

MEMBRANTECHNIK

Engineering, Auslegung und Optimierung von Membranprozessen für Industrie und Forschung.

Kreislaufwirtschaft

Vom Abfall zum Geschäft – durch Membrantechnik

Alain Messinger
18. März 2026

Ressourcen neu denken	2
Stoffkreislauf in der Natur	2
Stoffkreislauf in der Wirtschaft	3
Herausforderung Wirtschaftlichkeit	3
Abfall, Wertstoff	4
Wertschöpfungsspanne	4
Marktwert und Wertschöpfung	5
Technologischer Reifegrad	7
Chancen auf Erfolg erhöhen	8
Erfolgsfaktor Membrantechnik	9
Entscheidend: TRL 4	9
Mini-Membranzellen	10
Neben- und Abfallströme Lebensmittelindustrie	11

Ressourcen neu denken

Dieser Beitrag untersucht die ökonomischen Voraussetzungen für die Schliessung von Stoffkreisläufen in der Agroindustrie. Im Zentrum steht die Erkenntnis, dass Abfall weniger ein stoffliches als vielmehr ein systemisches und ökonomisches Problem darstellt: Was für den einen Akteur ein Abfall ist, kann für einen anderen als wertvoller Rohstoff dienen.

Die Wirtschaftlichkeit solcher Kreisläufe hängt entscheidend von der Wertschöpfungsspanne ab, also der Differenz zwischen den Kosten der Bereitstellung, Sammlung und Aufbereitung eines Stoffstroms und dem erzielbaren Marktpreis für die daraus gewonnenen Produkte. Wenn diese Spanne ausreichend gross ist, entstehen Geschäftsmodelle.

Membrantechnologien spielen dabei eine zentrale Rolle, da sie es ermöglichen, Stoffströme selektiv zu trennen und in höherwertige Produkte zu überführen. Dadurch können sowohl Erlöse gesteigert als auch Prozesskosten gesenkt werden. Um Wirtschaftlichkeit zu erreichen, müssen die technologischen Möglichkeiten sinnvoll miteinander kombiniert werden.

Stoffkreislauf in der Natur

Ein Beispiel für das Prinzip der Kreislaufwirtschaft ist ein *Baum im Jahreszyklus*.

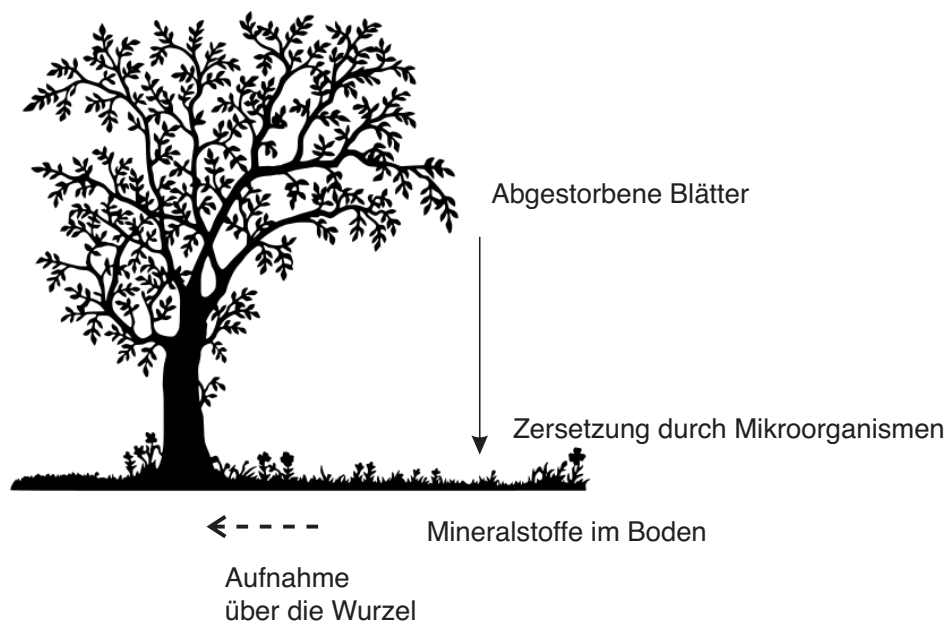


Abbildung 1. Kreislauf-Beispiel anhand eines Baumes.

Abgestorbene Blätter fallen zu Boden und werden durch Mikroorganismen zersetzt. Dabei entstehen Mineralstoffe, die über den Boden wieder von den Wurzeln aufgenommen werden. Diese Nährstoffe ermöglichen die Bildung neuer Blätter durch Wiederverwendung (geschlossener Kreislauf).

