



Fraunhofer Institut
System- und
Innovationsforschung

Parameter der wasserrelevanten Technologieentwicklung im Haushaltssektor bis 2030

Arbeitspapier

**im Rahmen des BMBF-Verbundforschungsvorhabens
"Globaler Wandel des Wasserkreislaufs im Elbeein-
zugsgebiet" (GLOWA Elbe)**

Christian Sartorius

Thomas Hillenbrand

Christiane Klobasa

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

Breslauer Str. 48, 76139 Karlsruhe

www.isi.fraunhofer.de

April 2006

1. Auswahl der Technologien

Gegenstand der folgenden Darstellungen sind die technisch-ökonomischen Parameter der Technologieentwicklung soweit sie den Verbrauch von Trinkwasser und die Abgabe von Abwasser durch die Haushalte und die damit verbundenen Veränderungen der Wasserströme innerhalb des Elbeeinzugsgebietes bis zum Jahr 2030 betreffen. Betrachtet werden dabei einerseits Technologien wie z. B. Wasch- oder Spülmaschinen, die aufgrund ihrer Funktion (d.h. Wäschewaschen oder Geschirrspülen) selbst Wasser verbrauchen und bei denen der technische Fortschritt auf eine weitere Verringerung dieses Wasserverbrauchs hinwirken könnte. Andererseits werden Technologien wie die Regen- oder Grauwasseraufbereitung betrachtet, die bei gegebenem Wasserverbrauch die Inanspruchnahme des Frischwasserdangebotes dadurch senken, dass sie alternative Quellen nutzen oder das Wasser wiederholt verwenden.

Entsprechend der Tatsache, dass der überwiegende Teil des Wasserverbrauchs in Haushalten den Funktionen Toilettenspülung, Körperpflege, Wäschewaschen und Geschirrspülen zuzuordnen ist, werden folgende Technologien genauer untersucht:

- Wasser sparende Toilettenspülung und Urinale sowie Wasser sparende Armaturen für Waschtisch, Dusche und Küche im Bereich der Sanitärtechnik,
- Waschmaschinen und Geschirrspüler im Bereich der Haushaltstechnik sowie
- Aufbereitung und Nutzung von Regenwasser und Grauwasser als alternative Wasserquellen

2. Auswahl der abzuschätzenden Parameter

Da der Einfluss der technischen Entwicklung auf den Wasserverbrauch explizit Gegenstand dieser Analyse ist, gilt es, sowohl den gegenwärtigen Wasserverbrauch als auch seine mögliche Reduzierung darzustellen. Hinsichtlich des gegenwärtigen Wasserverbrauchs ist der Tatsache Rechnung zu tragen, dass der Stand der Technik nicht immer genau spezifiziert werden kann. Schon der Käufer einer neuen Waschmaschine beispielsweise sieht sich heute mit einer Vielzahl von Modellen konfrontiert, die sich in ihrem Wasserverbrauch stark unterscheiden. Weiter verschärft wird dieses Problem der technischen Heterogenität durch die Tatsache, dass die in den Haushalten im Betrieb befindlichen Maschinen hinsichtlich ihres Alters stark variieren und dass gerade im Elbeeinzugsgebiet (auf dem Gebiet der ehemaligen DDR und der Tschechischen Republik) zumindest in geringem Umfang auch noch Technologie aus Vor-Wendezeiten im Einsatz sein dürfte. Andererseits sind gerade in den Neuen Ländern nach der Wende besonders viele neue Maschinen gekauft, was mit als Ursache für den dort festzustellenden geringen spezifischen Wasserverbrauch angesehen wird. Wir haben

diesem Mangel an Eindeutigkeit dahingehend Rechnung getragen, dass als Referenz für den Wasserverbrauch im Falle von Waschmaschinen und Geschirrspülern heute verkaufte Low-budget Maschinen angesehen werden, die in etwa auch den durchschnittlichen Stand der Technik aller heute in Haushalten angeschlossenen Maschinen repräsentieren. Dem werden Werte von Maschinen gegenüber gestellt, die heute (2006) durchschnittliche Leistungen erbringen, sowie solche, die die künftig vorherrschende Technologie repräsentieren und die aus den Experteninterviews und Literaturrecherchen hervorgegangen sind. Abgesehen von der Referenztechnologie werden alle Verbrauchswerte als Differenz zum jeweiligen Referenzwert angegeben. Damit wird der Tatsache Rechnung getragen, dass die Einsparung nicht immer durch einen effizienteren Umgang mit Wasser und damit einen Minderverbrauch auf der Seite der Verbraucher herbeigeführt wird – nur in diesem Fall ist die Angabe eines Referenzwertes sinnvoll. Die Aufbereitung und Wiederverwertung von Regen- oder Grauwasser beispielsweise führt unabhängig davon zu Verbrauchseinsparungen, wie und wie viel Trinkwasser ansonsten verbraucht wird.

