

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES  
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,  
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT  
- Wasserwirtschaft -

Forschungsbericht 296 64 145  
UBA-FB 000106/2



# **Ökobilanzierung zu Wasch- und Reinigungs- mittelrohstoffen und deren Anwendung in der gewerblichen Wäscherei**

von

**Ulrike Eberle**  
**Dr. Rainer Grießhammer**

Öko-Institut e.V., Freiburg

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Diese TEXTE-Veröffentlichung kann bezogen werden bei  
**Vorauszahlung von DM 20,- (10,26 Euro)**  
durch Post- bzw. Banküberweisung,  
Verrechnungsscheck oder Zahlkarte auf das

Konto Nummer 4327 65 - 104 bei der  
Postbank Berlin (BLZ 10010010)  
Fa. Werbung und Vertrieb,  
Ahornstraße 1-2,  
10787 Berlin

Parallel zur Überweisung richten Sie bitte  
eine schriftliche Bestellung mit Nennung  
der **Texte-Nummer** sowie des **Namens**  
und der **Anschrift des Bestellers** an die  
Firma Werbung und Vertrieb.

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr  
für die Richtigkeit, die Genauigkeit und  
Vollständigkeit der Angaben sowie für  
die Beachtung privater Rechte Dritter.  
Die in der Studie geäußerten Ansichten  
und Meinungen müssen nicht mit denen des  
Herausgebers übereinstimmen.

Herausgeber: Umweltbundesamt  
Postfach 33 00 22  
14191 Berlin  
Tel.: 030/8903-0  
Telex: 183 756  
Telefax: 030/8903 2285  
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>

Redaktion: Fachgebiet IV 1.4  
Dr. Inge Paulini, Dr. Petra Greiner

Berlin, August 2001

**UFO-Plan Vorhaben 296 64 145  
„Ökobilanzierung zu Wasch- und  
Reinigungsmittelrohstoffen und deren  
Anwendung in der gewerblichen Wäscherei“**

**Das Forschungsvorhaben gliedert sich in vier Teilstudien:**

- **Teil 1: Öko-Inventare für die Produktion von Waschmittel-Inhaltsstoffen (getrennt veröffentlicht als EMPA-Bericht Nr. 244, St. Gallen/Schweiz 1999)**
- **Teil 2: Orientierende Ökobilanz von Weichspülern**
- **Teil 3: Analyse gewerblicher Waschprozesse**
- **Teil 4: Ökobilanz und Stoffstromanalyse Waschen und Waschmittel**

## Berichts-Kennblatt

1. Berichtsnummer UBA-FB	2.	3.
4. Titel des Berichts Ökobilanzierung zu Wasch- und Reinigungsmittelrohstoffen und deren Anwendung in der gewerblichen Wäscherei		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) Eberle, Ulrike Grießhammer, Rainer		8. Abschlussdatum Juli 2000
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift)  Öko-Institut e.V. Binzengrün 34 a/Postfach 6226 D-79038/79114 Freiburg i.Br.		9. Veröffentlichungsdatum
		10. UFOPLAN-Nr. 296 64 145
		11. Seitenzahl 147
		12. Literaturangaben 94
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt, Postfach 33 00 22, 14191 Berlin		13. Tabellen und Diagramme 70
		14. Abbildungen 30
		15. Zusätzliche Angaben
16. Zusammenfassung Ziel des UFO-Plan Vorhabens ist es, Ökobilanzen und Stoffstromanalysen im Bereich Waschmittel zu ergänzen und zu aktualisieren, um aus ökologischer Sicht eine komplette und aktuelle Übersicht über den Waschmittelmarkt und wichtige Anwendungen zu gewinnen. Das Forschungsvorhaben gliedert sich in die vier Teilforschungsvorhaben: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Teil 1: Öko-Inventare für die Produktion von Waschmittelinhaltsstoffen (veröffentlicht als EMPA-Bericht Nr. 244, St. Gallen/Schweiz 1999),</li> <li>- Teil 2: Orientierende Ökobilanz von Weichspülern,</li> <li>- Teil 3: Analyse gewerblicher Waschprozesse,</li> <li>- Teil 4: Ökobilanz und Stoffstromanalyse Waschen und Waschmittel.</li> </ul> Das jährliche deutsche Wäscheaufkommen von 19,41 Mio. t wird zu 96,5 % in Haushalten gewaschen und zu 3,5 % in gewerblichen Wäschereien. Als wesentliche Faktoren für ökologisches Waschverhalten konnten die volle Befüllung der Waschmaschine, möglichst niedrige Waschttemperaturen, niedrige Dosierung, sparsamer Einsatz von Wäschetrocknern und Bügeleisen identifiziert werden. Im gewerblichen Bereich konnten Optimierungspotenziale vor allem beim Energie- und Wasserverbrauch festgestellt werden: ein Wasserverbrauch von unter 10 l/kg Wäsche und ein Primärenergieverbrauch von unter 20 MJ/kg Wäsche wird für den Durchschnitt der Wäschereien als machbar eingeschätzt.		
17. Schlagwörter Ökobilanz, Stoffstromanalyse, Waschen, Trocknen, Bügeln, Waschmittel, Weichspüler		
18. Preis	19.	20.

Berichts-Kennblatt 06/2000

## Report Cover Sheet

1. Report No. UBA-FB	2.	3.
4. Report Title Life-Cycle Assessment (LCA) of Detergent and Cleaning Product Raw Materials and their Use in Industrial Laundries		
5. Autor(s), Family Name(s), First Name(s) Eberle, Ulrike Grießhammer, Rainer		8. Report Date
6. Performing Organisation (Name, Address)  Institute for Applied Ecology Binzengrün 34 a/Post Box 6226 D-79114/79038 Freiburg i.Br.		9. Publication Date July 2000
7. Funding Agency (Name, Address) Umweltbundesamt (Federal Environmental Agency) Postfach 33 00 22, 14191 Berlin		10. UFOPLAN-Ref. No. 296 64 145
		11. No. of Pages 147
		12. No. of Reference 94
		13. No. of Tables, Diagrams 70
		14. No. of Figures 30
15. Supplementary Notes		
<p>16. Abstract</p> <p>The goal of the project was to supplement and update available LCAs and material flow analyses in the laundry detergent sector, in order to gain a complete and up-to-date environmental overview of the laundry detergent market and important applications.</p> <p>The research project comprised four sub-projects:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Part 1: Environmental life-cycle inventories for the production of detergent ingredients (published as EMPA Report No. 244, St. Gallen/Switzerland 1999).</li> <li>- Part 2: Simplified LCA of fabric softeners.</li> <li>- Part 3: Analysis of industrial laundry processes.</li> <li>- Part 4: LCA and material flow analysis of laundry detergents and the complex of products linked to washing.</li> </ul> <p>96.5% of the total annual laundry arising in Germany is washed in households, the rest of 3.5% in commercial laundries. The following factors could be identified as most important for ecological washing: filling washing machines fully, washing temperatures as low as possible, minimum dosage of detergents, dispensing with electric laundry dryers as far as possible, largely dispensing with ironing. In the industrial sector there could be identified optimizing potentials mainly in use of energy and water: water consumption of less than 10 l/kg laundry and primary energy consumption of less than 20 MJ/kg laundry is considered feasible for the average firm.</p>		
17. Keywords Life Cycle Assessment, Material flow analysis, washing, drying, ironing, detergents, softeners		
18. Price	19.	20.

Report Cover Sheet 06/2000

## Zusammenfassung

Das Öko-Institut e.V. hat im Auftrag des Umweltbundesamtes das UFO-Plan Vorhaben 296 64 145 „Ökobilanzierung zu Wasch- und Reinigungsmittelrohstoffen und deren Anwendung in der gewerblichen Wäscherei“ durchgeführt. Ziel des UFO-Plan Vorhabens ist es, Ökobilanzen und Stoffstromanalysen im Bereich Waschmittel zu ergänzen und zu aktualisieren, um aus ökologischer Sicht eine komplette und aktuelle Übersicht über den Waschmittelmarkt und wichtige Anwendungen zu gewinnen. Dementsprechend wurden die Ökobilanzen von Waschmittelinhaltsstoffen ergänzt, aktualisiert und harmonisiert (Dall'Acqua et al. 1999), eine Ökobilanz von Weichspülern, des Wäschetrocknens und des Bügelns erstellt (Eberle und Gießhammer 2000a), das gewerbliche Waschen analysiert (Eberle und Gießhammer 2000b) und die Ergebnisse der „Produktlinienanalyse Waschen und Waschmittel“ (Gießhammer et al. 1997) aktualisiert und ergänzt (Eberle und Gießhammer 2000c).

Das Forschungsvorhaben gliedert sich in die vier Teilforschungsvorhaben:

- Teil 1: Öko-Inventare für die Produktion von Waschmittelinhaltsstoffen (veröffentlicht als EMPA-Bericht Nr. 244, St. Gallen/Schweiz 1999),
- Teil 2: Orientierende Ökobilanz von Weichspülern,
- Teil 3: Analyse gewerblicher Waschprozesse,
- Teil 4: Ökobilanz und Stoffstromanalyse Waschen und Waschmittel.

Ziel des ersten Untersuchungsteils ist es, die bereits existierenden Ökobilanzen zu Waschmittelinhaltsstoffen zu aktualisieren und zu harmonisieren. Ergänzend sind Sachbilanzen zu bisher nicht bearbeiteten Inhaltsstoffen durchgeführt worden. Diesen Teil des Forschungsvorhabens hat die Eidgenössische Materialprüfungsanstalt (EMPA) in St. Gallen/Schweiz in Kooperation mit dem Öko-Institut e.V. bearbeitet. Die Untersuchung beschreibt detailliert die Methodik, die zur Harmonisierung und Ergänzung der Waschmittelinventare angewandt wurde, so dass auch in Zukunft Sachbilanzen weiterer neuer Waschmittelinhaltsstoffe nach demselben Schema durchgeführt werden können. Die Teilstudie wurde einem externen Critical Review unterzogen.

Der zweite Teil des Forschungsvorhabens beinhaltet eine orientierende Ökobilanz von Weichspülern und ihrer Anwendung im Waschprozess. Neben dem Wäschetrocknen wurde hier auch das Bügeln in die Bilanzierung des Waschprozesses einbezogen. Die orientierende Ökobilanz des Weichspülers stützt sich bei den Inhaltsstoffen auf die Sachbilanzen

aus Teil 1 des Forschungsvorhabens. Die Waschprozesse werden in Anlehnung an Griebhammer et al. 1997 formuliert und um die Benutzung von Weichspülern, um Wäschetrocknen und Bügeln ergänzt. Einbezogen werden hier auch von der Weichspülerindustrie angegebene mögliche Energieeinsparungen durch die Verwendung von Weichspülern, die beim Trocknen der Wäsche im elektrischen Wäschetrockner und beim Bügeln der Wäsche erzielt werden können. Festgehalten werden muss hier jedoch, dass zu diesen möglichen Energieeinsparungen bisher noch keine wissenschaftlichen Veröffentlichungen vorliegen. Die durchgeführten orientierenden Bilanzen wurden einem Critical Review unterzogen.

Ergebnis dieses Untersuchungsteils ist, dass der Waschprozess durch den Weichspülerinsatz mit einem höheren ökologischen Belastungseffekt der Gewässer verbunden ist als dies ohne den Einsatz von Weichspülern der Fall wäre. Jedoch sind die heute angewandten kationischen Tenside (Esterquats) – neben Wasser der Hauptbestandteil eines Weichspülers – unter ökologischen Gesichtspunkten besser zu bewerten als die früher eingesetzten kationischen Tenside (DSDMAC), die stark in der Kritik standen. Durch den Weichspülereinsatz kann eine Energieverbrauchsreduktion beim Trocknen der Wäsche im Wäschetrockner und beim Bügeln erzielt werden (minus 0,510 %). Hier ist jedoch anzumerken, dass der Großteil dieses Entlastungseffektes nur in Haushalten mit elektrischem Wäschetrockner erzielt werden kann, und nur rund 29 % der deutschen Haushalte mit einem Wäschetrockner ausgestattet sind.

Im dritten Teil der Untersuchung werden die Umweltauswirkungen von gewerblichen Waschprozessen, von Waschprozessen in Waschsals und die dadurch ausgelösten Stoffströme analysiert. Die hierzu benötigten Daten wurden mittels eines Fragebogens bei den Wäschereien und Waschsals erhoben. Neben einem Vergleich der Umweltauswirkungen von gewerblichen Wäschereien unterschiedlicher Größe wurde das Waschen von Berufsbekleidung näher analysiert und das Waschen von Privatwäsche in gewerblichen Wäschereien, Waschsals und im privaten Haushalt vergleichend betrachtet.

Die Untersuchung hat gezeigt, dass rund 3,6 % des bundesdeutschen Wäscheaufkommens in gewerblichen Wäschereien gewaschen werden. Der größte Anteil hiervon (84 %) entfällt auf Wäschereien mit einem Umsatz von über DM 500.000 pro Jahr, obwohl diese Wäschereien rein zahlenmäßig nur knapp ein Viertel der Wäschereien ausmachen.

Insgesamt hat sich gezeigt, dass die Bandbreite des Standes der eingesetzten Technik in den untersuchten Wäschereien und Waschsals groß ist. Sowohl für gewerbliche Wäschereien als auch für Waschsals konnten Optimierungsmöglichkeiten beim Wasser- und Energieverbrauch identifiziert werden, die auch zu Kosteneinsparungen führen könnten. So wird für gewerbliche Wäschereien ein Wasserverbrauch von unter 10 l/kg Wäsche und ein Primärenergieverbrauch von unter 20 MJ/kg Wäsche für den Durchschnitt der Wäschereien

als machbar eingeschätzt. Waschsalons könnten den Ergebnissen zufolge im Durchschnitt rund ein Drittel des Wasserverbrauchs und gar 60 % des Primärenergieverbrauchs einsparen. Darüber hinaus könnten Waschsalons durch den Einsatz von Superkompaktaten im Durchschnitt rund 30 % der Waschmittel einsparen.

Betrachtet man die unterschiedlichen Waschprozesse, so hat sich gezeigt, dass gewerbliche Wäschereien – bei dem zugrunde gelegten Szenario – rund zwei Drittel weniger Primärenergie und fast drei Viertel weniger Wasser verbrauchen als private Haushalte. Klar festgehalten werden muss hier jedoch, dass diese Ergebnisse von den Annahmen zur Beladungsmenge der Waschmaschine im Haushalt abhängen. Bei höherer Beladung als der angenommenen ergeben sich hier bessere Werte zugunsten der Haushalte.

Der Vergleich des Waschens von Privatwäsche in gewerblichen Wäschereien, Waschsalons und privaten Haushalten mit Wäschetrockner zeigt, dass der Waschprozess in gewerblichen Wäschereien und Waschsalons ökologischer durchgeführt werden kann als im privaten Haushalt. Jedoch sind hier die notwendigen Transporte der Wäsche, die beim Waschen im Privathaushalt entfallen, nicht berücksichtigt. Bezieht man diese mit ein, so zeigt sich, dass die Transportfahrten unter 1 km liegen müssen, damit Waschsalons und gewerbliche Wäschereien günstiger abschneiden.

Im vierten Teil des Forschungsvorhabens werden - aufbauend auf den oben genannten Teiluntersuchungen - die Ergebnisse der „Produktlinienanalyse Waschen und Waschmittel“ (Grießhammer et al. 1997) aktualisiert und ergänzt:

- die Ökobilanzen von Modell-Waschmitteln werden aktualisiert und auch um die neuen Tablettenwaschmittel ergänzt,
- die Ökobilanzen von Modell-Haushalten werden mit neuen Daten zum Energieverbrauch von Waschmaschine und Wäschetrockner, mit den aktualisierten Waschmitteldaten, um den Weichspülereinsatz und um den Bügelprozess ergänzt,
- die Stoffstromanalyse des bundesdeutschen Waschaufwandes wird um Weichspüler, Bügeln, sowie um gewerbliches Waschen ergänzt,
- die Kostenberechnungen für Waschen, Weichspülereinsatz, Trocknen und Bügeln in Privathaushalten werden aktualisiert.

Des Weiteren wird ein Vorschlag gemacht, wie das EU-Punkte-Modell für Waschmittel für die Bewertung von Weichspülern und Stoffströmen erweitert werden kann.

Wie auch schon in der Untersuchung von Grießhammer et al. 1997, zeigt sich, dass das größte ökologische Optimierungspotenzial durch ein ökologisches Waschverhalten erzielt werden kann. Dieses ökologische Waschverhalten zeichnet sich folgendermaßen aus:

- Verwendung eines Baukasten- oder Superkompaktwaschmittels und möglichst niedrige Dosierung,
- Wählen einer möglichst niedrigen Waschtemperatur,
- volle Befüllung der Waschmaschine (4,5 kg),
- möglichst Verzicht auf elektrischen Wäschetrockner,
- weitgehender Verzicht auf Bügeln.

Darüber hinaus ist auch der Einsatz einer Waschmaschine mit möglichst niedrigem Energie- und Wasserverbrauch wünschenswert.

Weiterhin wird es nach wie vor als dringend notwendig erachtet, herkömmliche Vollwaschmittel durch Superkompaktate zu ersetzen. Erste Schritte in Form einer „Abmagerung“ der Vollwaschmittel sind hierzu von der Waschmittelindustrie eingeleitet worden. Eine zügige Umsetzung des Konzeptes ist hier erstrebenswert.

## Summary

Öko-Institut e.V. – the Institute for Applied Ecology – has carried out, on behalf of the German Federal Environmental Agency (Umweltbundesamt), a project titled "Life-Cycle Assessment (LCA) of Detergent and Cleaning Product Raw Materials and their Use in Industrial Laundries" (UFO-Plan project No. 296 64 145). The goal of the project was to supplement and update available LCAs and material flow analyses in the laundry detergent sector, in order to gain a complete and up-to-date environmental overview of the laundry detergent market and important applications. In pursuit of this goal, the following work was performed: the LCAs of detergent ingredients were supplemented, updated and harmonized (Dall'Acqua et al. 1999); an LCA was carried out for fabric softeners and the laundry drying and ironing processes (Eberle and Griebshammer 2000a); washing in industrial laundries was analysed (Eberle and Griebshammer 2000b); and the results of the "Comprehensive Product Assessment (Produktlinienanalyse) for Laundry Detergents and the Complex of Products Linked to Washing" (Griebshammer et al. 1997) were updated and supplemented (Eberle and Griebshammer 2000c).

The research project comprised four sub-projects:

- Part 1: Environmental life-cycle inventories for the production of detergent ingredients (published as EMPA Report No. 244, St. Gallen/Switzerland 1999).
- Part 2: Simplified LCA of fabric softeners.
- Part 3: Analysis of industrial laundry processes.
- Part 4: LCA and material flow analysis of laundry detergents and the complex of products linked to washing.

The goal of Part 1 was to update and harmonize the already existing LCAs of detergent ingredients. This work was complemented by life-cycle inventory analyses of ingredients not previously examined. This part of the research project was carried out by the Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research (Eidgenössische Materialprüfungsanstalt, EMPA) in St. Gallen/Switzerland, in cooperation with Öko-Institut. The study describes in detail the methodology used to harmonize and supplement the detergent life-cycle inventories, so that in future inventory analyses of further, new detergent ingredients can be carried out according to the same procedure. The sub-study underwent an external critical review.

The second part of the research project comprised a simplified LCA of fabric softeners and their application in the washing process. Here ironing was included in the inventory analysis of the washing process in addition to laundry drying. For fabric softener ingredients, the simplified LCA was based upon the inventories compiled in Part 1. The washing processes were defined following Griebhammer et al. 1997, and supplemented to include fabric softener use, laundry drying and ironing. The softener industry states potential energy savings in drying laundry in electric dryers and in ironing attributable to the use of fabric softeners; these savings were included. However, it needs to be noted that no scientific publications on these potential energy savings are yet available. The simplified LCAs underwent critical review.

One outcome of this part of the study is that due to the use of fabric softeners the washing process is associated with larger impacts upon the aqueous environment than would be the case if the softeners were not used. However, the environmental performance of the cationic tensides (esterquats) in use today – the main component of a fabric softener besides water – is better than that of the cationic tensides used previously (DSDMAC), which were a focus of considerable criticism. The use of fabric softeners can reduce the energy consumed by drying the laundry in a drying machine and the energy consumed by ironing (minus 0.5–10 %). Here, however, it needs to be noted that the greater part of this reduction can only be achieved in households with electric laundry dryers, and that only about 29 % of German households are equipped with a laundry dryer.

Part 3 analysed the environmental impacts of industrial washing processes and washing processes in launderettes, and the associated material flows. The requisite data were collected by means of a questionnaire distributed to industrial laundries and launderettes. In addition to comparing the environmental impacts of industrial laundries of different sizes, the washing of workwear was analysed in greater depth. Furthermore, a comparative analysis was performed of the washing of private laundry in industrial laundries, launderettes and at home.

The study found that 3.6 % of the total laundry arising in Germany is washed in industrial laundries. Most of this (84 %) is performed by laundries with an annual turnover of more than DM 500,000, although these laundries only account for just under a quarter of all industrial laundries in Germany.

The range of technologies used in the industrial laundries and launderettes examined is considerable. In both groups, the study identified possibilities to optimize water and energy consumption that also promise cost savings. For industrial laundries, water consumption of less than 10 l/kg laundry and primary energy consumption of less than 20 MJ/kg laundry is considered feasible for the average firm. For launderettes, the study shows that on average

about a third of water consumption and as much as 60 % of primary energy consumption could be saved. Moreover, by using supercompact laundry detergents launderettes could, on average, save about 30 % of their detergent consumption.

Comparison of the different types of washing process shows that industrial laundries – under the scenario assumed in the study – consume about two thirds less primary energy and almost three quarters less water than home washing. However, it needs to be stressed that these figures depend upon the assumptions made concerning washing machine loading in home washing. If loading is higher than assumed in the study, the performance of home washing improves.

Comparison of the washing of private laundry in industrial laundries, launderettes and at home (the latter using a laundry dryer) shows that the environmental performance of the washing process can be better in industrial laundries and launderettes than at home. However, this does not take the necessary transports of laundry into consideration, which do not arise in home washing. Analysis of transports shows that transport distances must be shorter than 1 km for the environmental performance of launderettes and industrial laundries to be better.

Part 4 of the research project, building upon the sub-studies set out above, served to update and supplement the results of the earlier "Comprehensive Product Assessment (Produktlinienanalyse) for Laundry Detergents and the Complex of Products Linked to Washing" (Grießhammer et al. 1997):

- The LCAs of model detergents were updated and supplemented to include the new tablet detergents.
- The LCAs of model households were supplemented with new data on the energy consumption of washing machines and dryers, with updated detergent data, with fabric softener usage and the ironing process.
- The material flow analysis of Germany-wide energy and material inputs for clothes washing was supplemented to include fabric softeners, ironing and industrial laundries.
- The cost calculations for home washing, fabric softener usage, drying and ironing were updated.

Furthermore, the study makes a proposal for extending the EU scoring model for detergents to assess fabric softeners and material flows.

As already shown by Grießhammer et al. 1997, the present study confirms that the largest potential for environmental optimization lies in environmentally aware washing behaviour. Such behaviour is characterized as follows:

- Using a three-component or supercompact detergent, and minimum dosage of these.
- Selecting washing temperatures as low as possible.
- Filling washing machines fully (4.5 kg).
- Dispensing with electric laundry dryers as far as possible.
- Largely dispensing with ironing.

In addition, it is expedient to opt for a washing machine with minimum energy and water consumption.

Furthermore, the authors of the present study consider it urgently necessary to replace conventional heavy-duty laundry detergents with supercompact detergents. The detergent industry has taken first steps towards making heavy-duty detergents 'leaner'. Implementation of this approach needs to proceed swiftly.

## **Endbericht**

### **Orientierende Ökobilanz von Weichspülern**

Teilstudie im UFO-Plan Vorhaben 296 64 145  
„Ökobilanzierung zu Wasch- und Reinigungsmittelrohstoffen  
und deren Anwendung in der gewerblichen Wäscherei“

AutorInnen:

Ulrike Eberle

Dr. Rainer Gießhammer

#### **Öko-Institut e.V.**

Geschäftsstelle Freiburg

Postfach 6226

D-79038 Freiburg

Tel.: 0761/45 29 5-0

Fax: 0761/47 54 37

Büro Darmstadt

Elisabethenstraße 55-57

D-64283 Darmstadt

Tel.: 06151/8191-0

Fax: 06151/8191-33

Büro Berlin

Novalisstraße 10

D-10115 Berlin

Tel.: 030/280 486-80

Fax: 030/280 486-88

Freiburg, Juli 2000

## Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>Einführung .....</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>Der Produktnutzen von Weichspülern .....</b>	<b>2</b>
2.1	Produktnutzen .....	2
2.2	Wäschetrocknen und Wäschetrockner .....	6
2.3	Bügeln .....	8
2.3.1	Häufigkeit des Bügelns.....	8
2.3.2	Energieverbrauch.....	9
2.3.3	Zeitbedarf zum Bügeln einzelner Wäscheposten .....	10
2.3.4	Vergleich Wäschetrockner, Leinentrocknung und Bügeln .....	12
2.4	Resümee .....	12
<b>3.</b>	<b>Methodisches Vorgehen bei der Ökobilanz.....</b>	<b>14</b>
<b>4.</b>	<b>Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens der orientierenden Ökobilanz.....</b>	<b>16</b>
4.1	Zielfestlegung .....	16
4.2	Zielgruppe und kritisches Prüfverfahren .....	16
4.2.1	Zielgruppe .....	16
4.2.2	Beschreibung des kritischen Prüfverfahrens .....	17
4.2.3	Grenzen bei der Nutzung der Ergebnisse.....	17
4.3	Beschreibung und Festlegung der untersuchten Systeme .....	17
4.3.1	Festlegung der funktionellen Äquivalenz .....	17
4.3.2	Alternativen und Funktionen der betrachteten System-Alternativen .....	18
4.3.3	Sachliche Beschreibung der einbezogenen Systeme .....	19
4.4	Untersuchungsrahmen .....	20
4.4.1	Systemgrenzen .....	20

---

4.4.2	Allokationsverfahren.....	23
4.4.3	Datengrundlagen, Datenqualität und Berechnungsverfahren .....	23
4.4.4	Wirkungsabschätzung .....	29
4.4.5	Auswertung .....	30
<b>5.</b>	<b>Sachbilanz.....</b>	<b>30</b>
5.1	Ergebnisse der Sachbilanz .....	33
5.1.1	Vergleich des Primärenergiebedarfs .....	36
5.1.2	Vergleich der Kohlendioxidemissionen .....	40
5.1.3	Vergleich der Schwefeldioxidemissionen.....	40
5.1.4	Vergleich der Stickoxidemissionen .....	41
5.1.5	Vergleich des Wasserverbrauchs.....	42
5.2	Zusammenfassung der Ergebnisse .....	42
<b>6.</b>	<b>Wirkungsabschätzung.....</b>	<b>43</b>
6.1	Treibhauspotenzial .....	43
6.2	Versauerungspotenzial .....	46
6.3	Vergleich der Abwasserbehandlung.....	47
6.4	Potenzielle Gewässerbelastung von Weichspülern anhand des EU-Punkte- Bewertungssystems für das europäische Umweltzeichen.....	48
6.5	Interpretation .....	52
<b>7.</b>	<b>Bilanzbewertung.....</b>	<b>53</b>
<b>8.</b>	<b>Handlungsempfehlungen, Forschungs- und Entwicklungsbedarf .....</b>	<b>54</b>
<b>9.</b>	<b>Literatur.....</b>	<b>56</b>
	<b>Anhang.....</b>	<b>59</b>
A.1	Verwendete (obere) Heizwerte zur Berechnung des Primärenergiebedarfs nach Dall'Acqua et al. (1999) und BUWAL (1996).....	59

A.2	Energiebereitstellung: Stromnetz BRD.....	59
A.3	Modellrezepturen .....	61
A.3.1	Rahmenrezeptur Superkompaktvollwaschmittel .....	61
A.3.2	Rahmenrezeptur Weichspülerkonzentrat .....	61
A.4	Verpackungen .....	62
A.5	Dosierung Weichspülerkonzentrat .....	62
A.6	Berechnung von Treibhaus- und Versauerungspotenzial und zugrunde liegende Sachbilanzdaten .....	62
A.7	Bericht des Critical Review Gremiums .....	64

## 1. Einführung

Im Rahmen des UFO-Plan Forschungsvorhabens 296 64 145 „Ökobilanzierung zu Wasch- und Reinigungsmittelrohstoffen und deren Anwendung in der gewerblichen Wäscherei“ wird auch eine orientierende Ökobilanz von Weichspülern durchgeführt, da hierzu bisher keine Untersuchungen vorliegen. Ergänzend wird das „System“ Waschen (Waschen, Trocknen der Wäsche, Bügeln) analysiert.

