



Fraunhofer Institut
System- und
Innovationsforschung

Arbeitspapier

Technische Trends der industriellen Wassernutzung

Thomas Hillenbrand,
Christian Sartorius und Rainer Walz

Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsfor-
schung (ISI), Breslauer Str. 48, 76139 Karlsruhe

* Tel.: + 49 (0)721 6809 119

* E-Mail: thomas.hillenbrand@isi.fraunhofer.de

Karlsruhe, Oktober 2008

Dieses Arbeitspapier entstand im Rahmen des Projektes "Wirkungen des globalen Wandels auf den Wasserkreislauf im Elbegebiet – Risiken und Optionen" (GLOWA-Elbe II). Die Autoren bedanken sich beim Bundesministerium für Bildung und Forschung für die finanzielle Förderung dieses Vorhabens (Fkz 01LW0308).

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Industrieller Wassereinsatz und Abwassereinleitung in Deutschland und im Elbegebiet	2
3	Vergangenheitsentwicklung des Wassereinsatzes in wichtigen Branchen der Verarbeitenden Industrie	7
4	Technische Entwicklungen mit Auswirkungen auf den industriellen Wassereinsatz	14
4.1	Auswertung der Literatur und von BVT-Merkblättern relevanter Branchen.....	14
4.2	Analyse der Umwelterklärungen von Unternehmen	22
4.3	Patentrecherche.....	24
4.4	Schlussfolgerungen zu den Chancen des Einsatzes neuer wassersparender Technologien.....	27
5	Umfeldanalyse	28
5.1	Befragung von Industrieunternehmen im Elbegebiet.....	28
5.2	Rechtliche Randbedingungen.....	30
5.3	Ökonomische Randbedingungen.....	34
5.4	Informations- und Erfahrungsdefizite / organisatorische Randbedingungen.....	37
5.5	Schlussfolgerungen aus der Umfeldanalyse für die künftige Entwicklung des Wassereinsatzes in der verarbeitenden Industrie	38
6	Abschätzung der Entwicklung des spezifischen industriellen Wassereinsatzes bis 2020	40
	Referenzen	45

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Wassereinsatz und Abwasseraufkommen der Industrie in Deutschland seit 1991	2
Abbildung 2: Wassereinsatz und behandelte Abwassermengen der wichtigsten Industriebranchen in Deutschland in 2004.....	4
Abbildung 3: Wassereinsatz und behandelte Abwassermengen der wichtigsten Industriebranchen im Elbegebiet in 2001.....	5
Abbildung 4: Wassereinsatz und Wasserintensitätsfaktor der Chemischen Industrie seit 1991	9
Abbildung 5: Wassereinsatz und Wasserintensitätsfaktor der Metallherzeugung und -bearbeitung seit 1991	9
Abbildung 6: Wassereinsatz und Wasserintensitätsfaktor der Papierindustrie seit 1991	10
Abbildung 7: Wassereinsatz und Wasserintensitätsfaktor der Ernährungsindustrie seit 1991	10
Abbildung 8: Wassereinsatz und Wasserintensitätsfaktor der Mineralölverarbeitung seit 1991.....	11
Abbildung 9: Wassereinsatz und Wasserintensitätsfaktor der Branche Verarbeitung Steine/Erden, Glas, Keramik seit 1991	11
Abbildung 10: Wassereinsatz und Wasserintensitätsfaktor der Textilindustrie seit 1991	12
Abbildung 11: Rückgang der spezifischen Abwassermenge in l/kg in der deutschen Papierindustrie von 1974 bis 2004 (nach Jung et al., 2006).....	13
Abbildung 12: Ergebnisse der Auswertungen von Umwelterklärungen hinsichtlich bereits umgesetzter und in Planung befindlicher, wasserbezogener Maßnahmen.....	23
Abbildung 13: Entwicklung der am europäischen Patentamt angemeldeten Patente im Bereich Wasser-, Abwasser- und Klärschlammbehandlung für verschiedene Staaten	25
Abbildung 14: Entwicklung der am europäischen Patentamt angemeldeten Patente im Bereich Membrantrennverfahren zur Abwasser- und Wasserbehandlung.....	26

Abbildung 15: Ergebnisse der Befragung von Industriebetrieben im Elbegebiet - Umsetzung von Maßnahmen zur Senkung des Wasserverbrauchs	29
Abbildung 16: Ergebnisse der Befragung von Industriebetrieben im Elbegebiet - Maßnahmen zur Abwasserreinigung	30
Abbildung 17: Ergebnisse der Befragung von Industriebetrieben im Elbegebiet – erwartete Entwicklung des Wasserbezugs	30
Abbildung 18: Anteil industrieller Direkteinleitungen an den Gesamtemissionen von Schwermetallen in deutsche Gewässer für den Zeitraum 1985 bis 2000 (nach Böhm, Hillenbrand, 2005)	32
Abbildung 19: Aufteilung der industriellen Direkteinleitungen auf verschiedene Einzelbranchen (nach Böhm et al., 2001)	33
Abbildung 20: Preisentwicklungen von Membranmodulen (Mikrofiltration/ Ultrafiltration) einiger beispielhaft ausgewählter Hersteller (Hillenbrand/Hiessl, 2007)	35
Abbildung 21: Preissteigerungsraten für Trinkwasser (Deutschland) und Abwasser (Baden-Württemberg) zwischen 1993 und 2005 (nach: BGW, 2006; Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2006)	36

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Nährstoffeinträge industrieller Direkteinleiter im Elbegebiet nach Angaben der IKSE für das Jahr 2002 in t/a	6
Tabelle 2:	Nährstoffeinträge industrieller Direkteinleiter im Elbegebiet nach Auswertungen des Europäischen Emissionsinventars für das Jahr 2004 in t/a	6
Tabelle 3:	Überblick über BVT-Merkblätter für die besonders wasserrelevanten Branchen	15
Tabelle 4:	Anteil des aus dem öffentlichen Netz bezogenen Fremdwassers sowie des indirekt eingeleiteten Abwassers am eingesetzten Frischwasser für einzelne Industriebranchen in 2004 (nach: Statistisches Bundesamt, 2006b)	37
Tabelle 5:	Zusammenfassung der Ergebnisse hinsichtlich des spez. Wasserintensitätsfaktors verschiedener Industriebranchen	44

1 Einleitung

Die Wasserwirtschaft in Deutschland sieht sich mittelfristig neuen Herausforderungen gegenübergestellt, die ihre Ursachen in unterschiedlichen, derzeit sich zumindest bereits teilweise abzeichnenden Entwicklungen haben. Zu nennen ist hier u. a. der Klimawandel mit vielfältigen Auswirkungen auf wasserwirtschaftlich relevante Prozesse (Niederschlagsmengen, Niederschlagsverteilung, Grundwasserneubildung, etc.), der demographische Wandel sowie der technische Fortschritt. Dieser eröffnet zum einen neue Möglichkeiten bei der Abwasserentsorgung, zum anderen stellt er effizientere Techniken bei der Wassernutzung zur Verfügung mit der Konsequenz eines weiteren Rückgangs des spezifischen Wasserverbrauchs sowohl im häuslichen als auch im industriellen Bereich. Im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Verbundforschungsvorhabens "Globaler Wandel des Wasserkreislaufs im Elbeinzugsgebiet" (GLOWA Elbe) werden vor diesem Hintergrund integrierte Strategien für eine vorausschauende und nachhaltige Bewirtschaftung von Wasser und Gewässern entwickelt (s. <http://www.glowa-elbe.de/>). Zeithorizont der Untersuchungen ist der Zeitraum bis etwa 2020. Ziel der Analysen ist es, die wasserrelevanten Technikentwicklungen, deren Verbreitung und die damit verbundenen Wirkungen zu analysieren.

Für den Bereich der industriellen Wassernutzung werden im Folgenden die hinsichtlich des Wassereinsatzes besonders wichtigen Branchen in Deutschland identifiziert und die Entwicklung der Wassernutzung in diesen Branchen seit 1991 analysiert. Ergänzend werden die technischen Entwicklungslinien beschrieben sowie anstehende Veränderungen bei den für die Diffusion neuer wasserrelevanter Techniken wichtigen Randbedingungen untersucht.

2 Industrieller Wassereinsatz und Abwassereinleitung in Deutschland und im Elbegebiet

Die mit Abstand bedeutendsten industriellen Wassernutzer mit einem Anteil von 59,6 % im Jahre 2004 sind die Wärmekraftwerke für die öffentliche Versorgung, die das Wasser ganz überwiegend als Kühlwasser nutzen. Auf diesen Anteil wird nachfolgend nicht näher eingegangen, da der Bereich der Kraftwerke in einem separaten Arbeitspaket untersucht wird. Auch in der Chemischen Industrie und bei der Metallherzeugung spielt die Nutzung von Kühlwasser eine wichtige Rolle, so dass von der gesamten in Deutschland eingesetzten Wassermenge (incl. nichtindustriellem Einsatz) über zwei Drittel als Kühlwasser Verwendung finden.

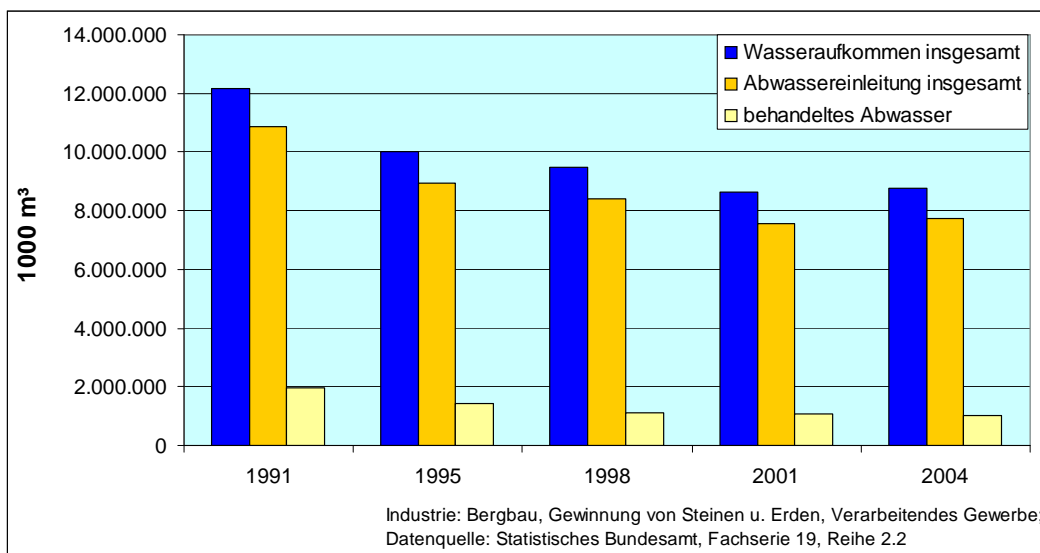


Abbildung 1: Wassereinsatz und Abwasseraufkommen der Industrie in Deutschland seit 1991

In Abbildung 1 ist die Entwicklung von Wassereinsatz und Abwasseraufkommen in der Industrie seit 1991 dargestellt. Die Differenz zwischen dem Wassereinsatz und dem abgeleiteten Abwasser ergibt sich insbesondere durch Wasserverluste, Verdunstung, Trocknung von Produkten, Wasser in Produkten (z. B. Ernährungsindustrie) und Wasser in Abfallschlamm. Die große Differenz zwischen dem insgesamt eingeleiteten und dem behandelten Abwasser wird ganz überwiegend durch die Nutzung von Kühlwasser bestimmt. Daneben führt die Statistik produktspezifisches Abwasser und ungenutztes Wasser auf. Abbildung 1 verdeutlicht, dass es zwischen 1991 und 2004 zu einem Rückgang des Wasseraufkommens um 28 % kam. Bei der behandelten Abwassermenge lag der Rückgang sogar bei 47 %. Allerdings ist auch festzustellen, dass zwischen den letzten beiden Erhebungsjahren 2001 und 2004 der Rückgang nur noch sehr gering war. Ob zukünftig mit einem weiteren Rückgang des Wassereinsatzes zu

rechnen ist, wird von unterschiedlichen Aspekten beeinflusst wie z. B. der wirtschaftlichen Entwicklung besonders in den wasserintensiven Branchen, der technischen Entwicklung oder auch möglichen strukturellen Veränderungen.

Um die Entwicklung in der Vergangenheit und zu erwartende Trends analysieren zu können, ist es angezeigt, analog zur Vorgehensweise bei der Analyse der Entwicklung des Energiebedarfs (vgl. z. B. Eichhammer et al., 2006) die Entwicklung des Wassereinsatzes auf der Ebene der wichtigsten wasserrelevanten Branchen der Verarbeitenden Industrie zu untersuchen. In Abbildung 2 sind die Daten für die Branchen für Deutschland insgesamt sowie in Abbildung 3 für das Elbegebiet dargestellt. Die Struktur im Elbegebiet entspricht danach weitgehend der des Wassereinsatzes in Deutschland insgesamt. Folgende Branchen besitzen danach eine hohe Relevanz:

- Chemische Industrie,
- Metallerzeugung/-bearbeitung,
- Papierindustrie,
- Ernährungsindustrie,
- Mineralölverarbeitung.

Aufgrund einzelner, besonders relevanter Wassernutzer werden zusätzlich die Branchen "Verarbeitung von Steine/Erden, Glas, Keramik" sowie die Textilindustrie mit bearbeitet. Der Bereich Bergbau und Gewinnung von Steine und Erden wurde für die weiteren Untersuchungen dagegen ausgeklammert, da das Wasseraufkommen dieser Branche überwiegend vom ungenutzt abgeleiteten Grubenwasser bestimmt wird, das nicht für die Produktion benötigt wird.¹

¹ Im Rahmen des GLOWA-Elbe-Projekts wird dieser Bereich ebenso wie die Wärmekraftwerke für die öffentliche Versorgung separat bearbeitet.

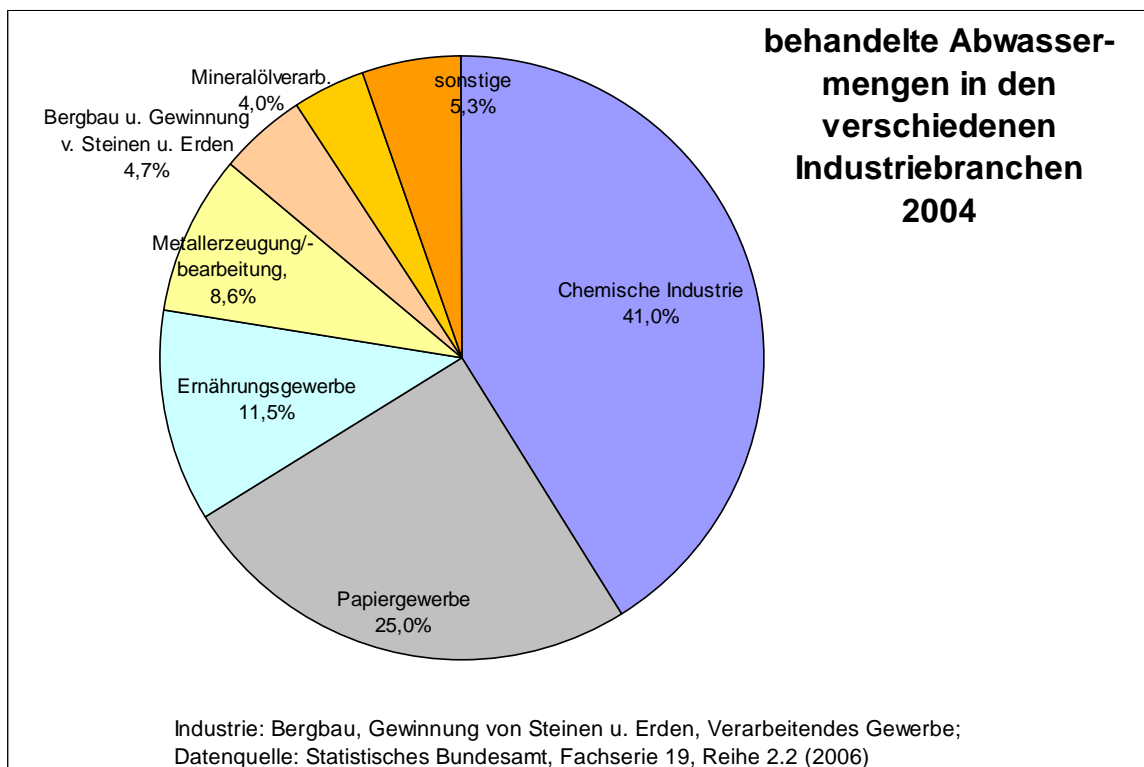
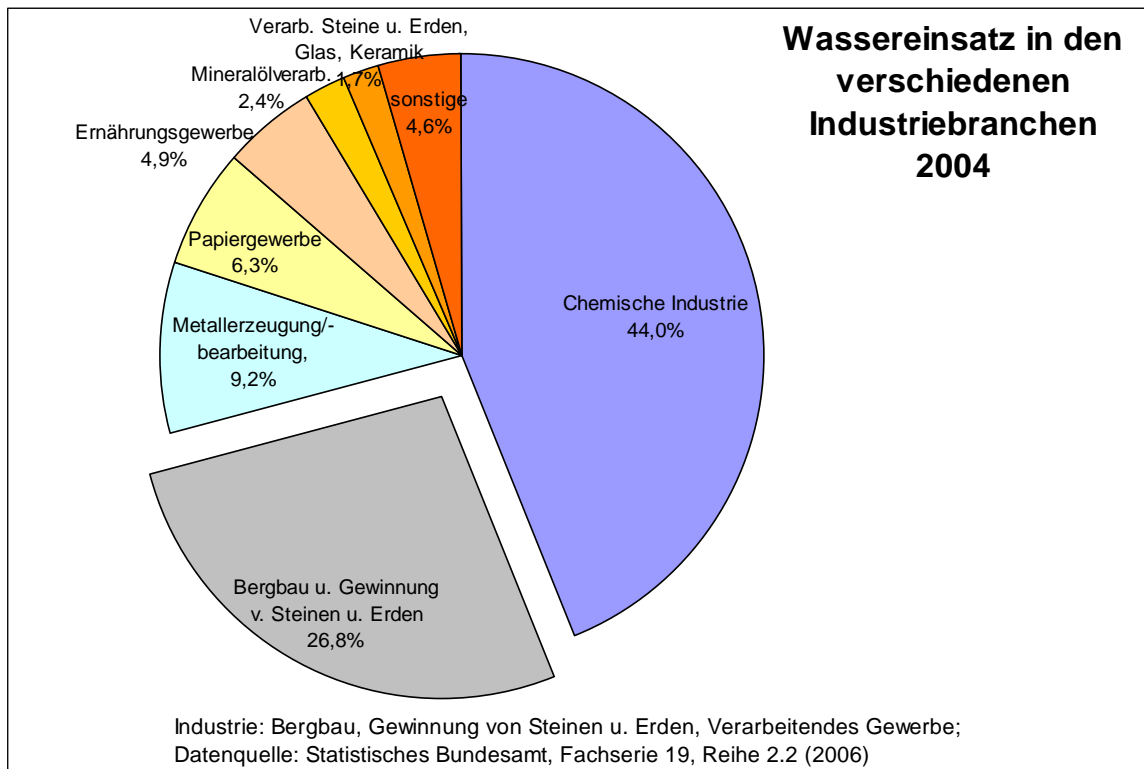


Abbildung 2: Wassereinsatz und behandelte Abwassermengen der wichtigsten Industriebranchen in Deutschland in 2004