Die im Hinblick auf die Diffusion Wasser sparender Technologien neben dem Wasserverbrauch zweite Gruppe wesentlicher Kenngrößen betrifft die Kosten (aufgegliedert nach Investitions-/Anschaffungs- und Betriebskosten) und im Zusammenspiel mit dem zu erzielenden Nutzen die Wirtschaftlichkeit. Soweit, wie im Falle von Waschmaschinen, Wasser auch als Betriebsmittel angesehen werden kann, umfassen die hier aufgeführten Betriebskosten **nicht** das Wasser, da es schon beim Wasserverbrauch ausgewiesen wird. Sofern Energie einen Beitrag zu den Betriebskosten leistet, wird es hier zwar erfasst, aber nicht als Kosten-, sondern als physische Größe angegeben, da der Energie- bzw. Strompreis nicht exogen vorgegeben ist, sondern je nach Rahmenbedingungen variiert. Zwei weitere Parameter, die im Rahmen einer Wirtschaftlichkeitsberechnung relevant sind, werden ebenfalls erfasst: die wirtschaftliche „Lebensdauer“ (d.h. die Abschreibungsdauer) der Wasser sparenden Einrichtung sowie weitere Investitionen, die mit ihrer Hilfe ggf. eingespart werden können.

3. Einfluss der Szenarien

Im Rahmen von GLOWA werden verschiedene Szenarien unterschieden, die sich auf den abzusehenden Wasserverbrauch sowie die aufzuwendenden Kosten in unterschiedlicher Weise auswirken.

Szenario A1 ohne verstärkte Umweltorientierung (A1⁰)

Die dynamische Entwicklung der Weltwirtschaft und die hohe Innovationsgeschwindigkeit in allen Technologielinien führen auch zu positiven Spillover-Effekten auf die Wassertechnologien. Andererseits resultieren aus der vergleichsweise geringen Priorität auf Umweltfragen keine spezifischen Impulse, die die Innovationsrichtung speziell auf

Weiterentwicklungen bei den Wassertechnologien lenken. Damit ist mit einer Fortsetzung der bisherigen Innovationsmuster und angelegten Entwicklungslinien in der Technikentwicklung zu rechnen. Dies wird sich in technischen Weiterentwicklungen hin zu einem geringeren spezifischen Wasserverbrauch bzw. geringeren spezifischen Emissionen niederschlagen.

Szenario A1 mit verstärkter Umweltorientierung (A1⁺)

Zusätzlich zu der aus der dynamischen Entwicklung der Weltwirtschaft resultierenden hohen Innovationsgeschwindigkeit im Allgemeinen führt die vergleichsweise hohe Priorität auf Umweltfragen und die Umsetzung der Millennium Development Goals zu weiteren spezifischen Impulsen, die die Innovationsrichtung verstärkt auf Weiterentwicklungen bei den Wassertechnologien lenken. Insbesondere Technologien, die auf zunehmend international agierenden Technologiemarkten globale Bedürfnisse ansprechen, erhalten im Sinne einer nachfrageorientierten Innovationspolitik weitere Impulse und können zusätzliche Lerneffekte realisieren. Dies wird sich in einer erheblichen Reduktion der zukünftigen spezifischen Wasserverbräuche bzw. der spezifischen Emissionen niederschlagen. Des Weiteren kommt es durch die Lerneffekte und die Economies of scale zu deutlichen Kostenreduktionen der Techniken.

Szenario B2 ohne verstärkte Umweltorientierung (B2⁰)

Die etwas weniger dynamische Entwicklung der Weltwirtschaft und die geringere Innovationsgeschwindigkeit in allen Technologielinien führen dazu, dass die positiven technologischen Spillover-Effekte auf die Wassertechnologien schwächer ausfallen als in den A1-Szenarien. Zusätzlich resultieren aus der vergleichsweise geringen Umweltorientierung keine spezifischen Impulse, die die Innovationsrichtung verstärkt auf Weiterentwicklungen bei den Wassertechnologien lenken. Zwar ist nach wie vor mit einer Fortsetzung der angelegten Entwicklungslinien in der Technikentwicklung zu rechnen, allerdings mit schwacher Aktivitätsrate. Dies wird sich in einer schwach ausgeprägten Reduktion des spezifischen Wasserverbrauchs bzw. der Emissionen niederschlagen.

