Bundesministerium
Innovation, Mobilität
und Infrastruktur

IEA Industrielle Energietechnologien und Systeme (IETS) Task 17: Membranprozesse in Bioraffienerien

Arbeitsperiode 2023 – 2024

Berichte aus Energie- und Umweltforschung 71/2026

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:
Bundesministerium für Innovation, Mobilität und Infrastruktur,
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leitung (interimistisch): DI (FH) Isabella Warisch
Kontakt zu „IEA Forschungskooperation“: Mag.[a] Sabine Mitter

Autorinnen und Autoren:
DI Dr. Christoph Höfer, DIin Dr.in Bettina Muster-Slawitsch, Department – Technologie Entwicklung, Wasser- und Prozesstechnologien, AEE – Institut für Nachhaltige Technologien
Assoc. Profin. Drin. Marlene Kienberger, DI Dr. Paul Demmelmayer, Institut für Chemische Verfahrenstechnik und Umwelttechnik, TU-Graz

Ein Projektbericht gefördert im Rahmen von

IEA Forschungskooperation
im Rahmen von open4innovation

Wien, 2026, Stand: Dezember 2024

Rückmeldungen: Ihre Überlegungen zu vorliegender Publikation übermitteln Sie bitte an iii3@bmimi.gv.at.

Disclaimer:
Dieser Ergebnisbericht wurde von der Fördernehmer:in erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit, Aktualität sowie die barrierefreie Gestaltung der Inhalte übernimmt das Bundesministerium für Innovation, Mobilität und Infrastruktur (BMIMI) keine Haftung.

Mit der Übermittlung der Projektbeschreibung bestätigt die Fördernehmer:in ausdrücklich, über sämtliche für die Nutzung erforderlichen Rechte – insbesondere Urheberrechte, Leistungsschutzrechte sowie etwaige Persönlichkeitsrechte abgebildeter Personen – am bereitgestellten Bildmaterial zu verfügen.

Die Fördernehmer:in räumt dem BMIMI ein unentgeltliches, nicht ausschließliches, zeitlich und örtlich unbeschränktes sowie unwiderrufliches Nutzungsrecht ein, das übermittelte Bildmaterial in allen derzeit bekannten sowie künftig bekannt werdenden Nutzungsarten für Zwecke der Berichterstattung, Dokumentation und Öffentlichkeitsarbeit im Zusammenhang mit der geförderten Maßnahme zu verwenden, insbesondere zur Veröffentlichung in Printmedien, digitalen Medien, Präsentationen und sozialen Netzwerken.

Für den Fall, dass Dritte Ansprüche wegen einer Verletzung von Rechten am übermittelten Bildmaterial gegen das BMIMI geltend machen, verpflichtet sich die Fördernehmer:in, das BMIMI vollständig schad- und klaglos zu halten. Dies umfasst insbesondere auch die Kosten einer angemessenen rechtlichen Vertretung sowie etwaige gerichtliche und außergerichtliche Aufwendungen.

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts im Rahmen der IEA Forschungskooperation. Es wurde vom Bundesministerium für Innovation, Mobilität und Infrastruktur (BMIMI) initiiert, um österreichische Forschungsbeiträge zu den Kooperationsprojekten der Internationalen Energieagentur (IEA) zu unterstützen.

Die IEA Forschungskooperationen umfassen eine breite Palette an Energiethemen mit dem Ziel Energiesysteme, Städte, Mobilitäts- und Industriesysteme fit für eine nachhaltige Zukunft bis 2050 zu machen. Auch Themen wie Gendergerechtigkeit oder Ressourcen- und Kreislaufwirtschaftsaspekte werden berücksichtigt.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements der beteiligten Forschungseinrichtungen und Unternehmen ist Österreich erfolgreich in der IEA verankert. Durch die vielen IEA-Projekte entstanden bereits wertvolle Inputs für europäische und nationale Energieinnovationen und neue internationale Standards. Auch in der Marktumsetzung konnten richtungsweisende Ergebnisse erzielt werden.

Ein wichtiges Anliegen ist es, die Projektergebnisse einer interessierten Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Daher werden alle Berichte nach dem Open Access Prinzip in der Schriftenreihe des BMIMI über die Plattform nachhaltigwirtschaften.at veröffentlicht.

Inhalt

Impressum **2**

Inhalt **6**

1 Kurzfassung **8**

2 Abstract **9**

3 Ausgangslage **10**

4 Projektinhalt **13**

5 Ergebnisse **16**

5.1 Online Workshop „Membranes in Biorefineries" 16

5.2 Leitfaden „Membranes in Biorefineries: Guideline 3.0" 22

5.2.1 Innovative Membranprozesse zur Abtrennung flüchtiger Wertstoffe und nachhaltige Membranen 23

5.2.2 Ammoniak Entfernung aus Gärresten durch direktkontakt Membrandestillation und Produktion eines Ammonium-Sulfat Flüssigdüngers 25

5.2.3 Isolierung von Lignosulfonaten aus verbrauchter Sulfitlauge durch Flüssigmembranpermeation 27

5.2.4 Biobasierte Stützschichten für die Fraktionierung und selektive Extraktion von Ligninsulfonaten 29

5.2.5 Neue Flachmembran Modul Konzepte für die Ammoniak Abtrennung durch eine isothermen Vakuummembrandestillations (VMD) Betrieb 30

6 Vernetzung und Ergebnistransfer **33**

7 Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen **35**

Tabellenverzeichnis **36**

Abbildungsverzeichnis **37**

Literatur **38**

1 Kurzfassung **8**

2 Abstract **9**

3 Ausgangslage **10**

4 Projektinhalt **13**

5 Ergebnisse **16**

5.1 Online Workshop „Membranes in Biorefineries" 16

5.2 Leitfaden „Membranes in Biorefineries: Guideline 3.0" 22

5.2.1 Innovative Membranprozesse zur Abtrennung flüchtiger Wertstoffe und nachhaltige Membranen 23
5.2.2 Ammoniak Entfernung aus Gärresten durch direktkontakt Membrandestillation und Produktion eines Ammonium-Sulfat Flüssigdüngers 25
5.2.3 Isolierung von Lignosulfonaten aus verbrauchter Sulfitlauge durch Flüssigmembranpermeation 27
5.2.4 Biobasierte Stützschichten für die Fraktionierung und selektive Extraktion von Ligninsulfonaten 29
5.2.5 Neue Flachmembran Modul Konzepte für die Ammoniak Abtrennung durch eine isothermen Vakuummembrandestillations (VMD) Betrieb 30
6 Vernetzung und Ergebnistransfer 33
7 Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen 35
Tabellenverzeichnis 36
Abbildungsverzeichnis 37

1 Kurzfassung

In Anbetracht der dringenden Notwendigkeit, fossile Rohstoffe durch erneuerbare Energien und lineare Produktionsprozesse in Kreislaufwirtschaftsfähige Prozesse zu transformieren, spielt das Konzept der Bioraffinerie eine zentrale Rolle. Die EU verfolgt mit dem „Green Deal“ und dem „Circular Economy Action Plan“ (CEAP) das Ziel, bis 2050 eine nachhaltige, klimaneutrale Wirtschaft zu etablieren. Österreich unterstützt diese Initiativen durch den „Nationalen Energie- und Klimaplan“ (NEKP) sowie der Bioökonomie-Strategie bis 2030. Im Rahmen des Projekts IEA IETS Task 17_2 wird die Zusammenarbeit zwischen Forschung, Industrie und politischen Akteuren gefördert, um das Potenzial von Membranverfahren in Bioraffinerien auszuschöpfen. Das internationale IEA IETS Task 17 Konsortium und Netzwerk, geleitet von Frank Lipnizki (Lund Universität, Schweden), zielt darauf ab, energieeffiziente Membrantechnologien in Bioraffinerien zu integrieren und den Austausch von Know-how zu intensivieren. Der österreichische Beitrag (AEE INTEC und TU-Graz) zum IEA IETS Task 17 Netzwerk unterstützt durch Bereitstellung eines Leitfadens „Membranes in Biorefineries: Guideline 3.0“, dessen Überarbeitung und Erweiterung die internationalen Bemühungen, und adressiert dadurch wichtige Themen zur Anwendung von Membran basierten Technologien. Unter anderem werden neue Erkentnisse zur Abscheidung von flüchitgen und nicht flüchtigen Wertstoffen, neuerungen zu nachhaltigen Membranen und neuen Membranmodul Konzepten dargestellt. Ein zentrales Ergebnis des österreichischen Betrags dieser Task 17 Periode war die Durchführung eines Online-Workshops sowie die Restrukturierung und Aktualisierung des Leitfadens mit den neuesten Forschungsergebnissen aus aktuellen Projekten. Die Erkenntnisse und Technologien aus diesem Projekt stärken die österreichische Forschungslandschaft und fördern die Entwicklung innovativer Lösungen in der Bioraffinerie, womit sie einen wichtigen Beitrag zu den Zielen der Kreislaufwirtschaft und des Green Deals leisten. Zukünftige Forschungsbere Bereiche beinhalten die Abtrennung wertvoller Gase, die Entwicklung nachhaltiger Membranen und die Verbesserung der Prozesseffizienz durch innovative Membranreaktoren.

2 Abstract

In view of the urgent need to transform fossil raw materials into circular economy processes using renewable energies and linear production processes, the concept of the biorefinery plays a central role. The European “Green Deal” and the “Circular Economy Action Plan” (CEAP), are pursuing the goal of establishing a sustainable, climate-neutral economy by 2050. Austria supports these initiatives through the National Energy and Climate Plan (NEKP) and the Bioeconomy Strategy for 2030.

The IEA IETS Task 17_2 project promotes the cooperation between research, industry and political stakeholders to exploit and visualize the potential of membrane processes in biorefineries. The international IEA IETS Task 17 consortium and network, led by Frank Lipnizki (Lund University, Sweden), aims to integrate energy-efficient membrane technologies and intensify the exchange of expertise.

The Austrian contribution (AEE INTEC and TU-Graz) to the IEA IETS Task 17 network supports the revision and expansion of a guideline “Membranes in Biorefineries: Guideline 3.0”, thereby addressing important topics for the application of membrane-based technologies. Among other things, novel research findings are summarized and presented related to the following topics - separation of volatile and non-volatile valuable substances, new developments on sustainable membranes and new membrane module concepts are presented.

A key result of the Austrian contribution to this Task 17 period was the organisation of an international online workshop and the restructuring and updating of the guidelines with the latest research results from current projects. The findings and technologies from this project strengthen the Austrian research landscape and promote the development of innovative solutions in the biorefinery, thereby making an important contribution to the objectives of the circular economy and the Green Deal. Future research areas include the separation of valuable gases, the development of sustainable membranes and the improvement of process efficiency through innovative membrane reactors.