Das Beispiel verdeutlicht den Stoffkreislauf in der Natur, ohne wirtschaftliche Aspekte zu berücksichtigen. Ein ähnliches Prinzip lässt sich auch auf wirtschaftliche Prozesse übertragen.

Stoffkreislauf in der Wirtschaft

In einem wirtschaftlichen System, in dem Produkte hergestellt und anschliessend konsumiert werden, entstehen zwangsläufig auch Stoffkreisläufe. Rohstoffe werden in Produktionsprozessen verarbeitet und als fertige Produkte an Konsumentinnen und Konsumenten abgegeben. Nach der Nutzung können diese Produkte entsorgt, recycelt oder wiederverwendet werden.

Im Gegensatz zu natürlichen Kreisläufen ist der wirtschaftliche Kreislauf jedoch oft nicht vollständig geschlossen: Ressourcen gehen verloren, und Abfälle können nicht immer vollständig wieder in den Kreislauf zurückgeführt werden. Ansätze der Kreislaufwirtschaft zielen deshalb darauf ab, diese Prozesse stärker an natürliche Systeme anzulehnen, indem Materialien möglichst lange genutzt und Abfälle minimiert werden.

Was für den einen Akteur Abfall ist, kann für einen anderen ein wertvoller Rohstoff sein. Um solche Potenziale zu nutzen, müssen Kreisläufe häufig über einzelne Unternehmen hinaus – und teilweise sogar über Ländergrenzen hinweg – organisiert werden. Die zentrale Herausforderung liegt dabei in der Wirtschaftlichkeit: Damit Kreisläufe erfolgreich umgesetzt und langfristig aufrechterhalten werden können, müssen sie für die beteiligten Akteure ökonomisch attraktiv sein.

Kreislaufwirtschaft

Definition

Die Kreislaufwirtschaft (*Circular Economy*) beschreibt ein Wirtschafts- und Produktionssystem, das Stoffkreisläufe schliesst und den Verbrauch primärer Ressourcen minimiert.

→ [Kreislaufwirtschaft \(Wikipedia\)](#)

Die Kreislaufwirtschaft basiert auf der gezielten Rückgewinnung und der Wiederverwendung von Rohstoffen.

Herausforderung Wirtschaftlichkeit

Unternehmen handeln kosten- und nutzenorientiert. Wenn die Rückführung, Wiederverwertung oder das Recycling von Materialien mit höheren Kosten verbunden ist als die Nutzung neuer Rohstoffe, fehlt der Anreiz, Kreisläufe zu schliessen. Daher spielen wirtschaftliche Rahmenbedingungen, technologische Möglichkeiten und regulatorische Vorgaben eine entscheidende Rolle.

Besonders anspruchsvoll wird die Kreislaufschliessung, wenn sie über einzelne Unternehmen hinausgeht. Oft müssen mehrere Firmen entlang der Wertschöpfungskette zusammenarbeiten, um Materialien wieder in den Produktionsprozess zurückzuführen. Dies kann sich über ganze Regionen oder sogar über Landesgrenzen hinweg erstrecken. Unterschiedliche gesetzliche Regelungen, Transportkosten sowie organisatorische und logistische Herausforderungen erschweren dabei die Umsetzung.

Um solche übergreifenden Kreisläufe wirtschaftlich attraktiv zu machen, sind innovative Geschäftsmodelle, Kooperationen sowie geeignete politische Anreize erforderlich. Ziel ist es, ökologische Vorteile mit ökonomischem Nutzen zu verbinden, sodass nachhaltige Kreisläufe nicht nur möglich, sondern auch rentabel sind.

Die treibende Kraft hinter wirtschaftlich orientierten Kreisläufen ist die Marge – also der Gewinn, der durch die Umwandlung von Abfall in ein marktfähiges Produkt entsteht.

Wertschöpfung

Definition

Unter Wertschöpfung wird in diesem Zusammenhang der Prozess verstanden, durch den ein Material oder ein Produkt entlang verschiedener Verarbeitungsschritte an wirtschaftlichem Wert gewinnt. Im Sinne der Kreislaufwirtschaft bedeutet dies insbesondere die Umwandlung von vermeintlichem Abfall in einen nutzbaren Rohstoff oder ein marktfähiges Produkt.

Wertschöpfung entsteht dabei durch Tätigkeiten wie Sammlung, Sortierung, Aufbereitung, Veredelung und Wiedereinsatz von Materialien. Entscheidend ist, dass durch diese Prozesse ein höherer Nutzen oder Marktwert erzielt wird als im ursprünglichen Zustand. Im Kontext von Kreisläufen umfasst Wertschöpfung somit alle Aktivitäten, die dazu beitragen, Materialien möglichst lange und effizient im Wirtschaftssystem zu halten und ihren ökonomischen sowie ökologischen Nutzen zu maximieren.

