

Direkte Stromerzeugung aus Abwasser mit mikrobiologischer Brennstoffzelle (MBZ) - Möglichkeiten und Grenzen

Prof. Dr.-Ing. M. Sievers

CU.....
TEC

Ausgangssituation / Motivation

- Konzept „Abfallfreie Energiesysteme“ NASA 1966
- Kommerzielle Entwicklungen für die Seefahrt 1975
- Entdeckung der externen Elektronenabgabe bei Geobacter 1987 (Exogenese)
- Erste mediatorenfreie MBZ (1999)
- Flächenleistung: $0,1 \text{ mW/m}^2$ (2000), $>2400 \text{ mW/m}^2$ (2008)
- Volumenleistung: 1 W/m^3 (2000), 100 W/m^3 (2008),
Ziel: 400 W/m^3 , vergleichbar mit Biogasanlagen,
(elektrischer Umwandlungsgrad bereits höher).
- Bisher Grundlagenforschung im Labormaßstab

Sind jetzt anwendungsnahe Entwicklungen sinnvoll ?

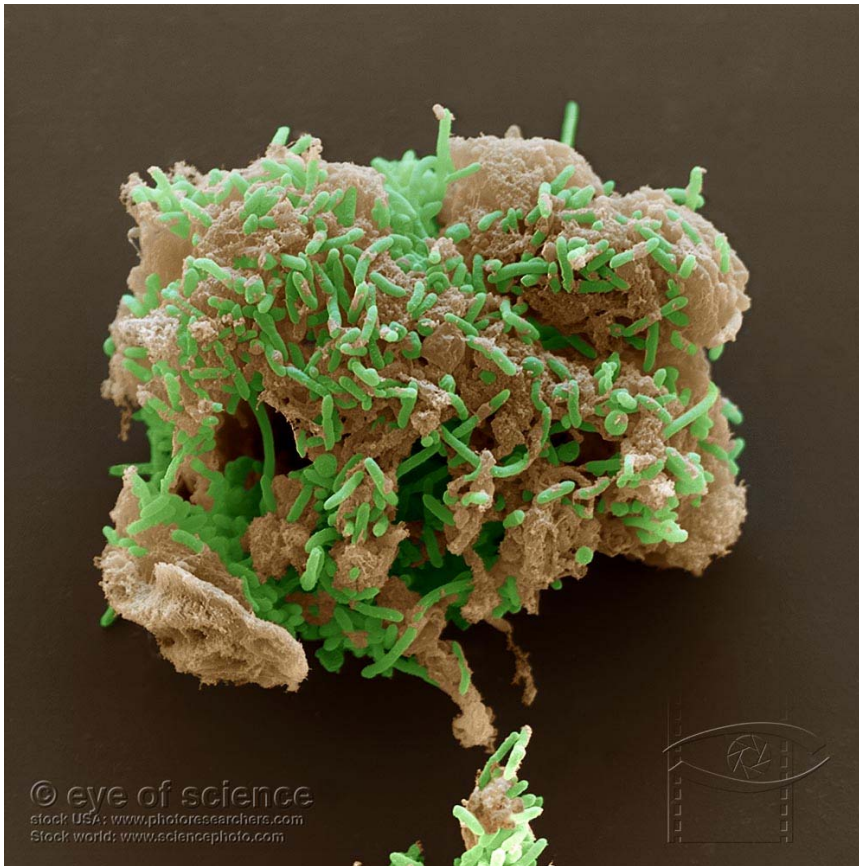
Machbarkeitsstudie zur mikrobiellen Brennstoffzelle (MBZ)

- **Förderung** Deutsche Bundesstiftung Umwelt
- **Laufzeit** Januar 2009 bis August 2010
- **Ziele**
 - Zusammenfassung Stand des Wissens
 - Abschätzung und Bewertung des möglichen Anwendungspotenzials im Abwasserbereich in Bezug auf
 - Energie
 - Verfahrenstechnik
 - Kosten
 - Entwicklungsbedarf

