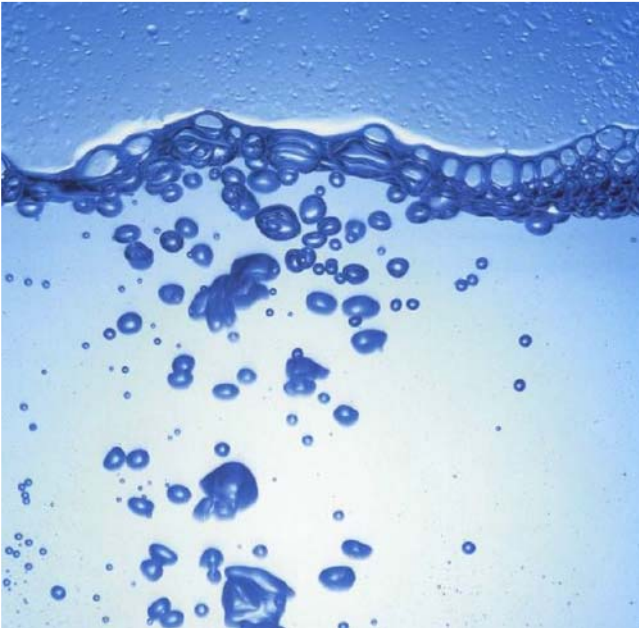




## Zukunftsmarkt

# Dezentrale Wasseraufbereitung und Regenwassermanagement





# **Zukunftsmarkt**

## **Dezentrale Wasseraufbereitung und Regenwassermanagement**

Fallstudie im Auftrag des Umweltbundesamtes

im Rahmen des Forschungsprojektes  
Innovative Umweltpolitik in wichtigen Handlungsfeldern  
(Förderkennzeichen 206 14 132/05)

durchgeführt

von

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI), Karlsruhe

Autor:

Christian Sartorius

## Impressum

Herausgeber: Umweltbundesamt (UBA)  
Postfach 1406, 06844 Dessau-Roßlau  
E-Mail: [info@umweltbundesamt.de](mailto:info@umweltbundesamt.de)  
[www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de)

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit  
Referat Öffentlichkeitsarbeit  
11055 Berlin  
E-Mail: [service@bmu.bund.de](mailto:service@bmu.bund.de)  
[www.bmu.de](http://www.bmu.de)

ISSN: 1865-0538

Projektbetreuung: Michael Golde  
Umweltbundesamt (UBA)

Peter Franz  
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)

Autor: Dr. Dr. Christian Sartorius  
(Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI), Karlsruhe)

Titelfotos: Q-Cells AG, BMU / Rupert Oberhäuser, ccvision GmbH

Stand: Dezember 2007

## Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>1</b>
<b>Summary</b> .....	<b>2</b>
<b>1 Einführung</b> .....	<b>3</b>
<b>2 Bedeutung und Potenziale der dezentralen Wasseraufbereitung und des Regenwassermanagements</b> .....	<b>5</b>
2.1 Hintergrund .....	5
2.2 Die Technologie .....	5
2.2.1 Regenwassernutzung .....	7
2.2.2 Grauwasseraufbereitung .....	8
2.2.3 Trinkwasseraufbereitung mittels Membranfiltration .....	8
2.2.4 Prozesswasseraufbereitung .....	9
2.2.5 Regenwasserversickerung .....	10
2.2.6 Zusammenspiel und Zuordnung der Technikkomponenten zu den Sektoren.....	12
2.2.7 Technologische Entwicklungsdynamik .....	13
2.3 Nutzen für Umwelt und Gesellschaft .....	15
2.4 Wirtschaftliche Potenziale .....	16
2.4.1 Marktpotenzial.....	16
2.4.2 Zielländer .....	19
<b>3 Leistungsfähigkeit der wichtigsten Länder in der betrachteten Techniklinie</b> .....	<b>22</b>

<b>4</b>	<b>Innovationssystem und marktführende Unternehmen in den führenden Ländern .....</b>	<b>27</b>
4.1	Akteursanalyse.....	27
4.1.1	Wasseraufbereitung .....	27
4.1.2	Regenwassermanagement .....	31
4.2	Rahmenbedingungen und Regulierung.....	31
<b>5</b>	<b>Schlussfolgerungen und Ausblick .....</b>	<b>34</b>
5.1	Bewertung der Technologie .....	34
5.2	SWOT-Analyse .....	34
5.3	Perspektiven bis 2020 .....	36
5.4	Herausforderungen und Handlungsempfehlungen.....	36
	<b>Literatur.....</b>	<b>38</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1:	Das Zusammenspiel von dezentralem Regenwassermanagement und Grauwasseraufbereitung in einem wassereffizienten Haushalt. ....	6
Abbildung 2-2:	Konzepte der Regenwasserbewirtschaftung in Abhängigkeit von der Durchlässigkeit des anstehenden Bodens und der Flächenverfügbarkeit (ATV-Arbeitsgruppe 1.2.6 1999).....	11
Abbildung 2-3:	Vergleich der Entwicklung der internationalen Patentanmeldungen im Zeitraum 1991 bis 2004 .....	14
Abbildung 2-4:	Kostendegression des Membranersatzes bei kommunalen Membrankläranlagen (Pinnekamp & Friedrich 2006 und eigene Abschätzung) .....	15
Abbildung 2-5:	Vergleich der prognostizierten Marktentwicklungen membran-basierter Abwasser-, Trinkwasser- und industrieller Prozesswasseraufbereitung in Europa (Frost & Sullivan 2005, 2006a) .....	17
Abbildung 2-6:	Aktuelle (2005) und prognostizierte (2020) Marktentwicklung für membranbasierte kommunale Trink- und industrielle Prozesswasserbehandlung (Frost & Sullivan 2005, 2006a, 2006b und eigene Berechnungen) .....	18
Abbildung 3-1:	Anteile der wichtigsten Länder an den Patentanmeldungen in den Bereichen (Semi-)Dezentrale Wasserbehandlung (links) und Meerwasserentsalzung (rechts) im Zeitraum 2000 bis 2004.....	23
Abbildung 3-2:	Relative Patentanteile (RPA) der wichtigsten Patentanmeldungen im Bereich (Semi-)Dezentrale Wasserbehandlung (Zeitraum 2000 bis 2004) .....	24
Abbildung 3-3:	Welthandelsanteile der wichtigsten Exportländer im Bereich Wasseraufbereitung im Jahr 2004 .....	24
Abbildung 3-4:	Relativer komparativer Vorteil (RCA) der wichtigsten Exportländer im Bereich Wasseraufbereitung im Jahr 2004.....	25
Abbildung 4-1:	Marktanteile großer international agierender Firmen im Bereich der Membranfiltration in Europa im Jahr 2005 (Frost & Sullivan 2005, 2006a).....	28

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Vergleich der im Wasser- und Abwasserbereich verwendeten Membranfiltrationsverfahren.....	9
Tabelle 2-2:	Charakterisierung der wichtigsten potenziellen Zielländer und Deutschlands aufgrund von Rankings ( $N_{ges} = 125$ ) aus dem Global Competitiveness Report 2006–2007 (WEF 2006).....	20
Tabelle 5-1:	SWOT-Analyse für die internationale Wettbewerbsfähigkeit der EU und Deutschlands in der Techniklinie "Dezentrale Wasseraufbereitung und Regenwassermanagement".....	35



## Zusammenfassung

Stärker semi- oder dezentralen Konzepten der Wasserver- und Abwasserentsorgungsinfrastruktur kommt angesichts des sich andeutenden Klimawandels sowie abzusehender demografischer Veränderungen eine besondere Bedeutung zu, da sie besser als die vorherrschende zentrale Infrastruktur an sich verändernde Herausforderungen angepasst werden können. Wichtige Bausteine sind dabei die Aufbereitung und (Wieder-) Nutzung von Regen- und Grauwasser. Dabei kann einerseits mit Hilfe des Regenwassermanagements die Belastung der Umwelt durch Starkniederschläge vermindert und das Grundwasser durch dezentrale Versickerung erneuert werden. Andererseits spielt die Membrantechnologie bei der Aufbereitung aller Arten von Roh- und Abwasser eine Schlüsselrolle.

Hinsichtlich der technischen Leistungsfähigkeit sowie der aktuellen Exportorientierung sind insbesondere die USA, Kanada, Großbritannien und die Niederlande als wichtige Konkurrenten Deutschlands einzustufen. Besonders zu erwähnen ist auch Frankreich, wo die wichtigsten globalen Player (Veolia, Suez) beheimatet sind. Deutschland bezieht seine Stärke vor allem aus einem breiten Feld kleinerer und mittelgroßer Unternehmen, die technisch sehr leistungsfähig sind und Exporte in großem Umfang realisieren. Problematisch wirkt sich die kleinräumige Struktur und Orientierung der öffentlichen Wasserver- und Abwasserentsorger in Deutschland aus, die die Ausbildung mächtiger deutscher Verbände tendenziell eher behindern.

Dezentrale Wasseraufbereitung und Abwasserentsorgung spielt in Deutschland bereits heute eine zunehmende Rolle. Eine nachfrageorientierte Innovationspolitik und erhöhte Wettbewerbsorientierung unter den Betreibern von Anlagen (z. B. durch die Einführung aller Kosten beinhaltender (Ab-) Wasserpreise) könnte sich als positiv für die weitere Entwicklung und Diffusion dezentraler Technologien erweisen. Zusätzlich sollten kleinere Firmen bei der Suche nach Kontakten und der Etablierung von Demonstrationsprojekten in den Exportländern verstärkt unterstützt werden. Das mit Investition in Schwellen- und Entwicklungsländern verbundene größere Risiko könnte mittels verbürgter Kredite abgedeckt werden. Aus der Eigenart des Großteils dieser Zielländer (kaum vorhandene Infrastruktur und geringe Finanzierungsmöglichkeiten) leitet sich schließlich die Forderung nach einer zunehmenden Ausrichtung deutscher Firmen auf eine angepasste Technologie und eine verstärkte Berücksichtigung der institutionellen und kulturellen Bedürfnisse dieser Länder ab.

## Summary

### Technology characterisation

With regard to forthcoming climate and demographic changes, semi- and decentralised concepts of water supply and sewage disposal infrastructure are of crucial importance as they are more able to adapt to yet uncertain challenges than the established centrally structured infrastructure. Pivotal elements of such more decentralised infrastructures are the conditioning and re-use of rain and grey water. In this context, rainwater management is of special relevance as it reduces the impact of extreme precipitation on the environment and, at the same time, enables the replenishment of groundwater reservoirs. Another key technology for up-grading of all sorts of raw and wastewater is membrane filtration, which shows its superior potential whenever the conventional technology reaches its limits.

### Actors and competitors

With regard to technical capability and performance in foreign trade, the USA, Canada, United Kingdom and the Netherlands are the strongest competitors of the German water industry. Another important country is France, which, due to its colonial past and its high degree of privatisation, hosts the largest global players – Veolia and Suez. Compared with its competitors, the strength of the German water sector is based on the wide variety of innovative, small and medium-sized companies with strong international trade relations offsetting the power of big players by a high degree of flexibility. By contrast, the main weakness of the German water sector is the small-scale structure and local economic orientation of basically public owned utilities, which tends to hinder the formation of powerful water technology companies and the respective networks.

### (Policy) perspectives

While current exports of water-related technology are mainly focussed on central infrastructures, decentralised water supply and sewage disposal are increasingly relevant in Germany today. They may do so even more, if the development and diffusion of the latter technologies are enhanced by demand-oriented innovation policy and the intensified competition between the operators of (waste) water treatment plants (e.g. by means of real cost-oriented pricing). Additionally, small and medium-sized firms should be supported in establishing contacts and raising demonstration projects in the target countries of their export activities. The higher risk associated with their engagement in developing and threshold countries should be offset by means of guaranteed loans. On the part of the exporting firms, the lack of infrastructure and financial capacity in those target countries with the most pressing need for technical improvements implies the adoption of better adapted technologies that also take into account the institutional and cultural circumstances in the respective countries.

## 1 Einführung

Der Umwelt- und Ressourcenschutz gewinnt national und international eine zunehmende Bedeutung. Damit verbunden wird sich die Nachfrage nach Umwelttechniken weltweit dynamisch entwickeln. Inzwischen hat sich aus dem Umwelt- und Ressourcenschutz auch ein maßgeblicher Treiber für Innovationen entwickelt. Umwelt- und Innovationspolitik wachsen dadurch immer stärker zusammen, moderne Umweltpolitik muss auch Innovationspolitik sein.

Um Wachstums- und Beschäftigungspotenziale zu mobilisieren ist es wichtig, Synergieeffekte zwischen der Verbesserung der Umweltsituation, der Schaffung zukunftsfähiger Arbeitsplätze und der Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit zu identifizieren und zu nutzen. Das Forschungsprojekt „Innovative Umweltpolitik in wichtigen Handlungsfeldern“ analysiert die Innovationsdynamik in wichtigen Handlungsfeldern systematisch und auf zusammenfassender Ebene. Diese Handlungsfelder bildeten die Basis, um elf Produktgruppen/Technologien auszuwählen, die in Fallstudien vertieft untersucht werden.

Jede Fallstudie enthält eine kurze Vorstellung der Grundlagen der entsprechenden Technologie. Anschließend folgt eine nähere Analyse des Zukunftsmarktes und seiner Innovationsdynamik. Besonderes im Blickpunkt stehen dabei die Entwicklung der Wettbewerbsfähigkeit deutscher und europäischer Unternehmen im internationalen Vergleich, ihr Umfeld sowie Ansatzpunkte für eine Stärkung des deutschen und europäischen Innovationssystems.

Innerhalb der Reihe: „Umwelt, Innovation, Beschäftigung“ sind Fallstudien zu den folgenden Themen erschienen: Solarthermische Stromerzeugung, CO<sub>2</sub>-Abscheidung und Speicherung, Elektrische Energiespeicherung, Solares Kühlen, Energieeffiziente Rechenzentren, Biokunststoffe, Synthetische Biokraftstoffe, Hybride Antriebstechnik, Dezentrale Wasseraufbereitung und Regenwassermanagement, Nachhaltige Wasserwirtschaft und Nanotechnologie, Stofferkennung und –trennung.