Weichspülmittel werden seit 1963 in Deutschland angeboten. 1978 wurden in mehr als drei Viertel der deutschen Haushalte Weichspüler eingesetzt, 1998 in knapp der Hälfte der Haushalte (Uhl et al. 1998). Ursprünglich sollten Weichspüler dazu dienen, die Wäsche „weich“ und „frisch“ zu machen. Heute hat sich das Anforderungsprofil an den Nutzen des Produktes wesentlich erweitert. Neben dem Grundnutzen „weiche und frische Wäsche“ sollen die heutigen „Weichpfleger“ noch diverse Zusatznutzen erfüllen. So wird der Nutzen heutiger Produkte von den Herstellern folgendermaßen charakterisiert:

„Sofort-Vorteile: weiche und frische Wäsche - erhöhter Tragekomfort, schnelleres Trocknen im Wäschetrockner, geringere antistatische Aufladung - erhöhter Tragekomfort, weniger Falten - schnelleres und einfacheres Bügeln.

Multi-Zyklus-Vorteile: weniger Faserabrieb und verbesserter Farbschutz - längerer Werterhalt“ (Uhl et al. 1998).

Zu den experimentellen Untersuchungen über mögliche ökologische Entlastungspotenziale (v.a. Energieeinsparungen) liegen bisher nur aggregierte Daten der Weichspülerhersteller in Unternehmens- und Verbandsbroschüren und keine wissenschaftlichen Veröffentlichungen vor.

Aufgrund des zunehmenden Bewusstseins für Umweltbelange und der Gewässerbelastung durch Chemikalieneintrag sind Weichspüler schon seit Jahren in der Diskussion. Kritisiert wird nicht nur die von Weichspülern ausgehende Gewässerbelastung, auch der von den Herstellern angepriesene Nutzen des Produktes wird kontrovers diskutiert. Umwelt- und Verbraucherverbände stufen den Nutzen von Weichspülern für die Verbraucher als gering ein: den mit der Verwendung verbundenen großen Chemikalieneintrag in die Gewässer kann der Nutzen des Produktes nach Ansicht der Verbände nicht aufwiegen. Auch die Jury Umweltzeichen folgt sinngemäß dieser Argumentation, da sie integrierte Weichspüler von der Vergabe des Umweltzeichens für Waschmittel ausschließt (RAL 1991, S. 3).

Bis Anfang der neunziger Jahre wurde in Weichspülern das kationische Tensid DSDMAC<sup>1</sup> eingesetzt, das schwer biologisch abbaubar und zudem toxisch für Wasserlebewesen ist. Nach jahrelangen Diskussionen über den kritisierten Inhaltsstoff ging der Industrieverband Körperpflege- und Waschmittel (IKW) 1990 auf einen Vorschlag des Umweltbundesamtes ein und verzichtete ab 1991 auf den Einsatz von DSDMAC in Weichspülern. Nachfolger-substanzen sind die Esterquats, die wesentlich besser biologisch abbaubar sind als DSDMAC. Jedoch können auch die Esterquats bis zu ihrem vollständigen biologischen Abbau toxische Auswirkungen auf Wasserlebewesen haben.

In den letzten zehn Jahren gab es neben der Erweiterung des Produktnutzens und dem Ersatz von DSDMAC zwei weitere, aus ökologischer Sicht bedeutsame Entwicklungen – die fast vollständige Marktverschiebung hin zu Konzentraten und zu einem reduzierten Verpackungsaufwand (durch Nachfüllpacks und Leichtpackungen).

Eine umfassende Untersuchung über die Umweltauswirkungen der heutigen „Weichpfleger“ liegt bisher nicht vor. Das Umweltbundesamt beauftragte daher im Rahmen des Umweltforschungsplans das Öko-Institut e.V. mit der ökobilanziellen Untersuchung von Weichspülern. Da in letzter Zeit auch sogenannte Zusatznutzen und die damit verbundenen möglichen ökologischen Entlastungspotenziale von Weichspülern diskutiert werden, wird in der vorliegenden orientierenden Ökobilanz nicht nur das isolierte Produkt untersucht. In die Untersuchung werden explizit Waschprozesse mit und ohne Weichspülerverwendung einbezogen, um die möglichen ökologischen Entlastungspotenziale beim Trocknen der Wäsche im Wäschetrockner<sup>2</sup> und beim Bügeln zu analysieren.

## **2. Der Produktnutzen von Weichspülern**

### **2.1 Produktnutzen**

1963 wurden in Deutschland Weichspüler eingeführt. Das erste Produkt auf dem deutschen Markt war „Lenor“ von Procter & Gamble. Etwa die Hälfte der deutschen Haushalte benutzten 1998 nach Angaben von Procter & Gamble Weichspüler (Procter & Gamble 1998). 1978 waren es noch mehr als drei Viertel der Haushalte (Uhl et al. 1998).

1997/98 wurden weltweit 2.330.751 t Weichspüler verbraucht, davon 7 % (154.072 t) in Deutschland und 23 % im restlichen Europa (537.397 t) (Uhl et al. 1998).

---

<sup>1</sup> DSDMAC: Distearyl-dimethyl-ammoniumchlorid.

<sup>2</sup> Unter „Wäschetrockner“ werden im Folgenden immer elektrische Wäschetrockner verstanden.

Europaweit und auch in Deutschland gibt es vier große Hersteller von Weichspülern: Procter & Gamble, Unilever, Henkel und Colgate (vgl. Abbildung 1).

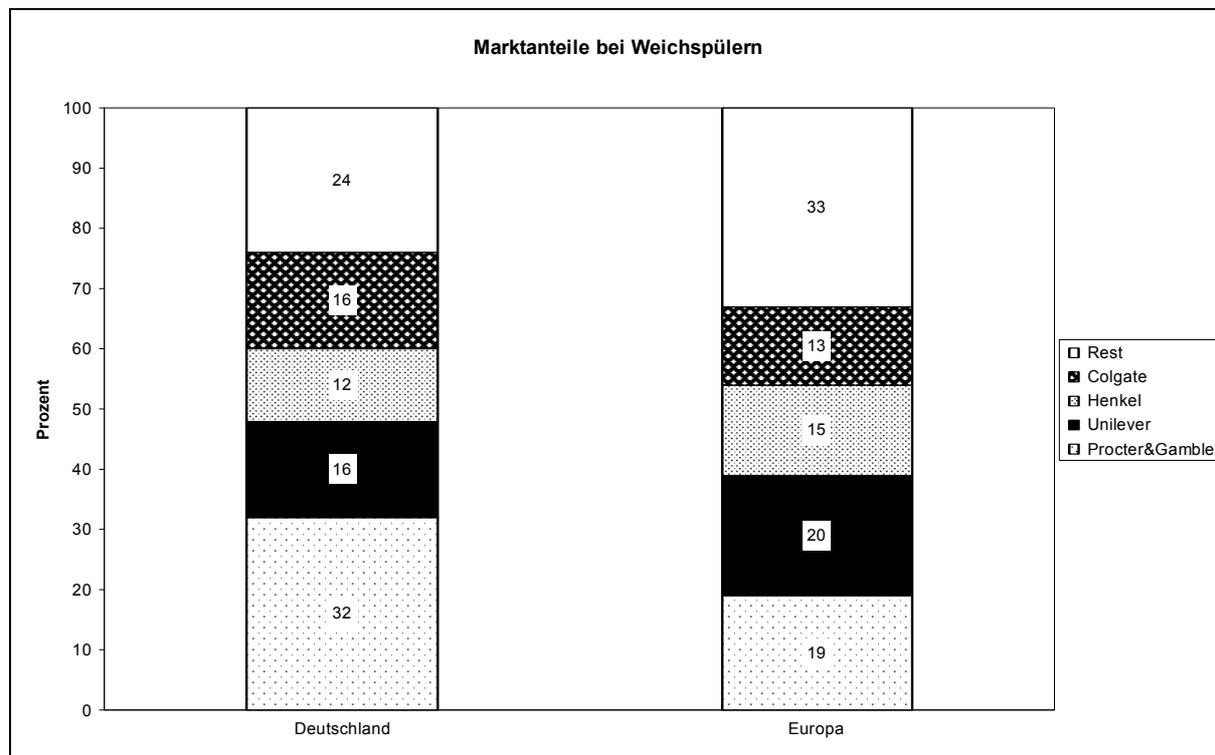


Abb. 1: Marktanteile bei Weichspülern (Quelle: Uhl et al. 1998)

Weichspüler wurden eingeführt, um nach dem Waschen „weiche Wäsche“ zu erhalten. Im Laufe der Zeit haben sich die Anforderungen an den Nutzen des Produktes verändert. Zwar ist „weiche Wäsche“ immer noch der Kernnutzen des Produktes, von Seiten der Hersteller werden jedoch auch die Zusatznutzen (schnelleres Trocknen im Wäschetrockner, geringere antistatische Aufladung, erhöhter Tragekomfort, weniger Falten, schnelleres und einfacheres Bügeln, weniger Faserabrieb und verbesserter Farbschutz und somit längerer Werterhalt) (Uhl et al. 1998) hervorgehoben.

Doch die Benutzung von Weichspülern hat auch negative Effekte auf den Gebrauchsnutzen: Wäsche, die mit Weichspülern gewaschen wurde, kann weniger Wasser aufnehmen, was gerade z.B. bei Frotteehandtüchern eher unpraktisch ist. Die Hersteller arbeiten daran, durch Zusatz weiterer Chemikalien diesen „Negativnutzen“ zu kompensieren (Uthoff 1999, persönliche Mitteilung). Allerdings könnte sich dadurch der oben beschriebene Zusatznutzen ändern, da eine bessere Aufnahme von Wasser vermutlich auch den Restfeuchtegehalt der Wäsche nach dem Schleudern erhöhen würde. Somit würde dann das Trocknen im Wäschetrockner auch wieder mehr Zeit und Energie beanspruchen.

Procter & Gamble (Uhl et al. 1998) beschreibt den Nutzen der heutigen „Weichpfleger“ (früher: Weichspüler) wie folgt:

- erhöhter Tragekomfort durch weiche und frische Wäsche, sowie durch geringere antistatische Aufladung (85-99 %);
- 7 % weniger Energieverbrauch beim Trocknen der Wäsche im Wäschetrockner; außerdem setzen Haushalte mit Wäschetrocknern, die Weichspüler verwenden, weniger häufig (etwa 8 %) den Wäschetrockner ein;
- schnelleres und einfacheres Bügeln: bei Verwendung von Weichspülern wird die Bügelwäsche bei reiner Baumwolle um die Hälfte reduziert, bezogen auf die gesamte Bügelwäsche ergibt sich so eine Reduktion um 17 %. Außerdem ist weichgespülte Wäsche leichter zu bügeln, es ergibt sich eine Zeiteinsparung von 25 %.

Die Energieeinsparung durch Weichspüler wird von Procter & Gamble mit 62 kWh pro Jahr für Haushalte **mit** Wäschetrocknern angegeben und mit 80 kWh pro Jahr und Haushalt für das Bügeln (Procter & Gamble 1998).

Opgenorth hingegen stellt in ihrer Untersuchung fest, dass die Verwendung von Weichspülern zwar bei Frottiertergewebe nach dem Schleudern zu einer Reduktion der Restfeuchte führt, dass dies bei Baumwollflachgewebe jedoch nicht der Fall ist. Sie vermutet dass „es auf die gute Schleuderleistung der Waschmaschinen zurückzuführen ist, dass bei Baumwolle durch den Einsatz der Weichspüler keine signifikante Verringerung der Restfeuchte erreicht wird“ (Opgenorth 1990, S. 99). Denn schon ohne Einsatz von Weichspülern ist die Restfeuchte der Baumwollflachgewebe gering (< 60 %).

Zusammenfassend kann man daher sagen, dass es keine wissenschaftlich belegte und differenzierte Aussage zum tatsächlichen Zusatznutzen der Weichspüler gibt. Die tatsächliche Energiereduktion ist auf alle Fälle abhängig von der Wäscheart, der Art der eingesetzten Wäschetrockner, dem Bügelverhalten etc. Um diesen Aspekt abschließend zu klären, wäre eine differenzierte experimentelle Untersuchung und Veröffentlichung sinnvoll.

Weichspüler werden auf dem Markt in großer Vielfalt angeboten. Die drei großen Waschmittelhersteller (Henkel, Unilever, Procter & Gamble) und Colgate-Palmolive bieten alle auch einen Weichspüler an, z.T. auch in Kombination mit Waschmitteln. Im Unterschied zu den Waschmitteln folgen die Dosierungsangaben bei Weichspülern nicht einheitlichen Kategorien<sup>3</sup>. So gibt *Procter & Gamble* die Dosierungen für „sehr weich“, und „weich“ an, *Henkel* für die Kategorien „Frottee/reines Baumwollgewebe“, „Mischgewebe/reine Wolle“ und „Synthetikgewebe“, *Colgate-Palmolive* für „Frottee/reines Baumwollgewebe“, „Mischgewebe/reine Wolle“, „Synthetikgewebe/Wäschetrockner“ und *Unilever* für „Frottee/reines Baumwollgewebe“ und „alle anderen Gewebe“ (vgl. Tabelle 1). Colgate-Palmolive gibt als einziger Hersteller an, dass die Dosierempfehlung für 4-5 kg Trockenwäsche gilt. Keiner der

---

<sup>3</sup> Waschmitteldosierungen werden für die Kategorien leicht, normal und stark verschmutzt und für unterschiedliche Wasserhärtebereiche angegeben.

Hersteller macht nachvollziehbare Angaben zur Ergiebigkeit des Weichspülers<sup>4</sup>: Procter & Gamble gibt eine „Mindestlaugenmenge“<sup>5</sup> an, Unilever und Colgate-Palmolive einen „Mindestlaugenliter“<sup>6</sup>. Auch die Angaben für Handwäsche variieren sehr stark: von 2 ml bis 18 ml für 10 l Wasser. Henkel macht keine Angaben, für welche Wassermenge die angegebene Weichspülerdosierung bei Handwäsche gedacht ist.

Die Verpackung der Weichspüler ist ebenfalls nicht einheitlich: weder für die Verpackungsgrößen noch für die Verpackungsmaterialien. So ist der Weichspüler von Procter & Gamble fast ausschließlich im Nachfüllpack aus Karton mit Plastik-Inlet erhältlich, während andere Hersteller (Henkel, Colgate-Palmolive, Unilever) neuerdings den „Öko-Leicht-Pack“ bzw. die „Leichtflasche“ aus PE oder PET anbieten.

Ebenso variiert die Zusammensetzung der Inhaltsstoffe: Procter & Gamble und Henkel geben auf ihren Produkten 15-30 % kationische Tenside an, Colgate-Palmolive 5-15 % und Unilever < 5 % nichtionische Tenside und 5-15 % kationische Tenside (vgl. Tabelle 1).

Weiterhin enthalten Weichspüler bestimmte Hilfsstoffe für die Formulierung und Parfüme. Diese Stoffe werden auf der Verpackung nicht deklariert. Gerade jedoch bei den Parfümen wären Angaben über die Inhaltsstoffe sinnvoll, da einige der eingesetzten Verbindungen unter ökologischen und gesundheitlichen Gesichtspunkten bedenklich sein können.

Tab. 1: Weichspüler verschiedener Hersteller: Dosierung und Tenside

Produkt	Hersteller	Dosierung	Tenside
Lenor Care	Procter & Gamble	sehr weich (2 Federn): 35 ml weich (1 Feder): 28 ml Handwäsche 18 ml für 10 l	15-30 % kationische Tenside
Vernel Rosenblüte	Henkel	Frottee/reines Baumwollgewebe: 36 ml Mischgewebe/reine Wolle: 24 ml Synthetikgewebe/Handwäsche: 12 ml	15-30 % kationische Tenside
Softlan ultra	Colgate-Palmolive	Frottee/reines Baumwollgewebe: 36 ml Mischgewebe/reine Wolle: 24 ml Synthetikgewebe/Wäschetrockner: 18 ml Handwäsche: 2,5 ml für 10 l	5-15 % kationische Tenside
Kuschelweich	Unilever	Frottee/reines Baumwollgewebe: 35 ml alle anderen Gewebe: 18 ml Handwäsche: 2 ml für 10 l	< 5 % nichtionische Tenside; 5-15 % kationische Tenside
Kuschelweich Vitality	Unilever	Frottee/reines Baumwollgewebe: 35 ml alle anderen Gewebe: 18 ml Handwäsche: 2 ml für 10 l	< 5 % nichtionische Tenside; 5-15 % kationische Tenside

<sup>4</sup> Analog der sogenannten „Ergiebigkeit“ bei Waschmitteln, die angibt, wieviel Kilogramm normal verschmutzter Wäsche bei einer Beladung von 4,5 kg mit 1 kg des Waschmittels gewaschen werden können.

<sup>5</sup> Mindestlaugenmenge: 556 l mit 1.000 ml Konzentrat (Lenor Care, Weichspülerkonzentrat von Procter & Gamble).

<sup>6</sup> Mindestlaugenliter: 3.560 l (Kuschelweich Vitality, Weichspülerkonzentrat von Lever).

Da der mögliche oder tatsächliche Zusatznutzen (eine differenzierte experimentelle Untersuchung steht, wie gerade dargelegt, noch aus) zu Energieeinsparungen beim Trocknen der Wäsche mit Wäschetrocknern und beim Bügeln führen könnte, wird in den folgenden Kapiteln eine kurze Einführung zu Wäschetrocknern und zu Bügeln gegeben.

## 2.2 Wäschetrocknen und Wäschetrockner

Wäschetrockner<sup>7</sup> stehen in 29 % (1997) der deutschen Haushalte zum Trocknen der Wäsche. Während die Marktsättigung in den alten Bundesländern bei 34 % liegt, beträgt sie in den neuen Bundesländern 7 % mit steigender Tendenz. Seit 1980 hat sich der Anteil von Wäschetrocknern in Haushalten in den alten Bundesländern mehr als verdreifacht. Die größte Nachfrage für den Neukauf von Wäschetrocknern besteht in Zwei- bis Vier-Personen-Haushalten (vgl. Tabelle 2).

Haushaltskundenbefragungen der deutschen Energieversorger (HEA 1998a) ergaben<sup>8</sup>, dass

- 27,3 % der Haushalte Wäsche mit einem Wäschetrockner trocknen,
- 2,6 % der Haushalte in einer Gemeinschaftsanlage Wäsche trocknen,
- 92 % der Haushalte Wäsche auf der Wäscheleine oder dem Wäscheständer trocknen.

Tab. 2: Absatz von Wäschetrocknern nach der Haushaltsgröße 1997 (HEA 1998a, S. 4)

Haushaltsgröße	Anteil der Haushaltstypen an den Haushalten insgesamt in %	Anteil der Käufe in %
1-Personen-Haushalt	30,1	14,3
2-Personen-Haushalt	30,9	34,6
3-Personen-Haushalt	18,5	20,5
4-Personen-Haushalt	14,7	21,1
5-Personen-Haushalt und mehr	5,8	9,5

1996 verbrauchten die Wäschetrockner in den deutschen Haushalten insgesamt 2.990 Millionen kWh Strom<sup>9</sup> - das entspricht 2,3 %<sup>10</sup> bzw. 2,7 %<sup>11</sup> des Haushaltsstrom-

<sup>7</sup> Unter „Wäschetrockner“ werden im Folgenden immer elektrische Wäschetrockner verstanden.

<sup>8</sup> Mehrfachnennungen möglich.

<sup>9</sup> Diese Angabe wird der Berechnung des durchschnittlichen Stromverbrauchs eines Wäschetrockners in den Szenarien zugrunde gelegt (vgl. Kapitel 5, Fußnote 28).

<sup>10</sup> Anteil am Haushaltsstromverbrauch einschließlich Elektrospeicherheizungen.

<sup>11</sup> Anteil am Haushaltsstromverbrauch ohne Elektrospeicherheizungen und Elektrowärmepumpen.

verbrauchs. Der Anteil der Wäschetrockner am Haushaltsstromverbrauch hat sich damit seit 1980 (0,8 %) nahezu verdreifacht (HEA 1998a). Nach Haushaltsgrößen ergibt sich folgender durchschnittlicher Jahresstromverbrauch für Wäschetrockner (vgl. Tabelle 3):

Tab. 3: Durchschnittlicher Jahresstromverbrauch für Wäschetrockner nach Haushaltsgrößen 1995 (HEA 1998a, S. 5)

Haushaltsgröße	Stromverbrauch in kWh
1-Personen-Haushalte	135
2-Personen-Haushalte	235
3-Personen-Haushalte	340
4-Personen-Haushalte und mehr	480

Wäschetrockner werden als Ablufttrockner und Kondensationstrockner angeboten. Ihr Marktanteil liegt seit einigen Jahren nahezu unverändert bei jeweils 50 %. Darüber hinaus gibt es bei Wäschetrocknern zwei unterschiedliche Steuerungssysteme: Zeitsteuerung und Feuchtigkeitssteuerung<sup>12</sup>. 1996 wurden 30 % zeitgesteuerte und 70 % feuchtigkeitsgesteuerte Wäschetrockner verkauft. Der Stromverbrauch<sup>13</sup> für Abluft- und Kondensationstrockner hängt von der Wäscheart und der Restfeuchte bzw. der Schleuderdrehzahl der Waschmaschinen ab (vgl. Tabelle 4 und Tabelle 5):

Tab. 4: Stromverbrauch eines Ablufttrockners nach Wäscheart und Trocknungsgrad (HEA 1998a)

		Baumwolle	Baumwolle	Pflegeleicht	
		schrantrocken	bügelfeucht	schrantrocken	
Schleuderdrehzahl in U/min	Restfeuchte (RF) in %	Stromverbrauch in kWh	Stromverbrauch in kWh	Stromverbrauch in kWh (RF 50 %)	Stromverbrauch in kWh/Jahr
800	70	3,30	2,60	1,15	313,60
1.000	60	2,80	2,10		270,60
1.100	k.A.	2,70	2,00		262,00
1.200	55	2,60	1,90		253,40
1.400	50	2,45	1,75		240,50
1.600	44	2,20	1,50		219,00

<sup>12</sup> Feuchtigkeitsgesteuerte Wäschetrockner messen den Restfeuchtegehalt der Wäsche und schalten automatisch bei Erreichen des gewünschten Trocknungsgrades ab.

<sup>13</sup> Der Jahresstromverbrauch wird für einen 4-Personen-Haushalt berechnet, bei dem pro Jahr 580 kg Wäsche für den Wäschetrockner anfallen. Folgende Nutzung wurde für Wäschetrockner mit einem Fassungsvermögen von 5 kg zugrunde gelegt (nach EU-Datenblatt, zitiert in HEA 1998):

- 150 kg Wäsche für das Programm Baumwolle, schrantrocken (= 30 Programme à 5 kg p.a.)
- 280 kg Wäsche für das Programm Baumwolle, bügelfeucht (= 56 Programme à 5 kg p.a.)
- 150 kg Wäsche für das Programm Pflegeleicht, schrantrocken (= 60 Programme à 2,5 kg p.a.)

Tab. 5: Stromverbrauch eines Kondensationstrockners nach Wäscheart und Trocknungsgrad (HEA 1998a)

		Baumwolle	Baumwolle	Pflegeleicht	
		schrantrocken	bügelfeucht	schrantrocken	
Schleuderdrehzahl in U/min	Restfeuchte (RF) in %	Stromverbrauch in kWh	Stromverbrauch in kWh	Stromverbrauch in kWh (RF 50 %)	Stromverbrauch in kWh/Jahr
800	70	3,50	2,75		337,00
1.000	60	2,90	2,30		293,80
1.100	k.A.	2,85	2,20	1,30	286,70
1.200	55	2,80	2,10		279,60
1.400	50	2,60	1,85		259,60
1.600	44	2,30	1,60		236,60

Die Tabellen zeigen deutlich, dass die Bandbreite im Energieverbrauch bei Wäschetrocknern sehr groß ist. Für die Szenarien (Kapitel 5) wird daher (analog dem Vorgehen bei Waschmaschinen) der Verbrauch eines durchschnittlichen Wäschetrockners zugrunde gelegt. Dieser Verbrauch wird aus den Angaben zum jährlichen Stromverbrauch für Wäschetrockner in Haushalten berechnet (HEA 1998a; vgl. Kapitel 5, Fußnote 28).

Im Hinblick auf den Energieverbrauch und die möglichen Energieeinsparungen, die mit dem Einsatz von Weichspülern verknüpft sein könnten, kann folgendes Resümee gezogen werden:

- 29 % der Haushalte besitzen einen Wäschetrockner (HEA 1998a) – nur bei diesen Haushalten kann es durch die Benutzung von Weichspülern überhaupt zu Einsparungen beim Trocknen kommen.
- Stromeinsparungen aufgrund des geringeren Restfeuchtegehaltes der Wäsche kann man nur mit Wäschetrocknern erzielen, die feuchtigkeitsgesteuert sind und bei geringerer Restfeuchte entsprechend früher abschalten. 1996 waren 70 % der verkauften Wäschetrockner feuchtigkeitsgesteuert.

Mögliche Einspareffekte aufgrund einer geringeren Trocknerlaufzeit sind damit nur bei höchstens 20 % der Haushalte relevant (bei den Haushalten, die einen feuchtigkeitsgesteuerten Wäschetrockner besitzen).

## 2.3 Bügeln

### 2.3.1 Häufigkeit des Bügelns

In nahezu jedem deutschen Haushalt steht ein Bügelgerät, in der Regel ein Bügeleisen. In den alten Bundesländern besitzen 98 % der Haushalte ein Bügelgerät, in den neuen Bun-

desländern 97 % der Haushalte (1994). Pro Jahr werden rund 5,39 Millionen Bügelgeräte verkauft, davon 75 % Dampfbügeleisen. Von geringerer Marktbedeutung sind Bügelmaschinen, 9 % der Haushalte in den alten Bundesländern und 5 % der Haushalte in den neuen Bundesländern besitzen eine Bügelmaschine. 1995 lag das Marktvolumen für Bügelmaschinen bei ca. 35.000 Stück (HEA 1996).

Die Existenz eines Bügelgerätes in einem Haushalt sagt allerdings wenig über den Umfang des Bügelns aus. Der Umfang des Bügelns hängt von der Art der Wäsche (z.B. Pflegeleicht, Baumwolle, Oberhemden, Frottierhandtücher), der Häufigkeit des Wäschewechsels, aber auch von den Ansprüchen der Verbraucher ab.

### 2.3.2 Energieverbrauch

Die Heizleistung eines Trockenbügeleisens liegt zwischen 1.000 W und 1.200 W, die eines Dampfbügeleisens zwischen 1.200 W und 1.900 W. Der Stromverbrauch dieser Bügeleisen wird von der HEA mit 0,22-0,32 kWh pro Kilogramm gebügelte Wäsche angegeben (HEA 1996). Vorausgesetzt wird, dass die Wäsche einen „bügelgerechten Feuchtegehalt“ (d.h. 10-15 % beim Trockenbügeleisen und 15-20 % beim Dampfbügeleisen) aufweist. Der Energieverbrauch ist abhängig von der Art der zu bügelnden Wäsche (Faserart, Pflegeleicht etc.), der Bügeleisenleistung und dem Bügelverhalten.

Für Dampfbügeleisen wird ein von der Dampfmenge abhängiger Verbrauchswert pro Stunde von 0,35-0,55 kWh angegeben (HEA 1996).

