



PFAS-Grundwassersanierung: Technik-Kosten-Analyse und Fallbeispiel IN-Campus

Hans-Georg Edel

ZÜBLIN Umwelttechnik GmbH
Deutschland · Schweiz · Frankreich · Italien
www.zueblin-umwelttechnik.com

© DrEd, Züblin Umwelttechnik GmbH, 12. Nov. 2019

1. Symposium Altlasten Schweiz, BAFU
12. Nov. 2019, Solothurn



ZÜBLIN
TEAMS WORK.

Sanierungs- und Reinigungsverfahren für PFC-haltiges Grundwasser



Kesselwagenunfall
17. Februar 2002, Osnabrück (DE)
Quelle: Geo-Data

Sanierungsverfahren

- Pump-and-treat
- **nicht anwendbar:**
biologische, chemische, thermische
In-situ Sanierungsverfahren

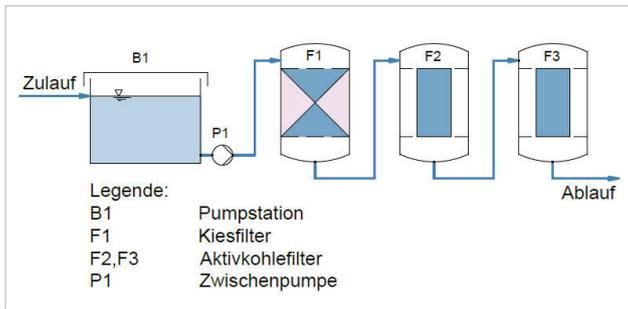
Reinigungsverfahren

- Aktivkohleadsorption
- Ionenaustausch
- Flockung
- Membranverfahren

2 © DrEd, Züblin Umwelttechnik GmbH, 12. Nov. 2019

ZÜBLIN
TEAMS WORK.

Aktivkohleanlage



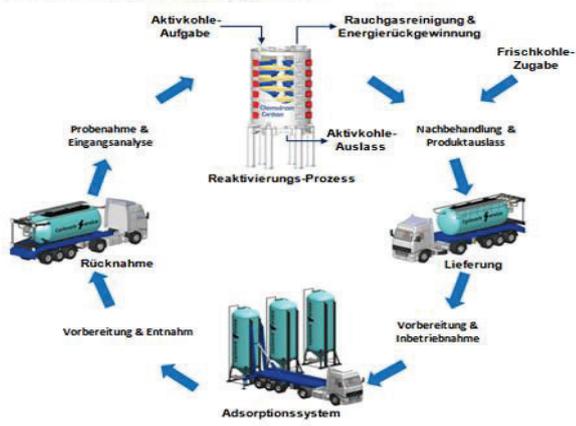
- Kiesfilter (i.d.R.)
- WAK-Filter, zweistufig (mehrstufig)
→ Arbeitsfilter / Polizeifilter
- Kornaktivkohle (spez. Typen für PFC)
- PFC-Beladung 0,1 - 0,01 Gew. %
- Konkurrenz um Adsorptionsplätze
DOC (ppm) >>> PFC (ppb)
- Keine Zugabe von Chemikalien
- Filtratqualität:
< 10 ng/L je Einzelverbindung möglich
- Beladene Aktivkohle ist **reaktivierbar**
→ keine Entsorgung, Wiederverwertung

3 © DrEd, Züblin Umwelttechnik GmbH, 12. Nov. 2019

ZÜBLIN
TEAMS WORK.