In der vorliegenden Veröffentlichung werden die Ergebnisse der Fallstudie "Dezentrale Wasseraufbereitung und Regenwassermanagement" beschrieben. Die Motivation zur Behandlung dieses Themas besteht darin, dass Wasser eine lebensnotwendige Ressource ist und gleichzeitig immer knapper wird. Während in weiten Teilen der Welt der Wasserverbrauch für Landwirtschaft, Industrie und den privaten Konsum steigt, leben etwa 1,2 Milliarden Menschen vor allem in den Entwicklungsländern ohne Zugang zu gesundheitlich unbedenklichem Trinkwasser. 2,6 Milliarden Menschen leben ohne sanitäre Grundversorgung. Da 80 Prozent aller Krankheitsfälle in den Entwicklungslän-

dern auf verunreinigtes Wasser und eine mangelhafte Abwasserentsorgung zurückgeführt werden, haben sich die Vereinten Nationen im Rahmen der Millennium Development Goals die Halbierung dieser Zahlen bis zum Jahr 2015 zum Ziel gesetzt. Gleichzeitig bedrohen in Teilen der Industrieländer Wasserqualitäts- und -infrastrukturprobleme den Wohlstand der Menschen und auch diese Situation wird durch den Wandel von Klima und Bevölkerungsstruktur in Zukunft eher verschärft. Alles in allem ergibt sich daraus für den Bereich des nachhaltigen Wassermanagements ein Weltmarktvolumen für Technologien des nachhaltigen Wassermanagements von gegenwärtig 190 Milliarden Euro, das bis zum Jahr 2020 auf bis zu 480 Milliarden Euro steigen könnte und wovon ca. 30 Prozent von europäischen Anbietern abgedeckt werden könnten (BMU 2007a, b). Die Annahme dürfte also gerechtfertigt sein, dass die Wasser- und Abwassertechnologie sowohl hinsichtlich ihrer Umwelt- und Gesundheitseffekte als auch ihrer wirtschaftlichen Wachstums- und Beschäftigungsperspektiven als sehr positiv einzuschätzen ist.

Die vorliegende Fallstudie beginnt im Kapitel 2 (Abschnitt 2.1) mit einer Begründung für die spezielle Fokussierung innerhalb der Wasser- und Abwassertechnologien auf dezentrale Wasseraufbereitung und Regenwassermanagement. Es folgt (in Abschnitt 2.2) eine Beschreibung der relevanten Technologien, ihres Zusammenspiels sowie eine erste Abschätzung ihrer Entwicklungsdynamik. Der aus der Implementierung dezentraler Wasseraufbereitung und Regenwassermanagements resultierende Nutzen für Umwelt und Gesellschaft sowie die wirtschaftlichen Potenziale stehen im Blickfeld der Abschnitte 2.3 und 2.4. An die technologieorientierte Perspektive schließt in Kapitel 3 eine Analyse der Leistungsfähigkeit maßgeblicher EU-Länder und ihrer Konkurrenten in Nordamerika und Fernost hinsichtlich des für Forschung und Entwicklung erforderlichen Know-hows sowie der aktuellen Wettbewerbsfähigkeit an. Ergänzt wird diese eher pauschale Betrachtung in Kapitel 4 durch eine spezifische Analyse der Akteure und ihrer Rollenverteilung im Außenhandel (Abschnitt 4.1) sowie der relevanten Rahmenbedingungen und des jeweiligen Regulierungskontextes (Abschnitt 4.2). Schlussfolgerungen und ein Ausblick schließen die Fallstudie in Kapitel 5 ab.

## **2 Bedeutung und Potenziale der dezentralen Wasseraufbereitung und des Regenwassermanagements**

### **2.1 Hintergrund**

Sowohl Wasserver- als auch Abwasserentsorgung stehen in naher Zukunft vor gewaltigen Herausforderungen. Der Klimawandel wird voraussichtlich sowohl die Häufigkeit von Extremwetterereignissen und damit einhergehenden Hochwassern erhöhen als auch die Dauer und Intensität von Dürreperioden. Zusätzlich erfordern demographische und migrationsbedingte Veränderungen eine Flexibilität der Wasserver- und Abwasserentsorgung, die das gegenwärtig vorherrschende, zentrale Infrastrukturkonzept aufgrund seiner rigiden, langfristig festgelegten Struktur nicht darzustellen in der Lage ist.

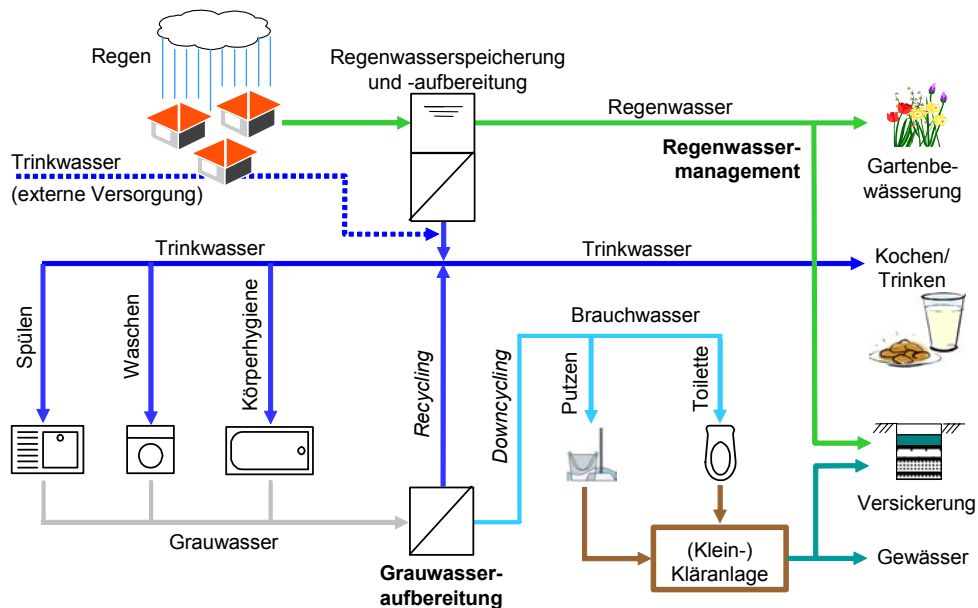
Diesen Herausforderungen lässt sich durch den Übergang zu einer stärker (*semi-*) *dezentralen* Wasser- und Abwasserwirtschaft begegnen, bei der ein Teil der abzusehenden Probleme durch die Schließung oder Verkürzung von Kreisläufen von vorneherein umgangen werden kann. Diese möglichst weitgehende Kreislaufführung sowie das Regenwassermanagement als Instrument zur Schonung der Ressource Wasser stellen zentrale Elemente einer nachhaltigen Wasserwirtschaft dar und erklären damit gleichzeitig, warum im Titel der Fallstudie von Wasseraufbereitung, nicht jedoch von Abwasseraufbereitung die Rede ist: Es geht darum, Wasser nach seinem Gebrauch nicht nur so weit zu reinigen, dass es gefahrlos in die Umwelt abgeleitet werden kann, sondern es einem möglichst hohen Niveau der Wiedernutzung zuzuführen. In jedem Fall können mit der Dezentralisierung einhergehende, kürzere Planungshorizonte und ein geringerer Umfang der Einzelinvestitionen dazu beitragen, den vorhandenen Bedarf an Wasserver- und Abwasserentsorgung effektiv und auf ressourcen- und kapitalschonende Weise zu decken und gleichzeitig das wirtschaftliche Risiko der verbleibenden Investitionen möglichst gering zu halten. Für die deutsche Industrie bedeutet dies eine Chance, da im eigenen Land aus Gründen des Umwelt- und Ressourcenschutzes entwickelte und produzierte Technologie im Ausland vor allem deswegen auf Interesse stoßen sollte, weil sie es ermöglicht, bestehende Infrastrukturdefizite unter Inkaufnahme geringerer Investitionsrisiken auszugleichen.

### **2.2 Die Technologie**

Der Technologiebereich "Dezentrale Wasseraufbereitung und Regenwassermanagement" besteht aus einer Reihe von Technikkomponenten, die in wesentlichen Teilen auf Regen als Wasserquelle Bezug nehmen. Dabei leisten, wie in Abbildung 2-1 bei-

spielhaft dargestellt, die Aufbereitung und (Wieder-) Nutzung von Regenwasser bzw. Grauwasser einzeln oder gemeinsam einen Beitrag zur Wasserversorgung.

Abbildung 2-1: Beispielhafte Darstellung des Zusammenspiels von dezentralem Regenwassermanagement und Grauwasseraufbereitung in einem wassereffizienten Haushalt.



Darüber hinaus besteht die Bedeutung des *Regenwassermanagements*<sup>1</sup> darin, die Belastung der Umwelt durch niederschlagsbedingte Kläranlagenabläufe sowie Einleitungen aus Trennkanalisationen und Mischkanalisationsüberläufen zu vermeiden.<sup>2</sup> Eine Vermeidung dieser Arten von Belastung kann dadurch geschehen, dass der Regen von vornherein aufkommensnah versickert wird, bei Überschreiten der Kapazität aus der Kanalisation (in Regenüberlauf- oder -klärbecken) abgeleitet und ggf. später wieder zugeführt wird oder mit Hilfe von Retentionsbodenfiltern außerhalb gereinigt und versickert wird. Ein zusätzlicher Effekt der Versickerung ist die Erneuerung des Grundwassers, die letztlich, wenn auch mit einem gewissen Zeitversatz, der Wasser-

1 Der Begriff des Regenwassermanagements wird hier deckungsgleich mit dem in der Wasserwirtschaft üblichen Begriff der Regenwasserbewirtschaftung verwendet, der die Versickerung ebenso umfasst wie die Reinigung oder den Abschlag verunreinigten Regenwassers. Im weiteren Sinne ist auch die Nutzung von Regenwasser als Trink- oder Brauchwasser dem Regenwassermanagement zuzuordnen.

2 Die Belastung der Oberflächengewässer durch starkregenbedingte Mischwasserabschläge sowie Regenwassereinleitungen aus Trennkanalisationen übertrifft mittlerweile für verschieden Schadstoffe die Belastung durch Einleitungen von Kläranlagen aus Kommune, Industrie und Gewerbe bei Trockenwetter.

versorgung zugute kommt. Die einzelnen Techniklinien und ihre Komponenten werden im Folgenden erläutert.

### 2.2.1 Regenwassernutzung

Anfallendes Niederschlagswasser wird von Dachflächen abgeleitet und nach Entfernung von Schmutzpartikeln mittels eines **Filters** (Maschenweite <0,3 mm) in einen Speicher geleitet. Der **Regenwasserspeicher** dient nicht nur der Lagerung des Niederschlagswassers, sondern in gewissem Umfang auch der Reinigung, da hier die meisten verbliebenen ungelösten Stoffe sedimentieren. Um die Wasserversorgung auch in Trockenperioden zu gewährleisten, wird i. d. R. eine Trinkwassernachspeisung integriert werden. Die konsequente Weiterentwicklung der Komponenten hat in den letzten Jahren bei der Regenwassernutzung zu 2-Komponenten-Lösungen mit Speicher und **Steuerungsmodul** geführt. Dabei wird der Speicher mit dem darin integrierten Filter zumeist außerhalb des Hauses installiert, wogegen die in der Regenwasserzentrale zusammengefasste Systemsteuerung mit der **Pumpe** und der Trinkwassernachspeisung im Haus untergebracht sind (vgl. FBR 2007). Dadurch lassen sich eine schnellere Montage und ein optimaler Zugang beim Betrieb erreichen. Die Qualität der einzelnen Produkte und der technische Standard wird in Deutschland durch Gütezeichen mit Bezug zur neuen DIN 1989 „Regenwassernutzungsanlagen“ gewährleistet. Die weitere Entwicklung geht dahin, komplette Systeme und Lösungen anzubieten, die zusätzlich einen möglichen Rückstau aus dem Kanal kontrollieren und/oder Versickerung und Rückhalt ermöglichen.

Während die beschriebenen Komponenten und ihre Anordnung im System der Regenwassernutzung in erster Linie in Mitteleuropa zum Einsatz kommt, ist das Grundprinzip der Regenwassersammlung und -speicherung unter dem Begriff des "Rainwater harvesting" auch in Entwicklungsländern von großer Bedeutung. Wichtige Unterschiede zur Regenwassernutzung in Industrieländern bestehen darin, dass

- für die Sammlung des Wassers nicht nur Dachflächen, sondern alle Arten versiegelter Flächen (inkl. sog. Micro-catchments) genutzt werden,
- die Wasserqualität und ihre Aufrechterhaltung über gewisse Zeiträume klimabedingt oft eine sehr wichtige Rolle spielen,
- die Integration in ein bestehendes System der (Trink-)Wasserversorgung dagegen von geringerer Bedeutung sind.

## 2.2.2 Grauwasseraufbereitung

Als Grauwasser wird solches Abwasser bezeichnet, das gering verschmutzt, weitgehend frei von Fäkalien, Fettstoffen und damit organisch wenig belastet ist. Es entsteht im Haushalt zum Beispiel als Abfluss aus Bad, Dusche und Waschmaschine. Täglich fallen davon in einem wassersparenden Haushalt in Deutschland etwa 60 Liter an. Da Grauwasser witterungsunabhängig anfällt, kann es kontinuierlich für eine weitere Nutzung aufbereitet werden und als Brauchwasser zur Toilettenspülung, für andere Reinigungszwecke und zur Bewässerung eingesetzt werden. Grundsätzlich sind bei entsprechender Aufbereitung auch höherwertige Nutzungen möglich; dem stehen aber in Deutschland und vergleichbaren Ländern gesetzliche Regelungen und gesellschaftliche Akzeptanzprobleme entgegen. Im Wesentlichen bestehen Kompaktanlagen zur Grauwasseraufbereitung aus einem mehrstufigen System mit Vorfiltration, **biologischer Stufe** (bspw. Belebung oder Tauchkörper) sowie einer **Desinfektionseinheit** (i. d. R. UV-Hygienisierung) (Böhm et al. 2002). Im Resultat kann eine Wasserqualität erreicht werden, die der EU-Richtlinie für Badegewässer (2006/7/EG) entspricht. Grundsätzlich sind für Trink- und Brauchwasser jedoch separate Leitungssysteme vorzusehen.

Im Gegensatz zu der dargestellten, typischen Anordnung eines Grauwasseraufbereitungssystems in Deutschland bzw. Mitteleuropa sind in anderen Teilen der Welt verschiedene Varianten denkbar. Einerseits sind nach entsprechender Aufbereitung z.B. mittels Membrantechnik auch höherwertige Nutzungen beispielsweise als Trinkwasser denkbar (vgl. Abschnitt 2.2.3). Andererseits wären die Ansprüche an (und damit der verfahrenstechnische Aufwand zur Bereitstellung von) Wasser, das nicht direkt vom Menschen genutzt wird, in Entwicklungsländern vermutlich deutlich geringer.

## 2.2.3 Trinkwasseraufbereitung mittels Membranfiltration

Grundsätzlich ist es auch möglich, das Niederschlagswasser oder gar das Brauchwasser zu Trinkwasser aufzubereiten und es damit tatsächlich einem Recycling (und nicht nur einem Downcycling) zu unterziehen. Zu diesem Zweck können Regen- und Brauchwasser mittels **Membranfiltration** weiter gereinigt werden. Im Falle von Regenwasser genügt die Ultrafiltration, um das Wasser zu reinigen und es gleichzeitig in einen hygienisch einwandfreien Zustand zu versetzen.<sup>3</sup> Ist das Wasser wie im Falle der Meerwasserentsalzung mit gelösten Stoffen verunreinigt, wird es davon mit Hilfe

---

<sup>3</sup> Die Ultrafiltration wird auch in Kleinkläranlagen des Typs Membranbioreaktor eingesetzt, um Abwasser soweit zu reinigen, dass es ohne Verletzung der EU-Badewasserrichtlinie in stehende Gewässer eingeleitet werden kann.



der Umkehrosmose befreit, wobei i. d. R. aber eine Mikrofiltration vorgeschaltet ist, um gröbere Verunreinigungen zu entfernen und damit ein Zusetzen der Umkehrosmosemembran zu verhindern. Die Eigenschaften der Membranen (s. Tabelle 2-1), die Art ihrer Anordnung in Modulen sowie Pumpen, Mess- und Regeleinrichtungen zum Betrieb und zur Spülung der Module sind hier die relevanten Technikaspekte (Pinnekamp & Friedrich 2006, Wagner 2001). Obwohl einwandfreies Trinkwasser gewonnen werden kann, wird dieses Verfahren aufgrund des hohen Aufwandes (vgl. die Betriebsdrücke in Tabelle 2-1), der zurzeit relativ reichlichen Verfügbarkeit von hochwertigem Grund- und Oberflächenwasser für die Trinkwassergewinnung und mangelnder gesellschaftlicher Akzeptanz in Deutschland derzeit nicht praktiziert. Es kann aber in Ländern mit größerer Wasserknappheit durchaus von Bedeutung sein, wie das Beispiel der Meerwasserentsalzung zeigt.