Entscheidend ist dabei die Entwicklung geeigneter Verfahren, mit denen Materialien effizient gesammelt, aufbereitet und in neuer Form wieder in den Produktionsprozess integriert werden können. Solche Prozesse erfordern technisches Know-how, Infrastruktur sowie eine sorgfältige Abstimmung entlang der gesamten Wertschöpfungskette.

Die zentrale Herausforderung besteht darin, diese Prozesse wirtschaftlich tragfähig zu gestalten. Nur wenn sich die Umwandlung von Abfällen in neue Produkte rechnet, werden Unternehmen bereit sein, entsprechende Investitionen zu tätigen und langfristig auf Kreislaufmodelle zu setzen. Dabei spielen Faktoren wie Prozesskosten, Marktpreise für Sekundärrohstoffe, Skaleneffekte und regulatorische Rahmenbedingungen eine wesentliche Rolle.

Abfall, Wertstoff

Es zeigt sich immer wieder, dass der Abfall des einen Akteurs häufig den Rohstoff eines anderen darstellt. Abfall ist daher weniger ein stoffliches als vielmehr ein *systemisches Problem*. Dies gilt in besonderem Mass für Neben- und Reststoffe aus der Agroindustrie, wo Abfallströme oft als Ausgangsstoffe für neue Produkte oder Verfahren genutzt werden können.

Aus konzeptioneller Sicht stellt Abfall in der Agroindustrie somit kein primär stoffliches, sondern vielmehr ein ökonomisches Konstrukt dar. Nahezu jeder Stoffstrom lässt sich technisch in verwertbare Moleküle überführen, wobei der Membrantechnik eine Schlüsselrolle zukommt.

Systemisches Problem

Ein systemisches Problem ist ein Problem, das nicht durch einzelne Elemente verursacht wird, sondern aus den Strukturen, Wechselwirkungen und Rahmenbedingungen eines gesamten Systems entsteht.

Systemische Lösung

Eine systemische Lösung in der Lebensmittelindustrie besteht darin, Produktion, Verarbeitung, Logistik und Nutzung so zu vernetzen und auszurichten, dass Neben- und Reststoffe entlang der gesamten Wertschöpfungskette als Ressourcen genutzt und wirtschaftlich in neue Prozesse integriert werden.

Wertschöpfungsspanne

Eine Kreislaufschliessung ist aus wirtschaftlicher Sicht dann interessant, wenn eine ausreichend grosse Spanne zwischen dem Preis besteht, den ein Akteur für den aufbereiteten Rohstoff zu zahlen bereit ist, und dem Preis beziehungsweise den Kosten, zu denen dieser Rohstoff am Ort seines Anfalls be-

reitgestellt, gesammelt und aufbereitet werden kann.

Diese Spanne wird als Wertschöpfung bezeichnet. Sie beschreibt die Differenz zwischen dem erzielbaren Marktpreis für den aufbereiteten Rohstoff und den Kosten für dessen Bereitstellung, Sammlung und Aufbereitung. Nur wenn die Spanne ausreichend gross ist, wird eine Kreislaufschliessung wirtschaftlich attraktiv.

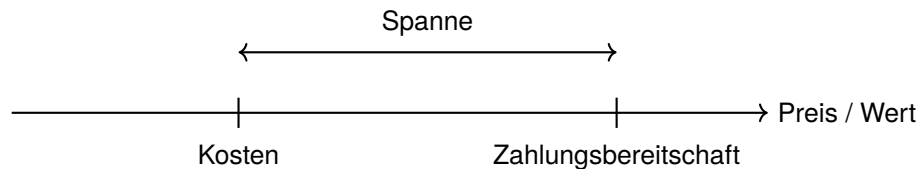


Abbildung 2. Schematische Darstellung der ökonomischen Bedingung für eine Kreislaufschliessung: Eine Realisierung ist dann wirtschaftlich sinnvoll, wenn die Zahlungsbereitschaft für den aufbereiteten Rohstoff die Kosten für Bereitstellung, Sammlung und Aufbereitung übersteigt und eine positive ökonomische Spanne entsteht.

Die Membrantechnik spielt hierbei eine zentrale Rolle, da sie in der Lage ist, Abfallströme so zu transformieren, dass die Wertschöpfungsspanne vergrössert wird. Durch selektive Trenn- und Aufbereitungsprozesse können wertvolle Inhaltsstoffe isoliert und in höherwertige Produkte überführt werden, was sowohl die erzielbaren Erlöse erhöht als auch die Prozesskosten senken kann.

