



Koehler
PAPER GROUP

Angewandte Papiertechnologie



fumatech

Functional Membranes for Fuel Cells and Batteries

BWT GROUP

Membrantechnologie

Bioelektrochemische
Reaktionstechnik



Materialwissenschaften



Abwasserbehandlung



Mikrobiologische Analyse



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

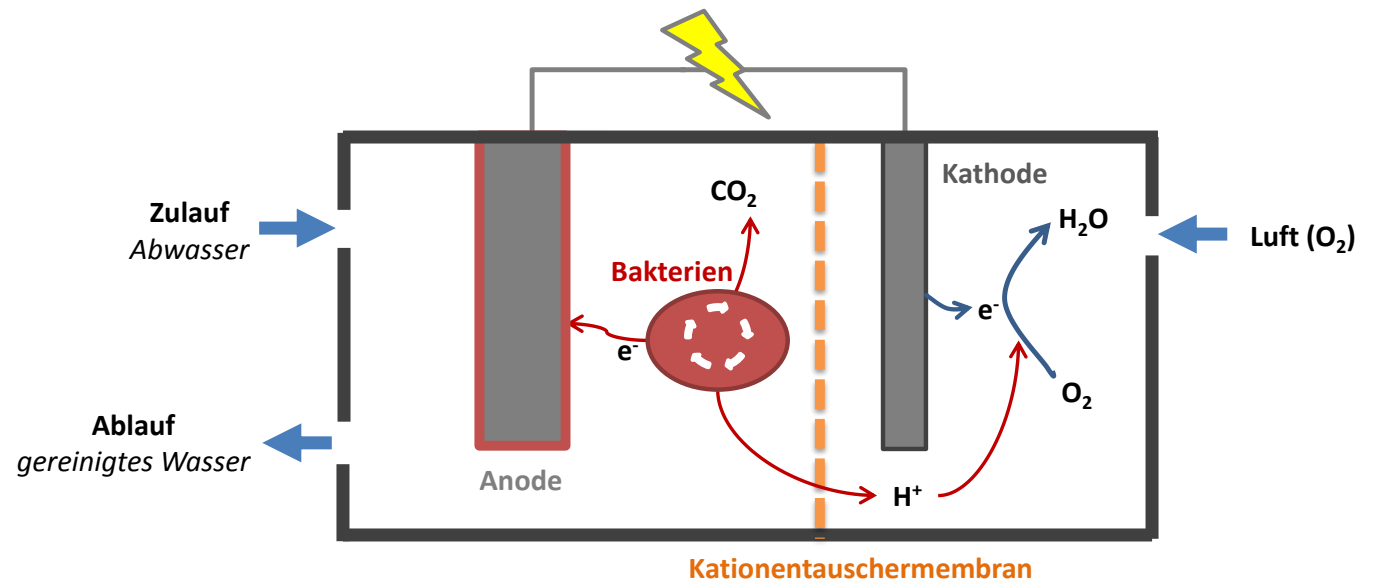
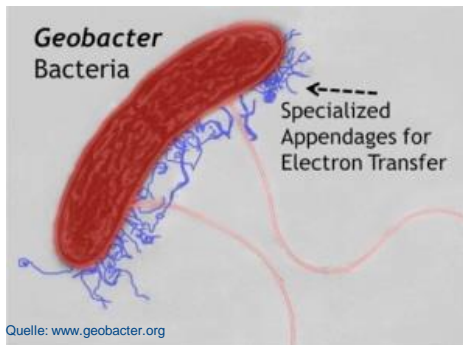


Mikrobielle Brennstoffzelle

Was ist eine mikrobielle Brennstoffzelle?



