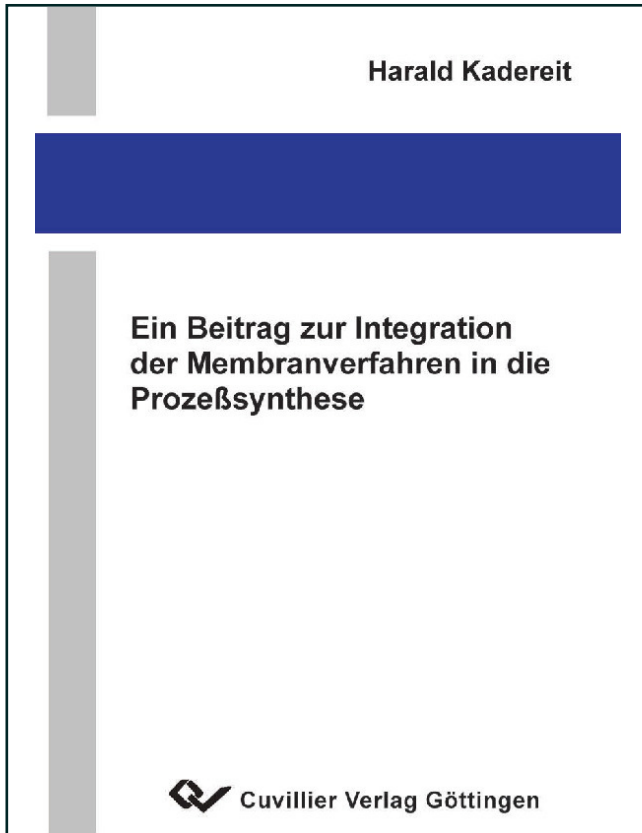




Harald Kadereit (Autor)

Ein Beitrag zur Integration der Membranverfahren in die Prozeßsynthese



<https://cuvillier.de/de/shop/publications/3361>

Copyright:

Cuvillier Verlag, Inhaberin Annette Jentsch-Cuvillier, Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen, Germany

Telefon: +49 (0)551 54724-0, E-Mail: info@cuvillier.de, Website: <https://cuvillier.de>

1 Einleitung

In den letzten Jahren hat der Einsatz der Membrantechnik deutlich zugenommen. Im Jahr 1998 lag der Wert installierter Membrananlagen bei ca. 4,4 Milliarden US\$ mit einer prognostizierten Gesamtwachstumsrate von über 8 %/a, davon 400 Millionen US\$ für die Umkehrosiose mit einem Wachstum von ca. 10 %/a [1]. Der relative Anteil der Membranverfahren am Gesamtumsatz hat sich von 1996 bis 1998 nur geringfügig verändert (vgl. Abb. 1-1) [2]. Nach neuen Schätzungen werden für 2000 bei Membrananlagen im Querstrombetrieb weltweit sogar 4,7 Milliarden US\$ erwartet. Auf Deutschland entfallen dabei ca. 200 Millionen US\$, davon 57 Millionen für die Umkehrosiose [3]. Neben ständigen Verbesserungen der Membran und der Module haben Anlagentechnik und sinkende Produktionskosten zur Verbreitung der Membranverfahren beigetragen. Besonders letztgenannter Punkt ermöglicht der Membrantechnik, neue Anwendungsfelder zu gewinnen, in denen ein Einsatz bisher unwirtschaftlich erschien.