Tabelle 2-1: Vergleich der im Wasser- und Abwasserbereich verwendeten Membranfiltrationsverfahren

	Mikrofiltration	Ultrafiltration	Nanofiltration	Umkehrosmose
Membran - Porengröße (nm) - Typ. Bereich	400 (100–5000)	40 (10–100)	4 (1–10)	0.4 (0.1–1)
- Dicke (µm)	10–150	150 + 1 (Dünnschicht)	150 + 1 (Dünnschicht)	150 + 1 (Dünnschicht)
- Typ	Symmetrisch	Asymmetrisch	Asymmetrisch	Asymmetrisch
- Materialien	Keramik, versch. Polymere	Keramik, versch. Polymere	Zelluloseacetat	Zelluloseacetat
Zurückhalten von	Partikel, Bakterien	+ Viren, Makromoleküle	+ Verbindungen hohen Mol.-gew., polyvalente Ionen	+ Verbindungen niedr. Mol.-gew., alle Ionen
Betriebsdruck (bar)	< 2	1–10	5–40	10–120
Modulkonfigurationen	Röhrenförmig, Hohlfasern	Röhrenförmig, Hohlfasern, Spiralen, Platten	Röhrenförmig, Spiralen, Platten	Röhrenförmig, Spiralen, Platten

Source: Pinnekamp & Friedrich (2006), Wagner (2001)

Hinsichtlich der erforderlichen Technologiekompetenzen stellt die Membranfiltration eine Konvergenz aus Materialforschung (Membran), Verfahrenstechnik (Modul/-anordnung) und Mess-, Steuer- und Regeltechnik dar.

## 2.2.4 Prozesswasseraufbereitung

Für die nachhaltige Gewinnung, Nutzung oder Aufbereitung industriellen Prozesswassers bestehen grundsätzlich verschiedene Möglichkeiten. Zunächst kann auf der Input-

seite Regenwasser oder das Wasser aus Oberflächengewässern als Rohwasser genutzt werden, um andere höherwertige Wasserressourcen zu schonen. Zur Aufbereitung dieses Wassers kommen Verfahren zum Einsatz, die teilweise mit denjenigen vergleichbar sind, die schon im Zusammenhang mit der privaten Regenwassernutzung diskutiert wurden.

Unabhängig davon, welches Wasser benutzt wird, kann durch zumeist prozessintegrierte Maßnahmen der spezifische Wasserverbrauch verringert und damit die Wassernutzungseffizienz erhöht werden. Dies kann durch die konstruktive Anpassung des **Prozessdesigns** oder durch eine verbesserte **Mess-, Steuer- und Regeltechnik** geschehen, die den Wasserverbrauch näher am tatsächlich notwendigen Bedarf orientiert. Am höchsten steigt die Effizienz, wenn das Wasser, wie im Falle eines geschlossenen Kühlsystems, im Kreislauf geführt wird, da in diesem Fall Frischwasser nicht oder nur in dem Umfang zugeführt werden muss, wie es im Verlaufe des chemischen Prozesses tatsächlich verbraucht wird.

Das Prinzip der Kreislaufführung gelangt darüber hinaus vorzugsweise dann zum Einsatz, wenn es, wie bspw. in der chemischen, der metallverarbeitenden oder der Textilindustrie, darum geht, nicht nur das Wasser, sondern auch andere Substanzen (z. B. Lösemittel oder Fette) der Wiederverwertung zukommen zu lassen, die aus wirtschaftlicher Sicht noch wertvoller sind als das Wasser selbst (Pinnekamp & Friedrich 2006; Rosenwinkel und Brinkmeyer 2004; Schmid et al. 2004). Häufig kommen in diesem Zusammenhang wieder die **Membranfiltration** oder andere **physikalische Trennverfahren** (z. B. Fällung und Absetzen) zum Einsatz, die sicherstellen, dass die chemisch-physikalischen Eigenschaften der zu trennenden Substanzen weitestgehend erhalten bleiben.

Wo, wie im Falle der Papier- oder (unter Umständen) Lebensmittelindustrie, eine vollständige Kreislaufführung des Wassers wegen der prozessbedingten Akkumulation unerwünschter, darin gelöster Stoffe nur bedingt möglich ist, muss das Prozesswasser vor seiner Ableitung in ein Gewässer durch eine chemische (z. B. Neutralisation, Fällung) und/oder biologische Behandlung gereinigt werden (DWA 2005).

### 2.2.5 Regenwasserversickerung

Die Vielzahl möglicher technischer Ausführungen von Versickerungsanlagen kann in sechs gebräuchliche Haupttypen differenziert werden (nach Geiger und Dreiseitl 1995):

**Flächenversickerung:** Flächenförmige Versickerung über eine durchlässige Oberfläche. Infiltration über feinkörnige Deckschichten (Filterwirkung).

**Muldenversickerung:** Flächenförmige Versickerung über eine belebte Bodenschicht. Infiltration über feinkörnige Deckschichten (zusätzliche Filterwirkung).

**Beckenversickerung:** Flächenförmige Versickerung über die belebte Bodenschicht in einem humusierten Becken. Infiltration entweder über feinkörnige Deckschicht (zusätzliche Filterwirkung) oder direkt in die sickerfähige Schicht.

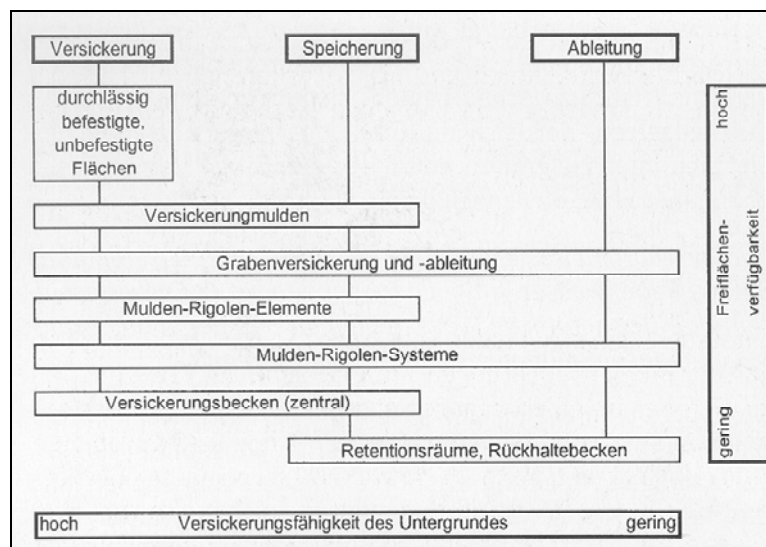
**Rigolen- und Rohrversickerung:** Oberflächennahe Versickerung durch einen gut durchlässigen, überdeckten Kieskörper mit großer Fläche und hohem Retentionsvermögen. Infiltration über feinkörnige Deckschichten (zusätzliche Filterwirkung).

**Mulden-Rigolenversickerung:** Retention durch Mulden und stark verzögerte Ableitung oder Versickerung durch darunter angeordnete Rigolen.

**Schachtversickerung:** Konzentrierte, punktförmige Versickerung mittels Versickerungsschacht und künstlich eingebrachter Filterschichten. Infiltration direkt in die sickerfähige Schicht ohne Passage durch feinkörnige Deckschichten.

Abbildung 2-2 zeigt die typischen Anwendungsbereiche in Abhängigkeit von der Durchlässigkeit des Bodens und der Flächenverfügbarkeit.

Abbildung 2-2: Konzepte der Regenwasserbewirtschaftung in Abhängigkeit von der Durchlässigkeit des anstehenden Bodens und der Flächenverfügbarkeit (ATV-Arbeitsgruppe 1.2.6 1999)



Die im Zusammenhang mit der Versickerung relevanten Technologien sind recht einfacher Natur und erfordern in jedem Fall Erdarbeiten in erheblichem Umfang. Darüber hinaus ist bei der Versickerung mittels Rigolen, Rohren, kombinierter Mulden und Rigolen sowie Schächte in gewissem Umfang technische Hardware wie perforierte Rohre und Hohlkörper aus Beton oder Kunststoff erforderlich, die zum Zwecke der Stabilisierung unterirdischer Retentionsräume ins Erdreich eingebracht werden. Diese Hardware könnte grundsätzlich auch in Ländern Verwendung finden, die mit häufigen Extremniederschlägen konfrontiert sind. Tatsächlich erweisen sich diese Systeme laut Herstellerangaben aber als zu voluminös und damit als für den Transport über weitere Strecken

ungeeignet, so dass ein Export nicht in Frage kommt. Stattdessen wäre es aber möglich, das Know-how zu Planung und Bau, d.h. die Ingenieurleistung zu exportieren.

### **2.2.6 Zusammenspiel und Zuordnung der Technikkomponenten zu den Sektoren**

Die Technikkomponenten, die in den verschiedenen oben beschriebenen Anwendungsbereichen zum Einsatz kommen, sind oftmals recht ähnlich und in ihrer Gesamtzahl überschaubar. Wichtiger jedoch als die Zahl oder Art der beteiligten Technikkomponenten ist für die technische Wettbewerbsfähigkeit oder gar einen entsprechenden Vorteil einer Wirtschaft die Fähigkeit, die Komponenten zu anspruchsvollen Techniksystemen zu verknüpfen.

Filtermembranen sind von zentraler Bedeutung für die Aufbereitung von Wässern (Grau-, Prozess-, Regenwasser), die nach der Nutzung in Haushalten und Industrie anfallen und (semi-) dezentral und auf hohem Niveau wiederverwertet oder ohne Schaden für Oberflächengewässer oder Grundwasser abgeleitet oder versickert werden sollen. Für die grundlegende Funktionsfähigkeit der Membranen sind dabei zunächst einmal physikalische und chemische Eigenschaften wie Porendurchmesser, Stabilität und Affinität zu bestimmten Arten von Molekülen maßgebend, die im Rahmen der *Materialforschung* in der chemischen Industrie untersucht werden. Hinzu kommt im Rahmen des Anlagen- und Maschinenbaus die Anordnung der Membranen in Modulen bzw. Anlagen, die sicherstellen, dass die spezifischen Eigenschaften der Membranen auch tatsächlich zum Tragen kommen (z. B. Vermeidung von Fouling durch bestimmte Arten der Durchströmung und Spülung). Neue Erkenntnisse in diesem Bereich werden i. d. R. der *Prozess- und Verfahrenstechnik* zugeschrieben. Notwendige Voraussetzung für das Funktionieren der Anlagen ist schließlich die *Mess-, Steuer- und Regeltechnik*, die beispielsweise feststellt, wann eine Membran gespült werden muss und diese Spülung dann auch in geeigneter Weise durchführt. Mit dieser Kombination von Materialforschung, Verfahrenstechnik und Mess-, Steuer- und Regeltechnik stellt die Membranfiltration eine Technologie dar, in der mehrere Techniklinien vermittelt durch eine gemeinsame Anwendung aufeinander konvergieren. Die Komplexität von Innovationen in diesem Bereich stellen einen möglichen Wettbewerbsvorteil für solche Länder dar, die nicht nur Technikkompetenzen in einer Vielzahl von Bereichen aufweisen, sondern auch in der Lage sind, diese Kompetenzen miteinander zu verknüpfen.

Technisch kaum weniger anspruchsvoll, wenngleich unter Einbeziehung anderer Techniklinien, ist die Grauwasseraufbereitung, wo die mechanische Reinigung mit einer biologischen Behandlung des Abwassers und einer Hygienisierung kombiniert wird. Die Branchen, die in beiden Fällen in den Bau und die Entwicklung in erster Linie involviert

sind, sind die kunststoff- und metallverarbeitende Industrie sowie der Anlagenbau. Letzteres gilt ebenfalls, wenn auch mit etwas anderer Schwerpunktsetzung, für die Regenwassernutzung, in der weniger die Aufbereitung des Wassers als vielmehr die Speicherung, Steuerung und Verteilung verschiedener Wasserflüsse im Vordergrund steht. Soweit es in den Anwendungen um die Bereitstellung passender Pumpen und Steuerungseinrichtungen geht, kommt in allen bisher diskutierten Anwendungen auch noch der Maschinenbau als grundlegende beteiligte Branche ins Spiel. Außerdem sind Zisternen ebenso wie Rohre oder Rigolen der kunststoffverarbeitenden Industrie sowie der Herstellung von Waren aus Glas, Beton oder Keramik zuzurechnen.

Schließlich sind noch Hoch- und Tiefbau zu erwähnen, die zwar Voraussetzung für den Bau von Anlagen und die Verlegung von Rohren oder Regenwasserversickerungsanlagen sind, deren "Produkte" aber als solche schwer zu exportieren sind und für die Deutschland nicht zuletzt aufgrund der hohen Arbeitsintensität keine Wettbewerbsvorteile geltend machen kann. Hoch- und Tiefbau werden daher im Folgenden nicht weiter betrachtet. Gleiches gilt für die Herstellung von Rigolen und Versickerungsschächten, die sich darüber hinaus hinsichtlich von Patentanalysen, Exportvorteilen und Marktpotenzialen nicht in ausreichendem Maße von anderen Produkten der kunststoffverarbeitenden Industrie sowie der Hersteller von Waren aus Glas, Beton oder Keramik unterscheiden lassen, wodurch die Aussagekraft möglicher Schlussfolgerungen stark leiden würde.