Dürr und Hilmer geben den Energieverbrauch beim Bügeln (Dürr und Hilmer 1984) wie folgt an (vgl. Tabelle 6):

Tab. 6: Energieverbrauch beim Bügeln pro 3,1 kg Wäsche (Dürr und Hilmer 1984)

	Bügeleisen		Bügelmaschine	
	Trockenbügeleisen [kWh]	Dampfbügeleisen [kWh]	Trockenbügel- maschine [kWh]	Dampfbügel- maschine [kWh]
Mischposten (gesamt) <sup>14</sup>	0,560	0,890	1,020	1,850
<b>nach Bügeltyp:</b>				
Pflegeleicht	0,680	1,190	1,010	2,270
Einsprengwäsche	0,430	0,580	0,960	1,350
<b>nach Form:</b>				
Formteile	0,710	1,190	1,400	2,650
glatte Teile	0,410	0,590	0,630	1,010

<sup>14</sup> Mischposten: 50 % Einsprengwäsche (Baumwoll- und Leinenwäsche), davon 75 % glatte Teile und 25 % Formteile; 50 % pflegeleichte Wäsche (Mischgewebe, Chemiefaser), davon 25 % glatte Teile und 75 % Formteile (Dürr und Hilmer 1984).

Cognis gibt den Energieverbrauch beim Bügeln eines ca. 0,3 kg schweren Hemdes aus Baumwoll-Polyester-Mischgewebe mit 0,38 MJ (ca. 0,106 kWh) an und den eines ca. 0,3 kg schweren Hemdes aus reiner Baumwolle mit 1,17 MJ (ca. 0,325 kWh) (Cognis 1993).

Nach Angaben von RWE benötigt ein Dampfbügeleisen (Leistung: 1.200-1.850 W) ca. 1-3 Minuten zum Aufheizen ( $\cong$  0,020-0,093 kWh). Die maximale Bügeldauer pro Tankfüllung beträgt nach diesen Angaben 20-45 Minuten, das Bügeleisen produziert 10-22 g Dampf pro Minute (RWE 1997).

Legt man die Angaben von Dürr und Hilmer für den Energieverbrauch zugrunde (Dürr und Hilmer 1984), so würden dementsprechend ca. 2,3-10,5 % der insgesamt benötigten Energie zum Aufheizen des Dampfbügeleisens benötigt.

Offensichtlich sind die Bügelweisen bei Verbrauchern sehr unterschiedlich. Es existiert jedoch keine Literatur, die hierzu genaue Angaben macht. Daher wird im Folgenden die mittlere Bügelenergie (Dürr und Hilmer 1984) angenommen (konservative Annahme), die als tendenziell eher zu tief liegend eingeschätzt werden muss.

### 2.3.3 Zeitbedarf zum Bügeln einzelner Wäscheposten

Nach Angaben von Dürr und Hilmer, die in ihrer Untersuchung einen durchschnittlichen Bügelposten zusammengestellt haben, benötigt man zum Bügeln durchschnittlich folgende Zeit (Dürr und Hillmer 1984) (vgl. Tabelle 7):

Tab. 7: Arbeitszeit beim Bügeln pro 3,1 kg Wäsche in Minuten (Dürr und Hilmer 1984)

	Bügeleisen		Bügelmaschine	
	Trockenbügeleisen [min]	Dampfbügeleisen [min]	Trockenbügel- maschine [min]	Dampfbügel- maschine [min]
Vorbereiten				
Gesamt	16,1	13,6	19,1	17,6
davon:				
Wäsche	11,1	6,6	11,1	6,6
Arbeitsplatz und Gerät	5,0	7,0	8,0	11,0
Bügeln	96,8	84,6	56,0	53,9
<b>Gesamt</b>	<b>112,9</b>	<b>98,2</b>	<b>75,1</b>	<b>71,5</b>

Das heißt, dass beim Bügeln mit einem Bügeleisen etwa 15 % der Gesamtarbeitszeit zur Vorbereitung benötigt werden, bei einer Bügelmaschine etwa 25 %.

Nach Art der zu bügelnden Wäsche aufgeschlüsselt, ergibt sich folgender Zeitbedarf (vgl. Tabelle 8):

Tab. 8: Bügelzeit pro Kilogramm Wäsche in Minuten (Dürr und Hilmer 1984)

	Bügeleisen		Bügelmaschine	
	Trockenbügelleisen [min]	Dampfbügelleisen [min]	Trockenbügel- maschine [min]	Dampfbügel- maschine [min]
Mischposten (gesamt)	31,2	27,3	18,1	17,4
<b>nach Bügeltyp:</b>				
Pflegeleicht	44,6	38,2	26,5	25,4
Einsprengwäsche	18,1	16,7	9,8	9,8
<b>nach Form:</b>				
Formteile	43,2	37,9	29,6	27,7
glatte Teile	19,7	17,1	6,9	6,8

Das Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL 1996) untersuchte Arbeitszeiten und Kosten für verschiedene Wäscheposten für die Bereiche „Waschen“, „Trocknen“, „Bügeln“ und „Zusammenlegen“. Es wird nach Waschtemperaturen unterschieden. Die Arbeitszeiten<sup>15</sup> werden wie folgt angegeben (vgl. Tabelle 9):

Tab. 9: Arbeitszeiten in Minuten für gemischte Wäscheposten<sup>16</sup> bei einer 4,5 kg-Waschmaschine (KTBL 1996)

	Kochwäsche 95 °C	Normalwäsche 60 °C	Normalwäsche 40 °C	Pflegeleichtwäsche 40 °C
Waschen	5,8	5,8	5,8	4,8
Trocknen <sup>17</sup>	1,2	1,2	1,2	0,5
Bügeln <sup>18</sup>	113,7	94,8	94,8	27,4
Zusammenlegen	2,6	34,2	34,2	-
<b>Summe</b>	<b>123,3</b>	<b>136,0</b>	<b>136,0</b>	<b>32,7</b>

<sup>15</sup> Die Gesamtarbeitszeit enthält für

„Waschen“: Rüstzeiten, nicht vermeidbare Verlustzeiten, sowie Tätigkeitszeiten für das Sortieren der Wäsche, das Be- und Entladen der Waschmaschine. Nicht enthalten sind ausnutzbare Wartezeiten, z.B. durch Maschinenlaufzeiten;

„Trocknen im Trockner“: Rüstzeiten, nicht vermeidbare Verlustzeiten, sowie Tätigkeitszeiten für das Be- und Entladen des Wäschetrockners. Nicht enthalten sind ausnutzbare Wartezeiten, z.B. durch Maschinenlaufzeiten;

„Bügeln“: Rüstzeiten, nicht vermeidbare Verlustzeiten, sowie Tätigkeitszeiten für das Legen der Wäsche zum Bügeln, das Zusammenlegen nach dem Bügeln, Tätigkeitszeiten für das Legen der Wäsche zum Zusammenlegen, sowie das Zusammenlegen (KTBL 1996).

<sup>16</sup> Gemischte Wäscheposten setzen sich aus glatten und geformten Wäscheteilen zusammen.

<sup>17</sup> Trocknen im Wäschetrockner mit 4,5 kg Fassungsvermögen. Bei Trocknen auf der Leine erhöht sich die Arbeitszeit um etwa das 7,5-fache.

<sup>18</sup> Bügeln mit einem Dampfbügeleisen, die Bügelzeit erhöht sich um etwa das 3-fache bei Benutzung eines Reglerbügeleisens.

Nach Angaben von Pichert und Dürr (Pichert und Dürr 1985, zitiert in Baier und Zeindlmeier 1997) benötigt ein Haushalt pro Woche und Person zwischen 28 Minuten und 68 Minuten für das Bügeln. Der genaue Zeitbedarf ist auch abhängig von der Häufigkeit des Wäschewechsels.

Aus den Angaben von Dürr und Hilmer (Dürr und Hillmer 1984) (vgl. Tabelle 7), sowie von Pichert und Dürr (Pichert und Dürr 1985), kann man überschlägig abschätzen, wieviel Wäsche ein durchschnittlicher Haushalt pro Jahr bügelt, nämlich rund 150 kg bzw. rund 30 % der Wäsche<sup>19</sup>.

### 2.3.4 Vergleich Wäschetrockner, Leinentrocknung und Bügeln

Der Vergleich des Stromverbrauchs durch Leinentrocknung plus Bügeln und Wäschetrockner plus Bügeln sieht wie folgt aus (vgl. Tabelle 10):

Tab. 10 Vergleich des Stromverbrauchs von Leinentrocknung, Wäschetrockner und Bügeln (HEA 1998a)

	<b>Leinentrocknung Stromverbrauch in kWh</b>	<b>Kondensationstrockner Stromverbrauch in kWh</b>
5 kg trocknen:	-	
- bis „bügelfeucht“		1,8
- 1,5 kg bis „schranktrocken“		0,4
Wäsche bügeln	1,4 (5 kg Wäsche)	0,8 (3,5 kg Wäsche)
<b>Gesamt</b>	<b>1,4</b>	<b>3,0</b>

Aus den obigen Daten kann man zusammenfassend schlussfolgern, dass ca. 30 % der Wäsche gebügelt wird und dass man zum Bügeln von 1 kg Wäsche (Mischposten) mit einem Dampfbügeleisen ca. 0,29 kWh Strom verbraucht.

## 2.4 Resümee

Zum Zusatznutzen von Weichspülern (Energieeinsparung beim Trocknen und Bügeln) liegen bisher keine differenzierten experimentellen und wissenschaftlichen Veröffentlichungen vor. Unabhängig davon muss man bei einer Ökobilanz berücksichtigen,

- dass nur 29 % der Haushalte einen Wäschetrockner besitzen,

<sup>19</sup> Durchschnittliche Bügelzeit pro Woche: 48 Minuten pro Person; Zeitbedarf zum Bügeln von 3,1 kg Wäsche (Trocken- und Dampfbügeleisen): ca. 105 Minuten; durchschnittliche Haushaltsgröße: 2,2 Personen; Gesamtwäscheanfall (Durchschnittshaushalt Wischi-Waschi): 500 kg (vgl. Griefshammer et al. 1997).

- dass nicht alle Wäschetrockner feuchtigkeitsgesteuert sind (1996 lag der Marktanteil bei 70 % der verkauften Wäschetrockner) und
- dass nur rund 30 % der Wäsche gebügelt wird.

Somit kann man davon ausgehen, dass nur in den Haushalten, die einen feuchtigkeitsgesteuerten Wäschetrockner besitzen (maximal 20 % der Haushalte), die optimalen Energieeinsparungen beim Trocknen und Bügeln genutzt werden können.

Mögliche Energieeinsparungen durch den Gebrauch von Weichspülern (Uhl et al. 1998) kann es nur bei dieser eingeschränkten Zahl von Haushalten und Bügelposten (30 %) geben.

Uhl et al. geben folgende Energieeinsparungen als Zusatznutzen von Weichspülern an (Uhl et al. 1998):

- 8 % geringerer Energieverbrauch beim Trocknen von Wäsche im Wäschetrockner aufgrund eines niedrigeren Wäscheanfalls für den Wäschetrockner (die Wäsche ist bereits weich genug);
- 7 % geringerer Energieverbrauch beim Trocknen von Wäsche im Wäschetrockner aufgrund geringerer Trocknerlaufzeiten wegen des niedrigeren Feuchtegehalts der mit Weichspüler gewaschenen Wäsche;
- 17 % weniger Bügelwäsche, da die Wäsche durch die Verwendung von Weichspülern z.T. nicht mehr gebügelt werden muss;
- 25 % weniger Zeitbedarf für das Bügeln, da die Wäsche leichter zu bügeln ist.

Da bisher zu den möglichen oder tatsächlichen Zusatznutzen von Weichspülern keine differenzierte experimentelle wissenschaftliche Veröffentlichung vorliegt, muss entschieden werden, welche der Angaben als Grundlage für eine ökobilanzielle Untersuchung verwendet werden können.

- **Wäschetrockner**

Durch die Verwendung von Weichspülern wird die gewaschene Wäsche weich (Kernnutzen des Produktes) und daher wird der Wäschetrockner weniger häufig eingesetzt. Diese Angabe erscheint plausibel und für alle Haushalte, die einen Wäschetrockner besitzen, zutreffend. Die genaue Höhe der möglichen Einsparung müsste allerdings noch verifiziert werden. Im Rahmen dieser Untersuchung wird die Angabe von Procter & Gamble (Uhl et al. 1998) zugrunde gelegt: durch den Einsatz von Weichspülern können 8 % Energie beim Trocknen der Wäsche im Wäschetrockner eingespart werden. Diese Annahme wird den Basisszenarien zugrunde gelegt (vgl. Kapitel 5).

Durch die Verwendung von Weichspülern reduziert sich der Feuchtigkeitsgehalt der Wäsche. Dadurch kann beim Trocknen der Wäsche im Wäschetrockner Energie eingespart werden. In den vorangegangenen Kapiteln wurde gezeigt, dass es dazu, ob weichgespülte Wäsche einen reduzierten Feuchtigkeitsgehalt aufweist, widersprüchliche Aussagen gibt. Tatsache ist jedoch, dass feuchtigkeitsgesteuerte Wäschetrockner für Wäsche mit geringerem Restfeuchtegehalt eine geringere Trockenzeit benötigen. Dieser Typ Wäschetrockner steht jedoch in höchstens 20 % der deutschen Haushalte (wenn man die Verkaufszahlen von 1996 zugrunde legt). Da die Angaben zur Reduktion der Restfeuchte widersprüchlich sind und zudem auch zum realen Anteil feuchtigkeitsgesteuerter Wäschetrockner in Haushalten keine Angaben vorliegen, wird diese mögliche Energieeinsparung in den Basisszenarien nicht berücksichtigt. Sie wird jedoch in zusätzlichen Szenarien einbezogen, um die möglichen Effekte einer solchen Einsparung aufzuzeigen (vgl. Kapitel 5).

- **Bügeln**

Durch die Verwendung von Weichspülern wird die Wäsche weicher und weniger knittrig. Daher wird weniger Wäsche gebügelt. Diese Aussage erscheint plausibel und für alle Haushalte, die Weichspüler verwenden, gleichermaßen zutreffend. Die Höhe der Energieeinsparung müsste hingegen noch verifiziert werden. Im Rahmen dieser Untersuchung wird die Angabe von Procter & Gamble (Uhl et al. 1998) zugrunde gelegt: durch den Einsatz von Weichspülern können 17 % Energie beim Bügeln der Wäsche eingespart werden. Diese Annahme wird den Basisszenarien zugrunde gelegt (vgl. Kapitel 5).

Durch die Verwendung von Weichspülern ist die Wäsche leichter und damit schneller zu bügeln. Wie in den vorangegangenen Kapiteln gezeigt wurde, hängt die tatsächliche Bügelzeit stark von der Art des Bügelns und den bügelnden Personen ab. Daher erscheint eine einheitliche Angabe zur Reduktion der Bügelzeit nicht möglich. Diese Angabe wird daher nur in zusätzlichen Szenarien verwendet (vgl. Kapitel 5).

### **3. Methodisches Vorgehen bei der Ökobilanz**

Ökobilanzen werden seit etwa zehn bis 15 Jahren in größerer Anzahl und Detailtiefe bearbeitet. Die hierbei verwendete Methodik hat sich parallel dazu entwickelt. Inzwischen sind Ökobilanzen eine international eingeführte und anerkannte Methode, um im Rahmen einer Systembetrachtung die durch Produkte, Prozesse oder Dienstleistungen hervorgerufenen Umweltbelastungen entlang der verschiedenen Produkt- und Prozessphasen transparent zu machen, ökologische Optimierungspotenziale offenzulegen und Entscheidungen vorzubereiten.

reiten. Mit der Rahmennorm DIN EN ISO 14040<sup>20</sup>, sowie den konkretisierenden Normen DIN EN ISO 14041 bis 14043<sup>21</sup> ist es inzwischen gelungen, bei den wichtigsten methodischen und prozeduralen Anforderungen, sowie auf begrifflicher Ebene eine internationale Übereinkunft zu schaffen.

Tab. 11: Grundstruktur und Bestandteile von Ökobilanzen  
(eigene Zusammenstellung nach DIN EN ISO 14040)

<b>Bestandteil</b>	<b>Inhalt</b>
Zielfestlegung und Untersuchungsrahmen	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Festlegung der beabsichtigten Anwendung und der Gründe für die Durchführung, Aufführung der angesprochenen Zielgruppen</li> <li>– Beschreibung und Festlegung der untersuchten Produktsysteme und des Untersuchungsrahmens (Systemgrenzen, Allokationsverfahren, Wirkungskategorien)</li> <li>– Beschreibungen zu den Anforderungen an die bilanzierten Daten</li> <li>– Hinweise zur kritischen Prüfung</li> </ul>
Sachbilanz	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Datensammlung und Berechnungen zur Quantifizierung der stofflichen und energetischen Input- und Outputflüsse der untersuchten Produktsysteme</li> <li>– Beschreibung der Datensammlung und der Berechnungen</li> </ul>
Wirkungsabschätzung	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Beurteilung der Bedeutung potenzieller Umweltwirkungen mit Hilfe der Ergebnisse der Sachbilanz</li> <li>– Zuordnung (Klassifizierung und Charakterisierung) von Sachbilanzdaten zu spezifischen Umweltwirkungen</li> </ul>
Auswertung	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Zusammenfassung der Ergebnisse der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung entsprechend der festgelegten Ziele und des Untersuchungsrahmens</li> <li>– Durchführung von Signifikanz-, Dominanz- und Sensitivitätsanalysen</li> <li>– Ableitung von Schlussfolgerungen und Empfehlungen</li> </ul>

Diese Studie wurde nach DIN EN ISO 14040 durchgeführt. Als Prüfverfahren wurde aufgrund der Zielsetzung der Studie die kritische Prüfung durch interessierte Kreise gewählt (DIN EN ISO 14040, 7.3.3).

<sup>20</sup> DIN EN ISO 14040 (August 1997): Umweltmanagement - Ökobilanz - Prinzipien und allgemeine Anforderungen.

<sup>21</sup> DIN EN ISO 14041 (1998): Umweltmanagement - Ökobilanz - Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens, sowie Sachbilanz; DIN EN ISO 14042 (Juli 2000): Umweltmanagement - Ökobilanz - Wirkungsabschätzung; DIN EN ISO 14043 (Juli 2000): Umweltmanagement - Ökobilanz - Auswertung.

## **4. Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens der orientierenden Ökobilanz**

### **4.1 Zielfestlegung**

Ziel der orientierenden Ökobilanz ist es,

- die ökologische Bedeutung von Weichspülern absolut wie auch relativ im Vergleich zu Waschmitteln und in Waschprozessen zu erfassen,
- den möglichen ökologischen Entlastungseffekt bei der Nutzung von Weichspülern durch Reduktion des Stromverbrauchs beim Trocknen und Bügeln zu analysieren und für verschiedene Haushaltstypen und Wäscheposten zu differenzieren (Haushalte mit und ohne Wäschetrockner, Haushalte mit und ohne Bügeln),
- mögliche Optimierungen und Handlungsoptionen aufzuzeigen.

Die Ökobilanz soll die vorliegende „Ökobilanz Waschen und Waschmittel“ (Grießhammer et al. 1997) ergänzen und – von Aktualisierungen abgesehen – die Grundannahmen dieser Studie zu Waschen und Waschmittel übernehmen.

Aufgrund des orientierenden Charakters der Studie sollen nur folgende Parameter in die Untersuchung einbezogen werden:

- Primärenergieverbrauch,
- Wasserverbrauch,
- Emissionen von Luftschadstoffen (Kohlendioxid, Schwefeldioxid, Stickoxide),
- Treibhauspotenzial,
- Versauerungspotenzial,
- Gewässerbelastungspotenzial (EU-Punkte-Bewertungssystem für Waschmittel)

und es sollen nur Durchschnittswerte und deutsche Haushalte/deutsches Stromnetz einbezogen werden.

### **4.2 Zielgruppe und kritisches Prüfverfahren**

#### **4.2.1 Zielgruppe**

Zielgruppe der Untersuchung sind Verbraucher und Verbraucherverbände/-organisationen, Umweltorganisationen, Hersteller von Weichspülern, Wäschetrocknern und Bügelgeräten und Behörden.

## 4.2.2 Beschreibung des kritischen Prüfverfahrens

DIN EN ISO 14040 sieht für Ökobilanzen, bei denen Vergleiche von Systemen vorgenommen werden und Aussagen hieraus zur Veröffentlichung vorgesehen sind, verbindlich eine sogenannte „Kritische Prüfung“ vor (in Fachkreisen wird hierfür überwiegend der englischsprachige Ausdruck „Critical Review“ verwendet). Damit sollten insbesondere die vor einigen Jahren zu verzeichnenden Trends unterbunden werden, auf der Grundlage von nicht abgesicherten Ökobilanzen werbewirksame Aussagen über Umweltvorteile von Produkten zu veröffentlichen. Nach den Anforderungen der Norm müssen Ökobilanzen mit zu veröffentlichenden vergleichenden Aussagen verbindlich geprüft werden; dabei ist (von drei möglichen) das weitestgehende und aufwendigste Prüfverfahren anzuwenden. Dieses ist dadurch charakterisiert, dass vom Auftraggeber der Ökobilanz ein externer, unabhängiger Sachverständiger ausgewählt wird, der als Vorsitzender eines Prüfungsausschusses wirkt. Der Vorsitzende wählt auf der Grundlage des Ziels, des Untersuchungsrahmens und des für die kritische Begleitung zur Verfügung stehenden finanziellen Rahmens weitere, unabhängige Sachverständige aus. Als Vorsitzender wurde Dr. Rolf Bretz bestimmt, als weiteres Mitglied - wie vom Auftraggeber vorgeschlagen - Herr Nik Geiler. Der Bericht des Critical Review Gremiums befindet sich in Anhang A.7.

## 4.2.3 Grenzen bei der Nutzung der Ergebnisse

Die für einige Parameter in der Ökobilanz ermittelten „Einspareffekte“ durch den Einsatz von Weichspülern stehen unter dem Vorbehalt, dass die experimentellen Erhebungen zur Stromverbrauchsreduktion beim Trocknen und Bügeln einer wissenschaftlichen Überprüfung standhalten. Vor einer entsprechenden Veröffentlichung sollten die Ökobilanzergebnisse nicht für Werbezwecke und politische Diskussionen benutzt werden.

Die Ergebnisse differieren bei den einzelnen Parametern in hohem Maße. Von daher sollte bei Populärveröffentlichungen keine einseitige Auswahl der Parameter erfolgen.

## 4.3 Beschreibung und Festlegung der untersuchten Systeme

### 4.3.1 Festlegung der funktionellen Äquivalenz

Als funktionelle Äquivalenz wurde **1 kg gewaschenes, schrankfertiges Waschgut** festgelegt<sup>22</sup>. Das Waschgut setzt sich aus 40 % Buntwäsche, die bei 30 °C gewaschen wird, 45 %

---

<sup>22</sup> In den Szenarien mit Weichspülerverwendung ist die Wäsche zusätzlich auch „weicher“ (Kernnutzen des Produktes), was im Rahmen dieser Studie jedoch nicht experimentell überprüft wurde. Die hieraus eventuell resultierenden Unterschiede können im Rahmen dieser orientierenden Ökobilanz jedoch vernachlässigt werden.

Buntwäsche, die bei 60 °C gewaschen wird, und 15 % Weisswäsche, die bei 95 °C gewaschen wird, zusammen (Grießhammer et al. 1997). Eine Ausnahme hiervon stellt die Bügelwäsche dar, hier lagen nur Daten für einen gemischten Wäscheposten vor, bestehend aus 50 % Einsprengwäsche (Baumwoll- und Leinenwäsche), davon 75 % glatte Teile und 25 % Formteile, sowie 50 % pflegeleichter Wäsche (Mischgewebe, Chemiefaser), davon 25 % glatte Teile und 75 % Formteile (Dürr und Hilmer 1984), so dass hilfsweise diese Daten für den Bügelprozess verwendet wurden. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die Abweichungen, die sich durch diese Uneinheitlichkeit in der funktionellen Äquivalenz ergeben, für das Gesamtergebnis unerheblich sind.

Dieses Kilogramm Waschgut wird je nach Szenario während des Waschprozesses (Waschen, Trocknen, Bügeln, Zusammenlegen) unterschiedlich weiterbehandelt (vgl. Kapitel 5). Der in Kapitel 2 beschriebene „Zusatznutzen“ von Weichspülern stellt im Sinne der Ökobilanz nur eine systembezogene Energieeinsparung dar, die in den jeweiligen Szenarien berücksichtigt wird.

Daher beziehen sich die durchgeführten orientierenden Bilanzen - sofern nicht explizit anderweitig ausgewiesen - jeweils auf **1 kg** gewaschenes, schrankfertiges Waschgut.

#### 4.3.2 Alternativen und Funktionen der betrachteten System-Alternativen

Die Wasch-, Trocken- und Bügelprozesse werden einmal ohne Verwendung von Weichspüler, einmal mit Verwendung von Weichspülern analysiert. Innerhalb der zwei unterschiedlichen Systeme werden jeweils Einzelszenarien berechnet (mit und ohne elektrischen Wäschetrockner, mit und ohne Bügeln), so dass insgesamt acht Szenarien analysiert werden (vgl. Tabelle 12).

Tab. 12: Szenarien der orientierenden Ökobilanz

Waschen ohne Weichspüler	Waschen mit Weichspüler
O1: Waschen und Trocknen an der Wäscheleine	W1: Waschen mit Weichspüler und Trocknen an der Wäscheleine
O2: Waschen und Wäschetrockner	W2: Waschen mit Weichspüler und Wäschetrockner
O3: Waschen, Trocknen an der Wäscheleine und Bügeln	W3: Waschen mit Weichspüler, Trocknen an der Wäscheleine und Bügeln
O4: Waschen, Wäschetrockner und Bügeln	W4: Waschen und Weichspüler, Wäschetrockner und Bügeln

Im Rahmen der vorliegenden Studie wird nicht experimentell geprüft, ob und in welchem Umfang der jeweils versprochene Nutzen (Wäscheweicheffekt o.ä.) realisiert wird. Es wird davon ausgegangen, dass entsprechende Warentest-Prüfungen an anderer Stelle erfolgen.

### 4.3.3 Sachliche Beschreibung der einbezogenen Systeme

Der Waschprozess in privaten Haushalten besteht im wesentlichen aus den Arbeitsschritten:

- Waschen der sortierten Wäsche in der Waschmaschine mit Zugabe von Waschpulver und eventuell Weichspüler;
- Trocknen der gewaschenen Wäsche (Wäscheleine oder Wäschetrockner);
- Bearbeitung der getrockneten Wäsche (eventuell Bügeln, sowie Zusammenlegen).

Die Arbeitsschritte lassen sich in folgende Prozessschritte unterteilen (vgl. Abbildung 2):

- Produktion des benötigten Waschmittels (Waschmittelinhaltsstoffe und Packstoffe);
- Produktion des benötigten Weichspülers (Weichspülerinhaltsstoffe und Packstoffe);
- Bereitstellung des benötigten Stroms (Waschmaschine, eventuell elektrischer Trockner, eventuell Bügeleisen), sowie des Wassers (Waschmaschine);
- Waschen der verschmutzten Wäsche in einer Waschmaschine;
- Trocknen der gewaschenen Wäsche auf der Wäscheleine oder in einem elektrischen Haushaltswäschetrockner;
- eventuell Bügeln der Wäsche oder eines Teils der Wäsche.

Die anteilige Herstellung der Waschmaschine, des Wäschetrockners und des Bügeleisens wird nicht einbezogen. Für Waschmaschinen liegt sie in der Größenordnung von unter 10 % des Energieverbrauchs bei der Nutzung der Geräte (PA Consulting 1992). Es kann davon ausgegangen werden, dass der Energieverbrauch zur Herstellung von Wäschetrocknern und Bügeleisen prozentual noch geringer liegt, da bei beiden Geräten der Energieverbrauch in der Gebrauchsphase sehr hoch ist (höher als bei Waschmaschinen).

Im Rahmen der Untersuchung wird der Waschprozess **mit** und **ohne** Weichspüler untersucht. Durch die Verwendung von Weichspülers ergeben sich Auswirkungen auf die nachfolgenden Arbeitsschritte (Trocknen, Bügeln). In den acht unterschiedlichen Szenarien werden diese Auswirkungen berücksichtigt.

Weitere Detailannahmen (Zusammensetzung der Weichspüler, der Waschmittel, der Wäscheposten etc.) werden im laufenden Text dargestellt und begründet.