Szenario B2 mit verstärkter Umweltorientierung (B2⁺)

Die etwas weniger dynamische Entwicklung der Weltwirtschaft und die geringere Innovationsgeschwindigkeit in allen Technologielinien führen dazu, dass die positiven technologischen Spillover-Effekte auf die Wassertechnologien schwächer ausfallen als in den A1-Szenarien. Andererseits resultieren aus der hohen Umweltorientierung und der hohen Priorität, mit der die Millennium Development Goals umgesetzt werden, spezifische Impulse, die die Innovationsrichtung weltweit verstärkt auf Weiterentwicklungen bei den Wassertechnologien lenken. Insgesamt ist mit einer Beibehaltung der bisherigen Innovationsmuster und der angelegten Entwicklungslinien in der Technikentwick-

lung zu rechnen. Dies wird sich in einer moderaten Reduktion des spezifischen Wasserverbrauchs bzw. der Emissionen niederschlagen.

Für die Entwicklung der Wasserspartechnologien im Haushaltssektor lassen sich in Anlehnung an diese Szenarien folgende drei Fälle unterscheiden:

- Geringe Fortschritte in Richtung auf Wassereinsparung, aber keine nennenswerte Preissenkung sind im Szenario **B2⁰** zu erwarten, da weder im Hinblick auf die Innovationsintensität noch auf ihre Richtung besondere Impulse zu erwarten sind und die produzierten Stückzahlen entsprechend gering bleiben.
- Die Szenarien **A1⁰** und **B2⁺** unterscheiden sich zwar hinsichtlich der relativen Gewichtung von Intensität und Richtung der jeweiligen Innovationsimpulse. Dennoch wird davon ausgegangen, dass der Gesamteffekt in beiden Fällen sowohl hinsichtlich der Wassereinsparung als auch der Preissenkung moderat sein wird.
- Aufgrund der Kombination von hoher Intensität und Zielgerichtetheit der Technologieentwicklung im Szenario **A1⁺** sind hier mit Blick sowohl auf die Preisentwicklung als auch auf die Wassereinsparungen die bedeutendsten Effekte zu erwarten.

Diese Fallunterscheidung gibt nur die Grundzüge der zu erwartenden Entwicklungen wieder. Im Einzelfall ist es durchaus möglich, dass Preis- und Wassereinspareffekte in ihrer Relation eine davon abweichende Entwicklung aufweisen. Auf diese Abweichungen wird in den Erläuterungen zu den einzelnen Technologien im nachfolgenden Abschnitt genauer eingegangen.

4. Ausprägung der die Diffusion bestimmenden Technologieparameter

Für die ausgewählten Wasser(spar)technologien sind die Ausprägungen der die Diffusion bestimmenden Parameter in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt. Ausführliche Erläuterungen dazu, insbesondere die Zuordnung von Kosten- und Verbrauchswerten zu den verschiedenen Szenarien, werden im Nachgang zu Tabelle 1 gegeben.

Tabelle 1: Wirtschaftlichkeitsrelevante und Wasserverbrauchparameter Wasser sparender Technologien im Haushaltssektor

