

Untersuchung des Einflusses elektrischer Felder auf die Querstromfiltration am Beispiel der selektiven Wertstoffrückgewinnung bei der Mikroalgenkultivierung (MBFSt 2857)

Dipl.-Ing. Raphael Böhm, Prof. Dr.-Ing. Norbert Rübiger
IUV, Institut für Umweltverfahrenstechnik, Universität Bremen

Abstract

Im Rahmen dieses Projektes wurde der Einfluss unterschiedlicher elektrischer Felder bei der Querstromultrafiltration zur Aufkonzentrierung von Mikroalgen mit geringem Zetapotential (- 19 mV) untersucht. Es zeigte sich, dass vor allem bei Feldstärken im Bereich von 50 V cm^{-1} Wechselfeldern einen Einfluss auf Deckschichtbildung und Selektivität der Membran haben.

Einleitung

Die sich bei der Querstromfiltration ausbildende Deckschicht reduziert die Filtrationsleistung und beeinflusst die Selektivität der Membran. Eine Überlagerung mit einem elektrischen Feld verspricht eine Reduzierung dieser Belagbildung. Gegenstand dieses Projektes ist daher, den Einfluss elektrischer Felder auf die Querstromfiltration und insbesondere auf die Filtrationsleistung und die Selektivität zu untersuchen.

In einem ersten Schritt wird die erreichbare Feldstärke im verwendeten Flachmodul berechnet. Durch die Verwendung unterschiedlicher Isolationsschichten zwischen Elektrode und Retentat ist es notwendig, eine erweiterte Berechnungsgrundlage herzustellen. Der Einfluss der Erdung des Retentats auf die elektrophoretische Kräfteverteilung findet dabei ebenfalls Beachtung. Um im Weiteren den theoretischen Effekt der konkreten Filtrationsversuche abschätzen zu können, wird das Zetapotential der abzutrennenden Mikroalgen ermittelt. Abschließend werden die Auswirkungen überlagerter elektrischer Felder auf Filtrationsleistung und Selektivität der Membran untersucht.

Charakterisierung der Mikroalgensuspension

Die Filtrationsversuche werden an suspendierten Grünalgen der Art *Chlorella vulgaris* durchgeführt. Es handelt sich hierbei um etwa 2-10 μm große Mikroalgen mit einem Zetapotential von - 19 mV, welches mit einem Zetamaster der Fa. Malvern bestimmt wurde. Zur Bestimmung der Vorlagekonzentration wird der *chemische Sauerstoffbedarf* CSB zugrunde gelegt.

Charakterisierung des Flachmoduls

Die Versuche werden mit einem aus Makrolon gefertigten Flachmembranmodul durchgeführt. Die Aufprägung des elektrischen Feldes wird hierbei durch zwei plat-

tenförmige Kupferelektroden realisiert. Diese sind in einem Abstand von 2 mm isoliert ober- und unterhalb der Membran verbaut, so dass kein Kontakt zu Filtrat oder Permeat besteht. Die Spannungsversorgung erfolgt über eine externe Spannungsquelle. Die Berechnung der elektrischen Feldstärke wird auf Grundlage eines Plattenkondensators mit zwei geschichteten Dielektrika durchgeführt. Hierbei müssen die isolierende Makrolonschicht und die Mikroalgensuspension als Dielektrika mit verschiedenen Schichtdicken und unterschiedlichen Permittivitäten betrachtet werden.

Bedingt durch die Erdung der Pumpe und der suspensionsführenden Leitungen ergibt sich ein zusätzlicher Einfluss auf die Ausbreitung des elektrischen Feldes. Hieraus resultiert eine in Strömungsrichtung wirkende elektrophoretische Kraft, welche die elektrophoretische Kraft in Richtung der Elektroden verringert. Die Erdung hat den größten Einfluss in der Mitte der Membranzelle, da dies die Stelle mit der größten Entfernung zum Erdungspunkt darstellt.

