1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation

Seit der Entwicklung synthetischer Membranen vor ca. 40 Jahren und ersten Anwendungen im Bereich der Abwasseraufbereitung hat die Membrantechnik eine rasante Entwicklung genommen. Obwohl noch eine vergleichsweise junge Technologie hat sie in zahlreichen Bereichen längst das Teststadium verlassen und kann zum Stand der Technik gezählt werden. Ein klassisches Beispiel stellt die Meer- und Brackwasserentsalzung dar, wo weltweit täglich mehr als 6 Mio. m^3 Trinkwasser durch Membrananwendungen gewonnen werden /Paul99/. Durch kontinuierliche Neuentwicklungen und Verbesserungen der Membranen hat sich das Einsatzgebiet stetig auf neue Anwendungen und Bereiche erweitert /Sirk97/. Dabei hat sich eine der herausragenden Eigenschaften der Membranen, die Möglichkeit zur gezielten Anpassung an das Trennproblem, ausgezahlt /Sing98/. Anlagen vom kleinen Batchbetrieb bis hin zum großtechnischen Verfahren werden in der Literatur beschrieben /Scot95/. Einen Überblick zum aktuellen Stand der Membrantrenntechnik und ihrem Anwendungspotential gibt Kapitel 2.

Zwei Fragestellungen sind von grundlegender Bedeutung, wenn es um die allgemeine Beurteilung des Einsatzes von Membranverfahren geht /Haeg98/:

1. Kann das Verfahren im Vergleich zu traditionellen Trennoperationen vergleichbare Trennleistungen bieten?
2. Kann das Verfahren zu einem wirtschaftlich konkurrenzfähigen Preis angeboten und betrieben werden?

Überlagert wird diese Fragestellung durch die zunehmende Forderung nach umweltverträglichen und ressourcenschonenden Produktionsverfahren sowie steigenden Produktqualitäten. Gerade hier kommen die Vorteile der sauberen, produktschonenden und oft auch energiesparsamen Trennung mittels Membranen voll zur Geltung. /Wies99/. In den nächsten Jahren wird daher mit deutlichen Zuwächsen bei den Membrananwendungen gerechnet /Chem98, Filt98/.

Obwohl die Anwendungsmöglichkeiten und -vielfalt in vielen Veröffentlichungen aufgezeigt werden, ist der Einsatz dieser Technologie in den letzten zwei Jahrzehnten weit hinter den Erwartungen zurückgeblieben /Stra99, Meli99/. Als Ursache wird zumeist die immer noch geringe chemische und thermische Beständigkeit sowie begrenzte Leistungsfähigkeit (Selektivität der Trennung, Fluß durch Membran) der Membranen genannt. Verbesserungen in diesen Bereichen sind Gegenstand der Forschung, wobei sich insbesondere von neuen Werkstoffen wie den Zeolithen viel versprochen wird. Neben der Weiterentwicklung der Membranen muß aber auch ein Umdenken hinsichtlich der Anwendung von Membranverfahren stattfinden. Membranen stellen kein Allheilmittel dar. Statt der Betrachtung von Einzelfallösungen gilt es vielmehr, die Stärken dieser Technik in Kombination mit anderen Grundoperationen, sog. Hybridverfahren, zu nutzen /Haeg98/.

Eine Ursache für das langsame Eindringen in die Industrie muß darin gesehen werden, daß trotz des großen Interesses der Industrie an Membrananwendungen in vielen Betrieben das nötige Wissen fehlt, um das Potential dieser Technik für ein gegebenes Trennproblem abschätzen zu können /Lent98/. Dies führt dazu, daß Membranverfahren bei der Entwicklung neuer Prozesse kaum beachtet werden, und wenn, dann meist nur als Standard-End-of-the-Pipe-Anwendung zur Aufbereitung von Abwässern oder Abluftströmen. In Firmen und Forschungseinrichtungen, die auf dem Gebiet der Membrantechnik tätig sind, liegt zwar enormes Expertenwissen vor, dieses dringt aber nicht oder nur unzureichend zu den Anwendern durch. Dies kann u.a. mit einer fehlenden oder unsystematischen Aufbereitung und Dokumentation des Wissens begründet werden. Hinzu kommt, daß die in den verschiedenen Branchen erworbenen Kenntnisse und Erfahrungen selten verallgemeinert und auf andere Trennprobleme übertragen werden. Zusammenfassend läßt sich festhalten, daß es an Leitlinien und Werkzeugen fehlt, die dem Ingenieur bei der Frage, ob der Einsatz von Membrantrennapparaten für ein Stofftrennproblem in Betracht zu ziehen ist, beratend zur Seite stehen.

Trotz dieses ersichtlichen Defizits findet die Bearbeitung dieser zentralen Fragestellung bei den aktuellen Forschungsaktivitäten wenig Beachtung, wie Abbildung 1-1 verdeutlicht. Bei der bedeutenden und weltweit größten Membrantagung ICOM99 setzte sich nur ein Vortag von über Hundert mit diesem Thema auseinander /Icom99/.