3 Ausgangslage

Es besteht drigender Handlungsbedarf für die produzierende Industrie, Prozesse und Abläufe, die derzeit noch auf fossilen Rohstoffen basieren möglichst zeitnah auf erneuerbare Energie und Kreislaufwirtschaft umzustellen und anzupassen. Dadurch können die gegenwärtigen und zukünftigen negativen Auswirkungen auf unser Klima und die Ressourcennutzung abgemildert werden.
Das Konzept der Bioraffinerie, bei dem erneuerbare Ressourcen für die Herstellung von Materialien, Energie und Kraftstoffen verwendet werden, ist der Schlüssel diesen Übergangsprozess zu gestalten und die Ziele zu erreichen.
Die europäische Union hat für die Transformaiton der Industrie den euopäischen „Green Deal" vorgegeben, mitdem Ziel die Umweltverschmutzung auf Null zu reduzieren. Hierzu wurde auch eine Chemikalienstrategie formuliert, die die Herstellung und Verwendung nachhaltiger gestalten soll. Die EU „Green-Deal" Strategie zielt damit auf eine nachhaltige, klimaneutrale und kreislauforientierte Wirtschaft in Europa bis 2050 ab. Der dafür erstellte „Circular Economy Action Plan" (CEAP) vereint die Fülle an Zielen für den grünen Übergang in Europa. [1]
Auf nationaler Ebene ist der „Nationale Energie- und Klimaplan (NEKP)" der Fahrplan für Österreich, um diesen Übergang zu meistern und die Ziele bis 2030 durch die Anwendung zusätzlicher Maßnahmen zu erreichen. Zusätzlich wurde auch die österreichische Bioökonomie-Strategie mit in einem Aktionsplan aufgegriffen, welcher eine Orientierung für ein nachhaltiges Wirtschaftskonzept bis 2030 gibt, um dem Klimawandel, der Nahrungsmittel- und Wasserknappheit sowie der wachsenden Umweltbelastung zu begegnen. [2]

Konkret stehen foglendend Forschungsziele zur Kreislaufwirtschaft und -produktion im Fokus:

- Umfassende Reduzierung der Ressourcenentnahme und -nutzung (Ressourcenschonung);
- Abfallvermeidung (Zero Waste);
- Vermeidung von Umweltbelastungen durch Schadstoffe (Zero Pollution);
- Reduktion von Treibhausgasemissionen (Klimaschutz);
- Stärkung und Aufbau von zirkulärer Wertschöpfung/Arbeitsplätzen in Österreich;
- Förderung der Bioökonomie und Kreislaufwirtschaft in der Produktion;
- Verbreiterung der Unternehmensbasis für eine grüne Transformation;
- Bindung von Unternehmen mit hoher Relevanz für Nachhaltigkeitsziele in Österreich;
- Zusätzlich wird im Rahmen der Transformationsinitiative der Bundesregierung eine F&E-Initiative für eine klimaneutrale Industrie entwickelt und umgesetzt.

[1] Constanze Fetting, 'The European Green Deal' (Vienna: ESDN Office, 2020), https://www.esdn.eu/fileadmin/ESDN_Reports/ESDN_Report_2_2020.pdf.
[2] 'Österreichs Nationaler Energie- und Klimaplan (NEKP)', accessed 12 November 2024, https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/klimaschutz/nat_klimapolitik/energie_klimaplan.html.

Die Ziele aller genannten Initiativen, Konzepte und Strategien können in der Entwicklung und Anwendung neuer Ansätze zur Substitution fossiler Energieträger durch erneuerbare Ressourcen zusammengefasst werden. Dies ist über alle der folgenden Bereiche Gesellschaft, Industrie, Wissenschaft und Wirtschaft hinweg nötig.

Global gesehen ist diese Weiterentwicklung des wirtschaftlichen und gesellschaftliche Bereichs abhängig von dem Zustand und der Resilienz unserer Biosphäre wie bereits in den Zielen für eine nachhaltige Entwicklung (Sustainable Development Goals – SDGs) der vereinten Nationen (United Nations - UN) beschrieben und in 17 Zielen beschrieben.[3]

Es ist daher augenscheinlich, dass internationale, nationale oder regionale Programme den Weg vorgeben es aber eine aktive Förderung und Kommunikation durch politische Entscheidungsträger, unabhängige Interessengruppen und Fachexperten benötigt, um die wesentlichen Elemente für eine Bioökonomie auf der Grundlage von Bioraffinerien zu schaffen. Bioraffinerien können dafür wie folgt definiert werden: „ein physikalisches, chemisches oder biologisches Verfahren zur Reinigung, Trennung, Veredelung oder Umwandlung von Elementen, biologischer Wertstoffe aus den Reichen: Monera, Protista, Plantae, Animalia oder Fungi, die aus terrestrischen oder aquatischen Ökosystemen stammen, und in biologische Produkte für die Endnutzung oder als Rohstoff für andere biologische Produkte dienen“.[4]

Das Projekt IEA IETS Task 17_2: Membranprozesse in Bioraffienerien bietet neben der österreichweiten Vernetzung und Intensivierung der Zusammenarbeit von Interessengruppen, Teilnahme an Veranstaltungen und Zusammenfassung von wesentlichen Forschungsergebnissen aus laufenden und kürzlich abgeschlossenen Forschungspfojekten einen Betrag zu den oben genannten Punkten vor allem durch die Bereitstellung eines Leitfadens (Guideline) zu Membranen in Bioraffinerien.

Dieser Leitfaden wird in der aktuellen Projektphase (Task 17_2) bereits in eier dritten Revision aufgelegt und erweitert worden. Die wachsende Rolle von Bioraffinerien in der industriellen Produktion und der Bedarf an neuen Prozesstechnologien und Konzepten ist deutlich. Hier sind insbesondere membranbasierte Prozesse und deren Vielseitigkeit, geringen Ressourcenbedarf und hohe Energieeffizienz innerhalb eines Prozesses von großem Interesse. Nachhaltige, membranbasierte Verfahren bieten breite Anwendbarkeit in technologischen Schlüsselprozessen. In der aktualisierten Version des Leitfadens werden alle bisherigen Versionen konsolidiert und durch Aktualisierungen und neue

[3] ‘Vereinte Nationen - 17 Ziele für nachhaltige Entwicklung (Sustainable Development Goals - SDG)’, 7 December 2022, https://unric.org/de/17ziele/.
[4] Caroline Conteratto et al., ‘Biorefinery: A Comprehensive Concept for the Sociotechnical Transition toward Bioeconomy’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 151 (November 2021): 111527, https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111527.

Forschungsergebnisse ergänzt, um die Potenziale, Herausforderungen und möglichen Integrationskonzepte für verschiedene Interessengruppen in Wissenschaft, Industrie und Entscheidungsträgern darzustellen und zu vermitteln.

4 Projektinhalt

Bioraffinerien sind innovative Konzepte mit großem Potenzial für den Wandel von fossiler zu biobasierter Industrie. Die Nutzung von Biomasse als Rohstoff für Wertstoffe, Chemikalien und Energieträger erfordert effiziente Produktionsprozesse.[5] Der IEA IETS Task 17 bietet eine Plattform für den Know-how-Transfer zwischen Forschung und Entwicklung im Bereich energie- und ressourceneffizienter Anwendungen von Membranverfahren in Bioraffinerien. Der nationale IEA IETS Task 17_2 ist in die internationalen Bestrebungen eingebettet und stärkt die österreichische Forschungslandschaft durch Netzwerktätigkeiten, Know-how-Transfer und Wissensverteilung im Bereich Bioraffinerien und Membranprozesse.

Das Projekt Task 17_2 ist Teil des Themenschwerpunkts Industrielle Energietechnologien und -systeme (IETS TCP) mit Fokus auf Energienutzung in verschiedenen Industriesektoren, die erhebliches Potenzial für CO2-Emissionen und Kosteneinsparungen aufweisen. Das Arbeitsprogramm des IETS TCP umfasst die Entwicklung von Prozessen und Energietechnologien bis hin zu Gesamtsystemanalysen und Energieeffizienz in Industriesektoren. Das internationale Konsortium des Task 17 „Membranprozesse in Bioraffinerien“ unter der Leitung von Frank Lipnizki (Lund University, Schweden) besteht aus Partnern aus Wissenschaft, Membranherstellern und Industrie und zielt darauf ab, den Einsatz energieeffizienter und innovativer Membranverfahren in Bioraffinerien zu stärken (

Abbildung 1).



Abbildung 1. Internationales Konsortium IEA IETS Task 17 (Quelle: IEA).

Das Projekt IEA IETS Task 17 bietet eine Plattform für die Teilnahme an Fachtagungen, Workshops und Disseminierungsaktivitäten für IETS-Mitglieder, die an Membranverfahren für Bioraffinerien arbeiten oder interessiert sind. Das internationale Konsortium stimmt sich regelmäßig ab, wobei großes Interesse aller Partner an der Fortführung und zielgerichteten Ausführung der fünf Subtasks (A-

[5] Conteratto et al.

E) besteht. Die Ausrichtung folgt den neuesten Forschungstrends und Ergebnissen sowie der Nachfrage von Interessensgruppen. Synergien und Interaktionen mit anderen IEA-Annexen/Tasks, wie Task 11 (Industrielle Bioraffinerien in den Diensten der Nachhaltigkeit) und Task 42 (Bioenergy), Task 72 (Solar Photoreactors for Fuels and Chemicals).

Von österreichischer Seite leitete AEE INTEC erneut den Subtask E (Emergierende Membranprozesse) und beteiligt sich an Subtask D (Membrane und Module), B (Integration und Optimierung von Membranprozessen) und F (Wasser- und Abwasserbehandlung in Bioraffinerien) wie bereits in der vergangenen Periode. Der erzielte Impact in den Vorperioden des IEA IETS Task 17 zeigt sich in der erhöhten Sichtbarkeit des österreichischen Konsortiums auf nationaler und internationaler Ebene. Das internationale IEA-Task 17 Konsortium (Tabelle 1) sieht großes Potenzial und Handlungsbedarf für die Themen in Subtask D, den nötigen Know-How Transfer und die integration neue technologische Ansätze für Bioraffinerien. Für Österreich bedeutet die Erarbeitung und Know-How Integration eine stetige steigerung der Wettbewerbsfähigkeit, um kontinuierlichen Fortschritt in der Verbesserung der industriellen Prozesskette beim Einsatz von Membrantechnologien zu generieren.

Tabelle 1. IEA IETS Task 17 Subtasks und nationale Koordinatoren (Subtask Titel in Engl.).