Besonderheiten der MBZ

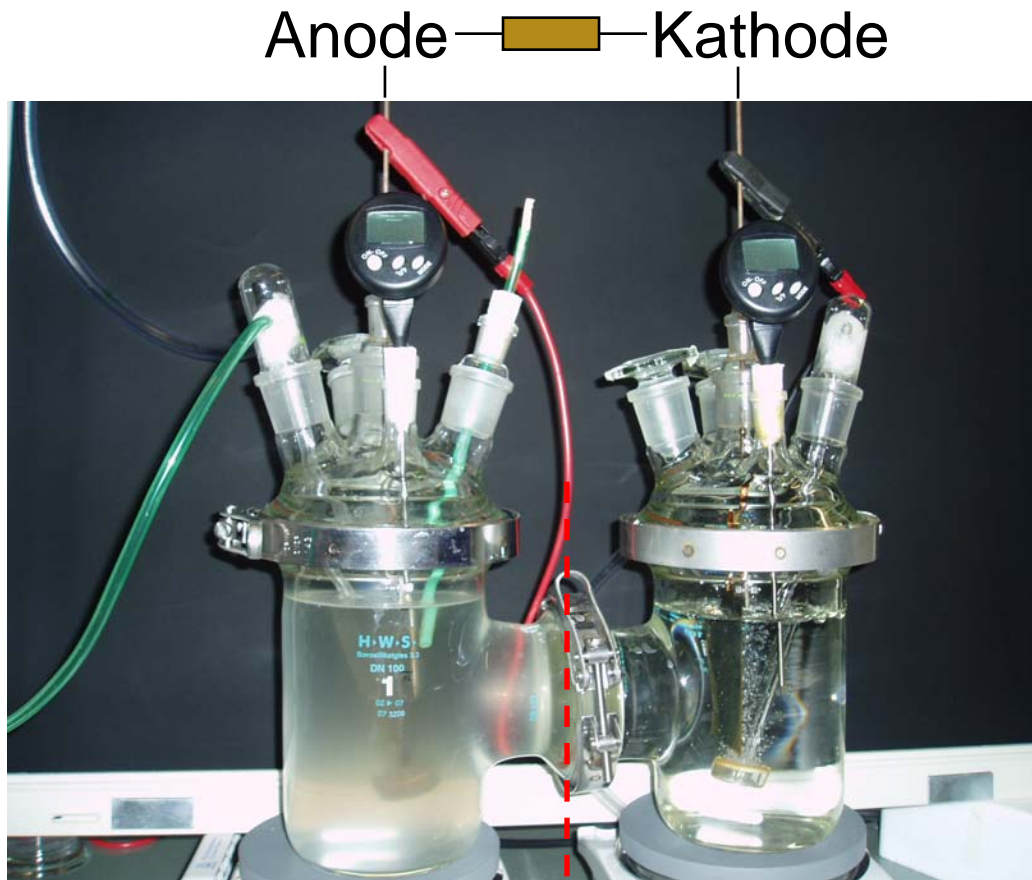
- MBZ enthält lebende Mikroorganismen/Enzyme
- Diese nehmen organische Stoffe auf und geben Elektronen (= elektrischen Strom) ab
 - Direkte Umwandlung von chemisch gebundener Energie in elektrische Energie
- Hohe Effizienz, weil keine weiteren Energieumwandlungsschritte erforderlich sind
- Katalysator regeneriert sich selbst (Vermehrung)
- Milde (energiearme) Reaktionsbedingungen

Exoelektrogene Organismen (z.B. Geobacter)



- Entdeckt 1987
- Anaerobe Atmungen (CO_2)
 - Eisen-Atmung (Fe^{2+}),
 - Carbonat-Atmung (CH_4)
 - Sulfat-Atmung (S^{2-})
- Ende der anaeroben Nahrungskette

Beispielhafter Aufbau einer MBZ (einfaches Zweikammersystem)



Anode —  — Kathode

Elektrische
Energie



Biologische Zelle

Chemische Zelle
o. biologische Zelle

Membran

Organisches
Medium



z.B. Abwasser,
Gärreste etc.