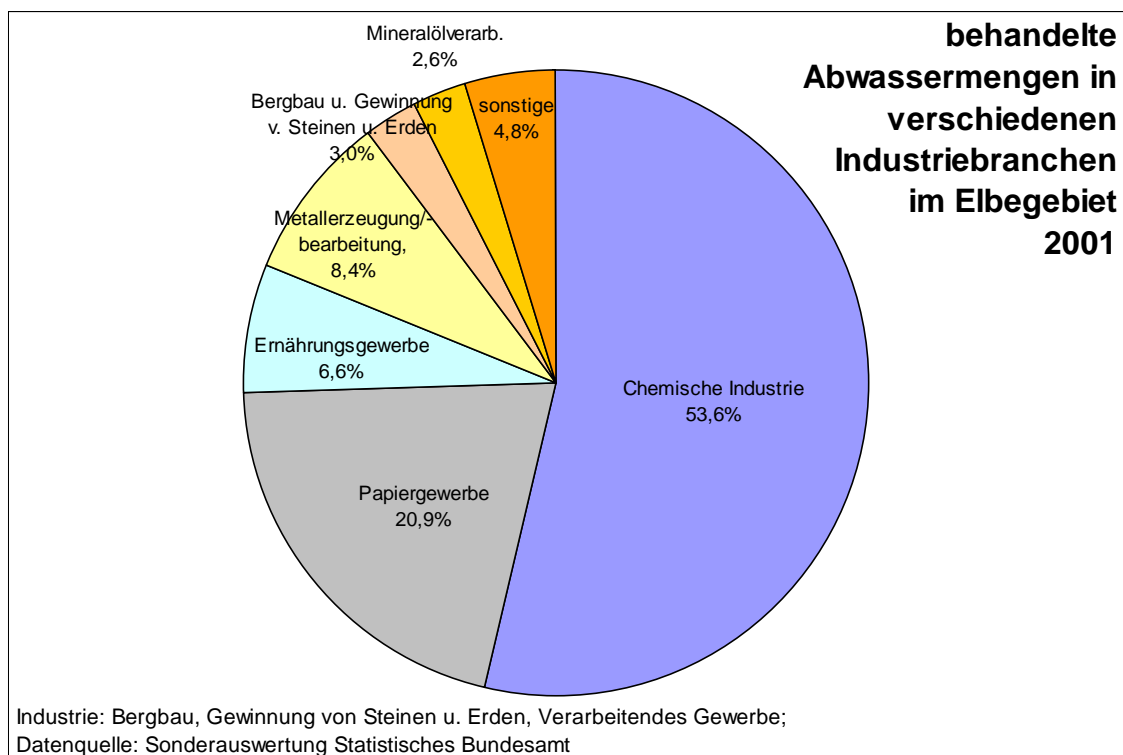
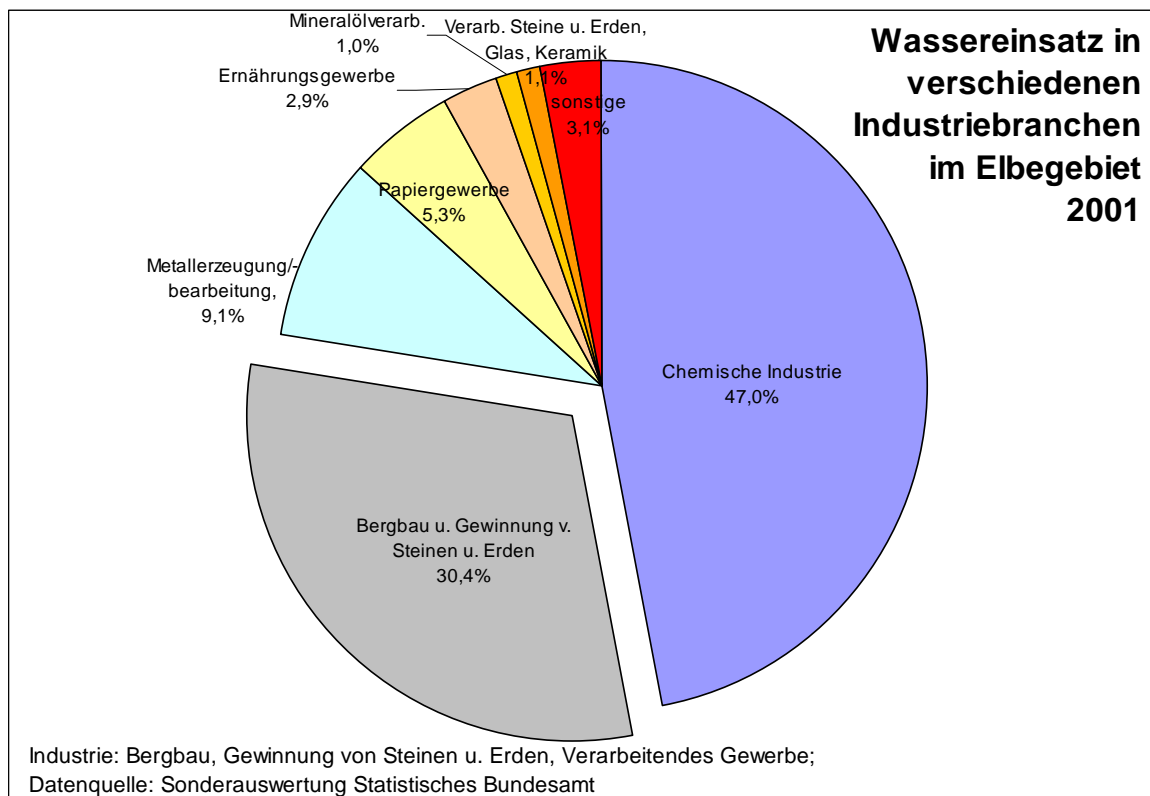


Abbildung 3: Wassereinsatz und behandelte Abwassermengen der wichtigsten Industriebranchen im Elbegebiet in 2001

Hinsichtlich der über das Abwasser industrieller Direkteinleiter in die Oberflächengewässer eingeleiteten Stofffrachten liegen zum einen Daten der IKSE für das Jahr 2002 vor (siehe Tabelle 1) sowie die Ergebnisse des Europäischen Emissionsinventars (siehe Tabelle 2). Trotz der bestehenden Unterschiede zwischen den Erhebungen zeigt sich die herausgehobene Bedeutung der Chemischen Industrie hinsichtlich der durch die Industrie insgesamt verursachten, eingeleiteten Nährstofffrachten. Die insgesamt aus diesem Bereich verursachten Einträge spielen allerdings im Vergleich zu den Einträgen aus der Landwirtschaft und kommunalen Kläranlagen nur eine untergeordnete Rolle.

Tabelle 1: Nährstoffeinträge industrieller Direkteinleiter im Elbegebiet nach Angaben der IKSE für das Jahr 2002 in t/a

	N ges	P ges
Chemische und pharmazeutische Industrie	631,1	45,7
Zellstoff- und Papierindustrie	4,1	4,0
Metallherstellung, Metallbe- und -verarbeitung	1,3	0,4
Bergbau und Kohleverarbeitung	49,0	1,1
Summe:	685,5	51,2

Tabelle 2: Nährstoffeinträge industrieller Direkteinleiter im Elbegebiet nach Auswertungen des Europäischen Emissionsinventars für das Jahr 2004 in t/a

	N ges	P ges
Chemische Industrie	454,4	9,8
Sodaherstellung (Anhang 30)	322,0	
Erdölverarbeitung	59,9	
Summe:	836,3	9,8

3 Vergangenheitentwicklung des Wassereinsatzes in wichtigen Branchen der Verarbeitenden Industrie

Für die branchenspezifische Analyse des Wassereinsatzes wird analog zu entsprechenden Untersuchungen aus dem Energiebereich (vgl. Eichhammer et al., 2006) davon ausgegangen, dass der Wassereinsatz bestimmt wird über die wirtschaftliche Aktivität der Branche sowie einen Wasserintensitätsfaktor, der insbesondere die technische Entwicklung abbildet (vgl. Statistisches Bundesamt, 2006), in dem aber auch strukturelle Veränderungen enthalten sind. Alle drei Einflussgrößen können branchenspezifisch sehr unterschiedlich sein, so dass die Entwicklung für die wasserintensiven Branchen jeweils separat analysiert werden muss. Damit ergibt sich folgender Zusammenhang:

$$W_i = c_i * A_i$$

mit W_i : Wassereinsatz in den Branchen i
 c_i : spezifischer Wasserintensitätsfaktor
 A_i : wirtschaftliche Aktivität der Branche

Für die Vergangenheit kann mit vorliegenden Daten zum Wassereinsatz und zur Wirtschaftsaktivität der relevanten Branchen die Entwicklung des spezifischen Wasserintensitätsfaktors bestimmt und mit dessen Hilfe die künftige Entwicklung abgeschätzt werden. Dieser Ansatz ermöglicht es bei Szenarienbetrachtungen, zwischen dem zukünftigen Einfluss der wirtschaftlichen Aktivität und der technischen Entwicklung/strukturellen Veränderung zu unterscheiden. Als Bezugsgröße für die wirtschaftliche Aktivität wurde für Branchen mit einer großen Palette sehr unterschiedlicher Produkte die preisbereinigte Bruttowertschöpfung der Branche herangezogen (s. Statistisches Bundesamt, 2006). Bei der Papierindustrie und der Mineralölverarbeitung wurde wegen der kleineren bzw. einheitlicheren Produktpalette die näherliegende und gut verfügbare Produktionsmenge an Papier und Pappe bzw. die verarbeitete Rohölmenge als Bezugsgröße für die wirtschaftliche Aktivität gewählt.

Erhebungen des Statistisches Bundesamtes für den Wasserbereich werden alle drei Jahre erstellt. Für die Analyse der Vergangenheitentwicklung seit der Wiedervereinigung stehen Daten für die Jahre 1991, 1995, 1998, 2001 und 2004 zur Verfügung. Daten für das Jahr 2007 werden voraussichtlich erst 2009 veröffentlicht werden. Für die einzelnen Branchen ergeben sich folgende Ergebnisse:

Die Ergebnisse für den Bereich der Chemischen Industrie (s. Abbildung 4) zeigen einen deutlichen Rückgang des Frischwassereinsatzes insbesondere zwischen 1991 und 1995. Für den mit der Bruttowertschöpfung ermittelten spezifischen Wasserintensi-

tätsfaktor ergibt sich ein sehr gleichmäßiger Rückgang im gesamten Zeitraum von 1991 bis 2004.

Bei der Metallerzeugung/-verarbeitung (s. Abbildung 5) zeigt sich eine deutliche Minderung sowohl des Frischwasserbedarfs als auch des Intensitätsfaktors bis 2001, danach ist dagegen nur noch ein sehr geringer Rückgang zu beobachten. Auch hier wurde der Wasserintensitätsfaktor mit Hilfe der Bruttowertschöpfung ermittelt.

In der Papierbranche (Abbildung 6) sank der Frischwassereinsatz mehr oder weniger kontinuierlich zwischen 1991 und 2001 und war dann 2004 praktisch unverändert. Aufgrund des vergleichsweise einheitlichen und gut erfassten Produkts (Papier und Pappe) wird als Bezugsgröße für die wirtschaftliche Aktivität die produzierte Papier- und Pappmenge gewählt. Der Intensitätsfaktor kann für den gesamten Zeitraum von 1991 bis 2004 als konstant fallend angesetzt werden.

In der Ernährungsindustrie (Abbildung 7) nahm der Frischwassereinsatz bis 1998 ab und blieb danach praktisch konstant. Mit Hilfe der Bruttowertschöpfung errechnet sich daraus ein vergleichsweise gering abnehmender Wasserintensitätsfaktor.

In der Branche "Kokerei, Mineralölverarbeitung, Herstellung und Verarbeitung von Spalt- und Brutstoffen" wird der Wassereinsatz zu über 95 % durch den Bereich Mineralölverarbeitung bestimmt, der hinsichtlich seiner wirtschaftlichen Aktivität sehr gut über die verarbeitete Rohölmenge erfasst werden kann. Mit dieser Bezugsgröße ergibt sich für den Wasserintensitätsfaktor bis 1998 ein starker und danach bis 2004 ein etwas schwächerer Rückgang (Abbildung 8).

Für die Branche Steine/Erden, Glas, Keramik stehen die erforderlichen Zahlen erst ab 1995 zur Verfügung (s. Abbildung 9). Die Daten zeigen zwar einen deutlichen Rückgang des Wasserbedarfs, dieser ging jedoch einher mit einem deutlichen Rückgang der Bruttowertschöpfung, d. h. der Wasserintensitätsfaktor hat sich nur geringfügig verändert.

Starke Veränderungen zeigt Abbildung 10 für die Textilindustrie: seit 1991 hat sich hier ein drastischer Rückgang des Wasserbedarfs ergeben, allerdings auch ein teilweise noch deutlicherer Rückgang der Wertschöpfung, die Zahl der Betriebe ist seit 1995 um 43 % zurückgegangen, d. h. es gab sehr große Veränderungen in der Branche. Diese führten auch zu einer deutlichen Veränderung der Produktionsstruktur.

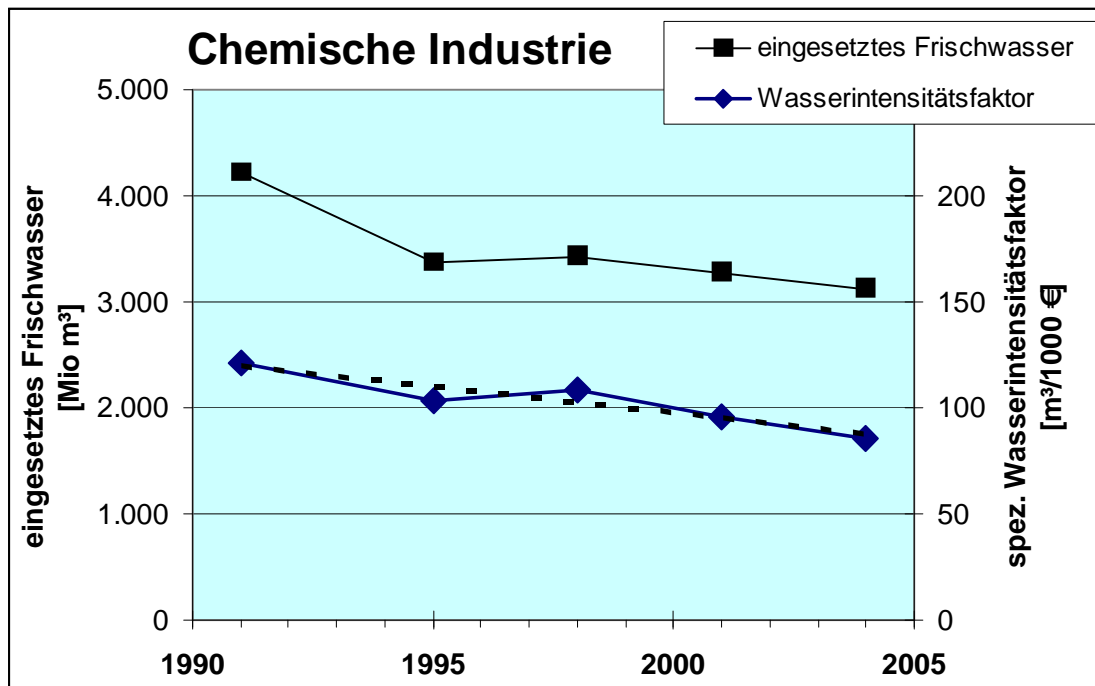


Abbildung 4: Wassereinsatz und Wasserintensitätsfaktor der Chemischen Industrie seit 1991

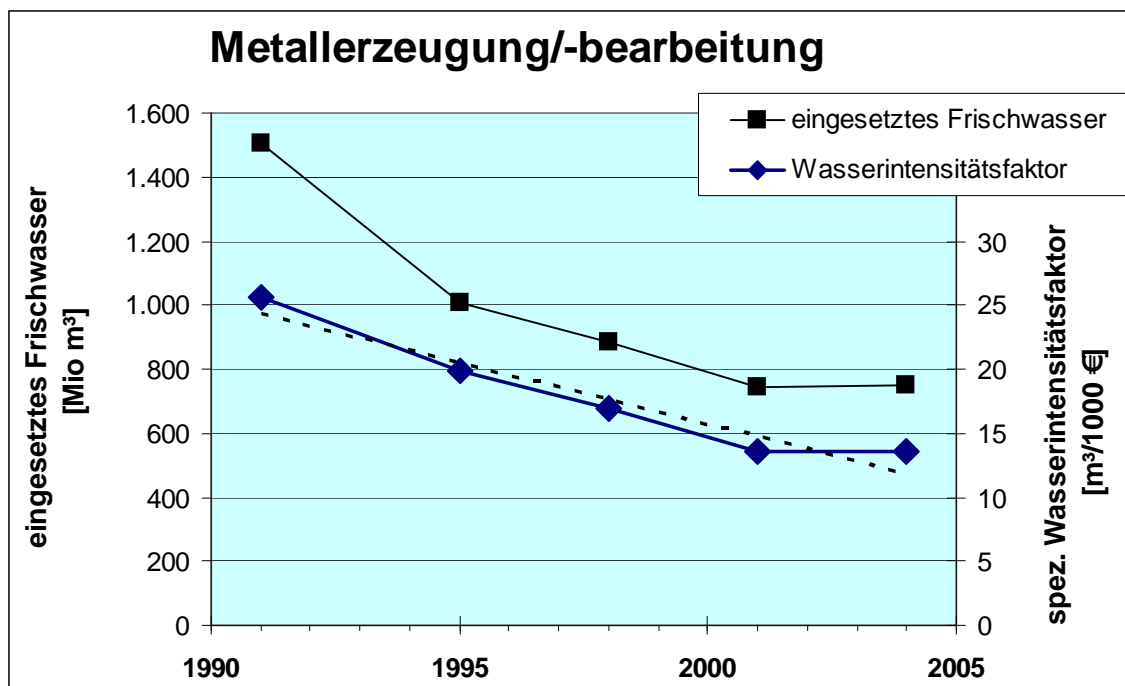


Abbildung 5: Wassereinsatz und Wasserintensitätsfaktor der Metallerzeugung und -bearbeitung seit 1991

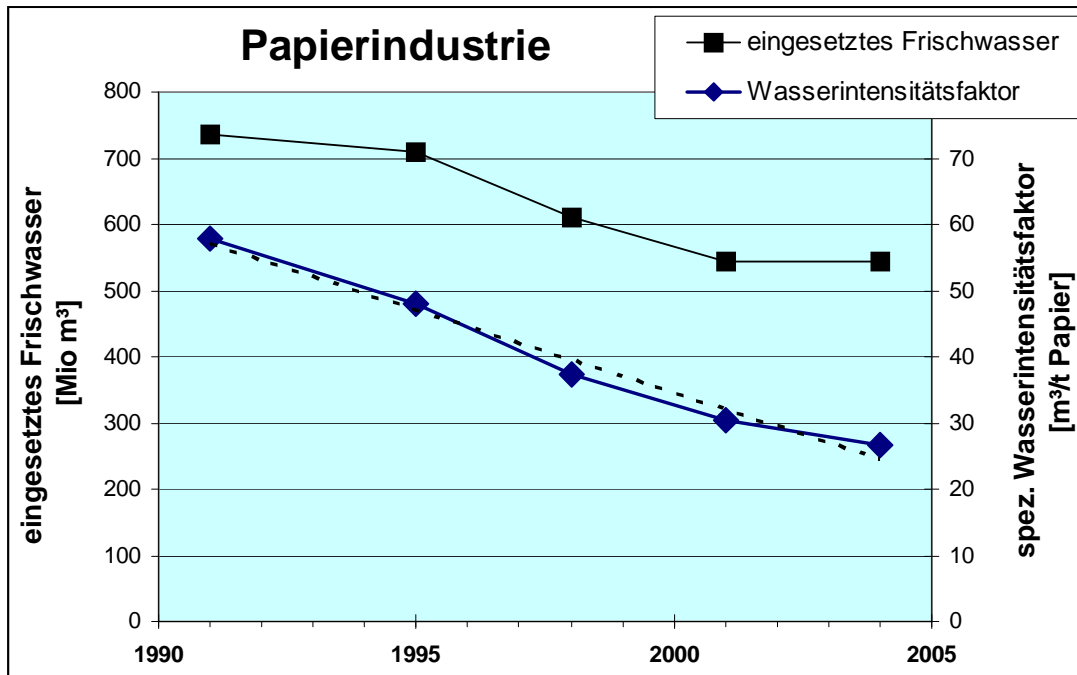


Abbildung 6: Wassereinsatz und Wasserintensitätsfaktor der Papierindustrie seit 1991