IEA IETS Task 17	**Subtask Title**	**Nationale Koordinatoren**
Subtask A	Integration and optimization of membrane processes in biorefineries	ITM-CNR, Italien
Subtask B	Membrane fouling and cleaning in biorefieneries	Instituto Superior Técnico, Portugal
Subtask C	Membranes and modules for biorefinery applications	Institut Européen des Membranes – Université de Montpellier, Frankreich
Subtask D	Emerging membrane processes for biorefineries	AEE Institute of Sustainable Technologies, Österreich
Subtask E	Water and resource recovery in biorefineries	Aalborg University, Dänemark

Ein Alleinstellungsmerkmal ist die Fortführung und Erweiterung der bestehenden Leitlinie „Membranes in Biorefineries: Guideline 3.0“. Diese Leitlinie vereint aktuelles Wissen und Handlungsempfehlungen zu neuartigen, membranbasierten Konzepten, einschließlich der Abtrennung flüchtiger Stoffe, neuartiger Membraneigenschaften und Membranreaktoren in Bioraffinerien, und wird als wesentlicher Output und Mehrwert dieses Projektes angesehen.

Im Projekt „IEA-IETS Task 17_2“ wurden inhaltliche und übergeordnete Ziele adressiert, die die österreichische Membran- und Bioraffinerie-Forschungslandschaft nachhaltig gestärkt haben. Durch intensive Vernetzung der bereits involvierten nationalen und internationalen Akteure sowie die Akquisition neuer Interessensgruppen aus dem IEA-Task 17 Netzwerk konnten neue Schnittstellen und Know-how zur optimierten Nutzung und Management von lignocellulosehaltigem Material in Bioraffinerien durch energie- und kosteneffiziente Trenntechnologien gefördert werden.

Durch die Leitung des Subtask D „Emerging membrane processes for biorefineries“ wurde die Kompetenz Österreichs in Membrantechnologien und deren Anwendung international sichtbar gemacht und neue Ideen, Ansätze und Verwertungsaktivitäten angeregt. Vor allem neue Beiträge zu den Themen Osmose (FO), Membrandestillation (MD), Pervaporation (PV), Flüssigmembranpermeation (LMP), Membrankristallisation (MCr) und weiteren Technologien konnten diskutiert und gesammelt werden.

Highlights des Projektes Task 17_2 waren der 2024 veranstaltete Online-Workshop, die Teilnahme namhafter nationaler und internationaler Experten, deren Ergebnisse und die Integration neuer Kapitel in die „Membranes in Biorefineries: Guideline 3.0“. Dadurch konnten neue Forschungsergebnisse von TU-Graz, AEE INTEC und weiteren Task 17 Netzwerkmitgliedern zusammengefasst und einer breiteren Zielgruppe zugänglich gemacht werden.

Neben einer Aktualisierung und Überarbeitung bestanden die fachlichen Beiträge aus Themen wie der kombinierten Technologie zur Ammoniakentfernung bzw. -wiedergewinnung aus Abwässern und Reststoffströmen, neuen nachhaltigen Membranen und Techniken zur Membranoberflächenfunktionalisierung, neuen Membranmodulgeometrien und Beschickungsansätzen sowie der Abscheidung wertvoller, nicht-flüchtiger Stoffe wie Carbonsäuren und vielen neuen Erkenntnissen zum Einsatz von Membranen in der Papier- und Zellstoffindustrie.

5 Ergebnisse

Wesentliche Ergebnisse des Projektes Task 17_2 waren die Vernetzungsaktivitäten und Know-How Austausch durch einen 2024 veranstaltete Online-Workshop zum Thema „Membranes in Biorefineries“ und die zahlreiche Teilnahme namhafter nationaler und internationaler Experten und deren Fachbeiträge. Weiteres wurde als zentrales Ergebnis der Aktivitäten der Leitfaden „Membranes in Biorefineries: Guideline 3.0“ überarbeitet und neueste Forschungsergebnisse integriert. Dadurch konnten neue Forschungsergebnisse von TU-Graz, AEE INTEC und weiteren Task 17 Netzwerkmitgliedern zusammengefasst und einer breiteren Zielgruppe zugänglich gemacht werden.

Neben einer Aktualisierung und Überarbeitung bestanden die fachlichen Beiträge aus Themen wie der kombinierten Technologie zur Ammoniakentfernung bzw. -wiedergewinnung aus Abwässern und Reststoffströmen, neuen nachhaltigen Membranen und Techniken zur Membranoberflächenfunktionalisierung, neuen Membranmodulgeometrien und Beschickungsansätzen sowie der Abscheidung wertvoller, nicht-flüchtiger Stoffe wie Carbonsäuren und vielen neuen Erkenntnissen zum Einsatz von Membranen in der Papier- und Zellstoffindustrie.

5.1 Online Workshop „Membranes in Biorefineries”

Zentrales Elemen der Vernetzungstätigketen und für den Know-How Austausch war die Veranstaltung und Abhaltung eines online Workshops „Membranes in Biorefineries“. Es wurden insgesamtgesamt 10 Vorträge, 1 Keynote und 3 paralell Sessions mit interaktiven online Workshop Sessio für etwa 50 Teilnehmer*Innen aus dem internationalem Task 17 Netzwerk organisiert. Der Workshop wurde am 18. September 2024 abgehalten. Nachfolgend einers Keynote Inputs von Seiten der internationalen IEA IETS Task 17 Leitung durch Prof. Frank Lipnizki wurden weitere Vorträge zu den fachspezifischen Themen inkludiert. Die Veranstaltung wurde von AEE INTEC und TU-Graz gemeinschaftlich organisiert, moderiert und abgehalten im Rahmen des IEA IETS Task 17_2 Projekts.

Tabelle 2: Workshop Program IEA Task 17 Workshop “Membranes in Biorefineries”, 18. September 2024.

IEA-Task 17 Workshop (18. September 2024)		
Vortragstitel	**Vortragende**	**Institution**
IEA Task 17 Austria Welcome Words, Goals and Targets	Christoph Höfer; Marlene Kienberger	Department Technology Development, AEE - Institute for Sustainable Technologies, Austria; Institute of Chemical Engineering and Environmental Technology, TU-Graz, Austria
Membranes in Biorefineries - Integration of membrane separation processes in biorefineries - State of the art and future perspectives (Keynote)	Frank Lipnizki	Department of Process and Life Science Engineering, Membrane Group, Lund University, Sweden
Advances in engineering with membranes and biocatalysis for sustainable biorefineries (Talk)	Lidietta Giorno	National Research Council - Institute on Membrane Technology (CNR-ITM), Italy
Membrane Distillation in Biorefineries: Advancements and Prospective Role (Talk)	Aamer Ali	Department of Energy, Aalborg University, Denmark
Bioactive polymer membranes for enhanced protein recovery from microalgae (Talk)	Agnes Schulze	Leibniz Institute of Surface Engineering (IOM), Germany
Biobased support layer for lignosulfonate isolation and fractionation (Talk)	Paul Demmelmayer	Institute of Chemical Engineering and Environmental Technology, TU-Graz, Austria
Organic solvent nanofiltration - Technology and Opportunities in biomaterials processing (Keynote)	Jens Dreimann	Evonik Operations GmbH, Germany
Modeling tools for evaluating in-situ product removal by membrane contactor technology: lactic acid fermentation and microalgae cultivation cases (Talk)	Alan Perez	Process engineering and technology, Institute for Chemistry and Bioanalytics, School of Life Sciences, University of Applied Sciences and Arts Northwestern Switzerland FHNW, Switzerland
Membrane contactors: A platform technology for the production of greener platform chemcials – and beyond (Talk)	Wolfgang Riedl	Process engineering and technology, Institute for Chemistry and Bioanalytics, School of Life Sciences, University of Applied Sciences and Arts Northwestern Switzerland FHNW, Switzerland
Ammonia recovery from industrial waste streams with DCMD und VMD (Talk)	Christoph Höfer	Department Technology Development, AEE - Institute for Sustainable Technologies, Austria

Membrane technology for biosurfactant downstream processing (Talk)	Xanel Vecino	Chemical Engineering Department, School of Industrial Engineering – CINTECX, University of Vigo, Spain
Membrane technology applied for recovering valuable compounds from anaerobic fermentation broths. (Talk)	Jorge Garcia	AINIA, Spain
Introduction to the Workshop format and the contribution to the guideline	Christoph Höfer	Department Technology Development, AEE - Institute for Sustainable Technologies, Austria
Recovery of volatile substances (Workshop 1)	Christoph Höfer	Department Technology Development, AEE - Institute for Sustainable Technologies, Austria
Novel membrane module configurations (Workshop 2)	Bettina Muster-Slawitsch	Department Technology Development, AEE - Institute for Sustainable Technologies, Austria
Separation of non-volatile substances (Workshop 3)	Paul Demmelmayer and Marlene Kienberger	Institute of Chemical Engineering and Environmental Technology, TU-Graz, Austria

Nach facheinschlägigen Vorträgen wurden Arbeitsgruppen gebildete zu den folgenden Themenbereichen:

1) **Rückgewinnung flüchtiger Stoffe,**
2) **Trennung nichtflüchtiger Stoffe, und**
3) **neuartige Membranmodulkonfigurationen.**

Die in den Arbeitsgruppen entstandenen Ergebnissen sind in Abbildung 2, Abbildung 3 und Abbildung 4 respektive zusammengefasst.