Systematik Elektrolyse - Brennstoffzelle chemisch - mikrobiologisch



Zur Anzeige wird der QuickTime™
Dekompressor „TIFF (Unkomprimiert)“
benötigt.

Elektronenabgabe durch Mikroorganismen

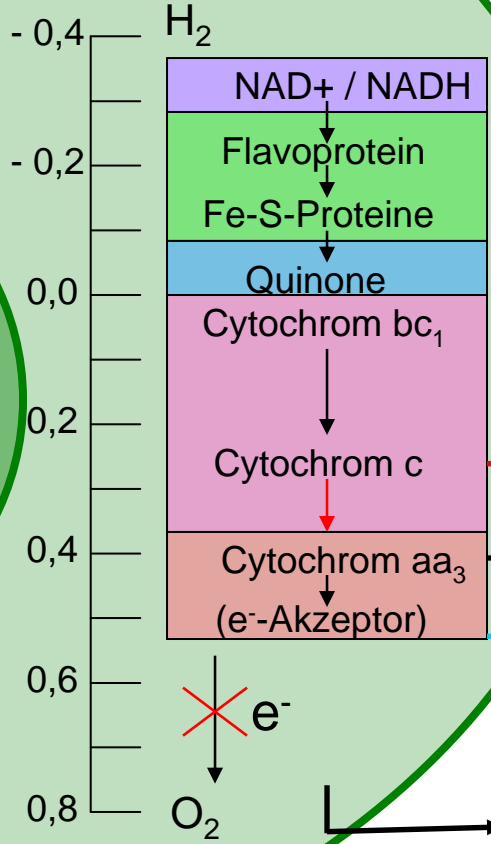
Zellmembran
(Biokatalysator)

Anode

Kathode

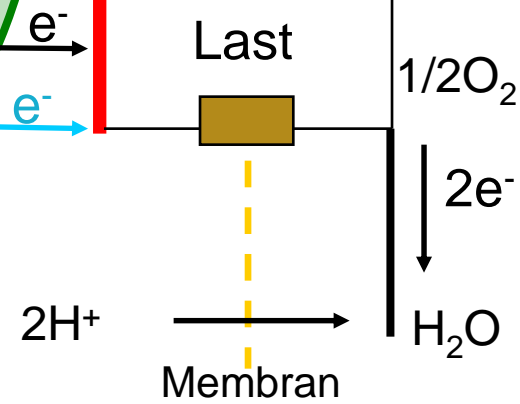
Exoelektrogene
Bakterien
(z.B. Geobacter)

E_0^I [V]



Redoxpotenzial
max. 1,2 V

Freie Energie $\Delta G_0^I = -237 \text{ kJ/mol}$



Vom
biologischen
System selbst
genutzte
Energie

Nutzbare
Energie für
MBZ

Einige Forschungsergebnisse



Labormaßstab !