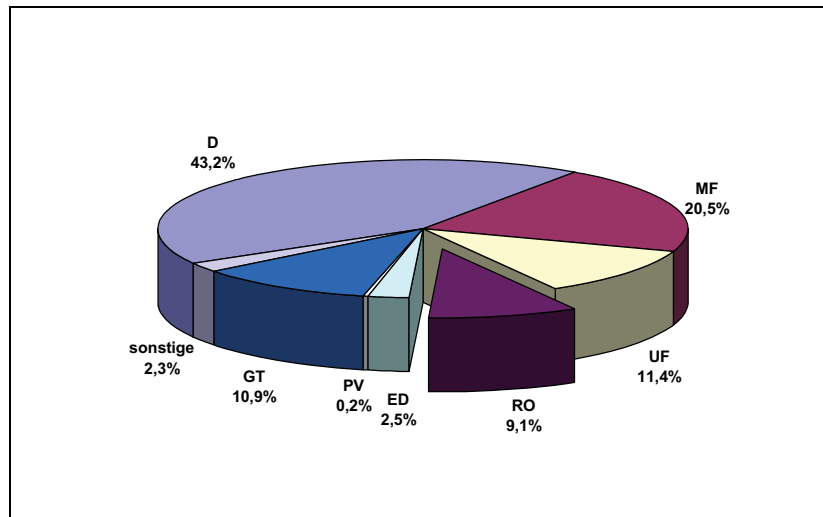


Abb. 1-1: Relativer Anteil der einzelnen Membranverfahren am Gesamtumsatz 1998 [1]
– MF: Mikrofiltration, UF: Ultrafiltration; RO: Umkehrosiose; ED: Elektrodialyse;
PV: Pervaporation; GT: Gastrennung; D: Dialyse

Entscheidenden Anteil daran, daß sich die Membranverfahren in vielen Bereichen als wirtschaftliche Alternative erwiesen haben, hatte die Entwicklung der asymmetrischen Celluloseacetat-Membran von Loeb und Sourirajan in den sechziger Jahren des 20. Jahrhunderts [4]. Diese Membran führte mittels der dünnen Aktivschicht zu höheren Permeatflüssen und durch die geringere zu installierende Fläche bei niedrigerem Betriebsdruck zu einer deutlichen Kostenreduzierung. Die Umkehrosiose wurde als Alternative zur Mehrstufenverdampfung bei der Meerwasserentsalzung wirtschaftlich attraktiv.

Nach wie vor liegt die Mehrzahl der Anwendungen der Umkehrosiose und Nanofiltration in der Aufbereitung wäßriger Lösungen. Zusammen mit der Ultra- und Mikrofiltration sind diese druckgetriebenen Membranverfahren in der Wasser- und Abwassertechnik nicht mehr wegzudenken. Der Umsatz der Membrantechnik lag 1998 im Bereich Wasser-/

Abwassertechnik bei ca. 750 Millionen US\$ [1]. Bei der Trinkwassergewinnung aus Meer- oder Brackwasser entfielen 1994 immerhin mit etwa 5 Millionen Kubikmeter pro Tag ca. 1/3 der aufbereiteten Menge auf die Umkehrosmose [5]. Sie kann daher auch als Standardverfahren in diesem Bereich angesehen werden.

Eine Analyse der veröffentlichten Applikationen der Membranverfahren außerhalb der Trinkwassergewinnung verdeutlicht, daß der Einsatz der Membrantechnik meistens „end-of-pipe“ erfolgt. Bedingt durch immer schärfere Umweltauflagen und -gesetze müssen die bei der Produktion entstehenden Abfall- und Abwasserströme verringert oder vollständig vermieden werden. Wirtschaftlichen Anreiz bietet dabei nicht nur die Reduzierung der Entsorgungs- und Einleitungskosten sondern auch die Einsparung von Rohmaterialien durch mögliche Rückführung des abgereinigten Stoffstromes. Eine Alternative stellt der eigentliche Verfahrensprozeß dar. Der Prozeß wird so geändert, daß die Schadstoffe gar nicht erst entstehen. Dieser produktionsintegrierte Umweltschutz stellt hohe Anforderungen an das Engineering: Es müssen bei der Überprüfung der Anlage systematisch alle Verfahren hinterfragt und nach günstigeren Alternativen gesucht werden. Dies setzt umfassende Kenntnisse sowohl der etablierten Trennverfahren als auch der Neuentwicklungen voraus. Dabei ist das Risiko, neue noch nicht im industriellen Maßstab bewährte Verfahren einzusetzen, besonders zu bewerten.