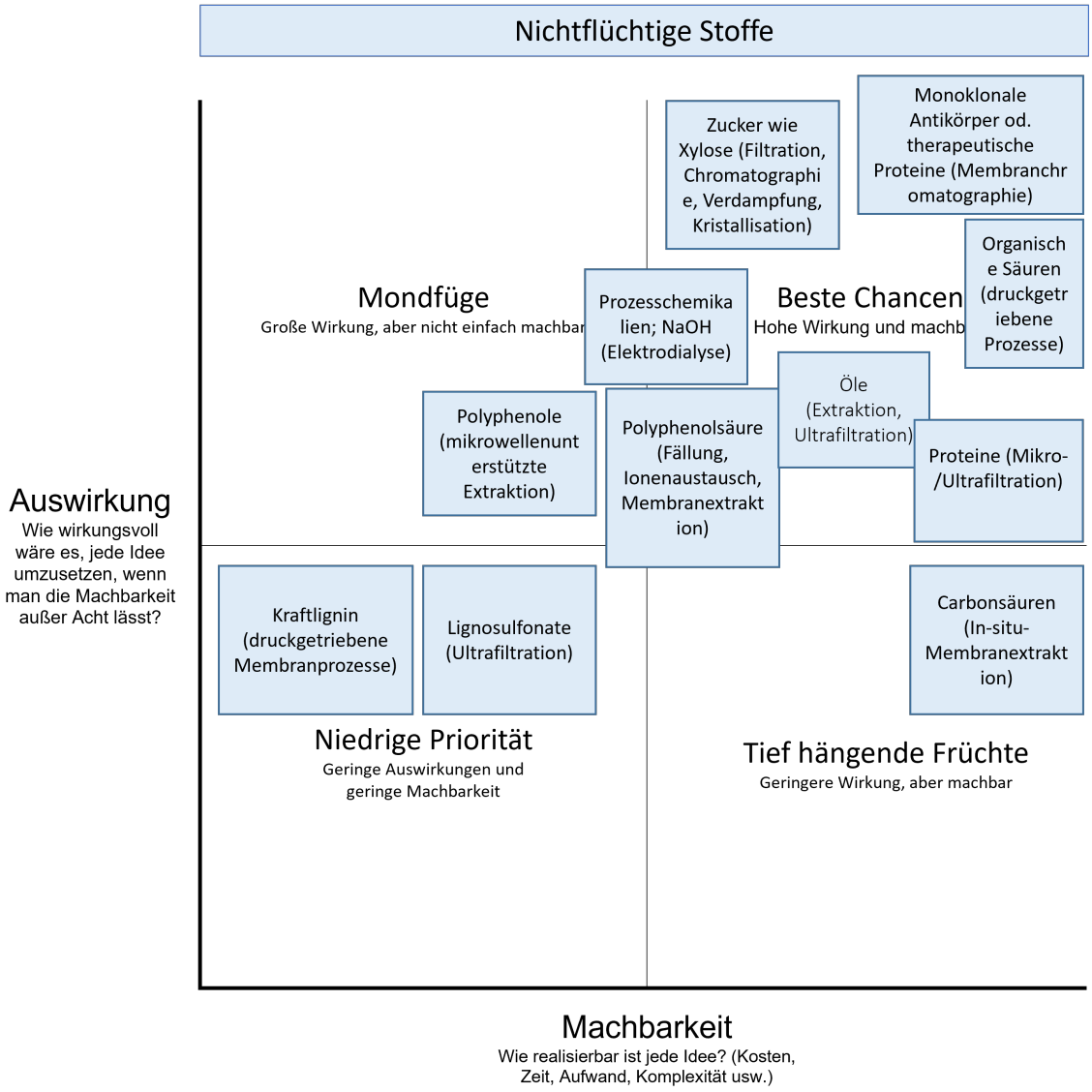
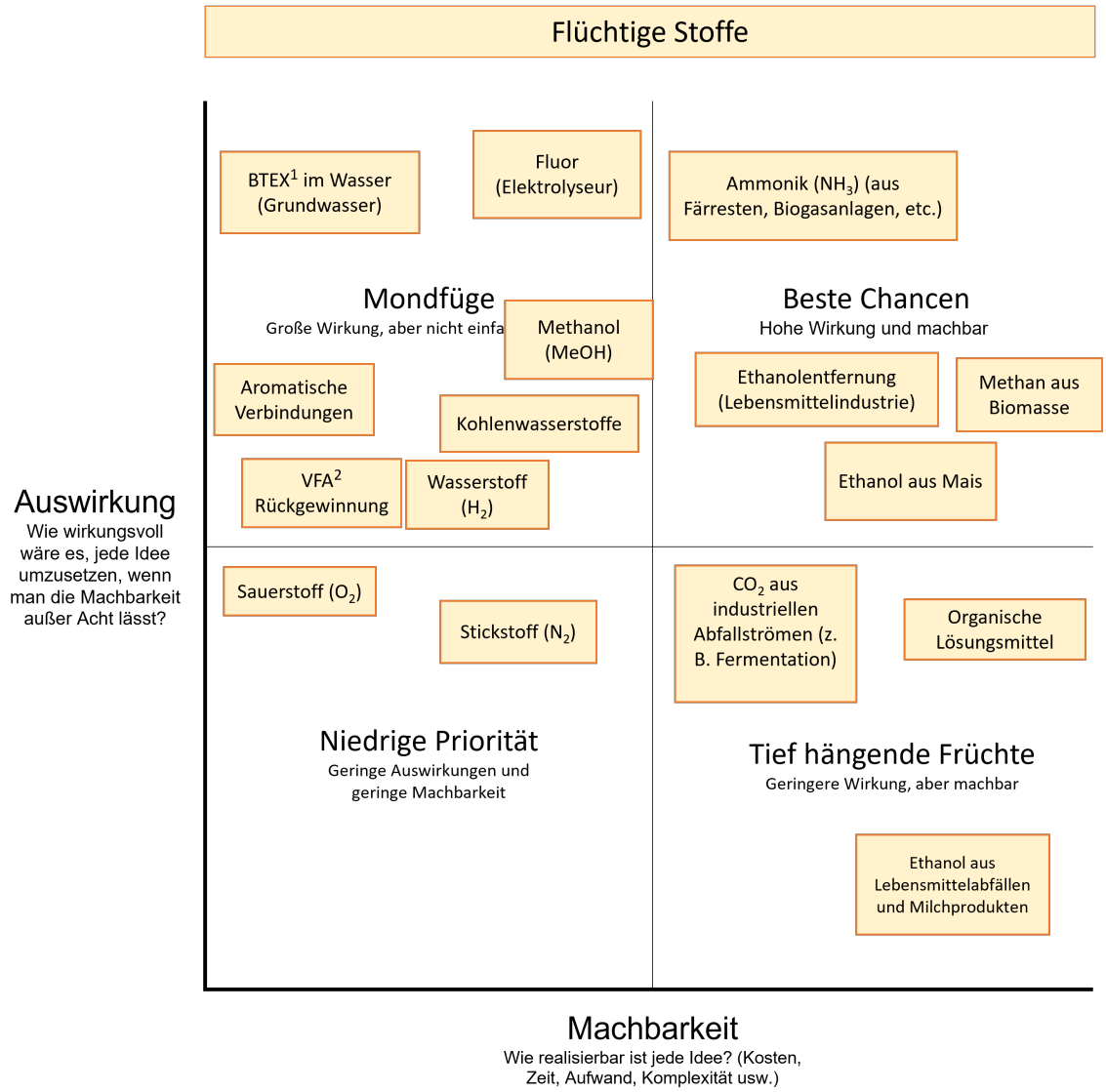


Abbildung 2 Expertenabschätzung zur Auswirkung und potenziellen Machbarkeit des Einsatzes von Membrantechnologien zur Trennung und Wiedergewinnung von nichtflüchtigen Stoffen in Bioreaffienerien (Quelle: AEE INEC, Workshop Ergebnisse).

Die aktuellen Forschungsarbeiten innerhalb des IEA-Task 17 Netzwerks und die daraus resultierneden Potenzialabschätzungen zur Trennung und Wiedergewinnung von nichtflüchtigen Stoffen mithilfe von Memrbantechnologien zeigen foglende Stoffgruppen als sehr vielversprechend auf (i.e. Beste Chancen), Zucker, Antikörper, Proteine, organische Säuren, Öle, Polyphenolsäuren und Prozesschemikalien (e.g. NaOH). Niedrige Priorität innerhalb der Biorafinerie wird einerseits Kraftlignin und Lignosulfonaten zugewiesen, andererseits wird einer möglichen Trennung von Polyphenolen

einer großen Wirkung innerhalb Membrantechnologien zugewiesen allerdigns bei gleichzeitiger geringer Machbarkeit.



[1] BTEX (Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylol)
[2] VFA (Volatile fatty acids)

Abbildung 3. Expertenabschätzung zur Auswirkung und potenziellen Machbarkeit des Einsatzes von Membrantechnologien zur Trennung und Wiedergewinnung von flüchtigen Stoffen in Bioreaffienerien (Quelle: AEE INTEC, Workshop Ergebnisse).

Das Expertennetzwerk sieht weiteres für flüchtige Stoffe eine große Chance in der Machbarkeit der Abtrennung und Wiedergewinnung von Ammoniak, Ethanol, Methan und Ethanol aus Stoffströmen innerhalb der Bioraffinerie. Allerdings wären Fortschritte bei der Trennung von BTEX (Leichtflüchtige

aromatische Kohlenwasserstoffe), VFA (Kurzkettige Fettsäuren; flüchtige Fettsäuren), Wasserstoff, Fluor und Methanol und aromatischen Verbindungen von großer Bedeutung, werden allerdings als nicht einfach erreichbar eingestuft, da die Trennung und Wiedergewinnung als aufwändig und mit aktuell verwendeten Membrantechnologien technisch und wirtschaftlich als nicht einfach umzusetzten bewertet wurde.

Im Punkt 3) Neuartige Membranreaktoren und Membranmodule, wurden die aktuellen Entwicklungen diskutiert und bestehende Limitierungen bei dem einsatz von Membranen besprochen und diskutiert. In der Expertendiskussion des IEA IETS Task 17 Netzwerks wurden die wichtigsten Hürden gesammelt, die die Entwicklung neuer Membranmodule beeinflussen.

Die folgende Liste und Abbildung 4 gibt einen Überblick über die Membran Limitierungen und aktuellen Neuerungen, die von den Experten am wichtigsten gesehen wurden:

- Minimierung des Vorbehandlungsaufwand: Es werden neue Membrane und Module gesucht, die den Vorbehandlungsaufwand minimieren können, insbesondere die Feststoffentfernung, damit Membranmodule mit höherem Feststoffgehalt dauerhaft betrieben werden können.
- Scherkräfte und hohe Querströmungsgeschwindigkeiten: Es werden Membranmodule gesucht, die bei turbulenter Strömung ein hohes Rückhaltevermögen bei gleichzeitig geringen Scherkräften auf die Membranoberfläche ermöglichen.
- Verhältnis von Membranfläche zu Volumen: Um hohe Flüsse zu erreichen und eine ausreichende Verweilzeit zu ermöglichen, wird ein hohes Verhältnis von Membranfläche zu Volumen als vorteilhaft angesehen, bestmöglich bei turbulenter Strömung, um verbesserte transmembrane Flüsse zu erreichen.

In Übereinstimmung mit diesen identifizierten Engpässen sind wichtige Entwicklungen für neue Module:

- Alternative Beschickungsarten wo verstärkt Turbulenzen bei der Beschickung entstehen und/oder mit turbulenten Promotoren, auch für die Tauchmembranfiltration,
- Integration von Nanofaserigen Membranen, und
- Verwendung von modularen, mehrstufigen oder integrierten Moduldesigns.



Abbildung 4. Sammlung von Expertenmeinungen zu neuartigen Membranmaterialien und Membrankonfigurationen, deren Potenziale (Quelle: AEE INTEC, Workshop Ergenisse).

5.2 Leitfaden „Membranes in Biorefineries: Guideline 3.0“

Wie bereits beschriben wurden neue innovative Froschungsergebnisse zu den Themen: Abtrennung von flüchtigen Wertstoffen, nachhaltge Membranen, und Membran Module in die Guideline 3.0 aufgenommen und integriert. Zusätzlich zu den im Workshop besprochenen und dokumentierten Schwerpunkten wurden einige neue Forschungsergebnisse im Detail herausgearbeitet und integriert.