Technologien	Aufwendungen												wirt. Lebens-dauer (a)	Wasserverbrauch (m ³ /Pers/a) ¹				
	Bestehende Technologie (heute)			2030 Szenario B2⁰			2030 Szenarien B2⁺/A1⁰			2030 Szenario A1⁺				Bestehende Technologie	Szenario B2⁰	Szenario B2⁺/A1⁰	Szenario A1⁺	
	Investitions-kosten (EUR)	Stromverbrauch (kWh/a)	sonst. Betriebs-kosten (EUR/a)	Investitions-kosten (EUR)	Stromverbrauch (kWh/a)	sonst. Betriebs-kosten (EUR/a)	Investitions-kosten (EUR)	Stromverbrauch (kWh/a)	sonst. Betriebs-kosten (EUR/a)	Investitions-kosten (EUR)	Stromverbrauch (kWh/a)	sonst. Betriebs-kosten (EUR/a)		ab-solut	Differenz zur beste-henden Technologie			
Sanitärtechnik																		
Wasserarmaturen in Waschtisch/Küche	-	-	-	10	0	0	9	0	0	8	0	0	20	6,6	-3,3	-3,8	-4,2	
Duscharmaturen	20	0	0	30	0	0	25	0	0	20	0	0	20	13,6	-5,4	-7,5	-8,7	
Toilettenspülung	-	-	-	27	0	0	30	0	0	27	0	0	20	15,0	-6,8	-10,5	-10,5	
Urinal	-	-	-	300	0	0	270	0	0	270	0	0	20	-	-1,7	-0,9	-1,3	
Haushaltstechnik																		
Waschmaschine ²	350	172	28,90	450	156	19,30	450	140	16,90	350	140	16,90	10	4,7	-1,6	-2,0	-2,0	
Geschirrspüler	300	195	20,00	400	165	16,85	600	120	11,60	400	120	11,60	10	1,4	-0,2	-0,6	-0,6	
Trinkwassersubstitution																		
Grauwasseraufberei-tung und -nutzung	-	-	-	2700 +450 ³	180	50	2100 +350 ³	180	50	1500 +250 ³	180	50	50/15	-	-4,5	-4,5	-8,2	
Regenwassernutzung	-	-	-	2430 +360 ³	90	50	1890 +280 ³	90	50	1350 +200 ³	90	50	50/15	-	-8,1	-8,1	-11,8	

Quellen: siehe Text

¹ Alle Wasserverbrauchsvolumina beziehen sich auf den deutschen Pro-Kopf-Durchschnittsverbrauch von 127 Litern pro Tag.

² Alle Angaben bezogen auf Waschmaschinen mit 5 kg Fassungsvermögen. ³ Für die Komponenten gelten unterschiedliche Abschreibungsfristen.

Sanitärtechnik

Da mehr als die Hälfte des Trinkwasserverbrauchs deutscher Haushalte der Körperpflege und der Toilettenspülung zuzurechnen ist, machen sich Einsparungen hier in besonderem Maße bemerkbar. Hinzu kommt, dass sich die Einsparungen durch Nachrüstung oder im Rahmen einer Neuinstallation meist mit geringem Aufwand realisieren lassen.

Am einfachsten ist die Nachrüstung von Wasserarmaturen in Bad und Küche mit Hilfe von Durchflussbegrenzern, die auch von Laien problemlos montiert werden können. Kosten entstehen hier nur in geringem Umfang im Rahmen der Anschaffung. Hinsichtlich der Investitionskosten wurde angenommen, dass sich die gegenwärtig gültigen (in eigener Erhebung ermittelten) Preise im Szenario **B2⁰** wegen des hohen Reifegrades der Technik und der geringen zu erwartenden Umsatzzahlen nicht ändern wird. Wegen der erwarteten höheren Stückzahlen in den Szenarien **B2⁺/A1⁰** und mehr noch **A1⁺**, gehen wir in diesen Fällen von Preissenkungen um 10 bzw. 20 Prozent aus. Da es sich um eine Zusatzeinrichtung (add-on) handelt, sind die Investitionskosten für die herkömmliche Technologie (d.h. die Armatur) irrelevant. Die Wasserverbrauchssenkungen, die sich mit Hilfe dieses Verfahrens ohne Komforteinbuße erzielen lassen, liegen bei 50 Prozent, d.h. der Durchfluss sinkt von 14 auf 7 Liter pro Minute. Eine weitere Absenkung auf 6 Liter scheint absehbar (Böhm, Hiessl und Hillenbrand, 2002). Aufgrund der oben dargestellten Argumentation werden folglich für das Szenario **B2⁰** 7 Liter und für die Szenarien **B2⁺** und **A1⁰** 6 Liter pro Minute angesetzt. Für das Szenario **A1⁺** wird von einer weiteren Reduktion auf 5 Liter ausgegangen. Daraus ergibt sich nach Böhm, Hiessl und Hillenbrand (2002) ein durchschnittlicher täglicher Pro-Kopf-Verbrauch von 19,3 (ohne Wasserspartekologie), 9,6 (Szenario **B2⁰**), 8,3 (Szenarien **B2⁺/A1⁰**) und 6,9 Litern (Szenario **A1⁺**) für die Funktionen Körperpflege und Toilettenspülung.