Marktwert und Wertschöpfung

Um mögliche Wertschöpfungspotenziale beurteilen zu können, sind insbesondere zwei Fragen entscheidend:

- a) Welchen Marktwert hat ein Stoff, wenn er in definierter Qualität bereitgestellt wird?
- b) Welche Technologien oder Verfahren sind erforderlich, um diese Qualität zuverlässig zu erreichen?

Der Marktwert eines Stoffes wird nicht allein durch seine Spezifität, Reinheit und Funktionalität bestimmt, sondern massgeblich auch durch den wahrgenommenen Nutzen aus Sicht potenzieller Anwender.

Der Marktwert des Endprodukts setzt die obere Grenze für die mögliche Wertschöpfung. Wertschöpfung entsteht, wenn es gelingt, einen Stoff so zu transformieren, dass sein Marktwert steigt. Ob Wertschöpfung realisiert wird, hängt davon ab, ob die Kosten der Aufbereitung geringer sind als der erzielbare Marktwert.

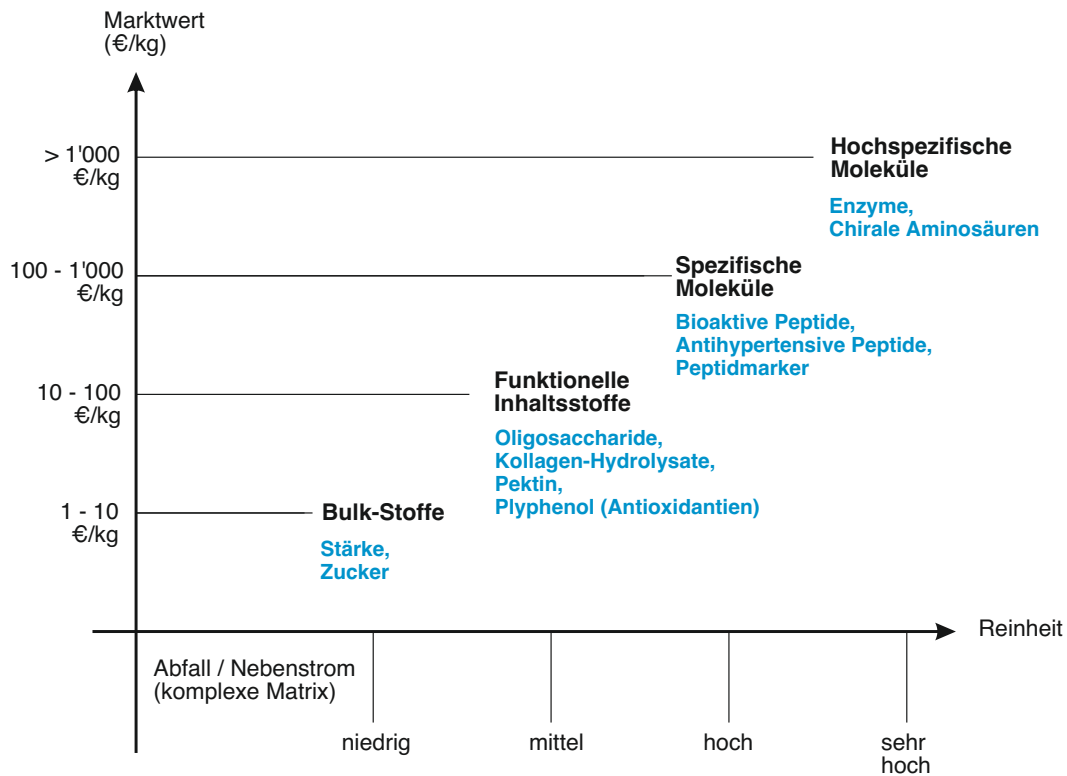


Abbildung 3. Schematische Darstellung des Zusammenhangs zwischen Aufreinigungsgrad und Marktwert. Durch Downstream-Processing können komplexe Abfall- und Nebenströme aus der Agro-Industrie in höherwertige, marktfähige Fraktionen überführt werden.

1. Der wirtschaftliche Wert eines Stoffes wird primär durch seine Funktion und Qualität bestimmt, nicht durch die verfügbare Menge.
2. Hohe Zielstoffwerte können einen geringeren technologischen Reifegrad wirtschaftlich kompensieren.
3. Membranbasierte Trennverfahren ermöglichen eine Transformation industrieller Stoffströme von niedrigwertigen Massenströmen hin zu hochpreisigen Spezialitäten.
4. Eine wirtschaftlich tragfähige Kreislaufwirtschaft erfordert eine wertbasierte statt einer rein mengenbasierten Betrachtung von Stoffströmen.

