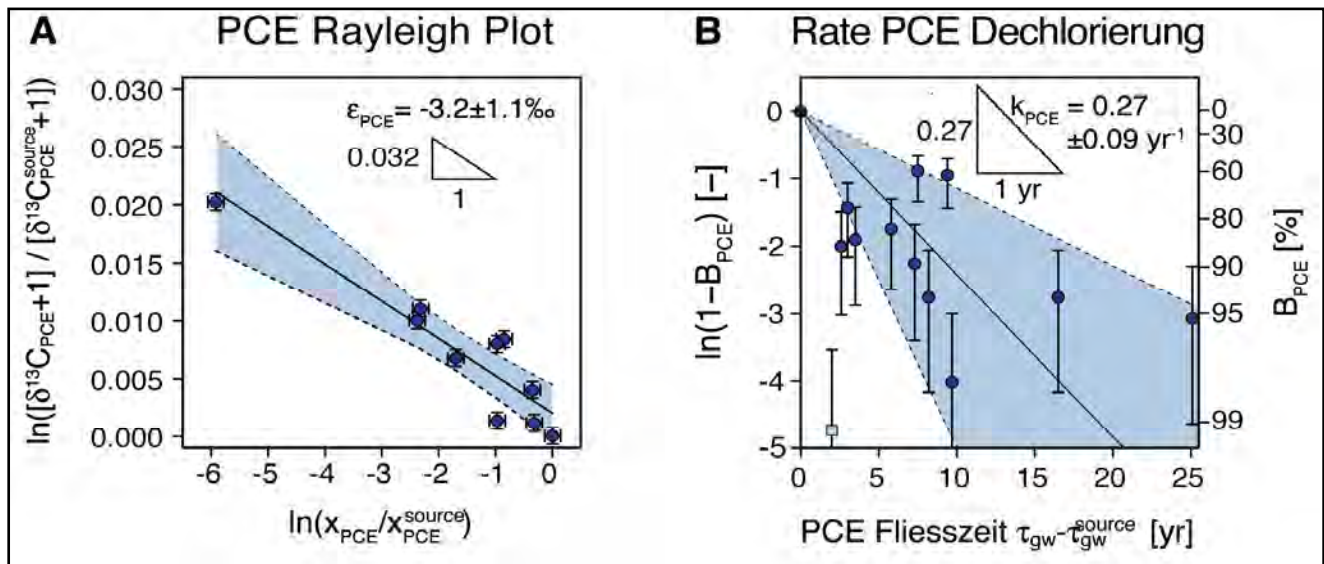
Nr.	Well	B (PCE -> TCE)	B (PCE --> ETH)
		% ±%	% ±%
1	RB1/99	10 ± 10	2.5 ± 2.5
2	P4b	86 ± 12	2.5 ± 2.5
3	KB2	75 ± 18	17 ± 12
4	P13b	99.9 ± 0.09	14 ± 11
5	KB3b	99.2 ± 0.75	2.5 ± 2.5
6	KB6b	100	15 ± 12
7	P16		



**Fall B: Ehemalige chemische Reinigung****Isotopenanreicherungs-Faktor,  $\epsilon(\text{PCE})$       Rayleigh plot**

$$\ln(1 - B) = \ln\left(\frac{\delta^{13}\text{C} + 1000}{\delta^{13}\text{C}^{\text{Herd}} + 1000}\right) \cdot 1000 / \epsilon_C$$

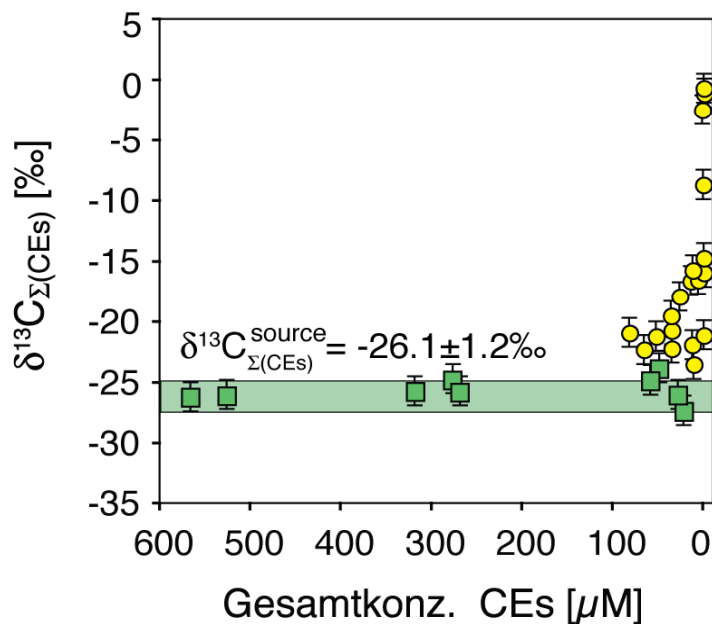
$$\epsilon(\text{PCE}) = -3.2 \pm 1.1 \text{ ‰}$$





**Fall B: Ehemalige chemische Reinigung****Isotopen Massenbilanz**

$$\delta^{13}C_{\Sigma(CEs)} = \delta^{13}C_{PCE} \cdot x_{PCE} + \delta^{13}C_{TCE} \cdot x_{TCE} + \delta^{13}C_{cDCE} \cdot x_{cDCE} + \delta^{13}C_{VC} \cdot x_{VC}$$

**A** Isotopische Massenbilanz**B** Rate vollständige Dechlor.