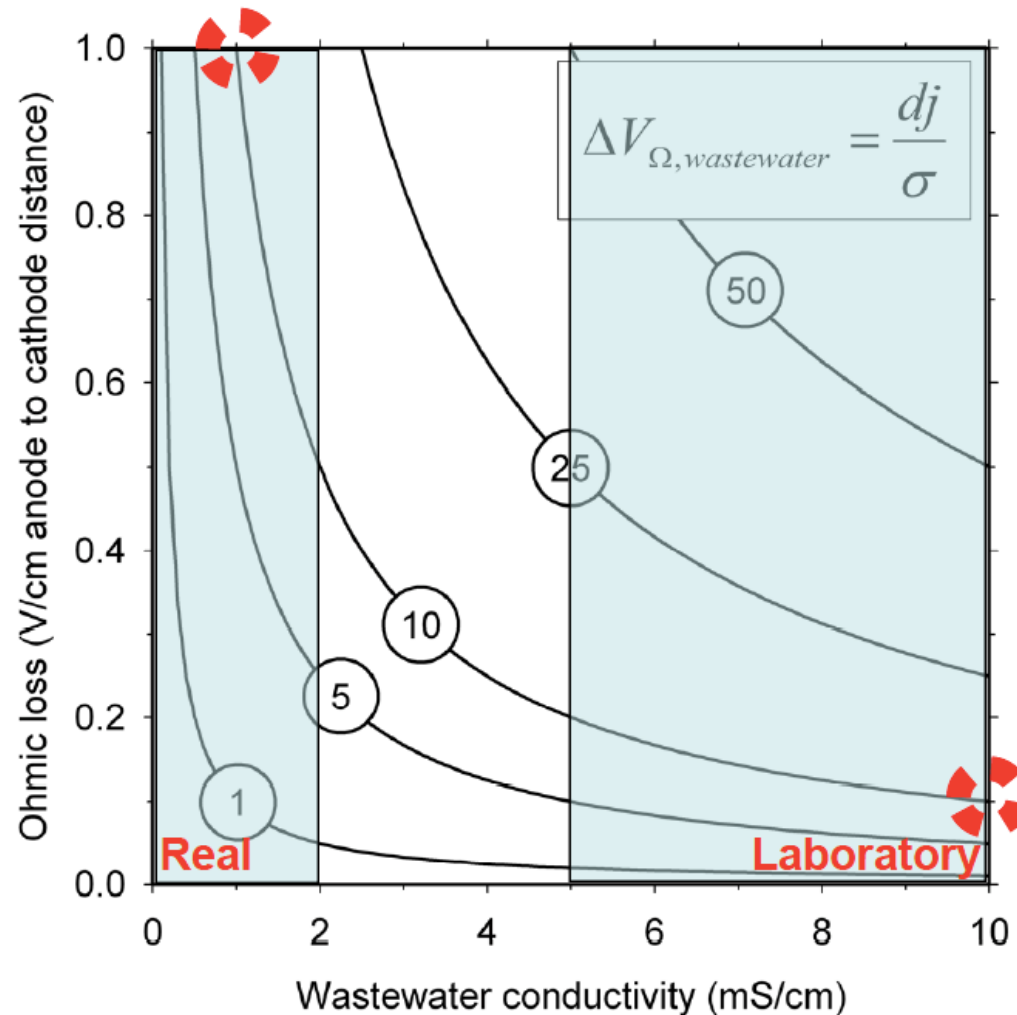
Scale-up ?

Zur Anzeige wird der QuickTime™
Dekompressor „TIFF (Unkomprimiert)“
benötigt.