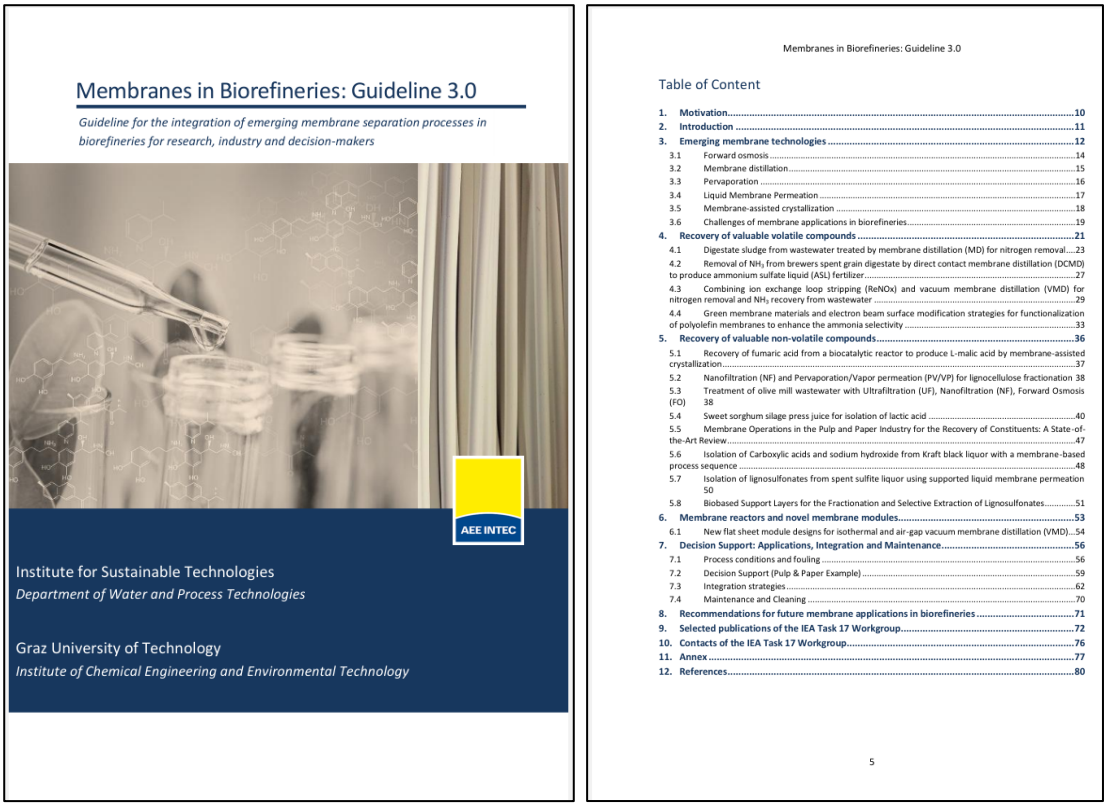


Abbildung 5 Deckblatt und Inhaltsverzeichnis der Leitlinie „Membranes in Biorefineries: Guideline 3.0“ (Quelle: AEE INTEC)

5.2.1 Innovative Membranprozesse zur Abtrennung flüchtiger Wertstoffe und nachhaltige Membranen

Membranverfahren ermöglichen, je nach Verfharenstyp, die Trennung von Stoffen von Partikel- bis auf molekulare Ebene. Neue, innovative Membrantechnologien kombinieren die Trennung auf molekularer Ebende beispielsweise mit Lösungsmittelextraktion oder auch durch Verwendung des Phasentransfers von der flüssigen in die gasförmige Phase. Auch die C1-Behandlung (C1-Körper, e.g. Kohlenmonoxyd, Ameisensäure, Methanol, Methan, etc.) kann durch den Einsatz von Membrantechnologien optimiert werden, z. B. durch die Sicherstellung der Auflösung von CO_2, wenn es um die C1-Nutzung durch einen biotechnologischen Prozess geht.

Membranverfahren können nach ihren Hauptantriebskräften in Druck-, Ladungs- oder Potenzialgetrieben klassifiziert werden. Beispiele für die Anwendung druckgetriebener Membranen in Bioraffinerien, die auf der Porengröße basieren, sind z.B. Abtrennungen von:

- Aktivkohle von Zucker - konventionelle Filtration,
- biologischen Zellen von Proteinen - Mikrofiltration (MF),
- Proteinen aus Salz - Ultrafiltration (UF),
- Zucker von Salz - Nanofiltration (NF), und

- Salz aus Wasser (Entsalzung) - Umkehrosmose (RO) (wobei MF und UF die am häufigsten verwendeten Verfahren sind).

Der Einsatz neuer Membranverfahren bietet jedoch eine Lösung, um die Behandlung von Stoffströmen nachhaltiger und effizienter zu gestalten. Dazu gehören unter anderem Vorwärtsosmose (FO), Membrandestillation (MD), Flüssigmembranpermeation (LMP), Pervaporation (PV) und membranunterstützte Kristallisation (MAC). Im Bioraffineriekonzept wird die stoffliche Nutzung der Komponenten mit Energieeffizienzmaßnahmen durch teilweise selektive Trennmechanismen kombiniert. Wesentlich dabei ist, dass die Verfahren einen Zusatznutzen sowie eine Aufwertung bestehender Produktionsprozesse mit sich bringen, ohne einen Mehrpreis für die Energieversorgung zu erzeugen. Bei thermisch angetriebenen Membranprozessen wie der Membrandestillation kann der thermische Energiebedarf aufgrund der niedrigen Prozesstemperaturen durch Abwärmenutzung gedeckt werden. In Industrieanlagen, wie z.B. Papierfabriken, können ungenutzte Abwärmepotenziale ideal eingebunden werden. Um den Anforderungen an die Behandlung von Stoffströmen mit unterschiedlichen Anforderungen gerecht zu werden, ergibt sich die Möglichkeit bzw. Notwendigkeit der Kombination von neu entstehenden Verfahren als Unterstützung des Standes der Technik von Membranverfahren in mehrstufigen Trennkonzepten. Es werden Integrationskonzepte für eine nachhaltige und effiziente Kreislaufschließung durch Membrantrennverfahren in Bioraffinerien benötigt. Im Folgenden wird eine kurze Beschreibung der oben genannten neuen Technologien gegeben.

<u>Membranbasierte Verfahren haben die folgenden Vorteile:</u>

1) Sie bieten eine große Oberfläche (jede der Poren), um zwei Fluide auf kompakte Weise in Kontakt zu bringen, z. B. ein Lösungsmittel mit einem wässrigen Prozessstrom oder einen gasförmigen, CO_2-haltigen Strom mit einem ebenfalls wässrigen Prozessstrom.
2) Die Modularität der Membranelemente ermöglicht einen kontinuierlichen Betrieb und ist gleichzeitig leicht skalierbar, sowohl parallel als auch in Reihe (wenn eine höhere Reinheit erforderlich ist);
3) 3) Die Transferrate, ausgedrückt als Massentransportkoeffizient, kann durch Anpassung des Volumenstromverhältnisses optimiert werden.

Ein Nachteil von Membranverfahren ist der zusätzliche Widerstand der Membran. Je nach den Benetzungseigenschaften der Membran (hydrophil/hydrophob) füllt entweder die Einsatzlösung oder das Extraktionsmittel die Poren der Membran. Die Vorhersagbarkeit und präzise Kontrolle aller hydrodynamischen Bedingungen ist jedoch ein wesentlicher Vorteil, der den Verlust beim Stofftransport durch die Membran aufwiegt.

Flüchtige Wertstoffe kommend daher immer stärker in den Fokus und können wie folgt definiert werden: „Ein Stoff, der sich leicht von einer festen oder flüssigen Form in einen Dampf verwandeln

kann; der einen hohen Dampfdruck und einen niedrigen Siedepunkt hat.“ [6] Kurz gesagt bedeutet dies, dass der Stoff unter bestimmten Bedingungen leicht verdampft. Es kann daher unterschieden werden, wie flüchtig ein Stoff in seine gasförmige Phase übergeht. Volatile Stoffe können in:

(1) Anorganische Substanzen und Gase (e.g. NH_3, CO_2, Cl_2, HCl, H_2S, NO, NO_2, etc.), und
(2) Organische Substanzen (e.g. volatile organic carbons VOCs, acetone, benzene, ethanol, isopropyl alcohol, volatile fatty acids VFAs, etc.) aufgegliedert werden.

Zu den oben genannten Schwerpunkten wurden folgende Kapitel im Detail aus Forschungsergebnissen exzerpiert, und in die Guideline 3.0 hinzugefügt.

5.2.2 Ammoniak Entfernung aus Gärresten durch direktkontakt Membrandestillation und Produktion eines Ammonium-Sulfat Flüssigdüngers

Ähnlich wie bei der N-NH_4-Rückgewinnung aus Zentratwasser (siehe Guideline 3.0) könnte die Rückgewinnung von N-NH_4 aus Gärresten ins Auge gefasst werden. In den derzeitigen Biogasanlagen fallen große Mengen an Gärresten an, die derzeit üblicherweise als Düngemittel auf landwirtschaftlichen Flächen eingesetzt werden. Die direkte Ausbringung von Düngemitteln mit herkömmlichen Geräten wirft jedoch Probleme auf, insbesondere aufgrund von Nährstoffverlusten. Für Industriestandorte ist die Beseitigung von Gärresten kritisch und hängt von den örtlichen landwirtschaftlichen Flächen und der Möglichkeit der lokalen Nutzung ab. Darüber hinaus kann die Logistik, um die Gärreste zu den Feldern zu bringen, hohe Kosten für die Industrieanlagen verursachen. Daher wird nach neuen Möglichkeiten gesucht, um den Nährwert der Gärreste besser zu nutzen. In industriellen Biogasanlagen sind die Gärreste in ihrer Zusammensetzung sehr homogen und gleichmäßig und bieten ein hohes Potenzial für hochwertige Produkte.

Im österreichischen Projekt „Bioprofit“ (ACR-Projekt) wurde ein Konzept zur Verwertung von Gärresten durch Fest-Flüssig-Trennung und getrennte Verwertungswege für die Flüssig- und Feststofffraktion entwickelt. Während die Feststofffraktion als hochwertiges organisches Material untersucht wurde, das als Torfersatz verwendet werden könnte, wurde die Flüssigfraktion mit einer Membrandestillation in einer Container-Pilotanlage behandelt.

Zunächst wurden verschiedene Flüssigfraktionen von Gärresten und die erforderlichen Vorbehandlungstechnologien untersucht, um ihre Eignung für die Membrandestillation sicherzustellen. Es konnte festgestellt werden, dass industriell verfügbare Separatoren durchaus in der Lage sind, die Partikel in der Flüssigfraktion so weit zu reduzieren, dass der langfristige Betrieb der MD nicht be-

[6] ‘Volatile Substance’, accessed 10 December 2024, https://www.eionet.europa.eu/gemet/en/concept/11794.

einträchtigt wird. Hier können insbesondere die Partikelgrößen > 50 µm zu Verstopfung und Blockierung der Membrankanäle führen. Wie in Abbildung 4 dargestellt, konnten diese Partikel vollständig entfernt werden, wobei nur sehr feine Partikel in der Flüssigkeit vorhanden waren, die den MD-Prozess nicht beeinträchtigten.