Technologischer Reifegrad

Entscheidend für die praktische Umsetzung ist nicht allein die Wahl der geeigneten Technologie, sondern ebenso der technologische Reifegrad (*Technology Readiness Level*) des jeweiligen Verfahrens. Der Technology Readiness Level (TRL) ist ein standardisiertes Mass zur Bewertung des technologischen Reifegrads einer Technologie. Er beschreibt, wie nah eine Idee an der industriellen Anwendung ist – unabhängig davon, wie innovativ oder wirtschaftlich attraktiv sie sein kann.

Tabelle 1. Technology Readiness Level (TRL) Skala

TRL	Bezeichnung	Prozess- und Membrankontext
TRL 1	Grundprinzip beobachtet	Physikalische oder chemische Trennmechanismen werden identifiziert und theoretisch beschrieben.
TRL 2	Technologiekonzept formuliert	Ein Membran- oder Trennverfahren wird konzeptionell skizziert, ohne experimentelle Validierung.
TRL 3	Experimenteller Nachweis	Die Machbarkeit wird im Labormassstab mit Modelllösungen demonstriert.
TRL 4	Validierung im Labor	Der Prozess wird mit realen oder realitätsnahen Stoffströmen im Labormassstab getestet.
TRL 5	Validierung in relevanter Umgebung	Der Betrieb erfolgt mit komplexen Matrizes unter repräsentativen Prozessbedingungen.
TRL 6	Demonstration im Pilotmassstab	Eine kontinuierlich betriebene Pilotanlage wird mit realen Stoffströmen getestet.
TRL 7	Demonstration im industriellen Umfeld	Der Prozess wird bei einem Industriepartner unter Praxisbedingungen eingesetzt.
TRL 8	System vollständig qualifiziert	Anlage und Prozess sind technisch validiert und für den industriellen Betrieb freigegeben.
TRL 9	Industriell etabliert	Der Prozess ist im Routinebetrieb etabliert und kommerziell im Einsatz.

Quelle: European Commission (2014): Technology Readiness Levels (TRL). HORIZON 2020 Work Programme.

Der Technology Readiness Level (TRL) hat sich als internationaler Standard zur Bewertung des technologischen Reifegrads von Innovationen etabliert. Ursprünglich von der NASA entwickelt, wird das Konzept heute breit in der angewandten Forschung, in Förderprogrammen sowie in industriellen Entwicklungsprojekten eingesetzt, unter anderem auch im europäischen Kontext und in Deutschland.

Die weite Verbreitung des TRL-Ansatzes lässt sich auf mehrere Faktoren zurückführen. Erstens bietet er eine einfache und klar strukturierte Skala, die den Entwicklungsfortschritt von Technologien in nachvollziehbare Stufen unterteilt. Zweitens ermöglicht er eine standardisierte Kommunikation zwischen unterschiedlichen Akteuren wie Forschungseinrichtungen, Industriepartnern und Förderinstitutionen. Drittens schafft er Transparenz über den Reifegrad einer Technologie und erleichtert damit Entscheidungsprozesse hinsichtlich Investitionen, Kooperationen und weiterer Entwicklungsaktivitäten.

Aufgrund dieser Eigenschaften hat sich TRL als de facto Referenzrahmen etabliert, insbesondere an den Schnittstellen zwischen Forschung, Entwicklung und industrieller Anwendung.

Chancen auf Erfolg erhöhen

Betrachtet man den Verlauf von Innovationsprojekten entlang der Technology Readiness Levels (TRL 1–9), zeigt sich, dass die meisten Vorhaben im Übergang von TRL 3 zu TRL 5 stecken bleiben. Während die technische Machbarkeit im Labormassstab (TRL 3–4) häufig erfolgreich demonstriert werden kann, scheitert die Weiterentwicklung oft an der Übertragung in realitätsnahe Prozessbedingungen und an der Skalierung in Richtung Pilotanlagen.

Die Hauptursache liegt weniger in der technischen Umsetzbarkeit als vielmehr in der wirtschaftlichen und systemischen Komplexität. Reale Stoffströme sind variabel, enthalten Störstoffe und führen zu Effekten wie Fouling oder unerwarteten Wechselwirkungen. Gleichzeitig steigen die Anforderungen an Prozessstabilität, Integration in bestehende Infrastrukturen sowie an Investitions- und Betriebskosten. Hinzu kommt, dass die Wertschöpfungsspanne in frühen Phasen oft unklar ist, was Investitionsentscheidungen erschwert.