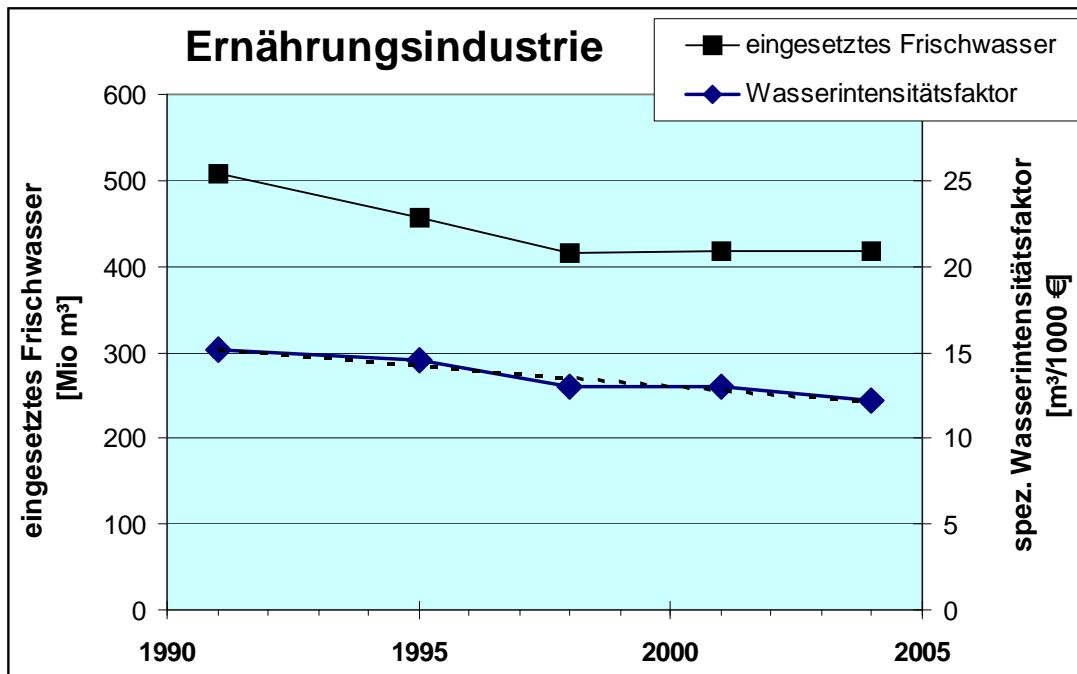


Abbildung 7: Wassereinsatz und Wasserintensitätsfaktor der Ernährungsindustrie seit 1991

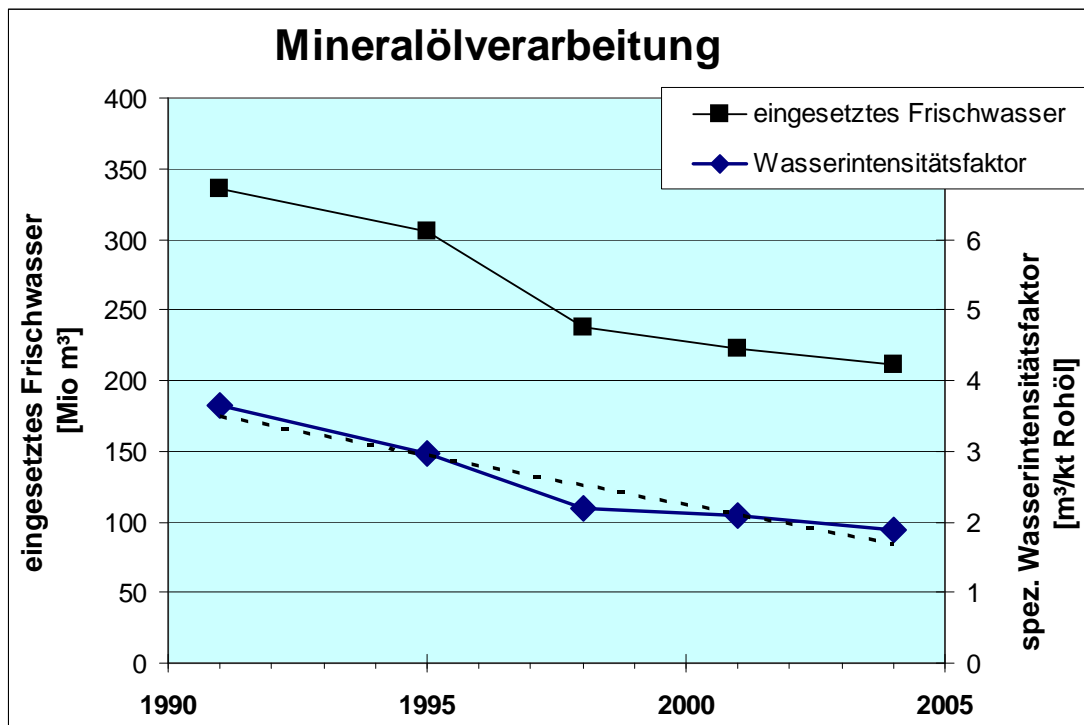


Abbildung 8: Wassereinsatz und Wasserintensitätsfaktor der Mineralölverarbeitung seit 1991

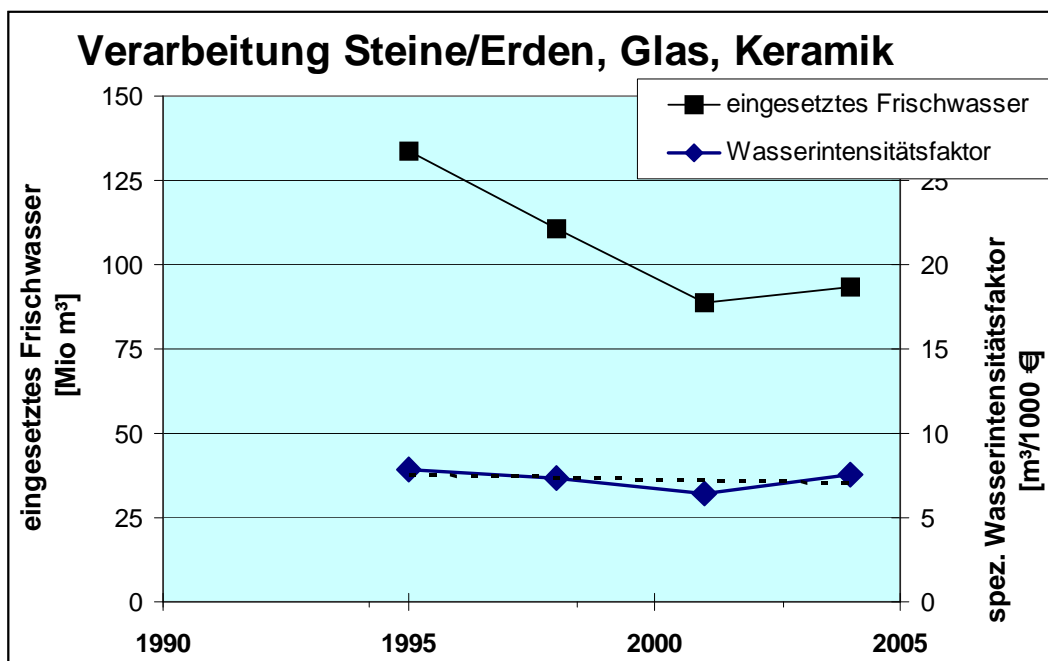


Abbildung 9: Wassereinsatz und Wasserintensitätsfaktor der Branche Verarbeitung Steine/Erden, Glas, Keramik seit 1991

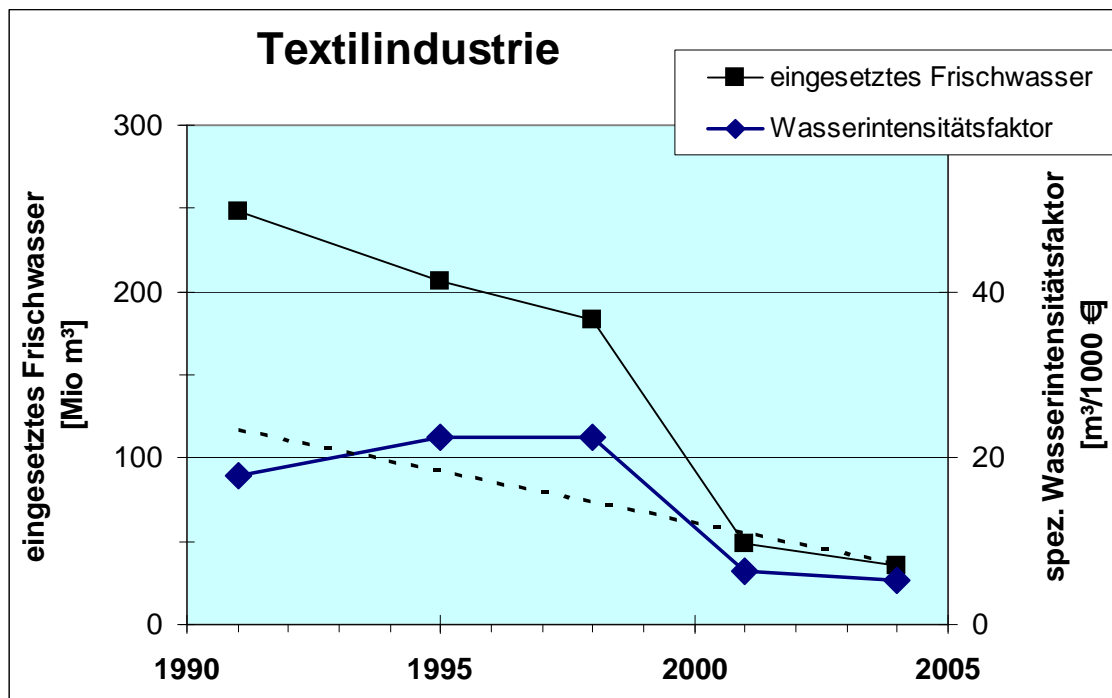


Abbildung 10: Wassereinsatz und Wasserintensitätsfaktor der Textilindustrie seit 1991

Die Vergangenheitsanalyse verdeutlicht, dass auch nach 1991 der Wassereinsatz in der Verarbeitenden Industrie weiter zurückgegangen ist, auch wenn bereits in den 70er und 80er Jahren erhebliche Rückgänge beim Wassereinsatz zu verzeichnen waren (siehe Beispiel der Papierindustrie in Abbildung 11). Wesentliche Gründe für die Verringerung des Wassereinsatzes waren die gestiegenen Kosten für die Versorgung mit Wasser und die Abwasserentsorgung. Ein weiterer Grund für die effizientere Wassernutzung in der Verarbeitenden Industrie ist die Tatsache, dass sich durch die Verringerung des Wassereinsatzes die Kosten und die technischen Voraussetzungen (geringere Verdünnung) für die Abwasserbehandlung verbessern und damit die gestiegenen Anforderungen an die Behandlung leichter erfüllt werden können. Zudem bieten sich damit gegebenenfalls günstigere Voraussetzungen zur Rückgewinnung von Wertstoffen aus Prozessabwässern und auch die Schlammengen aus der Abwasserbehandlung und damit deren Entsorgungskosten können gegebenenfalls verringert werden.

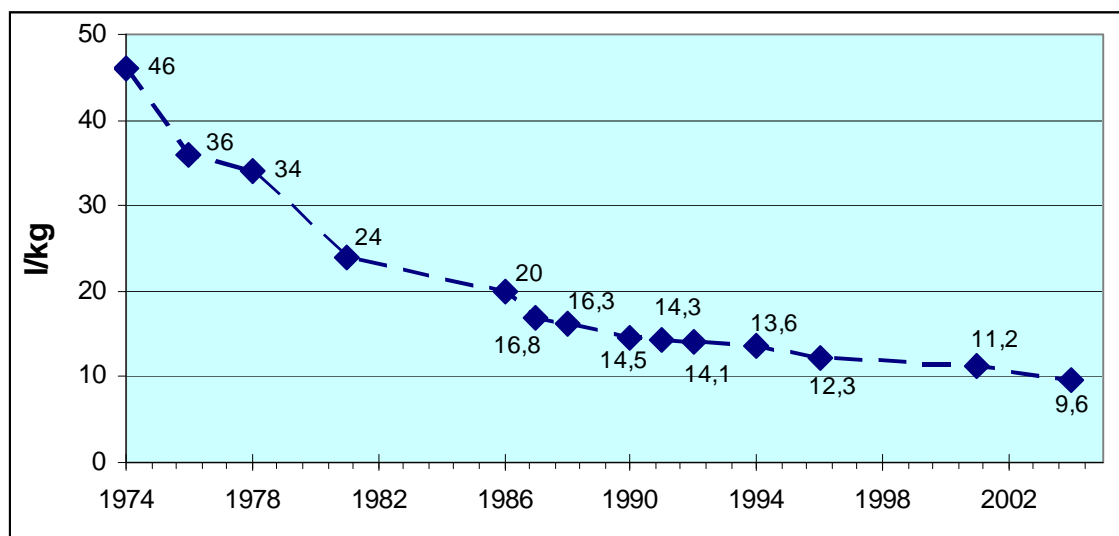


Abbildung 11: Rückgang der spezifischen Abwassermenge in l/kg in der deutschen Papierindustrie von 1974 bis 2004 (nach Jung et al., 2006)

Zur Reduzierung des Wassereinsatzes im Verarbeitenden Gewerbe bieten sich je nach Einsatzzweck unterschiedliche technische Möglichkeiten an. Zu nennen sind vor allem wassersparende Spültechniken bei den erforderlichen Spül- und Reinigungsschritten in unterschiedlichen Branchen oder die Modifikation von Produktionsverfahren, die eine Mehrfachnutzung des Wassers (Abstufung der Qualitätsniveaus) oder eine Kreislauf-führung durch Zwischenschaltung von Behandlungsschritten (Entfernung von Inhaltsstoffen, Absenken der Temperatur) ermöglichen. Entscheidende Impulse hierfür gingen häufig von technischen Entwicklungen in anderen Bereichen aus wie z. B. von verbesserter/kostengünstigerer Messtechnik oder von Fortschritten bei Membran- oder Oxidationsverfahren. Immer häufiger wurden dabei maßgeschneiderte und kostengünstige Lösungen sowohl als prozessintegrierte als auch als nachgeschaltete Maßnahmen realisiert, die den spezifischen Bedingungen der Branche, aber auch einzelner Betriebe angepasst wurden.

Für die Abschätzung der Entwicklung des Wassereinsatzes in der Verarbeitenden Industrie bis 2020 stellt sich die Frage, ob die sich abzeichnenden technischen Entwicklungslinien weitere Impulse zur Reduzierung des Wassereinsatzes erwarten lassen und welche rechtlichen, ökonomischen oder sonstigen Randbedingungen die Umsetzung der technischen Möglichkeiten voraussichtlich unterstützen werden. Die technischen Entwicklungslinien werden im nachfolgenden Kapitel 4, die Analyse der den Wassereinsatz beeinflussenden Randbedingungen in Kapitel 5 behandelt.

4 Technische Entwicklungen mit Auswirkungen auf den industriellen Wassereinsatz

Zur Abschätzung des Potenzials künftiger technischer Entwicklungen für eine weitere Verringerung des spezifischen Wassereinsatzes werden unterschiedliche Informationsquellen herangezogen:

- eine Literaturlauswertung zur Wasser- und Abwasserthematik generell sowie mit Bezug zu den ausgewählten Branchen;
- eine ergänzende Auswertung der BVT-Blätter ("Beste Verfügbare Techniken") der relevanten Branchen, die im Rahmen der Umsetzung der IVU-Richtlinie der EU erarbeitet wurden;
- Umwelterklärungen von Unternehmen sowie
- eine Analyse von Patentanwendungen für den Bereich Wasser/Abwasser.

Aus diesen Auswertungen ergeben sich auch Hinweise auf förderliche Randbedingungen, die technische Entwicklungen unterstützen und vorantreiben können.

4.1 Auswertung der Literatur und von BVT-Merkblättern relevanter Branchen

Hintergrund der Merkblätter zur "Besten Verfügbaren Technik" (BVT) für einzelne Industriebranchen ist die EU-Richtlinie zur integrierten Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (IVU-Richtlinie) aus dem Jahr 1996, die auf europäischer Ebene die Genehmigung besonders umweltrelevanter Industrieanlagen auf der Basis eines medienübergreifenden Ansatzes regelt. Allgemeines Ziel der Richtlinie ist ein hohes Schutzniveau für die Bereiche Luft, Wasser und Boden, ohne dass Umweltbelastungen nur verlagert werden. Die Genehmigung der relevanten Anlagen muss sich dazu auf die "Besten Verfügbaren Techniken" stützen. Die IVU-Richtlinie war von den Mitgliedsstaaten bis zum Jahr 1999 umzusetzen, für die Anpassung bestehender Anlagen an die Anforderungen der Richtlinie galt ein Übergangszeitraum bis zum 30. Oktober 2007.

Zur Beschreibung der BVT werden im Rahmen eines Informationsaustauschs zwischen den Mitgliedsstaaten und weiteren interessierten Kreisen Merkblätter erstellt, die zwar keine direkte rechtliche Bindung besitzen, deren Wirkung jedoch darauf beruht, dass die darin enthaltenen Informationen der Genehmigungsbehörde als Richtschnur dienen. Für Deutschland ist außerdem vorgesehen, dass die IVU-Richtlinie auch über die Festlegung nationaler Emissionsgrenzwerte und entsprechende Novellierungen des untergesetzlichen Regelwerks umgesetzt wird (Kaliske, 2005). Für den Wasserbereich ist dazu eine Neukonzeption der Abwasserverordnung geplant (s. Kapitel 5.1).

Tabelle 3: Überblick über BVT-Merkblätter für die besonders wasserrelevanten Branchen

BVT-Sektor	Tatsächlicher Arbeitsbeginn	Fertigstellung/Entwurfsdatum	Bekanntmachung im EU-Amtsblatt	Revisionsbeginn
Chemie				
Anorganische Grundchemikalien – feste und andere	Juli 03	Okt. 06		
Anorganische Grundchemikalien – Ammoniak, Säuren und Düngemittel	Okt. 01	Dez. 06		
Anorganische Spezialchemikalien	Okt. 03	Okt. 06		
Chloralkaliindustrie	Dez. 97	Dez. 01	16.01.2002	geplant 2008
Organische Feinchemikalien	Mai 03	Dez. 05	25.10.2006	
Organische Grundchemikalien	Apr. 99	Feb. 03	19.02.2003	geplant 2008
Abwasser- und Abgasbehandlung/-management in der chemischen Industrie	Apr. 99	Feb. 03	19.02.2003	geplant 2007
Metall				
Eisen- und Stahlerzeugung	Mai 97	Dez. 01	16.01.2002	2006
Stahlverarbeitung	Dez. 97	Dez. 01	16.01.2002	geplant 2007
Nichteisenmetallindustrie	Jan. 98	Dez. 01	16.01.2002	geplant 2007
Oberflächenbehandlung von Metallen (Galvanik)	Apr. 02	Sept. 05	25.10.2006	
Papier				
Zellstoff- und Papierindustrie	Mai 97	Dez. 01	16.01.2002	2007
Nahrungsindustrie				
Nahrungsmittelindustrie	Jan. 01	Jan. 06	25.10.2006	
Steine, Erden, Verarbeitung				
Glasindustrie	Jan. 98	Dez. 01	16.01.2002	2006
Keramische Industrie	Dez. 03	Dez. 06		
Kokerei, Mineralöl				
Raffinerien	Jun. 99	Feb. 03	19.02.2003	geplant 2008
Textil				
Lederindustrie	Feb. 98	Feb. 03	19.02.2003	geplant 2007
Textilindustrie	Feb. 98	Juli 03	19.07.2003	geplant 2008
Erzbergbau				
Management von Bergbauabfällen	Jun. 01	Juli 04		
sonstige				
Abfallbehandlungsanlagen	Feb. 02	Aug. 05	25.10.2006	
Großfeuerungsanlagen	Feb. 00	Mai 05	19.10.2006	
Industrielle Kühlsysteme	Jun. 97	Dez. 01	16.01.2002	

Der Stand der BVT-Merkblätter für die besonders wasserrelevanten Branchen ist in Tabelle 3 aufgeführt. Der Informationsaustausch zur Erarbeitung der BVT-Blätter soll kontinuierlich weitergeführt werden. Art. 16(2) der IVU-Richtlinie verlangt, dass die Ergebnisse des Informationsaustauschs alle 3 Jahre veröffentlicht werden. Mit der Überarbeitung der ersten Merkblätter wurde bereits begonnen. In den BVT-Merkblättern werden für die einzelnen Branchen jeweils relevante Maßnahmen zur Verbesserung der Wassereffizienz und zur Verringerung der Abwasserbelastung beschrieben.

Branchenübergreifender Schwerpunkt der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im Bereich der industriellen Wassernutzung und Abwasseraufbereitung in den letzten Jahren war die Nutzung und Optimierung der Membrantechnik (vgl. Pinnekamp et al., 2006; DWA, 2005a und b). Die mit dem Einsatz dieser Technik verbundenen Ziele können allgemein wie folgt beschrieben werden:

- Aufbereitung von Wasserströmen mit dem Ziel der Wasserkreislaufführung,
- Rückgewinnung von Wasserinhaltsstoffen zur Wiederverwertung,
- Abwasserreinigung und/oder Aufkonzentrierung von Abwasserströmen mit dem Ziel der Entsorgung.