Für die Optimierung des DCMD-Prozesses auf Grundlage der mit Zentratwasser gesammelten Erfahrungen, wurde im Rahmen des „Bioprofit“ Projekts versucht, den Transmembranen Fluss durch Anpassen verschiedener Betriebsparameter gezielt zu maximieren. Dabei wurde weiteres versucht, den Chemikalienbedarf für die pH-Anpassung zu minimieren, bei gleichzeitiger Erhöhung der Temperatur des isothermen Betriebs (i.e. geringstmögliche Temperaturabweichung zwischen Feed und Peremat). Dies führt zu einem nur geringfügig erhöhten Energiebedarf, da die Energie des heißen Feedstroms in den Feed zurückgeführt werden kann, und nur eine geringer Wärmetausch zwischen Feed und Permeat durch die Membran auf die Permeatseite stattfindet.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Erhöhung der Temperatur einen positiven Einfluss auf die transmembranen Flussraten haben (Abbildung 6), wobei ein durchschnittlicher N-NH_4 Fluss von ~14 g/m² h bei einer Betriebstemperatur von 70°C festgestellt werden konnte. Der durchschnittliche Durchfluss führte zu einer N-NH_4-Reduktion von über 90 %, bei einer anfänglichen Feed-Konzentration von etwa 3 g/l im flüssigen Gärrest aus der Biertreber-Biogasanlage.

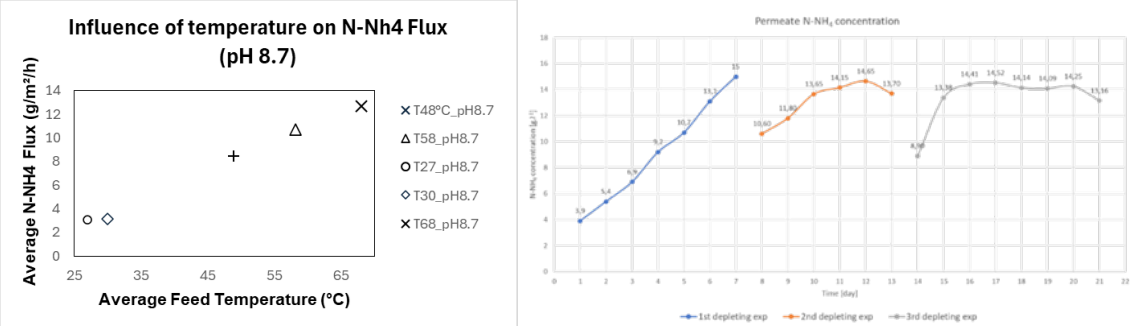


Abbildung 6 Einfluss der DCMD Betriebstemperatur auf den durchschnittlichen N-NH_4-Fluss (rechts) und die erreichbare Permeatkonzentration in nachfolgenden Experimenten (links) für die

Rückgewinnung von > 90 % des N-NH4 aus flüssigen Gärresten aus der Biertrebervergärung (~3 g/l $N\text{-}NH_4$). [7][8]

Die Konzentrationsrate (Produkt im Permeat) erwies sich erneut als eine Funktion der eingehenden N-NH4 Feed $N\text{-}NH_4$ Konzentration. In der Studie wurde eine N-NH4 Konzentrationsrate von Faktor 5-6 festgestellt. Es ist möglich, dass die erreichte, hohe Ionenkonzentration (i.e. Salzkonzentration) im Permeat den osmotischen Druck an der Membran beeinflusst. Weitere Untersuchungen deuten an, dass eine Erhöhung der Permeatkonzentration möglich wäre, wenn die derzeit verwendete Schwefelsäure auf der Permeatseite durch eine orgnissche Säure ersetzt wird, wodurch sich der Wert des erzielbaren Flüssigdüngers erhöht. Hierzu sind derzeit Versuche geplant und erste Ergebnisse werden zeitnah veröffentlicht werden.

5.2.3 Isolierung von Lignosulfonaten aus verbrauchter Sulfitlauge durch Flüssigmembranpermeation

Die Isolierung von Ligninsulfonaten aus verbrauchter Sulfitlauge ist ein wichtiger Prozess in der Zellstoffindustrie, der die Rückgewinnung wertvoller Nebenprodukte ermöglicht. Der verbraucht Abfallstrom, der bei einem Sulfitaufschluss anfällt, enthält Ligninsulfonate (i.e. wasserlösliche Ligninderivate), die zahlreichen industriellen Anwendungen haben. Lignosulfonate werden unter Anderem als Dispergiermittel, Bindemittel, Emulgatoren und Additive in verschiedenen Industriezweigen (e.g. Bauwirtschaft, Landwirtschaft und Chemieindustrie) verwednet. Die Isolierung von Ligninsulfonaten aus verbrauchter Sulfitlauge wurde im Zuge einer Masterarbeit „Isolation of lignosulfonates from braused sulfite liquor using supported liquid membrane permeation“ von Paul Demmelmayer, TU-Graz im Jahr 2018 bereits erstmalig untersucht.

Die dazu verwendete unterstützte Flüssigkeitsmembranpermeation (SLMP) ist eine fortschrittliche Trenntechnik, die die Vorteile der reaktiven Flüssig-Flüssig-Extraktion und Membranen kombiniert, um bestimmte Komponenten selektiv durch eine Membran zu transportieren. Bei diesem Verfahren wird die Lösungsmittelphase in den Poren einer Polymermembran immobilisiert. Dadurch wird eine hohe Selektivität bei geringem Energieverbrauch erreicht und die Kombination von Extraktions- und Rückextraktionsschritt in einem einzigen Prozessschritt vereint. Abbildung 7 zeigt den Mechanismus der Ligninsulfonat-Extraktion mittels SLMP Abbildung 8 zeigt den angewandten SLMP-Aufbau im Labormaßstab. Nach einer Versuchszeit von 5,5 h wurde eine Ligninsulfonatkonzentration von 2 $g \cdot L^{-}$

[7] Christian Platzer, ‘Valorisation of Biogas Digestate through Nutrient Recovery by Means of Membrane Distillation - The “BioProfit” Project’ (Progress in Manure & Digestate 2024, International Online Conference, 25 January 2024).

[8] Klaus Paar et al., ‘BioProfit - Profitable Valorisation von Biogasgärresten Durch CO2-Speicherung Und Nährstoffrückgewinnung.’, ACR final report (AEE INTEC, Gleisdorf, n.d.).

[1] wurde in der Stripphase erreicht, was auf eine erfolgreiche Lignosulfonat-Extraktion mit diesem Aufbau hinweist.

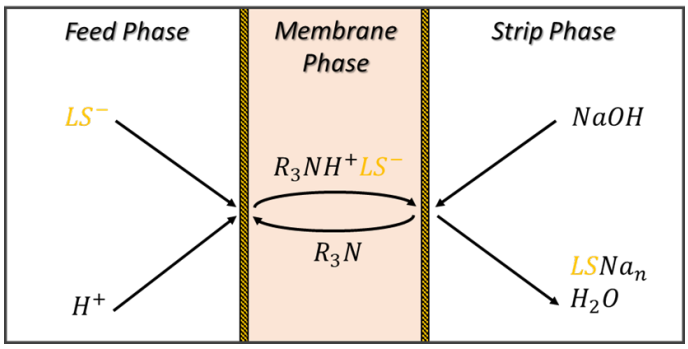


Abbildung 7 Grundprinzip der Ligninsulfonat-Extraktion mittels SLMP mit einem tertiären Amin als reaktivem Extraktionsmittel und Natriumhydroxid als Streifenphase. Adaptiert von Demmelmayer et al. (2020). [9]


(a)

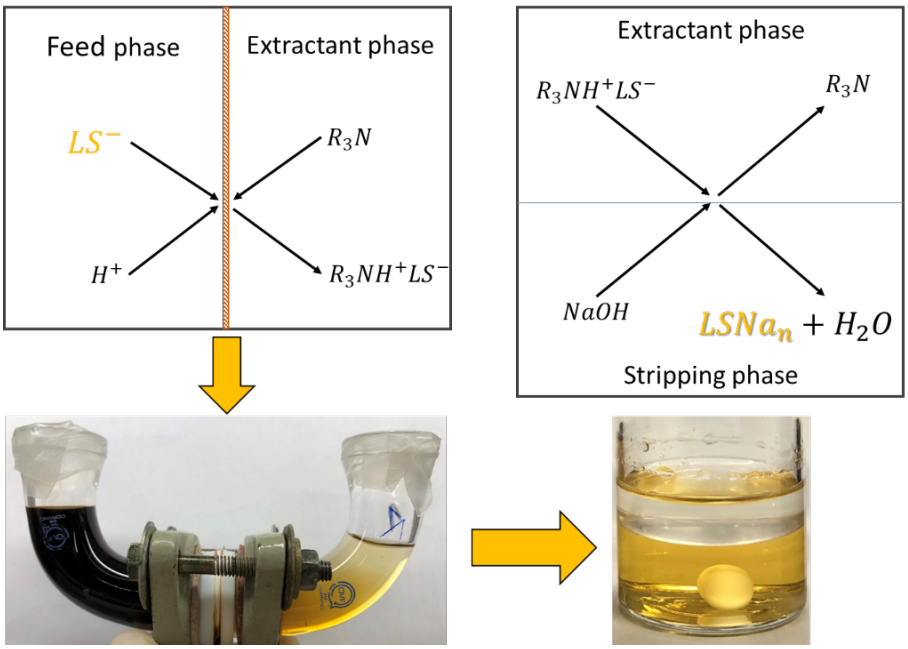

(b)

[9] Paul Demmelmayer et al., 'Screening of Reactive Extractants for the Lignosulfonate Extraction from Lignosulfonate Model Solution and Spent Sulfite Liquor', *Industrial & Engineering Chemistry Research* 59, no. 37 (16 September 2020): 16420–26, https://doi.org/10.1021/acs.iecr.0c02525.

Abbildung 8 Flüssigkeitsmembranpermeation Aufbau im Labormaßstab: (a) Seitenansicht: Peristaltikpumpe, Zuführlösung, Strippinglösung, Membranmodul, Schlauch zur Reimprägnierung der Membranphase. (b) Ansicht Membranmodul des SLMP-Aufbaus im Labormaßstab (Demmelmayer, TU-Graz, 2018).

5.2.4 Biobasierte Stützschichten für die Fraktionierung und selektive Extraktion von Ligninsulfonaten

Um die Isolierung von Ligninsulfonaten (LS) durch SLMP nachhaltiger zu gestalten, wurden biobasierte Stützschichten untersucht, welche die üblicherweise verwendeten PTFE-Membranen ersetzen. Die Publikation "*Biobased Support Layers for the Fractionation and Selective Extraction of Lignosulfonates*" [10] untersucht Cellulosemembranen als Stützschichten in SLMP für die größenselektive Lignosulfonat-Extraktion (Abbildung 9).