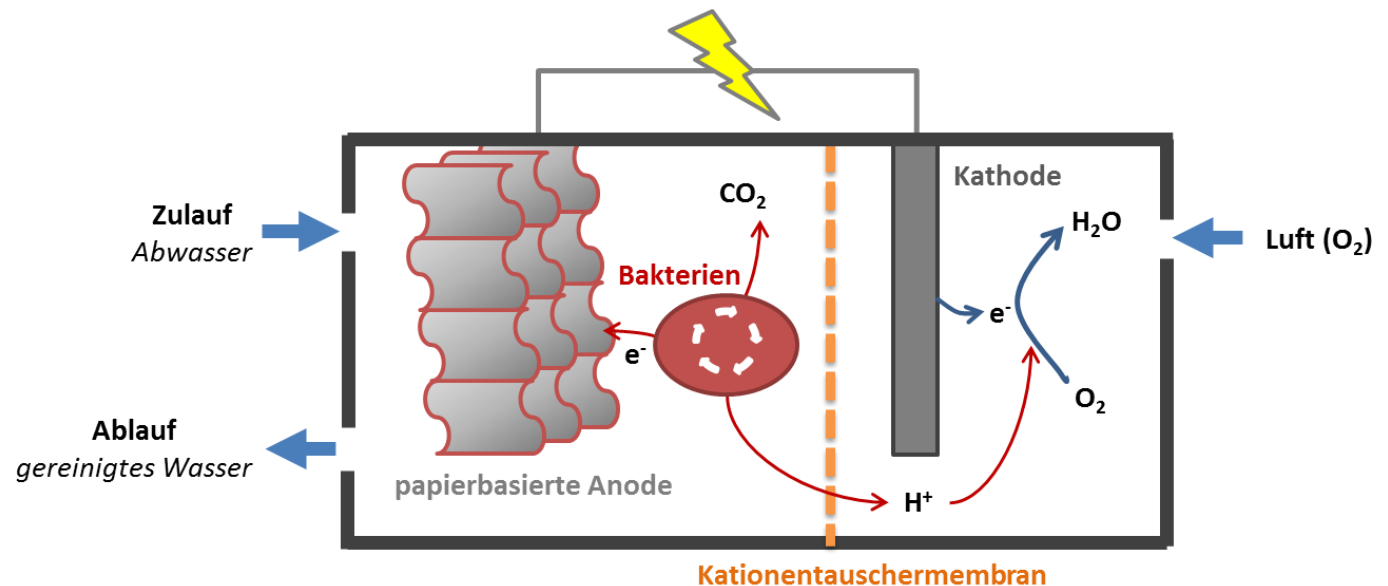
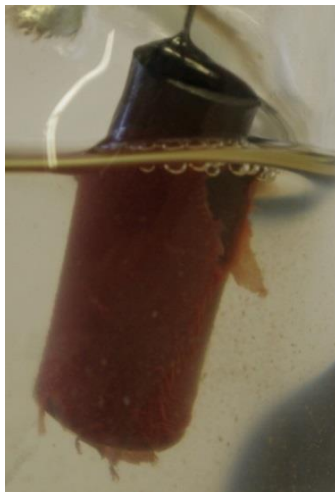
Ein nachhaltiges Verfahren bei welchem **organische Bestandteile** im Abwasser mit Hilfe von elektrisch-aktiven **Mikroorganismen** unter Erzeugung von **elektrischer Energie** abgebaut werden.



Projektziel ElektroPapier



Die **Steigerung der Leistungsfähigkeit** bioelektrischer Systeme durch eine Vergrößerung der mikrobiellen Aufwuchsfläche durch den Einsatz von **papierbasierten Anoden** in 3-dimensionalen Strukturen





Projektziel / Herausforderungen

Herausforderungen



Elektroden

- schlecht skalierbar
- teuer
- geringe Flächenleistung

→ Entwicklung einer **papierbasierten** Elektrode mit einer 3-dimensionalen Struktur

Herausforderungen



Kationentauschermembranen

- teuer
- nicht langzeitstabil

→ Entwicklung **kohlenwasserstoff-basierter** Kationentauschermembranen

- langzeitstabil
- hochselektiv
- geeignetes Anti Fouling-Verhalten

Herausforderungen



Biofilme

- unbestimmt
- inhomogen

→ Flow-Cytometrie

- Analyse der Mikroorganismen
- Struktur-Funktions-Beziehungen

Herausforderungen



Reaktorsysteme

- nicht effizient
- schwer skalierbar

→ industriell anwendbarer Demonstrator

- große Anodenfläche im Reaktionsvolumen
- modulare Technologieträger zur Reihen- und Serienschaltung