Die Anwendungsbreite der Membrantechnik ist dabei sehr groß, sie wird sowohl als Einzeltechnik als auch in Kombination mit anderen Verfahren (biologische, chemisch-physikalische) eingesetzt (DWA, 2005b; Schönbacher, 2004; Rappich, 2003). Anwendung findet sie in den unterschiedlichsten Branchen, insbesondere auch in den im Rahmen dieser Untersuchung als besonders relevant eingestuften Industriezweigen Chemie, Papier, Metallerzeugung/-verarbeitung und Nahrungsmittel. Grundsätzlich wird ein weiterer Rückgang der mit der Membrantechnik verbundenen Kosten erwartet, insbesondere aufgrund der weiter stark steigenden Absatzmengen der Membranflächen (Pinnekamp et al., 2006).

Für die besonders relevanten Branchen ergeben sich im Einzelnen die folgenden Ergebnisse:

Chemische Industrie

Unter dem Begriff der "Chemischen Industrie" wird eine Vielzahl unterschiedlicher Sparten zusammengefasst, die ein sehr breites und sehr unterschiedliches Produkt- und damit auch Produktionsspektrum umfassen. Zu unterscheiden sind beispielsweise die Bereiche organische und anorganische Grundstoffe, organische und anorganische Fein- bzw. Spezialchemikalien, Kunststoffe oder auch Chemiefasern. Die für diesen Bereich wichtigsten rechtlichen Vorgaben sind in Deutschland über den Anhang 22 der Abwasserverordnung festgelegt, für einzelne Bereiche gibt es auch spezifische Rege-

lungen. Grundsätzlich wird Wasser benötigt als Lösemittel, zum Reinigen und Spülen von Produkten und Anlagen, als Rohstoff sowie zum Wärmetransport. Aufgrund der großen Zahl unterschiedlicher Produkte und Herstellungsverfahren ist der Wasserbedarf und die eingesetzten Mengen in den verschiedenen Bereichen jedoch sehr unterschiedlich, entsprechend auch die anfallenden Abwasserqualitäten und die notwendigen Aufbereitungsschritte.

Die BVT wurden entsprechend in verschiedenen Papieren festgelegt (s. Tabelle 3), zusätzlich wurde ein übergreifendes Merkblatt zur Abwasser- und Abgasbehandlung und -management in der chemischen Industrie erarbeitet. Wichtige Ansätze für einen effizienten Einsatz von Wasser sind danach die integrierte Kreislaufführung von Prozesswasser, die Aufbereitung von Abwässern zur Wiederverwendung, der Einsatz wassersparender Produktions- und Reinigungsverfahren (z. B. Gegenstromextraktion, indirekte Kühlsysteme, Vakuumerzeugung im geschlossenen Kreislauf, abwasserfreie Abgasreinigung) sowie der Einsatz von Niederschlagswasser als Ersatz für Frischwasser. Zur Abwasserbehandlung wird außerdem auf Möglichkeiten zur Vermeidung besonders kritischer Inhaltsstoffe sowie auf die für die einzelnen Schadstoffgruppen besonders geeigneten Behandlungsverfahren hingewiesen, die vor allem bei der Behandlung von Abwasserteilströmen eingesetzt werden können.

Neuere F&E-Arbeiten im Bereich der Chemischen Industrie beschäftigen sich insbesondere mit dem Einsatz der Membrantechnik in Kombination mit anderen Verfahrenstechniken zur weitgehenden (Ab-)Wasserreinigung und Kreislaufschließung. Spänhoff, Hagen (2004) berichten bspw. vom Einsatz einer Verfahrenskombination zum Abwasserrecycling in einem Chemischen Werk mit biologischem Verfahren, Ultrafiltration, Aktivkohlefiltration, UV-Entkeimung und Umkehrosmose; über das der Trinkwasserbezug um 61 % und die N und P-Frachten um 60% bzw. 67 % reduziert werden konnten. Eine Reduktion des Frischwasserverbrauchs um 13 % bei der Produktion von Flüssigwaschmitteln erbrachte in Pilotversuchen die katalytische Elektrolyse des Retentats einer Umkehrosmose (Forstmeier et al., 2003). Von Pinnekamp et al. (2006) und DWA (2005a) werden Beispiele in der Faser-, Kunststoff- und Pharmaindustrie beschrieben, in denen sich der Einsatz der Membrantechnik durch Einsparungen beim Frischwasserverbrauch um bis zu 90 % sowie in einem Fall durch die zusätzliche Rückgewinnung von Wertstoffen innerhalb weniger Jahren amortisierte. Teilweise wurden dabei allerdings auch öffentliche Fördermittel gewährt. Thüer/Buser (2006) berichten von zwei Anwendungsbeispielen der Membran-Bioreaktor-Technik (MBR) in der Chemischen Industrie mit dem Hinweis, dass weitere Anlagen mit einer weitergehenden Aufbereitung über Reversosmose zur Wasserkreislaufführung geplant sind. Von Schipolowski (2003) wird von Erfahrungen eines Pilotbetriebs einer Membrananlage bei der Waschmittelproduktion berichtet, nach denen trotz hoher Reinigungsleistung die Wie-

derverwendbarkeit des gewonnenen Permeats aufgrund von Verkeimungstendenzen stark eingeschränkt war. Aufgrund der Komplexität des Wassermanagements in den Betrieben wird zum Teil dieser Bereich im Rahmen eines Contractings an externe Partner vergeben, die bspw. hinsichtlich des Einsatzes aufwendiger Verfahrenskombinationen spezielles Know-How einbringen können (vgl. Lebek et al., 2005).

Papierindustrie

Die Papierindustrie stellt aus unterschiedlichen Faserstoffen wie Zellstoff, Holzstoff oder Altpapier eine Vielzahl unterschiedlicher Papiersorten her. In der Herstellung spielt Wasser eine entscheidende Rolle: es dient als Suspensions- und Transportmittel für Faser- und Füllstoffe sowie als Lösungsmittel für die unterschiedlichen chemischen Zusatzstoffe, die je nach Papiersorte eingesetzt werden. Nur durch eine weitgehende Wasserkreislaufführung und Wiederverwertung, die u. a. im BVT-Papier zur Papierbranche beschrieben ist, kann der spezifische Abwasseranfall auf die in Abbildung 11 gezeigten niedrigen Werte von aktuell deutlich unter 10 l/kg im Durchschnitt gesenkt werden. In Anhang 28 der Abwasserverordnung sind die Anforderungen an die Abwasserbehandlung für die Papierindustrie festgelegt. In der Regel werden in der Papierindustrie biologische Reinigungsverfahren eingesetzt. Rein biologisch aufbereitetes Wasser kann allerdings nur bedingt im Prozess wieder eingesetzt werden, da damit häufig eine Aufkonzentrierung von gelösten und kolloidalen Inhaltsstoffen verbunden ist (DWA, 2005a). Bei zunehmender Schließung der Wasserkreisläufe können grundsätzlich die Probleme durch Aufsalzung, Geruchsbildung und Kalkablagerungen im Produktionsprozess zunehmen. Besonders schwierige Randbedingungen bestehen bei Wässern aus der Altpapieraufbereitung aufgrund hoher Kalzium-, Sulfat- und Polymerkonzentrationen. Nach Kappen (2004) kann durch eine Optimierung der Kreislaufführung (Trennung der verschiedenen Kreisläufe bei der Papierherstellung, Gegenstromführung) erreicht werden, dass Störstoffe systematisch mit nur geringen Wassermengen ausgeschleust werden. Für eine (weitgehende) Schließung der Wasserkreisläufe sind die Belastungen des Abwassers bzw. des Kreislaufwassers über zusätzliche Reinigungsverfahren zu begrenzen. In aktuellen Forschungs- bzw. ersten Anwendungsprojekten wurden dazu unterschiedliche Verfahrenskombinationen (biologische Verfahren, Membrantechnik, Ozonierung, Entkarbonisierung) eingesetzt (vgl. Simstich/Öller, 2007; Hellwich/Kaps, 2007; Gehlert/Wienands, 2006; Lipnizki/Gennetier, 2006; DWA, 2005b; Althöfer/Feuersänger, 2005; Paulitschek/Rösler, 2003). Der Anteil der Papierfabriken, der biologisch gereinigtes Abwasser wieder in der Produktion einsetzt, ist von 2001 zu 2004 von 11 % auf 16 % gestiegen (Jung et al., 2006). Nach Hamm (2004) wird derzeit 4 % der Papierproduktion in Deutschland mit vollständig geschlossenem Wasserkreislauf hergestellt. Inzwischen liegen verstärkt Erfahrungen mit geschlosse-

nen Wasserkreislauf-Konzepten und den damit verbundenen Problemen vor, so dass zukünftig mit einer Zunahme entsprechender Konzepte gerechnet wird (Schmid et al., 2004).

Vergleichbar zur Entwicklung im Bereich der Chemischen Industrie werden auch in der Papierindustrie teilweise die Aufgaben des Wassermanagements an externe Contracting-Firmen vergeben, die beispielsweise hinsichtlich der einzusetzenden Aufbereitungsverfahren speziellere Kenntnisse einbringen können (N.N., 2005a).

Ernährungsindustrie

Dieser Bereich umfasst alle Sektoren der Nahrungsmittelproduktion wie z. B. die Zuckerindustrie, die Getränkeindustrie, die Obst- und Gemüseverarbeitung oder den Milchsektor. Wasser wird in diesem Bereich zum einen direkt im Produkt eingesetzt, zum anderen dient es zur Reinigung der Rohstoffe und der Produktionsanlagen. Die eingesetzten Wässer müssen sehr häufig Trinkwasserqualität aufweisen (Anteil mit Trinkwasserqualität liegt bei über 60 %, im verarbeitenden Gewerbe insgesamt dagegen nur bei 10 %; Rosenwinkel/Brinkmeyer, 2004). Die Anforderungen im Rahmen der Abwasserverordnung in Deutschland sind in verschiedene spezifische Anhänge aufgeteilt. Bislang wurden zur Abwasserreinigung überwiegend biologische Verfahren (teilweise auch anaerobe Behandlungsstufen mit Biogasgewinnung) eingesetzt mit unterschiedlichen Vorbehandlungsstufen wie Fettabscheidung, Flotation, Fällung oder Neutralisation. Im BVT-Papier werden sowohl übergreifende als auch einzelbranchenspezifische Maßnahmen zur Wassereffizienz und Abwasserbehandlung beschrieben. Genannt werden bspw. Maßnahmen zur verbesserten Prozesskontrolle sowie wasser-effiziente Reinigungssysteme (z. B. Cleaning-in-Place-Techniken – CIP, mehrstufige Reinigung bspw. bei Flaschen) und Waschprozesse (Gegenstrom-Prinzip). Zur Emissionsminderung wird auf die Auswahl umweltfreundlicher Betriebschemikalien sowie auf die unterschiedlichen Verfahren zur Primär- und Sekundärabwasserbehandlung hingewiesen. Möglichkeiten zur Wasserwiederverwendung bestehen beim Einsatz zusätzlicher, tertiärer Behandlungsverfahren wie z. B. der Membrantechnik.

Trotz der hohen Anforderungen an die eingesetzten Frischwasserqualitäten liegen zahlreiche Anwendungsfälle zum Recycling von Prozesswässern vor. Neueste Entwicklungen zeigen einen deutlichen Anstieg der Nutzungsfaktoren. Häufig werden dazu Membranverfahren eingesetzt (vgl. Pinnekamp et al., 2006; DWA, 2005a; Rosenwinkel/Brinkmeyer, 2004). Zum Teil werden auch verschiedene Verfahrenstechniken miteinander kombiniert (aerobe/anaerobe biologische Verfahren, Membranverfahren) mit einer abschließenden Oxidationsstufe (Ozon, UV oder H₂O₂) zur sicheren Entkeimung. Auch in der Lebensmittelindustrie wird von der Auslagerung des Wasser- und Rest-

stoffmanagements im Rahmen eines Contractings mit einem externen Partner berichtet (Simon et al., 2006).

Metallerzeugung/-bearbeitung

Zur Metall erzeugenden Industrie zählen sowohl die Eisen- und Stahlindustrie als auch die Nichteisenmetallindustrie. Bei der Roheisengewinnung und Stahlerzeugung wird Wasser vor allem zur Schlackengranulation und zur Gasreinigung (Gichtgas, Nassentstaubung von Oxidationsstäuben) eingesetzt. Ähnliche Verwendungen bestehen bei der Nichteisenmetallgewinnung. Bei der weiteren Verarbeitung der gewonnenen Produkte in Walzwerken, Pressen, Halbzeugfertigungen oder Gießereien wird Wasser zum Kühlen, zur Behandlung oder zum Spülen eingesetzt. Möglichkeiten zur Verbesserung der Wassereffizienz bestehen durch die Kreislaufführung von Prozess- und Kühlwässern ggf. mit einer Teilstrombehandlung (geeignetes Reinigungsverfahren für verunreinigte Entfettungsbäder ist bspw. die Membranfiltration), wassereffiziente Spülsysteme (Kaskadenspülung), die Verwendung indirekter Kühlsysteme, den Einsatz trockener Verfahren oder auch den Einsatz von Niederschlagswasser.

Zur metallverarbeitenden Industrie gehören u. a. der Stahl- und Leichtmetallbau, der Maschinen- und Fahrzeugbau und die elektrotechnische Industrie. In Deutschland sind die wichtigsten rechtlichen Vorgaben zum Wassereinsatz und zur Abwasserbehandlung im Anhang 40 der Abwasserverordnung geregelt. Hier wird zwischen 12 unterschiedlichen Abwasserherkunftsbereichen unterschieden, die überwiegend einzelne Prozessschritte in den genannten Industrien beschreiben (Galvanik, Beizerei, Anodisierbetriebe, Feuerverinkerei, Härterei, etc.). Die Behandlung metallischer Oberflächen erfolgt mit schichtabtragenden, schichtauftragenden und schichtumwandelnden Verfahren, notwendige Vor- und Nachbehandlungsschritte sind das Entfetten, das Beizen, oder das Brennen. Zwischen den verschiedenen Behandlungsschritten werden die Werkstücke gespült, dadurch gelangen die eingesetzten Behandlungskemikalien sowie Metallmengen in die Spülbäder. Maßnahmen zur Verringerung des Wassereinsatzes setzen insbesondere bei der Standzeitverlängerung der Spülbäder und bei der Kreislaufführung der Spülwässer an (z. B. Reduzierung der ausgeschleppten Menge an Prozesschemikalien, Reinigung und Aufbereitung von Prozessbädern und Spülwässern).

Durch den Einsatz verbesserter Reinigungsverfahren wie z. B. der Membrantechnik für Prozess- und Spülwässer können die Möglichkeiten zu einem verstärkten Wasserrecycling weiter verbessert und der Wasserbedarf zumindest für einzelne Prozessschritte deutlich gesenkt werden (vgl. Beispiele bei Pinnekamp et al., 2006; DWA, 2005a; NN, 2006). Zum Teil besteht inzwischen auch die Zielsetzung einer weitgehenden Schlie-

ßung des Wasserkreislaufs für Produktionsstandorte (NN, 2005; Hasler, 2003). Nach Schönberger (2004) sollte im Rahmen der geplanten Überarbeitung der rechtlichen Anforderungen die sich ergebenden Möglichkeiten zur Einengung der Wasserkreisläufe in einem Stahlwerk konkretisiert werden.

Mineralölverarbeitung

Die Mineralölverarbeitung umfasst sowohl die Erdölraffination als auch die Herstellung von Vorprodukten für die weitere organisch-chemische Synthese durch die petrochemische Industrie. Wasser wird bei der Rohölverarbeitung bei unterschiedlichen Prozessen wie Rohölentsalzung, Dampfstrippung, Wasch- und Reinigungsvorgänge sowie zur Kühlung eingesetzt. Für das anfallende Abwasser, der wichtigste Anteil sind die organisch verschmutzten Prozessabwässer, ist eine umfangreiche Vorbehandlung zur Entfernung toxischer Verunreinigungen (Schwefelwasserstoff, Cyanide, etc.) notwendig, bspw. über Flotationsverfahren, chemische Fällung und/oder Dampfstrippanlagen. Anschließend erfolgt in der Regel eine biologische Reinigung, ggf. erweitert um zusätzliche Verfahrensstufen.

Im BVT-Merkblatt werden verschiedene Maßnahmen zur Verringerung des Wassereinsatzes beschrieben. Grundsätzlich ist eine Trennung von Prozess- und Kühlwasser sinnvoll sowie die getrennte Erfassung von nicht bzw. kaum verunreinigtem, ölverschmutztem und stark verschmutztem Abwasser. Dadurch ergeben sich Möglichkeiten zur gestuften Verwendung der unterschiedlich verschmutzten Wässer entsprechend den jeweiligen Qualitätsanforderungen. Ggf. können dann zusätzlich bei Bedarf über Teilstrombehandlungen erhöhte Anforderungen eingehalten werden. Als weitergehende Behandlungsverfahren werden Membranverfahren, Aktivkohlefiltration, Ozonbehandlung, Ionenaustausch oder auch Nassoxidation aufgeführt. Weitere Maßnahmen sind eine Kaskadenführung von Wasserströmen, eine Kesselspeisewasseraufbereitung und –wiederverwendung sowie eine Luftkühlung anstatt Wasserkühlung. Von Peeters et al. (2006) wird die weitgehende Aufbereitung von Raffinerie-Abwässer mit anschließender Wiedernutzung über Membranverfahren beschrieben. Lebek et al. (2005) zeigen die Umsetzung eines optimierten Wassermanagements in der galvanotechnischen Industrie im Rahmen eines Betreibervertrags über einen externen Partner.

Für den Bereich der Wasseraufbereitung und –wiederverwendung in verschiedenen industriellen Branchen insgesamt wird von Frost&Sullivan (2005) das hohe Marktpotenzial aufgezeigt. Dabei wird besonders herausgehoben, dass in Deutschland aufgrund der bereits bestehenden umweltpolitischen Anforderungen, der hohen spezifischen Wasserpreise und des insgesamt sehr hohen technischen Niveaus die Voraus-

setzungen besonders günstig sind, mit nur noch einem geringen zusätzlichen Aufwand ein weitgehendes Wasserrecycling zu erreichen.

4.2 Analyse der Umwelterklärungen von Unternehmen

Hinsichtlich der Umsetzung umweltrelevanter Maßnahmen gelten die im Rahmen von EMAS (Eco-Management and Audit Scheme) zertifizierten Unternehmen als Vorreiter. Mit der Zertifizierung der Unternehmen verbunden ist die Erarbeitung und Veröffentlichung einer Umwelterklärung, in der u. a. über die durchgeführten und die geplanten Maßnahmen zum Umweltschutz berichtet werden muss. Diese Erklärungen können somit genutzt werden, um einen Überblick über die in den einzelnen Branchen unter den "Umweltvorreitern" stattfindenden Entwicklungen und die dort zum Einsatz kommenden Techniken zu gewinnen.

Zur Analyse wurden insgesamt 193 Umwelterklärungen ausgewertet, die aus den Jahren 2002 bis 2005 stammen. Bei der Auswertung wurde zum einen nach Branchen getrennt ausgewertet (einbezogen wurden die Branchen Chemie, Papier, Metallherzeugung, Ernährung, Steine/Erden/Glas²), zum anderen wurde bei den wasserbezogenen Maßnahmen unterschieden zwischen den Bereichen

- prozessintegrierte Maßnahmen,
- Maßnahmen zur Verbesserung der Wassereffizienz und
- Maßnahmen zur Emissionsminderung.

Außerdem wurde unterschieden zwischen bereits umgesetzten und geplanten Maßnahmen. Dabei deckten die unter "umgesetzt" beschriebenen Maßnahmen in der Regel die letzten 2 bis 4 Jahre, während bei den geplanten Maßnahmen der Zeithorizont bei etwa 1 bis 2 Jahren lag. Die quantitativen Ergebnisse der Untersuchungen sind in Abbildung 12 zusammengefasst dargestellt.

² Im Bereich Mineralölverarbeitung war in diesem Zeitraum nur eine sehr kleine, für eine statistische Auswertung nicht ausreichende Zahl von Unternehmen zertifiziert.