Reaktivierung beladener Aktivkohle

Der Reaktivierungszyklus



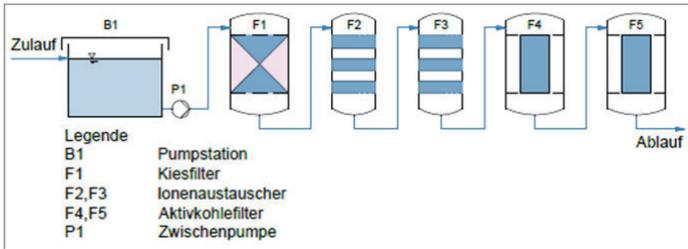
© DrEd, Züblin Umwelttechnik GmbH, 12. Nov. 2019

Reaktivierungs-Prozess

- Trocknung im Ofen bei ca. 120 °C:
Wasser, niedrigsiedende Schadstoffe verdampfen
- Aufheizen im Ofen auf über 450 °C:
Desorption flüchtiger Schadstoffe
- Weiteres Aufheizen auf über 600 °C:
Pyrolyse höhersiedender org. Schadstoffe
teilweises Verbrennen
- Abgasreinigung durch Thermische
Nachverbrennung bei über 1200 °C
- Abgaswäsche zur Entfernung von sauren
Abgasen wie z.B. HCl, HF

ZÜBLIN
TEAMS WORK.

IAT-Anlage

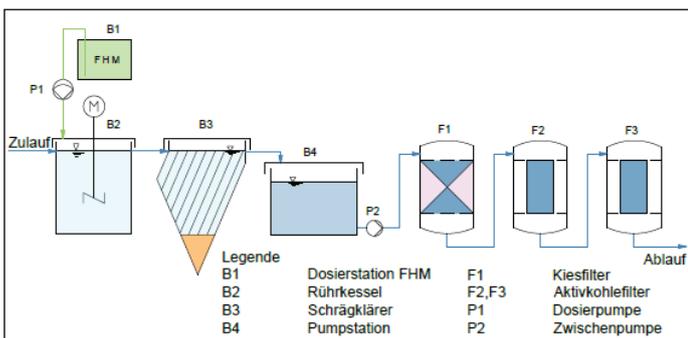


- Kiesfilter / Feinfilter
- IAT zweistufig
- WAK-Filter, zweistufig
- Anionenaustauscher
IAT-Harz **nur z.T. regenerierbar**
- Konkurrenz um IAT-Plätze
 - Anionen (ppm) >>> PFC (ppb)
 - DOC (ppm) >>> PFC (ppb)
- IAT-Harz
→ Entsorgung in HT-Verbrennung
- Aktivkohleadsorption
→ Regenerat
→ Feinreinigung

5 © DrEd, Züblin Umwelttechnik GmbH, 12. Nov. 2019

ZÜBLIN
TEAMS WORK.

Flockungsanlage

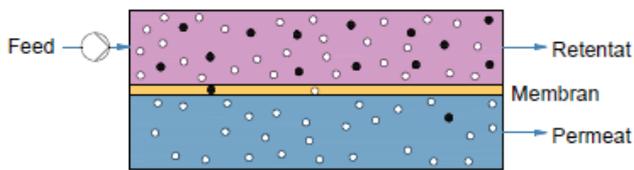


- Flockung → Sedimentation → Filtration
- WAK-Filter, zweistufig
- PFC-Beladung bis ca. 0,2 Gew. % möglich
- Zugabe von Chemikalien (WGK 1)
- geringere Effizienz bei niedrigen Gehalten (PFC < 20 µg/L)
- Dünnschlamm (4-6% TS)
→ KFP (30-50% TS)
→ Entsorgung in der HT-Verbrennung
- Aktivkohleadsorption für Feinreinigung

6 © DrEd, Züblin Umwelttechnik GmbH, 12. Nov. 2019

ZÜBLIN
TEAMS WORK.

Membrananlage



- technisch aufwändig
- **hohe Invest- / Betriebskosten**
- Vorbehandlung / Vorfiltration
- Feed (100%) → Permeat (80-85%) + Retentat (ca. 15-20%)
- PFC-haltiges Retentat → Aufbereitung durch Aktivkohleadsorption
- Filtratqualität: < 10 ng/L je Einzelverbindung möglich

→ PFC-Reinigung nur zusammen mit Trinkwasseraufbereitung sinnvoll

7 © DrEd, Züblin Umwelttechnik GmbH, 12. Nov. 2019

ZÜBLIN
TEAMS WORK.

