

Zusammenfassung sächlicher Abschlussbericht Phase I

Effiziente Ressourcenverwertung in Abwässern der Abfallwirtschaft mittels Algenkulturen – ERA³

des Konsortiums
der **TH Köln**, AG Prof. Rehorek
und
der **JLU Gießen**, AG Prof. Gäth

Köln, den 27.07.2021

Gefördert durch:

**Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft,
Natur- und Verbraucherschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen**



Ergebniszusammenfassung

Die Verwendung von Mikroalgen zur Aufbereitung von Deponiesickerwässern hat das Potential, Ressourcen und Energie im Vergleich zu etablierten Methoden einzusparen. Eine industrielle Implementierung ist jedoch noch nicht erfolgt. Bisher mussten die Sickerwässer insbesondere aufgrund der hohen Belastung mit anorganischem Stickstoff (Summe der Mengen an NH_4^+ und NH_3) und mit Trübstoffen in der Regel stark verdünnt werden, um Algen überhaupt kultivieren zu können (Nawaz *et al.*, 2020). Eine Verdünnung in industrieller Größenordnung ist sowohl unter ökonomischen als auch unter ökologischen Gesichtspunkten problematisch. Im vorliegenden Projekt ERA³ – Phase I, war es erstmalig möglich, Mikroalgen in unterschiedlichen, hochbelasteten Deponiesickerwässern ($\text{NH}_4\text{-N}$ maximal 934 mg/L; CSB maximal 2076 mg/L) ohne vorherige Verdünnung oder sonstige Vorbehandlung zu kultivieren. Im Folgenden werden die Ergebnisse des Projektes ERA³ - Phase I konzentriert auf die bemittelten Arbeitspakete zusammengefasst.

In Vorarbeiten des Projektes ERA³ konnte eine natürlich vorkommende Algenkultur in den stark mit TAN und Trübstoffen belasteten Sickerwässern der Deponie Leppe bei Lindlar identifiziert und angereichert werden. In der vorliegenden ersten Projektphase wurde zunächst überprüft, ob und unter welchen Bedingungen es möglich ist, dieses standortangepasste Mikroalgen-Bakterien-Konsortium zur Aufbereitung der Deponiesickerwässer zu nutzen.

AP 1.1 bis 1.4: Es wurde die mikrobiologische Zusammensetzung der vier Sickerwässer mikroskopisch, physiologisch und chemisch (genetisch) untersucht.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Gattung *Chlorella* als überwiegende Algengattung in den Sickerwässern der Deponie Leppe (zwei unterschiedliche Entnahmepunkte), aber auch in den beiden anderen Sickerwässern der Deponien Reiskirchen und Aßlar, auf natürliche Weise vorkommt.

AP 1.5: Das standortangepasste Mikroalgen-Bakterien-Konsortium der Deponie Leppe wurde zur Inokulation der vier verschiedenen Sickerwässern verwendet.

Unter optimierten Bedingungen war es möglich, in allen vier Sickerwässern gute Wachstumsraten von bis zu 1,2 g Algenbiomasse pro Liter und Tag zu erzielen. Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass die Kultivierbarkeit der Algen wesentlich weniger vom Belastungsgrad der Sickerwässer, als vielmehr von der Optimierung der Kultivierungsbedingungen sowie der Verwendung standortangepasster Mikroalgen-Bakterien-Konsortien abhängig ist. Unter diesen Bedingungen konnte eine Toleranz der Algen gegenüber hohen Belastungen mit dem zuvor als wachstumshemmenden Stoff Ammonium von bis zu maximal 934 mg/L und hoher Trübung (CSB-Werte von bis zu 2076 mg/L) nachgewiesen werden.

AP 2.1: Die Auswirkungen der Wachstumsparameter pH-Wert, Lichtintensität und Temperatur wurden auf das fotosynthetische Wachstum der Algen untersucht.

Die höchsten Wachstumsraten wurden bei der maximalen Lichtintensität von durchschnittlich 1970 Lux, einer Temperatur von unter 25°C und einem pH-Wert von unter 9 erzielt. Die Wachstumseinbußen bei höheren Temperaturen und höheren pH-Werten werden insbesondere auf einen toxischen Effekt von Ammoniak sowie eine geringere Verfügbarkeit von Kohlendioxid zurückgeführt.

AP 2.2: Es wurden die Abbauraten abwasserrelevanter Inhaltsstoffe durch die Inokulation mit dem standortangepassten Mikroalgen-Bakterien Konsortium untersucht. Der Abbau von Phosphat, Nitrit, Nitrat und organischen Verbindungen (CSB) nach 15-tägiger Kultivierungszeit war statistisch signifikant

($p < 0,05$) gegenüber den Kontrollkulturen ohne Inokulation. Es konnte allerdings keine Ammoniumreduktion durch die Algen nachgewiesen werden. Dieses Ergebnis ist ungewöhnlich, da Ammonium in einer Vielzahl anderer Studien als primäre Stickstoffquelle von *Chlorella sp.* beschrieben wurde (Paskuliakova, Tonry and Touzet, 2016; Tighiri and Erkurt, 2019). Stattdessen weisen die Ergebnisse darauf hin, dass Nitrit und Nitrat als primäre Stickstoffquelle dienen, welche ebenfalls von manchen Algen assimiliert werden können (Sanz-Luque *et al.*, 2015).

AP 2.3: In diesem AP wurde das Skalierungspotential von suspensions- und biofilmbasierten Kultivierungssystemen untersucht.