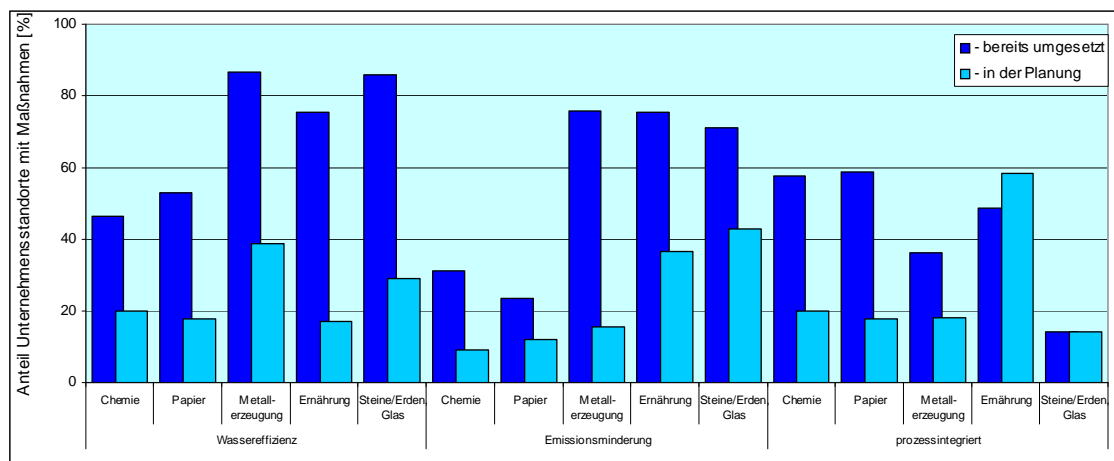


Abbildung 12: Ergebnisse der Auswertungen von Umwelterklärungen hinsichtlich bereits umgesetzter und in Planung befindlicher, wasserbezogener Maßnahmen

Die wichtigsten in den Umwelterklärungen aufgeführten Maßnahmen sind:

prozessintegrierte Maßnahmen:

- Änderung/Optimierung der Prozessführung, Erneuerung von Anlagen,
- Wasserkreislaufführung (u. a. Membrantechnik),
- verbesserte Mess- und Regelungstechnik,
- verbesserte Spültechniken,
- Veränderung der eingesetzten Chemikalien/Chemikalienmengen.

Maßnahmen zur Wassereffizienz:

- Regen-/Brauchwassernutzung, organisatorische Maßnahmen (Mitarbeiterschulung, Verbrauchskontrollen).

Maßnahmen zur Emissionsminderung:

- verbesserte Abwasserreinigung (biologische, chemisch-physikalische bzw. Membranverfahren, Mess-/Regelungstechnik),
- Kontrolle Kanalnetz, Abwasserkataster.

Die Ergebnisse zeigen insgesamt, dass ein hoher Anteil der beteiligten Firmen in den letzten Jahren Maßnahmen im Bereich Wasser/Abwasser umgesetzt hat. Etwa 20 bis 40 % (teilweise bis 60 %) der Firmen planen außerdem Maßnahmen durchzuführen. Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Zeithorizonte bei den umgesetzten Maßnahmen (letzte 2 bis 4 Jahre) zu den geplanten Maßnahmen (1 bis 2 Jahre) kann deshalb von einer weitgehend konstanten Entwicklung ausgegangen werden.

Im Vergleich zwischen den Branchen fällt der geringere Anteil von Maßnahmen in den Branchen Chemie und Papier im Bereich der Wassereffizienz und Emissionsminderung auf. Stattdessen liegt der Schwerpunkt der Maßnahmen bei den prozessintegrierten Maßnahmen. Die Erklärung für dieses Ergebnis liegt sicherlich darin, dass in diesen Branchen in der jüngeren Vergangenheit bereits in großem Umfang nachgeschaltete Maßnahmen umgesetzt wurden. Bei der Ernährungsindustrie planen besonders viele Unternehmen prozessintegrierte Maßnahmen (59 %). Dieser Anteil ist sogar höher als der Anteil, der prozessintegrierte Maßnahmen in den letzten Jahren umgesetzt hat (49 %). Besonders wichtig sind die Ergebnisse für die Metallerzeugung/-verarbeitung, da die Untersuchungen in Kapitel 2.9.3 zeigten, dass der spezifische Wasserintensitätsfaktor in dieser Branche seit 2001 konstant geblieben war. Abbildung 12 zeigt, dass in dieser Branche ein sehr hoher Anteil der zertifizierten Unternehmen Maßnahmen zur Verbesserung der Wassereffizienz umgesetzt hat bzw. Maßnahmen hierzu plant. Für die Branche insgesamt ist somit in den nächsten Jahren mit der Umsetzung von Maßnahmen und damit einer Verringerung des Intensitätsfaktors zu rechnen. In der Branche Steine/Erden, Glas gibt bzw. gab es einen vergleichsweise geringen Anteil an prozessintegrierten Maßnahmen.

4.3 Patentrecherche

Patente geben ihrem Besitzer einen zeitlich begrenzten Schutz für die gewerbliche Nutzung einer technischen Erfindung. Sie sind das Ergebnis von Forschung und Entwicklung in vorausgegangenen Perioden und zielen auf die Märkte der Zukunft. Sie machen jedoch weder eine Aussage über die Gesamtzahl der Erfindungen noch über deren ökonomischen Wert, sondern nur über die Zahl der Erfindungen, für die Schutzrechte auf den jeweiligen Märkten in Anspruch genommen wurden. Sie geben Auskunft über die Anwendungs- und Marktorientierung von technologischen Neuerungen (Hinze/Schmoch, 2004; Schmoch, 1990). Sie sind damit ein guter Frühindikator, um zu untersuchen, an welchen Orten, für welche Anwendungsfelder und in welchem Maße neues, potenziell kommerziell verwertbares Wissen entstanden ist. Anhaltende Aktivitäten bei den Patentanmeldungen weisen auf entsprechend starke Forschungsaktivitäten hin, d. h. ein entsprechendes Anwendungsfeld wird als wichtig erachtet und es sind auch künftig neue technische Entwicklungen zu erwarten.

Die aus Patenten gewinnbaren Informationen sind sehr aktuell, da sie häufig um Monate oder Jahre vor der Markteinführung der entsprechenden Produkte publiziert werden. Patentanmeldungen werden in jedem Falle 18 Monate nach der Anmeldung der Öffentlichkeit zugänglich gemacht, während die Produkteinführung häufig zwei bis drei Jahre dauert und bis zur Marktdurchdringung dann noch einmal einige Jahre vergehen kön-

nen. Patente stellen eine umfassende Dokumentation des technischen Wissens dar für praktisch alle Gebiete der Technik und alle Länder der Erde. Patente sind deshalb ein zentraler Innovationsindikator für die technologische Position auf den internationalen Märkten (Grupp, 1997).

Ziel der in 2005 durchgeführten Patentrecherche war es, für die Bereiche Wasserversorgung und -nutzung sowie Abwasserentsorgung Informationen über die zeitliche Dynamik der FuE-Aktivitäten in diesem Bereich sowie über die Position Deutschlands im internationalen Vergleich zu erhalten. Neben den Erhebungen für den Gesamtbereich wurden zusätzlich spezielle Technikfelder wie z. B. Grau- und Regenwassernutzung, Kleinkläranlagen sowie der für die industrielle Wassernutzung besonders relevante Bereich der Membrantechnologie gesondert ausgewertet (Ergebnisse zu den anderen Bereichen: vgl. Hillenbrand/Hiesl, 2006; Kotz et al., 2005).

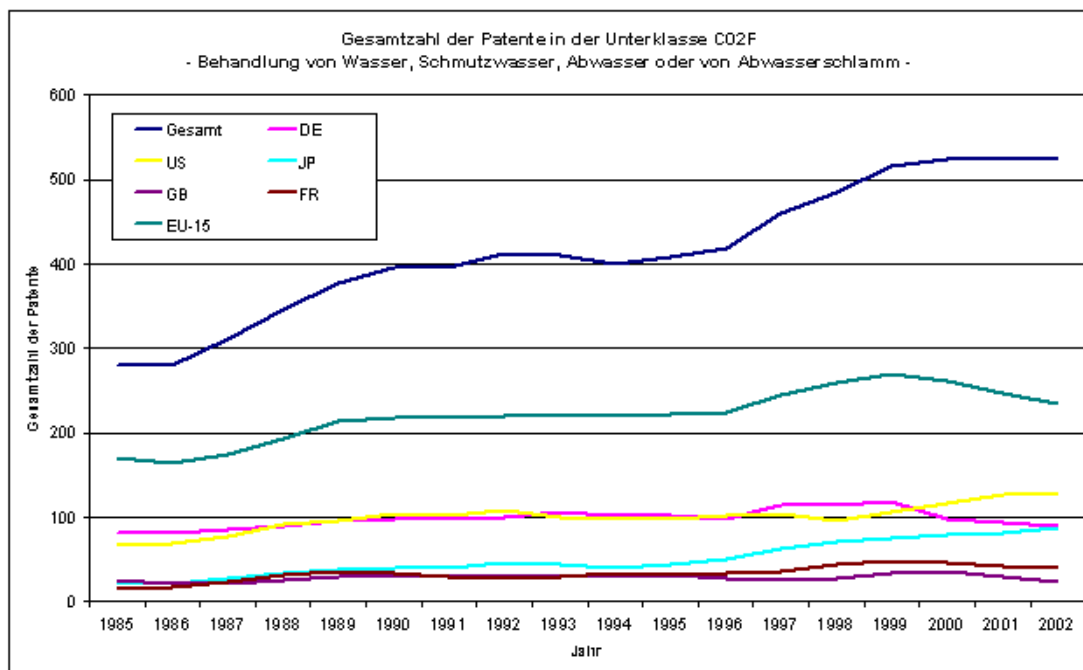


Abbildung 13: Entwicklung der am europäischen Patentamt angemeldeten Patente im Bereich Wasser-, Abwasser- und Klärschlammbehandlung für verschiedene Staaten

Alle Patentrecherchen im Bereich Wasserversorgung und Abwasserentsorgung wurden in der EPAPAT Datenbank von *Questel Orbit*, die auf Patente des Europäischen Patentamts (EPA) zugreift, durchgeführt. Für die Recherche wurde der Zeitraum von 1985-2002 gewählt. Die Beschränkung des Analysezeitraums bis zum Jahr 2002 war notwendig, da Patentanmeldungen erst 18 Monate nach der Anmeldung der Öffentlich-

keit zugänglich gemacht werden. Daher lagen zum Zeitpunkt der Recherche (Mai 2005) sichere Daten nur bis zum Zeitraum Oktober 2003 vor. Die Recherche bezog sich auf Deutschland, Frankreich, Großbritannien, USA, Japan, und die Gesamtheit der EU-15 Länder vor der Erweiterung³.

Die in Abbildung 13 dargestellte Entwicklung im Gesamtbereich der Wasser- und Abwasserbehandlung zeigt, dass es sowohl Mitte der 80er und als auch Mitte der 90er Jahre einen deutlichen Anstieg der Patentzahlen gab und die Zahlen in den Jahren 2000 bis 2002 auf hohem Niveau etwas stagnierten. Es ist außerdem zu erkennen, dass Deutschland bis Ende der 90er Jahre gemeinsam mit den USA die führende Rolle bzgl. der Patentanmeldungen spielte, in den letzten Jahren jedoch ein leichtes Abfallen der Zahlen zu verzeichnen war.

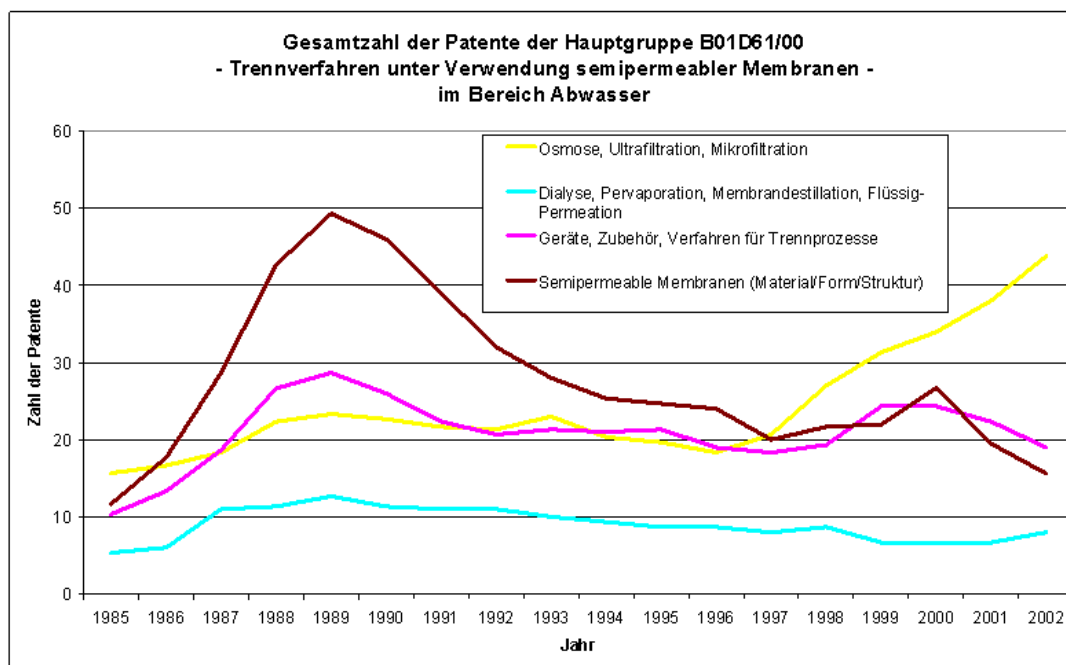


Abbildung 14: Entwicklung der am europäischen Patentamt angemeldeten Patente im Bereich Membrantrennverfahren zur Abwasser- und Wasserbehandlung

³ Deutschland, Großbritannien, Frankreich, Italien, Niederlande, Belgien, Dänemark, Schweden, Griechenland, Portugal, Irland, Luxemburg, Finnland, Österreich, Spanien.

4.4 Schlussfolgerungen zu den Chancen des Einsatzes neuer wassersparender Technologien

Die Auswertung der Literatur zum Wassereinsatz und zur Abwasserbehandlung einschließlich der BVT-Merkblätter, der Umwelterklärungen sowie der Patentanmeldungen zeigen einerseits auf, dass durch technische Entwicklungen auch künftig Impulse zur Verringerung des Wassereinsatzes zu erwarten sind. Andererseits ist auch durch die verstärkte Anwendung bereits existierender neuerer wassersparender Techniken eine weitere Reduzierung des Wassereinsatzes in der Verarbeitenden Industrie zu erwarten. Wie bereits oben erläutert, spielten in den letzten Jahren immer häufiger maßgeschneiderte, auf die spezifischen Randbedingungen eines einzelnen Betriebes angepasste Lösungen eine Rolle. Am ehesten werden solche Maßnahmen in Verbindung mit Umstellungen von Prozessen bzw. erforderlichen Neuinvestitionen realisiert. Das bedeutet, dass die Verringerung des Wassereinsatzes einzelner Branchen auch künftig fortschreiten wird, zu einem erheblichen Teil in dem sukzessive einzelne Betriebe starke Verringerungen ihres Wassereinsatzes realisieren. Für diese Anwendung in einer wachsenden Zahl von Betrieben sind die jeweiligen Randbedingungen von ganz entscheidender Bedeutung.

5 Umfeldanalyse

Untersuchungen zur Entwicklung des Energiebedarfs in der Verarbeitenden Industrie zeigen, dass die Erhöhung der Energieeffizienz nicht nur von Kostenaspekten und den rechtlichen Randbedingungen abhängt, sondern dass auch Informations- und Erfahrungsdefizite und organisatorische Randbedingungen der Betriebe eine wesentliche Rolle spielen. Es liegt nahe, dass all diese Einflussgrößen auch bei der Wassernutzung eine Rolle spielen, allerdings noch in einem höheren Maße, da die Maßnahmen zur Reduzierung des Wassereinsatzes auch mit Möglichkeiten der Rückgewinnung von Wertstoffen, der Abwasserbehandlung und der Abfallentsorgung verknüpft sind und damit abhängen von deren Kosten, gesetzlichen Anforderungen, Informations- und Erfahrungsdefiziten sowie den organisatorischen Randbedingungen ganzer Branchen oder einzelner Betriebe. Diese Punkte werden in den folgenden Unterkapiteln behandelt und einleitend hierzu werden Ergebnisse einer Befragung von Industrieunternehmen im Elbegebiet zur Wassernutzung und –behandlung vorgestellt.

5.1 Befragung von Industrieunternehmen im Elbegebiet

Um zusätzliche Informationen zur Wassernutzung, zur Wassereinsparung und zur erwarteten Entwicklung bei den Betrieben im Elbeeinzugsgebiet zu gewinnen, wurde unter Federführung der TU Berlin eine Befragung durchgeführt, in deren Rahmen ca. 1600 Unternehmen im September 2006 angeschrieben wurden. Der Rücklauf der verwertbaren Antworten lag bei knapp 20 %. Es kann davon ausgegangen werden, dass unter den antwortenden Betrieben eher die in der Thematik aktiven, informierten vertreten sind, die eine entsprechende Umfrage leichter beantworten können. Hinsichtlich der in den Betrieben eingesetzten bzw. zukünftig möglicherweise genutzten Techniken bei der Wassernutzung und -aufbereitung wurden folgende Fragen in den Fragebogen integriert:

- durchgeführte und vorstellbare Maßnahmen zur Senkung des Wassereinsatzes,
- durchgeführte und vorstellbare Maßnahmen zur Abwasserreinigung,
- Kosten der Maßnahmen,
- erwartete Entwicklung des Wasserbezugs in den kommenden 5 Jahren und
- Ursache der erwarteten Entwicklung.

In den Abbildungen 15 bis 17 sind die wichtigsten Ergebnisse der Befragung dargestellt. Danach liegt der Anteil der Firmen, die bereits heute Techniken zur Verbesserung der Wassereffizienz einsetzen (wassersparende Reinigungs- und Spültechniken,

Kreislaufführung von Prozess- oder Kühlwasser) zwischen 50 bis 70 % und weitere 10 bis 20 % der Unternehmen halten entsprechende Maßnahmen in den nächsten 10 Jahren für vorstellbar. Regenwasser wird bislang nur von knapp 20 % genutzt, hier ist dagegen der Anteil, der eine entsprechende Maßnahme für vorstellbar hält, mit über 40 % besonders hoch. Eine weitgehende Kreislaufschießung ist bereits bei 30 % der Firmen erfolgt, gut 15 % halten diese zukünftig für denkbar.

Im Bereich der Abwasserbehandlung ist besonders auffällig, dass für einen großen Teil der Unternehmen zukünftig der Einsatz der Membrantechnik sowie eine weitergehende Abwasserreinigung mit dem Ziel der Wasserrückgewinnung vorstellbar ist (23 bzw. 27 %). Aber auch bei den anderen Behandlungsverfahren (Stickstoff- und Phosphorelimination, Oxidationsverfahren) ist der Anteil der Firmen, die diese Techniken für denkbar halten, im Vergleich zu den Firmen, die diese bereits einsetzen, vergleichsweise groß.