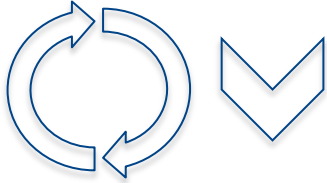


Arbeitspakete

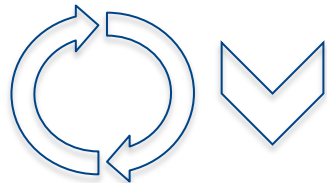
Elektrodenentwicklung

Elektrodenentwicklung

1) Auswahl Füllstoff / Dispersionsentwicklung

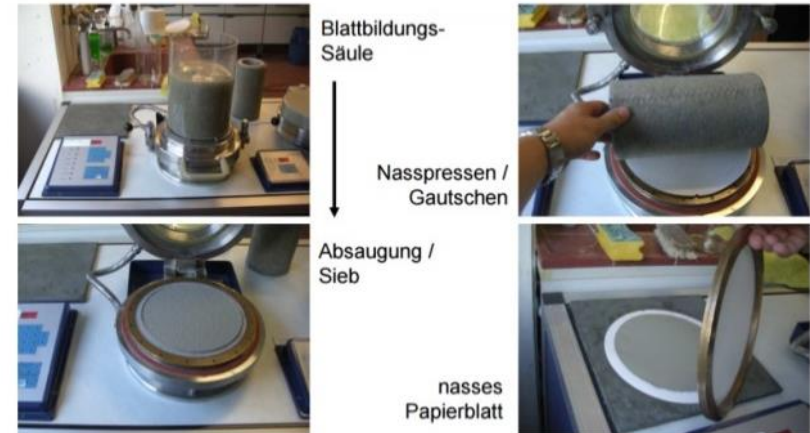


2) Rezeptur des Papieres und Blattbildung



3) Charakterisierung des Werkstoffes

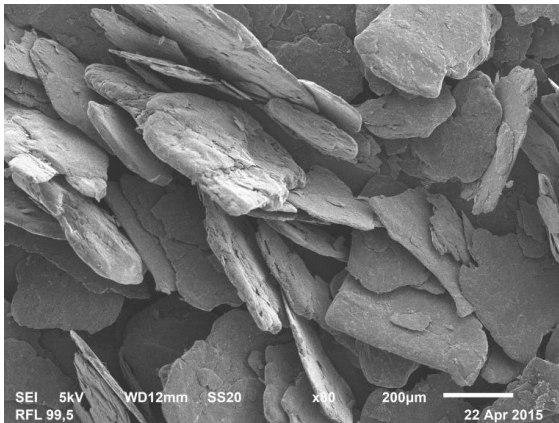
- Einbindung des Füllstoffes
- Mechanische Eigenschaften
- Elektrische Eigenschaften



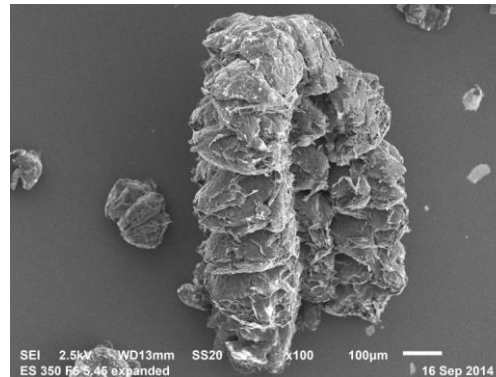
Elektrodenentwicklung

Auswahl Füllstoff

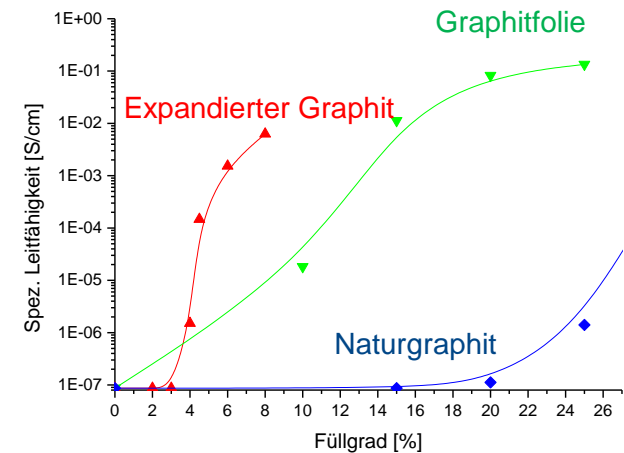
Graphit steht in 2 Formen zur Verfügung:
Naturgraphitplättchen und **expandierter Graphit**