Um den Wasserverbrauch im Bereich der Duscharmaturen zu reduzieren, ist in der Regel der Austausch des Duschkopfes erforderlich. Auch dieser Eingriff kann von jedem Laien durchgeführt werden, so dass als Investitionskosten der Einkaufspreis anzusetzen ist. Weitere Betriebsaufwendungen fallen auch hier nicht an. Was die Preisentwicklung bis zum Jahr 2030 angeht, so wird angenommen, dass sich im Szenario **B2⁰** der Preis eines Wasser sparenden Duschkopfes gegenüber dem heutigen Preis nicht verändern wird. Im Szenario **A1⁺** wird davon ausgegangen, dass diese Technik zum Standard wird und preislich dem heutigen Normal-Duschkopf (ohne Wasserspartekologie) entsprechen wird. Der Preis in den Szenarien **B2⁺/A1⁰** dürfte entsprechend dazwischen liegen. Für die Wasserverbrauchswerte wurde davon ausgegangen, dass im Referenzfall keine Wasserspartekologie verwendet wird. Demgegenüber werden der Terminologie von Böhm, Hiessl und Hillenbrand (2002) folgend im Szenario **B2⁰**

"konventionelle Spartechnologien", in den Szenarien **B2⁺/A1⁰** "moderne Spartechnologien" und im Szenario **A1⁺** eine um weitere 20 Prozent verbesserte Technologie zum Einsatz kommen, woraus Pro-Kopf-Wasserverbräuche von 40, 24, 18 und 14,4 Litern für die Funktion des Duschens resultieren.

Noch etwas aufwendiger, aber hinsichtlich des Wassereinsparpotenzials am interessantesten ist die entsprechende Umrüstung von Toilettenspülungen, die nur ausnahmsweise im Rahmen einer Nachrüstung durchgeführt werden kann. Meistens ist es hingegen notwendig, den gesamten Spülkasten austauschen. Bei älteren Toiletten kann es sogar erforderlich sein, das WC-Becken auszutauschen, was in der Regel aber nur im Rahmen einer (sowieso fälligen) Sanierung erfolgen wird. Bei der Ermittlung der Kosten für den Einbau eines Spülkastens (Betriebskosten sind wie in den zuvor genannten Fällen nicht relevant) tritt das Problem auf, dass die nicht Wasser sparende Referenztechnik, die in einem Großteil des (älteren, noch nicht sanierten) Wohnbestandes installiert ist, heute nicht mehr käuflich erwerbbar ist und ihr daher kein Preis zugeordnet werden kann. Als Wasserverbrauch dieser Ausstattungsvariante werden von Böhm, Hiessl und Hillenbrand (2002) 44 Liter pro Person und Tag angegeben. Mit Blick auf die Szenarien werden bezüglich der Investitionskosten und der entsprechenden Wasserverbrauchszahlen folgende Annahmen getroffen: Die heute bereits regelmäßig in Neubauten installierten Spülkästen mit einem Fassungsvermögen von 6-7 Litern (reduzierte Spülung: 4 Liter) werden im Szenario **B2⁰** auch im Jahr 2030 noch installiert werden, werden aber 10 Prozent billiger sein als heute und zu einem Pro-Kopf-Wasserverbrauch von 24 Litern täglich führen. In den Szenarien **B2⁺/A1⁰** werden Spülkästen der nächsten Generation mit 5 (3) Litern Fassungsvermögen zu Preisen von heute zum Einsatz kommen und einen Wasserverbrauch von 13 Litern pro Kopf und Tag verursachen (Böhm, Hiessl und Hillenbrand, 2002). Die gleiche Technik wird im Szenario **A1⁺** zu 10 Prozent niedrigeren Preisen verfügbar sein.

Schließlich sei als wasserverbrauchsrelevante Sanitärtechnik das Urinal erwähnt, das heute und unserer Einschätzung entsprechend auch im Szenario **B2⁰** des Jahres 2030 nur ausnahmsweise im Rahmen von Neubau oder Sanierungsmaßnahmen installiert wird. Der Preis (einschließlich Installation) wird daher in etwa der gleiche sein wie heute. In den Szenarien **B2⁺/A1⁰** und **A1⁺** wird aufgrund technischen Fortschritt und größerer installierter Stückzahlen der Preis um 10 Prozent sinken. Einer stärkeren Senkung der Investitionskosten wirken die höheren Arbeitskosten der Installation selbst entgegen. Die technischen Daten und damit auch der Wasserverbrauch bleiben dabei bei 2 Litern pro Spülung konstant; lediglich im Szenario **A1⁺** kommt eine fortgeschrittene Technologie mit nur 1,5 Litern pro Spülung zum Einsatz (Böhm, Hiessl und Hillenbrand, 2002). Bei der Berechnung der Wasserersparnis ist zu berücksichtigen, dass dieser Effekt nur bei der Hälfte der (männlichen) Nutzern zum Tragen kommt und umso geringer ausfällt je Wasser sparer die Toilette an sich schon ausgerüstet ist.