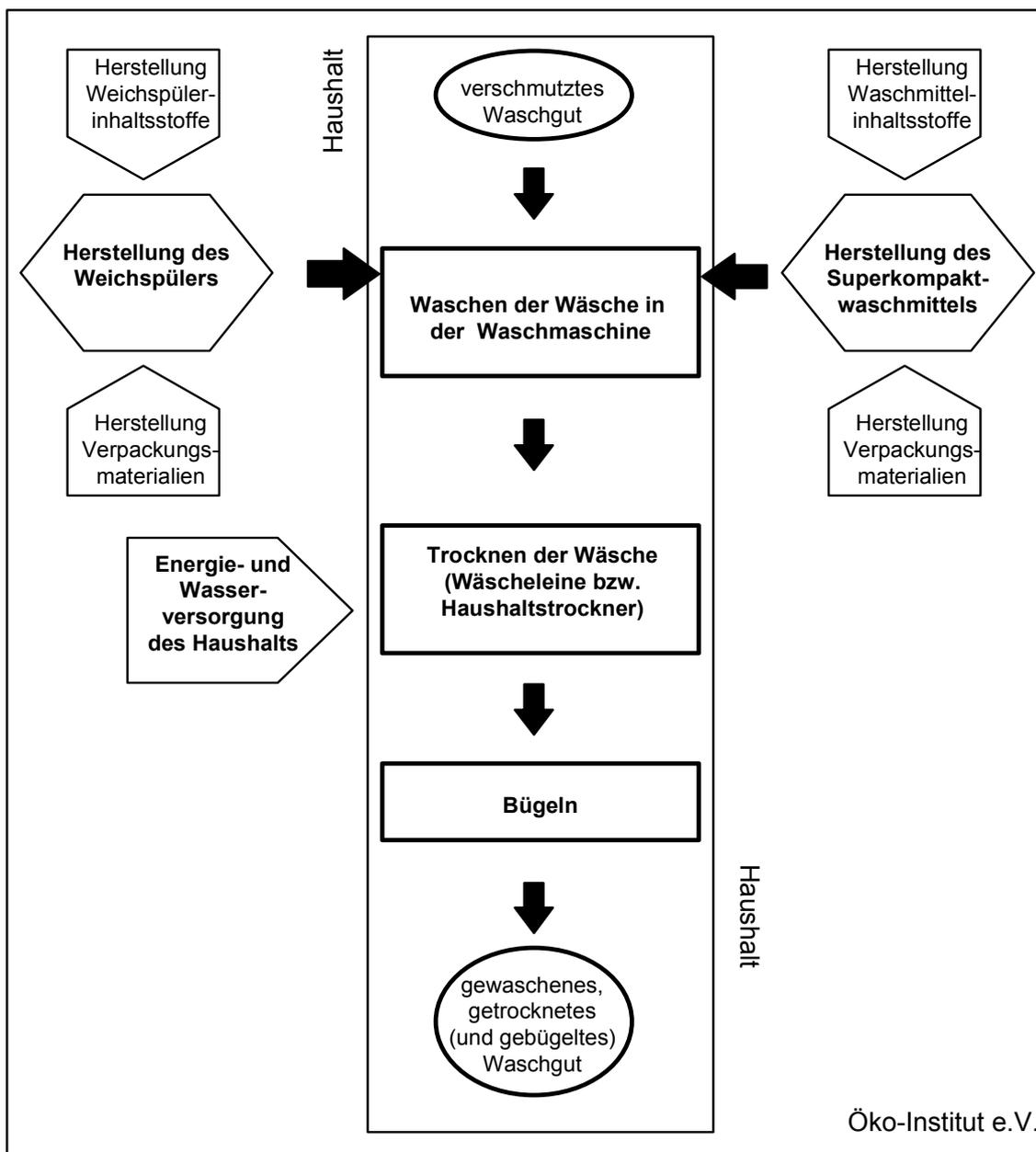


Abb. 2: Prozessschema Waschen von verschmutztem Waschgut in Haushalten

#### 4.4 Untersuchungsrahmen

##### 4.4.1 Systemgrenzen

Grundsätzlich umfassen die durchgeführten orientierenden Bilanzen den gesamten Lebensweg der betrachteten Systeme von der Entnahme der Rohstoffe aus der Umwelt bis zur Abgabe als zu beseitigender Abfall in die Umwelt. In Ausnahme davon wird die Weiterbehandlung des Waschabwassers (mit und ohne Weichspüler) nicht weiter bilanziert. Generell nicht einbezogen sind Umweltbelastungen aus der Errichtung, dem Unterhalt und der

Nachgebrauchsphase von Infrastrukturen („Capital Equipment“). Diese Abgrenzung entspricht der derzeit gängigen Praxis bei der Durchführung produktbezogener Ökobilanzen.

Im Rahmen der durchgeführten Bilanzen konnte die Komplexität der Handels- und Lieferbeziehungen für Waschmittel und Weichspüler nicht berücksichtigt werden; dementsprechend werden Umweltbelastungen aus daraus resultierenden Transporten nicht erfasst. Eine Ausnahme hiervon sind Grundstoffe, bei denen der Transport von Rohstoffen in den herangezogenen Datensätzen bereits mit enthalten war.

Im folgenden sind die wichtigsten Aspekte der Systemgrenzen aufgeführt (vgl. Abbildung 3):

- **Waschen in Haushalten ohne Weichspüler (Szenarien O1-O4):**

**Innerhalb** der Systemgrenzen liegen

- die Herstellung der Waschmittelinhaltsstoffe und der hierfür benötigten Rohstoffe,
- die Konfektionierung des Waschmittels,
- die Herstellung der für das Waschmittel benötigten Packstoffe,
- der Verbrauch an Betriebs- und Hilfsstoffen (Energie, Wasser, Waschmittel) für das Waschen des verschmutzten Waschgutes,
- der Energieverbrauch für das Trocknen des gewaschenen Waschgutes<sup>23</sup>.

**Außerhalb** der Systemgrenzen liegen

- die Herstellung des Waschgutes,
- jegliche Art von Transporten (mit den oben beschriebenen Ausnahmen für Rohstoffdatensätze),
- die kommunale Abwasseraufbereitung.

- **Waschen in Haushalten mit Weichspüler (Szenarien W1-W4):**

Zusätzlich zu den schon unter „Waschen in Haushalten ohne Weichspüler“ aufgeführten Aspekten gilt:

**Innerhalb** der Systemgrenzen liegen auch noch

- die Herstellung der Weichspülerinhaltsstoffe und der hierfür benötigten Rohstoffe,
- die Konfektionierung des Weichspülers,
- die Herstellung der für den Weichspüler benötigten Packstoffe.

---

<sup>23</sup> Der Energieverbrauch für das Trocknen wird einbezogen, sofern in dem Szenario die Wäsche im Wäschetrockner und nicht auf der Wäscheleine getrocknet wird.

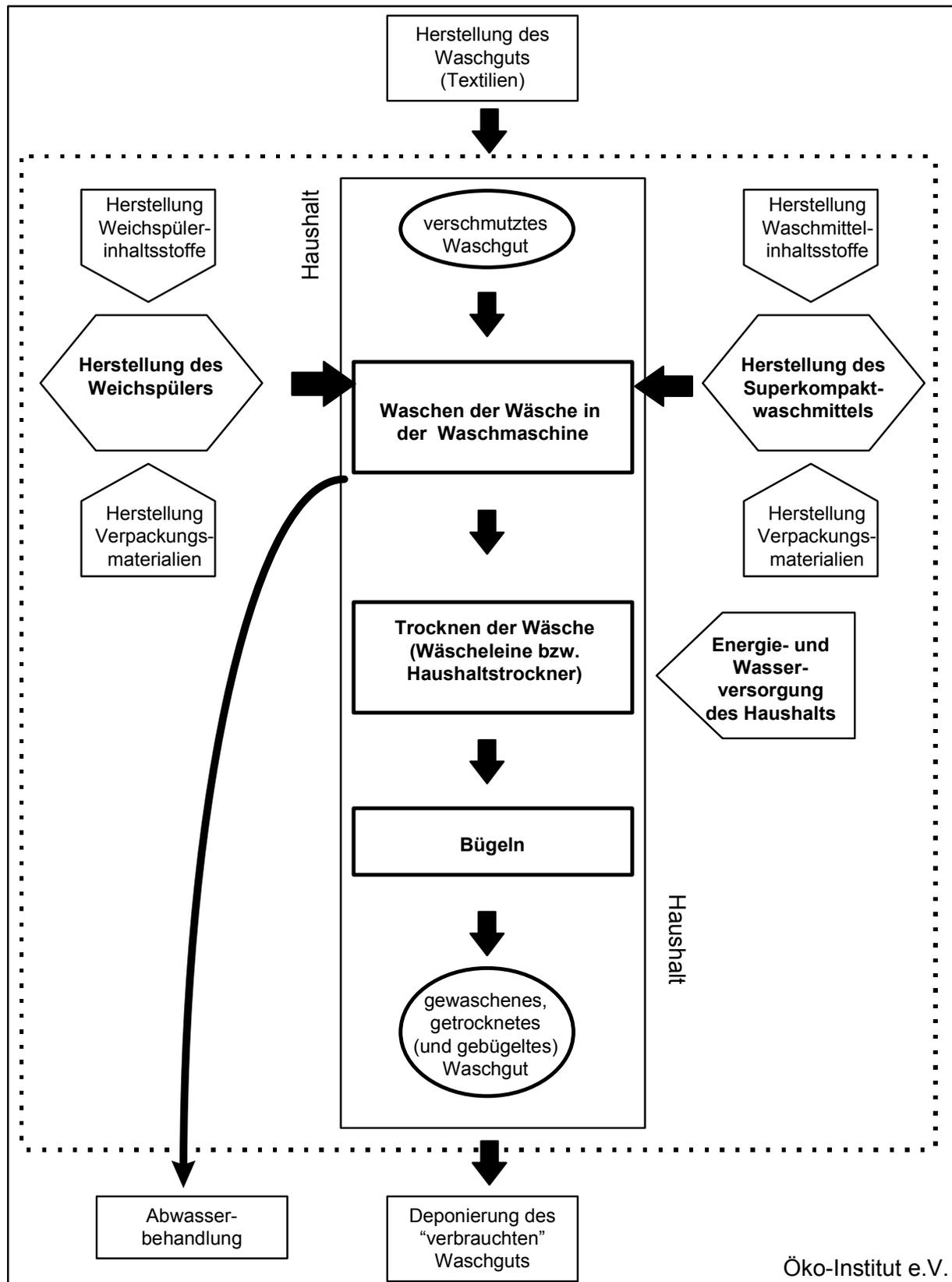


Abb. 3: Systemgrenzen des betrachteten Dienstleistungssystems „Waschen in Haushalten mit/ohne Weichspüler“

#### **4.4.2 Allokationsverfahren**

Allgemein sind Allokationsverfahren bei der Durchführung von Ökobilanzen dann erforderlich, wenn bei einzelnen Prozessen im Lebensweg mehr als ein Zielprodukt entsteht (Beispiel: Chlor-Alkali-Elektrolyse mit den Produkten Chlor, Natriumhydroxid und Wasserstoff) oder wenn bei sogenannten Multi-Input-Prozessen (Beispiel: Abfallverbrennung) die entstehenden Emissionen oder Aufwendungen den jeweiligen Input-Strömen zuzuordnen sind.

Nach DIN EN ISO 14040 und 14041 ist in diesen Fällen ein schrittweises Vorgehen vorgesehen, wobei zunächst versucht werden soll, die Anwendung von Allokationsverfahren durch Systemerweiterungen oder durch eine differenziertere Modellierung des betreffenden Bilanzmoduls zu umgehen. Des weiteren müssen nach den Anforderungen der Norm die Auswirkungen der Allokationsverfahren auf die Ergebnisse explizit dargestellt und analysiert werden.

Bei der hier durchgeführten orientierenden Ökobilanz wurden einige Bilanzmodule verwendet, bei deren Erstellung bereits implizit Allokationsverfahren angewandt wurden. Diese werden hier nicht explizit aufgeführt, sondern können den betreffenden Quellen entnommen werden (Dall'Acqua et al. 1999; Gießhammer et al. 1997; Fritsche et al. 1997; BUWAL 1996). Dall'Acqua et al. weisen auf die unsichere Datenlage bei der Allokation der Herstellung von Esterquat v.a. aus Rindertalg hin (Dall'Acqua et al. 1999). In der genannten Studie wird das Modell der dort verwendeten Quelle zugrunde gelegt. Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass diese Unsicherheiten im Rahmen einer größeren Untersuchung genauer betrachtet werden müssen. Im Hinblick auf den Einfluss des Produktionsweges Esterquat aus Rindertalg auf die Gesamtbilanz des Weichspülers (vgl. Kapitel 6) kann diese Forderung nur unterstützt werden.

#### **4.4.3 Datengrundlagen, Datenqualität und Berechnungsverfahren**

ISO 14040 und DIS 14042 empfehlen vier Techniken:

- Allgemeine Überlegungen („General Reflections“),
- Gravity Analysis als ein statischer Prozess, der die Daten identifiziert, die den größten Einfluss auf das Gesamtergebnis haben,
- Sensitivitätsanalyse, die aufzeigt, inwieweit Änderungen in der Sachbilanz das Endergebnis beeinflussen,
- Unsicherheitsanalyse, die die statistische Variabilität der Datensätze beschreibt, um festzustellen, ob Ergebnisse derselben Einflusskategorie signifikant unterschiedlich sind.

## **Allgemeine Überlegungen**

Grundsätzlich kann bei Daten einer Sachbilanz zwischen allgemeinen und spezifisch ermittelten Daten unterschieden werden:

- Unter allgemeinen Daten werden Mittelwerte zum Energieverbrauch und Rohstoffverbrauch und zu Emissionen verstanden, das heißt Zahlenwerte, die den mittleren Stand der Technik eines bestimmten Produktionsprozesses repräsentieren.
- Spezifisch ermittelte Daten beschreiben hingegen die Verhältnisse an einem bestimmten Produktionsstandort.

Je nach dem realisierten Stand der Technik (Effizienz von Schadstoffabscheidung o.ä.) können spezifisch ermittelte Daten erheblich (nach oben und unten) von allgemeinen Daten abweichen.

**Bei den hier durchgeführten orientierenden Bilanzierungen wurde auf allgemeine Daten zurückgegriffen.** So wurden insbesondere bei der Bereitstellung von Rohstoffen und der Herstellung von Grundstoffen und bei der Bilanzierung der Energiebereitstellung allgemeine Daten aus Verbandsveröffentlichungen, Literaturangaben oder Datenbanken herangezogen.

**Daneben mussten für bestimmte Prozesse, für die weder allgemeine noch spezifische Daten verfügbar waren, auf der Grundlage von Literaturangaben oder Erfahrungswerten sogenannte „generische Datensätze“ abgeschätzt werden.**

In den einzelnen Bilanzen wird die Herkunft der zugrunde liegenden Daten durchgängig gekennzeichnet.

Sowohl die allgemeinen als auch die generischen Datensätze beschreiben in der Regel die durchschnittlichen Verhältnisse in der Bundesrepublik Deutschland und beziehen sich zeitlich, sofern nicht anderweitig ausgewiesen, auf den Beginn der neunziger Jahre.

Die Daten für die Bilanzierung der Waschmittel- und Weichspülerinhaltsstoffe wurden aus vorliegenden Ökobilanzen (Dall'Acqua et al. 1999; Grießhammer et al. 1997) übernommen. Sie wurden aktualisiert für Zeolith (Fawer 1996), Natriumsilikat (Fawer 1996), Natriummetasilikat (Fawer 1997) und Soda (Fawer 1997). Die Daten der Waschmittelverpackung wurden aus Grießhammer et al. und Eberle und Grießhammer entnommen (vgl. Anhang A.4) (Grießhammer et al. 1997; Eberle und Grießhammer 1997). Die Daten der Untersuchung von Dall'Acqua et al. für kationische Tenside basieren nur auf Angaben eines Herstellers, dessen Daten aufgrund der Betriebsgröße und der „Randlage“ nicht unbedingt auf die Massenproduktion extrapoliert werden können (Dall'Acqua et al. 1999). Weiterhin konnte in der angeführten Untersuchung die Herstellung drei wichtiger Ausgangssubstanzen (Triethanolamin, Dimethylsulfat, Isopropanol) nur anhand von Literaturdaten grob geschätzt werden. Die ursprünglich beabsichtigte Zusammenarbeit mit großen deutschen Weichspülerherstel-

lern ist leider nicht zustande gekommen, so dass nur diese beschränkte kleine Datenbasis zur Bilanzierung zur Verfügung stand. Die Daten für die Weichspülerverpackung wurden durch Auswiegen verschiedener Weichspülerverpackungen ermittelt. Entsprechend den Marktanteilen der verschiedenen Hersteller wurde das Gewicht der Durchschnittsverpackung berechnet (vgl. Anhang A.4).

Die für das Superkompaktwaschmittel und das Weichspülerkonzentrat verwendeten Modellrezepturen wurden mit Umweltbundesamt und Unternehmensvertretern abgestimmt und sind in Anhang A.3.1 und A.3.2 wiedergegeben.

Die Daten für die Konfektionierung des Superkompaktwaschmittels und des Weichspülers wurden aus Grießhammer et al. übernommen (Grießhammer et al. 1997). Für die Konfektionierung des Weichspülers wurden Daten zur Konfektionierung eines Flüssigwaschmittels zugrunde gelegt.

Bei der Annahme zu Dosierungen der eingesetzten Waschmittel und Weichspüler wurde mangels vorliegender Einzelerhebungen von der **empfohlenen Dosierung** ausgegangen. Da es Hinweise gibt, dass Weichspüler systematisch überdosiert werden, wurde hierzu eine Sensitivitätsrechnung durchgeführt.

Zur Bilanzierung der Energiebereitstellung (elektrische Energie) wurde das Strommodell für die Bundesrepublik Deutschland aus BUWAL verwendet (BUWAL 1996). Die zugrunde gelegten Daten befinden sich im Anhang A.2.

Die Verbrauchsdaten für die Haushaltswaschmaschine wurden nach Angaben der Hauptberatungsstelle für die Elektrizitätsanwendung (HEA 1998b) und nach den Angaben zur Stromverbrauchsverteilung bei unterschiedlichen Waschttemperaturen (Grießhammer et al. 1997) berechnet.

Die Verbrauchsdaten für den Wäschetrockner wurden Angaben der Hauptberatungsstelle für die Elektrizitätsanwendung (HEA 1998a) entnommen.

Die Verbrauchsdaten für das Dampfbügeleisen wurden aus Dürr und Hilmer übernommen (Dürr und Hilmer 1984).

Die Daten für die Abwasserbehandlung wurden umberto 3.2 entnommen (umberto 3.2 1999).

Einen Überblick zu den für die Sachbilanzen herangezogenen Daten gibt die Tabelle 13.

Tab. 13: Datenquellen der Sachbilanz Waschen in Haushalten

Bereich	Modul/Teilbilanz	Quellen	Bemerkung
Herstellung des Waschmittels	<b>Tenside</b>	Dall'Acqua et al. 1999	detaillierte Ökobilanz
	<b>Builder:</b> - Zeolith - Natriumsilikat - Natriumcitrat	Fawer 1996 Fawer 1996 Grießhammer et al. 1997	detaillierte Ökobilanz detaillierte Ökobilanz orientierende Ökobilanz
	<b>Bleichmittel:</b> - Perborat - Percarbonat - TAED	Dall'Acqua et al. 1999 Dall'Acqua et al. 1999 Grießhammer et al. 1997	detaillierte Ökobilanz detaillierte Ökobilanz orientierende Ökobilanz
	<b>Sonstige Inhaltsstoffe:</b> - Natriumcarbonat - Carboxymethylcellulose - Natriumsulfat - Optische Aufheller	Fawer 1997 Dall'Acqua et al. 1999 Grießhammer et al. 1997 Dall'Acqua et al. 1999	detaillierte Ökobilanz detaillierte Ökobilanz orientierende Ökobilanz detaillierte Ökobilanz
	<b>Konfektionierung</b>	IKW, Henkel, Unilever, P&G (Franke et al. 1995)	detaillierte Ökobilanz, korrigierte CO <sub>2</sub> -Emissionen
	<b>Packstoffe</b>	Grießhammer et al. 1997 (Habersatter 1991, Boustead 1993), Eberle u. Grießhammer 1997	detaillierte Ökobilanz
Herstellung des Weichspülers	<b>Tenside</b>	Dall'Acqua et al. 1999	detaillierte Ökobilanz
	<b>Konfektionierung</b>	Grießhammer et al. 1997	detaillierte Ökobilanz
	<b>Packstoffe</b>	eigene Daten, Grießhammer et al. 1997	
Waschen	Verbrauchswerte	HEA 1998b, Grießhammer et al. 1997	Durchschnittsdaten zum Stromverbrauch von Waschmaschinen
Trocknen	Verbrauchswerte	HEA 1998a	Durchschnittsdaten zum Stromverbrauch von Wäschetrocknern
Bügeln	Verbrauchswerte	Dürr und Hilmer 1984	
Energieerzeugung	Stromnetz BRD	BUWAL 1996	Durchschnittsdaten zur Strombereitstellung für die BRD
Abwasserbehandlung	Kläranlage, weiterreichend mit Vorkette	umberto 3.2 1999	Durchschnittsdaten einer weiterreichenden Kläranlage

### Gravity Analysis

Die Sachbilanzdaten werden von den Energieverbrauchsdaten dominiert, die als sehr verlässlich eingeschätzt werden können.

### **Sensitivitätsanalyse**

Es wurde in einer Sensitivitätsanalyse überprüft, welchen Einfluss die Annahmen

- zur durchschnittlichen empfohlenen Weichspülerdosierung (vgl. Unsicherheitsanalyse)
- und zur Menge der Bügelwäsche

auf das Endergebnis haben.

Weiterhin wurde überprüft welchen Einfluss

- die Reduktion der Bügelzeit und
- die Reduktion der Trocknerlaufzeit

haben. Die Ergebnisse sind in Kapitel 5.1 dargestellt.

### **Unsicherheitsanalyse**

Wichtige Inhaltsstoffe wie etwa die Tenside wurden bereits einem Critical Review unterzogen und können als verlässlich gelten<sup>24</sup>. Dies gilt vergleichbar für allgemeine Grundlagendaten wie GEMIS und die Packstoffe, auch wenn diese nicht einem formalen Critical Review unterzogen wurden.

Die vom Umweltbundesamt zur Verfügung gestellte Modellrezeptur für ein Weichspülerkonzentrat wird von den Weichspülerherstellern als realistisch und als für eine orientierende Ökobilanz ausreichend angesehen (King 1999, persönliche Mitteilung). Die zugrunde gelegte durchschnittliche Dosierung, die aus den empfohlenen Dosierungen unterschiedlicher Hersteller und der durchschnittlichen Wäscheverteilung über verschiedene Waschtemperaturen (Grießhammer et al. 1997) berechnet wurde (vgl. Anhang A.5), unterliegt hingegen größeren Unsicherheiten. Es gibt keine systematischen Untersuchungen über die reale Dosierung der Verbraucher, es würde jedoch „ab und zu“ überdosiert (Uthoff 1999, persönliche Mitteilung). Berechnet man die durchschnittliche Dosierung der Weichspüler anhand des Weichspülersverbrauchs in Haushalten (Uhl et al. 1998) und der Anzahl Wäschen in Haushalten (Grießhammer et al. 1997) und berücksichtigt, dass etwa die Hälfte der Haushalte Weichspüler verwenden, dann erhält man eine Durchschnittsdosierung, die rund 50 %

---

<sup>24</sup> Dall'Acqua et al. 1999 weisen auf die unsichere Datenlage bei der Allokation der Herstellung von Esterquat v.a. aus Rindertalg hin. In der genannten Studie wird das Modell der dort verwendeten Quelle zugrunde gelegt. Es wird jedoch darauf hingewiesen, dass diese Unsicherheiten im Rahmen einer größeren Untersuchung genauer betrachtet werden müssen. Im Hinblick auf den Einfluss des Produktionsweges Esterquat aus Rindertalg auf die Gesamtbilanz des Weichspülers (vgl. Kapitel 6) kann diese Forderung nur unterstützt werden.

über der berechneten empfohlenen Durchschnittsdosierung liegt<sup>25</sup>. Diese erhebliche Abweichung in der Dosierung wird in einer Sensitivitätsanalyse mit einbezogen.

Größere Datenunsicherheiten bestehen ebenfalls bei den durch Plausibilitätsüberlegungen abgeschätzten Verhaltensweisen der untersuchten Haushalte. So sind keine statistischen Daten darüber erhältlich, wieviel Prozent der Wäsche im Verhältnis zum Gesamtwäscheaufkommen in einem Haushalt wirklich gebügelt werden. Aus diesem Grund wurden hierzu Sensitivitätsanalysen durchgeführt.

Die Abwasserbehandlung wurde nicht in die Szenarien einbezogen, da die Datenlage für die Abwasserbelastung v.a. aus dem eigentlichen Waschprozess sehr dürftig ist. Daher wurden hierzu gesonderte Berechnungen für das Waschen mit und ohne Weichspüler durchgeführt (Kapitel 6.3).

Die Qualität der Eingangsdaten und damit verbunden die Tragfähigkeit der Ergebnisse der durchgeführten Sachbilanzen kann, da keine Referenzdaten verfügbar sind, nicht pauschal beziffert werden: nachfolgend werden Anhaltswerte gegeben, bei welchen Indikatoren der Unterschied zwischen den hier untersuchten Varianten als signifikant angesehen werden kann:

- Primärenergieverbrauch, Verbrauch an nicht-energetischen Rohstoffen, Kohlendioxid, sowie Abfälle und Reststoffe: ab 25 %;
- Klassische Luftschadstoffe (Stickoxide): ab 40 %.

Die vorliegende Studie wurde zusätzlich zur in der Ökobilanzmethodik vorgeschriebenen externen Prüfung (vgl. Kapitel 4.2.2) intern in Hinblick auf das methodische Vorgehen und die verwendeten Daten, sowie das Datenmanagement begleitet und geprüft.

### **Berechnungsverfahren**

Zur Berechnung der Sachbilanz wurde die Ökobilanzsoftware umberto 3.2 verwendet (umberto 3.2 1999).

In dieser Ökobilanzsoftware werden Module und Teilbilanzen entsprechend den jeweilig festgelegten Szenarien zu Bilanznetzen verknüpft und anschließend unter Berücksichtigung der festgelegten funktionellen Einheit berechnet. Dieses Bilanzierungsmodell ermöglicht

---

<sup>25</sup> Die empfohlene Durchschnittsdosierung liegt bei 30,4 g pro Waschgang (vgl. Anhang A.5). 1997/98 wurden 154.072 t Weichspüler verbraucht (normiert auf Konzentrat). Knapp die Hälfte aller Haushalte verwendete Weichspüler (beide Angaben Uhl et al. 1998). 1997 wurden 6,8 Milliarden Wäschen durchgeführt (Grießhammer et al. 1997). Legt man diese Angaben zugrunde, so ergibt sich eine durchschnittliche Dosierung von 45,2 g pro Waschgang.

Ergebnisdarstellungen der Sachbilanzen, die über globale Input/Output-Tabellen hinaus gehen: so können die Ergebnisse auch nach Modulen bzw. Teilbilanzen, aber auch nach „Sammelstellen“ (z.B. alle Rohstoffe) aufgesplittet werden.

#### 4.4.4 Wirkungsabschätzung

Die grundsätzliche Schwierigkeit einer Wirkungsabschätzung bei Ökobilanzen besteht darin, dass Ökobilanzen nur aggregierte Emissionen, aber keine Immissionen oder Expositionen erheben und damit in der Regel auch überfordert wären. Der Trend geht dahin, die Wirkungen von Emissionen, die eher regionenübergreifend als ortsspezifisch wirken (Paradebeispiel: Kohlendioxid), allgemein zu beschreiben und für alle Ökobilanzen verfügbar zu machen. Spezifisch wirkende Schadstoffe werden dagegen in Ökobilanzen wohl miterhoben, aber selten in ihrer Wirkung analysiert. In der vorliegenden orientierenden Ökobilanz werden das Treibhauspotenzial<sup>26</sup> und das Versauerungspotenzial<sup>27</sup> (vgl. Kapitel 4.1) bewertet.

