Jetzt online abstimmen

Dr.-Ing. Heinz Hiegemann

Mikrobielle Brennstoffzellen

Mit mikrobiellen Brennstoffzellen kann elektrische Energie direkt aus Abwasser gewonnen und der Energiebedarf von Kläranlagen reduziert werden. Die Dissertation beschäftigt sich mit der Optimierung und Hochskalierung mikrobieller Brennstoffzellentechnologie für kommunale Kläranlagen.

Warum habe ich mich um den Nachwuchspreis beworben?

„Um mein doch recht ausgefallenes Promotionsthema und die Technologie der mikrobiellen Brennstoffzellen, welche meines Erachtens enormes Potenzial beinhaltet, der breiten Masse an interessierten Siedlungswasserwirtschaftlern*innen näher zu bringen."

Bild 1 Die drei untersuchten Skalierungsstufen der Einkammer-MBZ Konfiguration (0,3 l; 4 x 11,2 l; eintauchbares 255 l MBZ-Elektrodenmodul v.l.n.r.).
Quelle:Hiegemann

Mit mikrobiellen Brennstoffzellen (MBZ) lässt sich die chemische Energie der organischen Abwasserinhaltsstoffe in einem einzigen Schritt in elektrische Energie umwandeln. Theoretisch liegt die hierbei erzielbare Energierückgewinnung über der mit heutigen Mitteln der anaeroben Schlammbehandlung möglichen (1 $kg_{CSB,abb}$ → 350 l CH_4 → 1 kWh_{el}). Die Integration dieser neuartigen Technologie in die Abwasserbehandlung könnte somit neben dem Faulturm einen zusätzlichen Beitrag zur Steigerung der Energieeffizienz von kommunalen Kläranlagen (KLA) leisten, da das theoretische energetische Potenzial von Abwasser mit 3,86 $kWh/kg_{CSB,abb}$ angenommen werden kann. Vor dem Hintergrund einer ökonomischen Hochskalierung und praktischen Implementierung der MBZ-Technologie in den bereits existierenden kommunalen Kläranlagenprozess wurde im Rahmen der Dissertation die Einkammer-MBZ-Konfiguration schrittweise vom 0,3 l Labormaßstab auf einen 255 l Prototypen transferiert.

Experimente zur Konfigurationsoptimierung

In einem ersten Schritt wurden mit 0,3 l Einkammer-MBZ (EK-MBZ) Experimente hinsichtlich einer Konfigurationsoptimierung durchgeführt, um die Leistungsausbeute zu steigern. Die vielversprechendsten Ergebnisse wurden anschließend auf ein 45 l MBZ-System übertragen, das aus vier EK-MBZ bestand, die mit jeweils zwei Platin-katalysierten Luftkathoden ausgestattet waren. Das System wurde unter praktischen Bedingungen über neun Monate mit dem Ablauf der Vorklärung der KLA Bottrop (Emschergenossenschaft) im Batch-Modus betrieben. Die Experimente dienten dazu, eine optimale Betriebsstrategie hinsichtlich einer stabilen Leistungsabgabe und einer maximalen substratbezogenen Energierückgewinnung (Normalized Energy Recovery, NER) zu finden. Die Experimente zeigten, dass, entgegen der allgemein publizierten Erkenntnisse, ein stabiler und effizienter Betrieb der MBZ auch bei sehr geringen CSB-Konzentrationen möglich ist. Zudem zeigte sich unerwarteter Weise, dass ohne aktive Belüftung ebenfalls Stickstoff in signifikanten Anteilen entfernt wurde.
Im direkten Anschluss an diese Versuchsreihe wurde das 45 l MBZ-System für 50 weitere Tage mit dem Überstandswasser des Vorversäuerungseindickers der KLA Bottrop betrieben, um zu überprüfen, ob mit diesem Substrat höhere Leistungsdichten und/oder höhere Energierückgewinnungen möglich sind. Die erhöhten CSB-Belastungen führten weder zu höheren Leistungsdichten, noch konnten bessere NER erreicht werden. Jedoch bewirkten unbeabsichtigte Stoßbelastungen mit ammoniumreichem Filtratwasser aus der Schlammentwässerung einen umgehenden Einbruch der Leistungsabgabe und Nährstoffelimination. Untersuchungen im Labor unter definierten Bedingungen bestätigten, dass der exoelektrogene Biofilm tatsächlich durch die hohen Konzentrationen an freiem Ammoniak gehemmt wurde und nicht durch etwaige andere Hemmstoffe.

Hochskalierung – Suche nach alternativen Katalysatoren

Da eine ökonomische Hochskalierung der MBZ-Technologie anstatt Platin (Pt) einen alternativen Katalysator für die Sauerstoffreduktion zwingend erfordert, wurden als Vorbereitung für den nächsten Schritt der Hochskalierung weitere Versuchsreihen im Labormaßstab durchgeführt. Hierbei wurden die erzielbaren Leistungsdichten und Energierückgewinnungen von Mangandioxid (MnO_2)- und zwei unterschiedlichen Typen von Edelstahl/Aktivkohle-Kathoden mit denen von Pt-katalysierten Kathoden verglichen. Beide AK-Kathoden erreichten ähnliche mittlere Leistungsdichten und NER-Werte wie die Pt-Kathoden, wogegen die MnO_2-Kathoden unzureichende Leistungen lieferten. Aufgrund der Robustheit, der besseren Reproduzierbarkeit der Ergebnisse und vor allem der Möglichkeit einer maschinellen Herstellung größerskaliger Kathoden im Industriemaßstab (m²), wurden AK-Kathoden von VITO NV (BEL) für die Konstruktion des 255 l MBZ Prototyps verwendet.