Vorbehandlung

- Störstoffe
 - Fe^{2+} , Mn^{2+}
 - DOC
 - Wasserhärte
 - Feststoffe
 → Einfluss auf Wasseraufbereitung
- Zusätzliche Schadstoffe
- Aufbereitungsschlämme → hohe Entsorgungskosten
- Vorbehandlung
 - Flockung, Sedimentation, Filtration
 - Enteisung/Entmanganung
 - Schlammaufbereitung
 - sonstige Aufbereitungsstufen



8 © DrEd, Züblin Umwelttechnik GmbH, 12. Nov. 2019

ZÜBLIN
TEAMS WORK.

PFC-Wasserreinigungsanlagen der Züblin Umwelttechnik

Projekte	seit 2009: ca. 30 PFC-Grundwassersanierungen, 1 Bodenwaschanlage
Standorte	Chemische Industrie, Mineralölindustrie, Flughäfen/-plätze, Landwirtschaft
Schadensart	PFC-Monoschäden, PFC-Mischkontaminationen
PFC-Spezies	PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNoA, PFDeA, u.a. PFBS, PFPeS, PFHxs, PFHps, PFOS, PFDeS, u.a. 6:2 FTS (H4PFOS), 8:2 FTS, u.a.
Störstoffe	DOC, Fe ²⁺ , Mn ²⁺ , Wasserhärte, Feststoffe
Durchsatzraten	1 - 360 m ³ /h
Zulaufkonzentrationen	Ø 1 - 100, max. 600 µg/L PFC
Zielwerte - Ablaufkonzentrationen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Einzelsubstanz < 10 ng/L (!) ▪ Quotientensumme (\sum Messwert/GFS für 13 PFC) < 1,0
Adsorbentien	Granulierte Aktivkohle, Ionenaustauscherharze
Flockung	Spezifische FHM
Aktivkohle	Spezielle Aktivkohlen für PFC (div. Typen)
Standzeiten	mind. 12 Monate
Reaktivierung	keine Entsorgung, sondern Reaktivierung und Wiederverwertung !

ZÜBLIN
TEAMS WORK.

9 © DrEd, Züblin Umwelttechnik GmbH, 12. Nov. 2019

Diverse PFC-Wasserreinigungsanlagen (Beispiele)



Mob. Anlage, Bauwasser



Chem. Ind., Grundwasser



Flughafen, Grundwasser



Flughafen, Löschwasser



Bewässerung, Grundwasser



Ehem. Raffinerie, Grundwasser

ZÜBLIN
TEAMS WORK.

10 © DrEd, Züblin Umwelttechnik GmbH, 12. Nov. 2019

Kostenvergleich – Modellrechnung

Theoretischer Sanierungsfall

- Durchflussrate: $Q_w = 25 \text{ m}^3/\text{h}$
- Σ PFC, Zulauf: $c = 1 - 10 - 50 - 100 \text{ } \mu\text{g}/\text{L}$
- Σ PFC-Fracht: $c = 0,2 - 2 - 10 - 20 \text{ kg/a}$
- Störstoffe: keine
- Verfahren: Aktivkohleadsorption, Ionenaustausch, Flockung, Membranverfahren

Gesamtkosten beinhalten:

- Anlagentechnik
 - Vorhaltung, Wartung, Reparaturen, Instandhaltung, Überwachung
- Elektrische Energie
- Betriebsmittel
 - inkl. Reaktivierung bzw. Entsorgung

11 © DrEd, Züblin Umwelttechnik GmbH, 12. Nov. 2019

ZÜBLIN
TEAMS WORK.

