

# PFAS

PER- AND POLY-FLUOROALKYL SUBSTANCES

**AECOM** Imagine it.  
Delivered.

## DE-FLUORO™

*Ein neuartiges PFAS-  
Abreinigungsverfahren*

**Dr. Peter Martus**

**1. Symposium Altlasten Schweiz**

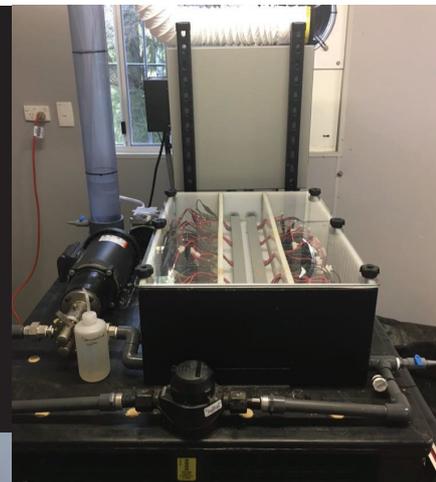
Solothurn, 12.11.2019

### Gliederung

- Einführung
- Überblick Laborversuche
- Reaktortypen
- Zusammenfassung
- Das Wesentliche in Kürze

Co-Autoren & Danksagung (AECOM US und ANZ EBL, US WBL, Ventures und Partner)

- *Rachael Casson, Director International PFAS Program*
- *Dr Shangtao Liang, Scientist/ Treatability Studies*
- *Dr Jack Q. Huang - University of Georgia*

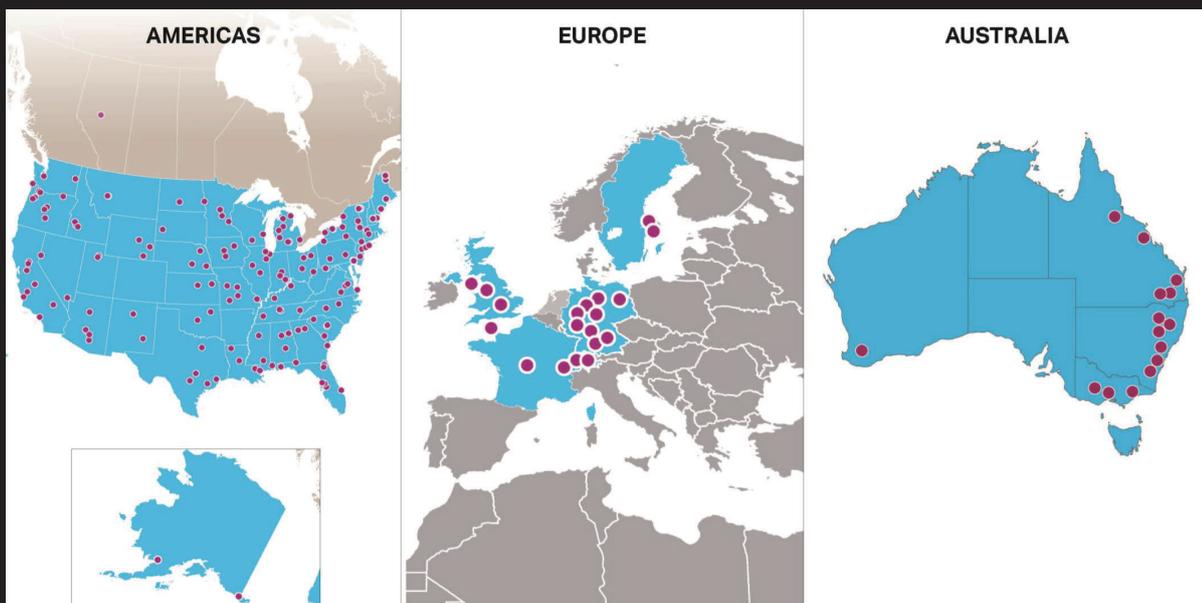


AECOM



# Einführung

## AECOM PFAS-Projektportfolio

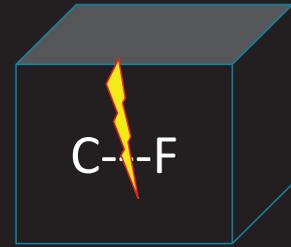


>350 Projekte seit 2001

## PFAS-Abreinigungsverfahren in der Entwicklung

- Thermische Verfahren
  - **Advanced Oxidation\***
  - **Electrochemische Oxidation\***
  - Sonolyse
  - Plasma
  - UV-Photolyse
  - **Enzymatisch katalysierte Oxidation\***
- \* **AECOM-Verfahrensentwicklungen**