Haushaltstechnik

Fast ein Viertel des Wasserverbrauchs eines durchschnittlichen Haushaltes geht zu Lasten des Wäschewaschens und Geschirrspülens. Dabei hat sich in beiden Bereichen im Hinblick auf das Wassersparen in der Vergangenheit schon Einiges getan.

Um das zukünftige Wassereinsparpotenzial in diesem Bereich abzuschätzen, gingen wir zunächst davon aus, dass Waschmaschinen im unteren Preissegment in etwa den gleichen Wasserverbrauch realisieren wie der Durchschnitt des Bestandes, also etwa 12 Liter pro kg Nennfüllung und Waschgang (Rüdenauer, Gießhammer 2004). Eine Vorstellung bezüglich zukünftiger Potenziale erhält man beim Blick auf die gesamte aktuelle Modellpalette namhafter Hersteller. Maschinen der mittleren Preiskategorie weisen einen spezifischen Wasserverbrauch von 8 bis 9 Liter pro kg Nennfüllung und Waschgang auf, wogegen Maschinen der Spitzenklasse mit nur 7 Liter auskommen (z.B. Siemens 2004). Wir schließen daraus, dass im Jahr 2030 selbst im Szenario **B2⁰** die Waschmaschine mit einem spezifischen Wasserverbrauch von 8 Litern pro kg Nennfüllung Standard sein wird, zumal bis dahin aufgrund der relativ kurzen Lebensdauer von Waschmaschinen von nur 10 bis 15 Jahren noch bis zu zwei Generationswechsel erfolgen werden. In den Szenarien **B2⁺/A1⁰** und **A1⁺** ist sogar mit einem spezifischen Wasserverbrauch von 7 Litern zu rechnen, wobei sich letztere hinsichtlich des jeweils zu zahlenden Preises unterscheiden dürften. Die 12-Liter-Waschmaschine, die den aktuellen Bestandsdurchschnitt repräsentiert, ist im Handel je nach Hersteller zu einem Preis von etwa 300 bis 400 Euro, durchschnittlich also 350 Euro erhältlich. Für eine Maschine der 8-Liter-Klasse sind heute ungefähr 500 bis 800 Euro, im Durchschnitt also 650 Euro zu veranschlagen – ein Preis, der bis zum Jahr 2030 selbst im Szenario **B2⁰** zumindest auf 400 bis 500 Euro sinken dürfte. Gleichzeitig gehen wir davon aus, dass die 7-Liter-Maschinen, die heute noch 1000 Euro und mehr kosten, in den Szenarien **B2⁺/A1⁰** zum gleichen Preis (durchschnittlich 450 Euro) verkauft wird wie die 8-Liter-Maschine im **B2⁰**-Szenario und im Szenario **A1⁺** sogar als "Low budget"-Maschine für durchschnittlich 350 Euro erhältlich ist.¹

Zur Berechnung des Wasser-, Strom- und sonstigen Betriebsmittelverbrauchs gehen wir gemäß Rüdenauer und Gießhammer (2004) davon aus, dass eine Waschmaschine in einem deutschen Durchschnittshaushalt 164 Waschgänge pro Jahr zu absolvieren hat. Da der durchschnittliche Stromverbrauch einer Waschmaschine im Bestand dem der Energieeffizienzklasse B ($\emptyset = 0,21$ kWh/kg Wäsche) entspricht, ist hier von

¹ Die angegebenen Preise repräsentieren zumeist das untere Ende einer gerade bei Waschmaschinen breiten Preisspanne, die darauf zurückzuführen ist, dass die Maschinen zum Teil zusätzliche Ausstattungsmerkmale (Programme, Funktionen) aufweisen, die sich auf den Wasser- oder Stromverbrauch (im Standardprogramm) nicht auswirken. Soweit möglich wurde zwecks Vergleichbarkeit eine Version mit möglichst wenigen Extras und damit dem niedrigstmöglichen Preis ausgewählt.