### **2.2.7 Technologische Entwicklungsdynamik**

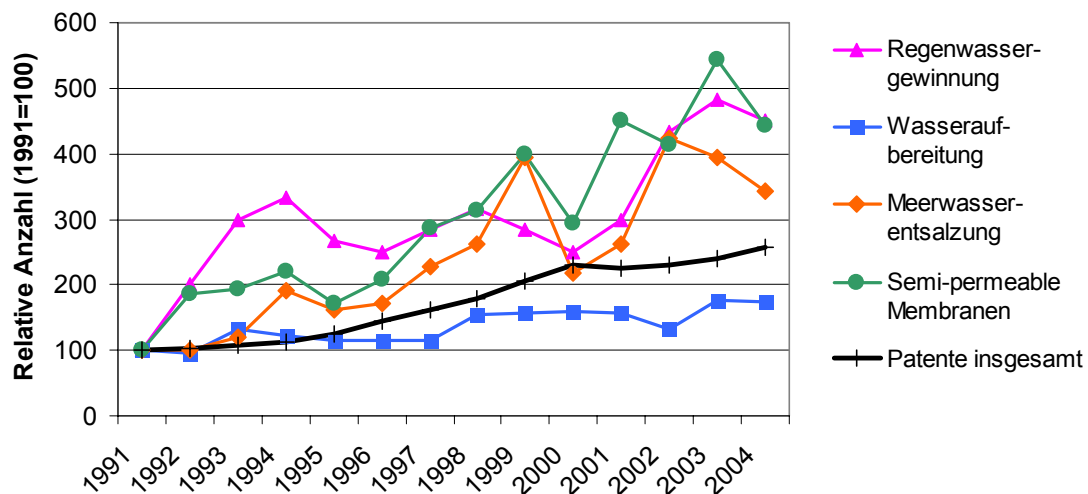
Um die aktuelle Dynamik der Technologieentwicklung im Bereich der dezentralen Wasseraufbereitung und des Regenwassermanagements zu analysieren, wurde zunächst die zeitliche Entwicklung der Patentanmeldungen in folgenden Technikbereichen miteinander sowie mit der Entwicklung der Patentanmeldungen insgesamt verglichen:

- Wassergewinnung aus Regenwasser,
- Wasseraufbereitung und -behandlung (inkl. Filtern, Entkalkung, Entsalzung, Hygienisierung),
- Meerwasserentsalzung,
- Verfahren zur Behandlung von Wasser mittels semi-permeabler Membranen.

Im Vergleich mit der Entwicklung der Anzahl der Patentanmeldungen insgesamt, die im Zeitraum 1991 bis 2004 um das 2,5-fache angestiegen ist, sind die Patentzahlen, wie in Abbildung 2-3 dargestellt, im Bereich der Meerwasserentsalzung, der Wasserbehandlung mit Hilfe semi-permeabler Membranen und der Regenwassergewinnung im

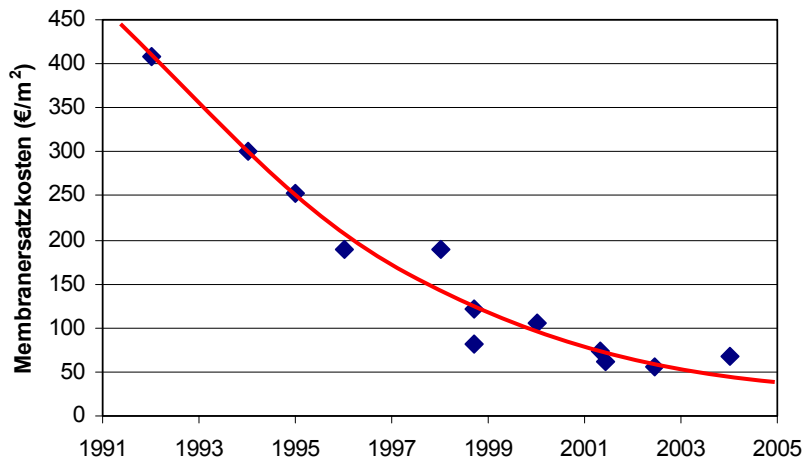
gleichen Zeitraum deutlich stärker, nämlich um fast das Vierfache angestiegen. Nur die Wasseraufbereitung blieb hinter der allgemeinen Entwicklung am Ende sogar deutlich zurück, wobei zu berücksichtigen ist, dass die Entwicklungen in diesem Bereich sich nicht allein auf die dezentrale Aufbereitung beziehen, und dass die Wasseraufbereitung im Allgemeinen als weitgehend ausgereifte Technologie gelten kann.

Abbildung 2-3: Vergleich der Entwicklung der internationalen Patentanmeldungen im Zeitraum 1991 bis 2004 in wichtigen wassertechnologischen Bereichen mit der Entwicklung der weltweiten Patentanmeldungen insgesamt



Auch wenn es weltweit bereits eine Vielzahl von Anlagen zur Entsalzung von Meerwasser gibt und der Einsatz von Membranen besonders in kommunalen Kläranlagen und Anlagen zur Wiederaufbereitung von industriellen Prozesswässern inzwischen recht verbreitet ist, so handelt es sich doch in beiden Fällen um Prozesse, die noch einige verfahrenstechnische Verbesserungspotenziale aufweisen und damit auch in Zukunft noch zur Anmeldung einer Reihe von Patenten führen werden. Die Entwicklung der Patentanmeldungen ist dabei nicht das einzige Indiz dafür, dass sich die Membrantechnik noch in der (späten) Innovations- und noch nicht in der Diffusionsphase befindet, in der technische Veränderungen eher gering sind und Kostendegression hauptsächlich auf ausgedehnte Massenfertigung zurückzuführen ist. Wie die Kostendegressionskurve in Abbildung 2-4 zeigt, sind die Membrankosten zwar seit 1992 bereits um den Faktor 8 auf nahe 50 Euro pro Quadratmeter gesunken. Dennoch wird in naher Zukunft eine weitere Halbierung der Kosten auf etwa 30 Euro erwartet.

Abbildung 2-4: Kostendegression des Membranersatzes bei kommunalen Membrankläranlagen (Pinnekamp & Friedrich 2006 und eigene Abschätzung)



## 2.3 Nutzen für Umwelt und Gesellschaft

In Deutschland ist das Wasserdargebot so groß, dass Wasser im Allgemeinen nicht als knapp gilt. Dies schließt jedoch eine temporäre, regional begrenzte Knappheit vor allem deshalb nicht aus, weil im Zuge des Klimawandels zukünftig zwar feuchtere Winter, aber auch trockenere Sommer erwartet werden. Hier, vor allem aber in Ländern mit aridem oder semi-aridem Klima, schafft eine dezentrale Wasserversorgung im Sinne der Aufbereitung und Nutzung von Regenwasser und, mehr noch, der Mehrfachnutzung von Grau- bzw. Brauchwasser grundsätzlich eine Entlastung der Ressource Wasser. Die dezentrale Wasserversorgung wird in der Praxis der konventionellen, zentralen Abwasserentsorgung i. d. R. aber dadurch eingeschränkt, dass in der Schwemmkanalisation ausreichende Mengen von Abwasser als Beförderungsmittel für die festen Bestandteile unabdingbar sind.<sup>4</sup>

Außerdem gilt es als sehr wahrscheinlich, dass der Klimawandel zu einer stärkeren Fluktuation der Niederschläge führen wird. Die damit einhergehende Zunahme von Starkniederschlägen führt zur einer Verringerung der Wirksamkeit vor allem der zentralen Abwasseraufbereitung, da es häufiger und intensiver zu temporären Kapazitätsüberschreitungen und folglich zum direkten Abschlag von Schmutzwasser in die Gewässer kommen wird. Das dezentrale Regenwassermanagement kann zur Lösung dieses Problems beitragen, indem durch aufkommensnahe Erfassung des Regenwas-

<sup>4</sup> Dieses Problem lässt sich durch den Einsatz von Druck- oder Vakuumkanalisationen oder durch einen generellen Umstieg auf dezentrale Abwasserentsorgung lösen.

sers eine Kontamination desselben von vorneherein verringert und die anfallende Schmutzwassermenge verstetigt und effektiver gereinigt wird. Das Regenwasser kann sodann an Ort und Stelle versickert werden, wodurch die Überlastung der Abwasserentsorgung vermieden und die Ressource Wasser geschont wird.

Demographische und migrationsbedingte Veränderungen stellen eine weitere Herausforderung dar, auf die die bestehende zentrale Wasser- und Abwasserinfrastruktur aufgrund ihrer rigiden, langfristig festgelegten Struktur nicht ausreichend flexibel zu reagieren in der Lage ist. Im Falle der Überlastung kommt es folglich zu Funktionsdefiziten, wogegen im Falle der Unterauslastung neben Funktionsdefiziten gravierende Einbußen hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit das Hauptproblem darstellen. Als Beispiel für letztere Entwicklung lässt sich der Ausbau der Abwasserinfrastruktur in Ostdeutschland nach der Wende aufführen, deren Kosten sich zum Teil am Unterschied der Abwassergebühren in Ost- und Westdeutschland ablesen lassen. Beiden Problemen lässt sich durch den Übergang zu einer eher (*semi-*) *dezentralen* Wasser- und Abwasserwirtschaft entgegenwirken, bei der die Planungshorizonte kürzer, der Umfang der Einzelinvestitionen und die versunkenen Kosten niedriger und dementsprechend das Risiko geringer sind, woraus in der Summe eine bedeutende Erhöhung der Flexibilität resultiert.

## **2.4 Wirtschaftliche Potenziale**

### **2.4.1 Marktpotenzial**

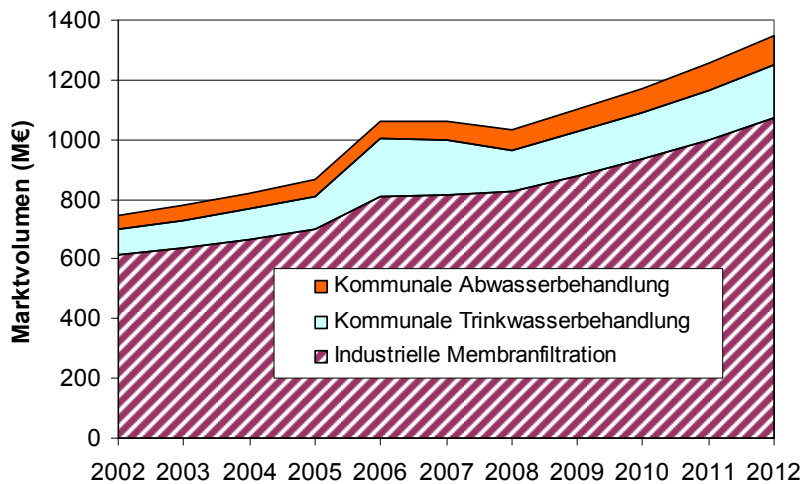
Die membranbasierte (dezentrale) Trink-, Brauch- und Prozesswasseraufbereitung einerseits und die Regenwassernutzung und -versickerung andererseits unterscheiden sich hinsichtlich der Datenlage zu Marktpotenzialen deutlich. Beide Technikkomplexe werden deshalb im Folgenden getrennt betrachtet.

Die vergleichende Betrachtung der Marktentwicklung verschiedener Anwendungen von Membranfiltrationsverfahren in Europa in Abbildung 2-5 zeigt, dass die am besten etablierte industrielle Prozesswasseraufbereitung im Jahre 2005 bei einem durchschnittlichen jährlichen Wachstum von 6,4 Prozent 80 Prozent des Marktvolumens ausmachte. Die zu Vergleichszwecken aufgeführten kommunalen Anwendungen zur Aufbereitung von Trinkwasser und Behandlung von Abwasser sind demgegenüber mit Marktanteilen von 12 und 8 Prozent noch weit weniger verbreitet, weisen aber wegen ihres früheren Entwicklungsstandes ein Wachstum von über 8 Prozent auf (Frost & Sullivan 2005, 2006). Werden diese Entwicklungen bis zum Jahr 2020 extrapoliert, gelangt man für die (dezentrale) industrielle Membranfiltration zu einem Marktvolumen,



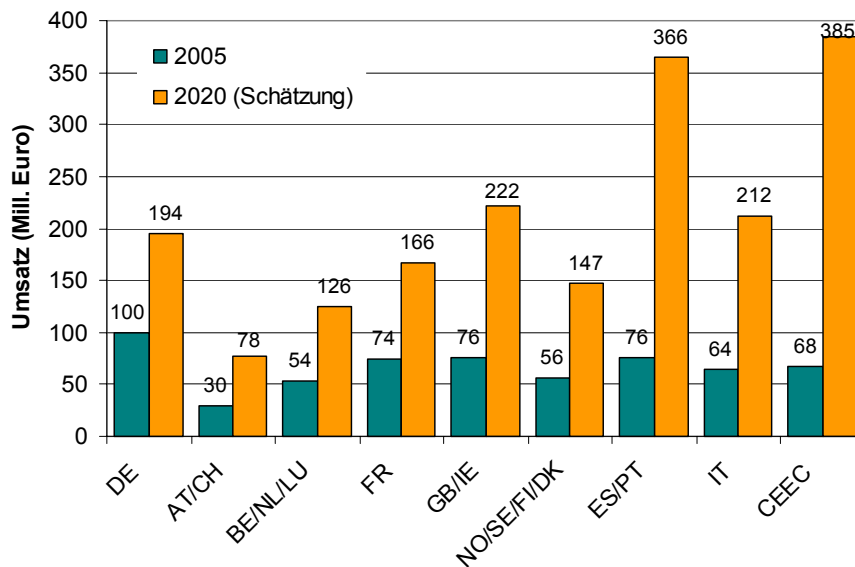
das bis zum Zieljahr auf jährlich 1,7 Milliarden Euro und für die kommunale Trink- und Abwasserbehandlung auf bis zu 340 bzw. 175 Millionen Euro ansteigt.

Abbildung 2-5: Vergleich der prognostizierten Marktentwicklungen membranbasierter Abwasser-, Trinkwasser- und industrieller Prozesswasser-aufbereitung in Europa (Frost & Sullivan 2005, 2006a)



Wird dieses Marktpotenzial nach Nachfrageländern differenziert, so ergibt sich das in Abbildung 2-6 dargestellte Bild. Dementsprechend dürfte sich die Nachfrage nach membranbasierter Trink- und Prozesswasserbehandlungstechnologie aus unterschiedlichen Gründen in vier Regionen Europas besonders stark entwickeln. In Großbritannien und Irland, und mehr noch in den Ländern Zentral- und Osteuropas (CEEC), ist es vor allem der schlechte Zustand der bestehenden Infrastruktur, der verstärkt einschlägige Investitionen für die Zukunft erwarten lässt. Dagegen macht in Spanien, Portugal und Süditalien zukünftig vor allem der Wassermangel den massiven Bau von Wasseraufbereitungsanlagen, insbesondere Meerwasserentsalzungsanlagen, erforderlich. Für Deutschland als potenziellen Anlagenexporteur gibt es aktuell hinsichtlich jeder dieser Zielregionen gewisse Hindernisse, die aber keinesfalls unüberwindbar sind. Mit Blick auf die Mittelmeerländer ist festzustellen, dass deutsche Firmen nur über geringe Erfahrungen bei der Meerwasserentsalzung verfügen. In Großbritannien ist es fraglich, ob beim Ersatz der bestehenden zentralen Infrastruktur in verstärktem Umfang dezentrale Lösungen zum Zuge kommen. Schließlich ist für die Länder Mittel- und Osteuropas festzustellen, dass deutsche Firmen dort bislang nicht besonders in Erscheinung getreten sind.