- on-site Abreinigung
- Keine off-site Verbrennung
- Vermeidung von zukünftigen Haftungsrisiken



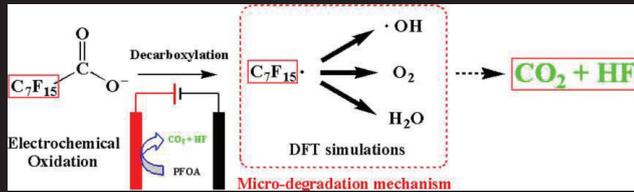
5

## Das DE-FLUORO™ PFAS-Abreinigungsverfahren

- **DE-FLUORO™**: **D**egradation via **E**lectrochemical oxidation of per- and poly**fluoro**alkyl substances
- Eine kompakte, effiziente, kostengünstige mobile Anlage zur on-site-Abreinigung von PFAS
- DE-FLUORO™ beruht auf einer eigens entwickelten patentierten, langzeitbeständigen und kostengünstigen Elektrode, die in verschiedenen Größen und Formen für die jeweilige Anwendung einsetzbar ist
- Anfängliche Anwendungen konzentrierten sich auf die **Kombination** mit anderen Behandlungsverfahren, die keine PFAS-Eliminierung erlauben, aber hochkonzentrierte PFAS-Rückstände erzeugen
- Zukünftige Anwendungen werden eine Behandlung von PFAS-Grundwasserschäden im niedrigen Konzentrationsbereich bei gleichzeitig hohen Durchsätzen erlauben
- EO vermindert Umwelthaftungsrisiken durch die Vermeidung einer offsite-Verbringung von PFAS-behafteten Abfällen

6

## Wissenschaftliche Grundlagen (Proof of Concept)



- Eine Vielzahl von Veröffentlichungen belegt die Wirkmechanismen der Technologie sowie das Verständnis zur Reaktionskinetik
- Vergleichstests mit anderen dotierten Elektroden (Ce-PbO<sub>2</sub> und BDD) – mit gespikten PFOS and PFOA
- Nachgewiesene Lebensdauer sowie mit anderen Elektrodenmaterialien vergleichbares Oxidationspotential