REM-Bilder von **Naturgraphitplättchen** in 30-facher Vergrößerung



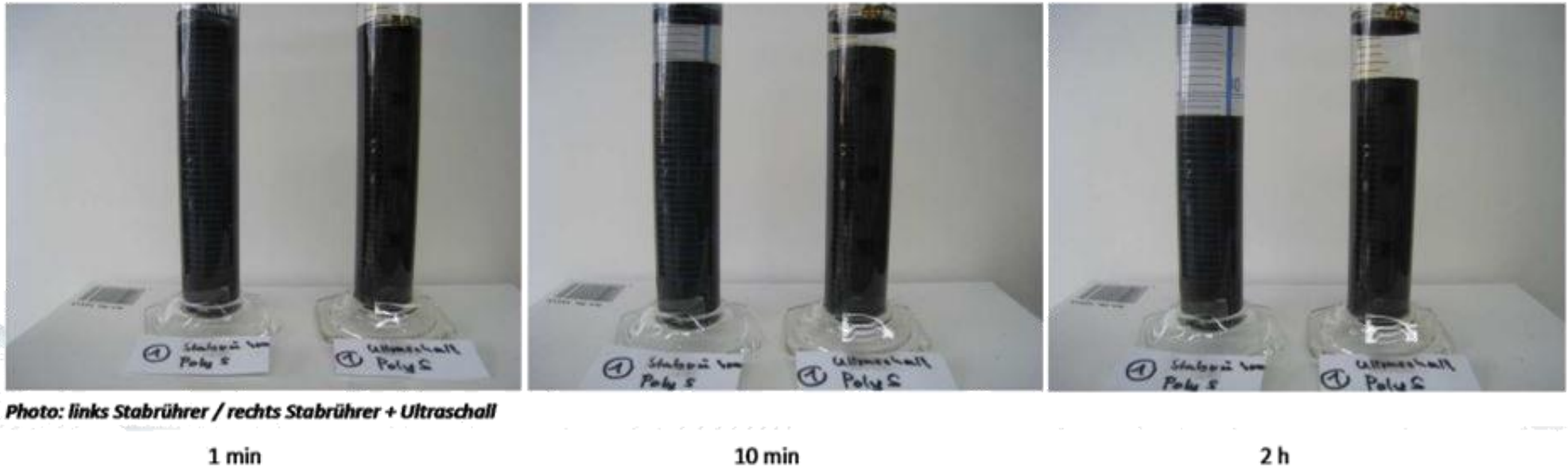
REM-Bilder von **expandiertem Graphit** in 100-facher Vergrößerung



spez. elektr. Leitfähigkeit
(Naturgraphit - zerkleinerte Graphitfolie -
expandierter Graphit in Silikon)

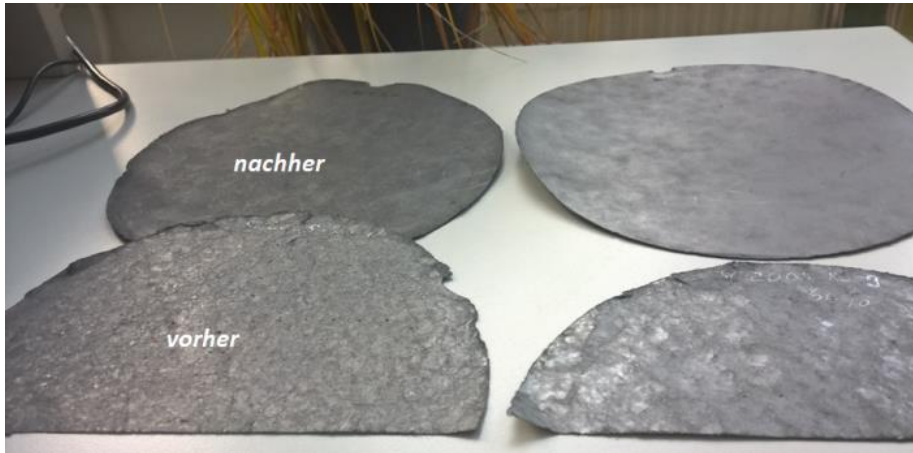
→ Expandierter Graphit weist bei geringen Füllgraden (3 - 6 %) eine höhere spezifische elektrische Leitfähigkeit auf

Elektrodenentwicklung Dispersionsentwicklung



→ Füllstoff muss als fließfähige Dispersion vorliegen
(→ Verarbeitbarkeit auf Papiermaschine)

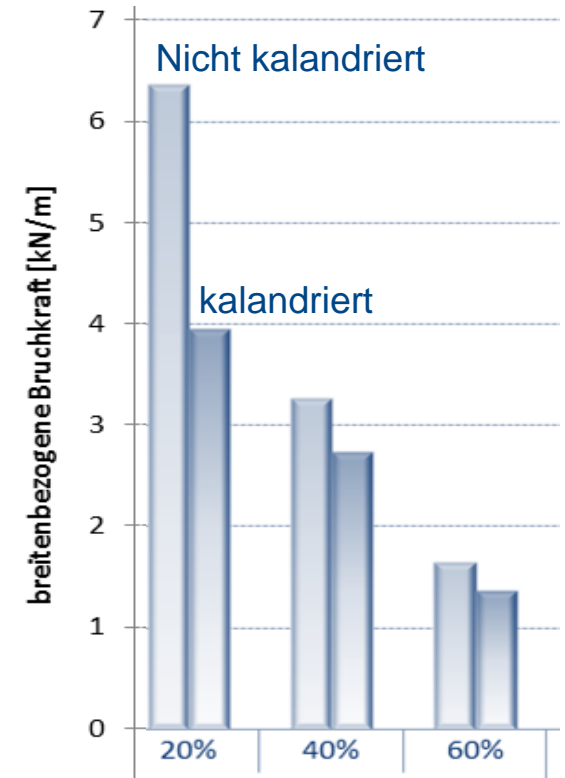
Elektrodenentwicklung Rezeptur und Blattbildung