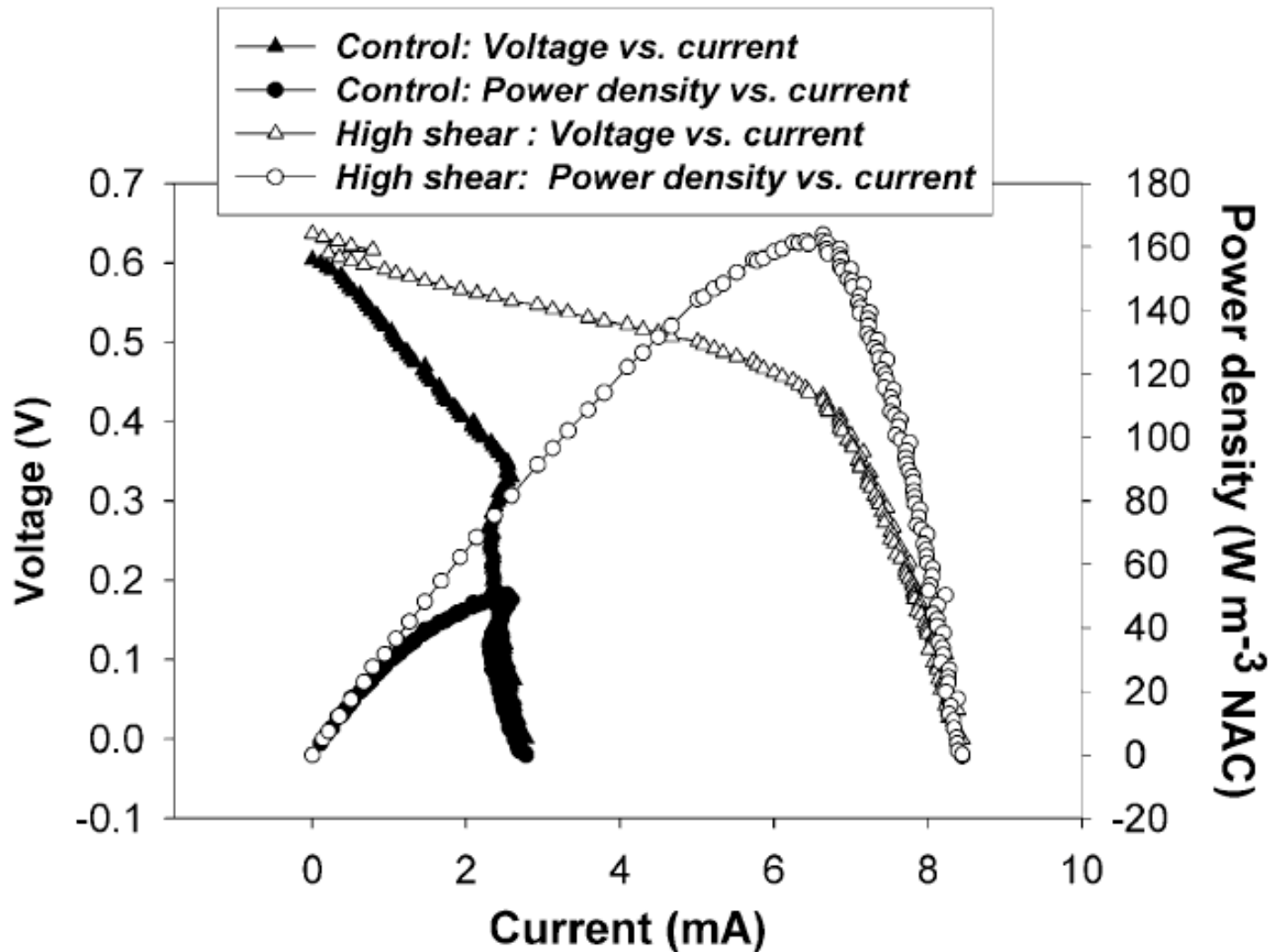
Einflussgrößen bezüglich Leistung

- Elektrodenabstand
- Leitfähigkeit Elektrolyt
- Innerer Widerstand
 - Membran
 - Ohmscher Widerstand Elektrodenmaterial
 - Kollektor
 - Sauerstoffdiffusion
- Elektrodenpotenzial (poised potentials)
- Protonentransport (Selektivität, Geschwindigkeit, Polarisation)
- Redox-Potenzial
- pH-Wert
- Elektrodenoberfläche
- Oberflächenladung
- Wasseraustritt (Diffusionshemmung Sauerstoff)
- Biofilmstruktur (Einfluss Scherrate etc.)
- Externer Widerstand
- und viele weitere