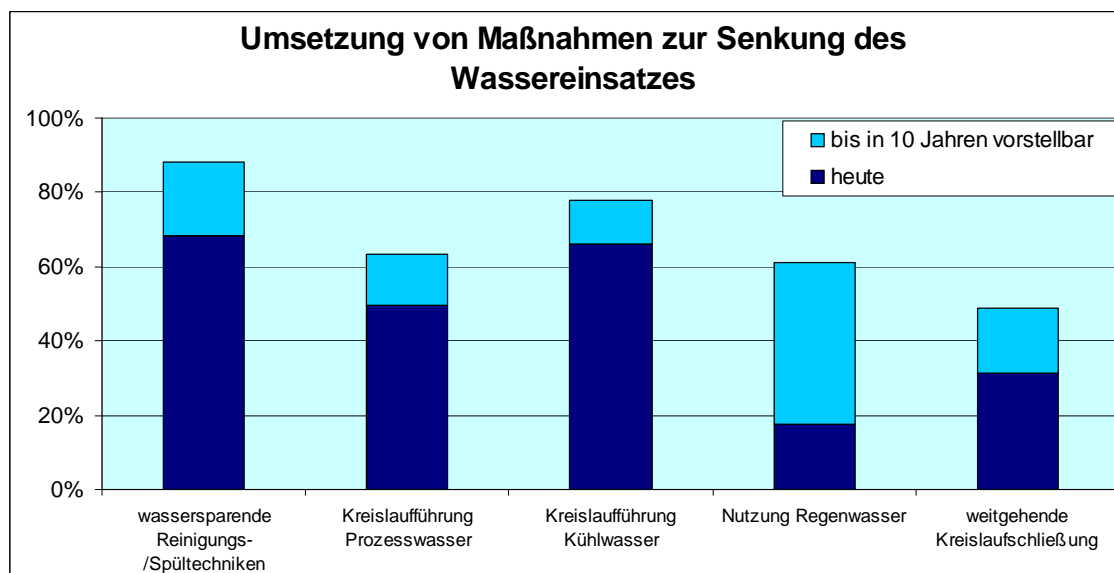


Abbildung 15: Ergebnisse der Befragung von Industriebetrieben im Elbegebiet - Umsetzung von Maßnahmen zur Senkung des Wasserverbrauchs

Die Frage zur zukünftigen Entwicklung des Wasserbezugs ergab im Durchschnitt einen Anteil von knapp 60 %, die keine Veränderung erwarten. 30 % gehen von einer Zunahme aus, etwa 10 % von einem Rückgang. Interessant sind in diesem Zusammenhang die angegebenen Gründe: Als Hauptursache für eine Zunahme wird eine steigende Produktionsmenge genannt (74 %), in geringem Umfang auch die Veränderung des Produktspektrums (8 %); 11 % gaben "sonstiges" an. Für eine Abnahme werden als Hauptursachen die Wasserkreislaufführung (38 %) sowie sonstige Gründe (34 %)

angegeben. Eine Veränderung der Produktionsmenge ist dagegen nur für 16 % der Unternehmen Grund des erwarteten Wasserbezugs-Rückgangs.

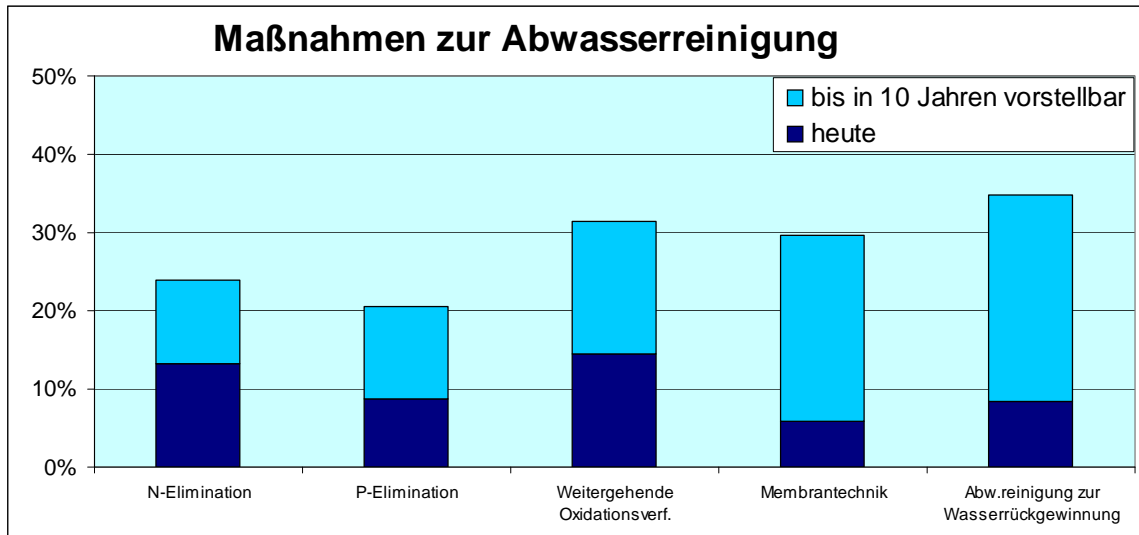


Abbildung 16: Ergebnisse der Befragung von Industriebetrieben im Elbegebiet - Maßnahmen zur Abwasserreinigung

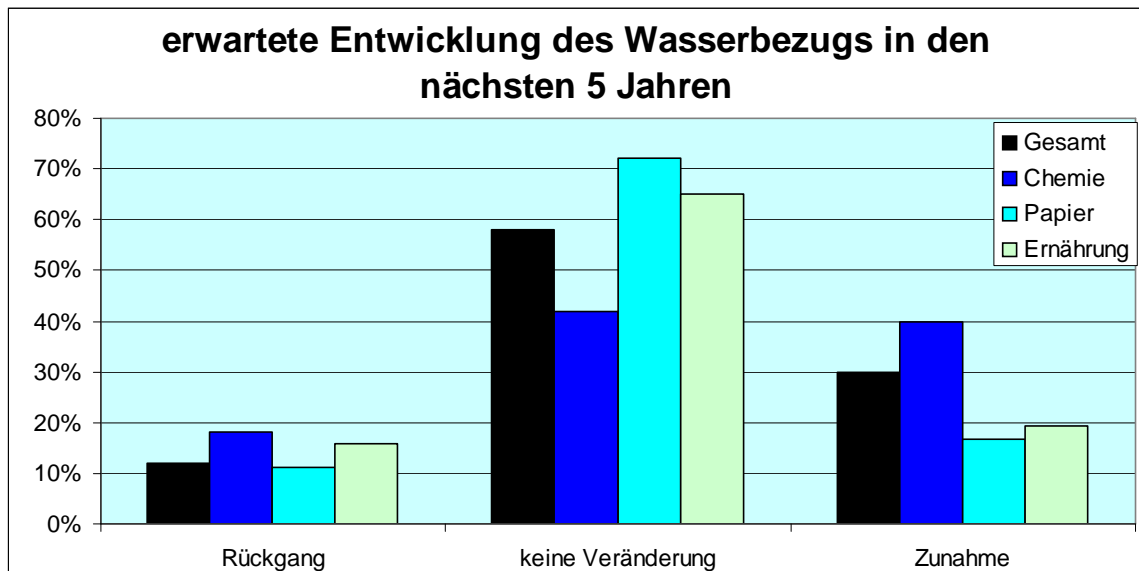


Abbildung 17: Ergebnisse der Befragung von Industriebetrieben im Elbegebiet – erwartete Entwicklung des Wasserbezugs

5.2 Rechtliche Randbedingungen

Die rechtlichen Rahmenbedingungen üben einen wesentlichen Einfluss auf die industrielle Wassernutzung und Abwasserreinigung in Deutschland aus. Die überwiegend in

den 80er Jahren erlassenen, branchenspezifischen Regelungen in den Anhängen zur Abwasserverordnung bildeten bislang die Grundlage für die Konzeption der Abwasserbehandlung in den Industriezweigen. Nach den Anforderungen des Wasserhaushaltsgesetzes ist dabei der Stand der Technik umzusetzen. In den ergänzenden Hintergrundpapieren für die Branchen werden detailliert die Verfahren beschrieben, die die Einhaltung der Anforderungen ermöglichen. Für einige Branchen werden dabei auch prozessintegrierte Anforderungen gestellt und es werden dabei auch Möglichkeiten für einen effizienten Wassereinsatz erläutert (z. B. Anhang 40; Zimpel, 2004).

Eine zunehmende Bedeutung hatten in den letzten Jahren Regelungen auf EU-Ebene, insbesondere die IVU-Richtlinie sowie die Wasserrahmenrichtlinie. Die IVU-Richtlinie aus dem Jahr 1996 regelt auf europäischer Ebene die Genehmigung besonders umweltrelevanter Industrieanlagen (s. Kapitel 2.9.4.1). Als Grundlage für eine Genehmigung der relevanten Anlagen sind dabei die "Besten Verfügbaren Techniken" (BVT) heranzuziehen. Die IVU-Richtlinie war von den Mitgliedsstaaten bis zum Jahr 1999 umzusetzen, für die Anpassung bestehender Anlagen an die Anforderungen der Richtlinie galt ein Übergangszeitraum bis zum 30. Oktober 2007. Zur Information aller Beteiligten werden die BVT in branchenspezifischen Merkblättern beschrieben (s. Kapitel 2.9.4.1).

Die im Jahr 2000 verabschiedete Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) verpflichtet die Mitgliedsstaaten, bis 2015 einen guten ökologischen und chemischen Zustand in den Gewässern zu erreichen. Im Anhang X der Richtlinie wurden 33 Stoffe festgelegt, für die europaweite Qualitätsziele einzuhalten sind (prioritäre Stoffe). Nach Art. 16 WRRL sollen für diese Stoffe außerdem EU-weite Minderungsstrategien von der Kommission entwickelt werden. Zusätzlich sind bei der Umsetzung der WRRL sonstige, auf Flussgebietsebene relevante Stoffe zu berücksichtigen. In Anhang X werden die aufgrund ihrer Stoffeigenschaften besonders kritischen Schadstoffe gekennzeichnet. Für diese prioritären gefährlichen Stoffe gilt das Ziel der Beendigung oder schrittweisen Einstellung von Einleitungen, Emissionen und Verlusten. Nach dem in 2006 vorgelegten Entwurf der Tochtrichtlinie⁴ werden folgende Stoffe als prioritär gefährlich eingestuft: Cadmium, Quecksilber, PAK, Anthracen, Hexachlorbenzol, Hexachlorbutadien, Pentachlorbenzol, Endosulfan, Hexachlorcyclohexan, Bromierte Diphenylether, C10-13-Chloralkane, Nonylphenole, Tributylzinnverbindungen. Nach den Untersuchungen von Hillenbrand et al. (2007) sind in Deutschland ein größerer Teil dieser Stoffe aufgrund

⁴ Vorschlag einer Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates über Umweltqualitätsnormen im Bereich der Wasserpolitik und zur Änderung der Richtlinie 2000/60/EG (KOM (2006) 397 endgültig).

bereits bestehender Einschränkungen nicht mehr relevant. Für den Bereich der industriellen Einleitungen von Bedeutung sind außerdem die Schwermetalle Cadmium und Quecksilber sowie teilweise noch die Stoffgruppen PAKs und Nonylphenole. Für die Schwermetalle insgesamt gilt allerdings, dass der Anteil der durch industrielle Direkt-einleitungen verursachten Einträge in die Gewässer in Deutschland seit 1985 deutlich zurückgegangen ist (s. Abbildung 18). Die wichtigsten industriellen Emittenten für Cadmium und Quecksilber sind dabei die Chemische Industrie sowie die Nichteisenmetallherstellung (s. Abbildung 19). Für die Emittenten der prioritären (gefährlichen) Stoffe könnten sich aufgrund der Zielsetzungen der WRRL weitergehende Anforderungen an die Abwasseraufbereitung ergeben. Außerdem könnte sich durch die Anforderung der WRRL nach Berücksichtigung der Umwelt- und Ressourcenkosten eine Erhöhung der Kosten des Wasserbezugs ergeben (s. Kapitel 2.9.5.2).

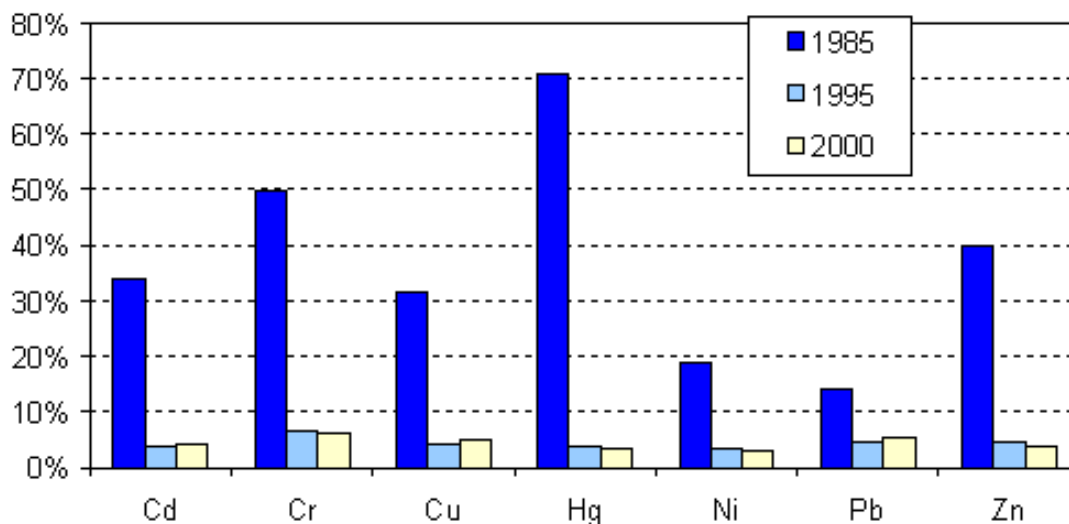


Abbildung 18: Anteil industrieller Direkteinleitungen an den Gesamtemissionen von Schwermetallen in deutsche Gewässer für den Zeitraum 1985 bis 2000 (nach Böhm, Hillenbrand, 2005)

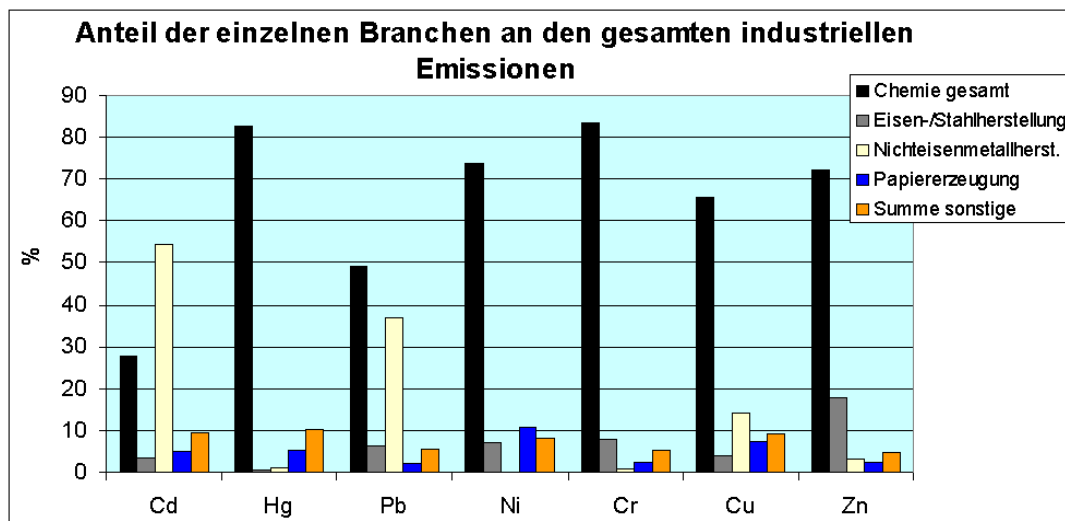


Abbildung 19: Aufteilung der industriellen Direkteinleitungen auf verschiedene Einzelbranchen (nach Böhm et al., 2001)

Unter anderem im Zusammenhang mit den Anforderungen auf europäischer Ebene wird derzeit an einer Überarbeitung der rechtlichen Grundlagen zur Abwasserbehandlung in Deutschland gearbeitet (UBA/BMU, 2004; Veltwisch, 2005; Hahn, 2004). Im Einzelnen werden folgende Gründe genannt:

- Berücksichtigung der Anforderungen der Wasserrahmenrichtlinie (prioritäre Stoffe),
- Integration der sich aus der IVU-Richtlinie ergebenden Anforderung zur medienübergreifenden Betrachtung,
- notwendige Anpassung der in den Anhängen zur Abwasserverordnung festgelegten Anforderungen an den Stand der Technik, der u. a. in den BVT-Papieren beschrieben ist (seit 1990 wurden die Anforderungen nach § 7a WHG nicht systematisch fortgeschrieben),
- Umsetzung der in 2002 neu formulierten Anforderungen zur Bestimmung des Standes der Technik (Anhang 2 zu §7a WHG), nach denen u. a. die Aspekte Stoffrückgewinnung sowie Rohstoffverbrauch besonders zu berücksichtigen sind, so dass dadurch der Aspekt einer möglichst effizienten Nutzung von Wasser gestärkt wird.

Diese notwendigen Veränderungen laufen auf eine konzeptionelle und inhaltliche Überarbeitung und Aktualisierung der Anforderungen im Bereich der industriellen Wassernutzung hinaus, in deren Rahmen die oben beschriebenen, neuen technischen

Entwicklungen (vgl. Kap. 2.9.3) Berücksichtigung finden werden. Während in der Vergangenheit ganz überwiegend die Emissions- und Stoffproblematik im Vordergrund der Anforderungen stand, ist abzusehen, dass zukünftig Anforderungen zum effizienten Einsatz von Wasser und zur Schließung von Wasserkreisläufen eine wichtigere Rolle spielen werden.⁵

5.3 Ökonomische Randbedingungen

Hinsichtlich der ökonomischen Randbedingungen sind zum einen die Kosten möglicher Maßnahmen zur Verbesserung der Wassereffizienz zu berücksichtigen, zum anderen die Veränderungen bei den Einsparpotenzialen. Nach den Ergebnissen in Kapitel 4 spielt als wesentliche neue Technik die Membrantechnik eine zentrale Rolle bzgl. einer weiteren Erhöhung der Wassereffizienz. Durch die verstärkte Anwendung dieser Technik u. a. im industriellen und kommunalen Abwasserbereich kam es hier in den letzten Jahren zu einem deutlichen Rückgang der spezifischen Kosten. In Abbildung 20 sind beispielhaft die Preisentwicklungen von Membranmodulen verschiedener Hersteller aufgetragen, die einen deutlich Rückgang der Preise um bis zu 80 % zeigen.

Die in der aktuellen Literatur dargestellten Kosten der Membrantechnik – bezogen auf die behandelte Abwasser- bzw. gewonnene Brauchwassermenge – schwanken stark je nach Industriebranche und gestellten Qualitätsanforderungen. Genannt werden bspw. als Gesamtkosten 0,46 €/m³ in der Papierindustrie (Gehler/ Wienands, 2006), 1,25 €/m³ (Cerialienindustrie) oder 2,59 €/m³ (Fruchtsaftindustrie; Rosenwinkel/Brinkmeyer, 2004) bzw. unter schwierigeren Bedingungen bei 5,10 €/m³ (Anteil für MBR bei einer Altölaufbereitung; Gehler/Wienands, 2006). Angaben zu reinen Betriebskosten (ohne Kapitalkosten) liegen bei 0,40 €/m³ (Wäscherei; Pinnekamp et al., 2006), 0,50 €/m³ (Chemieindustrie; DWA, 2005a), 0,75 €/m³ (Lebensmittelindustrie; DWA, 2005b), 0,90 €/m³ (Molkerei) oder 1,40 €/m³ (Mälzerei; DWA, 2005a). Teilweise werden auch Angaben zur Amortisationsdauer gemacht, die bei <2 bis 4 Jahren liegen (Rosenwinkel/Brinkmeyer, 2004; Pinnekamp et al., 2006).

5 Aus Überwachungssicht bietet die vollständige Schließung der Wasserkreisläufe und der damit verbundene abwasserfreie Betrieb den besonderen Vorteil, dass damit auch der Kontrollaufwand erheblich reduziert wird insbesondere vor dem Hintergrund der großen und zukünftig weiter wachsenden Zahl an relevanten Einzelstoffen im Abwasser.