Der Anfall an Abraum bei der Entnahme an Rohstoffen wurde grundsätzlich nicht bilanziert, da hierzu in den verwendeten Datenquellen nicht durchgehend verlässliche Angaben verfügbar sind.

Zusätzlich zu den Ökobilanzergebnissen, die die Gewässerbelastung durch den Waschprozess nicht erfassen, wird die potenzielle Gewässerbelastung mittels des EU-Punktesystems für das europäische Umweltzeichen angegeben (vgl. Kapitel 6.4).

---

<sup>26</sup> Als Indikator für die Emission an treibhausrelevanten Gasen wird das Gesamt-Treibhauspotenzial in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten angegeben. Hierunter werden die Schadstoffe unter Berücksichtigung ihres Treibhauspotenzials (**Global Warming Potenzial**, GWP) zusammengefasst, die zur zusätzlichen Erwärmung der Erdatmosphäre beitragen. Das GWP kennzeichnet die Schadwirkung des Einzelstoffes relativ zu Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>). Die mengenmäßig bedeutendsten treibhausrelevanten Schadstoffe sind hierbei Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>, GWP = 1), Methan (CH<sub>4</sub>, GWP = 11) und Distickstoffmonoxid (N<sub>2</sub>O, GWP = 270). Die angegebenen Werte für das Treibhauspotenzial der Einzelstoffe beziehen sich auf einen Betrachtungszeitraum von 100 Jahren. Indirekte Effekte werden nicht mit berücksichtigt (CML 1992a; CML 1992b).

<sup>27</sup> Als Indikator für die Emission an Säurebildnern wird das Gesamt-Versauerungspotenzial in SO<sub>2</sub>-Äquivalenten angegeben. Hierunter werden die Schadstoffe unter Berücksichtigung ihres Versauerungspotenzials (**Azidifizierungspotenzial**, AP) zusammengefasst, die als Säuren oder aufgrund ihrer Fähigkeit zur Säurefreisetzung zur Versauerung von Ökosystemen beitragen. Das Versauerungspotenzial kennzeichnet die Schadwirkung eines Stoffes als Säurebildner relativ zu Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>). Die mengenmäßig bedeutendsten Säuren bzw. Säurebildner sind Stickoxide (NO<sub>x</sub>, AP = 0,7), Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>, AP = 1), Chlorwasserstoff (HCl, AP = 0,88) und Fluorwasserstoff (HF, AP = 1,66).

#### 4.4.5 Auswertung

Im Rahmen der hier vorgelegten orientierenden Ökobilanz wurden die folgenden Parameter ausgewertet:

- Primärenergieverbrauch,
- Wasserverbrauch,
- Emissionen von Luftschadstoffen (Kohlendioxid, Schwefeldioxid, Stickoxide),
- Treibhauspotenzial (in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten),
- Versauerungspotenzial (in SO<sub>2</sub>-Äquivalenten).

Bei der zahlenmäßigen Darstellung des Verbrauchs an energetischen Ressourcen wurde wie folgt verfahren:

- Der Verbrauch wurde als Primärenergieverbrauch (in kJ) angegeben.
- Die Primärenergieäquivalente wurden generell auf der Basis des oberen Heizwertes berechnet. Eine Übersicht zu den verwendeten Heizwerten ist in Anhang A.1 enthalten.

### 5. Sachbilanz

Die Untersuchung bezieht folgende Szenarien ein:

- **Waschen von Privatkleidung in Haushalten ohne Weichspüler**

Zugrunde gelegt wird das Waschverhalten eines deutschen Durchschnittshaushaltes. Grießhammer et al. definierten hierzu den Durchschnittshaushalt „Wischi-Waschi“. Die Grundannahmen aus Grießhammer et al. wurden für die Konzeption der Szenarien in dieser Studie beibehalten. Die Datenbasis wurde in einigen Punkten aktualisiert (z.B. Veränderung der Waschmittelrezepturen; Verbrauchswerte der eingesetzten Geräte). Zum Zeitpunkt der Erstellung der Studie von Grießhammer et al. waren sogenannte Kompaktwaschmittel neu auf dem Markt eingeführt worden. Dieses Waschmittelkonzept wurde inzwischen von Superkompaktwaschmitteln abgelöst. Daher entspricht die Waschmitteldosierung in dieser Studie nicht den Werten von Grießhammer et al. Die Dosierung wurde anhand der Wäscheverteilung von Grießhammer et al. mit Superkompaktwaschmitteln neu berechnet (Grießhammer et al. 1997).

Grießhammer et al. legten Verbrauchswerte für eine „Ökawaschmaschine“ zugrunde (Grießhammer et al. 1997). In dieser Studie wurden Verbrauchswerte für eine Durchschnittswaschmaschine bzw. einen Durchschnittswäschetrockner verwendet (HEA 1998a; HEA 1998b), da dieser Gerätetyp eher dem Durchschnittshaushalt entspricht.

## Szenarien

- O1: Waschen und Trocknen an der Wäscheleine
- O2: Waschen und Wäschetrockner
- O3: Waschen, Trocknen an der Wäscheleine und Bügeln
- O4: Waschen und Wäschetrockner und Bügeln

- **Waschen:** Zum Waschen wird ein Superkompaktwaschmittel (häufigster Waschmitteltyp) eingesetzt. Die durchschnittliche Dosierung pro Waschgang beträgt 83 g (77,5 % der Wäschen normal verschmutzt (Dosierung = 75 g), 22,5 % der Wäschen stark verschmutzt (Dosierung = 112 g)). Die Waschmaschine verbraucht durchschnittlich 0,91 kWh Energie und 58,8 l Wasser pro Waschgang (Stromverbrauch einer durchschnittlichen Waschmaschine 1997 (HEA 1998a)). Pro Jahr werden 182 Waschgänge mit einer Beladung der Waschmaschine von 2,75 kg durchgeführt. Dies entspricht einem Wäscheanfall pro Jahr von 500 kg (Vereinbarung für den Haushalt „Wischi-Waschi auf den Workshops der Produktlinienanalyse Waschen und Waschmittel (Grießhammer et al. 1997)) (vgl. Tabelle 14).
- **Trocknen:** Der Wäschetrockner verbraucht 2,75 kWh Strom zum Trocknen von 5 kg Wäsche (Stromverbrauch eines durchschnittlichen Wäschetrockners (HEA 1998b)<sup>28</sup>). Pro Jahr wird der Wäschetrockner mit 500 kg Wäsche befüllt (vgl. Tabelle 14).
- **Bügeln:** Es wird mit einem Dampfbügeleisen (häufigster Bügeleisentyp) gebügelt. Das Bügeleisen verbraucht pro Kilogramm Bügelwäsche im Durchschnitt 0,287 kWh Strom (Dürr und Hilmer 1984). 30 % (vgl. Kapitel 2.3.3) der gewaschenen Wäsche pro Jahr wird gebügelt (= 150 kg) (vgl. Tabelle 14).

Der Stromanschluss erfolgt über das deutsche Stromnetz.

### - Waschen von Privatkleidung in Haushalten mit Weichspüler

Bei den Szenarien „Waschen von Privatkleidung in Haushalten mit Weichspüler“ werden die gleichen Annahmen wie beim Waschen ohne Weichspüler zugrunde gelegt. Ergänzungen bzw. Änderungen werden im folgenden beschrieben.

---

<sup>28</sup> Der Stromverbrauch des „Durchschnittswäschetrockners“ wurde aus den Angaben zum Jahresstromverbrauch für Wäschetrockner in Deutschland (vgl. Kapitel 2.2) (2.990 Millionen kWh, HEA 1998b), zur Sättigung der deutschen Haushalte mit Wäschetrocknern (29 %), der Anzahl der Haushalte (37,5 Millionen) und der Annahme, dass ein Durchschnittshaushalt 500 kg Wäsche pro Jahr wäscht (Grießhammer et al. 1997) berechnet.

### Szenarien:

W1: Waschen mit Weichspüler und Trocknen an der Wäscheleine

W2: Waschen mit Weichspüler und Wäschetrockner

W3: Waschen mit Weichspüler, Trocknen an der Wäscheleine und Bügeln

W4: Waschen mit Weichspüler und Wäschetrockner und Bügeln

- **Waschen:** Zum Waschen wird zusätzlich ein Weichspülerkonzentrat (häufigster Weichspülertyp) eingesetzt. Die durchschnittliche Dosierung beträgt 30,4 g pro Waschgang (empfohlene Durchschnittsdosierung über unterschiedliche Hersteller: 60 % hohe Dosierung für Baumwollgewebe, 40 % niedrige Dosierung für Mischgewebe, Wolle und Synthetik<sup>29</sup>) (vgl. Tabelle 14).
- **Trocknen:** Durch den Einsatz von Weichspülern wird 8 % weniger Wäsche im Wäschetrockner getrocknet<sup>30</sup> (vgl. Kapitel 2.1 und Kapitel 2.4). Pro Jahr wird der Wäschetrockner daher nur mit 460 kg (statt 500 kg) Wäsche befüllt (vgl. Tabelle 14).
- **Bügeln:** Durch den Einsatz von Weichspülern reduziert sich die Bügelwäsche um 17 %<sup>31</sup> (vgl. Kapitel 2.1 und Kapitel 2.4). Ohne Weichspüler würde 30 % der gewaschenen Wäsche gebügelt (= 150 kg), mit Weichspüler sind es noch 124,5 kg (vgl. Tabelle 14).

Der Stromanschluss erfolgt über das deutsche Stromnetz.

---

<sup>29</sup> Diese Annahme entspricht der funktionellen Äquivalenz, da davon auszugehen ist, dass nur Baumwoll- bzw. Leinenwäsche bei 60 °C bzw. 95 °C gewaschen wird. Diese beiden Waschttemperaturen zusammengenommen ergeben 60 % des Wäscheaufkommens, der Rest von 40 % entfällt auf Buntwäsche (v.a. Mischgewebe etc.) (vgl. Kapitel 4.3.1; Grießhammer et al. 1997).

<sup>30</sup> Letztendlich fällt die Auswahl, ob eine Reduktion um 7 % oder um 8 % des Energieverbrauchs realistischer ist, schwer, da die hierzu vorliegende Literatur hier nicht ausreichend detailliert ist (vgl. Kapitel 2.4). Letztlich resultiert aus dieser Annahme jedoch kein großer Unterschied bezüglich des Endergebnisses. Beide Annahmen sollten jedoch auf keinen Fall zugrunde gelegt werden, da dies eine konservative Annahme darstellen würde.

<sup>31</sup> Letztendlich fällt die Auswahl, ob eine Reduktion um 17 % oder um 25 % des Energieverbrauchs realistischer ist, schwer (vgl. Fußnote 30), da die hierzu vorliegende Literatur hier nicht ausreichend detailliert ist (vgl. Kapitel 2.4). Der aus dieser Annahme resultierende Unterschied bezüglich des Endergebnisses ist jedoch nicht sehr groß, daher kann vertreten werden, in den Szenarien nur die 17 % Annahme zugrunde zu legen. Beide Annahmen sollten jedoch auf keinen Fall zugrunde gelegt werden, da dies eine konservative Annahme darstellen würde..

Weiterhin wurden die Angaben der Hersteller von Weichspülern zur Verkürzung der Bügelzeit (bei Einsatz von Weichspülern um 25 %) und zur Reduktion der Trocknerlaufzeit (bei Einsatz von Weichspülern um 7 %) in weiteren Szenarien mit einbezogen (Begründung vgl. Kapitel 2.4).

Tab. 14: Basisdaten für die Szenarien

	ohne Weichspüler		mit Weichspüler	
<b>Waschen</b>	Wäschemenge/Jahr	500 kg/a	Wäschemenge/Jahr	500 kg/a
	Anzahl der Wäschen/Jahr	182	Anzahl der Wäschen/Jahr	182
	Energieverbrauch/Jahr <sup>32</sup>	166 kWh/a	Energieverbrauch/Jahr	166 kWh/a
	Wasserverbrauch/Jahr	10.702 l/a	Wasserverbrauch/Jahr	10.702 l/a
	Dosierung Waschmittel/ Waschgang 83,3 g		Dosierung Waschmittel/ Waschgang 83,325 g	
	Waschmitteleinsatz/Jahr <sup>33</sup>	15,2 kg/a	Waschmitteleinsatz/Jahr	15,2 kg/a
			Dosierung Weichspüler/ Waschgang 30,4 g Weichspülereinsatz/Jahr <sup>34</sup>	5,5 kg/a
<b>Wäsche- trockner</b>	Wäschemenge	500 kg/a	Wäschemenge <sup>36</sup>	460 kg/a
	Anzahl der Beladungen/Jahr	182	Anzahl der Beladungen/Jahr	182
	Energieverbrauch <sup>35</sup>	275 kWh/a	Energieverbrauch	253 kWh/a
<b>Bügeln</b>	Wäschemenge	150 kg/a	Wäschemenge <sup>38</sup>	124,5 kg/a
	Energieverbrauch <sup>37</sup>	43 kWh/a	Energieverbrauch	36 kWh/a

## 5.1 Ergebnisse der Sachbilanz

In den folgenden Tabellen (vgl. Tabelle 15 und Tabelle 16) sind die Ergebnisse der im vorangegangenen Kapitel beschriebenen Szenarien zusammengefasst. Die Angaben beziehen sich jeweils auf 1 kg verschmutztes Waschgut (Nutzeinheit).

<sup>32</sup> Berechnet nach Gießhammer et al. (Verteilung der Wäsche nach Waschttemperaturen) (Gießhammer et al. 1997) und HEA (durchschnittlicher Waschmaschinenstromverbrauch nach Waschttemperaturen) (HEA 1998a).

<sup>33</sup> Waschmitteldosierung: 77,5 % der Wäschen normal verschmutzt (= 75 g), 22,5 % der Wäschen stark verschmutzt (= 112 g).

<sup>34</sup> Weichspülerdosierung: Marktdurchschnittsdosierung über die Wäscheverteilung (60 % hohe Dosierung für Baumwollgewebe, 40 % niedrige Dosierung für Mischgewebe, Wolle und Synthetik) (vgl. Fußnote 29).

<sup>35</sup> Der durchschnittliche Stromverbrauch in Haushalten für Wäschetrockner beträgt 275 kWh pro Jahr. Bei 182 Beladungen ergibt sich ein Stromverbrauch von 1,51 kWh/pro Jahr (vgl. HEA 1998a).

<sup>36</sup> Nach Angaben von Procter & Gamble reduziert sich die mit dem Trockner getrocknete Wäsche um 8 % bei Verwendung von Weichspülern (Uhl et al. 1998).

<sup>37</sup> Nach Angaben von Dürr und Hilmer (1984) benötigt man 0,890 kWh um 3,1 kg Wäsche (Mischposten) mit einem Dampfbügelisen zu bügeln.

<sup>38</sup> Nach Angaben von Procter & Gamble reduziert sich die Bügelwäsche um 17 % bei der Verwendung von Weichspülern (Uhl et al. 1998).

In den dann folgenden Tabellen sind die Bilanzen von 1 kg Weichspüler und 1 kg Superkompaktwaschmittel (vgl. Tabelle 17) bzw. die Bilanzen von der empfohlenen Dosierung pro Waschgang des jeweiligen Produktes (vgl. Tabelle 18) dargestellt. Bei den Tabellen muss beachtet werden, dass die empfohlene Durchschnittsdosierung für einen Waschgang (vgl. Kapitel 5) bei Weichspülern 30,4 g und bei Superkompaktwaschmitteln 83,3 g beträgt und dass die Waschmaschinen durchschnittlich mit 2,75 kg Wäsche beladen werden.

Tab. 15: Ergebnisse der Sachbilanz ohne Weichspüler (pro Kilogramm verschmutztes Waschgut)

Einzelprozesse	KEA [kJ/kg]	Kohlendioxid, fossil [kg/kg]	Schwefel- dioxid [g/kg]	Stickoxide [g/kg]	Wasser- verbrauch [l/kg]
Waschmittel	2.000	0,07	0,55	0,21	0,8
Waschprozess	4.250	0,19	0,86	0,40	21,4
Wäschetrockner	7.060	0,32	1,42	0,66	0
Bügeln	1.110	0,05	0,22	0,10	0
Gesamtergebnisse					
O1: Waschen und Trocknen an der Wäscheleine	6.250	0,26	1,41	0,61	22,2
O2: Waschen und Wäschetrockner	13.310	0,58	2,83	1,27	22,2
O3: Waschen, Trocknen an der Wäscheleine und Bügeln	7.360	0,31	1,63	0,71	22,2
O4: Waschen, Wäschetrockner und Bügeln	14.420	0,63	3,05	1,37	22,2

Tab. 16: Ergebnisse der Sachbilanz mit Weichspüler (pro Kilogramm verschmutztes Waschgut)

Einzelprozesse	KEA [kJ/kg]	Kohlendioxid, fossil [kg/kg]	Schwefel- dioxid [g/kg]	Stickoxide [g/kg]	Wasser- verbrauch [l/kg]
Waschmittel	2.000	0,07	0,55	0,21	0,8
Weichspüler	171	0,004	0,02	0,03	0,1
Waschprozess	4.250	0,19	0,86	0,40	21,4
Wäschetrockner	6.490	0,30	1,31	0,61	0
Bügeln	920	0,04	0,19	0,09	0
Gesamtergebnisse					
W1: Waschen mit Weichspüler und Trocknen an der Wäscheleine	6.421	0,27	1,42	0,64	22,3
W2: Waschen mit Weichspüler und Wäschetrockner	12.913	0,56	2,73	1,25	22,3
W3: Waschen mit Weichspüler, Trocknen an der Wäscheleine und Bügeln	7.343	0,31	1,61	0,73	22,3
W4: Waschen mit Weichspüler, Wäschetrockner und Bügeln	13.833	0,60	2,92	1,33	22,3

Tab. 17: Bilanz Weichspüler und Superkompaktwaschmittel (jeweils 1 kg Produkt)

	Weichspüler	Superkompaktwaschmittel
KEA [kJ/kg]	15.464	66.007
Kohlendioxid, fossil [kg/kg]	0,38	2,24
Kohlendioxid, regenerativ [kg/kg]	0,34	0,04
Schwefeldioxid [g/kg]	1,50	18,16
Stickoxide [g/kg]	2,75	7,06
Wasser [l/kg]	12,25	25,20
Treibhauspotenzial <sup>39</sup> [kg CO <sub>2</sub> -Äquivalente/kg]	1,99	2,29
Versauerungspotenzial [g SO <sub>2</sub> -Äquivalente/kg]	11,0	20,9

Tab. 18: Bilanz Weichspüler und Superkompaktwaschmittel (jeweils pro angegebene Dosierung)

	Weichspüler		Superkompaktwaschmittel
	30,4 (empfohlen)	45,2 (nach dem nationalen Gesamtverbrauch berechnet)	83,3
Durchschnittliche Dosierung [g]			
KEA [kJ]	470	699	5.500
Kohlendioxid, fossil [g]	11,5	17,0	187
Kohlendioxid, regenerativ [g]	10,2	15,1	3
Schwefeldioxid [mg]	46	68	1.513
Stickoxide [mg]	84	124	588
Wasser [l]	0,4	0,6	2,1
Treibhauspotenzial <sup>40</sup> [g CO <sub>2</sub> -Äquivalente]	60,5	90,1	190,9
Versauerungspotenzial <sup>41</sup> [mg SO <sub>2</sub> -Äquivalente]	334	497	1.743

Die Ergebnisse zeigen, dass bei den energiebedingten Parametern vor allem die Benutzung von Wäschetrocknern einen starken Einfluss auf das Ergebnis der Bilanz hat. Der Primärenergieverbrauch des Wäschetrockners

- liegt um mehr als die Hälfte höher als der Primärenergieverbrauch der Waschmaschine,

<sup>39</sup> Das hohe Treibhauspotenzial von Weichspülern liegt in der Herstellung der Esterquats begründet. Bei der Produktion von Esterquat aus Rindertalg werden pro Kilogramm Produkt 70,5 g Distickstoffmonoxid emittiert, das ein Treibhauspotenzial von 270 CO<sub>2</sub>-Äquivalenten aufweist (Dall'Acqua 1999).

<sup>40</sup> Siehe Fußnote 39.

<sup>41</sup> Das hohe Versauerungspotenzial von Weichspülern liegt in der Herstellung der Esterquats begründet. Bei der Produktion von Esterquat aus Rindertalg werden pro Kilogramm Produkt 54,2 Gramm Ammoniak emittiert, das ein Versauerungspotenzial von 1,88 SO<sub>2</sub>-Äquivalenten aufweist (Dall'Acqua 1999).

- liegt 3,5 Mal so hoch wie der Primärenergiebedarf zur Produktion des benötigten Waschmittels,
- liegt mehr als 40 Mal so hoch wie der Primärenergiebedarf zur Produktion des benötigten Weichspülers.

Die Weichspüler, die die Wäschemenge der im Wäschetrockner zu trocknenden Wäsche oder die Trocknerlaufzeit reduzieren, haben dementsprechend durch ihre energetischen Einspareffekte einen großen Einfluss.

Die Benutzung von Bügeleisen hat einen weniger großen Einfluss auf das Endergebnis als die Benutzung von Wäschetrocknern. Jedoch liegt der Primärenergiebedarf von Bügeleisen

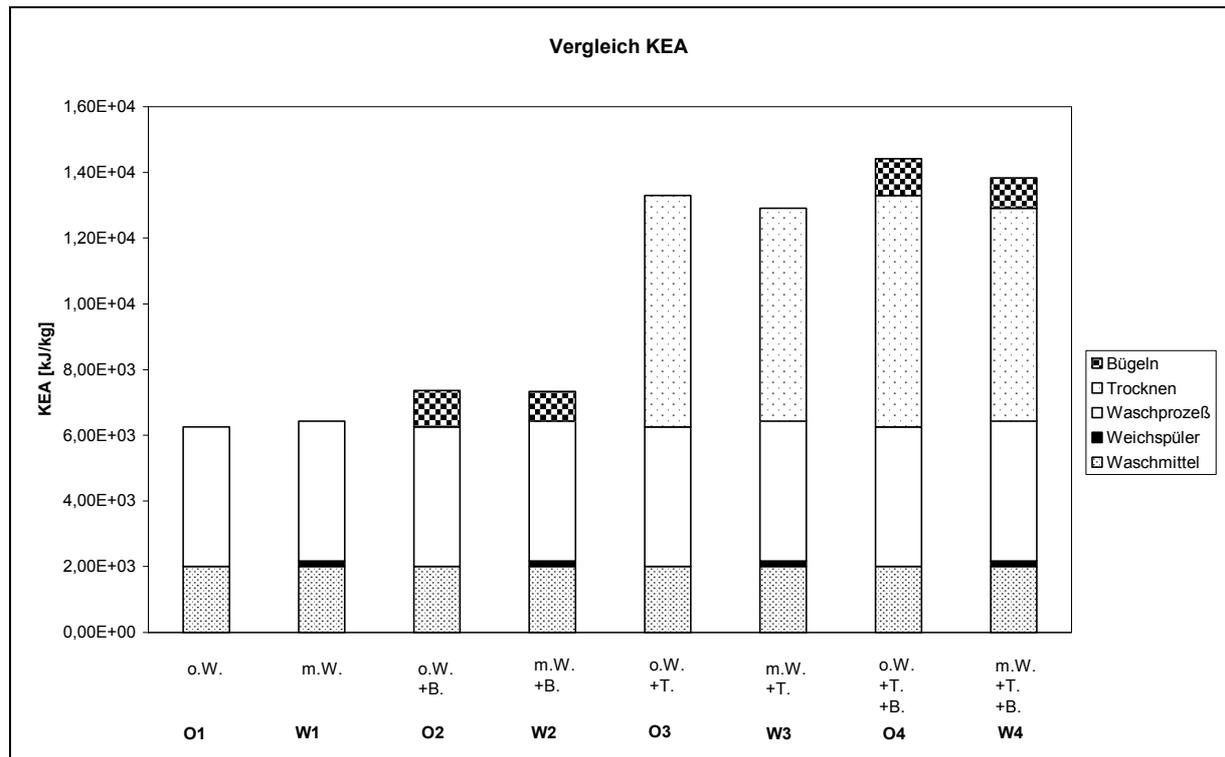
- bei gut einem Viertel des Primärenergiebedarfs des Waschprozesses,
- bei gut der Hälfte des Primärenergiebedarfs zur Herstellung des benötigten Waschmittels und
- mehr als 6 Mal höher als der Primärenergiebedarf zur Herstellung des benötigten Weichspülers.

Somit hat eine mögliche Energieeinsparung beim Bügeln durch die Benutzung von Weichspülern durchaus einen Einfluss auf das Endergebnis.

### **5.1.1 Vergleich des Primärenergiebedarfs**

Zur Produktion des zur Wäsche von 1 kg Wäsche benötigten Weichspülers werden 171 kJ Primärenergie benötigt. Die Einsparungen durch den Weichspüler betragen beim Trocknen 568 kJ (8 % weniger Trocknerwäsche) und beim Bügeln 188 kJ (17 % weniger Bügelwäsche). Insgesamt kann durch die Verwendung eines Weichspülers - vorausgesetzt die Wäsche wird nach dem Waschen in einem Wäschetrockner getrocknet (100 % der Wäsche) und anschließend gebügelt (30 % der Wäsche) - also 756 kJ Primärenergie pro Kilogramm Wäsche eingespart werden (vgl. Abbildung 4), mehr als das Vierfache der Herstellungsenergie des Weichspülers.

Die durch den Weichspüler bedingten Einspareffekte betreffen nur die Primärenergie und die energiebedingten Emissionen. Das Gewässerbelastungspotenzial des Weichspülers wird natürlich nicht verändert!



o.W. = ohne Weichspüler; m.W. = mit Weichspüler; B. = Bügeln; T. = Wäschetrockner

Abb. 4: Vergleich des Primärenergiebedarfs beim Waschen mit und ohne Weichspüler

### Sensitivitätsberechnungen

#### - Einfluss der Weichspülerdosierung:

Nimmt man an, dass der Weichspüler mit 45,2 g pro Waschgang dosiert wird (vgl. Kapitel 4.4.3) anstatt der empfohlenen Durchschnittsdosierung von 30,4 g, dann reduziert sich die Primärenergieeinsparung beim Trocknen und Bügeln bei der Verwendung von Weichspülern um 83 kJ (0,6 %).

Dies ergibt eine Primärenergieeinsparung beim Trocknen von insgesamt 314 kJ (21 % geringer). Beim Bügeln erhöht sich der Primärenergiebedarf gegenüber dem Waschen ohne Weichspüler um insgesamt 66 kJ (0,9 %).

#### - Einfluss der gebügelten Wäschemenge:

Zum Bügeln von 300 g Wäsche (30 % von 1 kg Wäsche) benötigt man 1.110 kJ Primärenergie. Durch die Verwendung von Weichspülern kann beim Bügeln aufgrund der geringeren Wäschemenge 190 kJ eingespart werden:

- Im Szenario „Waschen und Bügeln“ hat Bügeln einen Anteil von 15 % am Primärenergiebedarf. Würde man die gesamte Wäsche bügeln, also nicht nur 30 %, ...

so würde man durch die Verwendung von Weichspülern 462 kJ Primärenergie einsparen. Der Anteil des Bügelns am Primärenergiebedarf läge dann bei 32 %.

- Im Szenario „Waschen, Wäschetrockner und Bügeln“ hat Bügeln einen Anteil von 8 % am Primärenergiebedarf. Würde man die gesamte Wäsche bügeln, also nicht nur 30 %, so würde man durch die Verwendung von Weichspülern insgesamt 1.032 kJ Primärenergie einsparen, davon 570 kJ durch die geringere Belastung des Wäschetrockners und 633 kJ beim Bügeln, es addiert sich jedoch die Belastung durch den Weichspüler von 171 kJ. Der Anteil des Bügelns am Primärenergiebedarf läge dann bei 19 %.