Außerhalb der Entsalzung von Meer- und Brackwasser zählt auch die Umkehrosmose zu den innovativen, neuen Verfahren. Abb. 1-2 zeigt allgemein für die wichtigsten Membranverfahren die Trennfähigkeit im Vergleich zu den thermischen und mechanischen Trennverfahren. Prinzipiell stellt die Membrantechnik über den gesamten Größenbereich der Komponenten eine Alternative zu thermischen und mechanischen Trennverfahren dar. Es gibt auf den ersten Blick keinen Grund, der einen Einsatz ausschließt, obwohl in vielen Anwendungsbereichen das Potential nicht ausgeschöpft wird.

Um die bisherige Nichtberücksichtigung der Membrantechnik genauer zu analysieren, müssen Vor- und Nachteile der Membranverfahren näher beleuchtet werden: Zu den Vorteilen zählen die modulare Bauweise, so daß Anlagen relativ einfach erweitert werden können, und die Trennung bei Umgebungstemperatur, was beispielsweise für thermisch unbeständige Komponenten in der Lebensmittel- und Getränkeindustrie eine Trennung oder Aufkonzentrierung ohne Qualitätseinbuße ermöglicht. Positiv wirken sich der Verzicht auf Trennhilfsstoffe, die Möglichkeit der Wertstoffrückgewinnung sowie der relativ geringe spezifische Energieverbrauch aus. Zu den Nachteilen gehören in vielen Fällen leistungsmindernde Phänomene wie Fouling sowie bei der Umkehrosmose und Nanofiltration die teilweise recht hohen Betriebsdrücke. Durch die oft notwendige Feedvorbehandlung sowie die chemische Reinigung der Anlage entstehen zusätzliche Abfall- und Abwasserströme, die gesondert entsorgt werden müssen.

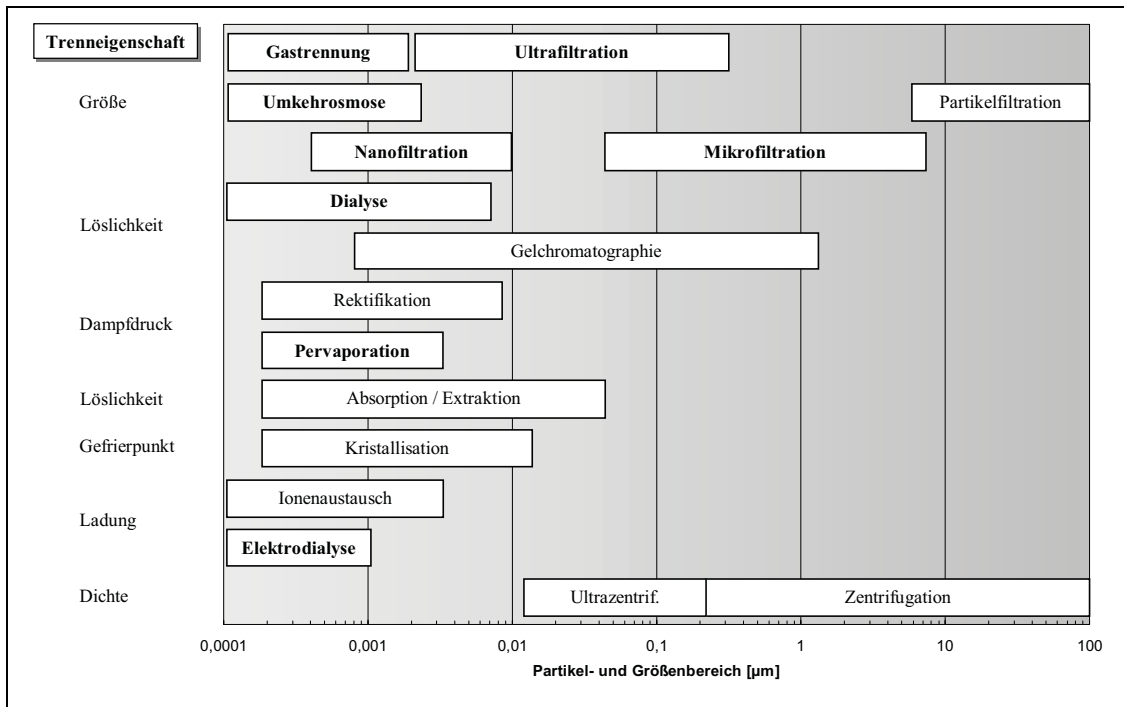


Abb. 1-2: Einordnung der Membranverfahren und thermischer und mechanischer Trennverfahren nach [6], [7] (geändert)