Um die Erfolgchancen zu erhöhen, ist es entscheidend, bereits im TRL-4-Stadium systematisch unter realitätsnahen Bedingungen zu arbeiten. Der Einsatz von kleinen, computergesteuerten Versuchssystemen ermöglicht es, Prozessparameter effizient zu variieren, kritische Effekte frühzeitig zu identifizieren und belastbare Daten für die techno-ökonomische Bewertung zu generieren. Parallel dazu sollten wirtschaftliche Fragestellungen – insbesondere Kostenstrukturen, Marktpreise und Skaleneffekte – von Anfang an mitgedacht werden.

Ein integrativer Ansatz, der technische Entwicklung und wirtschaftliche Bewertung eng verzahnt, erhöht die Wahrscheinlichkeit erheblich, dass Projekte den Übergang vom Labormassstab zur industriellen Anwendung erfolgreich bewältigen.

Erfolgsfaktor Membrantechnik

An den Beginn dieses Abschnitts werden typische Einwände gestellt, die in Gesprächen mit Produktionsverantwortlichen regelmässig geäussert werden, wenn Möglichkeiten zur Rückgewinnung von Wertstoffen und Wasser aus Prozessströmen diskutiert werden. Diese Einwände reflektieren die betrieblichen Rahmenbedingungen und Prioritäten, unter denen solche Ansätze bewertet werden. Gleichzeitig zeigt sich aus technischer Perspektive, insbesondere unter Einsatz membranbasierter Trennverfahren, dass in vielen dieser Stoffströme ein bislang ungenutztes Potenzial zur stofflichen und wirtschaftlichen Nutzung vorhanden ist.

Typische, praxisnahe Einwände, wie sie in Gesprächen mit Produktionsleitern häufig auftreten:

Typischer Einwand	Einordnung / Antwort
Das lohnt sich wirtschaftlich nicht.	Die Wirtschaftlichkeit hängt stark von der Wertschöpfungsspanne ab. Durch geeignete Trenntechnologien können Konzentrationen erhöht und damit Erlöse signifikant gesteigert werden.
Unsere Volumen und Konzentrationen sind zu gering.	Auch verdünnte Stoffströme können durch selektive Aufkonzentration wirtschaftlich nutzbar gemacht werden, insbesondere bei hochpreisigen Zielmolekülen.
Das ist zu komplex für unseren Betrieb.	Modular aufgebaute und automatisierte Systeme erlauben eine Integration ohne tiefgreifende Eingriffe in bestehende Prozesse.
Wir wollen kein zusätzliches Betriebsrisiko.	Pilot- und TRL-4-Studien ermöglichen eine realitätsnahe Validierung, wodurch technische Risiken frühzeitig identifiziert und minimiert werden können.
Wir haben dafür weder Platz noch Ressourcen.	Kompakte, containerisierte Anlagenlösungen reduzieren den Platzbedarf und können mit minimalem zusätzlichem Personal betrieben werden.
Das ist nicht unser Kerngeschäft.	Neue Geschäftsmodelle, Kooperationen oder Outsourcing-Ansätze ermöglichen die Nutzung von Reststoffen, ohne eigene Kompetenzen vollständig aufbauen zu müssen.

Tabelle 2. Typische Einwände und Einordnung bei der Nutzung von Prozesswässern als Wertstoffquelle

Die vorgebrachten Einwände sind ernst zu nehmen und spiegeln die praktischen Erfahrungen und Rahmenbedingungen der Betriebe wider. In einer objektiven Betrachtung zeigt sich jedoch, dass sie einer systematischen Analyse in vielen Fällen nicht standhalten und durch geeignete technische und wirtschaftliche Konzepte adressiert werden können.

Entscheidend: TRL 4

Aus Sicht der praktischen Umsetzung ist eine Demonstration der Aufarbeitung und Rückgewinnung auf Stufe TRL 4 von zentraler Bedeutung. Für betriebliche Entscheidungsträger ist dabei weniger die theoretische Machbarkeit als vielmehr der konkrete Nachweis unter realen Bedingungen entscheidend. Eine solche Demonstration ermöglicht es, Potenziale und Grenzen direkt am eigenen Stoffstrom zu bewerten und reduziert damit Unsicherheiten hinsichtlich technischer Umsetzbarkeit und wirtschaftlicher Relevanz.

Die Validierung im TRL-4-Bereich stellt einen entscheidenden Schritt zwischen konzeptioneller Entwicklung und anwendungsnaher Demonstration dar. Besonders relevant ist in diesem Zusammenhang der Einsatz von kleinen, computergesteuerten Mini-Membransystemen. Diese ermöglichen es, Prozesse mit realen Stoffströmen im Labormassstab zu untersuchen, ohne die Komplexität und Kosten grosser Pilotanlagen in Kauf nehmen zu müssen.