- **Einfluss der Reduktion der Bügelzeit durch Weichspüler:**

Nach Angaben von Procter & Gamble (Uhl et al. 1998) kann durch die Verwendung von Weichspülern die Bügelzeit um 25 % reduziert werden. Dadurch würde sich der Primärenergiebedarf um 278 kJ reduzieren:

- Im Szenario „Waschen und Bügeln“ würde dies eine zusätzliche Reduktion um 3,8 %, insgesamt also eine Reduktion um 4 % des Primärenergiebedarfs bedeuten.
- Im Szenario „Waschen, Trocknen und Bügeln“ würde dies eine zusätzliche Reduktion um 2 % bedeuten.

- **Einfluss der Reduktion der Trocknerlaufzeit:**

Nach Angaben von Procter & Gamble (Uhl et al. 1998) kann durch die Verwendung von Weichspülern die Trocknerlaufzeit um 7 % reduziert werden<sup>42</sup>. Dadurch würde sich der Primärenergiebedarf beim Trocknen um 494 kJ reduzieren.

- Im Szenario „Waschen und Trocknen“ würde dies eine zusätzliche Reduktion um 4 %, insgesamt also eine Reduktion um knapp 7 % des Primärenergiebedarfs bedeuten.
- Im Szenario „Waschen, Trocknen und Bügeln“ würde dies eine zusätzliche Reduktion um 3,5 % bedeuten.

- **Einfluss der Reduktion der Trocknerlaufzeit und der Reduktion der Bügelzeit:**

Bezieht man sowohl die Reduktion der Trocknerlaufzeit von 7 % als auch die Reduktion der Bügelzeit von 25 % in das Szenario „Waschen, Trocknen und Bügeln“ mit

---

<sup>42</sup> Feuchtigkeitsgesteuerte Wäschetrockner reduzieren die Trocknerlaufzeit bei geringerer Restfeuchte der Wäsche automatisch. 1996 waren 70 % der verkauften Wäschetrockner feuchtigkeitsgesteuert (HEA 1998a). Zur Marktdurchdringung dieser modernen Geräte gibt es keine Angaben. Selbst wenn 70 % der Haushalte, die einen Wäschetrockner besitzen, einen feuchtigkeitsgesteuerten Wäschetrockner besitzen würden, wären dies insgesamt nur 20 % der Haushalte, auf die dieses Szenario zutreffen würde.

und ohne Weichspüler mit ein, dann reduziert sich der Primärenergiebedarf bei der Verwendung von Weichspülern insgesamt um 1.359 kJ. Bei der Verwendung von Weichspülern würde man somit unter diesen Voraussetzungen knapp 10 % Primärenergie einsparen.

Die folgende Abbildung zeigt die Bandbreite des Primärenergieverbrauchs bei Berücksichtigung aller Einsparmöglichkeiten durch die Verwendung von Weichspülern (Wäschetrockner: 8 % durch geringere Beladung, 7 % durch geringere Trocknerlaufzeit; Bügeln: 17 % durch geringeres Wäscheaufkommen, 25 % durch Verkürzung der Bügelzeit). In Säule W4 red. sind diese Einsparmöglichkeiten zusammengefasst (vgl. Abbildung 5). Es ist hier jedoch zu berücksichtigen, dass diese Einsparmöglichkeiten durch die Verwendung von Weichspülern nur in wenigen Haushalten realisiert werden können. Beispielsweise besitzen maximal 20 % der Haushalte einen feuchtigkeitsgesteuerten Wäschetrockner, der eine Verkürzung der Trocknerlaufzeit aufgrund geringerer Restfeuchte realisieren könnte. Die mögliche Reduktion der Bügelzeit hängt stark vom individuellen Bügelverhalten ab, wissenschaftliche Veröffentlichungen hierzu liegen nicht vor (vgl. Kapitel 2). Den geringsten Primärenergieverbrauch erzielt man immer noch dadurch, keinen Weichspüler zu verwenden, die Wäsche auf der Wäscheleine zu trocknen und nicht zu bügeln.

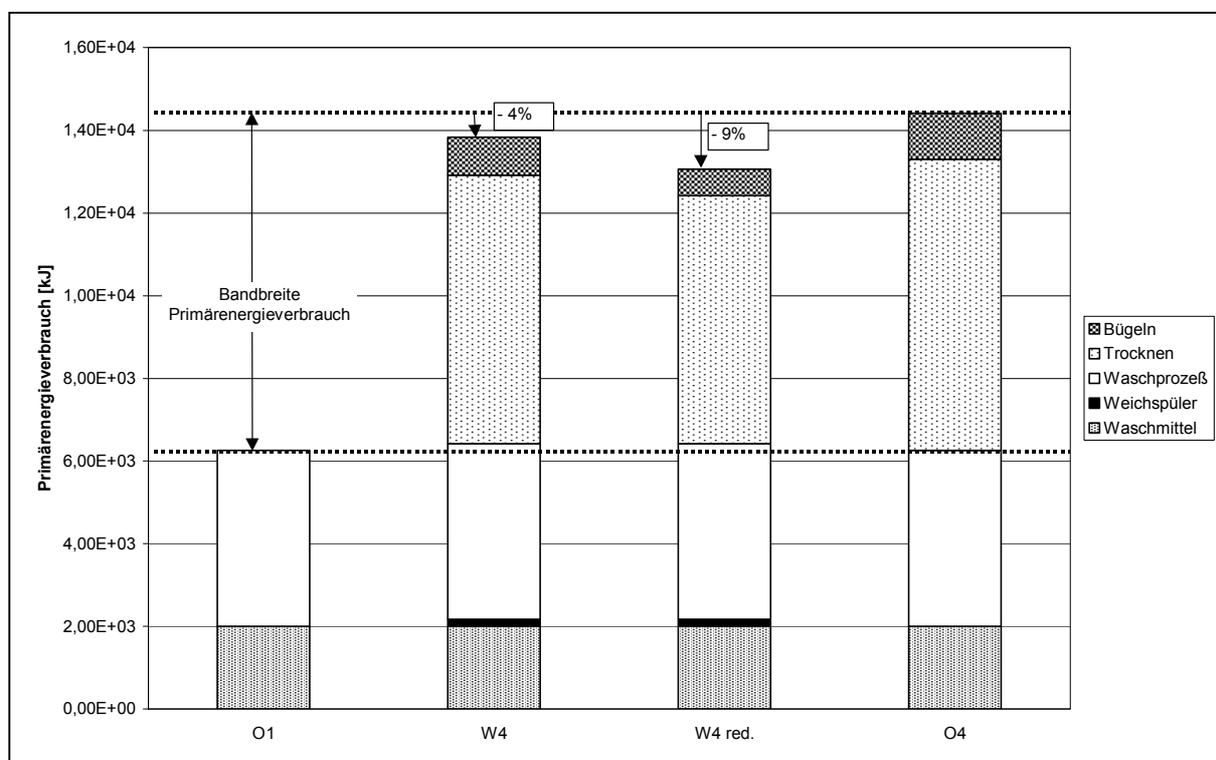
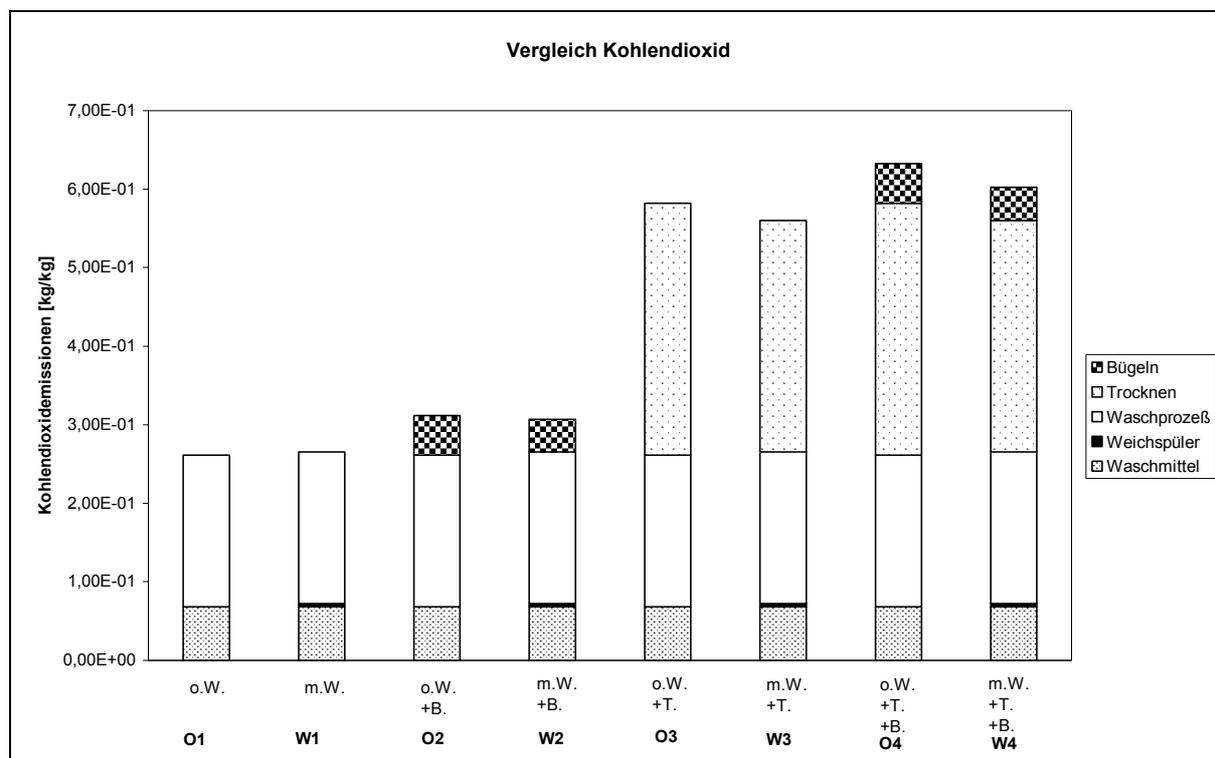


Abb. 5: Bandbreite des Verbrauchs an Primärenergie bei Berücksichtigung aller Einsparmöglichkeiten durch Weichspüler (W4 red.)

### 5.1.2 Vergleich der Kohlendioxidemissionen

Bei der Produktion des zur Wäsche von 1 kg Wäsche benötigten Weichspülers werden 4 g Kohlendioxid emittiert. Die Einsparungen durch den Weichspüler betragen beim Trocknen 26 g (8 % weniger Trocknerwäsche) und beim Bügeln 8 g (17 % weniger Bügelwäsche). Insgesamt (abzüglich der zur Herstellung des Weichspülers benötigten Energie) wird durch die Verwendung eines Weichspülers - vorausgesetzt die Wäsche wird nach dem Waschen in einem Wäschetrockner getrocknet und anschließend 30 % der Wäsche gebügelt - also 30 g Kohlendioxid pro Kilogramm Wäsche weniger emittiert (vgl. Abbildung 6).



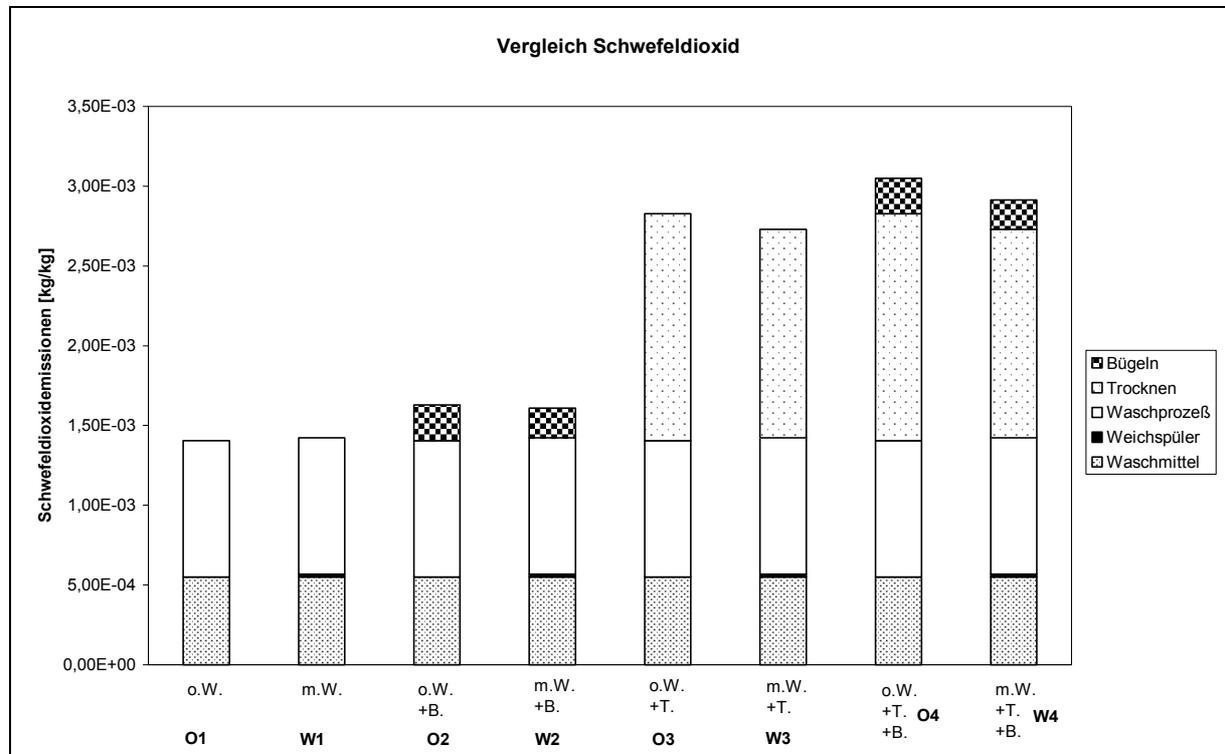
o.W. = ohne Weichspüler; m.W. = mit Weichspüler; B. = Bügeln; T. = Wäschetrockner

Abb. 6: Vergleich der Kohlendioxidemissionen beim Waschen mit und ohne Weichspüler

### 5.1.3 Vergleich der Schwefeldioxidemissionen

Bei der Produktion des zur Wäsche von 1 kg Wäsche benötigten Weichspülers werden 17 µg Schwefeldioxid emittiert. Die Einsparungen durch den Weichspüler betragen beim Trocknen 110 µg (8 % weniger Trocknerwäsche) und beim Bügeln 38 µg (17 % weniger Bügelwäsche). Insgesamt (abzüglich der zur Herstellung des Weichspülers benötigten Energie) wird durch die Verwendung eines Weichspülers - vorausgesetzt die Wäsche wird nach dem Waschen in einem Wäschetrockner getrocknet und

anschließend gebügelt - also 131 µg Schwefeldioxid pro Kilogramm Wäsche weniger emittiert (vgl. Abbildung 7).

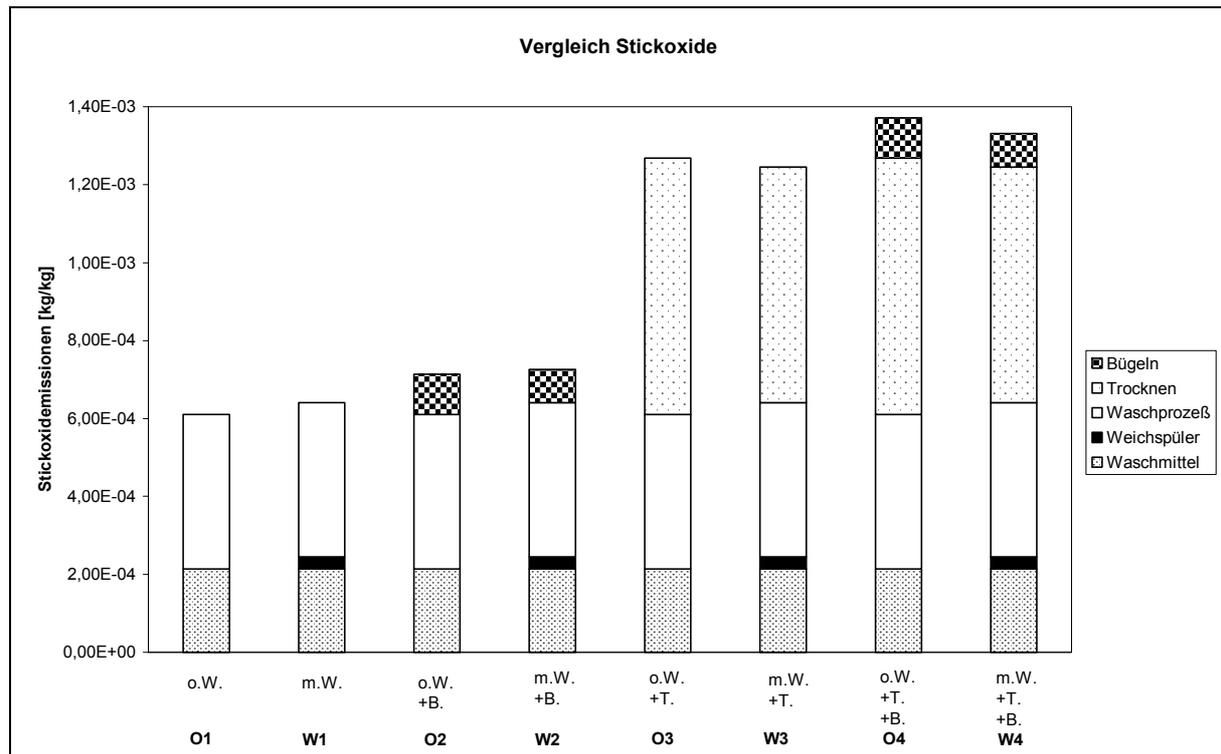


o.W. = ohne Weichspüler; m.W. = mit Weichspüler; B. = Bügeln; T. = Wäschetrockner

Abb. 7: Vergleich der Schwefeldioxidemissionen beim Waschen mit und ohne Weichspüler

### 5.1.4 Vergleich der Stickoxidemissionen

Bei der Produktion des zur Wäsche von 1 kg Wäsche benötigten Weichspülers werden 30 µg Stickoxide emittiert. Die Einsparungen durch den Weichspüler betragen beim Trocknen 53 µg (8 % weniger Trocknerwäsche) und beim Bügeln 20 µg (17 % weniger Bügelwäsche). Insgesamt (abzüglich der zur Herstellung des Weichspülers benötigten Energie) werden durch die Verwendung eines Weichspülers - vorausgesetzt die Wäsche wird nach dem Waschen in einem Wäschetrockner getrocknet und anschließend gebügelt - also 14 µg Stickoxide pro Kilogramm Wäsche weniger emittiert (vgl. Abbildung 8).



o.W. = ohne Weichspüler; m.W. = mit Weichspüler; B. = Bügeln; T. = Wäschetrockner

Abb. 8: Vergleich der Stickoxidemissionen beim Waschen mit und ohne Weichspüler

### 5.1.5 Vergleich des Wasserverbrauchs

Zur Produktion des zur Wäsche von 1 kg Wäsche benötigten Weichspülers werden 0,1 l Wasser benötigt. Insgesamt liegt der Wasserverbrauch beim Waschen ohne Weichspüler bei 22,2 l pro Kilogramm Wäsche, bei der Verwendung von Weichspüchern liegt er mit 22,3 l pro Kilogramm Wäsche nur unwesentlich höher (0,5 %).

## 5.2 Zusammenfassung der Ergebnisse

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass durch die Verwendung von Weichspüchern - unter den getroffenen Annahmen, die teilweise noch experimentell belegt werden müssen - eine Reduktion des Primärenergieverbrauchs und des Versauerungspotenzials beim Trocknen von Wäsche im Wäschetrockner und auch beim Bügeln erreicht werden kann. Dies wird nur zu einem geringen Teil durch die Herstellung des Weichspülers kompensiert. Der Primärenergiebedarf lässt sich unter den angenommenen Voraussetzungen um 1 % (Szenario „Waschen und Bügeln“) bis 5 % (Szenario „Waschen, Wäschetrockner und Bügeln“) reduzieren.

## 6. Wirkungsabschätzung

### 6.1 Treibhauspotenzial<sup>43</sup>

Die Produktion der Weichspüler ist sehr treibhausgaswirksam. Trotz eines geringeren Primärenergieverbrauchs und geringerer Kohlendioxidemissionen (vgl. Kapitel 5.1.1 und Kapitel 5.1.2) im Szenario „Waschen und Bügeln“ liegt das Treibhauspotenzial bei der Verwendung von Weichspülern höher als ohne die Verwendung von Weichspülern. Auch die Reduktion des Treibhauspotenzials in den Szenarien „Waschen und Wäschetrockner“ und „Waschen, Wäschetrockner und Bügeln“ bei der Verwendung von Weichspülern liegt mit 2 % bzw. 3,5 % wesentlich geringer als beim Primärenergiebedarf oder bei den Kohlendioxidemissionen (vgl. Abbildung 9).

Das hohe Treibhauspotenzial von Weichspülern liegt in der Herstellung der Esterquats begründet. Bei der Gewinnung von Esterquat aus Rindertalg werden (bei der Rinderhaltung) pro Kilogramm Produkt 70,5 g Distickstoffmonoxid emittiert, das ein Treibhauspotenzial von 270 CO<sub>2</sub>-Äquivalenten aufweist (Dall'Acqua et al. 1999).

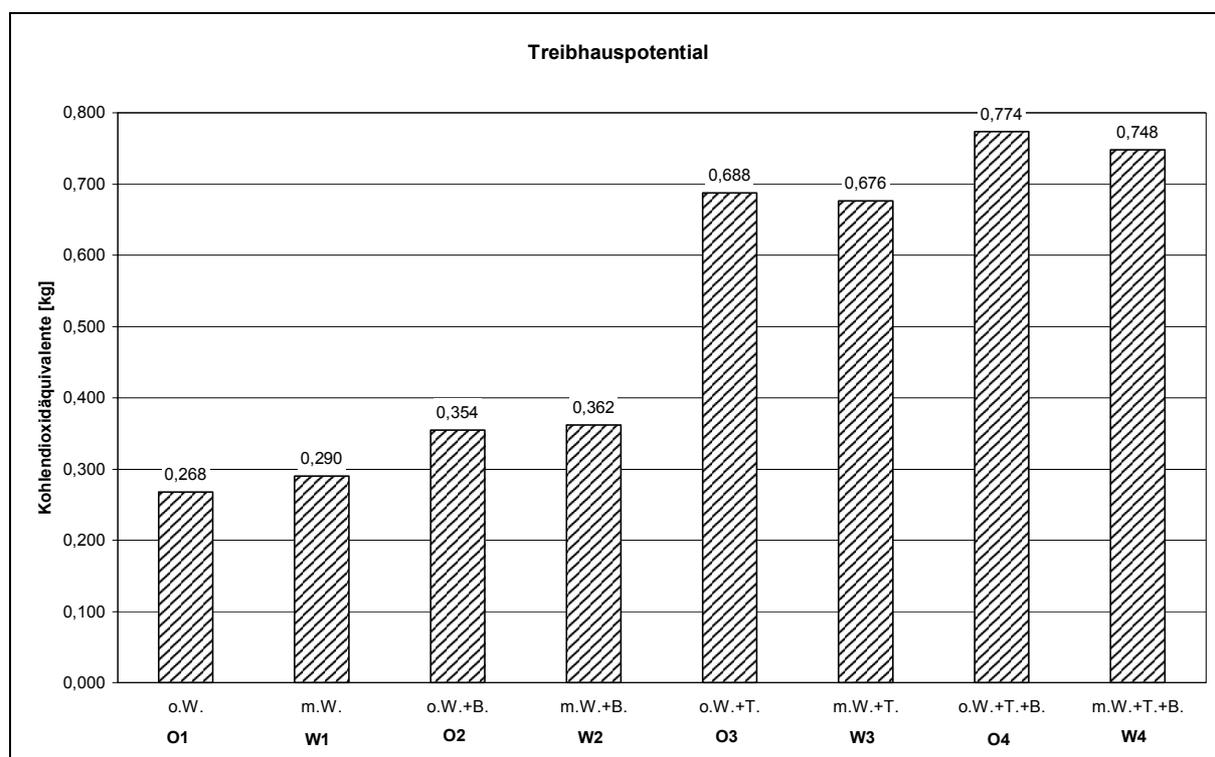


Abb. 9: Vergleich des Treibhauspotenzials beim Waschen mit und ohne Weichspüler

<sup>43</sup> Zur Berechnung des Treibhauspotenzials und den verwendeten Sachbilanzdaten vergleiche Anhang A.6.

## Sensitivitätsberechnung

### - Einfluss des Herstellungsweges des kationischen Tensids auf die Bilanz:

Um den Einfluss der Herstellung des kationischen Tensids auf die Gesamtbilanz abschätzen zu können, werden zwei Sensitivitätsberechnungen durchgeführt:

- in der ersten Rechnung wird angenommen, dass das kationische Tensid im Weichspüler zu **100 % aus Kokosöl/Palmkernöl** hergestellt wird;
- in der zweiten Rechnung wird angenommen, dass das kationische Tensid im Weichspüler zu **100 % aus Rindertalg** hergestellt wird.

Es zeigt sich, dass – wie nach den bisherigen Ergebnissen zu erwarten – vor allem der Parameter „Treibhauspotenzial“ durch den Herstellungsweg des kationischen Tensids deutlich beeinflusst wird. In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse der Sensitivitätsberechnung für die untersuchten Parameter dargestellt (vgl. Tabelle 19).

Tab. 19: Sensitivitätsrechnung Weichspüler bei unterschiedlichen Herstellungswegen des kationischen Tensids (jeweils 1 kg Produkt)

	<b>50 % Kokosöl/ Palmkernöl 50 % Rindertalg</b>	<b>100 % Kokosöl/ Palmkernöl</b>	<b>100 % Rindertalg</b>
KEA [kJ]	15.464	15.889	15.039
Kohlendioxid, fossil [g]	377	293	461
Kohlendioxid, regenerativ [g]	335	54,8	615
Schwefeldioxid [mg]	1,5	1,5	1,5
Stickoxide [mg]	2,8	1,3	4,2
Wasser [l]	12,3	12,2	12,3
Treibhauspotenzial <sup>44</sup> [g CO <sub>2</sub> -Äquivalente]	1.990	319	3.670
Versauerungspotenzial [g SO <sub>2</sub> -Äquivalente]	11,0	2,4	19,6

In der folgenden Abbildung sind die Parameter „Primärenergieverbrauch (KEA)“ und „Treibhauspotenzial“ für die drei untersuchten Varianten dargestellt (vgl. Abbildung 10).

<sup>44</sup> Das hohe Treibhauspotenzial von Weichspülem ist in der Herstellung der Esterquats begründet. Bei der Produktion von Esterquat aus Rindertalg werden pro Kilogramm Produkt 70,5 g Distickstoffmonoxid emittiert, das ein Treibhauspotenzial von 270 CO<sub>2</sub>-Äquivalenten aufweist (Dall'Acqua 1999).