Abbildung 2-6: Aktuelle (2005) und prognostizierte (2020) Marktentwicklung für membranbasierte kommunale Trink- und industrielle Prozesswasserbehandlung (Frost & Sullivan 2005, 2006a, 2006b und eigene Berechnungen)



Eine weitere Region mit einem Potenzial, das vor allem in Zukunft enorme Steigerungsraten verspricht, sind die USA, die sich aufgrund des Klimawandels und ihres gewaltigen Wasserverbrauchs einem zunehmenden Wassermangel gegenüber sieht. Obwohl mit großen Unsicherheiten behaftet, deuten die Ergebnisse einer Marktstudie von Frost und Sullivan (2006c) hier auf jährliche Marktvolumina von bis zu 5 Milliarden Euro im Jahr 2020 hin.

Im Vergleich zur Membrantechnik liegen für die Regenwasserbewirtschaftung aufgrund der gegenwärtig geringeren wirtschaftlichen Bedeutung wenige aktuelle Marktdaten und noch weniger Prognosen zu zukünftigen Potenzialen vor. Eine Ausnahme ist eine unternehmensinterne Studie der Firma Mall Umweltsysteme, die laut Pressemitteilung des Unternehmens für das Jahr 2005 von einem Gesamtbestand an Regenwasserspeichern von 1,5 Millionen Stück ausgeht, wovon 60 Prozent in Bayern, Baden-Württemberg, Hessen und dem Saarland, aber weniger als 10 Prozent in allen östlichen Bundesländern installiert seien. Im Jahr 2005 kamen bis zu 80.000 Neuanlagen jeweils zur Hälfte aus Beton und Kunststoff hinzu, davon 70 Prozent in Neu- und 30 Prozent in Altbauten. Dabei sei ein Umsatz von 340 Millionen Euro erzielt worden (Mall 2006). Der Bau von Regenwasserspeichern ist stark von der Baukonjunktur abhängig. Da neue Anlagen hauptsächlich im Zusammenhang mit Wohnungsneubauten errichtet werden, sind für Deutschland längerfristig keine starken Veränderungen zu erwarten.

Was die Möglichkeiten einer stärkeren Exportorientierung angeht, so kann zwar insbesondere in Frankreich, Australien (beide mit umfangreichen Förderprogrammen), den USA und China eine wachsende Nachfrage konstatiert werden. Hinzu kommt, dass Deutschland im Hinblick auf die internationale Wettbewerbsfähigkeit aus technischer Sicht eine Spitzenstellung einnehmen könnte. Andererseits ist die Regenwassernutzung ebenso wie die Regenwasserversickerung als Low-Tech-Bereich einer intensiven Preiskonkurrenz aus Niedrigkostenländern wie z. B. China ausgesetzt. Aus Gründen eines geringen Wert-zu-Volumen-Verhältnisses ist zudem von einer mangelnden Exportierbarkeit auszugehen. Schließlich sind die deutschen Unternehmen aufgrund ihrer Struktur (sehr viele kleine, lokale Anbieter) nicht besonders exportorientiert. Zusammenfassend lässt sich aus den genannten Argumenten die Schlussfolgerung ziehen, dass das ausländische Marktpotenzial deutscher Firmen bei Technologien zum Regenwassermanagement mittelfristig als eher gering einzuschätzen ist.

#### **2.4.2 Zielländer**

Viele potenzielle Interessenten für dezentrale Wasserversorgungstechnologien stammen aus Ländern mit aridem oder semi-aridem Klima, in denen Wasser dauernd oder über größere Teile des Jahres tatsächlich knapp ist und/oder das vorhandene Wasser hygienisch nicht unbedenklich ist. Dezentrale Systeme sind hier von Vorteil, da sie geringere Anfangsinvestitionen erfordern, dezentral betrieben werden können und flexibler an die Herausforderungen bspw. schnell wachsender urbaner Zentren mit ausgedehnten informellen Siedlungsbereichen angepasst werden können. Ein zusätzlicher Vorteil besteht darin, dass die erzielte Wasserqualität besser an die jeweiligen Anforderungen (Trinkwasser, Brauchwasser oder Bewässerungswasser) angepasst und damit wertvolle Ressourcen eingespart werden können.

Grundsätzlich kommen als Zielländer für Exportaktivitäten im Bereich der dezentralen Wasseraufbereitung Flächenländer mit einem relativ hohen pro-Kopf-Wasserverbrauch in Frage, die räumlich und zeitlich beschränkt über eine nicht ausreichende Wasserversorgung verfügen und wo die dezentrale Wasserspeicherung und -aufbereitung an die Stelle einer nicht nachhaltigen (zentralen) Wasserumleitung aus anderen regenreicheren Regionen treten kann. Dabei handelt es sich vor allem um Länder wie Spanien, Portugal und die USA, gegebenenfalls auch Frankreich. Großbritannien hat generell einen großen Nachholbedarf hinsichtlich der Qualität der Wasserinfrastruktur, wobei die Frage ungeklärt ist, inwieweit dezentrale Lösungen zum Einsatz kommen. Als weitere Kandidaten, wenn auch mit stärkerem Fokus auf die Meerwasserentsalzung, kommen Länder des nahen Osten, insbesondere Israel und Saudi-Arabien (in Tabelle 2-2 durch die Ländercodes IL bzw. SA repräsentiert) in Frage. Grundsätzlich gibt es noch eine Vielzahl weiterer meist weniger entwickelter Länder, in denen Anlagen zur

dezentralen Wasseraufbereitung und Regenwassernutzung zum Einsatz kommen könnten,<sup>5</sup> bei denen sich allerdings die Frage nach der Kompatibilität in technischer wie auch sozialer, institutioneller und wirtschaftlicher Sicht zwischen den angebotenen Lösungen und dem auf Empfängerseite vorhandenen Umfeld stellt.

Tabelle 2-2: Charakterisierung der wichtigsten potenziellen Zielländer und Deutschlands aufgrund von Rankings ( $N_{\text{ges}} = 125$ ) aus dem Global Competitiveness Report 2006–2007 (WEF 2006)

Index	UK	FR	ES	PT	US	IL	SA	DE	
0.03 BIP pro Kopf	18	20	25	34	3	27	23	17	
1.01 Eigentumsrechte	6	18	26	33	21	23	42	1	
4.04 Kindersterblichkeit	21	7	7	7	32	21	35	7	
6.02 Wirksamkeit des Rechtssystems	10	27	48	45	25	21	34	1	
6.07 Wirksamkeit Anti-Trust	4	8	38	25	14	16	49	2	
6.26 Anspruchsvolle Standards	3	12	30	34	16	26	36	1	
7.01 Technische Bereitschaft	13	19	32	52	7	4	15	6	
10.01 Stringenz	} der Umwelt- gesetzgebung	13	14	39	22	21	38	35	1
10.02 Stabilität		11	16	39	32	19	27	30	3
10.04 Einhaltung internationaler Umweltabkommen*	13	21	57	26	70	34	38	1	

\* aus Global Competitiveness Report 2004–2005 (WEF 2004)

Für die möglichen Zielländer enthält Tabelle 2-2 eine Aufstellung von Indikatoren, die diese Länder aus der Sicht deutscher Exporteure als mehr oder weniger geeignet qualifizieren. Das Pro-Kopf-BIP (Index 0.03) ist ein Maß dafür, dass das Land entsprechende Importe finanzieren kann. Die Einhaltung der Eigentumsrechte (1.01) stellt ebenso wie die Wirksamkeit des Rechtssystems (6.02) sicher, dass Verträge korrekt abgewickelt werden und das Risiko dementsprechend gering bleibt. Die Wirksamkeit der Anti-Trust-Gesetze (6.07) erleichtert den Zugang auch kleinerer Anbieter wie sie in Deutschland weit verbreitet sind. Eine geringe Kindersterblichkeit (4.04) steht für relative strenge Standards, nicht nur, aber vor allem auch im Bereich der Wasserversorgung. Generell ist die Existenz anspruchsvollerer gesetzlicher

<sup>5</sup> Auch in vielen Entwicklungsländern gibt es einen signifikanten Bedarf an flexibler, kapital-schonender Wasserversorgungstechnologie, was die Vereinten Nationen dazu veranlasst hat, im Rahmen ihrer Millennium Development Goals darauf hinzuwirken, dass von den über eine Milliarde Menschen, die gegenwärtig keinen Zugang zu sauberem Trinkwasser haben, zumindest die Hälfte bis zum Jahr 2015 eine entsprechende Versorgung erhält.

Standards (6.26) ein Hinweis darauf, dass eine verstärkte Nachfrage nach nachhaltigen Produkten besteht. Die technische Bereitschaft (7.01) ist ein Maß dafür, mit welcher Leichtigkeit neuartige technische Lösungen in einem Land Fuß fassen können. Schließlich geht es noch um die Stringenz (10.01), Stabilität (10.02) und Einhaltung (10.04) der Umweltregulierung, die aus Sicht der vorliegenden Untersuchung einen grundlegenden Anreiz dafür bilden, Prozesswasser zu reinigen und/oder Regenwasser zu versickern. Mit Ausnahme der Bedeutung internationaler Umweltabkommen in Spanien und den USA und der technischen Bereitschaft in Portugal liegen alle Rankings unter 50, größtenteils sogar unter 40 und somit im oberen Drittel aller im Global Competitiveness Report (WEF 2006) untersuchten Länder, womit von einer grundsätzlichen Eignung der in Tabelle 2-2 aufgeführten Länder als mögliche Zielländer auszugehen ist.

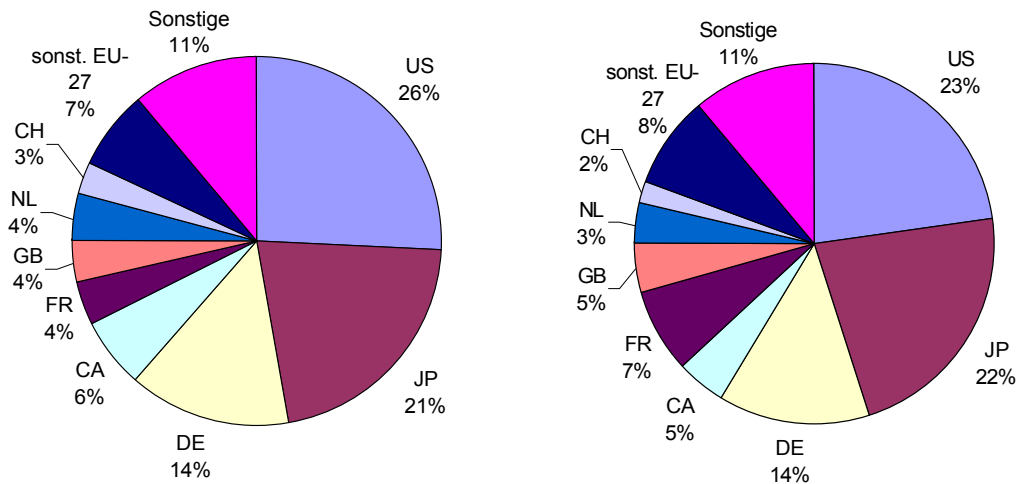
### **3 Leistungsfähigkeit der wichtigsten Länder in der betrachteten Techniklinie**

In diesem Abschnitt soll festgestellt werden, inwieweit die deutsche Industrie in der Lage ist, die im vorangegangenen Abschnitt identifizierten Märkte zu bedienen, wie es also um die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Hersteller in den fraglichen Technikbereichen steht. Der erste Schritt zur Beantwortung dieser Frage ist die Analyse der technischen Leistungsfähigkeit. Besitzt Deutschland im erforderlichen Umfang das technische Know-how, das notwendig ist, um die besagten Umwelttechnologien erfolgreich außerhalb Deutschland anzubieten und in Betrieb zu setzen?

Zur Untersuchung der technischen Leistungsfähigkeit findet üblicherweise eine Patentanalyse statt, deren Ergebnisse im Anschluss mit Hilfe vorhandener Kenntnisse über Anbieter und deren jeweiliges Potenzial verifiziert werden. Leider war es nicht möglich, Patentklassen (IPCs) zu identifizieren, mit deren Hilfe Innovationen im Bereich der Nutzung und Versickerung von Regenwasser erfasst und statistisch ausgewertet werden können. In diesem Fall muss daher wieder auf die Pressemitteilung der Firma Mall (2006) zu einer von ihr in Auftrag gegebenen Befragung einschlägiger Firmen Bezug genommen werden, in der festgestellt wird, dass deutsche Unternehmen führend sind und dass Deutschland eine Führungsposition im Bereich der Verfahrenstechnik und beim Bau von kompletten, kundenspezifischen Anlagen beanspruchen kann. Die befragten Unternehmen sehen der Studie zufolge im Bereich der Regenwasserverwertung keine ausländischen Firmen, die den deutschen Unternehmen technologisch überlegen wären. Diese Feststellung bedeutet allerdings nicht, dass es für deutsche Hersteller ein Potenzial gäbe, solche Anlagen ins Ausland zu exportieren. Vielmehr ist, umgekehrt, zumindest vorerst davon auszugehen, dass deutschen Firmen im Inland keine ausländische Konkurrenz droht.

Die Patentanalyse, die für die Bereiche (Semi-)Dezentrale Wasserbehandlung und Meerwasserentsalzung durchgeführt wurde, führte zu den in Abbildung 3-1 dargestellten Ergebnissen. Deutschland nimmt hinsichtlich der Anzahl der Patentanmeldungen hinter den USA und Japan, die zusammen fast die Hälfte aller Patente halten, mit jeweils 14 Prozent den dritten Platz ein. Die weiteren Konkurrenten sind Frankreich, Kanada, Großbritannien, die Niederlande und die Schweiz, die jeweils zwischen 2 und 7 Prozent der Patente anmeldeten.

Abbildung 3-1: Anteile der wichtigsten Länder an den Patentanmeldungen in den Bereichen (Semi-)Dezentrale Wasserbehandlung (links) und Meerwasserentsalzung (rechts) im Zeitraum 2000 bis 2004

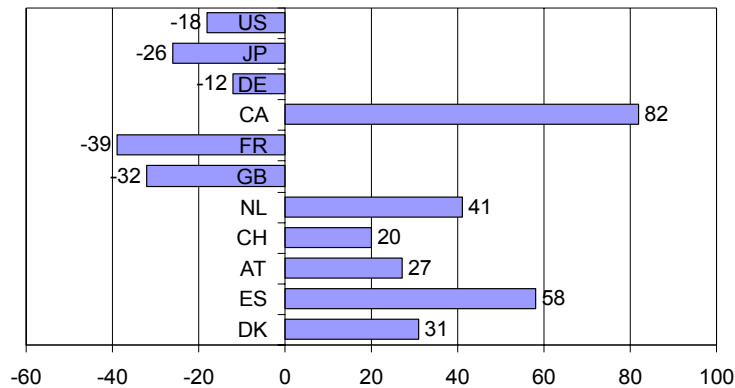


Die starke Position der Spitzenreiter bei den absoluten Patentanmeldungen relativiert sich angesichts deren hoher Gesamtanmeldungszahlen erwartungsgemäß, wenn anhand des RPA<sup>6</sup> die Bedeutung eines Technikbereiches innerhalb einer Gesamtwirtschaft spezifiziert wird. Wie in Abbildung 3-2 dargestellt, weisen sowohl die USA, Japan und Deutschland als auch Frankreich und Großbritannien im Bereich der (semi-)dezentralen Wasserbehandlung negative Werte auf, wogegen eine Reihe kleinerer EU-Staaten und vor allem Kanada deutlich im positiven Bereich liegen. Ähnlich sieht es im Bereich der Meerwasserentsalzung aus, wenn man von der Tatsache absieht, dass Japan und Frankreich hier mit positiven RPA-Werten der Größenordnung 20 bis 30 in Erscheinung treten (Daten nicht gezeigt).