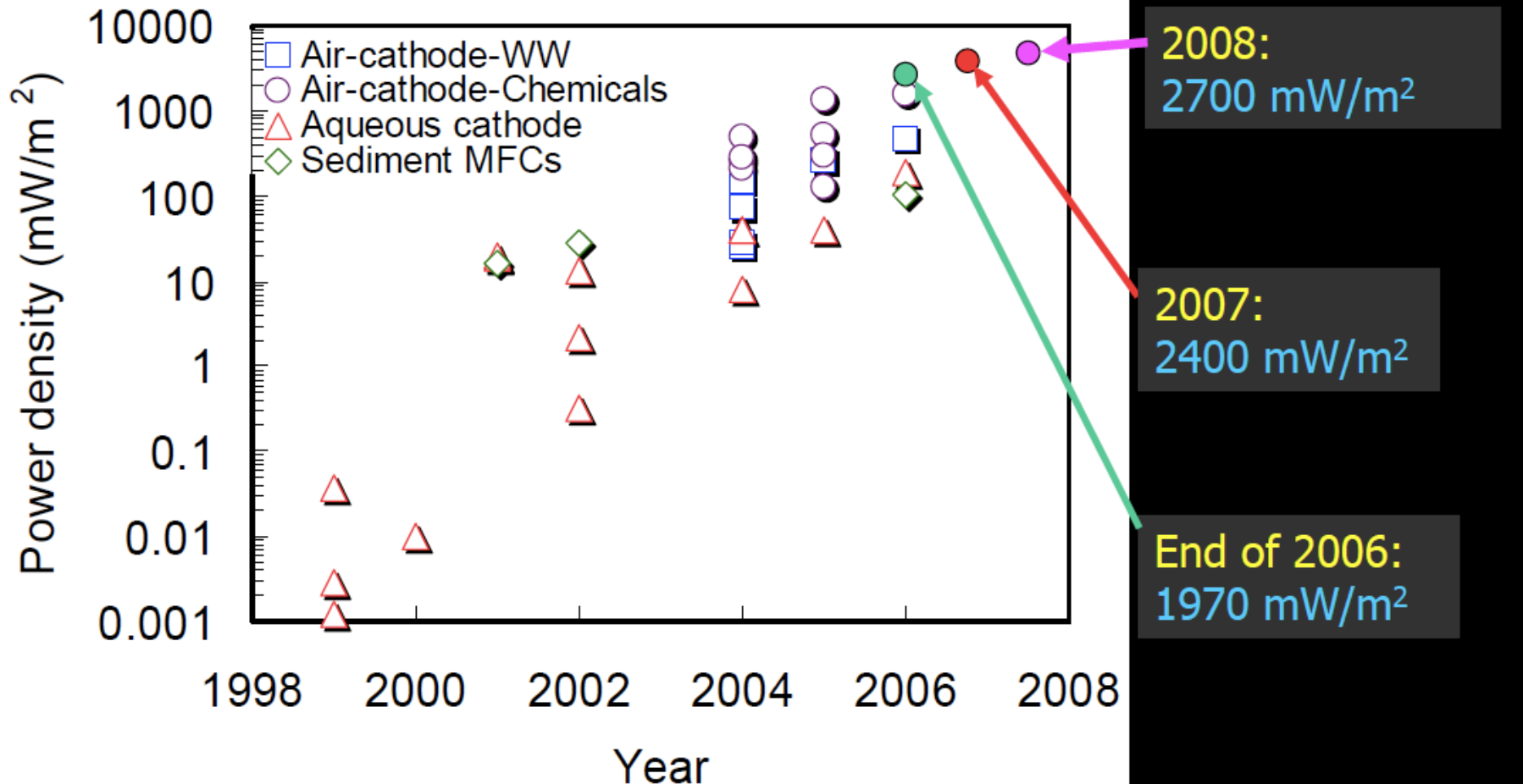
Einfluss der Leitfähigkeit des Abwassers