Somit lässt sich die Wanderungsgeschwindigkeit v_{ex} der Mikroalgen in Richtung der positiv geladenen Elektrode als

$$v_{ex} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r \zeta}{4\pi\eta} \cdot \left(\frac{Q}{\left(\varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{A}{D}\right) \cdot d} - \frac{1}{l_y} \cdot \left(\varphi - \frac{Q}{\varepsilon_0 \varepsilon_{r1} \frac{A}{D_1}} - \frac{Q}{\varepsilon_0 \varepsilon_{r2} \frac{A}{(d_x - D_2)}} \right) \right) \quad (1)$$

berechnen. Hierbei sind ε_0 die Permittivität des Vakuums in $\text{As N}^{-1} \text{m}^{-1}$, ε_r die einheitenlosen Permittivitäten der einzelnen Dielektrika, ζ das Zetapotential der Mikroalgen in V, η die dynamische Viskosität in N s m^{-1} , Q die elektrische Ladung in A s, A die wirksame Fläche der Elektroden in m^2 , D die Dicke der einzelnen Dielektrika in m, d der Abstand der Elektroden in m, l_y die Membranlänge und φ das elektrische Potential in V.

In Abbildung 1 ist die berechnete Wanderungsgeschwindigkeit v_{ex} der Mikroalgen in Richtung der positiven Elektrode über der Membranlänge l_y dargestellt. l_y ist die Länge der Membran in Strömungsrichtung von 0 cm (Feedeintritt) bis 13 cm (Membranmitte), wobei die Membranmitte den Punkt mit der weitesten Entfernung zum Erdungspunkt darstellt.

Es wird deutlich, dass der Erdungseinfluss mit zunehmender Entfernung vom Erdungspunkt zunimmt (vgl. Abbildung 1). Der größte Erdungseinfluss liegt an der Membranmitte vor. Die wirksame Feldstärke an dieser Stelle beträgt bei einer angelegten Spannung von 250V circa 47 V cm^{-1} . Die Wanderungsgeschwindigkeit der Partikel berechnet sich zu etwa $5 \mu\text{m s}^{-1}$, wobei der maximale Erdungseinfluss ca. 6% beträgt.

Auswirkung der Erdung auf die Wanderungsgeschwindigkeit v_{ex} an der Membran über die Länge des Membran-Flachmoduls