### Publications

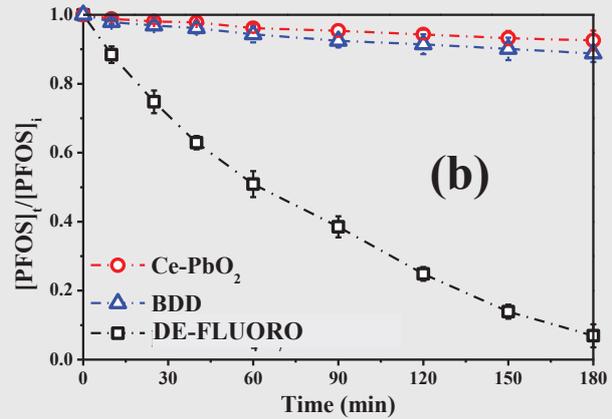
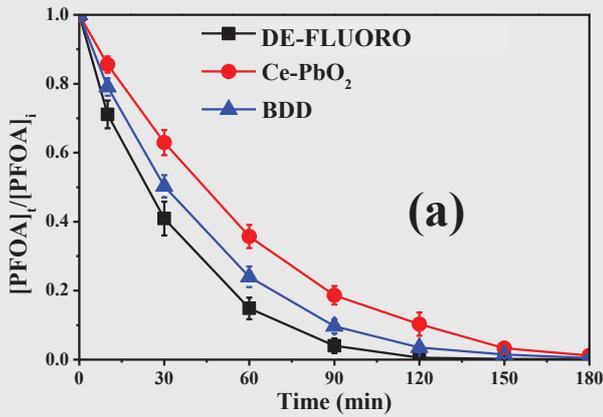
- Niu, Junfeng, et al. "Electrochemical oxidation of perfluorinated compounds in water" *Chemosphere* 146 (2016) 526-538
- Lin, Hui, et al. "Efficient sorption and removal of perfluoroalkyl acids (PFAAs) from aqueous solution by metal hydroxides generated in situ by electrocoagulation." *Environmental Science & Technology* 49.17 (2015): 10562-10569.
- Lin, Hui, et al. "Highly efficient and mild electrochemical mineralization of long-chain perfluorocarboxylic acids (C9–C10) by Ti/SnO<sub>2</sub>-Sb-Ce, Ti/SnO<sub>2</sub>-Sb/Ce-PbO<sub>2</sub>, and Ti/BDD electrodes." *Environmental Science & Technology* 47.22 (2013): 13039-13046.
- Niu, Junfeng, et al. "Theoretical and experimental insights into the electrochemical mineralization mechanism of perfluorooctanoic acid." *Environmental Science & Technology* 47.24 (2013): 14341-14349
- Niu, Junfeng, et al. "Electrochemical mineralization of perfluorocarboxylic acids (PFCAs) by Ce-doped modified porous nanocrystalline PbO<sub>2</sub> film electrode." *Environmental Science & Technology* 46.18 (2012): 10191-10198.
- Lin, Hui, et al. "Electrochemical degradation of perfluorooctanoic acid (PFOA) by Ti/SnO<sub>2</sub> 2-Sb, Ti/SnO<sub>2</sub> 2-Sb/PbO<sub>2</sub> 2 and Ti/SnO<sub>2</sub> 2-Sb/MnO<sub>2</sub> 2 anodes." *Water Research* 46.7 (2012): 2281-2289.

7

## Überblick Laborversuche

8

## DE-FLUORO™-Laborversuch: PFAS-Abreinigung mit DE-FLUORO™ (Spiked)



Elektrode	PFOA t <sub>1/2</sub> (min)	PFOS t <sub>1/2</sub> (min)
Ce-PbO <sub>2</sub>	34.7	NA
BDD	25.7	NA
DE-FLUORO Elektrode	20.3	52.6

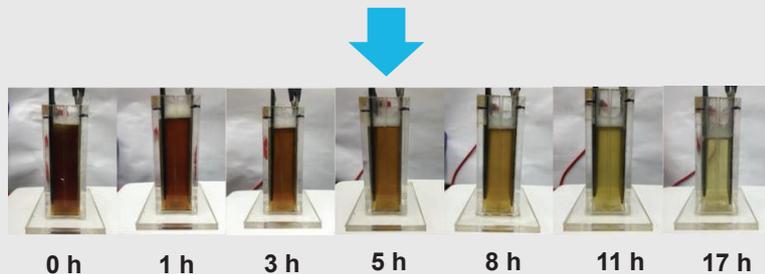
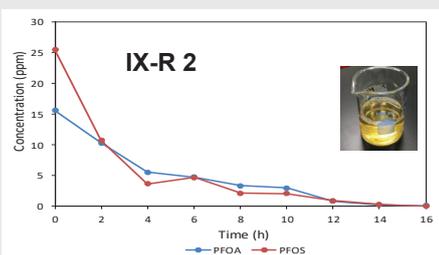
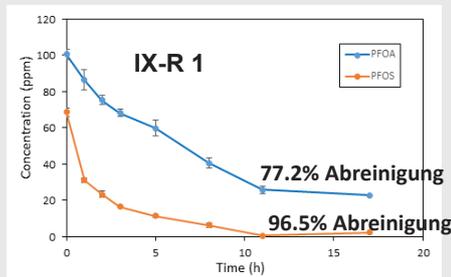
### Versuchsbedingungen

- 0.5 mM PFOA (a) 0.1 mM PFOS (b)
- 5 mA/cm<sup>2</sup>, 20 mM NaClO<sub>4</sub> als Elektrolyt
- 200 ml-Lösung, 50 cm<sup>2</sup> Elektrodenoberfläche