Einfluss der Scherrate



Stromdichte in einer MBZ



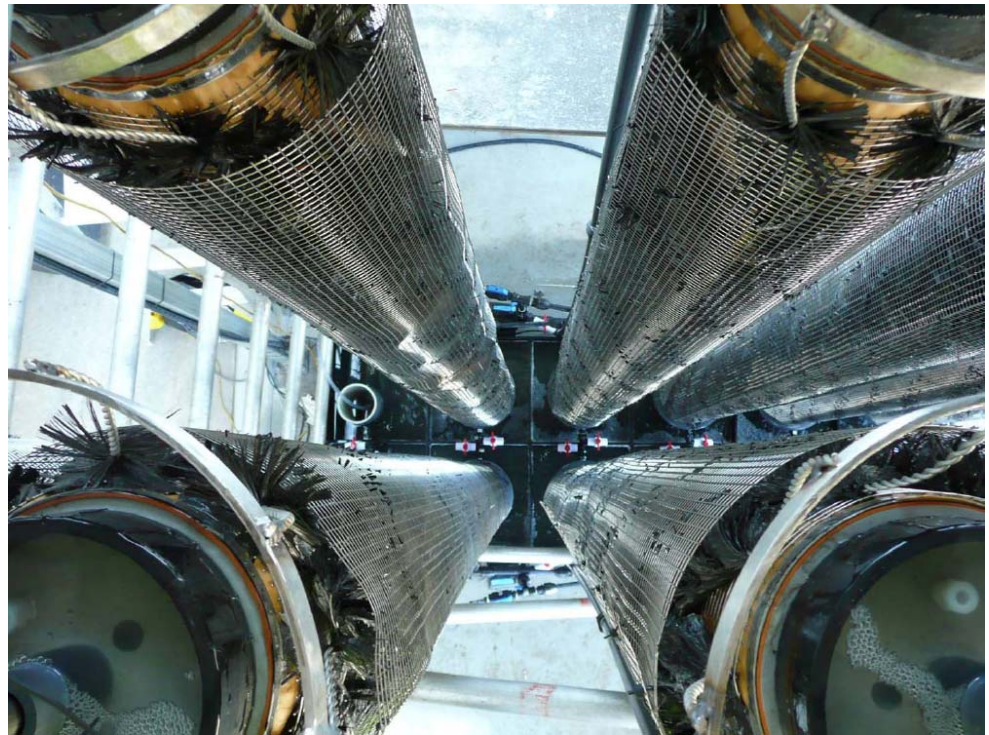
Logan et al. 2008

Weltweit erste Pilotanlage zur Abwasserbehandlung

.....



Australien - Brauereiabwasser



Rozendahl et al. 2008

Zusammenfassung Entwicklungsstand



- Grundlagenforschung weltweit, Beginn von Scale-up Untersuchungen (siehe Australien, USA)
- Realisierung größerer Spannungen (Parallel-Reihenschaltung von Zellen) am Anfang, Rückkopplungseffekte !
- Es existieren keine vernünftigen Reaktorkonzepte (Aufwuchsfläche, Strömungstechnik etc. etc.)
- Stickstoffverluste vorhanden
- Einkammersystem mit Luftkathode derzeit am leistungsfähigsten
- Biokathode möglich (AOP, Denitrifikation)
- Bisher untersuchte Materialien sind kostenintensiv

Verfahrenstechnische Merkmale

-
- Biofilmverfahren
- Geringe Ansprüche an Temperaturregime
 - Umgebungstemperatur ausreichend
 - Keine Wärmebedarf
- Geringe Abwasserbelastung ($< 100 \text{ mgCSB/L}$) ausreichend
- Abbau von leicht abbaubaren Stoffen
- Geringe Feststoffbeladung des Abwassers günstig
- Wachstumsrate beteiligter Mikroorganismen relativ hoch

- ⇒ Keine Konkurrenz, sondern eher eine Ergänzung zu Anaerobverfahren
- ⇒ Mögliches Konkurrenzverfahren zu Aerobverfahren

Abschätzung Anwendungspotenzial

.....

Was dürfen die Elektroden kosten?

Vorgehensweise:

- Kostenvorteil berechnen
 - Stromproduktion (Basis aktuelle Ergebnisse)
 - Energieeinsparung Belüftung (CSB-Abnahme, Praxisdaten)
 - Max. Anlagenkosten abschätzen auf Basis des Kostenvorteils und Abschreibung
 - Kostenpositionen festlegen und soweit möglich, abschätzen
- ⇒ Größenordnung der erforderlichen Elektrodenkosten aus Differenz zwischen maximalen Anlagenkosten und Summen der restlichen Kostenpositionen