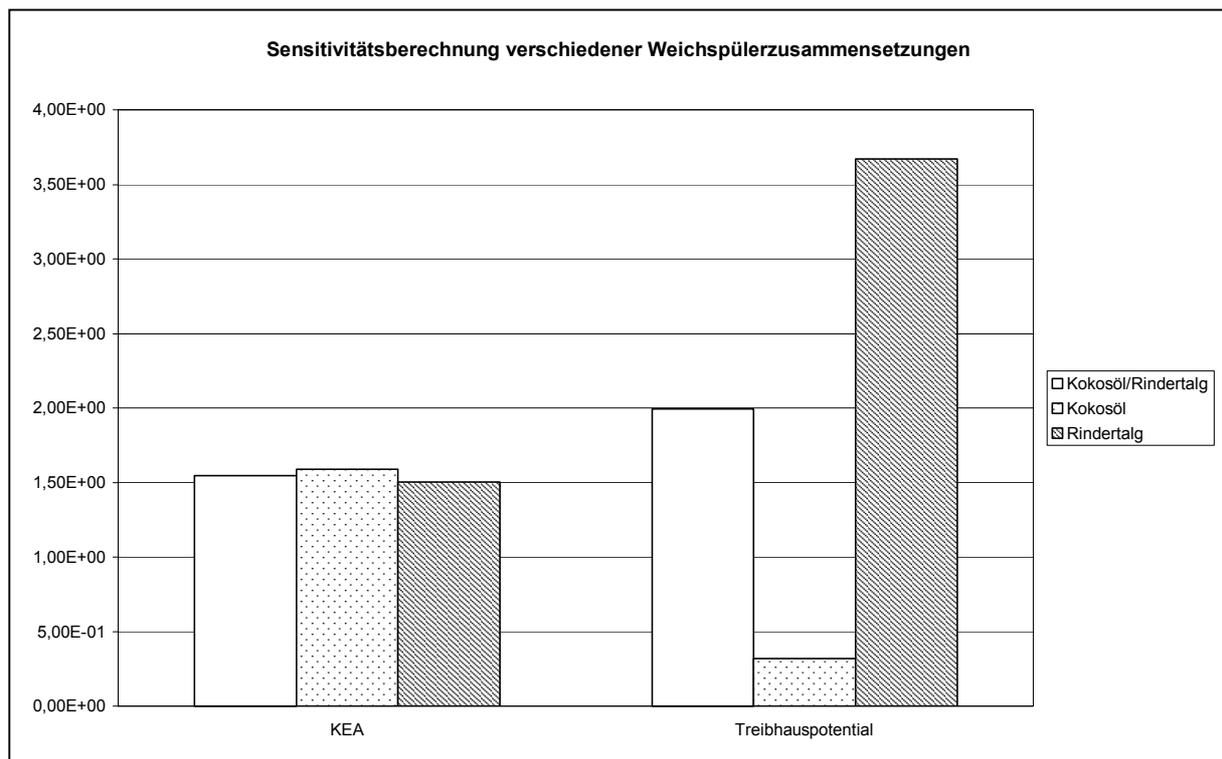


Abb. 10: Sensitivitätsberechnung für unterschiedliche Herstellungswege des kationischen Tensids im Weichspüler

Auf die untersuchten Szenarien ist der Einfluss der Herstellung des kationischen Tensids beim Parameter „Treibhausgaseffekt“ folgendermaßen:

- in Szenario W1 nimmt das Treibhauspotenzial bei 100 % Esterquat aus Kokosöl/Palmkernöl um 18 % ab (entsprechend nimmt das Treibhauspotenzial bei Herstellung des kationischen Tensids ausschließlich aus Rindertalg um 18 % zu);
- im Szenario W2 nimmt das Treibhauspotenzial bei 100 % Esterquat aus Kokosöl/Palmkernöl um 14 % ab;
- im Szenario W3 nimmt das Treibhauspotenzial bei 100 % Esterquat aus Kokosöl/Palmkernöl um 8 % ab;
- im Szenario W4 nimmt das Treibhauspotenzial bei 100 % Esterquat aus Kokosöl/Palmkernöl um 7 % ab.

Die Sensitivitätsberechnungen belegen den hohen Einfluss des Herstellungsweges (Kokosöl/Palmkernöl oder Rindertalg) des kationischen Tensids vor allem auf den Parameter Treibhauspotenzial.

Beim Treibhauspotenzial ergeben sich andere Werte als bei den Kohlendioxidemissionen (vgl. Kapitel 5.1.2), da bei der Herstellung der Weichspüler große Mengen an Treibhausga-

sen entstehen. Dies zeigt sich besonders deutlich im direkten Vergleich von 1 kg Weichspüler mit 1 kg Superkompaktwaschmittel: obwohl der Primärenergiebedarf zur Produktion des Waschmittels um den Faktor 4 höher liegt, ist das Treibhauspotenzial des Weichspülers nur um 13 % niedriger. Der Grund für das hohe Treibhausgaspotenzial liegt bei der Herstellung von Esterquats aus Rindertalg (Dall'Acqua 1999). In der vorliegenden Bilanz wurde angenommen, dass die Herstellung der Esterquats zu 50 % auf diesem Produktionsweg erfolgt. Genaue Angaben hierzu waren nicht erhältlich. Da dies jedoch eine große Auswirkung auf das Ergebnis der Bilanz von Weichspülers hat (siehe oben), sollte diese Annahme überprüft werden.

## 6.2 Versauerungspotenzial<sup>45</sup>

Das Versauerungspotenzial zeigt das, was nach den Ergebnissen bei Schwefeldioxidemissionen und Stickoxidemissionen zu erwarten war (vgl. Abbildung 11).

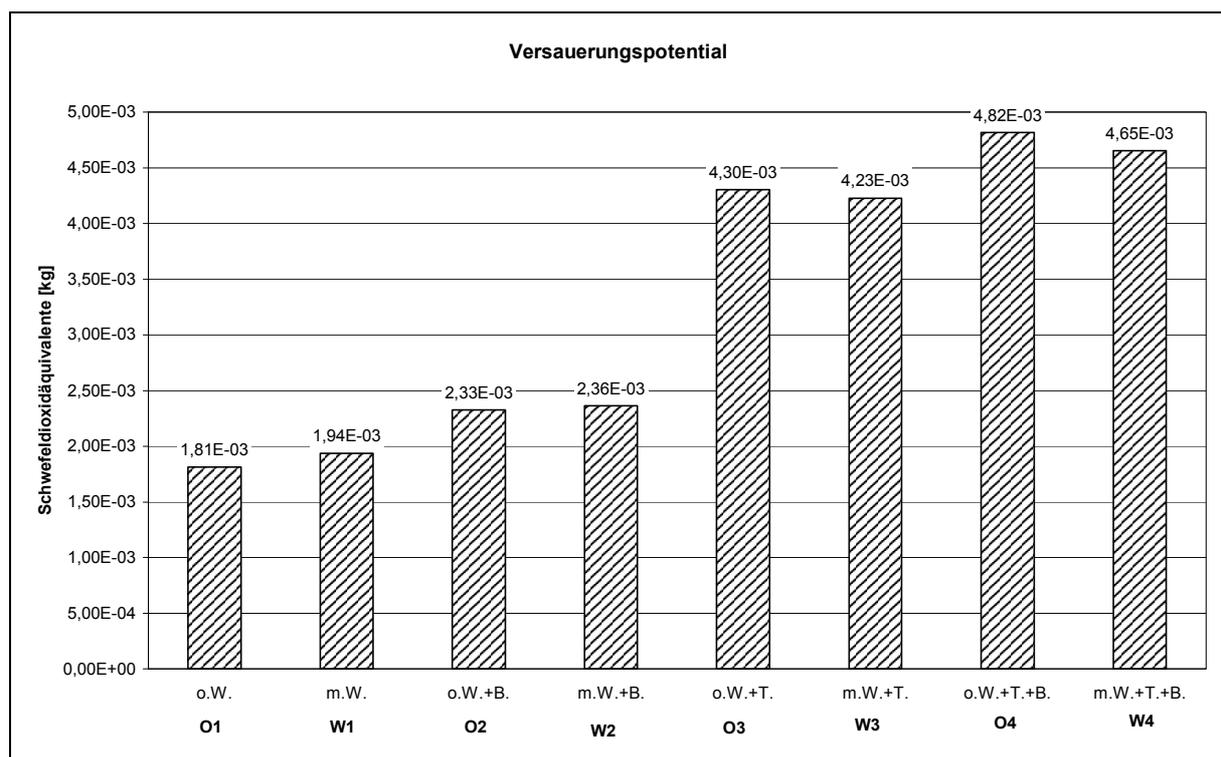


Abb. 11: Vergleich des Versauerungspotenzials beim Waschen mit und ohne Weichspüler

Betrachtet man hingegen das Versauerungspotenzial pro Kilogramm Superkompaktwaschmittel respektive Weichspüler, dann fällt auf, dass das Versauerungspotenzial des Weich-

<sup>45</sup> Zur Berechnung des Versauerungspotenzials und der verwendeten Sachbilanzdaten vergleiche Anhang A.6.

spülers mehr als 50 % von dem des Waschmittels ausmacht. Dies, obwohl die Schwefeldioxid- bzw. Stickoxidemissionen deutlich unter der Hälfte liegen. Dieser Sachverhalt ist durch die sehr hohen Ammoniakemissionen zu begründen (vgl. Tabelle A.7; Anhang), die aus der Esterquatherstellung aus Rindertalg resultieren<sup>46</sup>. Auch hier zeigt sich der hohe Einfluss des Herstellungsweges „Esterquat aus Rindertalg“.

### 6.3 Vergleich der Abwasserbehandlung

Weichspüler waren in den letzten Jahren vor allem aufgrund der durch ihre Verwendung resultierenden zusätzlichen Wasserbelastung in der kritischen Diskussion. Daher wird im Rahmen der orientierenden Ökobilanz exemplarisch für das Waschen mit und ohne Weichspüler die Wasserbelastung nach der Kläranlage<sup>47</sup> berechnet. Da die Datenlage für die Abwasserbelastung v.a. beim eigentlichen Waschprozess sehr dürftig ist (vgl. Kapitel 4.4.3), wurde die Abwasserbehandlung nicht in die acht untersuchten Szenarien (O1-O4; W1-W4) einbezogen.

Im folgenden werden die Ergebnisse (vgl. Tabelle 20) für die Abwasserbehandlung

- bei der Herstellung der eingesetzten Waschmittel bzw. Weichspüler und
- beim Waschprozess

dargestellt. Da wie schon angeführt die Datenlage sehr dürftig ist, können sinnvollerweise nur die Parameter „geklärtes Abwasser“, „Klärschlammfall“ und „BSB-5“<sup>48</sup> in die Untersuchung einbezogen werden. Die Ergebnisse beziehen sich jeweils auf 1 kg schrankfertiges, gewaschenes Waschgut (funktionelle Äquivalenz). Der Waschprozess und die Waschmittel- bzw. Weichspülerdosierung werden analog den Szenarien O1 bzw. W1 angenommen.

---

<sup>46</sup> Dall'Acqua et al. 1999 geben an, dass bei der Herstellung von Esterquat aus Kokosöl/Palmkernöl 4,37 g Ammoniak pro 1.000 kg Produkt emittiert werden, bei der Herstellung aus Rindertalg jedoch 54,2 kg pro 1.000 kg Produkt.

<sup>47</sup> Als Kläranlage wird das Modul „Kläranlage, weiterreichend mit Vorkette“ aus Umberto 3.2 1999 verwendet (vgl. Kapitel 4.3.3). In diesem Modul wird eine Kläranlage mit weitergehender Reinigung mit Vorkette beschrieben. Dieser Anlagentyp beruht auf einer biologischen Anlage mit Klärgasnutzung, hat aber zusätzlich eine Phosphatfällungs- und Denitrifikationsstufe, um Phosphor- und Stickstofffrachten zu verringern.

<sup>48</sup> BSB: Biologischer Sauerstoffbedarf. Der Eingangswert des BSB-5 in die Kläranlage wurde aus der Berechnung der EU-Punkte in Kapitel 6.4 übernommen.

Tab. 20: Wasserbelastung und Klärschlammanfall nach Abwasserbehandlung beim Waschen mit und ohne Weichspüler (pro Kilogramm Waschgut)

	Waschen ohne Weichspüler	Waschen mit Weichspüler	Prozentuale Veränderung <sup>49</sup>
<b>Herstellung Superkompaktwaschmittel und Weichspüler</b>			
Geklärtes Abwasser	66,6 ml/kg	90,1 ml/kg	+ 35 %
Klärschlammanfall	71,8 mg/kg	88,3 mg/kg	+ 23 %
BSB-5	0,23 mg/kg	0,29 mg/kg	+ 26 %
<b>Waschprozess</b>			
Geklärtes Abwasser	21,3 l/kg	21,3 l/kg	0 %
Klärschlammanfall	84 g/kg	107 g/kg	+ 27 %
BSB-5	274 mg/kg	349 mg/kg	+ 27 %
<b>Gesamt</b>			
Geklärtes Abwasser	21,4 l/kg	21,4 l/kg	0 %
Klärschlammanfall	84,7 g/kg	107,9 g/kg	+ 27 %
BSB-5	274,2 mg/kg	349,3 mg/kg	+ 27 %

Die Ergebnisse zeigen, dass die Abwasserdaten

- des Waschprozesses weitaus bedeutender sind (Faktor 100 bzw. Faktor 1.000) als die der Herstellung des Superkompaktwaschmittels bzw. Superkompaktwaschmittels plus Weichspüler;
- bei Verwendung eines Weichspülers für die untersuchten Parameter „Klärschlammanfall“ und „BSB-5“ insgesamt um mehr als ein Viertel steigen.

Dies entspricht ungefähr dem zusätzlichen Mengenanteil des Weichspülers. Jedoch muss hierbei beachtet werden, dass der Weichspüler zu 85 % aus Wasser besteht und das kationische Tensid nur 15 % ausmacht.

Die Menge des geklärten Abwassers bleibt gleich. Hier wären, um eine detailliertere Aussage treffen zu können, bessere Abwasserdaten für den Waschprozess notwendig.

#### 6.4 Potenzielle Gewässerbelastung von Weichspülern anhand des EU-Punkte-Bewertungssystems für das europäische Umweltzeichen<sup>50</sup>

Das Bewertungsmodell, das im Rahmen des EU-Umweltzeichens für Waschmittel entwickelt wurde, bewertet die Wasserbelastung durch Waschmittel nach acht unterschiedlichen Kriterien. Die Kriterien sind:

<sup>49</sup> Die Basis bilden die Werte in der Spalte „Waschen ohne Weichspüler“. Sie werden gleich 100 % gesetzt.

<sup>50</sup> Hier muss beachtet werden, dass das EU-Punkte-Bewertungssystem nicht den gesamten Lebensweg erfasst bzw. bewertet. Es wird ausschließlich die potenzielle Gewässerbelastung (die bei Weichspülern nahe 100 % liegen dürfte) berücksichtigt. Zudem kann dem Chemikalieneintrag in die Gewässer formal kein „Wirkungsendpunkt“ zugerechnet werden.

- der Gesamteintrag an Chemikalien,
- die aquatische Toxizität der Inhaltsstoffe,
- die eutrophierende Wirkung der Inhaltsstoffe,
- der Gehalt an unlöslichen anorganischen Inhaltsstoffen,
- der Gehalt an löslichen anorganischen Inhaltsstoffen,
- der Gehalt an aerob nicht biologisch abbaubaren Inhaltsstoffen,
- der Gehalt an anaerob nicht biologisch abbaubaren Inhaltsstoffen,
- der biologische Sauerstoffbedarf der Inhaltsstoffe.

Ein internationales Expertengremium, zusammengesetzt aus VertreterInnen der unterschiedlichen gesellschaftlichen Gruppen und der Wissenschaft, hat sich bei der Festlegung der Kriterien für ein Umweltzeichen auf ein Punkte-Bewertungssystem für die einzelnen Kriterien und Wichtungsfaktoren zwischen den einzelnen Kriterien geeinigt. Daraus ergibt sich eine Gesamtpunktzahl an EU-Punkten. Je höher die Punktzahl ist, um so geringer ist die Wasserbelastung durch das Waschmittel (vgl. Tabelle 21). Mindestens müssen 45 Punkte erreicht werden, um das EU-Umweltzeichen zu erhalten.

Tab. 21: Beurteilungskriterien und Punktesystem des EU-Eco Label Detergents

Kriterium und Indikatoren	Bewertungsbereich				Aus-schluss-wert	Wich-tungs-faktor	Maximal-punkt-zahl
	4 Punkte	3 Punkte	2 Punkte	1 Punkt			
<b>Einfluss auf Lebewesen</b>							
- Critical Dilution Volume, Toxizität	1.500 l	3.500 l	5.500 l	7.500 l	10.000 l	8	32 Punkte
- Phosphat	0 g	7,5 g	15 g	22,5 g	30 g	2	8 Punkte
<b>Wasser-/Abwasserbelastung</b>							
- Gesamtmenge Chemikalien	60 g	70 g	80 g	90 g	110 g	3	12 Punkte
- unlösliche Anorganica	10 g	15 g	20 g	25 g	30 g	0,5	2 Punkte
- lösliche Anorganica	10 g	25 g	40 g	55 g	70 g	0,5	2 Punkte
- aerob nicht biologisch abbaubare Organica	1 g	2 g	3 g	4 g	8 g	1	4 Punkte
- anaerob nicht biologisch abbaubare Organica	1 g	4 g	7 g	10 g	15 g	1,5	6 Punkte
- biochemischer Sauerstoffbedarf	20 g	40 g	60 g	80 g	130 g	2	8 Punkte
Maximal erreichbare Gesamtpunktzahl							74 Punkte

Alle Werte beziehen sich auf die empfohlene Einsatzmenge für einen Waschgang (Quelle: EU 1999)

Für Weichspüler existiert kein analoges Bewertungsmodell. Es spricht jedoch nichts dagegen, das EU-Punkte-Bewertungsmodell auf Weichspüler zu erweitern.

Der Hauptbestandteil von Weichspülern sind heute sogenannte „Esterquats“ - kationische Tenside aus der Gruppe der quartären Ammoniumsalze. Die für die orientierende Ökobilanz zugrunde gelegte Modellrezeptur für Weichspüler wird im Folgenden als Grundlage zur Erweiterung des EU-Punkte-Bewertungsmodells auf Weichspüler verwendet (vgl. Tabelle 22).

Tab. 22: Modellrezeptur für Weichspüler (Paulini 1999)

Inhaltsstoffe	Menge
Esterquat	15 %
Wasser	85 %
<b>Gesamt</b>	<b>100 %</b>
<i>durchschnittliche empfohlene Dosierung</i>	<i>30,4 g</i>

Weichspüler sind im Waschprozess ein Waschlösungsmittel, das die Wäsche „weich pflegen“ soll. Sie werden *zusätzlich* zum Waschmittel eingesetzt. Für die Erweiterung des EU-Punkte-Bewertungsmodells auf Weichspüler wird daher die Menge des verwendeten Weichspülers zu der des Waschmittels hinzu addiert.

Für die Bewertung ergibt sich daraus folgende Rahmenrezeptur eines „Superkompaktwaschmittels plus Weichspüler“ (vgl. Tabelle 23):

Tab. 23: Rahmenrezeptur „Superkompaktvollwaschmittel plus Weichspüler“ (Uhl 1998; Paulini 1999)

	Waschmittel plus Weichspüler
<i>Dosierung</i>	<i>105,4 g</i>
<b>Tenside</b>	
FAS	6,00 g
LAS	1,50 g
AE7 Pc	4,50 g
Esterquat	4,56 g
<b>Bleichaktivator</b>	
TAED	3,75 g
<b>Bleichmittel</b>	
Perborat	7,88 g
Percarbonat	7,88 g
<b>Gerüststoffe</b>	
Zeolith A	11,25 g
Silikate	5,63 g
Citrat	5,63 g
<b>Alkaliträger</b>	
Natriumcarbonat	7,50 g
<b>Vergrauungsinhibitoren</b>	
CMC	2,25 g
<b>Sonstige</b>	
Natriumsulfat	5,57 g
Optische Aufheller	0,11 g
Rest (Wasser)	31,41 g

Die EU-Punkte für dieses Waschmittel plus Weichspüler errechnen sich wie folgt (vgl. Tabelle 24):

Tab. 24: EU-Punkte eines Superkompaktvollwaschmittels plus Weichspüler

Kriterium und Indikatoren	Wert	Maximal erreichbare Punktzahl	erreichte Punktzahl	Prozent der Maximalpunktzahl
<b>Einfluss auf Lebewesen</b>				
- Critical Dilution Volume, Toxizität	2.335 l	32 Punkte	32 Punkte	100 %
- Phosphat	0 g	8 Punkte	8 Punkte	100 %
<b>Wasser-/Abwasserbelastung</b>				
- Gesamtmenge Chemikalien	73,96 g	12 Punkte	9 Punkte	75 %
- unlösliche Anorganica	11,25 g	2 Punkte	2 Punkte	100 %
- lösliche Anorganica	34,5 g	2 Punkte	1,5 Punkte	75 %
- aerob nicht biologisch abbaubare Organica	2,4 g	4 Punkte	3 Punkte	75 %
- anaerob nicht biologisch abbaubare Organica	1,95 g	6 Punkte	6 Punkte	100 %
- biochemischer Sauerstoffbedarf	55,5g <sup>51</sup>	8 Punkte	6 Punkte	75 %
<b>Gesamtpunktzahl</b>		<b>74 Punkte</b>	<b>67,5 Punkte</b>	<b>91 %</b>

Zum Vergleich sind in folgender Tabelle die EU-Punkte eines Superkompaktwaschmittels dargestellt (vgl. Tabelle 25).

Tab. 25: EU-Punkte eines Superkompaktvollwaschmittels

Kriterium und Indikatoren	Wert	Maximal erreichbare Punktzahl	erreichte Punktzahl	Prozent der Maximalpunktzahl
<b>Einfluss auf Lebewesen</b>				
- Critical Dilution Volume, Toxizität	2.201 l	32 Punkte	32 Punkte	100 %
- Phosphat	0 g	8 Punkte	8 Punkte	100 %
<b>Wasser-/Abwasserbelastung</b>				
- Gesamtmenge Chemikalien	69,4 g	12 Punkte	12 Punkte	100 %
- unlösliche Anorganica	11,25 g	2 Punkte	2 Punkte	100 %
- lösliche Anorganica	34,5 g	2 Punkte	1,5 Punkte	75 %
- aerob nicht biologisch abbaubare Organica	2,4 g	4 Punkte	3 Punkte	75 %
- anaerob nicht biologisch abbaubare Organica	1,95 g	6 Punkte	6 Punkte	100 %
- biochemischer Sauerstoffbedarf	42,38 g	8 Punkte	6 Punkte	75 %
<b>Gesamtpunktzahl</b>		<b>74 Punkte</b>	<b>70,5 Punkte</b>	<b>95 %</b>

Der Vergleich der Tabellen 24 und 25 zeigt, dass die höher bewertete Gewässerbelastung durch den zusätzlich eingesetzten Weichspüler beim gewählten Bewertungsprogramm aus der höheren Gesamtmenge an Chemikalien resultiert.

<sup>51</sup> Der biochemische Sauerstoffbedarf für das kationische Tensid wurde mittels folgender Formel berechnet:  $ThSB = 16 * (2C + \frac{1}{2} (H - Cl - 3N) + 3S + \frac{5}{2} P + \frac{1}{2} Na - O) / MG$ . Hierbei entspricht: ThSB = Theoret. Sauerstoffbedarf, C = Kohlenstoff, H = Wasserstoff, Cl = Chlor, N = Stickstoff, S = Schwefel, P = Phosphor, Na = Natrium, O = Sauerstoff und MG = Molekulargewicht. Die durchschnittliche Summenformel des kationischen Tensids wurde mit  $C_{40,5}H_{81}NO_4$  angenommen (Uthoff 2000, persönliche Mitteilung).

## 6.5 Interpretation

Anhand der Ergebnisse der orientierenden Ökobilanz lässt sich feststellen, dass die Bedeutung von Weichspülern absolut und relativ im Vergleich mit Waschmitteln deutlich geringer ist:

- der Primärenergieverbrauch der Produktion 1 kg Weichspülers liegt bei rund einem Viertel von dem der Produktion 1 kg des Superkompaktwaschmittels;
- die Kohlendioxidemissionen (fossil und regenerativ) bei der Produktion 1 kg Weichspülers liegen bei rund einem Drittel von Kohlendioxidemissionen der gleichen Menge des Superkompaktwaschmittels;
- die Schwefeldioxidemissionen bei der Produktion 1 kg Weichspülers liegen bei 8 % von Schwefeldioxidemissionen der gleichen Menge des Superkompaktwaschmittels;
- die Stickoxidemissionen bei der Produktion 1 kg Weichspülers liegen bei rund 40 % von denen der gleichen Menge des Superkompaktwaschmittels;
- zur Produktion 1 kg Weichspülers wird rund die Hälfte des Wassers verbraucht wie zur Produktion der gleichen Menge des Superkompaktwaschmittels.

Im Waschprozess wird die Bedeutung des Weichspülers aufgrund der wesentlich niedrigeren Dosierung im Vergleich mit dem Superkompaktwaschmittel einerseits und der Einsparpotenziale andererseits noch geringer.

Das Gewässerbelastungspotenzial (berechnet in EU-Punkten) nimmt jedoch zu: das Gesamtprodukt (Waschmittel plus Weichspüler) weist ein um drei Punkte höheres Gewässerbelastungspotenzial auf als das Superkompaktwaschmittel allein. Die für Waschmittel plus Weichspüler relevanten Einzelparameter (Critical Dilution Volume, BSB und Gesamtchemikalienmenge) zeigen, dass durch die Zugabe des Weichspülers (bei linearer Bewertung der Absolutwerte) die Belastung um 6 % (CDV), 7 % (Gesamtchemikalienmenge) bzw. 31 % (BSB) zunimmt.

Weichspüler weisen, bezogen auf den Energieverbrauch im Waschprozess und die daraus resultierenden Emissionen, einen ökologischen *Entlastungseffekt* auf - vorausgesetzt, die der orientierenden Ökobilanz zugrunde gelegten Annahmen können experimentell bestätigt werden:

- beim Wäschetrocknen mit Wäschetrockner können durch die Verwendung von Weichspülern rund 3 % Primärenergie eingespart werden, die Kohlendioxidemissionen werden um knapp 4 % reduziert;
- beim Bügeln können durch die Verwendung von Weichspülern knapp 0,5 % Primärenergie eingespart werden;

- beim Wäschetrocknen mit Wäschetrockner und Bügeln können durch die Verwendung von Weichspülern rund 4 % Primärenergie eingespart werden;
- besitzt der Haushalt einen feuchtigkeitsgesteuerten Wäschetrockner und auch der Zeitbedarf beim Bügeln wird reduziert, dann könnten durch die Verwendung von Weichspülern knapp 10 % Primärenergie eingespart werden.

Dem entgegen steht jedoch die zusätzliche ökologische Gewässerbelastung, da zusätzlich zu den emittierten Waschmittelinhaltsstoffen auch die Weichspülerinhaltsstoffe in die Gewässer gelangen und dort den Abbauprozessen unterworfen werden müssen. Es muss darauf hingewiesen werden, dass Weichspüler vor allem aufgrund des ökotoxikologischen Potenzials ihrer Hauptinhaltsstoffe - der kationischen Tenside - kritisch diskutiert werden. Die in den „Weichpflegern“ der neuen Generation verwendeten kationischen Tenside - die Esterquats - sind hinsichtlich ihrer ökotoxikologischen Auswirkungen sicherlich besser zu bewerten als das bis Anfang der neunziger Jahre verwendete DSDMAC<sup>52</sup> (Puchta et al. 1993; Giolando et al. 1995). Jedoch haben auch die biologisch schneller und besser abbaubaren Esterquats eine toxische Wirkung für Wasserlebewesen, bis sie abgebaut sind. Nach EU-Punkten liegt die zusätzliche Belastung der Gewässer durch die Verwendung von Weichspülern um drei Punkte höher.

## 7. Bilanzbewertung

Die orientierende Ökobilanz hat gezeigt, dass durch die Verwendung von Weichspülern bei bestimmten Gegebenheiten im Haushalt eine Reduktion des Energieverbrauchs erzielt werden kann. Aufgrund des Weichspülereinsatzes nimmt die Gewässerbelastung durch den Waschprozess jedoch zu.

Da bisher keine wissenschaftliche Veröffentlichung zu den Energieeinsparungen beim Trocknen von Wäsche im Wäschetrockner und beim Bügeln vorliegt, kann hier keine abschließende Bewertung vorgenommen werden. Die zugrunde gelegten Daten müssten zuerst überprüft werden. Geht man jedoch davon aus, dass die Energieeinsparungen in der angenommenen Höhe liegen, dann muss darauf hingewiesen werden, dass

- die größten Energieverbrauchsreduktionen durch Weichspülereinsatz in Haushalten mit Wäschetrockner zu erzielen sind. Jedoch nur 29 % der deutschen Haushalte besitzen einen Wäschetrockner. Das heißt, dass nur in diesen Haushalten eine Reduktion des Primärenergieverbrauchs durch den Einsatz von Weichspülern um 3 % zu erwarten ist. Demgegenüber steht jedoch eine um 6 % höhere Gewässerbelastung (bezogen auf die Inhaltsstoffe, abzüglich Wasser) durch den Weichspülereinsatz.

---

<sup>52</sup> DSDMAC: Distearyl-dimethyl-ammoniumchlorid.