Kostenvergleich: $Q_w = 25 \text{ m}^3/\text{h}$, Σ PFC = $10 \text{ } \mu\text{g}/\text{L}$, PFC-Fracht 2 kg/a

Reinigungsverfahren	Aktivkohle-adsorption	Ionenaustausch	Flockung	Membranverfahren
Einmalkosten - Montage - Inbetriebnahme	26.000 CHF	30.400 CHF	35.800 CHF	51.000 CHF
Betriebsmittel	0,08 CHF/m ³	0,18 CHF/m ³	0,16 CHF/m ³	0,68 CHF/m ³
Betriebsmittel, Anteil Gesamtkosten	14%	22%	18%	34%
Gesamtkosten * - spezifische - jährliche	0,54 CHF/m ³ 119.020 CHF/a	0,86 CHF/m ³ 188.050 CHF/a	0,89 CHF/m ³ 195.200 CHF/a	2,03 CHF/m ³ 445.140 CHF/a

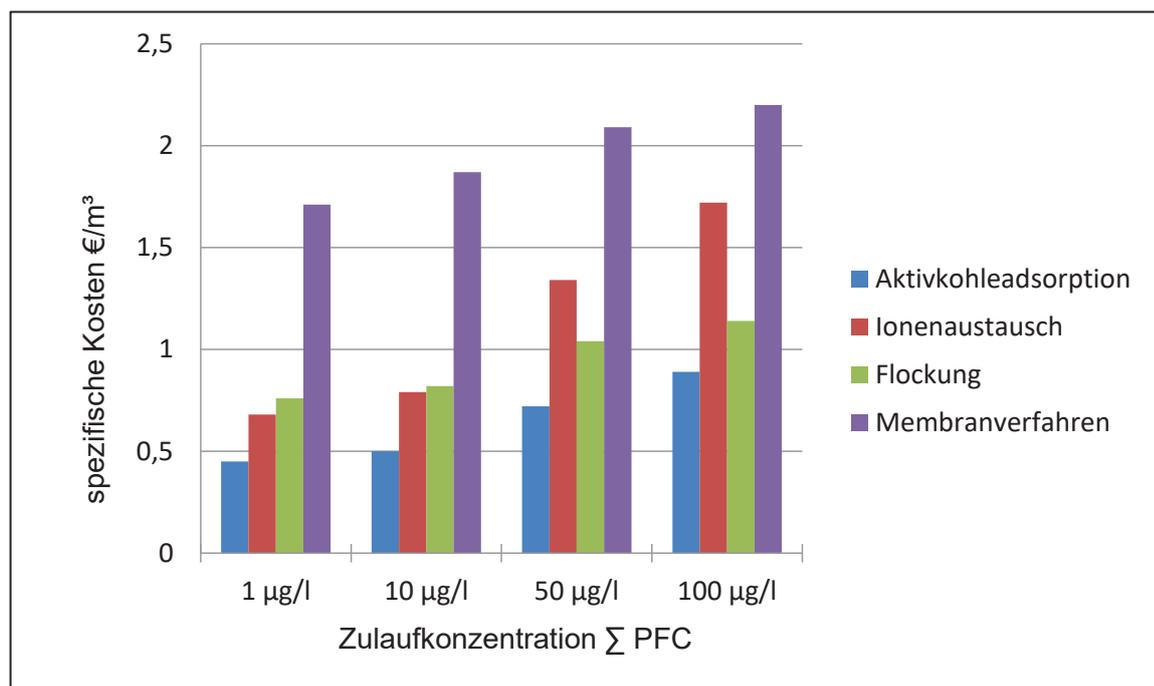
* Anlagentechnik (Vorhaltung, Wartung, Reparaturen, Instandhaltung, Überwachung) elektrische Energie, Betriebsmittel inkl. Reaktivierung bzw. Entsorgung

1,09 CHF - 1,00 €

12 © DrEd, Züblin Umwelttechnik GmbH, 12. Nov. 2019

ZÜBLIN
TEAMS WORK.