<sup>6</sup> Der RPA (Relativer Patent-Anteil oder Revealed Patent Advantage) gibt die Spezialisierung eines bestimmten Landes im spezifischen Kompetenzfeld in Relation zu den Patentanteilen des Landes bei allen Patenten wieder. Ist der Patentanteil für das Kompetenzfeld überdurchschnittlich hoch, dann nimmt der RPA einen positiven Wert an. Dies bedeutet, dass innerhalb des betreffenden Landes überproportional viel im Kompetenzfeld patentiert wird und daher überdurchschnittliche nationale Kenntnisse bestehen. Für jedes Land  $i$  und jedes Kompetenzfeld  $j$  wird der RPA nach folgender Formel berechnet:

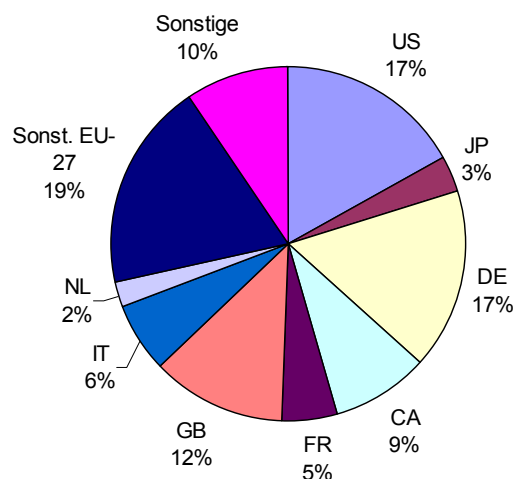
$$RPA_{ij} = 100 \cdot \tanh \ln \left[ \left( \frac{p_{ij}}{\sum_i p_{ij}} \right) / \left( \frac{\sum_j p_{ij}}{\sum_{ij} p_{ij}} \right) \right]$$

Abbildung 3-2: Relative Patentanteile (RPA) der wichtigsten Patentanmeldungen im Bereich (Semi-)Dezentrale Wasserbehandlung (Zeitraum 2000 bis 2004)



Daraus kann der Schluss gezogen werden, dass die deutschen Produzenten im internationalen Kontext hinsichtlich des technischen Know-hows zwar keine Spitzenstellung einnehmen, wohl aber gut mithalten können. Wie sich diese Einschätzung ändert, wenn anstelle der sich in Patentzahlen niederschlagenden und eher in die Zukunft gerichteten, technischen Leistungsfähigkeit die Welthandelsanteile als Maß für die (aktuellen) Wettbewerbsfähigkeit unterstellt werden, ist aus Abbildung 3-3 ersichtlich.

Abbildung 3-3: Welthandelsanteile der wichtigsten Exportländer im Bereich Wasseraufbereitung im Jahr 2004

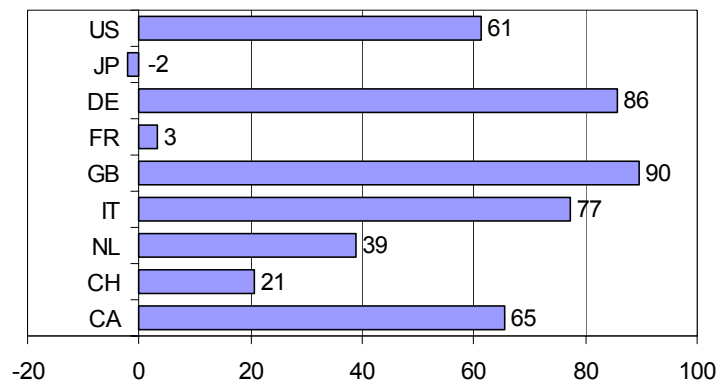


Deutschland ist hier zusammen mit den USA (mit jeweils 17 Prozent) Spitzenreiter vor Großbritannien (12 %) und Kanada (9 %). Japan folgt mit 3 % erst nach Italien (6 %) und Frankreich (5 %) auf dem sechsten Rang. Selbst unter Berücksichtigung des ins-



gesamt sehr starken Außenhandels in Deutschland, den USA und Großbritannien, der dazu tendiert, die absoluten Zahlen aus Abbildung 3-3 zu relativieren, bleibt Großbritannien mit einem RCA<sup>7</sup> von 90 Spitzenreiter vor Deutschland und Italien mit RCA-Werten von 86 bzw. 77. Auch Kanada und die USA weisen mit RCA-Werten von 65 bzw. 61 noch deutliche Außenhandelsvorteile auf.

Abbildung 3-4: Relativer komparativer Vorteil (RCA) der wichtigsten Exportländer im Bereich Wasseraufbereitung im Jahr 2004



Insgesamt kann aus den aufgeführten Kennzahlen geschlossen werden, dass Deutschland im Bereich des Regenwassermanagements ebenso wie bei der (semi-)dezentralen Wasseraufbereitung im internationalen Vergleich hinsichtlich der technisch-wirtschaftlichen Wettbewerbsfähigkeit an der Spitze steht, im letzteren Fall zusammen mit Großbritannien, den USA, Italien und Kanada.

Was die grundlegenden Bestandteile der betrachteten Technologielinien angeht, so gilt für Komponenten wie einfache Motoren und Pumpen, Rohre oder Rigolen grundsätzlich, dass sie auch in weniger entwickelten Ländern und dort zu geringeren Kosten produziert werden können. Demgegenüber können Länder wie Deutschland in diesem Bereich dann Vorteile ausspielen, wenn es um technisch besonders anspruchsvolle Komponenten wie z. B. energieeffiziente Motoren geht oder die Komponenten in komplexe Systeme integriert werden und daher besondere Spezifikationen aufweisen müs-

<sup>7</sup> Der RCA (Revealed Comparative Advantage) gibt die Spezialisierung im Außenhandel eines Landes im spezifischen Kompetenzfeld wieder. Neben den Ausfuhren ( $a$ ) berücksichtigt er auch die Einfuhren ( $e$ ) des jeweiligen Landes und gilt insofern als umfassender Indikator der Außenhandelsposition. Positive Werte deuten auf eine starke internationale Wettbewerbssituation des jeweiligen Landes im betrachteten Kompetenzfeld hin. Für jedes Land  $i$  und jedes Kompetenzfeld  $j$  wird der RCA nach folgender Formel berechnet:

$$RCA_{ij} = 100 \cdot \tanh \ln \left[ \frac{(a_{ij}/e_{ij})}{(\sum_j a_{ij} / \sum_j e_{ij})} \right]$$

sen. In welchem Umfang diese Qualifikation vorhanden ist, lässt sich ansatzweise aus der in Abbildung 3-1 dargestellten Patentstatistik erschließen.

## 4 Innovationssystem und marktführende Unternehmen in den führenden Ländern

### 4.1 Akteursanalyse

#### 4.1.1 Wasseraufbereitung

Der Wettbewerb auf dem Markt für Wasseraufbereitungssysteme vollzieht sich auf mehreren Ebenen. Auf der globalen Ebene gibt es eine Reihe übernational agierender Unternehmen wie General Electric Infrastructure Water and Process Technologies (GE, Stammsitz in den USA), Siemens (Deutschland) oder Veolia Environment (Frankreich), die sich allgemein als Infrastrukturdienstleister verstehen und ihre Fachkompetenzen durch die Akquisition führender Hersteller entsprechender Verfahrenstechnik (z. B. Ionics im Falle von GE, US Filters im Falle von Siemens) auf das Gebiet der Wasseraufbereitung ausgedehnt haben. Diese Unternehmen besitzen den Vorteil, dass sie aufgrund ihrer Größe und breiten Kompetenzen fast überall präsent sind und im Hinblick auf spartenübergreifende Herausforderungen umfassende Lösungen (z. B. Aufbau und Betrieb der Abwasserentsorgung für eine Großstadt) anbieten können. Kleinere Projekte, wie sie typischerweise im Bereich der dezentralen Wasserversorgung auftreten, zählen nicht zu ihrem Kerngeschäft.

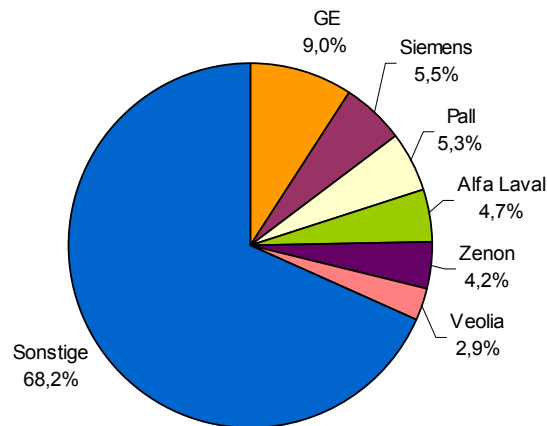
Daneben gibt es große, ebenfalls international agierende Unternehmen wie Pall und Koch Membrane Systems (beide USA), Zenon (Kanada, Tochterfirma von GE), Kubota (Japan), Alfa Laval (Schweden), Norit X-Flow (The Netherlands), Best Water Technologies (BWT, Österreich) und Christ (Schweiz), für die Trennung, Filtration und Reinigung von wässrigen Flüssigkeiten mit Hilfe von Membranen immer schon den genuinen Geschäftsbereich darstellten und die sich daher umfassend im Bereich der dezentralen (z.T. aber auch zentralen) Wasserversorgung oder -aufbereitung engagieren.<sup>8</sup>

Obwohl Firmen aus beiden genannten Gruppen große Projekte überall in Europa durchführen, kann keine dieser Firmen einen Marktanteil von mehr als 10 Prozent realisieren (s. Abbildung 4-1). Der Gesamtmarktanteil der sechs größten Unternehmen erreicht gerade ein Drittel. Offensichtlich ist der Markt sehr differenziert und die kleine Zahl international agierender Firmen wird von einer Vielzahl kleinerer Firmen ergänzt, die überwiegend, aber nicht ausschließlich im Inland agieren.

---

<sup>8</sup> Während die Membrantechnik im Hinblick auf die technische Anwendung ihre Vorteilhaftigkeit dann besonders ausspielen kann, wenn es um ein möglichst hohes Niveau der Wiedernutzung von gebrauchtem Wasser geht, ist die Fokussierung auf Hersteller von Membranen und Membransystemen im Rahmen der Akteursanalyse dadurch gerechtfertigt, dass die Membrantechnik in größerem Umfang als bereits etablierte alternative Techniken ein großes, in die Zukunft weisendes, wirtschaftliches Potenzial aufweist.

Abbildung 4-1: Marktanteile großer international agierender Firmen im Bereich der Membranfiltration in Europa im Jahr 2005 (Frost & Sullivan 2005, 2006a)



Auf dem deutschen Markt sind beispielsweise allein im Bereich der Membrantechnologie über einhundert solcher Firmen aktiv (Frost & Sullivan 2005). Eine kleine Auswahl davon ist in der nachfolgenden Liste aufgeführt.

- A3 – Abfall-Abwasser-Anlagen-Technik GmbH (Plattenmembranen, Gelsenkirchen)
- Berghof (Rohrmodule, Eningen)
- Huber AG (Kleinkläranlagen, Berching)
- inge AG (Kapillarmembranmodule, Greifenberg)
- Martin Systems (Membranen, Sonnenberg)
- Nadir Filtration GmbH (Wickel- u. a. Module, Wiesbaden)
- Puron (Kapillarmembranen, deutsche Tochter von Koch Membrane Systems)
- Rochem UF Systeme GmbH (Disc-Tube (DT)-Modul, Hamburg)
- Wehrle Umwelt GmbH (verschiedenen Module, Emmendingen)

Das Angebotsspektrum der Unternehmen reicht von der Herstellung bestimmter Komponenten (z. B. Membranen) über die Konstruktion von Anlagenteilen (z. B. Module) bis hin zum Vollservice, der auch die Aufstellung und ggf. den Betrieb mit einbezieht. Je umfassender und an der Dienstleistung orientierter das Angebot, desto breiter wird auch die Palette der angebotenen Verfahren. Die Membrantechnik stellt dann in vielen Fällen nur eine unter vielen alternativen Techniken (z. B. SBR) dar, die aktuell teilweise sogar weiter verbreitet und ausgereifter sind als die Membrantechnik. Dennoch stellt die Membrantechnik für alle sie anbietenden Firmen einen Ausweis ihrer Innovativität und besonderen Kompetenz dar. Der kompakte Charakter der dezentralen Wasseraufbereitungsanlagen und das begrenzte Projektbudget erlauben dabei grundsätzlich

auch kleineren Firmen ein mit nicht zu hohem Risiko verbundenes Engagement im Ausland, insbesondere in der Europäischen Union. Zusätzlich kommt es kleineren Firmen zugute, dass dezentrale technische Lösungen auch eine den jeweiligen Umständen Rechnung tragende Fachkenntnis erfordern, damit die Technik überhaupt sicher und damit nachhaltig betrieben werden kann. In diesem Zusammenhang deutet die besonders starke Position deutscher Firmen als Exporteure von Wasseraufbereitungsanlagen (vgl. Abbildung 3-3 und Abbildung 3-4) darauf hin, dass gerade im Bereich der kleinen und mittelgroßen Unternehmen deutsche Firmen tatsächlich eine besondere Rolle spielen.

Bei der Frage nach der Wettbewerbsfähigkeit deutscher Technik kommt es aber nicht allein auf die Unternehmen an, die Anlagen zur dezentralen Wasseraufbereitung zu entwickeln und herzustellen. Vielmehr setzt die erfolgreiche Einführung einer Technologie wie dieser ein umfassendes *Innovationssystem* voraus, wie es hinsichtlich der Membrantechnologie insbesondere in Nordrhein-Westfalen existiert. Auf der Technikseite werden dabei die Forschungsanstrengungen der Unternehmen durch einschlägige Forschungsinstitute wie das Institut für Siedlungswasserwirtschaft (ISA) der RWTH Aachen oder das (nicht in NRW, sondern in Stuttgart gelegene) Fraunhofer-Institut für Grenzflächen und Bioverfahrenstechnik (IGB) ergänzt. Wichtiger noch als das technische, ist für die erfolgreiche Umsetzung der Technologie jedoch das institutionelle Umfeld. Die Wasserversorgung ist ebenso wie die Abwasserentsorgung in Deutschland streng reglementiert. Darüber hinaus haben sich die Betreiber entsprechender Anlagen in starken Verbänden wie der Deutschen Vereinigung Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall (DWA) organisiert, die auf der Grundlage der bestehenden gesetzlichen Regelungen (siehe Abschnitt 4.2) die Verfahrensstandards festlegen, gemäß derer wasserwirtschaftliche Anlagen betrieben werden. Besondere Umstände (Bergbau) und (umwelt-) politische Unterstützung sowie die Offenheit bestimmter Betreiberverbände (Emschergenossenschaft/Lippeverband) haben so im Bereich der Abwasserentsorgung in NRW schon in den 1990er Jahren zur Zulassung von (teilweise membranbasierten) Kleinkläranlagen als gleichberechtigtes Mittel zur Abwasserentsorgung und damit zur ersten Ausbreitung der Technologie geführt.