Durch die hohe Automatisierbarkeit und präzise Steuerbarkeit solcher Systeme lassen sich Prozessparameter systematisch variieren und deren Einfluss auf Trennleistung, Foulingverhalten und Energieeffizienz detailliert analysieren. Gleichzeitig erlauben sie eine Parallelisierung von Experimenten, wodurch unterschiedliche Betriebsbedingungen oder Membranmaterialien effizient verglichen werden können.

Ein weiterer Vorteil liegt in der Skalierbarkeit der gewonnenen Daten. Miniaturisierte Systeme liefern reproduzierbare und quantitativ belastbare Ergebnisse, die als Grundlage für das Upscaling in den Pilotmassstab (TRL 5–6) dienen. Damit reduzieren sie Entwicklungsrisiken und ermöglichen eine frühzeitige techno-ökonomische Bewertung.

Insgesamt ermöglichen computergesteuerte Mini-Membransysteme eine schnelle, flexible und kosteneffiziente Validierung von Trennprozessen im TRL-4-Stadium und leisten damit einen wesentlichen Beitrag zur Überführung technischer Potenziale in wirtschaftlich tragfähige Anwendungen.

Mini-Membranzellen

Neben- und Abfallströme Lebensmittelindustrie

Es gibt immer mehr Verfahren, bei denen aus Neben- oder Abfallströmen spezifische, wertvolle Moleküle zurückgewonnen werden.

Alle in der Liste aufgeführten Produkte können mit Kleinanlagen hergestellt werden.

Tabelle 3. Beispiele für die Aufwertung von Neben- und Reststoffen in der Lebensmittel- und Agroindustrie

Quelle / Reststoff	Zielprodukt	Beschreibung / Nutzen
Molkepermeat	Oligosaccharide	Molkepermeate enthalten neben Laktose auch bioaktive Oligosaccharide, die für Säuglingsnahrung oder funktionelle Lebensmittel genutzt werden können.
Molke- und Käseabwässer	Molkenproteine / Peptide	Wertgebende Proteinfractionen können konzentriert und für Sporternährung, funktionelle Lebensmittel oder Spezialformulierungen genutzt werden.
Fischnebenprodukte	Bioaktive Peptide	Durch enzymatische Hydrolyse und anschließende Fraktionierung lassen sich antioxidative oder antihypertensive Peptide gewinnen.
Fischverarbeitungsabwässer	Kollagen / Gelatinefragmente	Gelöste Proteinfractionen können zurückgewonnen und in Lebensmitteln, Kosmetik oder Biomaterialien eingesetzt werden.
Tomatenschalen und Paprikareststoffe	Carotinoide (z. B. Lycopin, Capsanthin)	Hochwertige Farbstoffe mit Anwendungen in der Lebensmittel-, Kosmetik- und Nutraceutical-Industrie.
Zitrusschalen	Pektin	Pektin ist ein gefragter Rohstoff für Gelier- und Stabilisierungsmittel in der Lebensmittelindustrie.
Apfeltrester	Polyphenole / Ballaststoffe	Polyphenole eignen sich als funktionelle Inhaltsstoffe, Ballaststoffe als Zutat für Backwaren oder Nahrungsergänzungsmittel.
Traubentrester	Polyphenole / Anthocyane	Die phenolischen Verbindungen weisen antioxidative Eigenschaften auf und besitzen hohes Potenzial für Lebensmittel- und Kosmetikanwendungen.
Beerentrester	Anthocyane / Aromaextrakte	Farb- und Aromastoffe können aus Restströmen gewonnen und als natürliche Zutaten vermarktet werden.
Krustentierschalen	Chitin- und Chitosan-Oligomere	Kurzkettige Oligomere mit pharmakologischer und technologischer Relevanz erfordern eine präzise Aufarbeitung.
Biotechnologische Prozessabwässer	Enzyme	Niedrig konzentrierte, aber hochaktive Enzyme können mit technisch anspruchsvollen, jedoch ökonomisch attraktiven Verfahren zurückgewonnen werden.
Fermentationsbrühen	Organische Säuren	Milchsäure, Zitronensäure oder Bernsteinsäure können konzentriert und gereinigt werden.
Melasse aus der Zuckerindustrie	Aminosäuren / organische Säuren	Nebenprodukte können durch Fermentation und Trennprozesse in hochwertige Plattformchemikalien überführt werden.