Entwicklung eines tauchbaren MBZ-Moduls

Im letzten Skalierungsschritt wurde ein tauchbares 255 L MBZ Modul entwickelt und konstruiert, das für 98 Tage ebenfalls mit dem Ablauf der KLA Bottrop kontinuierlich betrieben wurde. Dieses Modul war mit den zwei größten, derzeit jemals untersuchten AK-katalysierten Luftkathoden ausgestattet, die von Vito NV (BEL) maschinell hergestellt wurden und Abmessungen von jeweils 85 x 85 cm hatten. Innerhalb von nur vier Tagen konnte das System im kontinuierlichen Betrieb inokuliert werden und nach 14 Tagen wurden, mit dem 45 l MBZ-System vergleichbare Leistungsdichten erzielt. Die ersten drei Wochen lieferte das 255 l MBZ-Modul sogar bessere NER-Werte bei ähnlichen Nährstoffeliminationsraten. Jedoch nahm die Leistung, die Energierückgewinnung und die Nährstoffelimination des Prototyps im Laufe der Langzeituntersuchungen kontinuierlich auf < 10 % ab, was auf anorganisches Fouling durch Ausfällungen von Calciumcarbonaten in/auf den Kathoden zurückgeführt werden konnte. Diese Ausfällungen können mit dem hohen Anteil an Industrie- und Grubenwassereinleitungen und dem damit verbundenen hohen Salzgehalt des Abwassers in Verbindung gebracht werden. Eine mechanische Reinigung konnte die Performance der Kathoden nicht verbessern.

Hochrechnung des energetischen Einflusses

Die mit den beiden hochskalierten MBZ Systemen experimentell ermittelten Ergebnisse wurden letztendlich dazu genutzt, die erste beschriebene Energiebilanz für eine Modellkläranlage mit einem integrierten MBZ System aufzustellen. Die Berechnungen der Massenbilanzen der einzelnen Stoffströme ergaben, dass die Entfernung des CSB, der AFS und des Nges vor dem Belebungsbecken die mittels neuem CSB-Ansatz des A-131 berechnete Überschussschlammproduktion und den Sauerstoffbedarf deutlich reduzieren würden. Zusammen mit der durch die MBZ generierte Elektrizität wären die Energieeinsparungen durch die reduzierte Belüftung und Schlammbehandlung signifikant höher als der Verlust an Energie durch die reduzierte Biogasproduktion. Die Energieeinsparungen lagen, je nach Szenario, zwischen 7 und 23 Prozent.

Wichtige Erkenntnisse

Die für die Praxis verwertbaren Kernergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Skalierung der entwickelten EKMBZ-Konfiguration ist ohne große Leistungseinbußen möglich.
- Ein stabiler und effizienter Betrieb der MBZ ist auch bei sehr geringen CSB-Konzentrationen möglich.
- Neben dem CSB wird ohne aktive Belüftung in ähnlichen Anteilen auch N_{ges} eliminiert.
- MBZ sind anfällig gegen Ammonium-Stoßbelastungen (Ammoniak-Hemmung).
- Edelstahl/Aktivkohle-Kathoden sind eine skalierbare Alternative zu Pt-katalysierten Kathoden.
- Hochrechnungen zeigen, dass die Integration der MBZ-Technologie in den Abwasserreinigungsprozess den Energiebedarf von kommunalen KA signifikant reduzieren könnte.

■ *Dr.-Ing. Heinz Hiegemann*
Emschergenossenschaft/Lippeverband
Hiegemann.Heinz@eglv.de

Betreuer der Promotion
Prof. Dr.-Ing. Marc Wichern (Ruhr-Universität Bochum)
Prof. Dr.-Ing. Sven Kerzenmacher (Universität Bremen)

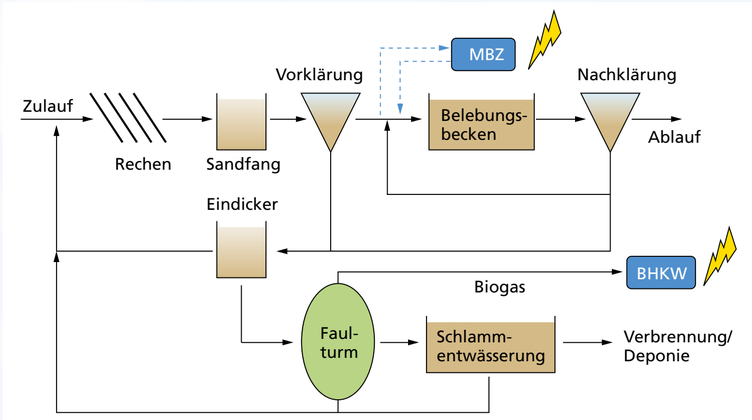

Bild 2 Fließschema einer kommunalen Kläranlage mit integrierter mikrobieller Brennstoffzelle.
Quelle:Hiegemann

Premiumpartner: Berliner Wasserbetriebe – Ohne uns läuft nix.

In Kooperation mit: DWA Klare Konzepte. Saubere Umwelt. Landesverband Nord-Ost