Anders als in Deutschland ist in Frankreich nicht nur die Entwicklung und Produktion von Wassertechnik, sondern auch schon die Wasserversorgung selbst weitgehend (d. h. zu mindestens 80 Prozent) privatisiert. Dabei ist die Marktkonzentration groß, denn drei Unternehmen, Générale des Eaux (Veolia Water), Lyonnaise des Eaux (Ondeo, Suez) und SAUR-France (Bouygues), beherrschen den Markt. Diesen großen Versorgungsunternehmen gelang es im Gegensatz zu deutschen Unternehmen auch schon in den 1960er und 1970er Jahren, sich als (zentral organisierter) Wasserver- und Abwasserentsorger in Afrika und den USA zu engagieren und später auch in Großbritannien und in den neuen Märkten in Asien, Lateinamerika sowie Mittel- und Osteuropa mit konventionellen, zentralen Abwasserkonzepten Fuß zu fassen. Auch

wenn aufgrund von Schwierigkeiten hinsichtlich des rentablen Betriebs Investitionen dieser Firmen in jüngerer Zeit wieder vermehrt in bereits entwickelten Ländern erfolgten, so stellen sie doch ideale "Zugpferde" auch für die Produzenten von Wassertechnologien dar, deren Produkte im Zuge der Entwicklung neuer Märkte zum Einsatz kommen (Tauchmann et al. 2006). Letztere stammen natürlich zu einem signifikanten Teil aus Frankreich, aber auch Hersteller aus anderen Ländern (z. B. auch Deutschland) kommen in großem Umfang zum Zuge.

Die Rolle mächtiger Zugpferde, wie sie der Erfolg der französischen Wasser- und Abwasserwirtschaft nahelegt, muss aber in anderer Hinsicht auch relativiert werden. Abgesehen vom geringeren Stellenwert hoher Produktionsvolumina, besteht ein wichtiger Aspekt der Bedeutung für die Verbreitung von dezentralen Kleinkläranlagen in Deutschland, aber auch im Ausland, in der Bereitstellung geeigneter Betreibermodelle, die die Klärleistung samt Betrieb, Überwachung und Instandhaltung als Paket anbieten. Dabei besteht ein wesentlicher Unterschied zu zentralen (Ab-)Wasserinfrastrukturen darin, dass in größerem Umfang mit lokalen Dienstleistern im Zielgebiet kooperiert werden muss, wodurch große Anbieter nicht so sehr bevorteilt werden wie im Falle zentraler Infrastrukturen. Alternativ zu international agierenden Wasserver- und Abwasserentsorgern kommen in diesen Fällen örtliche Forschungsinstitutionen (z. B. Universitäten), eventuell unterstützt durch Organisationen wie die Gesellschaft für technische Zusammenarbeit (GTZ) oder, im Falle industriellen Wassergebrauchs, Tochterfirmen von Unternehmen des Ursprungslandes (= Anbieterlandes), als "Zugpferde" in den Nachfrageländern in Betracht. Im erstgenannten Fall besteht die Attraktivität für das Zielland im Wissenstransfer vom Ursprungs- zum Zielland. Im letztgenannten Fall geben Firmen der (im Ursprungsland) bewährten Technologie den Vorrang gegenüber unbekanntem Lösungen.

Noch weiter als in Frankreich ist die Privatisierung in Großbritannien fortgeschritten, wo nicht nur der Betrieb der Wasserversorgung, sondern auch die Infrastruktur selbst schon vor Jahren privatwirtschaftlich organisiert wurde. Maßgebliche Akteure sind dabei, neben etwa einem Dutzend kleineren Wasserversorgern, zehn größere, an Flusseinzugsgebieten orientierte, regionale Wasserversorger, die aus den ehemaligen Water Authorities hervorgegangen waren.<sup>9</sup> Da gleichzeitig aber weder ein Wettbewerb um den Markt noch ein Wettbewerb innerhalb des Marktes etabliert werden konnte, musste der Bildung privatwirtschaftlicher Monopole mit überhöhten Preisen mit Hilfe einer strikten Deregulierungspolitik entgegen getreten werden, die vom Office of Water Services (OFWAT) ausgeübt und überwacht wird (Tauchmann et al. 2006). Der schlechte

---

<sup>9</sup> Der größte Wasserversorger ist Thames Water, die einige Jahre im Besitz der RWE war.

Zustand der britischen Wasserinfrastruktur ist zwar nicht auf die Privatisierung zurückzuführen – undichte Leitungen und damit einhergehende hohe Wasserverluste bestanden auch schon vor der Privatisierung –, umgekehrt haben sich positive Veränderungen im Hinblick auf Erneuerung und Innovation im Zuge der Privatisierung nur langsam durchsetzen können (Schönböck et al. 2003). Auch wurden die britischen Wasserversorger eher von ausländischen Unternehmen übernommen, als dass sie selbst im Ausland hätten aktiv werden können.

#### **4.1.2 Regenwassermanagement**

Obgleich ebenfalls ein Bestandteil des Regenwassermanagements, wird die Aufbereitung von Regenwasser zu Trinkwasser (z. B. mittels Membrantechnologie) hier aufgrund der technischen Verwandtschaft der Wasseraufbereitung (s. oben) zugeordnet. An dieser Stelle sollen nur noch Anlagen zum Sammeln und zur hausinternen Verteilung sowie zum Versickern von Regenwasser betrachtet werden. Im Vergleich zur Wasseraufbereitung handelt es sich hier um Low-Tech-Systeme mit wenigen, relativ einfachen Komponenten. Die Akteursstruktur in diesem Wirtschaftszweig besteht, ebenso wie die untere Ebene im Fall der Wasseraufbereitungstechnologien, aus einer Vielzahl kleiner und mittelständischer Unternehmen. Allerdings sind deren Wechselbeziehungen weit weniger intensiv, weil aufgrund der geringeren technischen Komplexität die Anzahl der Lieferanten-Abnehmer-Verhältnisse deutlich geringer ist.

### **4.2 Rahmenbedingungen und Regulierung**

Die Motivation für die Errichtung und Nutzung von Anlagen zur dezentralen Wasseraufbereitung sind je nach Anwendungsfeld unterschiedlicher Natur. In privaten Haushalten sind es in erster Linie die Möglichkeit, die Kosten der Wasserver- und Abwasserentsorgung zu reduzieren (d. h. Wirtschaftlichkeitsgründe), sowie Argumente der Ressourcenschonung, die den Anstoß zum Einbau einer Regenwassernutzungs- oder Grauwasserrecyclinganlage geben. Von Seiten des Gesetzgebers gibt es keinerlei Anreize; im Gegenteil stellt der vielerorts praktizierte Anschluss- und Benutzungszwang an die öffentliche Wasserver- und Abwasserentsorgung einen massiven Anreiz dar, *nicht* auch noch zusätzlich in eine davon unabhängige, dezentrale Abwasserbehandlung zu investieren. Außerdem lehnen maßgebliche Institutionen wie das Umweltbundesamt aus Gründen der Hygiene die Nutzung von Brauchwasser für das Wäschewaschen ab (Euwid 2006). Sie befinden sich dabei im Einklang mit der europäischen Trinkwasserrichtlinie (98/83/EG) und der seit 2003 entsprechend novellierten deutschen Trinkwasserverordnung, die die Bereitstellung von Trinkwasser für das Waschen von Wäsche grundsätzlich vorschreibt. Darüber hinaus kann im Bereich der privaten Eigennutzung zum Wäschewaschen auch Wasser geringerer Qualität verwendet werden, wenn eine Vermischung bzw. Verwechslung mit Trinkwasser ausgeschlossen

ist. Obwohl es sich dabei nur um einen Teilaspekt der Brauchwassernutzung handelt, erhöht sich durch diese Vorbehalte aus Sicht möglicher Interessenten das Risiko einer Investition, was für die Marktentwicklung nicht förderlich ist.

Für die Aufbereitung bzw. Kreislaufführung von Wasser in der Industrie, ist die Gesetzgebung insofern indirekt verantwortlich, als Abwässer vor der Einleitung in die öffentliche Kanalisation oder die Gewässer gereinigt werden müssen. Innerhalb der EU ist hier indirekt die Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EC) und unmittelbar die IVU-Richtlinie (Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung, 96/61/EG) maßgebend. In speziellen Fällen (z. B. der Einleitung in stehende Gewässer) können auch strengere Regularien wie die EU-Badewasserrichtlinie (76/160/EEC) zum Tragen kommen. Ist das Wasser aber erst einmal gereinigt, dann stellt sich für die Unternehmen die Frage, ob es nicht sinnvoller ist, das Wasser weiter zu nutzen und damit die Abwassermenge sowie mit ihrer Einleitung verbundene Kosten zu reduzieren. Da es sich bei der Kreislaufführung von Wasser um Maßnahmen des integrierten Umweltschutzes handelt, sind in diesem Zusammenhang auch die Best Reference (Bref) Dokumente der IPPC-Richtlinie (Integrated Pollution and Prevention Control, 96/61/EC) der EU relevant, in denen die fortschrittlichsten (integrierten) Produktionsprozesse (best available technologies – BAT) zum Standard zumindest für neu zu errichtende Anlagen erklärt werden.

Ebenfalls indirekt ist die Wirkung der EU-Trinkwasserrichtlinie (98/83/EC), die z. B. der zunehmenden Kontamination von Rohwasser mit Mikropollutants (z. B. Pharmazeutika, Hormone und deren Abbauprodukte) Rechnung trägt. Für eine Entfernung dieser Stoffe erweist sich häufig die Membranfiltration als Instrument der Wahl, weil damit gleichzeitig auch hohe Anforderungen an die Hygiene des Abwassers erfüllt werden können. Von besonderer Bedeutung im Hinblick auf eine mögliche Tendenz zur Dezentralisierung ist in diesem Zusammenhang die Möglichkeit, dass Mikropollutants möglichst nahe am Ort ihrer Einleitung ins Abwasser (Beispiele: Krankenhäuser, Altenheime) entfernt werden und nicht erst nach Verdünnung in der Kanalisation in der kommunalen Kläranlage.

Die im Kontext der Membranfiltration auch zu diskutierende Meerwasserentsalzung ist im Gegensatz zur Wasseraufbereitung nicht durch gesetzliche Regelungen geleitet, sondern durch den steigenden Bedarf an Wasser in vielen durch Wassermangel geprägten, küstennahen, ariden Gebieten der Erde (z. B. Spanien, Portugal und Süditalien).

Schließlich sind auch die Anreize zur Regenwasserbewirtschaftung, respektive -versickerung eher wirtschaftlicher als gesetzlicher Natur. So besteht zwar in Deutschland vielerorts im Zusammenhang mit der Errichtung von Neubauten eine von den jeweiligen Gemeinden erlassene Regenwasserversickerungspflicht. Letztlich ist diese



Pflicht in der Regel aber der Tatsache geschuldet, dass sich der Anschluss neuer Wohngebiete an die vorhandene Infrastruktur mit Hilfe solch dezentraler Elemente wirtschaftlicher umsetzen lässt als durch eine anderenfalls notwendige Erweiterung der bestehenden zentralen Infrastruktur.

Eine explizite Förderung der Regenwassernutzung findet in Deutschland in einzelnen Gemeinden statt, in denen die Schonung der Ressource Grundwasser besondere Priorität genießt. In größerem Umfang findet eine Förderung dieses Bereichs dagegen schon jetzt in Frankreich statt (fbr 2007).

Eine wichtige Multiplikatorfunktion bei der Verbreitung dezentraler Anlagen der Wasserversorgung stellt vor allem in Deutschland das Handwerk dar, das entsprechende Anlagen nicht nur einbaut und wartet, sondern ggf. schon im Vorfeld mit Informationen und Empfehlungen die Entscheidung für ein solches System maßgeblich beeinflussen kann. Ihre Information und Einbeziehung stellt ein wichtiges Element beim Ausbau dezentraler Elemente der privaten Wasserversorgung dar.

## 5 Schlussfolgerungen und Ausblick

### 5.1 Bewertung der Technologie

Dezentrale Wasseraufbereitung und Regenwassermanagement können einen wichtigen Beitrag zu einer größeren Nachhaltigkeit der Wasser- und Abwasserwirtschaft leisten. Beide ermöglichen durch die Schließung oder Verkürzung von Kreisläufen eine Schonung der Ressource Wasser sowohl hinsichtlich der in Anspruch genommenen Menge als auch der Wasserqualität, die durch Regenwassermanagement weniger starken Beeinträchtigungen im Zuge von Extremwetterereignissen unterliegt. Darüber hinaus sind in der Zukunft eine Reihe von großen Herausforderungen erkennbar, denen sich die Wasserver- und Abwasserentsorgung stellen müssen. Der Klimawandel wird voraussichtlich sowohl die Häufigkeit von Extremwetterereignissen und damit einhergehenden Hochwassern erhöhen als auch die Dauer und Intensität von Dürreperioden. Zusätzlich erfordern demographische und migrationsbedingte Veränderungen eine Flexibilität der Wasserver- und Abwasserentsorgung, die die gegenwärtig vorherrschende Infrastruktur aufgrund ihrer rigiden, langfristig festgelegten Struktur nicht darzustellen in der Lage ist. Die *dezentrale* Wasser- und Abwasserwirtschaft leistet hier insofern einen Beitrag zu größerer Nachhaltigkeit als sie es durch kürzere Planungshorizonte und einen geringeren Umfang der Einzelinvestitionen ermöglicht, den vorhandenen Bedarf an Wasserver- und Abwasserentsorgungsinfrastruktur effektiv und auf ressourcen- und kapitalschonende Weise zu decken und gleichzeitig das wirtschaftliche Risiko der notwendigen Investitionen möglichst gering zu halten. Für die deutsche Industrie bedeutet dies in vielen Fällen eine Chance, da im eigenen Land aus Gründen des Umwelt- und Ressourcenschutzes entwickelte und produzierte Technologie unter dem Gesichtspunkt unzureichender Infrastruktur und geringeren Investitionsrisikos auch im Ausland auf Interesse stoßen sollte.

### 5.2 SWOT-Analyse

Die Wasserwirtschaft nimmt in Deutschland wie auch in anderen Ländern aus unterschiedlichen Gründen traditionell einen hohen Stellenwert ein. Dabei ging es in industriell geprägten Ländern wie Deutschland und Großbritannien zunächst vor allem darum, aus Gründen des Gesundheits- und (später) Umweltschutzes, die zunehmende Verunreinigung der Gewässer zu unterbinden, die letztlich auch dem Menschen als Wasserquelle dienen. Französische Unternehmen spielten demgegenüber eine wichtige Rolle bei der wasserbaulichen Erschließung seiner ehemaligen Kolonien. Schließlich sind die Niederlande zu nennen, die mit Hilfe wasserbaulicher Maßnahmen fast die Hälfte ihrer Landesfläche überhaupt erst dem Meer abringen mussten.