Stromproduktionspotenzial im Abwasserbereich



Kläranlagen- Energieinhalt Verwertbar 50 % (Verwertbar 50 % Verwertbar 50 %
größe Abwasser sehr optimistisch): optimistisch: 25 % mit Ceff = 40 % al
optimale Werte: 1

EW	kW	kW	kW	kW
10.000	200	100	50	20
20.000	400	200	100	40
50.000	999	499	250	100
100.000	1.998	999	499	200

Hochrechnung Deutschland

80.000.000 1.598.174

799.087

400 MW

399.543

160 MW

159.817

Energieeinsparungspotenzial im Abwasserbereich - Belüftung



Kläranlagen- größe	CSB-Fracht		25 % CSB Abnahme (10 % in Strom)	Energieeinsparung belüftung bei 16 kWh/EW.a	Energieeinsparung belüftung bei 28 kWh/EW.a
	EW	kgCSB/h	kgCSB/h	kW	kW
10.000	50	12,5	5	8	
20.000	100	25	9	16	
50.000	250	63	23	40	
100.000	500	125	46	80	
Hochrechnung Deutschland				45 MW	
80.000.000	400.000	100.000	45.662		

Anlagenkosten

Zusammenstellung Einzelpositionen

.....

Die Anlagenkosten enthalten

- Reaktorgehäuse plus Elektroden
- Verkabelung
- Resistoren
- Spannungswandlung
- evtl Zwischenspeicherung von Elektroenergie
- Automatisierung inkl. Lastregelung
- Produktionskosten
- Installation
- Inbetriebnahme

Die Elektrodenkosten enthalten

- Kollektor
- Elektrodenmaterial
- Graphit
- Polymer (Ionenaustauscher)
- Lösungsmittel (z.B. Isopropanol)
- Katalysatorpulver
- PTFE-Beschichtung

Abgeleitetes Zielkriterium (Elektrodenkosten) im Vergleich zur Literatur

Max. Kosten je m² : ca. 8 Euro

Erscheint machbar mit Materialentwicklung auf Basis von kostengünstigen Massenware (Beschichtungstechnik etc.)

Literaturangaben

Kosten (Logan EST sep08)

	US-\$/m ²	\$/g
AEM membrane	80	
UF membrane	350	
Nafion	1.400	
CoTMPP catalyst	150	30
Pt	140	140
graphit coating	1	
carbon cloth	1.000	
graphit fiber	1	

Ziel nach Rabaey

Kosten	€/m ²
Anode	5
membrane	10
Kathode	5
Collector	10
summe	30 ist zu teuer

Weitere Vorgehensweise im Rahmen des Projektes

- Aufbau eines MBZ-Prüfstandes
 - viele gleichartige Zellen
 - kontinuierliche Durchströmung
 - Scale-up Kriterien ermitteln (dimensionslose Kennzahlen)

- Beschichtungsversuche
 - Homogenität, Haft- und Abriebeigenschaften, reaktive Eigenschaften, Leitfähigkeit, Dicke etc.

Zusammenfassung

- Der Entwicklungsstand der MBZ ist weltweit noch im Bereich der Grundlagenforschung.
- Ansätze zur Weiterentwicklung müssen berücksichtigen
 - Anlagenkonzepte mit gutem Oberflächen-Volumen-Verhältnis
 - Kostengünstige Katalysatoren
 - Beschichtungsstrategien (Minimierung Materialeinsatz)
- MBZ ist im Abwasserbereich als Entlastung zu aeroben Verfahren zu sehen und bietet somit Möglichkeiten zur Erhöhung der Energieeffizienz.
- Weiteres Anwendungspotenzial ist als Nachbehandlung von Anaerobverfahren zu sehen.

Danksagung

.....

Projekt AZ 26850

**Machbarkeitsstudie für die Anwendung einer
mikrobiellen Brennstoffzelle im Abwasser- und
Abfallbereich**

gefördert von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



In Zusammenarbeit mit
**Institut für Technische Chemie, Leibniz-Universität
Hannover, Prof. Dr. Detlef Bahnemann**