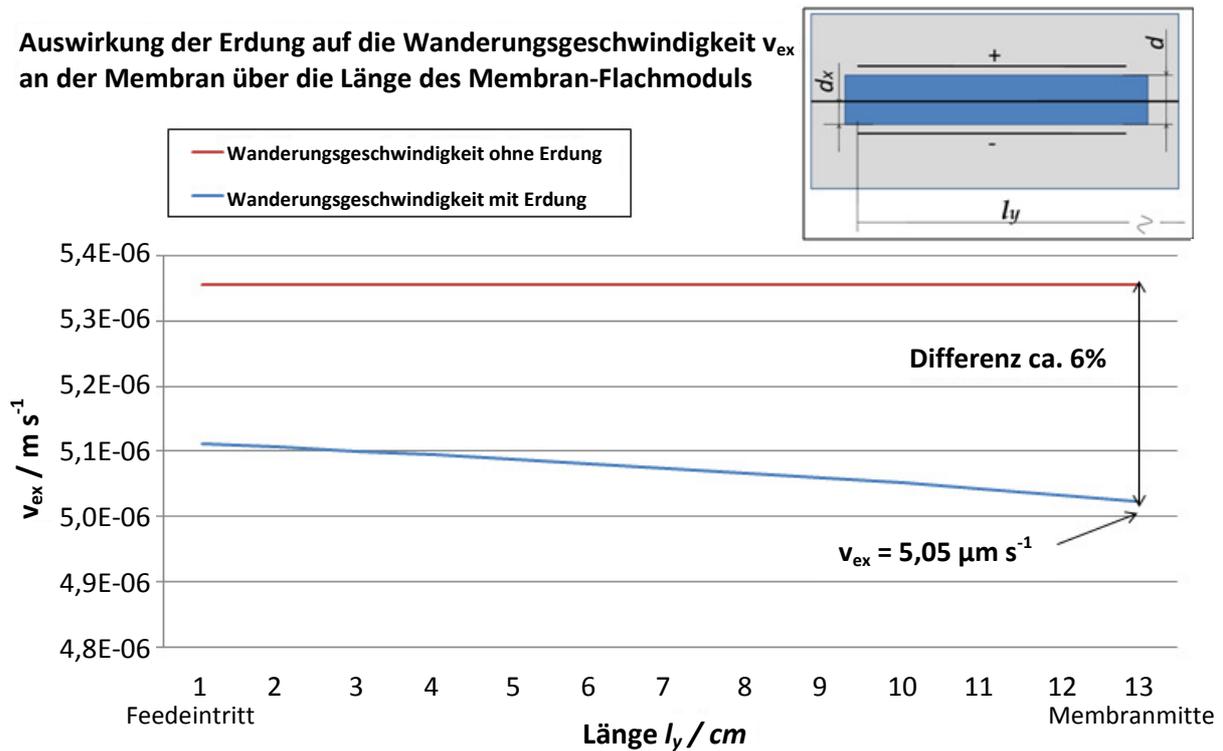


Abbildung 1: Modellierung des Erdungseinflusses auf die berechnete Wanderungsgeschwindigkeit der Mikroalgen aufgetragen über der Membranlänge

Versuche zur Aufkonzentrierung von Mikroalgen

Der Einfluss elektrischer Felder bei der Aufkonzentrierung von Mikroalgen wird am Beispiel der Querstromultrafiltration untersucht. Die Versuche werden isotherm bei einem Transmembrandruck von 2 bar an einer Flachmembran mit einer Trenngrenze von 30 kDa durchgeführt. Neben der Überlagerung mit einer 50 Hz gepulsten Wechselspannung werden Versuche mit ungepulsten Gleichspannungsfeldern durchgeführt, bei denen auch der Einfluss einer Polungsumkehr untersucht wird.

Die Versuche werden anhand der Filtrationsleistung (Flux) und der Selektivität der Membran ausgewertet. Die Selektivität wird hierbei qualitativ über den Gehalt an gelöstem Kohlenstoff (dissolved organic carbon – DOC) im Permeat bewertet.

Einfluss auf die Filtrationsleistung

Abbildung 2 stellt die Ergebnisse hinsichtlich der flächenbezogenen Filtrationsleistungen grafisch dar. Auf der Abszisse wird dabei die Versuchszeit in Minuten angegeben, die Ordinate gibt die Filtrationsleistung der Membran wider.