[10] Marlene Kienberger et al., 'Biobased Support Layers for the Fractionation and Selective Extraction of Lignosulfonates', *Solvent Extraction and Ion Exchange* 38, no. 1 (2 January 2020): 132–41, https://doi.org/10.1080/07366299.2019.1691764.

Abbildung 9 Übergang zwischen dem Feed und Strip Phase für Lignosulfonate (LS) über eine Membran basierte, selektiveExtraktion.[11]

Der Artikel stellt eine experimentelle Studie zur Herstellung und Charakterisierung von Cellulosefilmen und deren Verwendung für die reaktive Lignosulfonat-Extraktion vor. Die Extraktion von Ligninsulfonaten führt bei Verwendung von gängigen Extraktionstechnologien zur Emulsions- und Rohölbildung. Durch den Einsatz von Zellulosefilmen als Stützschicht zwischen der wässrigen Zulaufphase und der organischen Extraktionsphase wird die Emulsionsbildung bestmöglich verhindert.

Um Ligninsulfonate als Rohstoff für erneuerbare Produkte verwenden zu können, müssen sie eine definierte Qualität aufweisen (i.e. keine Verunreinigungen durch Hemicellulose oder Säuren). Weiteres wird eine enge Molekulargewichtsverteilung bevorzugt. Die Löslichkeit von LS über den gesamten pH-Bereich und ihre Fähigkeit, Emulsionen zu stabilisieren, machen die Extraktion und Isolierung des Reinstoffes zu einer Herausforderung. Die Extraktion bietet jedoch die Möglichkeit, die Selektivität zu erhöhen, was zu einer Lignosulfonatfraktionierung führt. Es wurde demonstriert, dass die verwendeten Stützschichten aus Zellulose in der Lage sind, Emulsions- oder Rohölbildung zu verhindern. Der Trägersubstanzen wurde über die Gasphase weiter modifiziert, um den Einfluss der Oberflächeneigenschaften auf die Emulsionsbildung und auf den Stofftransport zu charakterisieren. Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse der Studie, dass eine gleichzeitige, selektive Ligninsulfonatextraktion und Fraktionierung realisiert werden kann. Die experimentellen Untersuchungen wurden in einem U-Rohr-Aufbau mit einer Stofftransportfläche von 2,27 cm^2 durchgeführt. Die kleine Membranfläche führte zu einem geringen Stofftransport. Da die konventionelle Extraktion jedoch nicht für die Isolierung von Ligninsulfonaten eingesetzt werden kann, sind die erzielten Ergebnisse sehr vielversprechend im Hinblick auf die Anforderungen an Ligninsulfonat, um als Rohstoff für zukünftige Anwendungen und Produkte zu dienen.

5.2.5 Neue Flachmembran Modul Konzepte für die Ammoniak Abtrennung durch eine isothermen Vakuummembrandestillations (VMD) Betrieb

Für die Entfernung von Ammoniak aus dem Abwasser wurde kürzlich im Zuge des Forschungsprojektes „Green Ammonia Fuel“ (Zukunftsfords Steiermark) bei AEE INTEC ein neuartiger modularer Vakuummebrandestillations Laborprüfstand für Flachmembranen konzipiert. Die ursprüngliche Idee bestand darin, eine modulare VMD Flachmembranzelle zu entwerfen und zu entwickeln, um (neben anderen Parametern) den Feed (Zulauf), den Membranaufbau und die Wahl und Größe der Abstandshalter (Spacer) und eine Einbeziehung eines Luftspaltes, oder den Einsatz mehrerer, hintereinander geschaltener Membranen einzusetzten. Weiteres erlaubt das neue VMD Flachmembranmodul eine variable Anpassung der Größe des Volumenreservoirs auf der Feed- und Permeatseite und eine Erwärmung der Permeatseite für einen nahezu isothermen Betrieb. Abbildung 10

[11] Kienberger et al.

zeigt einen Überblick der konzeptionellen Betriebsarten. Unterziel des Testmoduldesigns bestand weiterhin darin, die Erprobung und den Tausch verschiedener Membranen und Einsatz verschiedener Membranmaterialien zu ermöglichen. Für das neu entwickelte Testmoduldesing wird paralell ein Softwaretool für Prozessmodelierung der treibenden Kräfte zu entwickeln, wenn der Unterschied der Zulauf- und Permeattemperatur (delta_T) ident (i.e. annähernd „isotherm") ist. Fotos von der Prototypenmontage sind in Abbildung 11 dargestellt.

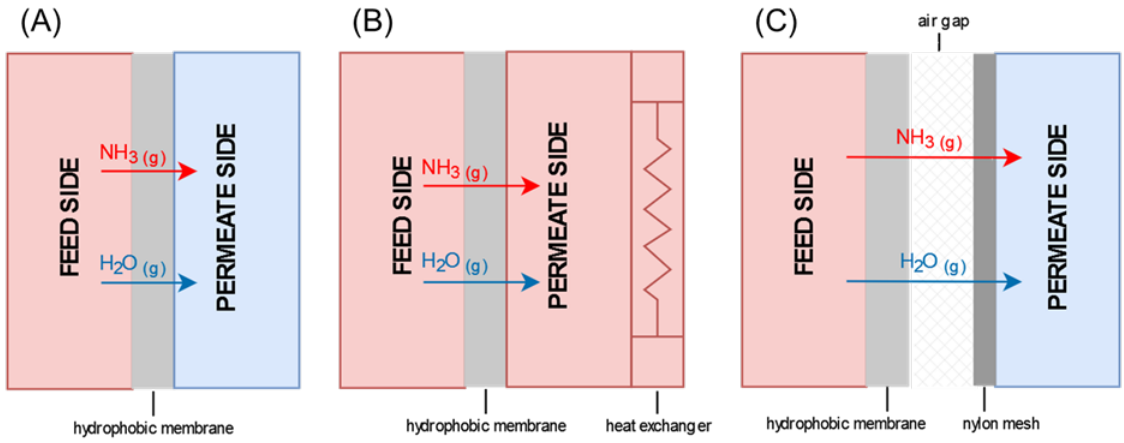


Abbildung 10 Konzeptionelle Betriebsarten eines neuartigen VMD-Flachmembranmoduls, für die Ammoniak-Entfernung aus Abwasser. Die Betriebsweisen (A) typischer VMD-Betrieb, (B) VM-Betrieb bei Temperaturgleichgewicht zwischen Feed- und Permeatseite, und (C) VMD-Betrieb bei Ausbildung eines Luftspalts, mit Trennung. Quelle: AEE INTEC, alle Rechte vorbehalten (Hoefer et al. 2024, Manuskript in Vorbereitung).

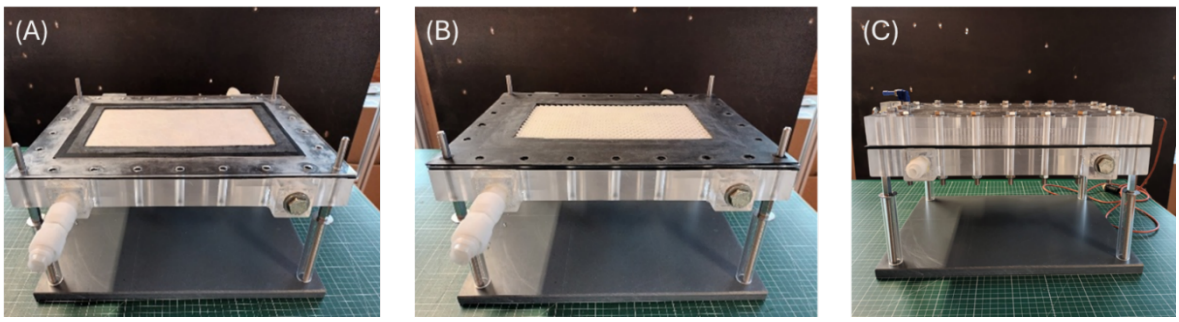


Abbildung 11 Modulares VMD-Flachmembranmodul für die Ammoniak Entfernung aus Abwasser. (A) Zufuhr (Feed) Seite der VMD-Prüfzelle nach dem Einbau der Membran; (B) Permeatseite nach

dem Einbau des Abstandhalters; (C) Zusammengebaute Testzelle vor dem Einbau in die VMD-Laboranlage. Quelle: AEE INTEC, alle Rechte vorbehalten (Hoefer et al. 2024, Manuskript in Vorbereitung).

6 Vernetzung und Ergebnistransfer

Der IEA IETS-Task 17 adressiert die Forschungscommunity und Interessensgruppen im Bereich Membranmaterialforschug, Membranmodulentwicklung sowie Anwendungsforschung in Österreich und innerhalb des internationalem IEA IETS Task 17 Netzwerks. Die Teilnahme ab den nationalen IEA-Vernetzungstreffen von Seiten der AEE INTEC wird regelmäßig wahrgenommen und organisiert.

Das vorliegende Projekt „Task 17_2“ ermöglichte das Know-How zu möglichst effizienten Membranbasierten Konzepte weiterzuentwickeln, Membrananwendungen als effiziente Schlüsseltechnologien in Bioraffinerien zu etablieren und dieses Wissen innerhalb der Community zu teilen. Damit adressiert der Task 17 Forschungsfragen auf mehreren Ebenen zum Thema der Membrantechnologien integrativ und mit Bezugnahme auf die folgenden Einzeldisziplinen: Materialforschung, Oberflächenmodifikation, Modulentwicklung, Anwendung und Integration in Bioraffinerien und deren Prozessstrukturen und Abläufe. Forschende in diesem Fachbereichen profitieren durch den Austausch enorm, da es keine vergleichbare, inter- und transdisziplinäre Plattform in Österreich zu diesem sehr speziellen Thema gibt.

Die zweite wesentliche Zielgruppe des IEA IETS Task 17 ist die produzierende Industrie. Die inkludiert die folgenden Industriebereiche: Membranhersteller, Membranmodulbau, Mebrantechnologie Anlagenbau, Bioraffinerien und verwandte Industriesparten.

Die Community des IEA IETS Task 17 repräsentiert alle genannten Zielgruppen und ermöglicht durch viele Industrieteilnehmer auch einen direkten Austausch zwischen diesen Gruppen innerhalb der internationalen und nationalen Task 17 Meetings. Der primäre Weg des Wissenstransfers wird über Workshops, Konferenzen und deren Proceedings zu spezifischen Themen organisiert. International und national wurden folgende Veranstaltungen zum IEA-Task 17 organisiert.

IEA-Task 17 Workshops & Konfernezen 2024

- 3-4 Dezember 2024, Nordic Filtration Symposium, Industry/Researchers, Copenhagen, Denmark (online Hybrid Teilnahme)
- 8-12 September 2024, Euromembrane 2024, Industry/Researchers, Prague, Czech Republic
- 6-7 Juli 2024, Sweden/Egypt/India International Conference on Water Purification and Management, Mahatma Gandhi University, Kottayam, Kerala, India.
- 30 Juni - 3 Juli 2024, European Congress of Biotechnology (ECB2024), Rotterdam, The Netherlands
- 05 June 2024 - 07 June 2024, 20th edition of the International Conference on Renewable Resources & Biorefineries (RRB2024), Brussels, Belgium.
- 29-31 July 2024, 3rd International Conference on Materials and Nanomaterials (MNs-24), Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL), Lisbon, Portugal.