Für die Techniklinie der dezentralen Wasseraufbereitung und des Regenwassermanagements lassen sich vor diesem Hintergrund für die relevanten Länder Europas folgende Stärken und Schwächen identifizieren sowie Chancen und Herausforderungen formulieren.

Tabelle 5-1: SWOT-Analyse für die internationale Wettbewerbsfähigkeit der EU und Deutschlands in der Techniklinie "Dezentrale Wasseraufbereitung und Regenwassermanagement"

Stärken	Chancen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gegenwärtig starke Außenhandelsposition Deutschlands, Großbritanniens, Italiens und der Niederlande hinsichtlich Techniken der Wasseraufbereitung, wobei zentrale Infrastrukturelemente noch im Vordergrund stehen</li> <li>• Insbesondere Frankreichs große Wasserversorger stellen mit ihren organisatorischen Kompetenzen und internationalen Kontakten "Zugpferde" für die Verbreitung europäischer Technologien in anderen Teilen der Welt dar</li> <li>• Verfügbarkeit von Techniken der Aufbereitung fast jeder Art von Ab- und Rohwasser zu Brauch- oder Trinkwasser, z.T. auch unter Einsatz erneuerbarer Energien (z. B. solar betrieben)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Starke Nachfrage nach dezentraler Wasserversorgungstechnik vor allem in Süd- und Osteuropa, in den USA und in Australien</li> <li>• Starke Nachfrage nach Meerwasserentsalzungsanlagen in Südeuropa, dem Nahen Osten und den USA</li> <li>• Grundsätzlich starke Nachfrage nach Technologien zur Wasserversorgung in allen (semi-)ariden Gebieten der Erde</li> <li>• Ein möglicher Rückgang des zukünftigen Wasserverbrauchs in manchen Industrieländern durch Entkoppelung von Wasserverbrauch und Wertschöpfung, erleichtert nicht nur die technische Machbarkeit, sondern erhöht auch die Wirtschaftlichkeit einer anpassungsfähigeren, dezentralen Wasserversorgung.</li> </ul>
Schwächen	Herausforderungen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regenwassermanagement mit Low-Tech-Charakter geringes Potenzial für Außenhandel, vor allem außerhalb der Industrieländer</li> <li>• Starke Fokussierung der Wasserwirtschaft auf zentral ausgerichtete Anlagen zur Wasserver- und Abwasserentsorgung</li> <li>• Konterkarieren der zunehmenden Einführung dezentraler wasserwirtschaftlicher Elemente durch Anschluss- und Nutzungszwang der Kanalisation in Deutschland (mögliche Einspareffekte werden dadurch verhindert)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eher als durch eine finanzielle Förderung könnten die Bedenken potenzieller Investoren in dezentrale Wasseraufbereitung und Regenwassermanagement durch die uneingeschränkte Kommunikation der Vorteilhaftigkeit dezentraler Wasseraufbereitung zerstreut werden</li> <li>• Verstärkte Entwicklung von einfacheren und dafür billigeren Anlagen könnte zusätzlich Märkte in weniger entwickelten Ländern eröffnen</li> <li>• Geeignete, an die wirtschaftliche, soziale und politische Struktur angepasste Betreibermodelle sind Grundvoraussetzung für den Erfolg vieler dezentraler Technologien</li> <li>• Besondere Probleme, wie das Management von Starkniederschlägen (z. B. Monsun), sind zwar technisch lösbar, von vielen der betroffenen Länder aber finanziell und organisatorisch ohne Hilfe kaum zu managen.</li> </ul>

### **5.3 Perspektiven bis 2020**

Die technischen Voraussetzungen für die Vermarktung dezentraler Wasserversorgungstechnologie durch deutsche und andere europäische Firmen sind nicht zuletzt aufgrund der in Deutschland und der EU etablierten strikten Standards sehr gut. Auch aus wirtschaftlicher Sicht existieren Strukturen, die die weitere Verbreitung dezentraler Wasserversorgungstechnologien innerhalb der Industrieländer begünstigen, so dass bis zum Jahr 2020 mit jährlichen Umsatzvolumina von bis zu 2 Mrd. Euro in Europa und 5 Mrd. Euro in Nordamerika gerechnet werden kann. Darüber hinaus ist das technische Potenzial jenseits der Industrienationen angesichts des schon vorhandenen und in der Zukunft als Folge des Klimawandels eher zunehmenden Wassermangels gewaltig. Für die wirtschaftliche Erschließung dieses Potenzials ist es allerdings erforderlich, eine Reihe von Voraussetzungen zu erfüllen, auf die im nächsten Abschnitt (5.4) näher eingegangen wird.

Im Gegensatz zur dezentralen Wasserversorgung besitzt das Regenwassermanagement aufgrund seines Low-Tech-Charakters und wegen der geringen Größe und des eher lokalen Engagements der in diesem Bereich bereits aktiven Firmen auf längere Sicht ein geringes Potenzial für den Außenhandel, vor allem außerhalb der Industrieländer, weil der bspw. in Deutschland vorhandene technische Vorsprung nicht ausreicht, um gegenüber Ländern mit niedrigen Löhnen und Produktionsstandards einen Wettbewerbsvorsprung aufrechtzuerhalten.

### **5.4 Herausforderungen und Handlungsempfehlungen**

Im Vordergrund des wirtschaftlichen Interesses einiger Industrieländer stehen derzeit die großen Geschäfte multinationaler Unternehmen bei der Erstellung und dem Betrieb der (zentralen) Wasserinfrastruktur ganzer Millionenstädte z. B. in China. Vor dem Hintergrund einer grassierenden Wasserverknappung in vielen dieser Ballungsgebiete sowie der allgemein schlechten Versorgung mit Trinkwasser in großen Teilen der weniger entwickelten Welt ist abzusehen, dass solche zentralen Ansätze zur Wasserver- und Abwasserentsorgung auf längere Sicht nicht zielführend sein werden. Vor diesem Hintergrund gilt es, zwecks Erschließung der tatsächlich auch langfristig vorhandenen Potenziale, die dezentrale Wasserversorgung und die sie darstellenden Unternehmen optimal zu unterstützen. Aus technischer Sicht verfügen Länder wie Deutschland, Großbritannien, Italien, die USA oder Kanada bereits über eine innovative, leistungs- und wettbewerbsfähige Industriestruktur, die in dem Umfang an Bedeutung gewinnt, wie sich ihre Konkurrenzfähigkeit mit der konventionellen (zentralen) Technologie sowie die Schwächen der mit Letzterer in Zusammenhang stehenden, zentralen Infrastruktur offenbaren.

Die wesentlichen Herausforderungen bestehen also darin, dass erstens die Wege gefunden bzw. ausgebaut werden müssen, auf denen deutsche und andere Player vor allem im nichteuropäischen Ausland mit ihren innovativen Produkten verstärkt zum Zuge kommen. In einer begrenzten Zahl von Ländern sind Einrichtungen wie die GTZ hier schon als Vermittler aktiv. Vor allem im Bereich der industriellen Wasseraufbereitung nutzen einige Entwickler und Hersteller von Wasserversorgungsanlagen die Möglichkeit "huckepack" zusammen mit ihren Kundenunternehmen neue Märkte zu erschließen. Multi-nationale Unternehmen sind in diesem Zusammenhang weniger hilfreich, da sie an Projekten mit relativ kleinen Volumina aber viel organisatorischem Aufwand kaum interessiert sind. Insgesamt ist es also notwendig, z. B. im Zuge der wirtschaftlichen Entwicklungszusammenarbeit mehr Organisationen (z. B. einschlägige Forschungsinstitute) vornehmlich im jeweiligen Ausland ausfindig zu machen, die zum Zwecke der Lösung örtlicher Wasserprobleme und ggf. mit finanzieller Unterstützung von Seiten der technologie anbietenden Länder bereit sind, bei der Umsetzung von Pilot- bzw. Leuchtturmprojekten behilflich zu sein. Ist ein technologie anbietendes Unternehmen auf den entsprechenden Märkten erst einmal präsent, so ist die Entstehung von Anschlussaufträgen sehr viel wahrscheinlicher.

Eine zweite wichtige Herausforderung betrifft die Finanzierung der Projekte und die damit verbundenen Risiken. Vor allem in vielen Entwicklungsländern ist der Bedarf an Wasseraufbereitungstechnologie häufig groß, die Ressourcen für ihre Finanzierung aber gering. Vor allem für kleinere und mittelgroße Lieferfirmen stellt dies ein Problem dar, da dann zu den erheblichen Transaktionskosten, die ein Engagement in weniger entwickelten Ländern in jedem Falle nach sich zieht, auch noch ein erhebliches Risiko der Amortisierung getätigter Investitionen hinzutritt. Bürgschaften stellen hier ein geeignetes Mittel dar, die Risiken zumindest zu Beginn des Engagements eines Unternehmens in einem neuen Exportland teilweise abzufedern.

Ein dritter Problemkomplex bezieht sich auf die Tatsache, dass vor allem in den ariden und semi-ariden Teilen der Welt der Bedarf an dezentraler Wasserversorgungstechnik sehr groß, insbesondere in Entwicklungsländern aber mit den von deutschen Firmen angebotenen Techniken nicht immer kompatibel ist. Zusätzlich stellt sich häufig die Frage, wie vorhandene technische Lösungen vor dem jeweiligen soziokulturellen und politischen Hintergrund der Zielländer wirtschaftlich darstellbar sind. In beiden Fällen ist es notwendig, sich intensiv mit den spezifischen institutionellen und kulturellen Bedürfnisse der Zielländer auseinanderzusetzen und auch auf Seiten der Zielregionen im gegenseitigen Diskurs die Einrichtung eines Regelrahmens zu veranlassen, der von beiden Seiten unterstützt wird. In diesen Kontext fällt auch die Entwicklung von angepassten Geschäftsmodellen, in denen bevorzugt örtliche Dienstleister eine tragende Rolle spielen, da sie einerseits ein eigenes Geschäftsinteresse haben, andererseits aber ihre Kundschaft am besten kennen.

## Literatur

- ATV-AG 1.2.6 (1999), Abwassertechnische Vereinigung: Regenwasserbewirtschaftung in Siedlungsgebieten zur Angleichung an natürliche Abflussverhältnisse. Korrespondenz Abwasser 46, Nr. 4, S. 575-580.
- Böhm, E.; Hiesl, H.; Hillenbrand, T. (2002): Auswirkungen der Wassertechnologieentwicklungen auf Wasserbedarf und Gewässeremissionen im deutschen Teil des Elbegebietes. Karlsruhe: Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (ISI)
- BMU (2007a): Environment, innovation, employment. Elements of a European ecological industrial policy. Arbeitspapier des informellen Umweltministertreffens vom 1. bis 3. Juni 2007 in Essen
- BMU (2007b): GreenTech made in Germany. Umwelttechnologieatlas für Deutschland. Herausgegeben vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, München: Vahlen
- DWA (2005): Aufbereitung von Industrieabwasser und Prozesswasser mit Membranverfahren und Membranbelebungsverfahren. Teil 4: aerobe Membranbelebungsverfahren. DWA-Arbeitsbericht, September 2005
- Euwid (2006): Umweltbundesamt rät von Nutzung von Regenwasser im Haushalt ab. Europäischer Wirtschaftsdienst: Wasser und Abwasser, 5 (31.1.2006), S.1
- Frost & Sullivan (2005): Southern European membrane separation systems markets. Report no. B615-15, London: Frost & Sullivan
- Frost & Sullivan (2006a): Northern Europe membrane separation systems markets. Report no. B921-15, London: Frost & Sullivan
- Frost & Sullivan (2006b): Central and eastern European membrane separation systems markets. Report no. B944-15, London: Frost & Sullivan
- Frost & Sullivan (2006c): U.S. membrane separation systems markets. Report no. F532-15, Palo Alto: Frost & Sullivan
- Geiger, W. F.; Dreiseitl, H. (1995): Neue Wege für das Regenwasser. Handbuch zum Rückhalt und zur Versickerung von Regenwasser in Baugebieten. Verlag Oldenbourg, München.
- Mall (2006): Wirtschaftsfaktor Regenwassernutzung. Pressemitteilung der Mall GmbH, Donaueschingen, vom 23.1.2006

- Pinnekamp, J.; Friedrich, H. (2006): Membrantechnik für Abwasserreinigung. Aachen: FiW
- Rosenwinkel, K.-H.; Brinkmeyer, J. (2004): Wasserrecycling in der Lebensmittelindustrie. In: Schriftenreihe WAR 159, S. 75ff.
- Schmid, F.; Dietz, W.; Demel, I. (2004): Wasserrecycling in der Papierproduktion. In: Schriftenreihe WAR 159, S. 95ff.
- Schönbäck, W., Oppolzer, G., Krämer, R.A., Hansen, W., Herbke, N. (2003): Internationaler Vergleich der Siedlungswasserwirtschaft. Wien: Bundeskammer für Arbeiter und Angestellte
- fbr (2007): Interview mit Fachreferent D. Sperfeld der Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V. (fbr) vom 28.2.2007
- Tauchmann, H., Hafkesbrink, J., Nisipeanu, P., Thomzik, M. et al. (2006): Innovationen für eine nachhaltige Wasserwirtschaft – Einflussfaktoren und Handlungsbedarf. Heidelberg: Physika
- WEF (2004): The Global Competitiveness Report 2004–2005. World economic forum (ed.), New York: palgrave macmillan
- WEF (2006): The Global Competitiveness Report 2006–2007. World economic forum (ed.), New York: palgrave macmillan

In der Reihe „Umwelt, Innovation, Beschäftigung“ sind bisher die folgenden Bände erschienen:

- |       |  |
|-------|--|
| 01/07 | Wirtschaftsfaktor Umweltschutz: Vertiefende Analyse zu Umweltschutz und Innovation |
| 02/07 | Umweltpolitische Innovations- und Wachstumsmärkte aus Sicht der Unternehmen        |
| 03/07 | Zukunftsmarkt Solarthermische Stromerzeugung                                       |
| 04/07 | Zukunftsmarkt CO <sub>2</sub> -Abscheidung und -Speicherung                        |
| 05/07 | Zukunftsmarkt Elektrische Energiespeicherung                                       |
| 06/07 | Zukunftsmarkt Solares Kühlen   |
| 07/07 | Zukunftsmarkt Energieeffiziente Rechenzentren                                      |
| 08/07 | Zukunftsmarkt Biokunststoffe   |
| 09/07 | Zukunftsmarkt Synthetische Biokraftstoffe  |
| 10/07 | Zukunftsmarkt Hybride Antriebstechnik  |
| 11/07 | Zukunftsmarkt Dezentrale Wasseraufbereitung und Regenwassermanagement              |
| 12/07 | Zukunftsmarkt Nachhaltige Wasserwirtschaft und Nanotechnologie                     |
| 13/07 | Zukunftsmarkt Stofferkennung und -trennung   |

Alle Veröffentlichungen können kostenlos auf [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de) heruntergeladen werden.