Laborpapiere vor und nach Änderung des Retentionssystems –
Vergleich unkalandrierte Blätter (links) und kalandrierte Blätter (rechts)

- Mit steigendem Füllgrad steigt die spezifische Leitfähigkeit und die Festigkeit nimmt ab
- Kalandrieren (Glättwalzen)
 - ✓ homogenisiert das Papier
 - ✓ positiven Einfluss auf die Leitfähigkeit der Papiere
 - ✓ negativen Einfluss auf die Bruchkraft der Papiere

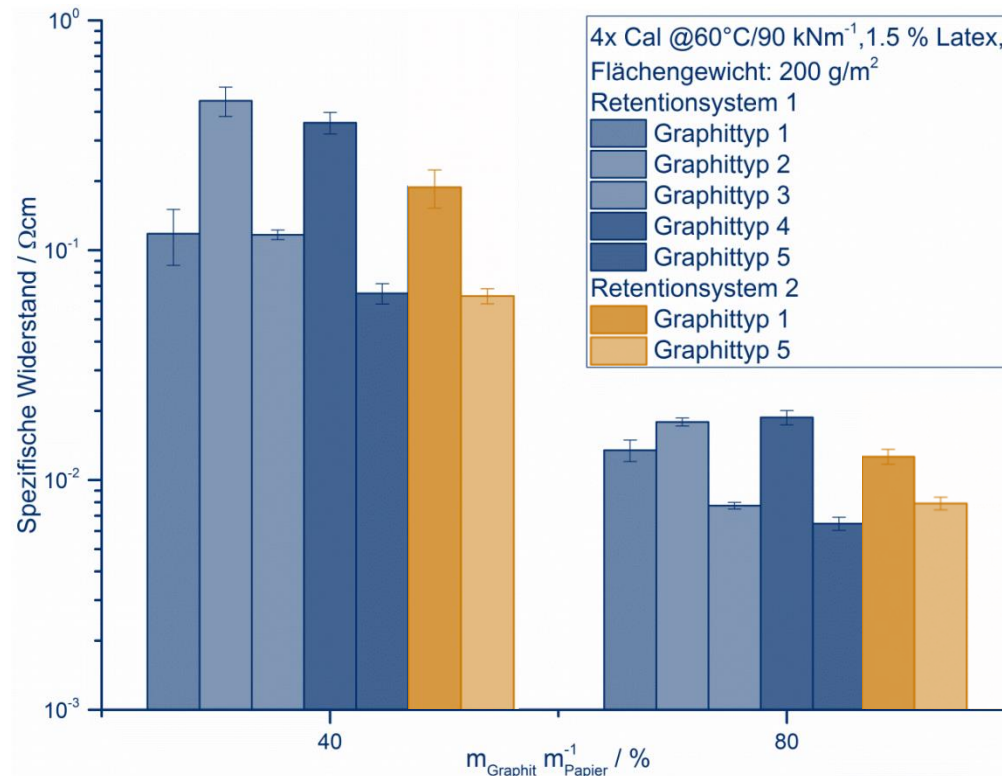
Kraft, die benötigt wird, um einen Prüfkörper zu brechen oder zu zerreißen



Bruchkraft von Laborpapieren vor und nach dem Kalandrieren und versch. Füllgraden

Elektrodenentwicklung

Charakterisierung des Werkstoffes



→ Höherer Füllgrad führt zu niedrigerem spez. Widerstand und höherer Leitfähigkeit