Quelle / Reststoff	Zielprodukt	Beschreibung / Nutzen
Brauereitreber	Proteine / Ballaststoffe	Nutzung als funktionelle Lebensmittelzutat, für Fleischalternativen oder in der Futtermittelindustrie.
Brauereiabwässer	Hefederivate / Mannoproteine	Zellbestandteile und lösliche Fraktionen können als Zusatzstoffe oder Futtermittelkomponenten genutzt werden.
Kartoffelverarbeitungsnebenströme	Proteine (z. B. Patatin)	Hochwertige pflanzliche Proteine für Lebensmittel-, Futtermittel- oder Spezialanwendungen.
Kartoffelfruchtwasser	Aminosäuren / Mineralstofffraktionen	Gelöste Inhaltsstoffe können konzentriert und in Futtermitteln oder als Fermentationssubstrate genutzt werden.
Nebenströme der Fruchtsaftproduktion	Polyphenole	Antioxidative Verbindungen mit hohem Marktwert für Nahrungsergänzungsmittel oder funktionelle Getränke.
Fruchtsaftnebenströme	Aromastoffe	Flüchtige oder gelöste Aromakomponenten lassen sich zurückgewinnen und in neuen Produkten einsetzen.
Nebenströme der Pflanzenölextraktion	Phospholipide (Lecithin)	Lecithin ist als Emulgator in Lebensmitteln und pharmazeutischen Anwendungen gefragt.
Ölsaatenpresskuchen	Proteinisolate	Sonnenblumen-, Raps- oder Sojareststoffe enthalten wertvolle Proteinfractionen.
Nebenströme der Sojaverarbeitung	Isoflavone / Proteine	Wertgebende sekundäre Pflanzenstoffe und Proteine können für Spezialprodukte genutzt werden.
Nebenströme der Reisverarbeitung	Reisproteine / Stärkefraktionen	Fraktionierte Bestandteile eignen sich für glutenfreie Lebensmittel und Spezialanwendungen.
Nebenströme der Maisverarbeitung	Xylooligosaccharide / Proteine	Restströme können in Präbiotika oder Futtermittelkomponenten überführt werden.
Nebenströme der Kaffeeproduktion	Koffein / Polyphenole	Koffein und antioxidative Verbindungen sind für Lebensmittel, Getränke und Kosmetik interessant.
Kakaoschalen	Polyphenole / Ballaststoffe	Die Schalen enthalten wertgebende Inhaltsstoffe für funktionelle Lebensmittel oder Extrakte.
Nebenströme der Pilzproduktion	Beta-Glucane / Proteine	Zellwandbestandteile und lösliche Fraktionen besitzen Potenzial für Immunonutrition und funktionelle Lebensmittel.
Algenbiomasse	Pigmente / Proteine / Omega-3-reiche Fraktionen	Algenreststoffe bieten hohes Potenzial für hochwertige Inhaltsstoffe mit Spezialanwendungen.
Schlachthofnebenprodukte	Kollagen / Peptide	Proteinhaltige Reststoffe können in Gelatine, Kollagenhydrolysate oder technische Produkte überführt werden.
Geflügelnebenprodukte	Fette / Proteinhydrolysate	Durch geeignete Aufarbeitung entstehen Futtermittelkomponenten oder Spezialfette.
Eierschalen	Calciumverbindungen / Membranproteine	Mineralische und organische Fraktionen können getrennt und weiterverwertet werden.
Gemüsewaschwässer	Zucker / organische Säuren / Aromastoffe	Verdünnte, aber wertgebende Inhaltsstoffe können konzentriert und erneut genutzt werden.

Quelle / Reststoff	Zielprodukt	Beschreibung / Nutzen
Nebenströme der Konservenindustrie	Salz- und Würzlösungen	Prozesslösungen enthalten gelöste Stoffe, die zurückgewonnen oder intern wiederverwendet werden können.
Molkereiwässer	Laktose / Mineralstoffe	Verdünnte Nebenströme enthalten wertvolle Inhaltsstoffe, die für Futtermittel, Fermentation oder technische Anwendungen nutzbar sind.

Literatur

- [1] Belitz, H.-D.; Grosch, W.; Schieberle, P.: *Lebensmittelchemie*. 7. Auflage. Berlin: Springer Spektrum, 2015. ISBN 978-3-642-12862-6.
- [2] Buchner, J.; Becker, G. W.; Meyer, A.: *Lebensmittelchemie*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 2018. ISBN 978-3-13-147321-6.
- [3] Chmiel, H.: *Bioprozesstechnik*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2011. ISBN 978-3-642-12450-5.
- [4] Jaeger, K.-E.: *Einführung in die Enzymtechnologie*. Heidelberg: Springer Spektrum, 2014. ISBN 978-3-642-41785-0.
- [5] Kuriyan, J.; Konforti, B.; Wemmer, D.: *The Molecules of Life: Physical and Chemical Principles*. New York, Abingdon: Garland Science, Taylor & Francis Group, 2013. ISBN 978-0-8153-4188-8.
- [6] Takors, R.: *Kommentierte Formelsammlung Bioverfahrenstechnik*. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2014. ISBN 978-3-658-03669-7.