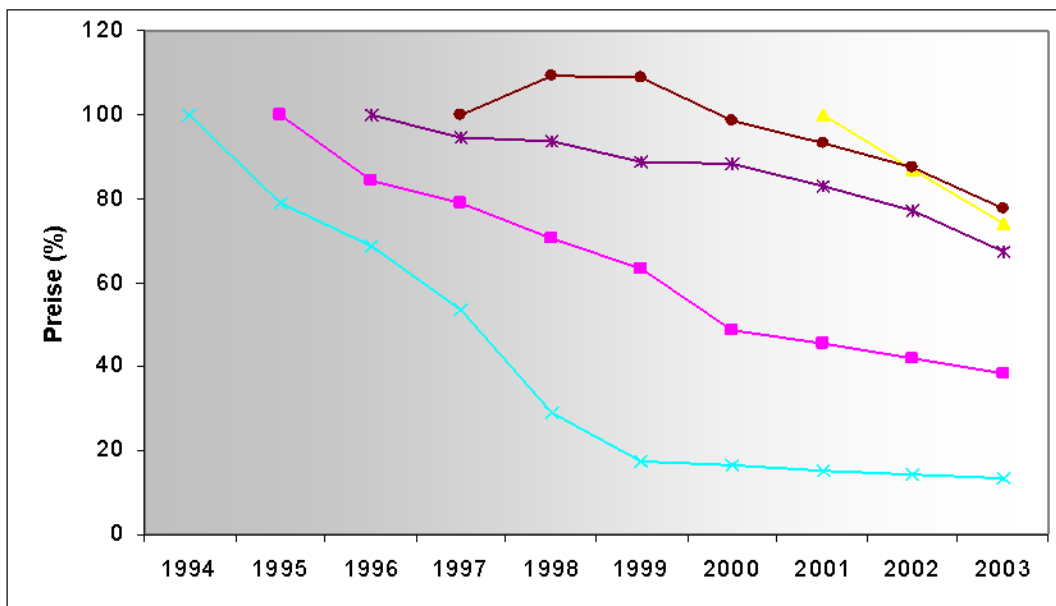


Abbildung 20: Preisentwicklungen von Membranmodulen (Mikrofiltration/ Ultrafiltration) einiger beispielhaft ausgewählter Hersteller (Hillenbrand/Hiessl, 2007)

Den Kosten für die einzusetzenden Techniken stehen Einsparpotenziale gegenüber, die sich ergeben können aus den reduzierten Wasserbezugs- und -aufbereitungskosten, den verringerten Kosten bei der Abwasserableitung und -behandlung sowie ggf. aus zurückgewonnenen bzw. im Kreislauf geführten Wasserinhaltsstoffen oder Wärmemengen. Besonders hohe Einsparpotenziale ergeben sich für Betriebe, die durch entsprechende Maßnahmen den Bezug aus dem öffentlichen Wasserversorgungsnetz oder/und die in das öffentliche Kanalnetz eingeleitete Abwassermenge verringern können. Die damit verbundenen spezifischen Kosten der Wasserversorgung bzw. Abwasserentsorgung liegen im Allgemeinen über den Kosten bei einer Eigenwasserversorgung bzw. einer eigenen Abwasserbehandlung, da in diesen Fällen die Kosten für Bau und Betrieb der Leitungsnetze entfallen. Die Preisentwicklung bei der öffentlichen Wasserver- und Abwasserentsorgung seit 1993 ist in Abbildung 21 dargestellt und zeigt hohe Preissteigerungen bis 1997, danach Preissteigerungen unter 2 % und seit 2003 wieder etwas höhere Werte. Die künftige Entwicklung der Preise ist von verschiedenen Faktoren abhängig wie z. B.

- Auswirkungen des zu erwartenden Rückgangs des öffentlichen Wasserverbrauchs aufgrund des demographischen Wandels. Die lokal sich sehr unterschiedlich entwickelnde, insgesamt aber deutlich zurückgehende Bevölkerungszahl in Deutschland bedeutet, dass die mit dem Wasserinfrastruktursystem verbundenen fixen

Kosten auf eine geringer werdende Nutzerzahl verteilt werden muss. Aufgrund des hohen Fixkostenanteils bei der öffentlichen Wasserver- und -entsorgung von ca. 80 % sind steigende spezifische Wasserpreise zu erwarten.

- Umsetzung der Modernisierungsstrategie zur Verbesserung der Effizienz und der Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wasserwirtschaft.
- Umgang mit dem hohen Sanierungsbedarf vor allem im Bereich der öffentlichen Netze.
- Umsetzung der Anforderung der WRRL nach Berücksichtigung der Umwelt- und Ressourcenkosten, wodurch sich zumindest mittelfristig die Wasserbezugskosten erhöhen könnten.

Aufgrund dieser zum Teil gegenläufig wirkenden Faktoren ist es sehr schwierig vorherzusehen, wie sich die Preise zukünftig entwickeln werden. Insbesondere aufgrund der regional bzw. lokal sehr unterschiedlichen Auswirkungen des demographischen Wandels wird auch die Entwicklung der spezifischen Preise für Wasser und Abwasser je nach Region sehr unterschiedlich ausfallen.

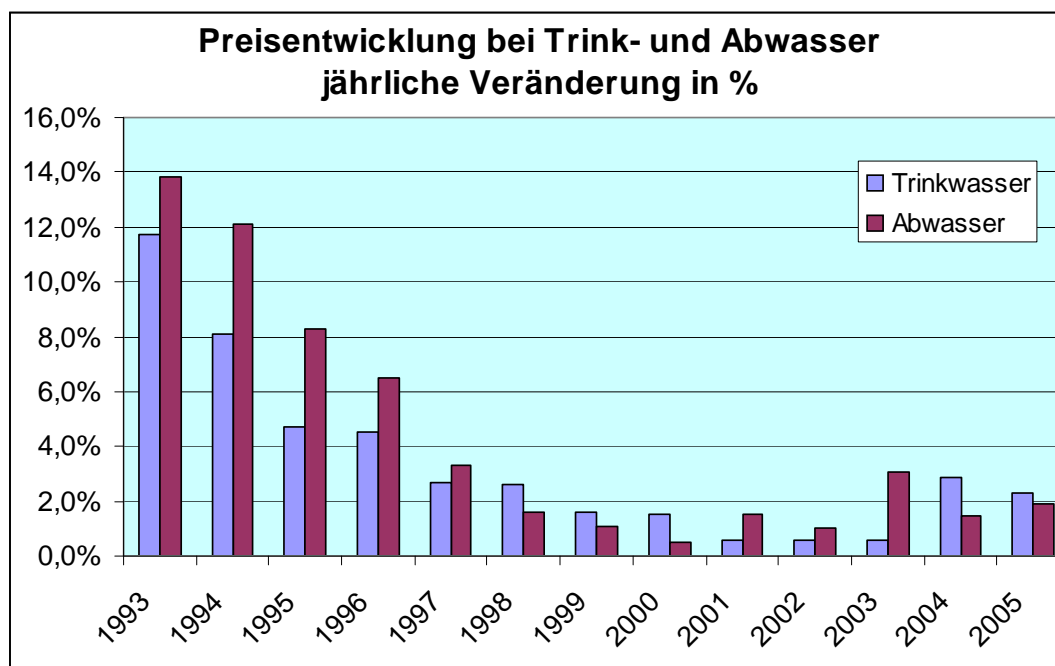


Abbildung 21: Preissteigerungsraten für Trinkwasser (Deutschland) und Abwasser (Baden-Württemberg) zwischen 1993 und 2005 (nach: BGW, 2006; Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, 2006)

Wie beschrieben ist die Preisentwicklung bei der öffentlichen Wasserinfrastruktur besonders relevant für

- Betriebe mit hohem Fremdbezug aus dem öffentlichen Netz sowie
- indirekteinleitende Betriebe.

In Tabelle 4 sind die Daten zum Anteil des aus dem öffentlichen Netz bezogenen Wassers sowie des indirekt eingeleiteten Abwassers am eingesetzten Frischwasser aufgeführt. Danach sind diese Anteile bei der Ernährungs- sowie bei der Textilindustrie besonders hoch, gefolgt von der Mineralöl- sowie der Steine- und Erden verarbeitenden Industrie.

Tabelle 4: Anteil des aus dem öffentlichen Netz bezogenen Fremdwassers sowie des indirekt eingeleiteten Abwassers am eingesetzten Frischwasser für einzelne Industriebranchen in 2004 (nach: Statistisches Bundesamt, 2006b)

Wirtschaftsgliederung	eingesetztes Frischwasser	Fremdbezug aus dem öffentlichen Netz	Anteil Fremdbezug an eingesetztem Frischwasser	Indirekt-einleitung	Anteil Indirekteinleitung an Frischwasser
	1000 m ³	1000 m ³		1000 m ³	
DA – Ernährungs-gewerbe	417.215	120.259	28,8 %	141.872	34,0 %
DB - Textil- u. Beklei-dungsgewerbe	35.719	5.308	14,9 %	26.399	73,9 %
DE - Papier	542.692	11.219	2,1 %	53.484	9,9 %
DF Mineralöl	203.173	25.895	12,7 %	23.617	11,6 %
DG - Chemie	3.114.184	72.587	2,3 %	376.760	12,1 %
DI - Steine, Erden, Verarbeitung	93.557	12.568	13,4 %	8.964	9,6 %
DJ - Metallerzeugung/-bearbeitung	747.819	35.140	4,7 %	55.360	7,4 %

5.4 Informations- und Erfahrungsdefizite / organisatorische Randbedingungen

Ein wesentlicher Aspekt bei der Umsetzung innovativer Techniken ist die Beseitigung von Informationsdefiziten bei möglichen Anwendern bzw. sonstigen relevanten Akteuren wie sie für die Umsetzung von Umwelttechniken bspw. die Umweltbehörden darstellen. Die Untersuchungen zu den technischen Entwicklungslinien haben gezeigt, dass für eine weitergehende Verbesserung der Wassereffizienz bzw. für eine (weitge-

hende) Schließung von Wasserkreisläufen detaillierte Kenntnisse nicht nur über die Produktionsprozesse sondern auch über die Möglichkeiten innovativer Wasseraufbereitungstechniken, deren Kosten und Wechselwirkungen mit den Produktionsbedingungen und erforderliche Randbedingungen notwendig sind. Wenn Wasser-/Abwasserkosten keinen erheblichen Anteil an den Produktionskosten haben, gilt das Hauptaugenmerk der Aktivitäten eines Betriebes eher anderen Aspekten wie der Produktqualität, der Verfügbarkeit ausreichender Produktionskapazitäten, Lieferterminen, Personalfragen, der Entwicklung neuer Produkte etc. Dies gilt auch für andere Bereiche des Umweltschutzes oder die Energieeffizienz.

Teilweise ergeben sich komplexe Zusammenhänge zwischen Produktions- und Aufbereitungsprozessen, die vorab umfassende Untersuchungen und während des Betriebs eine genaue Regelung und Überwachung erforderlich machen. Von verschiedenen Industriebetrieben wurde deshalb das Wassermanagement an externe Dienstleister vergeben, wobei dort ggf. dann die entsprechenden Prozesskenntnisse erforderlich sind oder in Kooperation mit dem Betrieb geklärt werden müssen. Entsprechende Beispiele werden u. a. für die Chemie-, Papier-, Nahrungsmittel- und Textilindustrie beschrieben (Meyer, 2006; Lodde/Bohling, 2006; Simon et al., 2006; Lebek et al., 2005; Wenger-Oehn et al., 2005; N.N., 2005a). Ein solches Auslagern erfordert allerdings erhebliche organisatorische und juristische Abstimmungen zwischen den Beteiligten. Nachdem zwischenzeitlich Positivbeispiele für verschiedene Branchen vorliegen, ist zukünftig mit einer weiteren Ausweitung dieser Vorgehensweise zu rechnen. Nach einer Umfrage von Frost&Sullivan ist davon auszugehen, dass europäische Industriebetriebe ihre Wasseraufbereitung und Abwasserbehandlung zunehmend auslagern werden (N.N., 2005b).

Zur besseren Information der Behörden, die im Rahmen der Genehmigungsverfahren wesentlichen Einfluss auf die Ausgestaltung des Wassermanagements von Industriebetrieben besitzen, sollen die oben bereits beschriebenen BVT-Papiere dienen. Nachdem zwischenzeitlich für alle Branchen entsprechende Papiere erarbeitet wurden, ist für die Zukunft eine kontinuierliche Überarbeitung vorgesehen, so dass jeweils aktuelle Informationen zum Stand der Technik in den einzelnen Branchen vorliegen werden.

5.5 Schlussfolgerungen aus der Umfeldanalyse für die künftige Entwicklung des Wassereinsatzes in der verarbeitenden Industrie

Voraussetzung dafür, dass aufgrund der technischen Entwicklung der Wassereinsatz in der Verarbeitenden Industrie auch künftig weiter zurückgeht, ist dass auch von den gegebenen Randbedingungen dieser Techniken die nötigen Impulse ausgehen. Eine

Grundvoraussetzung, die an erster Stelle zu nennen ist, besteht darin, dass den Kosten zur Verbesserung der Wassereffizienz entsprechende Einsparungen gegenüberstehen, z. B. bei Kosten für den Wasserbezug oder die Abwasserbehandlung und –einleitung oder durch die Rückgewinnung von Wertstoffen. Obwohl die Preisentwicklung bei der öffentlichen Wasserver- und Abwasserentsorgung unsicher ist, ist davon auszugehen, dass durch entsprechende Kostenvorteile auch künftig ähnliche Anreize ausgehen werden wie im zurückliegenden Betrachtungszeitraum. Als Beispiele wären zu nennen Kostenreduzierungen bei der Membrantechnik und bei der Messtechnik. Auch von den in Kapitel 5.2 erläuterten rechtlichen Randbedingungen dürften weiterhin Impulse für eine Erhöhung der Wassereffizienz ausgehen.

Die zunehmende Auslagerung des Wassermanagements an externe Dienstleister und die Fortentwicklung der BVT-Papiere sollten dazu beitragen, Informations- und Erfahrungsdefizite in den Betrieben auszugleichen und somit zumindest erprobten Techniken zur Verringerung des Wassereinsatzes zu einer breiteren Anwendung verhelfen. Eine Fortschreibung der Abnahme der Wassereffizienzfaktoren erscheint auch unter diesem Aspekt gerechtfertigt.

6 Abschätzung der Entwicklung des spezifischen industriellen Wassereinsatzes bis 2020

Der industrielle Wassereinsatz ist in Deutschland im Zeitraum von 1991 bis 2004 um 28 % zurückgegangen. Der Rückgang der absoluten Mengen ist allerdings in den letzten Jahren deutlich geringer ausgefallen als noch Anfang der 90er Jahre. Um diese Entwicklung genauer analysieren zu können, ist es notwendig, die wichtigsten Branchen zu identifizieren und diese genauer zu untersuchen. Nach den aktuellen Zahlen werden von den Branchen Chemische Industrie, Metallerzeugung/-bearbeitung, Papier- und Ernährungsindustrie sowie Mineralölverarbeitung 91 % des benötigten Wassers eingesetzt.⁶

Für diese Branchen wurden Wasserintensitätsfaktoren berechnet, die den spezifischen Wassereinsatz auf die wirtschaftliche Aktivität der Branche beziehen. Als Bezugsgröße wurde in der Regel die Bruttowertschöpfung herangezogen, für die Papierbranche die produzierte Papiermenge, für den Bereich der Mineralölverarbeitung die verarbeitete Rohölmenge, da in diesen beiden Branchen die Produkt- bzw. die Eduktpalette im Gegensatz zu den anderen Branchen klein und einheitlich ist. Die Veränderungen des Wasserintensitätsfaktors einer Branche geben damit unabhängig von der wirtschaftlichen Entwicklung dieser Branche die Entwicklung der Wassereffizienz wieder, die durch die technische Entwicklung als auch durch strukturelle Entwicklungen beeinflusst wird.

Die Ergebnisse zeigen eine sehr konstante Entwicklung in den einzelnen Branchen: Der Rückgang des spezifischen Wasserintensitätsfaktors lag danach zwischen 2,1 % (Ernährungsgewerbe) und 4,1 % (Papierindustrie) pro Jahr. Nur bei der Metallerzeugung und -bearbeitung ist – bezogen auf den Intensitätsfaktor - in den letzten Jahren ein deutlich geringerer Rückgang festzustellen als am Anfang des Untersuchungszeitraums. Die Ergebnisse zeigen die Eignung des Ansatzes der Ableitung spezifischer Intensitätsfaktoren im Bereich der industriellen Wassernutzung, die technikbezogene Entwicklung unabhängig von der wirtschaftlichen Entwicklung einer Branche zu erfassen. Dieser Faktor kann damit auch als Grundlage für Abschätzungen der zukünftigen Entwicklung genutzt werden.

Ausgehend von der Analyse der Vergangenheitsentwicklung wurden unterschiedliche Ansatzpunkte gewählt, um Aussagen über die zu erwartende zukünftige Entwicklung

⁶ Die Bereiche Wärmekraftwerke für die öffentliche Versorgung sowie Bergbau und Gewinnung von Steine und Erden werden dabei ausgeklammert, da diese Sektoren im Rahmen des GLOWA-Elbe-Projekts separat bearbeitet werden.

treffen zu können. Zur Erfassung der aktuellen technischen Entwicklungslinien im Bereich der industriellen Wassernutzung wurden die im Rahmen der europäischen IVU-Richtlinie erarbeiteten BVT-Blätter (Best Verfügbare Techniken) sowie entsprechende Fachliteratur ausgewertet. Die Auswertungen zeigen, dass in den verschiedenen Industriebranchen zahlreiche technische Ansätze zur weitergehenden Abwasseraufbereitung, zur Reduktion des Wasserverbrauchs und zur Schließung von Wasserkreisläufen in den letzten Jahren entwickelt und großtechnisch umgesetzt wurden. Ein wesentlicher Schwerpunkt der Entwicklungen lag in fast allen Branchen beim Einsatz von Membranverfahren, die sowohl zur reinen Abwasserbehandlung als auch zur (Ab-)Wasseraufbereitung mit dem Ziel der Bereitstellung von Brauchwasser verstärkt eingesetzt werden. Zur Abwasserbehandlung werden auch verstärkt AOP-Verfahren (Advanced Oxidation Process) entwickelt, die es erlauben, auch schwer abbaubare Schadstoffe im Abwasser zu eliminieren.

Teilweise ergeben sich enge Kopplungen zwischen einzelnen Prozess- und Wasseraufbereitungsschritten, da die Errichtung und Schließung von Wasserkreisläufen sehr häufig voraussetzt, dass die im Kreislauf gefahrenen Wasserströme aufbereitet werden (z. B. Papierindustrie). Die Wasserströme werden durch die Errichtung von Wasserkreisläufen wesentlich komplexer. Die Integration entsprechender Maßnahmen in bestehende Anlagen und Standorte kann deshalb mit weitergehenden Veränderungen im Produktionsprozess verbunden sein und wird dann im Allgemeinen erst im Rahmen größerer Reinvestitionsmaßnahmen vorgenommen. Dabei spielt eine wichtige Rolle, dass ggf. durch einen "letzten Schritt" hin zu einem abwasserfreien Betrieb zusätzliche Kosteneinsparungen realisiert werden können, die die Wirtschaftlichkeitsberechnungen für entsprechende Maßnahmen deutlich beeinflussen können.

Ergänzende Patentrecherchen bestätigen, dass im Bereich der Wasser- und Abwasserbehandlung die Forschungsaktivitäten seit Mitte der 90er Jahre nochmals deutlich zugenommen haben. Die Arbeiten im Bereich der Membrantechnik zur Ab-/Wasserbehandlung konzentrieren sich in den letzten Jahren auf Weiterentwicklungen der Umkehrosmose-, Ultra- und Mikrofiltrationsverfahren.

Zusätzlich wurden die von EMAS-zertifizierten Unternehmen mit ihren in Umwelterklärungen aufgeführten, wasserbezogenen Maßnahmen erfasst. Hier zeigt sich, dass über alle betrachteten Branchen hinweg ein hoher Teil der Unternehmen in den letzten Jahren prozessintegrierte oder ergänzende Maßnahmen zur Verbesserung der Wassereffizienz sowie zur Emissionsminderung durchgeführt hat und ein ähnlich hoher Anteil auch in der Zukunft Maßnahmen erwartet.

Bei der Umsetzung neuer Techniken zur Verbesserung der Wassereffizienz und Emissionsminderung spielen traditionell in Deutschland die rechtlichen Rahmenbedingungen eine sehr wichtige Rolle. Auf nationaler Ebene steht hier die Neukonzeption und Überarbeitung der branchenspezifischen Anhänge der Abwasserverordnung nach §7a WHG an. In diesem Rahmen sollen u. a. die sich aufgrund neuerer Entwicklungen auf europäischer Ebene ergebenden Anforderungen integriert werden. Dies betrifft sowohl die branchenspezifischen Beschreibungen der bestverfügbaren Techniken über die BVT-Blätter als auch die medienübergreifende Aspekte der IVU- Richtlinie sowie die Anforderungen aus der Wasserrahmenrichtlinie zur Erreichung des guten chemischen Zustands mit besonderem Schwerpunkt auf den prioritären Schadstoffen.

Neben den rechtlichen Aspekten wurden im Rahmen der Umfeldanalyse auch ökonomische Randbedingungen untersucht: Zum einen hinsichtlich der zu erwartenden Kostenentwicklung bei Membranverfahren, für die sich aufgrund von Lerneffekten bereits in den letzten Jahren ein deutlicher Rückgang der Kosten gezeigt hat und zukünftig auch weiterhin erwartet wird. Zum anderen spielt für Unternehmen, die auf die öffentliche Wasserinfrastruktur angewiesen sind (Wasserbezug aus dem öffentlichen Netz, Abwasserentsorgung als Indirekteinleiter), die zu erwartende Kostenentwicklung für die Nutzung dieser Infrastruktur eine wesentliche Rolle. Bei stark ansteigenden spezifischen Kosten, wie sie bspw. Anfang der 90er Jahre sowohl bei Wasser als auch Abwasser auftraten, könnte sich der Handlungsdruck zur Erhöhung der Wassereffizienz deutlich erhöhen. Eine Branche, die davon besonders stark betroffen wäre, ist die Ernährungsindustrie.

Zusätzlicher Punkt der Umfeldanalyse war der Aspekt der Informationsdefizite als Hemmnis bei der Diffusion neuer Techniken. Zwei Entwicklungen spielen hier zukünftig eine wichtige Rolle:

- durch die BVT-Papiere sind die wesentlichen Informationen über die Entwicklung des Stands der Technik aktuell und direkt sowohl für Firmen als auch Behörden verfügbar (die Überarbeitung der ersten Papiere wurde zwischenzeitlich bereits begonnen) und
- insbesondere bei komplexen Aufgabenstellungen hinsichtlich Betrieb und/oder Optimierung der Wasserinfrastruktur von Unternehmen werden teilweise externe Dienstleister eingeschaltet, die ihr Augenmerk vor allem auf diesen Aspekt konzentrieren und zusätzliche Erfahrungen aus anderen Betrieben oder Branchen mit einbeziehen können.

Es ist somit zu erwarten, dass es zukünftig zu einer größeren Transparenz hinsichtlich der Weiterentwicklung des Stands der Technik im Bereich der industriellen Wassernutzung kommt und bestehende Informationsdefizite abgebaut werden.

Die wichtigsten Ergebnisse der Untersuchungen sind in Tabelle 5 branchenspezifisch zusammengefasst. In der letzten Spalte sind dabei die Einzelaspekte hinsichtlich der zu erwartenden Spannbreite der künftigen Entwicklung des spezifischen Wasserintensitätsfaktors ausgewertet.

Tabelle 5: Zusammenfassung der Ergebnisse hinsichtlich des spez. Wasserintensitätsfaktors verschiedener Industriebranchen

	Entwicklung des Wasserintensitätsfaktors 1991 bis 2004	Aktivitäten zur effizienten Wassernutzung	rechtlicher Rahmen	Einfluss Kosten der öffentlichen Wasserinfrastruktur	erwartete Entwicklung bis 2020
Chemische Industrie	gleichmäßiger Rückgang seit 1991; Veränderung im letzten Erfassungszeitraum (2001 bis 2004): - 3,4 % pro Jahr	hohe Aktivitäten bei prozessintegrierten Maßnahmen; Membrantechnik spielt wichtige Rolle	prioritäre Stoffe; Überarbeitung AbwV	<i>gering</i> : Anteil öff. Netz: 2,3 % Anteil ind. Abwasser: 12,1 %	Rückgang um 30 bis 40 %
Metallerzeugung/-verarbeitung	sehr starker Rückgang bis 2001; danach nur noch geringer Rückgang; für gesamten Zeitraum (1991 bis 2004) Rückgang um 3,6 % pro Jahr	hohe Aktivitäten bei Maßnahmen zur Verbesserung der Wassereffizienz	prioritäre Stoffe; Überarbeitung AbwV	<i>gering</i> : Anteil öff. Netz: 4,7 % Anteil ind. Abwasser: 7,4 %	Rückgang um 20 bis 30 %
Papierindustrie	bezogen auf produzierte Papiermenge gleichmäßiger Rückgang seit 1991; Veränderung im letzten Erfassungszeitraum (2001 bis 2004): - 4,1 % pro Jahr	starke Forschungsaktivitäten; hohe Aktivitäten bei prozessintegrierten Maßnahmen; Membrantechnik spielt wichtige Rolle; teilweise Umstellung auf abwasserfreie Betriebsweise	Überarbeitung AbwV	<i>gering</i> : Anteil öff. Netz: 2,1 % Anteil ind. Abwasser: 9,9 %	Rückgang um 40 bis 50 %
Ernährungsindustrie	gleichmäßiger Rückgang; Veränderung im letzten Erfassungszeitraum (2001 bis 2004): - 2,1 % pro Jahr	starke Forschungsaktivitäten; hohe Aktivitäten bei prozessintegrierten Maßnahmen; Membrantechnik spielt wichtige Rolle	Überarbeitung AbwV	<i>hoch</i> : Anteil öff. Netz: 28,8 % Anteil ind. Abwasser: 34,0 %	Rückgang um 20 bis 30 %
Mineralölverarbeitung	Bezugsgröße: Rohölmenge; gleichmäßiger Rückgang seit 1991; Veränderung im letzten Erfassungszeitraum (2001 bis 2004): -3,7 % pro Jahr	weitgehende Schließung der Kühlkreisläufe; Membrantechnik hat bislang nur geringe Bedeutung	Überarbeitung AbwV	<i>mittel</i> : Anteil öff. Netz: 12,7 % Anteil ind. Abwasser: 11,6 %	Rückgang um 20 bis 30 %
Textilindustrie	starke Veränderungen in der Branche: Rückgang der Wertschöpfung um 52 %; Rückgang der Zahl der Betriebe seit 1995 um 43 %; bis 1998 Anstieg, danach starker Rückgang des Wasserintensitätsfaktors; Veränderung im letzten Erfassungszeitraum (2001 bis 2004): - 6,1 % pro Jahr	starke Forschungsaktivitäten; Membrantechnik spielt wichtige Rolle	Überarbeitung AbwV	<i>hoch</i> : Anteil öff. Netz: 14,9 % Anteil ind. Abwasser: 73,9 %	Rückgang um 30 bis 40 %

Referenzen

- Althöfer P, Feuersänger G (2005): Wasserkreislauf in der Papierindustrie - Thermophile anaerobe Prozesswasserreinigung. WWT Special 9/2005, S. 25 – 30.
- ATV-DVWK (2004): Abwässer aus der Nichteisen-Metallerzeugung. Merkblatt 711, Hennef.
- BGW (Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft) (2006): Preisentwicklung beim Trinkwasser .
http://www.bgw.de/pdf/0.1_resource_2005_4_13_7.pdf.
- Böhm E, Hillenbrand T, Marscheider-Weidemann F, Schempp C, Fuchs S, Scherer U (2001): Bilanzierung des Eintrags prioritärer Schwermetalle in Gewässer. UBA-Texte 29/01, Umweltbundesamt Berlin, 2001.
- Böhm E, Hillenbrand T (2005): Quantitative und qualitative Aspekte industrieller und gewerblicher Wassernutzung in Deutschland. In: Wasserpolitik- Ökonomische Analyse einer knappen Ressource, Sonderausgabe der Zeitschrift für angewandte Umweltforschung (ZAU), Analytica-Verlag Berlin, S. 511 – 527.
- Brüß U, Richter S (2003): Membranbelebungsanlage zur Reinigung von Textilabwasser aus der Entschlichtung. 5. GVC-Abwasser-Kongress (2003), S. 471 – 480.
- DECHEMA (2004): Wasserressourcen für die Industrie – Entwicklungen zur wirtschaftlicheren Nutzung. 12.02.2004, DECHEMA, Frankfurt.
- Döpfens E, Krull R, Hempel DC, Metzen P, Diering B (2003): Schließung von Stoffkreisläufen durch Abwasserrecycling in der Textilveredelungsindustrie. 5. GVC-Abwasser-Kongress (2003), S. 179 – 188.
- DWA (2005a): Aufbereitung von Industrieabwasser und Prozesswasser mit Membranverfahren und Membranbelebungsverfahren. Teil 3: Membranverfahren. DWA-Arbeitsbericht, Juli 2005.
- DWA (2005b): Aufbereitung von Industrieabwasser und Prozesswasser mit Membranverfahren und Membranbelebungsverfahren. Teil 4: aerobe Membranbelebungsverfahren. DWA-Arbeitsbericht, September 2005.
- Eichhammer W, Schlomann B, Kling N (2006): Energy Efficiency Policies and Measures in Germany; Fraunhofer ISI, Karlsruhe; http://www.odyssee-indicators.org/Publication/PDF/nr_germany_2006.pdf.

- Ernhofer R, Karl G, Wentzlau F, Koppe J, Lausch H (2005): Erstmalige Anwendung des MOL[®]CLEAN-Verfahrens in einem Kühlkreislauf einer Erdölraffinerie. ERDÖL ERDGAS KOHL 121. Jg. 2005, Heft 10, S. 336 – 339.
- Forstmeier M, Wozny G, Buss K, Tölle J (2003): Produktionsintegrierter Einsatz der katalytischen Elektrolyse zur Reduzierung des Wasserbedarfs in der Prozessindustrie. 5. GVC-Abwasser-Kongress (2003), S. 375 – 383.
- Frost & Sullivan (2005): Industrial Water Recycling and Reuse Equipment: Markets in Europe and Middle East. B611-15, Frost & Sullivan Ltd., London, Oktober 2005.
- Gehlers G, Wienands H (2005): Einsatz von Membranverfahren in der industriellen Wasseraufbereitung – Wasserrecycling in der Papierindustrie und der Altölaufbereitung. Wasser und Abfall (11), S. 10 – 13.
- Gehlers G, Wienands H (2006): Wasserrecycling lohnt sich. UmweltMagazin Mai 2006, S. 44 – 46.
- Grupp H (1997): Messung und Erklärung des Technischen Wandels - Grundzüge einer empirischen Innovationsökonomik, Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
5. GVC-Abwasser-Kongress (2003): Prozessintegrierte und additive Verfahren der Abwasser- und Schlammbehandlung. Preprints. VDI, Düsseldorf.
- Hahn J (2004): Neukonzeption der Abwasserverordnung gemäß § 7a WHG - Indikatoren für einen notwendigen Wandel. WLB "Wasser, Luft und Boden", Band 48, 5/2004, S. 14 – 20.
- Hamm U (2004): Medienübergreifende Aspekte am Beispiel der Zellstoff- und Papierindustrie. UBA/BMU (2004), S. 78 – 85.
- Hasler J (2003): Abwasserfreie, energie- und stoffverlustminimierte Prozesstechnik am Beispiel der Oberflächentechnik von FSB, Brakel. 5. GVC-Abwasser-Kongress (2003), S. 405f.
- Hellwich H, Kaps J (2007): Kreislaufwasseraufbereitung mit Entkarbonisierung. Papierfabrik mit neuem Abwasserkonzept. wwt wasserwirtschaft wassertechnik, Nr. 9, S. 36 – 37.
- Hillenbrand T, Hiessl H (2006): Sich ändernde Planungsgrundlagen für Wasserinfrastruktursysteme. Teil 1: Klimawandel, demographischer Wandel, neue ökologische Anforderungen. KA - Abwasser, Abfall (53), Nr. 12, S. 1265 – 1271.

-
- Hillenbrand T, Hiessl H (2007): Sich ändernde Planungsgrundlagen für Wasserinfrastruktursysteme. Teil 2: Technologischer Fortschritt und sonstige Veränderungen. KA - Abwasser, Abfall (54), Nr. 1, S. 47 – 53
- Hillenbrand T, Marscheider-Weidemann F, Strauch M, Heitmann K, Schaffrin D (2007): Emissionsminderung für prioritäre und prioritäre gefährliche Stoffe der Wasser-rahmenrichtlinie. UBA-Forschungsbericht, Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung, Karlsruhe.
- Hinze S, Schmoch U (2004): Opening the Black Box. Analytical approaches and their impact on the outcome of statistical patent analyses - Handbook of Qualitative Science and Technology Research. The Use of Publication and Patent Statistics in Studies of S&T Systems, Moed, H.F.; Glänzel, W.; Schmoch, U. (Hrsg.), Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, S. 215 – 235.
- Jung H, Demel I, Götz B (2006): Wasser- und Abwassersituation in der deutschen Papierindustrie – Ergebnisse der Wasserumfrage 2004. Wochenblatt für Papierfabrikation, H. 9.
- Kaliske J (2005): Die Anwendung der IVU-Richtlinie in Deutschland. Wasser und Abfall (10), S. 18 – 20.
- Kappen J (2004): Optimierte Wasserkreisläufe – Ein Schlüsselfaktor der Papiererzeugung . In: Wasserkreisläufe der Papiererzeugung – Verfahrenstechnik und Mikrobiologie, PTS-Manuskript 417. PTS, München.
- Kotz C, Hillenbrand T, Sartorius C (2005): Technische Entwicklung und Diffusionsfaktoren in den Anwendungsfeldern Kleinkläranlagen und kommunale Membrankläranlagen. Ergebnisse einer Patentrecherche sowie einer Umfrage. Arbeitspapier. Fraunhofer ISI, Karlsruhe.
- Köppke K-E (2004): Medienübergreifende Aspekte am Beispiel der Chemischen Industrie. In: UBA/BMU (2004): Workshop "Neue Anforderungen an Abwassereinleitungen unter Berücksichtigung integrierter medienübergreifender Aspekte". 28./29. September 2004, Berichtsband, S. 69 – 77.
- Lebek M, Simon G, Augstein L, Meierling L (2005): Wassermanagement für die galvanotechnische/chemische Industrie. KA, Nr. 9.
- Liers L (2006): Evaluation of VUV-Photolyse as an alternative advanced oxidation process (AOP) for water treatment. Achema 2006, 28th International Exhibition-Congress on Chemical Engineering, Environmental Protection and Biotechnology, Frankfurt am Main, 15 – 19 May 2006, S. 214.

- Linke M, Sarsour J (2005): Reinigung und Wiederverwendung textiler Abwasserteilströme: Kombination von anaerober/aerober Stufe und Membranfiltration. Wasser, Luft und Boden 6/2005, S. 24 – 27.
- Lipnizki F, Gennetier J (2006): Closing the loops in the pulp and paper industry with membrane technology. Achema 2006, 28th International Exhibition-Congress on Chemical Engineering, Environmental Protection and Biotechnology, Frankfurt am Main, 15 – 19 May 2006, S. 198.
- Lodde M, Bohling C (2006): Contracting im Wassermanagement. UmweltMagazin, Februar 2006, S. 20 – 21.
- Meyer U (2006): Wassermanagement als Dienstleistung - Outsourcing gewinnt an Bedeutung. WWT Special Industrie + Wasser 9/2006, S. 28 – 30.
- N.N. (2005a): Optimale Papierherstellung gesichert. WWT Special, 9/2005, S. 45 – 46.
- N.N. (2005b): Industrie lagert ihre Wasser- und Abwasserbehandlung zunehmend aus. Wa, Nr. 35, 11.10.2005.
- N.N. (2006): Einsatz der Membrantechnologie bei Abwässern der NE-Metallindustrie. Wa, Nr. 41, 10.10.2006.
- Paulitschek M, Rößler H-W (2003): Nanofiltration in Form mit Spiralwickelmodulen nach einer Belebung. 5. GVC-Abwasser-Kongress (2003), S. 447 – 462.
- Peeters JG, Theodoulou SL, Durieux F, Kroll S (2006): Membrane Technology Treating Refinery Wastewater for Reuse. Achema 2006, 28th International Exhibition-Congress on Chemical Engineering, Environmental Protection and Biotechnology, Frankfurt am Main, 15 – 19 May 2006, S. 199.
- Pinnekamp J, Friedrich H (Hrsg.; 2006): Membrantechnik für die Abwasserreinigung. 2. Auflage, FIW Verlag, Aachen. http://www.isa.rwth-aa-chen.de/index.php?option=com_content&task=blogcategory&id=202&Itemid=250
- Quentmeier V, Rübiger N (2003): Schließung von Wasserkreisläufen in der Kalksandsteinindustrie. 5. GVC-Abwasser-Kongress (2003), S. 345 – 356.
- Rappich O (2003): Neue Verfahrenstechniken zur Wasseraufbereitung und Recycling von Wertstoffen. 5. GVC-Abwasser-Kongress (2003), S. 385 – 390.

-
- Rosenwinkel K-H, Brinkmeyer J (2004): Wasserrecycling in der Lebensmittelindustrie. In: 73. Darmstädter Seminar "Wasserwiederverwendung - Eine ökologische und ökonomische Notwendigkeit wasserwirtschaftlicher Planung weltweit?", Schriftenreihe WAR, TU Darmstadt, Band 159, S. 75ff.
- Schipolowski T, Forstmeier M, Wozny G (2003): Erfahrungen aus Planung und Pilotbetrieb einer Membranfiltrationsanlage zur produktionsintegrierten Abwasserbehandlung. 5. GVC-Abwasser-Kongress (2003), S. 337 – 344.
- Schmid F, Dietz W, Demel I (2004): Wasserrecycling in der Papierproduktion. In: 73. Darmstädter Seminar "Wasserwiederverwendung - Eine ökologische und ökonomische Notwendigkeit wasserwirtschaftlicher Planung weltweit?", Schriftenreihe WAR, TU Darmstadt, Band 159, S. 95ff.
- Schmoch U (1990): Wettbewerbsvorsprung durch Patentinformation, Grupp, H. (Hrsg.), Schriftenreihe Zukunft der Technik, TÜV Rheinland, Köln.
- Schönberger H (2004): Medienübergreifende Aspekte am Beispiel der Textilindustrie. UBA/BMU (2004): Workshop "Neue Anforderungen an Abwassereinleitungen unter Berücksichtigung integrierter medienübergreifender Aspekte". 28./29. September 2004, Berichtsband, S. 86 – 94.
- Schönbucher B (2004): Lösungsstrategien für die industrielle Wasserkreislaufführung. DECHEMA (2004), S. 9 – 13.
- Sievers M, Bormann H (2003): Produktionsintegrierter Umweltschutz bei der Herstellung von Holzwerkstoffen mit Rückgewinnung von Holzinhaltstoffen, Prozesswasser und Wärme. 5. GVC-Abwasser-Kongress (2003), S. 329 – 336.
- Simon G, Lebek M, Meierling L, Ermel M (2006): Modernes Konzept zur Abwasser- und Reststoffbehandlung – Contracting-Projekt aus der Lebensmittelindustrie. WWT Special Industrie + Wasser 9/2006, S. 22 – 24.
- Simstich B, Öller HJ (2007): Membranprozesse in der Papierindustrie - Entwicklungspotenzial nutzen. wwt wasserwirtschaft wassertechnik, Nr.7/8, S. 25 – 28.
- Spänhoff M, Hagen K (2004): Wasserkreislaufführung am Beispiel eines Chemieunternehmens in NRW. DECHEMA (2004), S. 14 – 38.
- Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (2006): Trink- und Abwasserpreise 2006. Statistisches Monatsheft Baden-Württemberg 9/2006; http://www.statistik.baden-wuerttemberg.de/Veroeffentl/Monatshefte/PDF/Beitrag06_09_10.pdf.

- Statistisches Bundesamt (2006a): Umweltnutzung und Wirtschaft – Tabellen zu den Umweltökonomische Gesamtrechnungen 2006, Berichtszeitraum 1990/1991 – 2005, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2006.
- Statistisches Bundesamt (2006b): Fachserie 19, Reihe 2.2, Umwelt – Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung in der Industrie 2004.
- Thürer, M, Buser M (2006): Practical experiences of the full-scale application of membrane bioreactors for the treatment of chemical- and API-containing pharmaceutical waste waters. Achema 2006, 28th International Exhibition-Congress on Chemical Engineering, Environmental Protection and Biotechnology, Frankfurt am Main, 15 – 19 May 2006, S. 200.
- UBA/BMU (2004): Workshop "Neue Anforderungen an Abwassereinleitungen unter Berücksichtigung integrierter medienübergreifender Aspekte?". 28./29. September 2004, Berichtsband.
- Veltwitsch D (2005): Novellierung der Abwasserverordnung – Eine Herausforderung?. Wasser und Abfall (10), S. 10 – 13.
- Weinhold G, Kaps J, Risse H (2006): Obst- und Gemüseverarbeitung - "Spreewaldhof" mit moderner Klärtechnik. WWT Special Industrie + Wasser 9/2006, S. 25 – 27.
- Wenger-Ohn H, Salzmann S, Gaugg-Salzmann J (2005): Erfahrungen mit einer biologischen Reinigungsanlage für Abwasser aus der Getränkeindustrie. KA – Abwasser, Abfall 2005 (52) Nr. 11, S. 1252 – 1257.
- Wirsing F, Sörensen M (2004): Elimination von EDTA aus Industrieabwasser durch UV-Oxidation. WWT 11-12/2004, S. 54 – 55.
- Zimpel J (2004): Medienübergreifende Aspekte am Beispiel der Metall bearbeitenden und Metall verarbeitenden Industrie. UBA/BMU (2004), S. 52 – 68.