\*\*Methods and systems for electrochemical oxidation of polyfluoroalkyl and perfluoroalkyl contaminants. 2016, US provisional patent application 62377120

## DE-FLUORO™-Laborversuch: Behandlung von Ionenaustauscherharz (IX-R)-Rückständen

TOC (ppm)	Leitfähigkeit (µs/cm)	PFOA (ppm)	PFOS (ppm)	PFHxS (ppm)	PFHxA (ppm)	PFHpA (ppm)	PFPeA (ppm)	PFBS (ppm)
7861	2939	100.5	68.6	55.1	18.7	10.2	5.3	1.9



	Fluorid (ppm)	Chlorid (ppm)
T0	1	3534
17-h-Probe	836	2874

- ### Versuchsbedingungen
- Stromdichte: 10 mA/cm<sup>2</sup>
  - Zellspannung: 7.0 V
  - pH: 12.0 (initial), 9.0 (final)

# Reaktortypen

## DE-FLUORO™ - Model 1



## DE-FLUORO™ Anwendungen

- Grundwasser aus Schadensherden (Feuerlöschübungsplätze 2x und Mischschäden) – US Bund und chemische Industrie
- Rückstände aus der Sanierung:
  - Abwasser Bodenwäsche – US Bund
  - Regenerierbare Ionenaustauscherharze – verschiedene Zusammensetzungen
  - Ozonfraktionierung – Luftfahrt
  - Abfälle aus der Schaumfraktionierung (full scale Grundwassersanierung) – US Bund
  - Rückstände aus der Umkehrosmose Reject – chemische Industrie
- Herstellendes Gewerbe – unbehandeltes Abwasser
- AFFF-Konzentrat – Mineralölindustrie



13

## Model 2 – Skalierbare Behandlungsanlagen



Bench Scale-Einheit ~ 4 l/min



Mobile Pilotversuchsanlage ~ 1 m<sup>3</sup>/h



Full Scale-Anlage ~ 100 m<sup>3</sup>/h



### Durchströmte Betriebsweise

- Membranelektroden
- Große Kontakt-Oberfläche
- Hohe Überspannung
- Robust und langlebig

14

## Zusammenfassung & Ausblick

- Machbarkeitsnachweis / Grundlagenprüfung ✓
- Bench Scale-Versuche (gespikte Proben und reale Proben) ✓
- Reaktorentwicklung und -bau ✓
- US DE-Fluoro™-Versuche (gespikte Proben und reale Proben) ✓
- ANZ DE-Fluoro™-Demonstration (reale Proben) ✓
- DE-Fluoro™ Model 2 – mobile Pilotversuchsanlage – in Bearbeitung
- DE-Fluoro™ Model 3 – röhrenförmige Elektroden, kontinuierlich betrieben – geplant

15

## Das Wesentliche in Kürze



### Verfahrensvorteile

1. **DE-FLUORO™ funktioniert** – Abreinigung von Hochlast-Abfällen mit kurzkettigen sowie langkettigen PFAA und Precursor
2. EO-Reaktionsmechanismen sind geklärt
3. Flexible Bauweise der Elektroden in jeder Größe und Form – platzsparend
4. On-site Eliminierung der Schadstoffe
5. Kombinationstechnologie
6. Konkurrenzfähig in puncto Kosten im Vergleich zu anderen Technologien (Auswertung in Bearbeitung)

### Herausforderungen

1. Defluorierung ist ein relativ langsamer Vorgang, besonders für kurzkettige Verbindungen
2. Derzeit schwieriger Nachweis der Defluorierung bei niedrigbelasteten flüssigen Abfällen (empfindlichere analytische Nachweismethoden bzw. Bestimmungsgrenzen erforderlich)
3. Möglichkeit zum Up-Scaling gegeben, weitere Investitionen und externe Partner vorausgesetzt

16

---

# Get in touch.

## **Dr. Peter Martus**

Practice Area Lead, Remediation Deutschland & Schweiz

M: +49 (172) 6180576

[Peter.martus@aecom.com](mailto:Peter.martus@aecom.com)

## **Sean Carson**

Team Leader Geneva

M: +41 (0)79 123 9220

[Sean.carson@aecom.com](mailto:Sean.carson@aecom.com)