- 18 September 2024, Workshop:" Economia circular da água - simbioses indústria e setor urbano" , Laboratório Nacional de Engenharia Civil(LNEC), Lisbon, Portugal.

IEA Task 17 - Subtask Meetings 2024

- 18. September 2024, Membranes in Biorefinery Workshop (Subtask D – Emerging membrane processes), Industry/Researchers (Austria, online)
- December 2024 Task Meeting, Industry/Researchers, Hybrid (Online and Copenhagen (Denmark).

Die Ergebnisse des österreichisch geleiteten Subtask wurden vor allem durch den organsierten Workshop am 18 September 2024 und zusätzlich in der „Guidline 3.0" publiziert, welche nach jeder Task 17 Periode mit den neuesten Erkenntnissen aus Workshops und Projekten überarbeitet wird und online sowie über das Task 17 Netzwerk verteilt wird.

An allen nationalen und internationalen Konferenzen an denen eine Teilnahme und Interaktion möglich war wurder ein reger Austausch in Form von Präsentationen, Gesprächen und innerhalb der Kaffeepausen oder in anderen Formen und Foren genutzt. Das im Rahmen der vorherigen Periode des Task 17 aufgebauten Netzwerks wurde von Seiten der Task 17_2 Projektleitung erweitert und weiter ausgebaut. Durch persönliche (vor allem aber Online) Meetings und Newsletter wurden Stakeholder auf dem Laufenden gehalten und Informationen ausgetauscht.

7 Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen

Die Berichtsperiode des IEA IETS Task 17 hat erneut die Bedeutung von Membranverfahren für nachaltige Prozesse verdeutlicht. Zuzüglich aller berichteten Fortschritte und Wissensgewinn rund um die Themen „Membranen in Biorafiinerien“ bleiben wichtige technishce und applikative Forschungsfragen teils unbeantwortet. In der Kreislaufwirtschaft und innerhalb der Bio-basierten Industrie gewinnen Wasserrecycling, Trenn- und Abscheidetechnologien in kommunalen und industriellen Anwendungen zunehmend an Bedeutung. Diese, meist membranbasierten Technologien sind zentrale Elemente des europäischen Green Deals, Circular Economy Action Plans (CEAP) und des nationalm Energie- und Klimaplans (NEKP).

Die Überarbeitung, Strukturierung und Erweiterung des Leitfandens in den Kapiteln: Rückgwinnung wertvoller flüchtiger und nicht-flüchtiger Stoffe und den Fokus aus Membran Reaktoren und Membran Module sowie die Expertenmeinungen dazu zeigt das Potenzial zur Nutzung von Abwasser-Prozessabwärme, niederwertiger Prozessströme und den Einsatz von Memrbantechnologien für die stoffliche Trennung und Rückgewinnung von Wertstoffen innerhalb von Bioraffinerien.

Der Abwassersektor entwickelt sich daher vermehrt hin zu einer Bioraffinerie, die Wertstoffe aus Prouktionskreisläufen, Abläufen oder Kläranlagen zurückgewinnt. Neue Membrantechnologien, Geschäftsmodelle und Anwendungsfelder schaffen innovative Lösungen für bekannte Probleme in der Industriellen Produktion sowie Arbeitsplätze und fördern die Kreislaufwirtschaft in Österreich.

Die im IEA-Task 17 entwickelte Guideline bietet einen Überblick über neue Membranverfahren und deren Anwendung die wichtige zukünftige Forschungsbereiche umfassen:

- Abtrennung von wertvollen Gasen wie Wasserstoff (H_2) und Ammoniak (NH_3).
- Abtrennung wertvoller nicht volatiler Stoffe wie Carbonsäuren und Lignsulfonate.
- Entwicklung nachhaltige Membranen: PFAS frei, mit hoher Effizienz und geringer Umweltbelastung.
- Membranreaktoren: Verbesserung der Prozesseffizienz durch Kopplung von Reaktionen und Abtrennung sowie Behandlung von Strömen mit hohem Feststoffanteil.

Diese Bereiche sind strategisch wichtig für die Forschung in Österreich und werden die zukünftige Entwicklung der Membranverfahren maßgeblich beeinflussen. Membranverfahren können die Nachhaltigkeit und Effizienz in verschiedenen Industriezweigen verbessern, jedoch bedarf es weiterer Forschung, um ihre Anwendung in Bioraffinerien und in der Zellstoff- und Papierindustrie zu optimieren und bestmögliche Integration zu gewärleisten. Zukünftige Forschungsbereiche beinhalten die Abtrennung wertvoller Gase, die Entwicklung nachhaltiger Membranen und die Verbesserung der Prozesseffizienz durch innovative Membranreaktoren.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1. IEA IETS Task 17 Subtasks und nationale Koordinatoren (Subtask Titel in Engl.)..... 14
Tabelle 2: Workshop Program IEA Task 17 Workshop “Membranes in Biorefineries”, 18. September 2024..... 17

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. Internationales Konsortium IEA IETS Task 17 (Quelle: IEA). 13
Abbildung 2 Expertenabschätzung zur Auswirkung und potenziellen Machbarkeit des Einsatzes von Membrantechnologien zur Trennung und Wiedergewinnung von nichtflüchtigen Stoffen in Bioreaffienerien (Quelle: AEE INEC, Workshop Ergebnisse). 19
Abbildung 3. Expertenabschätzung zur Auswirkung und potenziellen Machbarkeit des Einsatzes von Membrantechnologien zur Trennung und Wiedergewinnung von flüchtigen Stoffen in Bioreaffienerien (Quelle: AEE INTEC, Workshop Ergebnisse). 20
Abbildung 4. Sammlung von Expertenmeinungen zu neuartigen Membranmaterialien und Membrankonfigurationen, deren Potenziale (Quelle: AEE INTEC, Workshop Ergenisse). 22
Abbildung 5 Deckblatt und Inhaltsverzeichnis der Leitlinie „Membranes in Biorefineries: Guideline 3.0“ (Quelle: AEE INTEC)..... 23
Abbildung 6 Einfluss der DCMD Betriebstemperatur auf den durchschnittlichen N-NH_4-Fluss (rechts) und die erreichbare Permeatkonzentration in nachfolgenden Experimenten (links) für die Rückgewinnung von > 90 % des N-NH4 aus flüssigen Gärresten aus der Biertrebervergärung (~3 g/l N-NH_4). 26
Abbildung 7 Grundprinzip der Ligninsulfonat-Extraktion mittels SLMP mit einem tertiären Amin als reaktivem Extraktionsmittel und Natriumhydroxid als Streifenphase. Adaptiert von Demmelmayer et al. (2020). 28
Abbildung 8 Flüssigkeitsmembranpermeation Aufbau im Labormaßstab: (a) Seitenansicht: Peristaltikpumpe, Zuführlösung, Strippinglösung, Membranmodul, Schlauch zur Reimprägnierung der Membranphase. (b) Ansicht Membranmodul des SLMP-Aufbaus im Labormaßstab (Demmelmayer, TU-Graz, 2018). 29
Abbildung 9 Übergang zwischen dem Feed und Strip Phase für Lignosulfonate (LS) über eine Membran basierte, selektiveExtraktion. 30
Abbildung 10 Konzeptionelle Betriebsarten eines neuartigen VMD-Flachmembranmoduls, für die Ammoniak-Entfernung aus Abwasser. Die Betriebsweisen (A) typischer VMD-Betrieb, (B) VM-Betrieb bei Temperaturgleichgewicht zwischen Feed- und Permeatseite, und (C) VMD-Betrieb bei Ausbildung eines Luftspalts, mit Trennung. Quelle: AEE INTEC, alle Rechte vorbehalten (Hoefer et al. 2024, Manuskript in Vorbereitung). 31
Abbildung 11 Modulares VMD-Flachmembranmodul für die Ammoniak Entfernung aus Abwasser. (A) Zufuhr (Feed) Seite der VMD-Prüfzelle nach dem Einbau der Membran; (B) Permeatseite nach dem Einbau des Abstandhalters; (C) Zusammengebaute Testzelle vor dem Einbau in die VMD-Laboranlage. Quelle: AEE INTEC, alle Rechte vorbehalten (Hoefer et al. 2024, Manuskript in Vorbereitung). 31

Literatur

Conteratto, Caroline, Felipe Dalzotto Artuzo, Omar Inácio Benedetti Santos, and Edson Talamini. 'Biorefinery: A Comprehensive Concept for the Sociotechnical Transition toward Bioeconomy'. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 151 (November 2021): 111527. https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111527.

Demmelmayer, Paul, Julio Hilgert, Robby Wijaya, and Marlene Kienberger. 'Screening of Reactive Extractants for the Lignosulfonate Extraction from Lignosulfonate Model Solution and Spent Sulfite Liquor'. *Industrial & Engineering Chemistry Research* 59, no. 37 (16 September 2020): 16420–26. https://doi.org/10.1021/acs.iecr.0c02525.

Fetting, Constanze. 'The European Green Deal'. Vienna: ESDN Office, 2020. https://www.esdn.eu/fileadmin/ESDN_Reports/ESDN_Report_2_2020.pdf.

Kienberger, Marlene, Paul Demmelmayer, Michael Weißl, Armin Zankl, and Stefan Spirk. 'Biobased Support Layers for the Fractionation and Selective Extraction of Lignosulfonates'. *Solvent Extraction and Ion Exchange* 38, no. 1 (2 January 2020): 132–41. https://doi.org/10.1080/07366299.2019.1691764.

'Österreichs Nationaler Energie- und Klimaplan (NEKP)'. Accessed 12 November 2024. https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/klimaschutz/nat_klimapolitik/energie_klimaplan.html.

Paar, Klaus, Julian Drausinger, Alexander Kaufmann, Richard Zweiler, and B. Muster-Slawitsch. 'BioProfit - Profitable Valorisation von Biogasgärresten Durch CO2-Speicherung Und Nährstoffrückgewinnung.' ACR final report. AEE INTEC, Gleisdorf, n.d.

Platzer, Christian. 'Valorisation of Biogas Digestate through Nutrient Recovery by Means of Membrane Distillation - The "BioProfit" Project'. Presented at the Progress in Manure & Digestate 2024, International Online Conference, 25 January 2024.

'Vereinte Nationen - 17 Ziele für nachhaltige Entwicklung (Sustainable Development Goals - SDG)', 7 December 2022. https://unric.org/de/17ziele/.

'Volatile Substance'. Accessed 10 December 2024. https://www.eionet.europa.eu/gemet/en/concept/11794.