Es zeigte sich, dass die suspensionsbasierte Kultivierung im Batchansatz insbesondere durch die hohe Trübung der verwendeten Sickerwässer und die damit verbundene eingeschränkte Lichtverfügbarkeit für die Algenzellen limitierend ist. Erst bei starker Durchmischung in einem Fed-Batch-Raceway-Aufbau und einer Verdopplung der Lichtintensität konnten geringe Algenkonzentrationen von maximal etwa 1 g/L gemessen werden. Daher wurden erste Versuche mit biofilmbasierten Kulturen durchgeführt. Es wurden an der Wasseroberfläche schwimmende Membranen als Trägermaterialien für die Biofilme eingesetzt. Hier konnte im Gegensatz zu den Suspensionskulturen auch ohne Verdopplung der Lichtintensität und ohne Erhöhung der Durchmischung der Kulturen ein Algenwachstum nachgewiesen werden. Nach 15 tägiger Kultivierungszeit konnten umgerechnet bis zu 135,4 g Biomasse pro qm von den Membranen geerntet werden. Diese im Vergleich zu den suspensionsbasierten Kultivierungssystemen verbesserte Kultivierbarkeit wurde auf die bessere Lichtausbeute der an der Oberfläche treibenden Membranen und auf synergetische Effekte in den Biofilmen zurückgeführt. Das deckt sich mit Literaturhinweisen (Paerl and Pinckney, 1996).

In den Biofilmen wurden außerdem neue Mikroalgenarten entdeckt, die bisher in den rein suspensionsbasierten Kulturen noch nicht identifiziert werden konnten. Nach der 15-tägigen membranbasierten Kultivierung im 120 L-IBC-Maßstab, wurde in den Kulturen mit Algenwachstum eine Reduktion der Ammonium- und der ortho-Phosphat Konzentrationen gegenüber den Kulturen ohne Algenwachstum nachgewiesen. Der Abbau von Ammonium in den membranbasierten Systemen steht im Widerspruch zum fehlenden Abbau in den suspensionsbasierten Kulturen aus AP 2.2. Es wird vermutet, dass diese Veränderung insbesondere auf die veränderte Mikrobiotik der Biofilme zurückzuführen ist. Insbesondere symbiotische Effekte zwischen den Mikroorganismen in einem Biofilm könnten hier eine praxisrelevante Rolle spielen.

AP 4: In diesem Arbeitspaket erfolgte die Planung der halbtechnischen Pilotanlage, welche als Grundlage der weiterführenden Forschungsarbeiten am Standort :metabolon für ERA³-Phase II eingesetzt werden soll.

Auf der Grundlage der bisher erhaltenen Ergebnisse sollen zwei biofilmbasierte Photobioreaktoren (PBR) der Firma Phytolinc bzw. Nerou als primäre Kultivierungssysteme verwendet werden. Ein PBR kann über die Universität zu Köln vom Arbeitskreis Prof. Dr. Hartmut Arndt geliehen werden. Ein zweiter PBR wird bei Projektverlängerung vom Bergischen Abfallwirtschaftsverband zur Verfügung gestellt. In diesen Reaktoren wachsen die Algen getrennt vom Wasserkreislauf in Biofilmen auf einer „Twin-Layer-Membran“ (Melkonian and Podola, 2004). Die Systeme beinhalten ein Kontrollsystem zur Überwachung und zur Kontrolle der wichtigsten Kultivierungsparameter. Sie sind modular aufgebaut und sollen unter zu bestimmenden Voraussetzungen industriell eingesetzt werden.

Ausgewählte Quellen

Melkonian, M. and Podola, B. (2004) 'Method and device for cultivating eucaryotic microorganisms or blue algae, and biosensor with cultivated eucaryotic microorganisms or blue algae'. United States. Available at: <https://patents.google.com/patent/US7745201B2/en> (Accessed: 17 February 2020).

Nawaz, T. *et al.* (2020) 'A review of landfill leachate treatment by microalgae: Current status and future directions', *Processes*, 8(4), pp. 1–20. doi: 10.3390/PR8040384.

Paerl, H. and Pinckney, J. (1996) 'A Mini-review of Microbial Consortia: Their Roles in Aquatic Production and Biogeochemical Cycling HAB Management View project Atmospheric Correction and Satellite Water Quality Monitoring for Albemarle-Pamlico Estuary System (APES) View project'. doi: 10.1007/BF00171569.

Paskuliakova, A., Tonry, S. and Touzet, N. (2016) 'Phycoremediation of landfill leachate with chlorophytes: Phosphate a limiting factor on ammonia nitrogen removal', *Water Research*. doi: 10.1016/j.watres.2016.04.029.

Sanz-Luque, E. *et al.* (2015) 'Understanding nitrate assimilation and its regulation in microalgae', *Frontiers in Plant Science*. Frontiers Research Foundation. doi: 10.3389/fpls.2015.00899.

Tighiri, H. O. and Erkurt, E. A. (2019) 'Biotreatment of landfill leachate by microalgae-bacteria consortium in sequencing batch mode and product utilization', *Bioresour. Technol.* Elsevier, 286(April), p. 121396. doi: 10.1016/j.biortech.2019.121396.

Köln, den 09.08.2021

Projektleitende Person



Prof. Dr. Astrid Rehorek
TH Köln

astrid.rehorek@th-koeln.de
Tel. +49 176 107 207 46



Prof. Dr. Stefan Gäth
JLU Gießen

Stefan.A.Gaeth@umwelt.uni-giessen.de