Spez. Kosten: $Q_w = 25 \text{ m}^3/\text{h}$, $\sum \text{PFC} = 1 - 100 \text{ } \mu\text{g}/\text{L}$, PFC-Fracht 0,2 - 20 kg/a



13 © DrEd, Züblin Umwelttechnik GmbH, 12. Nov. 2019



Verfahrensvergleich

Verfahren	Aktivkohle-adsorption	Ionenaustausch	Flockung	Membran-verfahren
erzielbare Ablaufwerte: PFC < 10 ng/L	ja	nein	nein	ja
Nachreinigung	keine	erforderlich	erforderlich	erforderlich
Reststoffe	keine	Regenerat, Austauscherharz	Schlamm	Retentat
Wiederverwertung Betriebsmittel	ja (Reaktivat)	nein	nein	-
Gesamtkosten, * pro Jahr [CHF/a]	107.120 - 211.850	161.870 - 409.430	180.910 - 271.369	407.050 - 523.700
Gesamtkosten, * spezifische [CHF/m³]	0,49 - 0,97	0,74 - 1,87	0,83 - 1,24	1,86 - 2,39

* $Q_w = 25 \text{ m}^3/\text{h}$, $\sum \text{PFC} 1 - 10 - 50 - 100 \text{ } \mu\text{g}/\text{L}$:
 → $\sum \text{PFC-Fracht: } 0,2 - 2 - 10 - 20 \text{ kg/a}$

1,09 CHF - 1,00 €

14 © DrEd, Züblin Umwelttechnik GmbH, 12. Nov. 2019





IN-Campus, Ingolstadt - Bodenwaschanlage

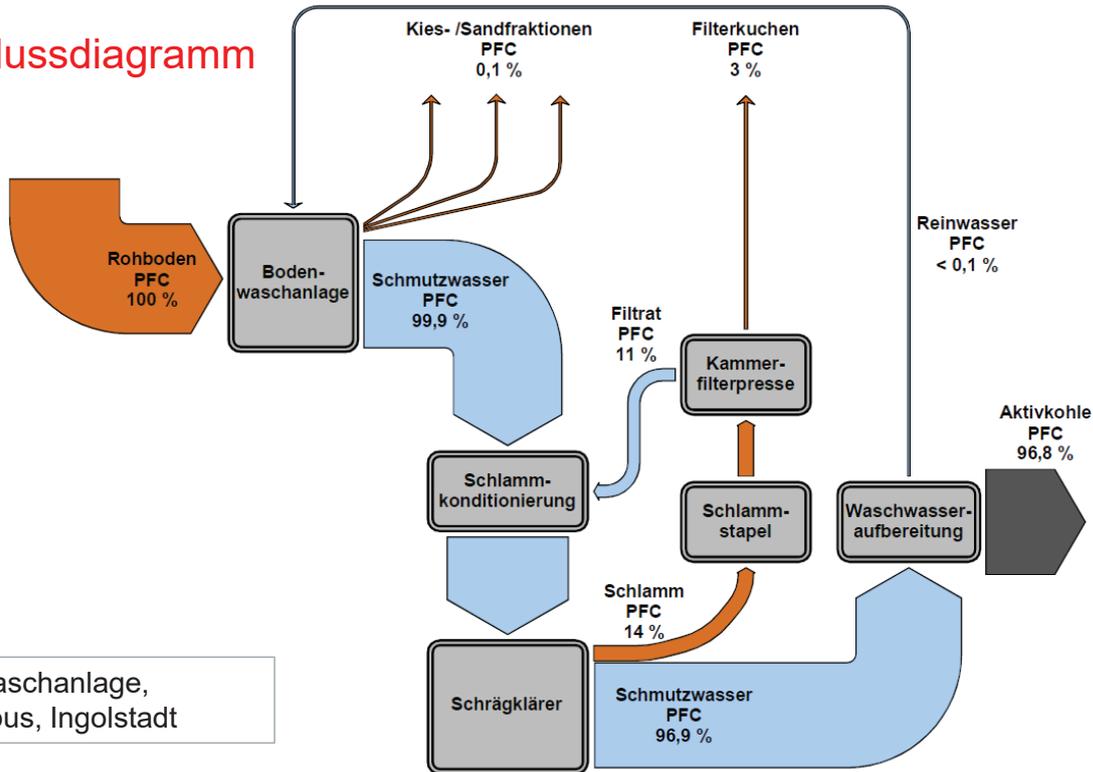


■ Schlamm-/Wasseraufbereitung

- Flockung / Sedimentation / Filtration
- Schlammaufbereitung mit KFP
- Aktivkohleadsorption
- Wasserrecycling / Kreislaufführung