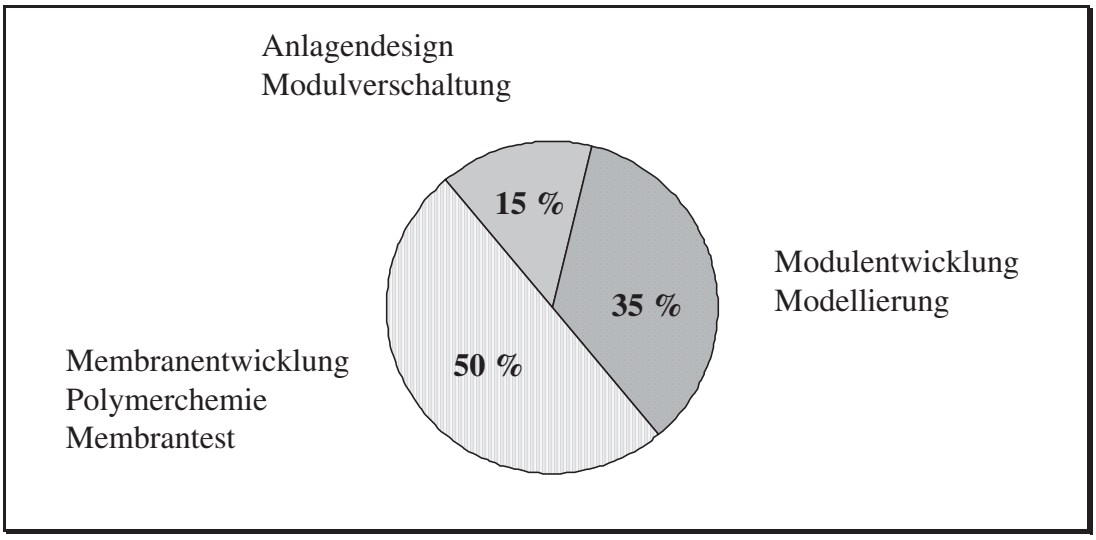

Abbildung 1-1: Forschungsaktivitäten Membrantrenntechnik /Uppa00/

1.2 Zielsetzung

In dieser Arbeit wird eine Strategie zur Auswahl und Auslegung von Membrantrennverfahren entwickelt, die eine systematische Berücksichtigung der Membranverfahren bei der Verfahrensentwicklung erlaubt. Das Gesamtkonzept, welches in Kapitel 3 vorgestellt wird, ist in Zusammenarbeit mit der TU Hamburg-Harburg, Arbeitsbereich Apparatebau, entstanden.

Im Vordergrund dieser Arbeit steht die Aufgabe, die prinzipielle Eignung von Membranverfahren für ein vorgegebenes Trennproblem ohne Berücksichtigung oder Kenntnis der einzusetzenden Membran beurteilen zu können. Für die Auswahl stehen somit nur die physikalischen und chemischen Eigenschaften der Stoffe im System zur Verfügung (Kapitel 4 und 5). Die Wissensakquisition erfolgte über Experteninterviews und Auswertung von Literatur. Der Schwerpunkt lag auf der Selektion von Kriterien, anhand derer sich eine Aussage über die Eignung von Membranverfahren treffen läßt. Durch die Reduzierung auf das eigentliche Trennproblem und das Loslösen von der Applikation und dem Membranmaterial erlaubt diese Vorgehensweise eine Beurteilung für jeden Anwendungsfall.

Letztendlich entscheidet die Wirtschaftlichkeit des Gesamtverfahrens über den Einsatz von Membranen. Aus diesem Grund ist es schon in dem frühen Stadium der Prozeßentwicklung erforderlich, erstens die aus einer Trennoperation austretenden Prozeßströme zu kennen, um die weiteren Verfahrensschritte erarbeiten zu können, und zweitens die mit der Membrantrennung verbundenen Kosten abschätzen zu können. Ziel der Arbeit ist auch die Bereitstellung von Berechnungsmethoden zur überschlägigen Auslegung von Membrantrennanlagen (Kapitel 6).

Als Methodik wird ein heuristisch-numerischer Ansatz gewählt und programmtechnisch in dem Beratungssystem MEMPERT (Membrane Separation Process Consulting System) umgesetzt (Kapitel 7). Neben den Berechnungsroutinen und Heuristiken bildet die Membranmoduldatenbank (MDB) der Technischen Universität Hamburg-Harburg, TUHH, das dritte Standbein des Gesamtkonzeptes /Guen96/. Dazu galt es, das System auf das Datenbanksystem Oracle umzustellen und an das Beratungssystem anzubinden. Bestandteil der Arbeit ist ferner die Einbindung des Programms in das Programmpaket PROSYN® (**Pro**cess **Syn**thesis), einem unter Leitung von Prof. Simmrock am Lehrstuhl für Technische Chemie A der Universität Dortmund entwickelten Verbund kooperierender heuristisch-numerischer Systeme zur Prozeßsynthese /Sche98a/. Es soll gezeigt werden, daß das dem Gesamtsystem zugrundeliegende Konzept die Synthese von Hybridverfahren erlaubt.

Neben dem Einsatz im Verbund ist ein Stand-alone Betrieb zur Ermittlung von Einzelfallösungen möglich. In diesem Zusammenhang fließt die Arbeit als Teilschritt in das Projekt „Membrane Toolbox“ ein, an dem folgende Arbeitsgruppen beteiligt sind /Guen98, Guen99b/:

- Institut für Verfahrenstechnik, RWTH Aachen
- Lehrstuhl für mechanische Verfahrenstechnik, TU Dresden
- Gesellschaft für heuristisch-numerische Beratungssysteme mbH, Dortmund
- Verfahrenstechnischer Apparatebau, TU Hamburg-Harburg.

Das Ziel der Kooperation ist die Bündelung der Aktivitäten auf dem Gebiet der rechnergestützten Auslegung von Membrantrennanlagen.