Vergleich der Filtrationsleistung

- Versuche zur Aufkonzentrierung der Mikroalgensuspension -

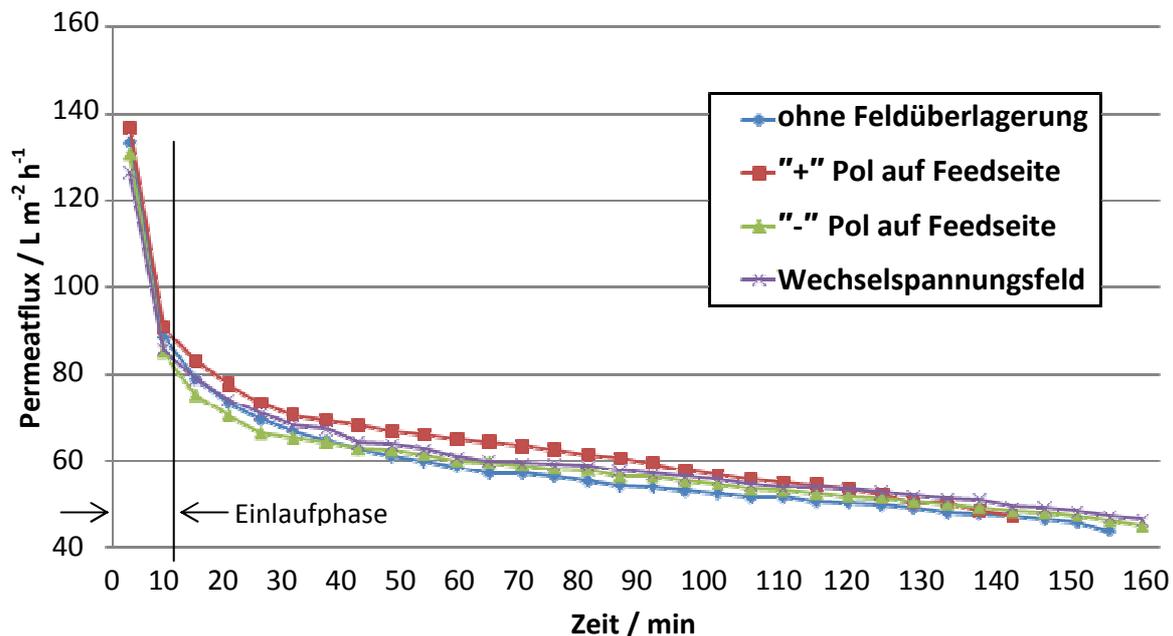


Abbildung 2: zeitlicher Verlauf der Filtrationsleistung unter Variation der Feldart

Die zeitliche Entwicklung der Filtrationsleistung zeigt eine deutliche Einlaufphase der Membran während der ersten 10 Minuten. Diese ist unabhängig von der überlagerten Feldart und wird im Rahmen der Auswertung nicht betrachtet.

Nach Durchlaufen der Einlaufphase zeigt sich, dass die Verwendung eines Gleichspannungsfeldes mit feedseitigem Pluspol zu einer Erhöhung der Filtrationsleistung führt. Diese beträgt etwa 5 % gegenüber dem Referenzversuch ohne Überlagerung eines Feldes. Der Deckschichtaufbau wird in dieser Phase verlangsamt. Im weiteren Verlauf verliert sich der Effekt, so dass nach 130 Minuten kein Einfluss des elektrischen Feldes mehr erkennbar ist.

Ebenfalls erwartungsgemäß verhält sich die Filtrationsleistung bei Verwendung eines Gleichspannungsfeldes mit feedseitigem Minuspol. Nach der Einlaufphase wird die Filtrationsleistung um ca. 5 % gesenkt. Im weiteren Versuchsverlauf verliert sich auch hier der Einfluss des Feldes. Eine zunächst vermehrt aufgebaute Deckschicht wird durch das Feld nicht weiter kompaktiert, so dass am Ende des Versuches die Filtrationsleistung mit dem Versuch ohne Feldüberlagerung vergleichbar ist.

Eine Besonderheit bildet der Versuch mit einem durch 50 Hz gepulsten elektrischen Wechselspannungsfeld. Direkt nach der Einlaufphase ist kein Einfluss der Feldüberlagerung ersichtlich. Im Langzeitverhalten zeigt sich allerdings eine dauerhafte Steigerung der Filtrationsleistung von ca. 4 %. Ein langfristiger Deckschichtaufbau durch Mikroalgen kann durch diese Feldart, wenn auch nur geringfügig, vermindert werden.

Insgesamt ist der Einfluss des elektrischen Feldes auf die Filtrationsleistung als gering einzustufen. In keinem Versuch konnte eine Steigerung der Filtrationsleistung von mehr als 5 % durch die Überlagerung mit einem elektrischen Feld gezeigt werden.

Einfluss auf die Selektivität der Membran

Als Maß für die Selektivität der Membran wird nachfolgend der Rückhalt gelösten organischen Kohlenstoffs (DOC) verwendet. Der im Permeat ermittelte DOC gibt Auskunft über die organischen Bestandteile der Mikroalgenkulturlösung, die durch die Membran permeieren können.

Abbildung 3 stellt die DOC-Gehalte der einzelnen Versuchsreihen dar, auf der Abszisse wird die jeweilige Entnahmezzeit der Proben dargestellt. Die Ordinate gibt den ermittelten DOC in mg L^{-1} wider. Die nachfolgend dargestellten Beobachtungen sind jeweils als Vergleich zum feldlosen Referenzversuch zu sehen.