- **Standort**
ehem. Raffineriegelände, Ingolstadt
- **Genehmigung**
nach BImSchV
- **Betrieb**
 - seit 08/2018
 - durch ARGE Sanierung IN-Campus GbR
- **Bodenwäsche**
- nassmechanische Bodenaufbereitung
- **Schadstoffarten**
- AKW, MKW, PFC
- **Prozessstrom**
 - 1.200 t/d Feststoff im Eingang
 - bis max. 10 % Schlämmanteil
- **Gereinigter Boden**
→ Wiedereinbau am Standort

PFC-Flussdiagramm



ZÜBLIN
TEAMS WORK.

17 © DrEd, Züblin Umwelttechnik GmbH, 12. Nov. 2019

IN-Campus, Ingolstadt – Hydraulische Abstomsicherung



Schadstoffe

- AKW (v.a. BTEX), KW (C5-C9), KW (C10-C40)
- PFC (v.a. PFOS)

Volumenstrom

- 180 - 210 m³/h (niveaugeregelt)

Betrieb

- seit 1. März 2018 (ca. 17 Monate)
- ca. 2.372.000 m³ (07/2019)
- bisher kein WAK-Wechsel erforderlich

Einleitwerte (**Reinigungsleistung**) [µg/L]

- KW (C10-C40): ≤ 200 (≤ 0,1)
- KW (C5-C9): ≤ 20 (≤ 0,1)
- AKW: ≤ 20 (≤ 0,1)
- ∑ PFC (13 ES): ≤ 0,2 (≤ 0,01)
- PFOS: ≤ 0,02 (≤ 0,01)

ZÜBLIN
TEAMS WORK.

18 © DrEd, Züblin Umwelttechnik GmbH, 12. Nov. 2019

Zusammenfassung

Bodenwäsche

- sandig-kiesige Böden, geringer Feinanteil
- Schlamm- / Wasseraufbereitung essentiell

Grundwassersanierung

- PFC-Konzentrationen: i.d.R. 1-100 µg/L
- Aktivkohleadsorption: vorteilhaft & unverzichtbar
- Alternativen: Flockung / Membranverfahren
- Störstoffe beachten

Erfolgsfaktoren

- Untersuchung
- ggf. Feldversuche
- Know-how
- Erfahrung
- verbindliches Angebot

19 © DrEd, Züblin Umwelttechnik GmbH, 12. Nov. 2019

ZÜBLIN
TEAMS WORK.

Noch Fragen ?



Dr. Hans-Georg Edel
Tel. +49 711 8202-249
hans-georg.edel@zueblin.de

Julien Bendler
Tel. +33 388 68 79 91
julien.bendler@zueblin.de



Publikationen

Edel H-G, Klopp D, Drubel J, Korte D, Kellner C, Rehnig U (2018) PFC-Grundwassersanierungen: Stand der Technik und Kostenvergleich, HdA

Bendler J, Bossert F, Brun S (2019) Traitement du site de l'ancienne raffinerie de Bayernoil à Ingolstadt (Allemagne) pour la reconversion en Parc technologique, EIN N°419, 43



Broschüre

IN-Campus. Vom Raffineriestandort zum Spitzentechnologiezentrum. Sanierung des ehemaligen Bayernoil-Raffineriegeländes Ingolstadt; Hrsg. IN-Campus GmbH, Juni 2018

20 © DrEd, Züblin Umwelttechnik GmbH, 12. Nov. 2019

ZÜBLIN
TEAMS WORK.