→ 10^{-3} entspricht dem Widerstand von 100% Graphit mit perfekter Anordnung

Elektrodenentwicklung

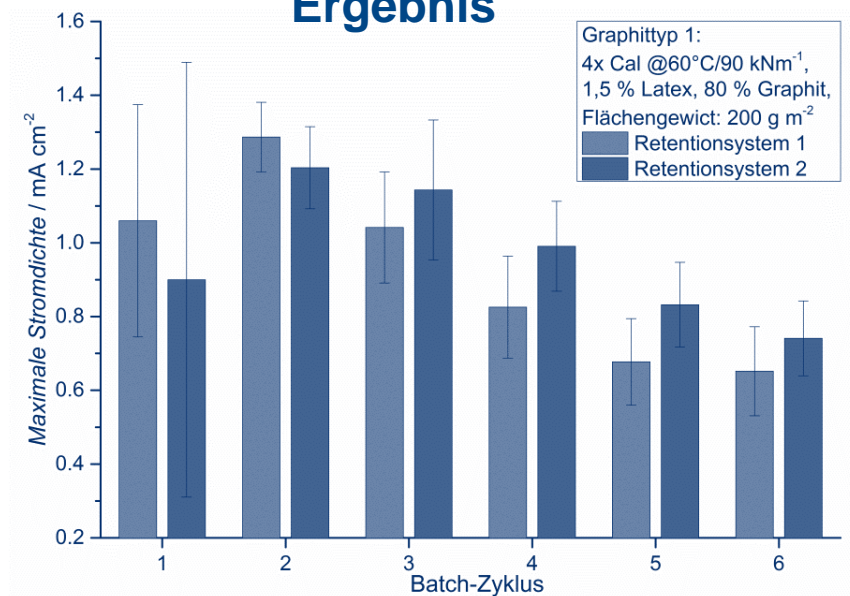
Charakterisierung des Werkstoffes

Effekt des Retentionssystems auf maximale Stromdichte an Papierelektrode in einem Laborreaktorsystem

Versuch



Ergebnis



- Maximale Stromdichte vergleichbar mit reinen Graphitelektroden [1] oder Metallelektroden [2]
- 0,8 mA/cm² ist gut und 1 mA/cm² ist sehr gut !

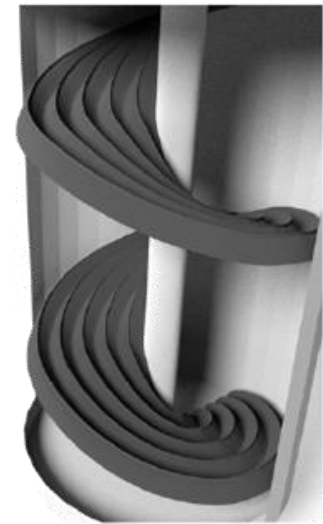
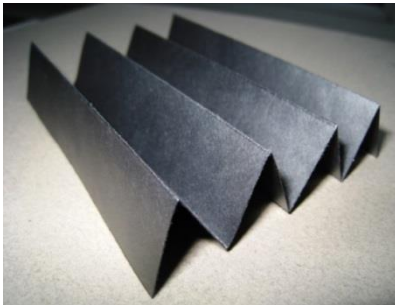
[1] Patil et al., *Biosens. Bioelectron.* 2010,26, 803-808.

[2] Baudler, Schmidt, Schröder, *Energy Environ. Sci.* 2015, 8, 2048-2055.

Elektrodenentwicklung Elektrodengeometrie

Verarbeitbarkeit des Werkstoffs zu 3-dimensionalen Strukturen mit

- geeignetem Strömungsverhalten
- Support der Faltstruktur in Anlage
- geringem maschinellen Aufwand



→ Vergrößerung der Aufwuchsfläche zur Maximierung des funktionalen Oberflächen-Volumen-Verhältnisses



Arbeitspakete

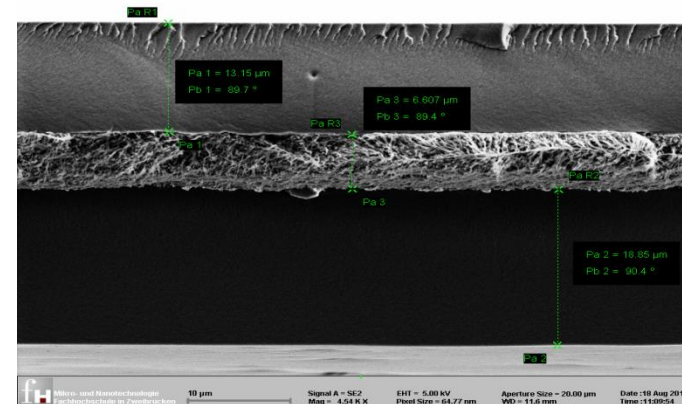
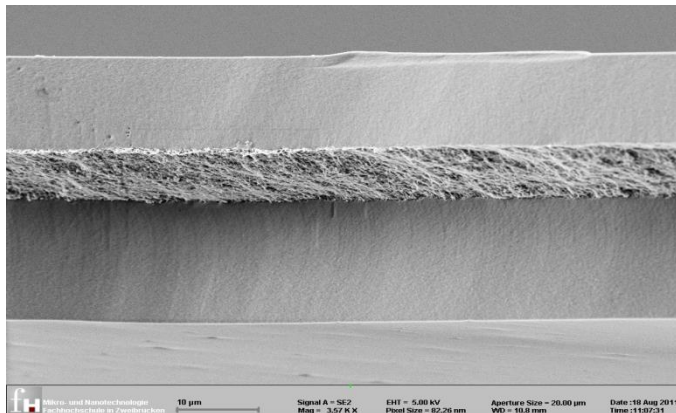
Membranentwicklung