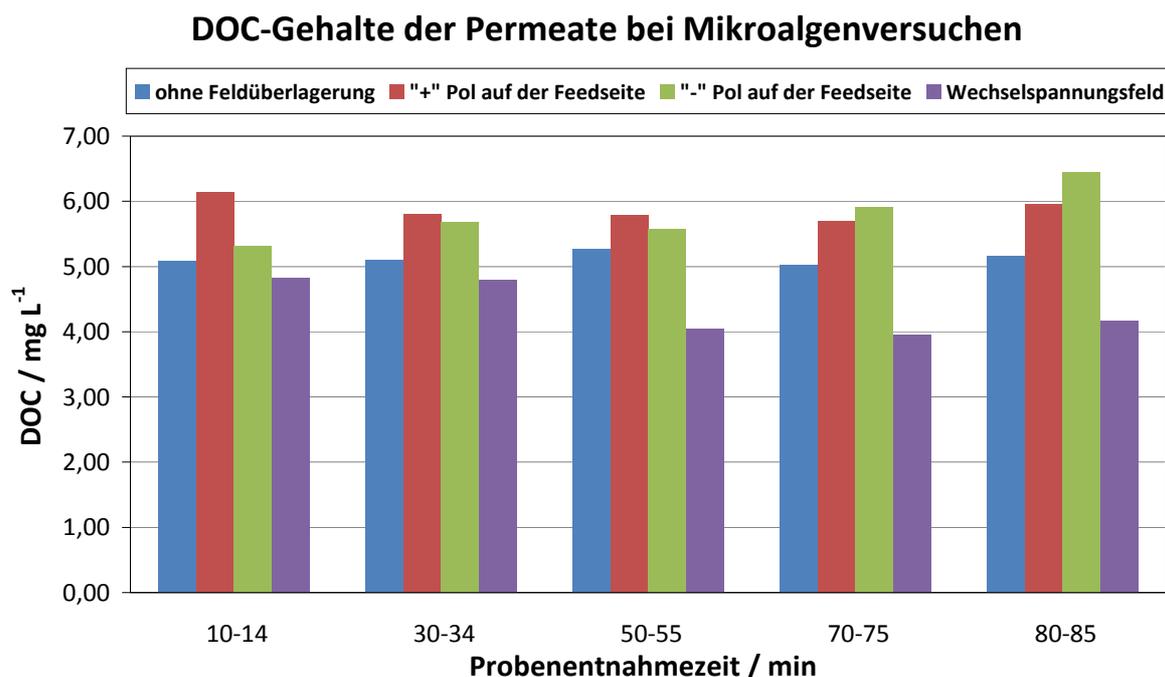


Abbildung 3: DOC-Gehalt der Permeate unter Variation der Feldart

Bei Polung des integrierten Kondensators der Membranzelle mit dem Pluspol auf der Feedseite zeigt sich nicht die zu erwartende Steigerung des Rückhalts organischer Substanzen. Dies lässt sich unter anderem auf zusätzlich vorhandene positiv geladene, organische Partikel in der Mikroalgen suspension zurückführen. Diese werden durch elektroosmotische Effekte durch den Pluspol auf der Feedseite und dem permeatseitigen Minuspol zunehmend durch die Membran geleitet und erhöhen den DOC im Permeat. Diese theoretische Überlegung kann durch Laboruntersuchungen

aber nicht abschließend nachgewiesen werden, da eine Bestimmung des Zetapotentials einzelner Bestandteile einer Suspension derzeit nicht durchführbar ist.

Die Verwendung eines Gleichspannungsfeldes mit feedseitigem Minuspol ergibt insgesamt den erwarteten geringeren Rückhalt organischer Substanzen. Durch abstoßende Kräfte der positiven Elektrode werden negativ geladene organische Substanzen vermehrt durch die Membran geleitet.

Für weitere Untersuchungen von besonderer Bedeutung sind die Ergebnisse aus den Versuchen mit einem 50 Hz gepulsten Wechselfeld. Hier zeigt sich im Vergleich zu den feldlosen Versuchen eine deutliche Steigerung des Rückhalts organischer Substanzen, wodurch der DOC-Gehalt im Permeat um bis zu 15 % sinkt. Eine mögliche Ursache könnte in der ständigen Polungsumkehr eines Wechselfeldes liegen, wodurch auf Partikel permanente Richtungswechsel elektrophoretischer Kräfte wirken. Lösen diese ein pulsierendes Hin- und Herbewegen oder eine Rotation der Partikel aus, könnte dies einen Einfluss auf ihre Permeation haben. Diese Modellvorstellung ist jedoch durch weitere Untersuchungen zu verifizieren.