einem jährlichen Stromverbrauch für eine 5-kg-Maschine von 172 kWh auszugehen. Die meisten neuen Maschinen gehören demgegenüber der Effizienzklasse A an, was einem Jahresverbrauch von 156 kWh entspricht. Da dieser Wert bei den angebotenen Maschinen (weitgehend unabhängig vom Wasserverbrauch) nur eine geringe Varianzbreite aufweist, wird er auch im Szenario **B2⁰** zugrunde gelegt, wogegen in den übrigen Szenarien 0,17 kWh pro Kilogramm Wäsche (= Effizienzklasse A+) angesetzt wird. Hinsichtlich des Waschmittelverbrauchs wird angenommen, dass für die durchschnittliche Bestandsmaschine rund 100 Gramm pro Waschgang anzusetzen sind und dass dieser Wert für die Szenarien proportional zur Senkung des Wasserverbrauchs reduziert werden kann. Bei einem Durchschnittspreis pro Kilogramm Waschmittel von 1,76 Euro ergeben sich daraus die in Tabelle 1 angegebenen Werte. Beim Wasserverbrauch, der in Kubikmeter pro Person und Jahr angegeben ist, ist über die bereits genannten spezifischen Wasserverbräuche und die Annahme von durchschnittlich 164 Waschgängen pro Jahr je Haushalt zu berücksichtigen, dass der deutsche Durchschnittshaushalt im Jahr 2004 2,1 Personen aufweist (StaBu 2005).

Die Verbrauchsdaten für den durchschnittlichen Geschirrspüler des vorhandenen Bestandes werden von Griebhammer et al. (2004) mit 19 Litern Wasser und 1,3 kWh Strom pro Spülgang und Reinigungsmittel (inklusive Klarspüler) im Gegenwert von 20 Euro pro Jahr (bei durchschnittlich 150 Spülgängen pro Jahr) angegeben. Ein solcher Geschirrspüler ist als Low-Budget-Gerät für etwa 300 Euro erhältlich. Die gegenwärtig auf dem Markt befindlichen Geschirrspüler lassen sich ganz überwiegend einer "Standardklasse" zuordnen, die ca. 16 Liter Wasser und 1,1 kWh Strom pro Spülgang verbraucht und in der Basisausführung etwa 550 Euro kostet (Test 2004). Wie im Falle der Waschmaschinen nehmen wir an, dass im **B2⁰**-Szenario diese Technologie immer noch dominieren wird, wenn auch zu einem niedrigeren Preis von 400 Euro. In den anderen Szenarien wird sich dagegen ein technologischer Stand durchgesetzt haben, der heute in Ansätzen erkennbar ist: Geräte, die etwa 11 Liter Wasser und 0,8 kWh Strom pro Spülgang verbrauchen und heute für deutlich über 1000 Euro erhältlich sind (Griebhammer et al 2004). Diese Geräte werden, so die Annahme, in den Szenarien **B2⁺/A1⁰** und **A1⁺** für 600 bzw. 400 Euro erhältlich sein. Hinsichtlich des Betriebsmittelverbrauchs gehen wir von einer Änderung proportional zum Wasserverbrauch aus.

Der technische Fortschritt in der Haushaltstechnik, wie er in dem hier gewählten Ansatz Berücksichtigung fand, geht von einer Erhöhung der Effizienz pro Wasch- oder Spülgang aus. Die angegebenen Optimalwerte werden aber nur erreicht, wenn die Geräte optimal beladen werden. Angesichts einer zunehmenden Zahl kleiner Haushalte ist jedoch zu erwarten, dass Waschmaschinen und, in geringerem Umfang, Geschirrspüler zunehmend auch in Teilbeladung verwendet werden. Um die oben dargestellten Fortschritte dennoch zu realisieren, wird es daher in Zukunft zunehmend darauf ankommen, dass die Geräte den Befüllungs- und Verschmutzungsgrad der Ladung

erkennen und ihr Verbrauchsverhalten diesen Gegebenheiten möglichst gut anpassen. Wir gehen davon aus, dass sich die entsprechende Mess- und Regeltechnik bis zum Jahr 2030 weitgehend durchgesetzt haben wird, dass sie aber nicht dazu beitragen wird, die angegebenen Werte weiter zu verbessern, sondern lediglich sie auf dem angegebenen Stand zu erhalten.

Trinkwassersubstitution

Eine Möglichkeit, den Trinkwasserbedarf unabhängig von den jeweiligen Verwendungszwecken und den dort angewendeten Technologien zu reduzieren, besteht darin, Trinkwasser zu ersetzen, und zwar durch dem Haushalt zufließendes Regenwasser oder durch Wiederverwendung des im Haushalt selbst anfallenden Grauwassers.