Membranentwicklung

Ziel: Herstellung einer Kationentauschermembran,
abgestimmt auf die Anforderungen einer mikrobiellen Brennstoffzelle

Wesentliche Zielgrößen der Membran :

- Selektivität
- Anti Fouling-Verhalten
- Mechanische Eigenschaften (u.a. Dehnbarkeit, Verhalten im wässrigen Medium)



REM-Aufnahmen des symmetrisch in die Polymermatrix eingebetteten Gewebes



Arbeitspakete

Pilotversuche

Prototypen im Pilotmaßstab

Ziel: stabiles Reaktorsystem im Pilotmaßstab

Wesentliche Zielgrößen des Reaktorsystems:

- Durchmischung
- Stromdichte
- CSB-Abbau



Prototyp im Pilotmaßstab

Zweikammersystem
(50 L, davon 20 L
Anodenkammer)

Graphitplattenanoden
(6.242 cm²)

(Kationenaustauschmembran)

Stahlgeflechtkathoden
(16.500 cm²)

Charakterisierung der Prototypen

Tracerversuche

- gute Abbildung der Volldurchmischung
- Plug-Flow Betrieb ~ Kaskade mit 30 Becken

Batchbetrieb

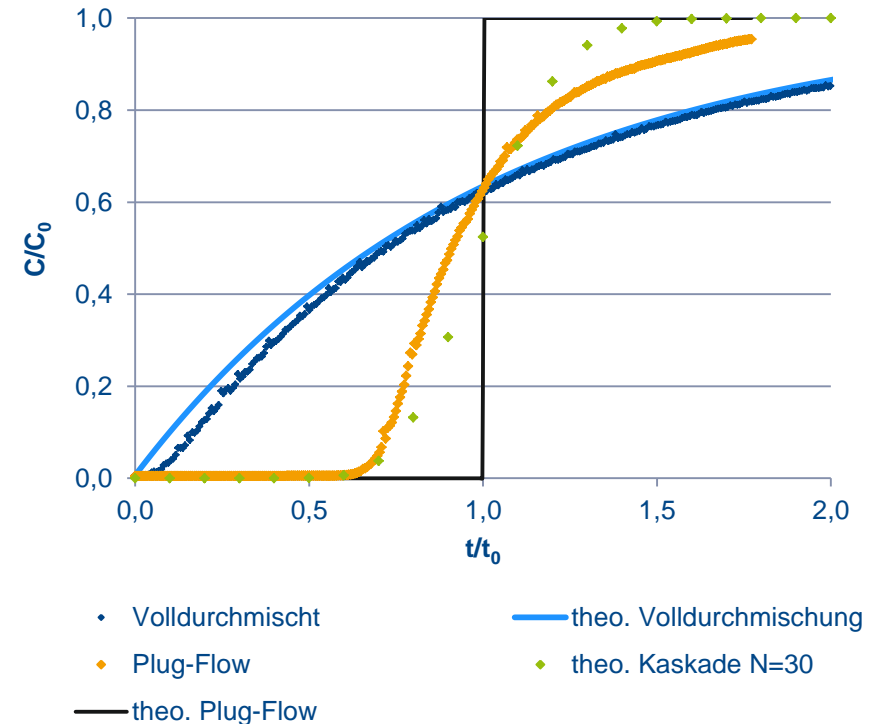
→ Erreichte maximale Stromdichte 0,15 mA/cm²

Durchflussbetrieb

→ Erreichte maximale Stromdichte 0,13 mA/cm²

Ideal / Ziel

→ 0,8 - 1 mA/cm²



→ Durchmischungscharakteristik und Stromdichten als Bewertungsgrundlage der erreichten Performance des BES-Demonstrators mit Papierelektroden