Aufgrund der vielen die Trennung beeinflussenden Wechselwirkungen lassen sich nur wenige allgemein gültige Regeln für die Membran- und Modulauswahl finden. Hier ist Expertenwissen unerlässlich. Zwar bieten die Moduldatenbank des Arbeitsbereiches Apparatebau an der TU Hamburg-Harburg und der Membranatlas des Institutes für Verfahrenstechnik der RWTH Aachen eine Informationsgrundlage über kommerzielle Membranen und Module, doch unterstützen sie die Auswahl von Membran und Modul nicht [8], [9]. In der Praxis scheitern viele Überlegungen auch daran, daß keine Membranen erhältlich sind, die den Spezifikationen gerecht werden.

Ähnlich sieht es im Bereich der Modellierung aus, wo häufig experimentelle Daten die Grundlage für die Simulationsprogramme bilden, da sich die Leistungsdaten wie Fluß und Selektivität bzw. Rückhaltung nur schwer oder in den meisten Fällen gar nicht abschätzen lassen. Fast alle der in der Fachliteratur beschriebenen Modellierungen beschränken sich bei den Verfahren Umkehrosmose und Nanofiltration auf wäßrige Salzlösungen, oftmals sogar begrenzt auf binäre Systeme. Für organisch-wäßrige oder rein organische Systeme sind nur wenige Untersuchungen zu finden [10] - [12].

Im Vergleich zu thermischen Trennverfahren sorgen daher fehlende Auswahlkriterien für Membranen und Module, fehlende oder unzureichende Simulationsmöglichkeiten sowie geringe Erfahrungen für einen mehr oder weniger hohen Versuchsaufwand, um die membranspezifischen Leistungsdaten zu erhalten.

Das Ergebnis einer Anlagenauslegung ist eine erfahrungsbasierte, theoretisch kaum nachvollziehbare Anlagenkonfiguration.

Die bisherigen Bemühungen, die Auslegung von Membrananlagen mit Hilfe von Expertenwissen zu unterstützen, sind häufig auf Module eines Herstellers und/oder auf eine Applikation/Verfahren begrenzt [13] - [15]. In den letzten Jahren wurde auf Basis neuronaler Netze versucht, den Versuchsaufwand zu verringern. Die in der Fachliteratur beschriebenen Programme sind oft auf einzelne Anwendungen begrenzt [16], [17] oder bieten keine Unterstützung bei Auswahl der Feedvorbehandlung und Reinigung [18] und sind daher für einen allgemeinen Einsatz nicht geeignet. Basierend auf den bisherigen Betriebserfahrungen, setzt sich mehr und mehr die Ansicht durch, daß insbesondere das Fouling, das trotz Feedvorbehandlung auftreten kann, und die zu dessen Entfernung notwendige Reinigung mit in den Entscheidungsprozeß der Membran- und Modulauswahl einbezogen werden müssen [19].

In einigen Fällen tragen fehlende Langzeiterfahrungen durch späteres Nachrüsten der Anlage in Verbindung mit nachträglichen zusätzlichen Investitionen zur Beeinträchtigung der Wirtschaftlichkeit bei. Insgesamt führt dies zu einem negativen Image der Membrantechnik. Besonders im Bereich Membran- und Modulauswahl und allgemeinen Modellierung besteht noch Nachholbedarf, um die erfahrungsbasierte Auslegung auch für Personen, die nicht schon jahrelang mit der Membrantechnik arbeiten, nachvollziehbar zu machen und einen Schritt hin zur breiteren Akzeptanz der Membrantechnik in der Industrie zu ermöglichen.