Anlagen zur Grauwasseraufbereitung setzen sich typischerweise aus (1) einem Filter für Grobstoffe (z.B. Haare, Flusen), (2) einer belüfteten Haupt- und Nachklärkammer zum biologischen Abbau organischer Verbindungen, (3) einer Einrichtung zum Absaugen des Schlammes und (4) einer UV-Lampe zur Entkeimung zusammen. Das Grauwasser stammt in der Regel aus dem Bereich Dusche/Bad/Körperpflege und liegt in seinem Aufkommen regelmäßig über dem Bedarf, der sich aus seiner Verwendung als Toilettenspülung ergibt, so dass die Grauwasseranlage relativ kompakt ausgeführt werden kann (Böhm et al. 2002). Böhm et al. (2002) geben als Investitionskosten für die Grauwasserversorgung eines Haushaltes 3500 Euro an, wovon 500 Euro über nur 15 Jahre abgeschrieben werden müssen. Da es sich um eine Technologie handelt, mit der im Haushalts-, aber auch im Hotelsektor schon einige Erfahrungen gesammelt wurden, gehen wir von der Annahme aus, dass sich die Anlagen bis 2030 in den verschiedenen Szenarien um 10 (Szenario **B2⁰**), 30 (**B2⁺/A1⁰**) bzw. 50 Prozent (**A1⁺**) verbilligen werden, wobei die angenommenen Kosten für Strom und Wartung unverändert bleiben. Das Trinkwassereinsparpotenzial entspricht dem für das jeweilige Szenario angenommenen Wasserverbrauch für die Toilettenspülung und ist erwartungsgemäß umso geringer je weitergehend die Wassersparmaßnahmen auf Seiten der Toilettenspülung sind.

Die Regenwassernutzung weist gegenüber der Grauwasseraufbereitung den Vorteil auf, dass sie nur einen Filter, aber keinen aufwändigen Reinigungsprozess benötigt. Dem steht der Nachteil gegenüber, dass Regenwasseraufkommen und Brauchwasserbedarf unterschiedliche Tages- und Jahregänge aufweisen, was die Einbeziehung eines größeren Vorratstankes unumgänglich macht. Der Referenzpreis für eine Anlage zur Regenwassernutzung liegt daher gegenwärtig mit 3100 Euro nur leicht unter dem Preis für die Grauwasseraufbereitung (Böhm et al. 2002). Hinsichtlich der Preisentwicklung dürften Skaleneffekte bei der Herstellung von Anlagen zur Regenwassernutzung stärker zum Tragen kommen als bei der Grauwassernutzung. Umgekehrt sind die zu erzielenden Lerneffekte aufgrund der weniger aufwändigen Technologie bei der Re-

genwassernutzung vermutlich geringer, so dass insgesamt mit 10, 30 und 50 Prozent für die verschiedenen Szenarien die gleiche Preisdegression wie im Fall des Grauwassers erwartet wird. Der Wartungsaufwand entspricht demjenigen für die Grauwasseraufbereitung, der Stromverbrauch ist halb so hoch. Gleichzeitig ist das Trinkwassereinsparpotenzial vor allem dann deutlich größer als beim Grauwasserrecycling, wenn das Wasser neben der Toilettenspülung auch noch zur Gartenbewässerung (40 l/d) genutzt wird (vgl. Böhm et al. 2002).

Referenzen

Böhm, E., Hiessl, H. und Hillenbrand, T. (2002): Auswirkungen der Wassertechnologie-Entwicklungen auf den Wasserbedarf und Gewässeremissionen im deutschen Teil des Elbegebietes, Karlsruhe: Fraunhofer ISI

Grießhammer, R., Bunke, D., Eberle, U., Gensch, C.-O., Graulich, K., Quack, D., Rüdener, I., Goetz, K. und Birzle-Harder, B. (2004): EcoTopTen – Innovationen für einen nachhaltigen Konsum, Freiburg: Öko-Institut

Rüdener, Ina und Grießhammer, R. (2004): Produkt-Nachhaltigkeitsanalyse von Waschmaschinen und Waschprozessen, Freiburg: Öko-Institut

Test (2004): 'Kein Verlass auf Automatik', Test Geschirrspülmaschinen der Stiftung Warentest 10/2004, S. 66–69