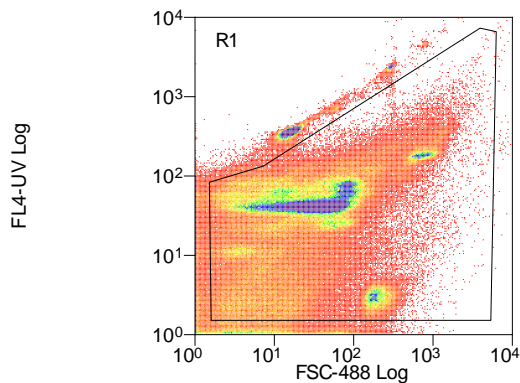
Arbeitspakete

Mikrobiologische Analyse

Mikrobiologische Analyse

- Etablierung und Validierung eines **Protokolls** zur **Analyse anodischer mikrobieller Gemeinschaften**
- Analyse **biotischer** und **abiotischer Parameter** zur Identifikation von Struktur-Funktions-Beziehungen
- **Optimierung** der mikrobiellen Struktur-Funktionsbeziehungen im Prototyp und Demonstrator

→ Flow-Cytometrie als Analysemethode



Laborreaktoren
für mikrobielles
Wachstum

Durchflusszytometrie

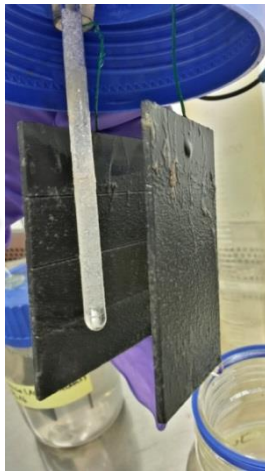
5. Mikrobiologische Analyse

Arbeitsschritte

→ Analysetechniken



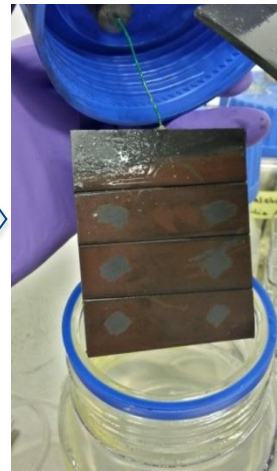
Laborreaktoren für mikrobielles Wachstum



Elektrode mit Biofilm



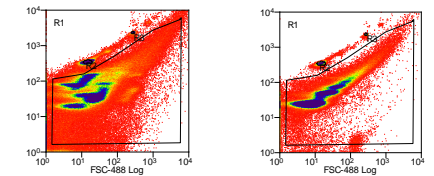
Werkzeug zur Probenahme



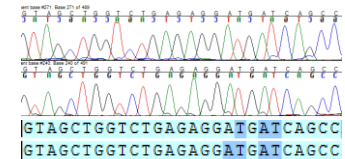
Beprobte Elektrode



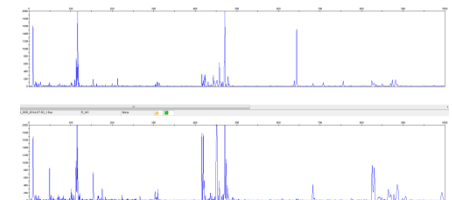
Flow-Cytometrie



Sequenzierung



TRFLP





Arbeitspakete

Modularer Demonstrator

Aufbau eines modularen Demonstrators

Ziel: stabiles, flexibles und modulares Reaktorsystem

Wesentliche Zielgrößen des Reaktorsystems:

- Durchmischung
- Stromdichte
- CSB-Abbau
- Herstellungskosten

→ Dimensionierung und Bau eines Demonstrators und Abwasserbetrieb

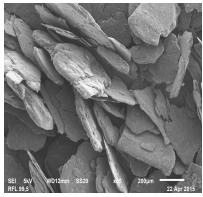


Variation der Betriebseinstellungen

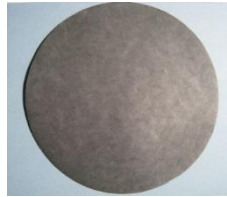


Dimensionierung des Demonstrators





→ Graphitverarbeitung

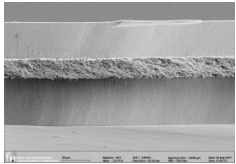


Koehler
PAPER GROUP

→ Entwicklung und Produktion
von papierbasiertem Werkstoff



→ Faltung einer 3-
dimensionalen Struktur



Membran



→ Kationentauschermembran

Mikrobiologie



→ Biologische Charakterisierung



Innovation für Wassertechnik

ENVIROCHEMIE

→ Konstruktion einer modularen
bioelektrochemischen
Abwasserbehandlungsanlage

Elektrode



Reaktorsystem



→ Elektrochemische
Charakterisierung
→ Experimente im Labor
und Pilotmaßstab

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung