

**Technologische Entwicklung und Diffusionsfaktoren
in den Anwendungsfeldern Kleinkläranlagen und kom-
munale Membrankläranlagen
– Ergebnisse einer Patentrecherche
sowie einer Umfrage –**

Arbeitspapier

im Rahmen des Verbundforschungsvorhabens

**"Wirkungen des globalen Wandels auf den Wasserkreislauf
im Elbegebiet (GLOWA-Elbe II)"**

**Teilprojekt "Vorausschau und Diffusion von wasserrelevanten Technolo-
gien sowie Analyse der Folgewirkungen"**

**Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung
Breslauer Straße 48
76139 Karlsruhe**

Ansprechpartner und Information:

Christiane Kotz
Tel. 0721 6809 222
Email: Christiane.Kotz@isi.fraunhofer.de

Thomas Hillenbrand
Tel. 0721 6809 119
Email: Thomas.Hillenbrand@isi.fraunhofer.de

Christian Sartorius
Tel. 0721 6809 118
Email: Christian.Sartorius@isi.fraunhofer.de

November 2005

Inhaltsverzeichnis

1. Hintergrund	1
2. Zielsetzung	1
3. Patente als Frühindikator zur Leistungskraft von Forschung und Entwicklung	2
3.1 Patentrecherche im Bereich Abwasser	3
3.2 Patentrecherche im Bereich Membrantechnologie	5
4. Antriebskräfte und Hemmnisse für die Diffusion von Kleinkläranlagen und kommunalen Membrankläranlagen in Deutschland	8
4.1 Kleinkläranlagen	9
4.2 Kommunale Membrankläranlagen	12
5. Fazit und Ausblick	17
Literatur.....	19

1. Hintergrund

Im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Forschungsschwerpunkts "Globaler Wandel des Wasserkreislaufs" (GLOWA) werden integrierte Strategien für eine vorausschauende und nachhaltige Bewirtschaftung von Wasser und Gewässern entwickelt. Dazu werden für verschiedene Flussgebiete im regionalen Maßstab die globalen ökosystemaren Zusammenhänge und sozio-ökonomischen Rahmenbedingungen analysiert. Eines der zu untersuchenden Flussgebiete ist das Elbe-Einzugsgebiet, das mit einer Fläche von 148.268 km² eines der größten Flusssysteme Europas darstellt. Gleichzeitig wird die Wasserverfügbarkeit pro Einwohner und Jahr mit 680 m³ im europäischen Vergleich als extrem niedrig eingestuft (nähere Informationen unter www.glowa-elbe.de und www.glowa.org).

2. Zielsetzung

Die Umweltqualität und die sozioökonomische Leistungsfähigkeit der Elbereion sind zu einem wesentlichen Teil von Faktoren geprägt, die vom Wasser abhängen und auf Wasser zurückwirken. Ziel des Gesamtprojekts GLOWA Elbe ist die Analyse der regionalen Wirkung des globalen Wandels im Elbegebiet und daraus abzuleitende Handlungsstrategien zum Oberflächenwassermanagement. Untersucht werden dabei insbesondere die Auswirkungen des Klimawandels, die durch den technologischen Wandel induzierten Veränderungen sowie die Auswirkungen sozioökonomischer Wandlungsprozesse. Handlungsstrategien werden für zwei Konfliktbereiche (Oberflächenwasserverfügbarkeit, Oberflächengewässergüte) formuliert, analysiert und bewertet.

Mittelpunkt des vom **Fraunhofer ISI** zu bearbeitenden Teilprojekts ist die Analyse wasserrelevanter Technologieentwicklungen und ihrer Diffusion. Technologische Entwicklungslinien und ihre Diffusion müssen bei der Modellierung der Wassernachfrage und Nährstoffrohmissionen der Haushalte, des Gewerbes und der Industrie sowie bei der Ableitung möglicher Entwicklungspfade der kommunalen Wasserver- und Entsorgungsinfrastruktur berücksichtigt werden. Von zentraler Bedeutung sind z. B. die Entwicklungen hin zu wassereffizienten Technologien, die Trends bei den Einzeltechnologien der Abwasserbehandlung und auch die Einsatzmöglichkeiten von neuen, gesamt-haften Konzepten und Systemlösungen.

Im Folgenden werden zunächst die Grundlagen und ausgewählte Ergebnisse einer Patentrecherche im Bereich Abwasserbehandlung dargestellt, die am Fraunhofer ISI durchgeführt wurde. Im zweiten Teil werden dann Antriebskräfte und Hemmnisfaktoren für die Diffusion von Kleinkläranlagen und kommunalen Membrankläranlagen beschrieben, die im Rahmen von Interviews mit Anlagenherstellern und Betreibern identifiziert wurden.

3. Patente als Frühindikator zur Leistungskraft von Forschung und Entwicklung

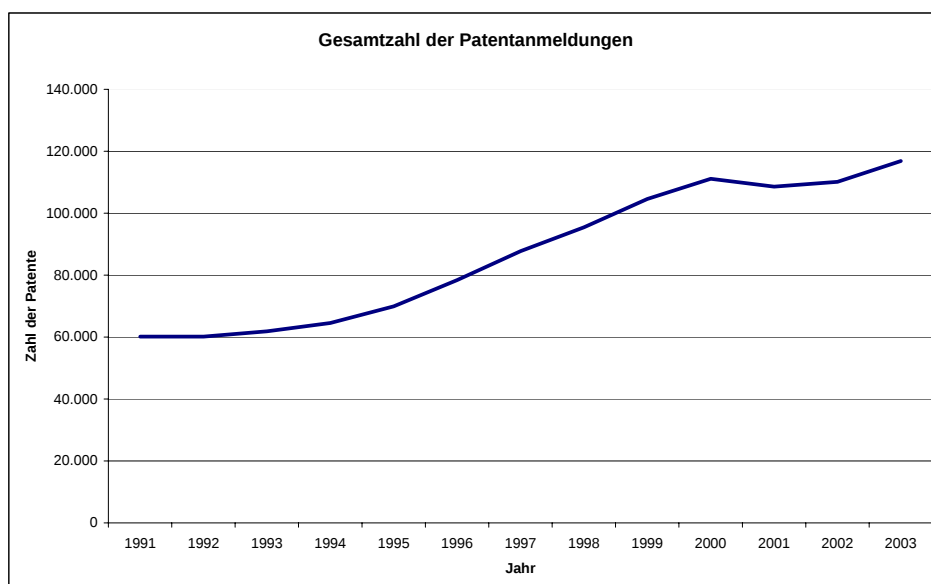
Patente sind der am weitesten verbreitete Innovationsindikator für die technologische Position auf den internationalen Märkten. Im Rahmen der Innovationsökonomik ist das Patent das wichtigste Eigentumsrecht (Grupp 1997). Patente sind ein guter Frühindikator dafür, an welchen Orten und in welchem Maße neues, potenziell kommerziell verwertbares Wissen entstanden ist. Patentgeschützte Erfindungen sind das Ergebnis von Forschung und Entwicklung (FuE) in vorausgegangenen Perioden und zielen auf die Märkte der Zukunft.

Patente geben ihrem Besitzer einen zeitlich begrenzten Schutz für die gewerbliche Nutzung einer technischen Erfindung. Durch die Veröffentlichung einer detaillierten Beschreibung der Erfindung sollen andere Unternehmen zu weiteren Neuentwicklungen angeregt und der technische Fortschritt vorangetrieben werden. Patente machen weder eine Aussage über die Gesamtzahl der Erfindungen noch über deren ökonomischen Wert, sondern über die Zahl der Erfindungen, für die Schutzrechte auf den jeweiligen Märkten in Anspruch genommen wurden. Sie geben Auskunft über die Anwendungs- und Marktorientierung von technologischen Neuerungen (Hinze, Schmoch 2004; Schmoch 1990).

Am Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung wurde im Sommer 2005 eine Patentrecherche im Bereich Wasser- und Abwassertechnologien durchgeführt. Durch die Erhebung von internationalen Patentanmeldungen im Bereich Wasserversorgung und Abwasserentsorgung sollten Aussagen über die zeitliche Dynamik der FuE-Aktivitäten in diesem Bereich sowie über die Position Deutschlands im internationalen Vergleich ermöglicht werden. Neben Patenten zu wasserbrauchenden Haushaltsgeräten und zur Nutzung von Grau- und Regenwasser wurden auch die Bereiche Kleinkläranlagen und Membrantechnologie in der Recherche berücksichtigt.

Grundsätzlich steht eine Vielzahl von Patentdatenbanken zu Recherchezwecken zur Verfügung. Die Recherche im Bereich Wasser- und Abwassertechnologien wurde an der Datenbank EPAPAT des Anbieters *Questel Orbit* durchgeführt. In EPAPAT sind die veröffentlichten europäischen Patente des Europäischen Patentamtes enthalten. Abbildung 1 zeigt die Zahl der jährlichen Patentanmeldungen am Europäischen Patentamt von 1991 bis 2003.

Abbildung 1: Gesamtzahl aller Patentanmeldungen am Europäischen Patentamt von 1991 bis 2003.



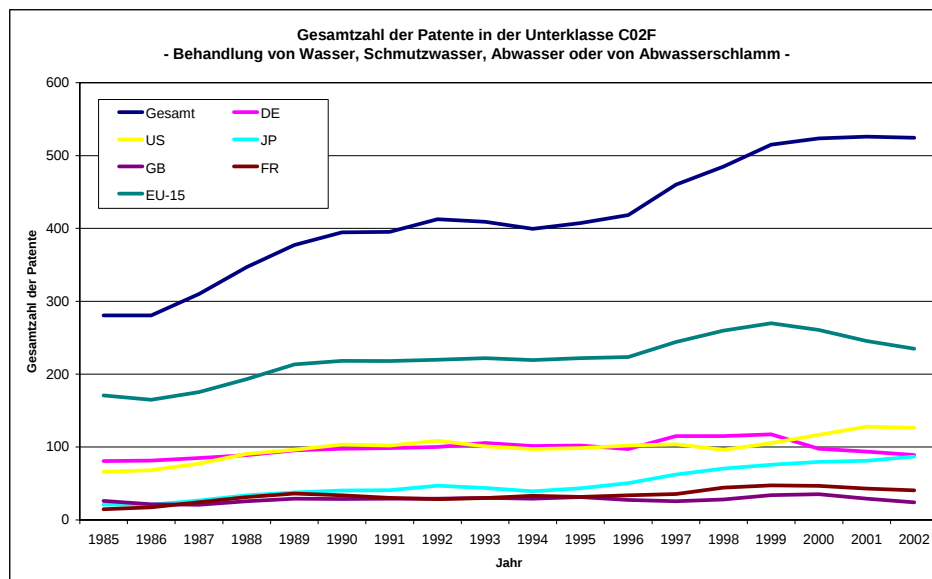
Bei Patentrecherchen ist die Patentklassifikation ein zentrales Hilfsmittel. Es stehen verschiedene Klassifikationssysteme zur Verfügung. Weltweit werden Patente nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) eingeordnet, auf die auch in der nachfolgend dargestellten Patentrecherche zurückgegriffen wurde. Bei der Recherche mit Patentklassifikationen ist zu beachten, dass sich die Einordnung nach dem zentralen Gegenstand der Patentschrift richtet. Sind für einen bestimmten Technikbereich keine speziellen Gruppen vorhanden, so bleibt nur die Suche mit Stichworten, wie es auch in der vorliegenden Recherche zu Kleinkläranlagen und Membrantechnologie praktiziert wurde. Im Folgenden sind die Ergebnisse der Bereiche Kleinkläranlagen und Membrantechnologie dargestellt.

3.1 Patentrecherche im Bereich Abwasser

Zunächst wurde die Recherche auf den Bereich der Internationalen Patentklassifikation C02F eingeschränkt. Die Unterklasse C02F umfasst die "Behandlung von Wasser, Schmutzwasser, Abwasser oder von Abwasserschläm". Abbildung 2 zeigt die Entwicklung der Patentanmeldungen in dieser Unterklasse. Seit 1986 nahm die Zahl der Patentanmeldungen in der Unterklasse C02F insgesamt stetig zu, obschon sie im Vergleich zu den Gesamtzahlen der Anmeldungen am Europäischen Patentamt (Abbildung 1) weniger dynamisch verlief. Der Gesamtverlauf der Patentanmeldungen in der Unterklasse C02F lässt sich damit erklären, dass es - ausgelöst durch ein allgemein gestärktes Umweltbewusstsein ab den 1980er Jahren - gegen Ende der 1980er bis Anfang der 1990er Jahre zu einem Anstieg der Patente kam, die sich mit der Be-

handlung von Wasser und Abwasser befassen. Ein zweiter Anstieg der Patentzahlen fand ab Mitte der 1990er Jahre statt. Hier lassen sich mehrere Auslöser für verstärkte Forschungsanstrengungen, die in Patenten mündeten, vermuten. Mitte der 1980er Jahre kam es zu einem verstärkten Problembewusstsein hinsichtlich der Relevanz der Nährstoffemissionen durch kommunales Abwasser für den Gewässerschutz. Auf EU-Ebene führte dies im Jahr 1991 zum Erlass der Kommunalabwasserrichtlinie, die mit ihren langen Übergangsfristen für die Einhaltung der geforderten Grenzwerte als Treiber für technische Innovationen in dem Gebiet der Wasser- und Abwasserbehandlung verstanden werden kann. Durch diese zusätzlichen Anforderungen und dem zusätzlich bestehenden Sanierungs- und Erneuerungsbedarf im Bereich der Wasserinfrastrukturen kam es außerdem zu einem deutlichen Anstieg der Kosten in den 1990er Jahre, so dass verstärkt Anstrengungen unternommen wurden, neue Lösungen für die Behandlung von Wasser und Abwasser zu finden.

Abbildung 2: Zahl der Patente im Bereich "Behandlung von Wasser, Schmutzwasser, Abwasser und Abwasserschlamm" (IPC C02F).



Betrachtet man die Entwicklung der Patentzahlen auf Länderebene, so zeigt sich, dass auch bei der Gruppe der EU-15 Länder¹ die Patentzahlen Ende der 1990er anstiegen. In Deutschland wie in den USA blieb die Zahl der Patente bis Mitte der 1990er Jahre zunächst weitestgehend konstant. Seit Ende der 1990er Jahre nahmen die Patente in Deutschland leicht ab und in den USA leicht zu. Japanische Anmeldungen nahmen seit

¹ EU-15 = Deutschland, Großbritannien, Frankreich, Italien, Niederlande, Belgien, Dänemark, Schweden, Griechenland, Portugal, Irland, Luxemburg, Finnland, Österreich, Spanien.

Mitte der 1990er Jahre hingegen stetig zu und befinden sich inzwischen auf gleichem Niveau mit Deutschland.

Um nun die Zahl der Patente, die sich auf Kleinkläranlagen beziehen, recherchieren zu können, wurde die Gesamtzahl der Patente der Unterklasse C02F mit Schlagworten wie "Kleinkläranlage", "Hauskläranlage" und "Abwasserbehandlung", jeweils in deutscher, englischer und französischer Sprache, verschnitten. Tabelle 1 zeigt die Zahl der Patente im Bereich "Behandlung von Wasser, Schmutzwasser, Abwasser und Abwasserschlamms" sowie im Bereich "Kleinkläranlagen". Zu beachten ist die sehr geringe Zahl der Kleinkläranlagen-Patente und eine daher eingeschränkte Aussagekraft der Rechercheergebnisse. Mögliche Ursachen für die geringe Zahl an Patenten können sein, dass technologische Entwicklungen in diesem Bereich nur in geringem Umfang patentrechtlich geschützt wurden bzw. nur wenige patentwürdige Technikentwicklungen stattfanden. Eine zunehmende Tendenz bei den Patentanmeldungen ist allerdings zu erkennen.

Tabelle 1: Zahl der Patente im Bereich "Behandlung von Wasser, Schmutzwasser, Abwasser und Abwasserschlamms" sowie im Bereich "Kleinkläranlagen" für die Jahre 1990 und 2000.

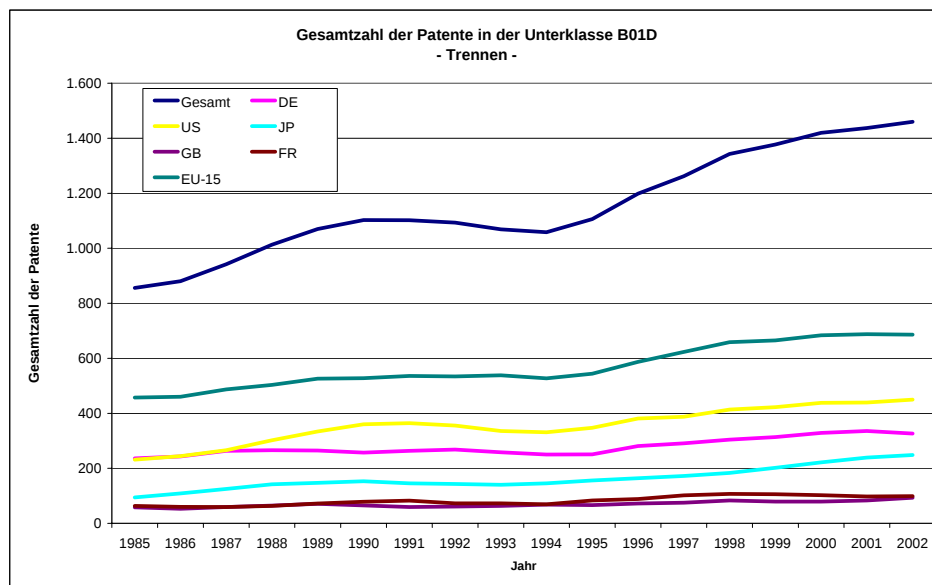
Land	1990		2000	
	Zahl der Patente im Bereich "Behandlung von Wasser, Schmutzwasser, Abwasser und Abwasserschlamms"	Zahl der Patente im Bereich Kleinkläranlagen	Zahl der Patente im Bereich "Behandlung von Wasser, Schmutzwasser, Abwasser und Abwasserschlamms"	Zahl der Patente im Bereich Kleinkläranlagen
Gesamtzahl	395	3	524	10
Deutschland	98	1	98	3
USA	103	0	117	2
Japan	40	1	80	1
Großbritannien	29	0	35	0
Frankreich	34	1	47	0
EU-15	218	0	261	4

3.2 Patentrecherche im Bereich Membrantechnologie

Im Anwendungsfeld Membrantechnologie wurde die Recherche auf die Unterklasse B01D eingeschränkt, die den Bereich "Trennen" umfasst. Abbildung 3 zeigt die Gesamtzahl der Patente nach Ländern in der Unterklasse B01D. Auch hier zeigt sich, dass im Vergleich zur Gesamtzahl der Patentanmeldungen (Abbildung 1) der Verlauf der Anmeldungen im Zeitraum von 1991 bis 2002 im Bereich Trennen weniger dyna-

misch verlief. Es lässt sich erkennen, dass bis Anfang der 1990er Jahre ein Anstieg der Patentzahl erreicht wurde und es bis Mitte der 1990er Jahre zu einem Abflachen der Anmeldungen kam. Dieser allgemein typische Verlauf kann damit erklärt werden, dass es nach einer anfänglichen "Euphoriephase" zu einer Ernüchterung und Neuorientierung bei der technologischen Entwicklung in diesem Bereich kam, dem auch die Membrantechnologie zugeordnet wird. Seit Mitte der 1990er Jahre steigt die Zahl der Patente wieder an.

Abbildung 3: Gesamtzahl der Patente im Bereich Trennen (B01D).



Die Hauptgruppen der Unterklasse B01D wurden in Anlehnung an die Patentklassifikation im weiteren Verlauf der Recherche zu folgenden Technikbereichen zusammengefasst:

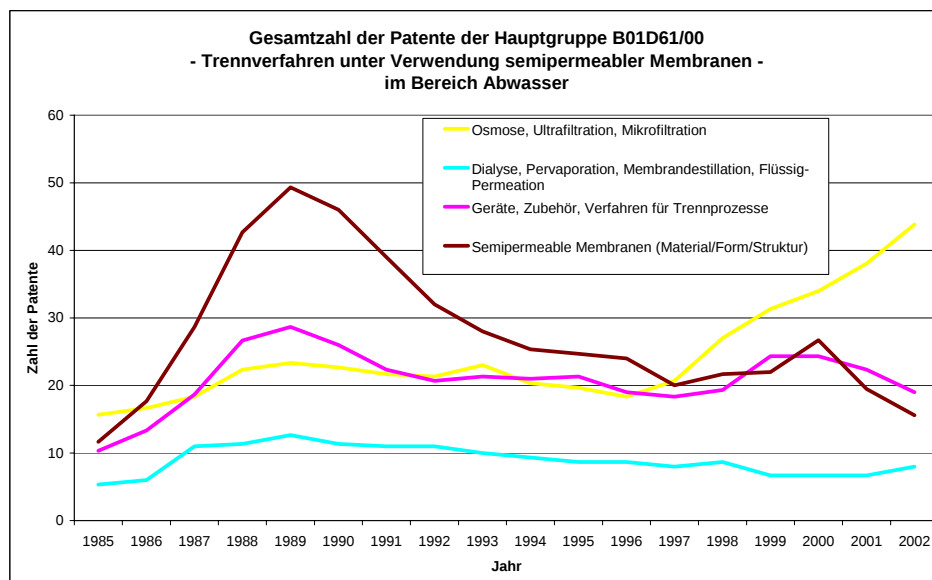
- (1) Osmose, Ultrafiltration, Mikrofiltration;
- (2) Dialyse, Pervaporation, Membrandestillation, Flüssig-Permeation, Flüssigmembrantechnik;
- (3) Geräte und Zubehör für Trennprozesse, Herstellungsverfahren semipermeabler Membranen;
- (4) Semipermeable Membranen für Trennverfahren oder Geräte, durch ihr Material bzw. ihre Form, Struktur oder Eigenschaften gekennzeichnet; spezielle Herstellungsverfahren hierfür;

Um die Patente zu recherchieren, die einen Bezug zum Thema Abwasser haben, wurden während der Recherche die Patente der genannten Technikbereiche mit Schlagworten wie "Abwasser", "Schmutzwasser", "Abwasserbehandlung", "Abwasser-

reinigung", "Schmutzwasserbehandlung", "Schmutzwasserreinigung" - ebenfalls in deutscher, englischer und französischer Sprache - verschnitten.

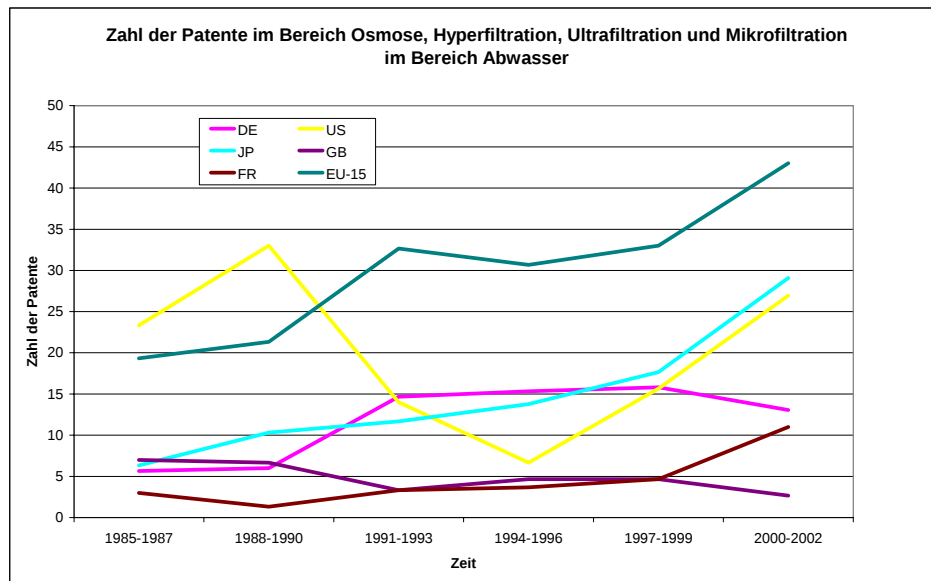
Die Ergebnisse für diese vier, auf den Abwassersektor eingeschränkten Bereiche zeigen, dass seit Mitte der 1980er Jahre ein starker Anstieg der Patentzahlen im Bereich 4 "Semipermeable Membranen" erfolgte, der dann aber Mitte der 1990er Jahre wieder zurückging (Abbildung 4). Die Patentzahlen im Bereich "Osmose, Ultrafiltration, Mikrofiltration" blieben dagegen zunächst konstant und nahmen dann gegen Ende der 1990er Jahre sehr stark zu. Dieser Trend setzte sich bis zum Jahr 2002 fort.

Abbildung 4: Gesamtzahl der Patente im Bereich Trennverfahren unter Verwendung semipermeabler Membranen im Anwendungsbereich Abwasser.



Schlüsselt man den Technikbereich "Osmose, Ultrafiltration, Mikrofiltration" nach Ländern auf (Abbildung 5), so zeigt sich, dass die USA ihre ursprünglich führende Rolle in den 1990er Jahren verloren hatte, seit Ende der 1990er Jahre die US-Patentzahlen jedoch wieder deutlich ansteigen. Die Anmeldung deutscher Patente ist seit Anfang der 1990er Jahre weitestgehend konstant bzw. in den letzten Jahren leicht rückläufig. In den EU-15 Ländern, insbesondere in Frankreich, sowie in Japan ist dagegen in den letzten Jahren ein sehr starker Anstieg zu beobachten. Zu beachten ist jedoch auch hier die vergleichsweise geringe Gesamtzahl der auf den Abwasserbereich eingeschränkten Patentanmeldungen und daraus folgend eine begrenzte Aussagekraft der Ergebnisse.

Abbildung 5: Zahl der Patente im Bereich "Osmose, Ultrafiltration, Mikrofiltration" im Anwendungsbereich Abwasser.



Dieser seit Ende der 1990er Jahre stark gestiegene Umfang an Patentaktivitäten findet zwischenzeitlich auch seinen Niederschlag bei der großtechnischen Umsetzung der Technik. Während es bei der Trinkwasseraufbereitung durch die vermehrte Aufbereitung von Oberflächenwasser zu Trinkwasser bereits ab Mitte der 1990er Jahre zu einem zunehmenden Einsatz der Membrantechnologie kam, erfolgte die Umsetzung im Bereich der kommunalen Abwasserbehandlung erst in jüngerer Zeit {Voßenkaul, 2001 868 /id;}. Welche Faktoren schließlich eine Rolle bei der Diffusion, d. h. bei der praktischen Umsetzung und Anwendung neuer Technologien im Bereich der Abwasserentsorgung spielen, wird im Folgenden anhand der Beispiele Kleinkläranlagen und kommunale Membrankläranlagen erläutert.

4. Antriebskräfte und Hemmnisse für die Diffusion von Kleinkläranlagen und kommunalen Membrankläranlagen in Deutschland

Für die Analyse der entscheidenden Kriterien für (oder gegen) die Diffusion neuer Technologien der Abwasserentsorgung wurden Hersteller bzw. Betreiber solcher Anlagen über die ihrer Ansicht nach entscheidenden Antriebskräfte und Hemmnisse befragt. Dabei wurden zwischen rechtlichen, technischen, betriebswirtschaftlichen und gesellschaftlichen Bestimmungsgründen unterschieden. Beispielhaft wurden dann die Technologiestränge „Kleinkläranlagen“ und „(kommunale) Membrankläranlagen“ ausgewählt, für die die Ergebnisse im Folgenden getrennt dargestellt sind.

4.1 Kleinkläranlagen

Insgesamt wurden im Bereich der Kleinkläranlagen 18 kleine und mittelständische Unternehmen befragt. Obwohl von den befragten Unternehmen alle typischen Abwasserbehandlungstechnologien hergestellt werden, bieten mittlerweile fast alle die SBR-Technologie, zum Teil kombiniert mit der Membranfiltrationstechnik (MF), an. Als entscheidend wurde für diesen Schritt die Möglichkeit der Ausführung kleiner, kompakter Anlagen mit wenigen Teilen und folglich geringem Wartungsaufwand angesehen. Kritisch werden SBR-Anlagen teilweise bzgl. ihrer Störungsanfälligkeit bei Stoßbelastungen und in Urlaubszeiten der Anlagenutzer eingeschätzt (Scheer 2005).

Bei der in Ergänzung zur SBR angebotenen Membrantechnologie handelt es sich meist um sehr neue Entwicklungen, wobei die Membranmodule überwiegend von externen Partnern zugekauft werden. Die Anlagen, die Membranmodule enthalten, sind deutlich teurer (ca. 30-100 Prozent) als konventionelle Anlagen sowie verfahrenstechnisch komplizierter und anfälliger (z. B. gegenüber Fett im Abwasser). Ihr Einsatz wird i. d. R. nur in Nischenanwendungen wie z. B. in Trinkwasserschutz- oder Karstgebieten empfohlen, wo besondere Anforderungen hinsichtlich der Qualität des eingeleiteten Wassers gestellt werden (Bischof et al. 2005; Brinkmeyer et al. 2005).

Der Hauptabsatzmarkt für Kleinkläranlagen der befragten Unternehmen liegt derzeit in Deutschland; ausländische Märkte spielen insgesamt nur eine nachgeordnete Rolle. Das Marktpotenzial wird von den befragten Unternehmen generell als hoch eingeschätzt. Das Wachstum in den letzten Jahren lag bei ca. 20 bis 30 Prozent. Der Bedarf an Kleinkläranlagen liegt nach konservativen Schätzungen für Deutschland etwa bei 800.000 Anlagen in den nächsten 25 Jahren, das bedeutet ein Marktpotenzial von etwa 20.000 bis 30.000 Anlagen pro Jahr.

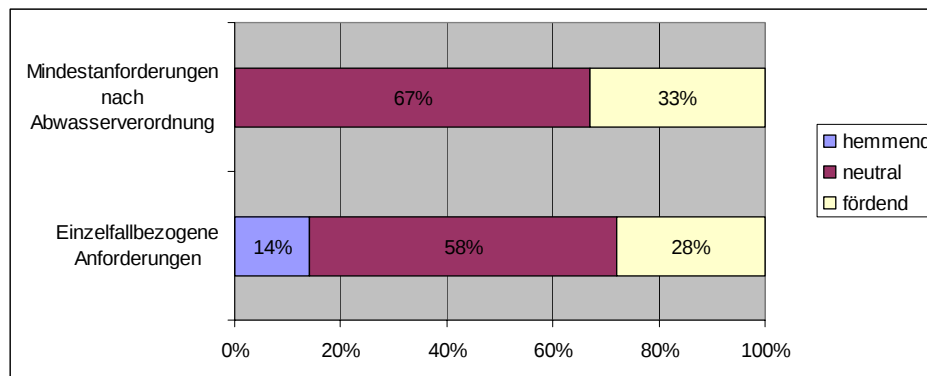
Die Möglichkeit des Abwasserrecyclings mit Hilfe der Membrantechnik wird für Deutschland (noch) nicht als relevant angesehen. Wesentlich größere Bedeutung wird diesem Argument jedoch beim Einsatz im Ausland beigemessen.

Rechtslage

Mit der Änderung der Abwasserverordnung im Jahr 2002 haben alle Länder sicherzustellen, dass Kleinkläranlagen, die direkt in Gewässer einleiten und auch dauerhaft nicht an kommunale Kläranlagen angeschlossen werden, bundeseinheitlichen Mindestanforderungen genügen. Wo dies nicht gegeben ist, sind Kleinkläranlagen in den nächsten Jahren zu sanieren bzw. zu erneuern und fachgerecht zu warten (Barjenbruch, Al Jiroudi 2005; Dorgeloh et al. 2005; Schröder 2005). Somit stellen die rechtlichen Rahmenbedingungen für die Errichtung einer Kleinkläranlage bei einem

Drittel der Befragten einen positiven Anreiz dar, für zwei Drittel der Befragten hat dieser Einflussfaktor keinen Einfluss (Abbildung 6). Etwas zwiespältiger ist die Situation im Falle zusätzlicher einzelfallbezogener Anforderungen. Neben 58 Prozent der Befragten, die auch in diesem Fall keinen besonderen Einfluss der rechtlichen Anforderungen sehen, kann für die übrigen Befragten dieser Einfluss entweder positiv (28 Prozent) oder negativ (14 Prozent) sein. Ersteres ist beispielsweise dann der Fall, wenn die Abwasserbehandlung in einem Trinkwasserschutzgebiet erfolgt, letzteres, wenn die Behörde der Zuverlässigkeit von Kleinkläranlagen skeptisch gegenüber steht und den Bau zusätzlicher Anlagenkomponenten fordert, wodurch die spezifischen Vorteile zunichte gemacht bzw. die Kosten erhöht werden.

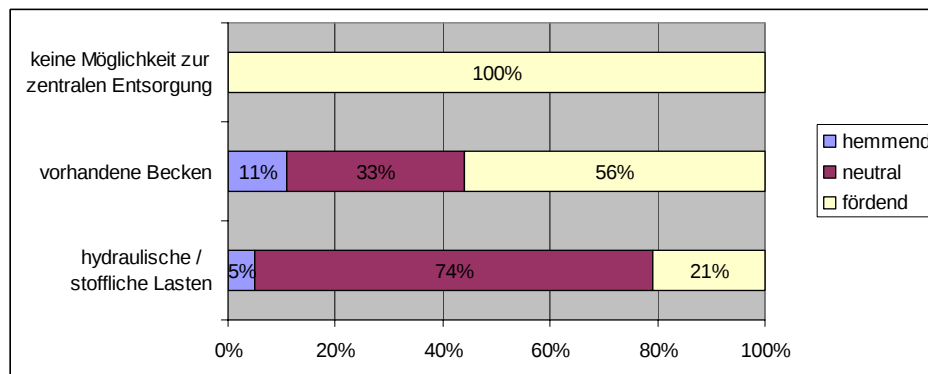
Abbildung 6: Befragungsergebnisse zur Entscheidungsrelevanz des rechtlichen Rahmens (Angaben in % der Antworten).



Technische Aspekte

Aus technischer Sicht ist das Fehlen einer zentralen Abwasserentsorgung die wesentliche Voraussetzung für den Einsatz von Kleinkläranlagen (Abbildung 7). Sofern bei den Betreibern der Kleinkläranlagen genügend Platz vorhanden ist, genießen solche Anlagen auf Basis der SBR-Technologie oder der Membranfiltration aufgrund ihres geringeren Platzbedarfs generell einen Vorteil gegenüber anderen Technologien. Bzgl. anderer Einflussfaktoren sind die Einschätzungen dagegen weniger eindeutig. So ist das Vorhandensein von Bauwerken (z. B. Gruben) dann ein Vorteil, wenn mit Kleinkläranlagen eine Erweiterung der Kapazität erreicht werden soll, wogegen der Bau von Komplettkleinkläranlagen dadurch eher verhindert wird. Auch hydraulische und stoffliche Lasten können je nach herrschenden Umständen für die Errichtung von Kleinkläranlagen förderlich oder hinderlich sein.

Abbildung 7: Befragungsergebnisse zur Entscheidungsrelevanz technischer Aspekte (Angaben in % der Antworten).



Wirtschaftlichkeit

Auch wenn rechtliche Rahmenbedingungen und technische Voraussetzungen für den Bau einer Kleinkläranlage sprechen, so geben letzten Endes doch wirtschaftliche Erwägungen den Ausschlag. Auch eine genehmigte bzw. genehmigungsfähige Anlage wird nach Einschätzung der Befragten i. d. R. dann nicht gebaut, wenn damit hohe Kosten verbunden sind. Dabei wird den Investitionskosten eine höhere Bedeutung (sehr wichtig für 67 Prozent, wichtig für 22 Prozent der Befragten) beigemessen als den Betriebskosten (11 Prozent sehr wichtig, 67 Prozent wichtig). Dem stehen die tatsächlichen Kosten von Kleinkläranlagen gegenüber. Für SBR-Anlagen mit einer Kapazität entsprechend 4 Einwohnerwerten ergab die Befragung Investitionskosten von 1.000 bis 5.000 EUR, jährliche Stromkosten von 30 bis 120 EUR und jährliche Wartungskosten von 100 bis 300 EUR. Die Unterschiede sind z. T. dadurch bedingt, dass die Häufigkeit vorgeschriebener Wartungen regional unterschiedlich ist. Teilweise (z. B. in Norddeutschland) werden Wartungsverträge gefordert.

Ein Einfluss staatlicher Förderung auf die Kauf- bzw. Investitionsentscheidung wurde von den Befragten grundsätzlich bejaht. Entsprechende Möglichkeiten hängen jedoch stark von den regional sehr unterschiedlichen Gegebenheiten des jeweiligen Einzelfalles ab.

Eine Ausnahme hinsichtlich des Vorrangs wirtschaftlicher Aspekte stellen nach Angaben der befragten Hersteller die umweltorientierten Idealisten dar, deren Zahl aber äußerst klein sei. Ebenso selten seien die Investoren einer Kleinkläranlage an einer Wiederverwendung des gereinigten Wassers interessiert. Falls dies aber der Fall sei, käme fast immer eine Kleinkläranlage mit Membranfiltration zum Einsatz.

Gesellschaftliche Aspekte

Abgesehen von den im vorangegangenen Abschnitt erwähnten Idealisten stellt eine Kleinkläranlage nach Angaben einzelner Befragter für die meisten Betreiber weder ein Prestigeobjekt dar, noch spielt der umweltbezogene Vorteil eine wichtige Rolle. Entsprechend wird die Entscheidungsrelevanz des Umweltgedankens als gering (12 Prozent) oder sehr gering (88 Prozent) eingeschätzt. Von größerer Bedeutung ist demgegenüber die Prozessstabilität der Anlage und der Betriebsaufwand. Besonders die potenziellen Betreiber von Kleinkläranlagen mit Membranfiltration sind davon betroffen, da ein eventuell auszutauschendes Membranmodul zugleich das teuerste und kritischste Element der Anlage darstellt. Bei der Frage, woher die Informationen kommen, auf Grundlage derer die zukünftigen Betreiber einer Kleinkläranlage ihre Investitionsentscheidung treffen, zeigte sich, dass jeweils 100 Prozent der Befragten hier Freunde und Bekannte, das Internet und, vor allem im Fall einer behördlichen Verpflichtung, die Behörde selbst als Informationsquelle angaben.

Zusammenfassend sind die wichtigsten Faktoren für den Einsatz von Kleinkläranlagen der Preis und technische Vorteile wie z. B. Platzbedarf, Möglichkeiten zur Nutzung bestehender Bauteile oder geringer Betriebsaufwand sowie bzgl. der Membranfiltration die Reinigungsleistung. Eine wichtige Rolle spielen auch Informationen anhand persönlicher Kontakte (Bekannte, Behörden). Als größtes Hemmnis für den Kauf einer Kleinkläranlage wird die „mentale Pfadabhängigkeit“ gesehen, die die Entscheidungsträger bevorzugt an altbewährten Praktiken und Verfahren festhalten lässt.

4.2 Kommunale Membrankläranlagen

Im Gegensatz zu den oben behandelten Kleinkläranlagen, bei denen der Einsatz von Membranmodulen eine bislang weniger verbreitete Variante darstellt, geht es im Folgenden um den Einsatz der Membrantechnik in kommunalen Großkläranlagen (siehe dazu DWA-Fachausschuss KA-7, (2005)). Zehn solcher Anlagen werden in Deutschland von sieben Betreibern betrieben (Abbildung 2), wobei als Organisationsformen Zweck- bzw. Wasserverbände (3) und Eigenbetriebe (2) gegenüber Regiebetrieb und Eigengesellschaft (beide je 1) überwiegen. Fünf weitere Anlagen befinden sich derzeit im Bau bzw. in Planung. Neben der relativ kleinen Zahl im Betrieb befindlicher Anlagen ist auch die räumliche Konzentration dieser Anlagen (6 in NRW, 2 in Sachsen und je 1 in Bayern und Baden-Württemberg) ein Indiz dafür, dass es sich um eine relativ neue Technologie handelt, bei deren Einsatz wirtschaftliche Motive bislang nur eine eher untergeordnete Rolle spielen.

Tabelle 2: Kommunale Membrankläranlagen in Deutschland.

Standort	Inbetriebnahme	Ausbaugröße in EW	Betreiber
Rödingen	1999	3.000	Erftverband
Markranstädt	2000	12.000	Kom. Wasserw. Leipzig
Büchel/Bickenbach	2000	1.000	Aggerverband
Knautnaundorf	2001	900	Kom. Wasserw. Leipzig
Altenberge	2001	1.000	Gemeinde Altenberge
Simmerath	2003	750	WVER
Monheim	2004	9.700	Gemeinde Monheim
Nordkanal	2004	80.000	Erftverband
Waldmössing	2004	18.000	Gemeinde Schermbeck
Seelscheidt	2004	11.000	Aggerverband
Konzen	in Bau	9.200	WVER
Rurberg/Woffelsbach	in Bau	6.500	WVER
Markkleeberg	in Bau	30.000	Kom. Wasserw. Leipzig
Merkendorf	in Bau	250	Zweckverb. Zeulenroda
Glessen	geplant	9.500	Erftverband

Neben den Betreibern dieser Membrankläranlagen wurden sechs mittelständische bis große Hersteller von Membrankläranlagen befragt, die z. T. aus Konzernen hervorgingen oder in größere Unternehmen eingegliedert waren. Diese Unternehmen sind im Bereich Wasser- und Abwassertechnik tätig und haben sich im Bereich der Filtertechnik spezialisiert. Sie bieten überwiegend Membrankomponenten zur Ultrafiltration und Umkehrosmose für die Trinkwasseraufbereitung bzw. für die Abwasseraufbereitung in kommunalen und industriellen Unternehmen, aber auch schlüsselfertige Anlagen an.

Regional gesehen existiert im Bereich der Membrantechnologie für die Trinkwasseraufbereitung ein weltweiter Absatzmarkt, wobei die befragten Unternehmen insbesondere Arabien und Südamerika nannten. Der Bereich Abwassertechnik spielt im Vergleich zur Trinkwasseraufbereitung als Absatzmarkt bislang eine weniger bedeutende Rolle und es gibt erst eine geringe Zahl an Referenzanlagen. Hauptkunden der befragten Unternehmen sind Kommunen sowie Industrieunternehmen. Betreibermodelle werden im Abwasserbereich bislang nur im Bundesgebiet angeboten.

Die befragten Unternehmen sehen für die Zukunft einen großen Bedarf ihrer Produkte, der insbesondere aus neuen Anwendungsbereichen in der Biotechnologie und verschärften Umweltauflagen resultiert. Die Anwendung und Diffusion der Membrantechnologie ist allerdings in hohem Maße von der Preisentwicklung abhängig. Die meisten Unternehmen sehen ein mehr oder weniger großes Kostenreduktionspotenzial, das insbesondere vom bisher bereits realisierten Anteil automatisierter Fertigung abhängt.

Rechtliche Faktoren

Für die Installation aller Membrankläranlagen waren über das allgemeine Wasserrecht hinausgehende, einzelfallbezogene Anforderungen ausschlaggebend. Die der Einleitungserlaubnis bzw. der Betriebsgenehmigung zugrunde liegenden besonders niedrigen Grenzwerte waren i. d. R. dadurch begründet, dass die Einleitung in ein (Trink-)Wasserschutzgebiet erfolgte. Die Behörden erwiesen sich bei der Genehmigung der Membrananlagen in den meisten Fällen (80 Prozent) als kooperativ; in einem Fall wurde die Möglichkeit einer Membrananlage überhaupt erst auf einen Hinweis der Behörden hin in Erwägung gezogen. Nur in 20 Prozent der Fälle mussten Vorbehalte der Behörden durch Vorversuche oder die Ausarbeitung verlässlicher Ausfallpläne ausgeräumt werden.

Technische Aspekte

Hinsichtlich der technischen Ausprägungen der Membrananlagen wird zwischen Plattenmodulen und Hohlfasermodulen sowie offener und geschlossener Bauweise unterschieden. Für die Entwicklung ihrer Produkte betreiben die meisten der befragten Unternehmen eine eigene Entwicklungsabteilung oder haben ein hohes Entwicklungs-Know-how, da sie aus einer Universitätsausgründung hervorgingen. Außerdem kooperieren die Unternehmen zur Optimierung bestehender Produkte und Anlagen mit Partnern aus der Industrie und dem Anlagenbau. Daneben werden, wie im Bereich der Kleinkläranlagen, die Produkte nach kundenspezifischem Anforderungsprofil (bspw. bzgl. der Abwasserart) weiterentwickelt. Unternehmen ohne eigene FuE-Abteilung kooperieren bzgl. der (Weiter-)Entwicklung der Produkte bspw. mit Ingenieurbüros, Stiftungen, Ministerien (Fördermittel), Universitätsinstituten und anderen Unternehmen. Die Forschung an neuen Anwendungen und Applikationsbereichen spielt dabei eine besondere Rolle, da sich die Unternehmen davon besondere Wettbewerbsvorteile versprechen.

Wie bereits im vorangegangenen Abschnitt erwähnt, stellte die bessere Reinigungsleistung der Membrananlage im Vergleich zu herkömmlichen Anlagen und die daraus resultierende Möglichkeit, auch in sensiblere Vorfluter einzuleiten, das wichtigste Argument zugunsten von Membrankläranlagen dar. Aus der Anzahl bereits vorhandener Becken resultierte für die Membrantechnologie dann ein Vorteil, wenn auf den zur Verbesserung der Reinigungsleistung sonst notwendigen Bau zusätzlicher Becken verzichtet werden konnte.

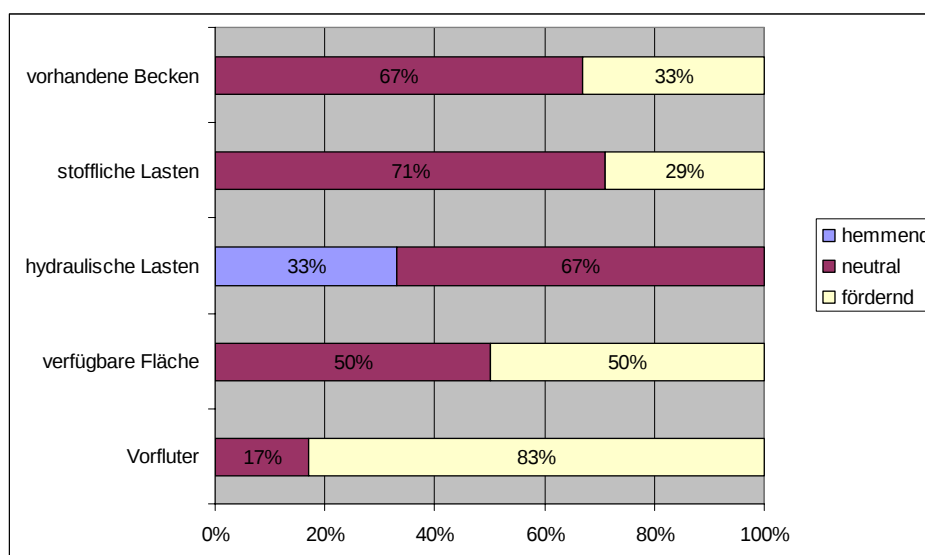
Besondere stoffliche Frachten im Abwasser und ihre bessere Behandlung durch das Membranverfahren waren in zwei Fällen ausschlaggebend für den Einsatz dieser

Technologie. In der Hälfte der Fälle waren es die geringeren Flächenanforderungen, die für den Einsatz der Membrantechnologie sprachen.

Der einzige technische Aspekt, der bei der Kaufentscheidung teilweise negativ bewertet wurde, waren die Beherrschung besonderer hydraulischer Lasten wie sie bspw. im Zusammenhang mit der Schneeschmelze auftreten (große Wassermengen, niedrige Temperatur), die von Membrankläranlagen weniger gut bewältigt werden.

Die technischen Entscheidungskriterien für bzw. gegen eine Membrankläranlage sind in der folgenden Abbildung zusammengefasst.

Abbildung 8: Befragungsergebnisse zur Entscheidungsrelevanz technischer Aspekte (Angaben in % der Antworten).



Mit Ausnahme einer Membrananlage wurden in allen Fällen noch andere Alternativen, wie z. B. der Anschluss an andere Kläranlagen oder die Ergänzung der bestehenden Anlage durch Sandfilter oder UV-Desinfektion, in Erwägung gezogen. In den untersuchten Fällen erwiesen sich die Alternativen aber immer als zu aufwendig oder nicht praktikabel.

Wirtschaftliche Faktoren

Wie bei den Kleinkläranlagen so spielen die Investitionskosten beim wirtschaftlichen Kalkül zugunsten (oder zu Lasten) von Membrankläranlagen die entscheidende Rolle (63 Prozent sehr wichtig, 37 Prozent wichtig). Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass in aller Regel nicht das Bruttoinvestitionsvolumen allein den Ausschlag gibt, sondern auch die Höhe der staatlichen Förderung, die von den Befragten mit 30 bis 38 Prozent, in Ausnahmefällen sogar mit bis zu 80 Prozent angegeben wurden. Ganz

deutlich lassen sich an den unterschiedlichen Förderquoten auch deutliche Unterschiede der Behörden hinsichtlich ihrer Motivation zur expliziten Förderung der Membrankläranlagen erkennen.

Nicht ganz so wichtig, aber doch von hoher Relevanz (sehr hoch: 25 Prozent, hoch: 75 Prozent) für eine Kaufentscheidung sind die Betriebskosten, die von allen Befragten übereinstimmend höher als bei Alternativverfahren eingeschätzt wurden. Alles in allem war es angesichts dieser hohen Relevanz der Kosten als Entscheidungskriterium erstaunlich, dass die Kosten der Alternativen von nur 28 bzw. 44 Prozent der Befragten als von „sehr großer“ oder „großer“ Bedeutung eingeschätzt wurden, während sie von immerhin 28 Prozent mit „gering“ eingestuft wurden. Kennzeichnend für diesen Widerspruch mag hier die Aussage eines Befragten sein, wonach die „Membrantechnologie [...] aber trotz höherer Kosten als wettbewerbsfähig“ anzusehen sei.

Ein dritter Faktor, der die Wirtschaftlichkeit von Membrananlagen maßgeblich beeinflusst, ist die Abwasserabgabe, die durch den geringeren Schadstoffausstoß von Membrananlagen nicht nur insgesamt reduziert wird, sondern durch die Verrechnungsmöglichkeit mit den Investitionskosten zu weiteren Kosteneinsparungen führen kann.

Gesellschaftliche Faktoren

Wie bei neuen, noch wenig verbreiteten Technologien üblich, wird die Membrantechnologie von ihren (potenziellen) Nutzern mit einem höheren Risiko behaftet angesehen als Technologien, die bereits in breitem Umfang eingesetzt und vielfältig erprobt sind. Dieses subjektive, zum Teil gesellschaftlich geprägte Risikoempfinden bezieht sich im Zusammenhang mit Membrankläranlagen zunächst vor allem auf das wirtschaftliche Risiko. Dementsprechend bewerteten ein Drittel der Befragten ihr Engagement als riskant (keiner als sehr riskant), die Hälfte immerhin noch als „mäßig riskant“ und nur 16 Prozent als nicht riskant hinsichtlich der Folgekosten.

Ähnlich kritisch wie die Wirtschaftlichkeit wird die Betriebssicherheit von Membrankläranlagen beurteilt, die zwei Drittel der Befragten als riskant und nur ein Drittel als nicht riskant ansehen. Als weit weniger riskant wird die Membrankläranlage demgegenüber hinsichtlich ihrer Reinigungsleistung eingestuft. Die Hälfte der Befragten gab hier das Urteil „nicht riskant“ und ein Drittel das Urteil „mäßig riskant“ ab.

Besonders interessant ist die unterschiedliche Bewertung bezüglich der ökologischen Wirkungen von Membrankläranlagen. Während die Hälfte der Befragten die Entscheidungsrelevanz ökologischer Aspekte als sehr hoch ansah (und keiner als lediglich „hoch“), ging ein Drittel von einer geringen und 16 Prozent von einer sehr geringen

Relevanz aus. Die Ergebnisse zeigen, dass das Kostenrisiko dann als niedriger eingeschätzt wird, wenn die ökologische Relevanz als besonders hoch eingeschätzt wird und umgekehrt.

Die Tatsache, dass es sich bei den Betreibern von Membrankläranlagen um andere Institutionen handelt (halb-öffentliche, „professionell“ arbeitende Betriebe) als bei den Kleinkläranlagen (überwiegend Privatpersonen) wird auch aus den Informationsquellen ersichtlich, die letztlich zu der Entscheidung zugunsten der Membrankläranlage führten. In allen Fällen wurde ein Ingenieurbüro zu Rate gezogen. Dass in zwei Dritteln der Fälle eine Forschungs Kooperation eingegangen wurde, spricht für den Neuigkeitscharakter der Membrantechnologie in diesem Anwendungsfeld. Informelle Informationsquellen wie das Internet, Bekannte oder Informationen von Seiten der Behörden spielen dagegen mit 33, 16 bzw. 16 Prozent (Mehrfachnennungen waren möglich) eine wesentlich geringere Rolle als bei den Betreibern von Kleinkläranlagen.

Zusammenfassend lassen sich folgende wichtige Diffusionsfaktoren für den Einsatz der Membrantechnik in kommunalen Kläranlagen benennen: Aus technischer Sicht sind nur mit Membrankläranlagen die in manchen Gebieten vorgeschriebenen Abwasserqualitäten zu erreichen. Dabei benötigen die Anlagen relativ wenig Platz und erweisen sich als an unterschiedliche Kundenspezifikationen gut anpassbar und zuverlässig. Eventuell bestehende Bedenken der Kunden hinsichtlich der Zuverlässigkeit lassen sich durch das Angebot von Betreibermodellen zerstreuen. Wirtschaftlich spielen der Preis der Anlagen sowie verfügbare Subventionen bzw. Förderprogramme die wichtigste Rolle. Problematisch sind hingegen die höheren Betriebskosten und gewisse Eigenschaften des Abwassers, die den Einsatz von Membrananlagen erschweren können.

5. Fazit und Ausblick

Sowohl der Markt für Kleinkläranlagen als auch der Markt für Membrantechnologien sind derzeit stark in Bewegung und auch für die Zukunft können durch (wasser-) rechtliche und strukturelle Änderungen innerhalb der Wasserwirtschaft aber auch durch Entwicklungen im Umfeld der Wasserwirtschaft weitergehende Veränderungen erwartet werden. Die Auswertung der Patentaktivitäten im Gesamtbereich Wasser- und Abwasserbehandlung ergab, dass seit Mitte der 1990er Jahre eine deutliche Zunahme der Patentzahlen erfolgte. Für Deutschland zeigt der Trend der Patentzahlen in den letzten Jahren jedoch nach unten, die ehemals führende Position (zusammen mit den USA) ist dadurch verloren gegangen, Japan hat inzwischen zu Deutschland aufgeschlossen. Während im Bereich der Kleinkläranlagen nur sehr geringe Patentzahlen festgestellt wurden, liegt im Sektor Membrantechnologie in Zusammenhang mit dem

Thema Abwasser eine größere Zahl an Patenten vor. Für das Teilgebiet "Osmose, Ultrafiltration, Mikrofiltration" gab es ebenfalls seit Mitte der 1990er Jahre einen starken Anstieg. Allerdings sind auch hier die Patentzahlen aus Deutschland in den letzten Jahren leicht rückläufig.

Zur Analyse der wichtigsten Faktoren bei der Diffusion neuer Technologien der Abwasserentsorgung wurden exemplarisch ebenfalls die Beispiele Kleinkläranlagen und Membrantechnologie ausgewählt. Die anhand von Befragungen erzielten Ergebnisse zeigen, dass für den Einsatz von Kleinkläranlagen der Preis (einschließlich staatlicher Förderungsmöglichkeiten) und die technischen Randbedingungen und Eigenschaften eine entscheidende Rolle spielen. Eine geringere Bedeutung haben hier die rechtlichen Anforderungen und Umweltkriterien. Größtes Hemmnis ist die mentale "Pfadabhängigkeit", die Entscheidungsträger bevorzugt an altbewährten Verfahren festhalten lässt.

Der großtechnische Einsatz von Membrananlagen in kommunalen Kläranlagen (Membranbelebungsverfahren) ist eine sehr neue Technologie, in Deutschland sind bislang 10 Anlagen in Betrieb. Entscheidend für den Einsatz waren in der Regel über die allgemeinen Mindestanforderungen hinausgehende Zusatzanforderungen an die Reinigungsleistung der Anlage. Für den Bau der Anlagen wurden in erheblichem Umfang öffentliche Fördermittel gewährt, bei 2/3 der Anlagen wurden begleitende Forschungsvorhaben durchgeführt. Zusätzlicher Vorteil der Technik ist der geringe Platzbedarf. Hemmend für deren Einsatz können sich besondere Abwassereigenschaften, die den Einsatz von Membrananlagen erschweren, sowie die mit dem Einsatz verbundenen höheren Betriebskosten auswirken.

Um weitere Erkenntnisse zur Wasserinfrastruktur und den hier anstehenden Veränderungsprozessen zu gewinnen, wurde im November 2005 innerhalb des Teilvorhabens "Vorausschau und Diffusion von wasserrelevanten Technologien sowie Analyse der Folgewirkungen" im Verbundvorhaben "Wirkungen des globalen Wandels auf den Wasserkreislauf im Elbegebiet (GLOWA-Elbe II)" eine Umfrage unter 300 Betreibern von Kläranlagen im Flusseinzugsgebiet der Elbe gestartet. Diese Umfrage beinhaltet Fragen zur momentanen und zukünftigen Anwendung verschiedener Technologien, zu möglichen Änderungen im regulatorischen Rahmen der Wasserwirtschaft sowie zur Motivation der Kläranlagenbetreiber technische bzw. organisatorische Innovationen in ihrem Arbeitsbereich einzusetzen. Die aus der Umfrage gewonnenen Informationen dienen dann als Basis zum Aufbau verschiedener Szenarien, mit denen Aussagen über weitere Entwicklungen im Elbegebiet getroffen werden können.

Literatur

- Barjenbruch, M.; Al Jiroudi, D. (2005): Erfahrungen aus dem Vergleich von Kleinkläranlagen auf dem Demonstrationsfeld in Dorf Mecklenburg. In: Wasser, Abwasser (gwf), 146 (5), S. 400-407.
- Bischof, F.; Meuler, S.; Hackner, T.; Reber, S. (2005): Einsatz und Erfahrung mit Membranbiologien im ländlichen Raum - Praxiserfahrungen mit Kleinkläranlagen. In: KA - Abwasser, Abfall, 52 (2), S. 164-169.
- Brinkmeyer, J.; Rosenwinkel, K.-H.; Flasche, K.; Koppmann, M.; Austermann-Haun, U. (2005): Einsatz und Erfahrungen mit Membranbiologien im ländlichen Raum. Bedeutung und Chancen für die Verwendung in Kleinkläranlagen. In: KA - Abwasser, Abfall, 52 (2), S. 158-163.
- Dorgeloh, E.; Finke, G.; Heise, B.; Hilmer, R.; Otto, U. (2005): Qualitätskriterien für den Einsatz von Kleinkläranlagen. In: KA - Abwasser, Abfall, 52 (2), S. 170-179.
- DWA-Fachausschuss KA-7 "Membranbelebungsverfahren" (2005): DWA Arbeitsbericht "Membranbelebungsverfahren", 2. Arbeitsbericht, Fassung vom 19.01.2005.
- Grupp, H. (1997): Messung und Erklärung des Technischen Wandels - Grundzüge einer empirischen Innovationsökonomik, Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Hinze, S.; Schmoch, U. (2004): Opening the Black Box. Analytical approaches and their impact on the outcome of statistical patent analyses - Handbook of Qualitative Science and Technology Research. The Use of Publication and Patent Statistics in Studies of S&T Systems, Moed, H.F.; Glänzel, W.; Schmoch, U. (Hrsg.), Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, S. 215-235.
- Scheer, H. (2005): Erfahrungen in Wartung und Betrieb von Kleinkläranlagen verschiedener Typen. In: Wasser und Abfall, 6 (2005), S. 20-23.
- Schmoch, U. (1990): Wettbewerbsvorsprung durch Patentinformation, Grupp, H. (Hrsg.), Schriftenreihe Zukunft der Technik, Köln: TÜV Rheinland.
- Schröder, F. (2005): Kleinkläranlagen lösen Abwasserprobleme und leiden an Überreglementierung. In: Wasser und Abfall, 6 (2005), S. 24-28.