Haushalte mit feuchtigkeitsgesteuerten Wäschetrocknern könnten die größten Energieverbrauchsreduktionen (knapp 7 %) erzielen, wenn durch Weichspüler der Restfeuchtegehalt der Wäsche tatsächlich signifikant reduziert wird. Der Anteil dieser Haushalte liegt jedoch bei maximal 20 %.

- der Energieverbrauch beim Bügeln durch Weichspüler um nur 0,5 % reduziert werden kann. Demgegenüber steht jedoch eine Zunahme der Gewässerbelastung um 6 % (bezogen auf die Inhaltsstoffe, abzüglich Wasser) durch den Weichspülereinsatz.

Insgesamt kann festgehalten werden, dass dem ökologischen Belastungseffekt der Gewässer (plus 6 %) durch den Weichspülereinsatz ein ökologischer Entlastungseffekt durch eine Energieverbrauchsreduktion (minus 0,5-10 %) beim Trocknen der Wäsche im Wäschetrockner und beim Bügeln gegenübersteht.

## **8. Handlungsempfehlungen, Forschungs- und Entwicklungsbedarf**

### **- Experimentelle Untersuchung des Zusatznutzens von Weichspülern:**

Wie aufgezeigt wurde, liegen bisher keine experimentellen, wissenschaftlich veröffentlichten Untersuchungen bezüglich des Zusatznutzens (oder ökologischen Einsparpotenzials) von Weichspülern vor. In der vorliegenden Studie hat sich jedoch gezeigt, dass die zugrunde gelegten Annahmen bezüglich des Zusatznutzens den entscheidenden Einfluss auf die Beurteilung des Weichspülers haben. Es wäre daher wünschenswert, um die ökologischen Auswirkungen der Verwendung von Weichspülern besser einschätzen zu können, die in dieser Untersuchung zugrunde gelegten Annahmen näher zu prüfen. Besonderes Augenmerk sollte hierbei auf das Verbraucherverhalten beim Wäschetrocknen und Bügeln gelegt werden:

- Wieviel Wäsche wird bei Verwendung von Weichspülern mit dem Wäschetrockner getrocknet? Wieviel ohne die Verwendung von Weichspülern?
- Wieviel Wäsche wird bei Verwendung von Weichspülern gebügelt? Wieviel ohne die Verwendung von Weichspülern?
- Kann durch die Verwendung von Weichspülern beim Bügeln eine Zeitersparnis erzielt werden? Wenn ja, wie hoch liegt sie?

### **- Wie differieren die Bügelergebnisse bei „geübten“ Personen und bei Personen mit durchschnittlicher Übung?**

Weiterhin ist auch eine Untersuchung des Aspektes der Reduktion des Restfeuchtegehaltes der Wäsche nach dem Waschen durch die Verwendung von Weichspülern

wünschenswert. Hier scheint eine Unterscheidung nach unterschiedlichen Wäschearten (Baumwollflachgewebe, Frotteegewebe, pflegeleichte Wäsche etc.) sinnvoll.

- **Angabe aller Inhaltsstoffe (v.a. Parfüme):**

Es wäre wünschenswert, **alle** Inhaltsstoffe von Weichspülern auf der Verpackung zu deklarieren. Gerade bei Parfümen existieren ökologisch und gesundheitlich bedenkliche Substanzen, die auch bei Weichspülern im Einsatz sein können (z.B. Moschusverbindungen<sup>53</sup>). Da hierüber jedoch keine Angaben zu erhalten sind, konnte dieser Aspekt in die ökologische Bewertung nicht einbezogen werden. Unter Umwelt- und Verbraucherschutzgesichtspunkten wäre es wünschenswert, auf den Einsatz solcher problematischer Duft- und Hilfsstoffe zu verzichten. Zudem sollten alle Inhaltsstoffe auf der Verpackung deklariert werden.

- **Reale Dosierung von Weichspülern:**

Weiterhin wurde gezeigt, dass die reale Dosierung von Weichspülern in Haushalten auf die Ökobilanz einen erheblichen Einfluss haben. Hierzu liegen jedoch keine wissenschaftlichen Untersuchungen vor. Wenn es jedoch zutrifft, dass die reale durchschnittliche Dosierung um 50 % über der empfohlenen Dosierung liegt - was nach den Herstellerangaben zu Weichspülerverbrauch und Verwendung von Weichspülern in Haushalten zu vermuten ist - dann hätte dies große Auswirkungen auf die Umwelt: Die durch die Herstellung der Weichspüler und ihren Eintrag in die Gewässer ausgelösten Umweltbelastungen würden somit um ein Drittel höher liegen als notwendig. Dies sollte im Rahmen der Verbraucherberatung kommuniziert werden.

- **Standardisierte Dosierungsangaben:**

Die Dosierungsangaben von Weichspülern weichen von Hersteller zu Hersteller stark von einander ab. Den Angaben liegen keine standardisierten Kategorien zugrunde, wie das beispielsweise bei Waschmitteln der Fall ist. Angaben zur Ergiebigkeit des Produktes fehlen bei Weichspülern meist vollständig. Hier sollte, um Fehldosierungen aufgrund ungenauer bzw. fehlender Angaben zu vermeiden, auf eine Standardisierung der Angaben hin gewirkt werden. Als wesentlich wird Folgendes angesehen:

- einheitliche Kategorien (z.B. „sehr weich“, „weich“, „Handwäsche“);

---

<sup>53</sup> Der Industrieverband Körperpflege- und Waschmittel (IKW) empfiehlt seinen Mitgliedern, auf den Einsatz von Moschus Xylol in Haushalts- und Reinigungsmitteln zu verzichten. Moschus Keton ist in diese Erklärung jedoch nicht eingeschlossen (Brunn und Rimkus 1997).

- Angaben zur Ergiebigkeit (z.B. „Mit 1.000 ml dieses Weichspülers können Sie x kg Wäsche ‘weich’ (Angabe der Kategorie) waschen (bei 4,5 kg Beladung)“).

- **Produktionsweg der Esterquats:**

Wie in Kapitel 6 aufgezeigt, ist der tatsächliche Anteil der beiden Produktionswege von Esterquats für die Bilanz von Weichspülern von großer Bedeutung. Hier wäre eine Klärung wünschenswert.

- Durch die Ökobilanz wurde die hohe Bedeutung des Wäschetrocknens deutlich. Hier sollten verschiedene Trocknungssysteme (unterschiedliche Wäschetrockner, Trockenschrank, Raumtrocknen mit Heizenergie) ökobilanziell verglichen werden, wobei auch Rahmenbedingungen, wie z.T. fehlende Möglichkeiten für Trocknen im Garten oder in Trockenräumen und Gefahr der Schimmelbildung in Wohnzimmern, einbezogen werden sollten.

## 9. Literatur

- |                            |  |
|----------------------------|--|
| Baier und Zeindlmeier 1997 | Baier, E.; Zeindlmeier, U.; Textilien und ihre Bügeleigenschaften. Im Auftrag der RWE. Kranzberg 1997  |
| Boustead 1993              | Boustead, I.; „Eco-profiles of the European plastics industry“. Report 2: Olefin Feedstock Sources. Report 4: Polystyrene. European Centre for Plastics in the Environment. PWMI (Hrsg.). Brüssel 1993   |
| Brunn und Rimkus 1997      | Brunn, H.; Rimkus, G.; Synthetische Moschusduftstoffe - Anwendung, Anreicherung in der Umwelt und Toxikologie. Teil II. Toxikologie der synthetischen Moschusduftstoffe und Schlussfolgerungen. Ernährungs-Umschau 43, Heft 1, S. 4-9, 1997                          |
| BUWAL 1996                 | Habersatter, K.; Fecker, I.; Dall’Acqua, S.; Fawer, M.; Fallscheer, F.; Förster, R.; Maillefer, C.; Ménard, M.; Reusser, L.; Som, C.; Stahel, U.; Zimmermann, P.; Ökoinventare für Verpackungen. Band I und II. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. Bern 1996 |
| CEFIC/ECOSOL 1995          | CEFIC/ECOSOL; „European Life Cycle Inventory for Detergent Surfactants Production“. Tenside, Surfactants, Detergents 2/1995  |
| CML 1992a                  | Centrum voor Milieukunde (CML); Environmental life cycle assessment of products. Band 1: Guide. Final Editor: R. Heijungs. CML. Leiden 1992  |
| CML 1992b                  | Centrum voor Milieukunde (CML); Environmental life cycle assessment of products. Band 2: Backgrounds. Final Editor: R. Heijungs. CML. Leiden 1992  |
| Cognis 1993                | Hansen, D.; Untersuchung des Bekleidungsverbrauchs einer bundesdeutschen Behörde. Studie für die Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages „Schutz des Menschen und der Umwelt“. Cognis GmbH. Düsseldorf 1993   |
| Dall’Acqua et al. 1999     | Dall’Acqua, S.; Fawer, M.; Fritschi, R.; Allenspacher, C.; Ökoinventare für die Produktion von Waschmittel-Inhaltsstoffen. EMPA-Bericht Nr. 244. St. Gallen 1999   |

---

Dürr und Hilmer 1984	Dürr, H.; Hilmer, K.; Bügelverfahren im Vergleich - Prozesskenngrößen und Gebrauchsmerkmale bei Bügeleisen und Bügelmaschine. Hauswirtsch. Wiss./32 (1984)
Eberle und Griebshammer 1997	Eberle, U.; Griebshammer, R.; Waschmitteleinsparung durch den Ersatz von Vollwaschmitteln. Freiburg 1997
Fawer 1996	Fawer, M.; Life Cycle Inventory for the Production of Zeolithe A for Detergents. EMPA-Bericht Nr. 234. St. Gallen 1996
Fawer 1997	Fawer, M.; Life Cycle Inventories for the Production of Sodium Silicates. EMPA-Bericht Nr. 241. St. Gallen 1997
Fritsche et al. 1997	Fritsche, U.; Rausch, L.; Buchert, M.; Hochfeld, C.; Jenseit, W.; Matthes, F.; Stahl, H.; Witt, J.; Gesamt-Emissionsmodell Integrierter Systeme (GEMIS), Version 3.0. Im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Energie und Bundesangelegenheiten. 1997
Giolando et al. 1995	Giolando, S. T.; Rapaport, R. A.; Larson, R. J.; Federle, T. W.; Environmental Fate and Effects of DEEDMAC: a new rapidly biodegradable cationic surfactant for use in fabric softeners. In: Chemosphere, Volume 30, No. 6, 1995, S. 1.067-1.083
Griebshammer et al. 1997	Griebshammer, R.; Bunke, D.; Gensch, C.-O.; Produktlinienanalyse Waschen und Waschmittel. UBA-Texte 1/97. Berlin 1997
Habersatter 1991	Habersatter, K.; Oekobilanz von Packstoffen, Stand 1990“. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Hrsg.). Bern 1991
HEA 1996	N.N.; Bügelgeräte. Hauptberatungsstelle für Elektrizitätsanwendung - HEA e.V. (Hrsg.). HEA-Bilderdienst, Informationen über Elektrizität und ihre Anwendung. Frankfurt 1996
HEA 1998b	N.N.; Waschmaschinen. HEA-Bilderdienst. Frankfurt 1998
HEA 1998a	N.N.; Wäschetrockner. HEA-Bilderdienst. Frankfurt 1998
King 1999	Henry King, Unilever, Großbritannien, persönliche Mitteilung vom 25. November 1999
KTBL 1996	Funke, H.; Gross, I.; Großmann-Schnatz, I.; Weinberger-Miller, P.; Wäschereinigung und Wäschepflege. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) (Hrsg.). Darmstadt 1996
Opgenorth 1990	Opgenorth, A.; Untersuchungen zur Effektprüfung von Weichspülmitteln. Diplomarbeit Fachhochschule Niederrhein, Fachbereich Ernährung und Hauswirtschaft. Mönchengladbach 1990
PA Consulting 1992	N.N.; Eco Labelling Criteria for Washing machines. PA Consulting, UK Ecolabelling Board. London 1992
Paulini 1999	Frau Dr. Paulini, Umweltbundesamt, Berlin, persönliche Mitteilung vom 24. September 1999 (Dr. Paulini ist Mitarbeiterin des Umweltbundesamtes Berlin und dort verantwortlich für den Bereich Wasch- und Reinigungsmittel)
Pichert und Dürr 1985	Pichert, H.; Dürr, H. W.; Arbeitsentlastende Innovationen durch Haushaltstechnik. Bericht zur 35. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Hauswirtschaft am 19./20. September 1985 in Darmstadt
Procter & Gamble 1998	N.N.; 35 Jahre Lenor - Vom „Weichspüler“ Lenor zum „Weichpfleger“ Lenor Care. Procter & Gamble. Schwalbach i.T. 1998
Puchta et al. 1993	Puchta, R.; Krings, P.; Sandkühler, P.; A new generation of softeners. In: Tenside Surfactants Detergents 30, 1993, S. 186-191

RAL 1991	N.N.; Grundlage für Umweltzeichen-Vergabe RAL-ZU 70 für Waschmittel im Baukastensystem. Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung (RAL), 07.10.1991
RWE 1997	N.N.; Machen Sie der Mode Dampf ... neue Bügelgeräte für die Textilpflege. Fachberatung Hauswirtschaft/Haushaltstechnik, RWE Energie AG. Essen 1997
Siemens 1995	N.N.; Voller Durchblick beim Waschen und Trocknen. Siemens-Firmenprospekt. 1995
Uhl 1998	Fax vom 19. Januar 1998, ergänzt durch eine telefonische Mitteilung vom 12. Februar 1998 (Dr. Uhl ist Mitarbeiter von Procter & Gamble und war dort bis 1999 verantwortlich für den Bereich Waschmittel)
Uhl et al. 1998	Uhl, J. C.; Deforce, L.; Pasupathy, S.; Bohnen, J.; Föllner, B.; Krüßmann, H.; Vom Wäscheweichspüler zum Wäscheweichpfleger - Produktnutzen und Umweltprofil. Vortrag auf dem 45. Kongress der SEPAWA 1998
umberto 3.2 1999	Ökobilanz-Software umberto 3.2, Institut für Umweltinformatik Hamburg GmbH - ifu, Hamburg 1999
Uthoff 1999	Frau Dr. Uthoff, Procter & Gamble, Schwalbach i.T., persönliche Mitteilung vom 14. Dezember 1999
Uthoff 2000	Frau Dr. Uthoff, Procter & Gamble, Schwalbach i.T., persönliche Mitteilung vom 17. April 2000
ZVEI 1992	N.N.; Energiebericht der Elektroindustrie 1992. Zentralverband der Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. (Hrsg.). Frankfurt 1992

## Anhang

### A.1 Verwendete (obere) Heizwerte zur Berechnung des Primärenergiebedarfs nach Dall'Acqua et al. (1999) und BUWAL (1996)

Tab. A.1: Verwendete obere Heizwerte (Dall'Acqua et al. 1999; Buwal 1996)

Rohöl*	42,6	MJ/kg
Rohgas*	40,2	MJ/m <sup>3</sup>
Rohbraunkohle*	9,9	MJ/kg
Rohsteinkohle*	30,3	MJ/kg
Holz**	16,9	MJ/kg
Uran in UF6**	451,0	MJ/g

\* = nach Dall'Acqua et al. 1999, \*\* = nach BUWAL 1996

### A.2 Energiebereitstellung: Stromnetz BRD

Das Stromnetz BRD wurde nach BUWAL (1996) berechnet. Folgende Daten wurden zugrunde gelegt:

Tab. A.2: Stromnetz BRD (BUWAL 1996)

Input			Output		
Braunkohle (RiL)	2,80E-01	kg	Aluminium (W)	2,91E-04	kg
Erdgas (RiL)	1,17E-02	kg	Ammoniak (L)	1,86E-06	kg
Erdöl (RiL)	6,29E-03	kg	Ammonium (W)	2,31E-06	kg
Holz (RiL)	1,76E-03	kg	Anorgan. Salze u. Säuren (W)	2,09E-03	kg
PE, Biomasse	2,96E+01	kJ	AOX (W)	1,11E-09	kg
PE, Braunkohle	2,67E+03	kJ	Aromaten, unspez. (W)	2,87E-07	kg
PE, Erdgas	5,31E+02	kJ	Arsen (W)	5,83E-07	kg
PE, Erdöl	2,86E+02	kJ	Barium (W)	2,38E-05	kg
PE, nukleare Brennst.	5,58E+03	kJ	Benzol (L)	2,65E-07	kg
PE, regen. Quellen	3,10E+02	kJ	Blei (L)	6,89E-08	kg
PE, Steinkohle	3,42E+03	kJ	Blei (W)	1,64E-06	kg
Steinkohle (RiL)	1,81E-01	kg	BSB-5 (W)	5,91E-08	kg
Uran (RiL)	1,17E-05	kg	Cadmium (L)	6,18E-09	kg
Wasserkraft	3,10E+02	kJ	Cadmium (W)	1,61E-08	kg
			Chlorid (W)	2,01E-03	kg
			Chlorwasserstoff (L)	1,28E-04	kg
			Chrom (W)	2,89E-06	kg
			CSB (W)	1,49E-06	kg
			Cyanid (W)	5,64E-09	kg
			Distickstoffmonoxid (L)	3,58E-06	kg
			DOC (W)	1,73E-07	kg
			Eisen (W)	5,37E-04	kg
			Energie, elektrisch	3,60E+03	kJ

Fortsetzung der Tab. A.2: Stromnetz BRD (BUWAL 1996)

			<b>Output</b>		
			Feststoffe, suspensiert (W)	6,24E-05	kg
			Fette und Öle (W)	8,75E-06	kg
			Fluorwasserstoff (L)	1,36E-05	kg
			Halon 1301 (L)	1,50E-09	kg
			Kohlendioxid, fossil (L)	5,83E-01	kg
			Kohlenmonoxid (L)	7,78E-05	kg
			Kupfer (W)	1,44E-06	kg
			Mangan (L)	4,14E-08	kg
			Metalle, un spez. (L)	3,51E-05	kg
			Metalle, un spez. (W)	3,22E-05	kg
			Methan (L)	1,38E-03	kg
			Nickel (L)	2,03E-07	kg
			Nickel (W)	1,46E-06	kg
			Nitrat (W)	7,16E-06	kg
			NM VOC (Aromaten) (L)	6,75E-06	kg
			NM VOC, fluorchlor., un spez.(L)	3,04E-10	kg
			NM VOC, un spez. (L)	7,00E-05	kg
			NOx (L)	1,20E-03	kg
			Org. geb. Stickstoff als N (W)	4,23E-08	kg
			PAK, un spez. (L)	1,11E-08	kg
			PAK, un spez. (W)	4,12E-09	kg
			Phenole (W)	4,82E-08	kg
			Phosphat (W)	1,72E-05	kg
			Quecksilber (L)	2,13E-08	kg
			Quecksilber (W)	4,46E-10	kg
			Schwefeldioxid (L)	2,58E-03	kg
			Staub (L)	8,94E-04	kg
			Stickstoffverbindungen als N (W)	3,60E-07	kg
			Stoffe, org., chlor., un spez.(W)	4,71E-10	kg
			Sulfat (W)	3,04E-03	kg
			Sulfide (W)	1,34E-08	kg
			TOC (W)	1,48E-05	kg
			Toluol (W)	3,89E-08	kg
			Zink (L)	1,73E-07	kg
			Zink (W)	2,92E-06	kg

### A.3 Modellrezepturen

#### A.3.1 Rahmenrezeptur Superkompaktvollwaschmittel

Tab. A.3.1: Rahmenrezeptur Modellwaschmittel (Quelle: Uhl 1998)

<b>Anionische Tenside</b>	<b>10,0%</b>
davon FAS	80,0%
davon LAS	20,0%
<b>Nichtionische Tenside</b>	<b>6,0%</b>
davon AE7 Pc	100,0%
<b>Bleichaktivator</b>	<b>5,0%</b>
davon TAED	100,0%
<b>Bleichmittel</b>	<b>20,5%</b>
davon Perborat	50,0%
davon Percarbonat	50,0%
<b>Gerüststoffe</b>	<b>30,0%</b>
davon Zeolith A	50,0%
davon Silikate	25,0%
davon Citrat	25,0%
<b>Alkaliträger</b>	<b>10,0%</b>
davon Natriumcarbonat	100,0%
<b>Vergrauungsinhibitoren</b>	<b>3,0%</b>
davon CMC	100,0%
<b>Sonstige</b>	<b>15,0%</b>
davon Natriumsulfat	49,5%
davon Wasser	49,5%
davon Optische Aufheller	1,0%
<b>Gesamt</b>	<b>100,0 %</b>

#### A.3.2 Rahmenrezeptur Weichspülerkonzentrat

Tab. A.3.2: Rahmenrezeptur Modellweichspüler (Quelle: Paulini 1999)

<b>Kationische Tenside</b>	<b>15%</b>
davon Esterquat aus Kokosöl/Palmkernöl	50%
davon Esterquat aus Rindertalg	50%
<b>Sonstige</b>	<b>85%</b>
davon Wasser	100%

## A.4 Verpackungen

Tab. A.4: Verpackungen bei Superkompaktwaschmitteln und Weichspülerkonzentrat

pro 1.000 kg	Papier/Pappe	Kunststoff
Waschmittel <sup>54</sup>	43,76	7,7
Weichspüler	12,63	24,21

## A.5 Dosierung Weichspülerkonzentrat

Tab. A.5: Dosierungsangaben verschiedener Weichspülerhersteller in Millilitern

Dosierungsangaben in ml	Procter & Gamble	Unilever	Henkel	Colgate
„sehr weich“ bzw. „Baumwolle“	35	35	36	36
„weich“ bzw. „alle anderen“ bzw. „Mischgewebe“	28	18	24	24
„Synthetik“	k.A.	k.A.	12	18
<b>Durchschnittsdosierung<sup>55</sup></b>	<b>32,2</b>	<b>28,2</b>	<b>28,8</b>	<b>30,0</b>

Die Gesamtdurchschnittsdosierung wurde mit Hilfe der Marktanteile der vier Hersteller berechnet (Uhl et al. 1998) und liegt bei 30,4 ml. Da die Dichte der Weichspüler im Durchschnitt bei 1 liegt, kann die Milliliterangabe analog in Gramm verwendet werden.

## A.6 Berechnung von Treibhaus- und Versauerungspotenzial und zugrunde liegende Sachbilanzdaten

**Treibhauspotenzial:** Schadstoffe, die zur zusätzlichen Erwärmung der Erdatmosphäre beitragen können, werden unter Berücksichtigung ihres Treibhauspotenzials bilanziert, das die Schädwirkung des Einzelstoffes relativ zu Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) kennzeichnet. Als Indikator für die Emission an treibhausrelevanten Gasen wird das Gesamt-Treibhauspotenzial in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten angegeben. Die mengenmäßig bedeutendsten treibhausrelevanten Schadstoffe sind hierbei Kohlendioxid, Methan und Distickstoffmonoxid. Die Gewichtungsfaktoren befinden sich in Tabelle A.6.

**Versauerung von Ökosystemen:** Schadstoffe, die als Säuren oder aufgrund ihrer Fähigkeit zur Säurefreisetzung zur Versauerung von Ökosystemen beitragen können, werden unter Berücksichtigung ihres Versauerungspotenzials (**Azidifizierungspotenzial, AP**) bilanziert und

<sup>54</sup> Waschmittelverpackung für Superkompaktwaschmittel (90 % in Nachfüllpackungen, 10 % in Originalpackungen) (vgl. Eberle und Griebhammer 1997).

<sup>55</sup> Bei der Berechnung der Durchschnittsdosierung wurde folgende Wäscheverteilung zugrunde gelegt: 40 % bei 30 °C, 45 % bei 60 °C und 15 % bei 95 °C. Bei Wäschen mit 60 °C und 95 °C wurde die Dosierung „sehr weich“ bzw. „Baumwolle“ gewählt, bei Wäschen mit 30 °C die Dosierungen „weich“ bzw. „alle anderen“ bzw. „Mischgewebe“ bzw. „Synthetik“.

aggregiert. Das Versauerungspotenzial kennzeichnet die Schadwirkung eines Stoffes als Säurebildner relativ zu Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>). Als Indikator für die Gesamtbelastung wird das Gesamt-Versauerungspotenzial in SO<sub>2</sub>-Äquivalenten angegeben. Die mengenmäßig bedeutendsten Säuren bzw. Säurebildner sind Stickoxide, Schwefeldioxid, Chlorwasserstoff und Fluorwasserstoff. Die Gewichtungsfaktoren befinden sich in Tabelle A.6.

Tab. A.6: Gewichtungsfaktoren zur Berechnung der Wirkungskategorien Treibhauspotenzial und Versauerungspotenzial

<b>Treibhauspotenzial<sup>56</sup></b>	<b>Gewichtungsfaktor</b>
Kohlendioxid, fossil	1
Methan	11
Distickstoffmonoxid	270
<b>Versauerungspotenzial</b>	
Ammoniak	1,88
Schwefeldioxid	1
NO <sub>x</sub>	0,7
Stickstoffdioxid	0,7
NO	1,07
Chlorwasserstoff	0,88
Fluorwasserstoff	1,6

Die der Berechnung des Treibhauspotenzials bzw. des Versauerungspotenzials zusätzlich zugrunde liegenden Sachbilanzdaten, die noch nicht in Kapitel 5 angegeben sind, werden im folgenden in Tabelle A.7 differenziert nach den Szenarien O1-O4 und W1-W4 wiedergegeben.

Tab. A.7: Sachbilanzdaten zur Berechnung des Treibhaus- bzw. Versauerungspotenzials in [kg/kg Waschgut]

<b>[kg/kg Waschgut]</b>	<b>Treibhauspotenzial</b>		<b>Versauerungspotenzial</b>		
	<b>Methan</b>	<b>Distickstoffmonoxid</b>	<b>Ammoniak</b>	<b>Chlorwasserstoff</b>	<b>Fluorwasserstoff</b>
<b>O1</b>	5,8 E-4	1,9 E-6	4,6 E-6	5,0 E-5	4,7 E-6
<b>O2</b>	7,8 E-4	2,5 E-6	4,9 E-6	6,8 E-5	6,7 E-6
<b>O3</b>	1,6 E-3	4,4 E-6	5,9 E-6	1,4 E-4	1,4 E-5
<b>O4</b>	1,7 E-3	5,0 E-6	6,2 E-6	1,6 E-4	1,6 E-5
<b>W1</b>	7,7 E-4	6,1 E-5	5,0 E-5	5,0 E-5	4,7 E-6
<b>W2</b>	9,3 E-4	6,1 E-5	5,0 E-5	6,5 E-5	6,3 E-6
<b>W3</b>	1,7 E-3	6,3 E-5	5,1 E-5	1,3 E-4	1,3 E-5
<b>W4</b>	1,8 E-3	6,3 E-5	5,1 E-5	1,5 E-4	1,5 E-5

<sup>56</sup> Die angegebenen Werte für das Treibhauspotenzial der Einzelstoffe beziehen sich auf einen Betrachtungszeitraum von 100 Jahren. Indirekte Effekte werden nicht mit berücksichtigt (CML 1992b)

## A.7 Bericht des Critical Review Gremiums

<b>Consumer Care</b> <b>Dr. Rolf Bretz</b> Life Cycle Assessment CA5.4 E-mail: rolf.bretz@cibasc.com Tel.: +41/61/636 38 86 Fax: +41/61/636 51 69	Klybeckstrasse 141 CH-4002 Basel Tel. +4161-636 11 11 Fax +4161-636 78 78	Postaddress: P.O. Box CH-4002 Basel	 <b>Ciba</b>
--	--	---	--

## Bericht über die Kritische Prüfung (Critical Review)

der Studie

### Orientierende Ökobilanz von Weichspülern

Prüfer: Rolf Bretz und Nik Geiler

#### Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht über die Kritische Prüfung (Critical Review) behandelt die Studie "Orientierende Ökobilanz von Weichspülern" (Ulrike Eberle und Dr. Rainer Griefßhammer, Öko-Institut e.V., D-79038 Freiburg). Es handelt sich hierbei um eine orientierende Studie, die nicht real existierende beobachtete Prozesse bilanziert, sondern anhand von 8 hypothetischen Szenarien (Waschprozesse mit/ohne Weichspülerzusatz, mit/ohne Wäschetrockner, mit/ohne Bügeln) die Zusammenhänge der Haupt-Einflussgrößen Energieverbrauch, Luftbelastung und Abwasserbelastung untersucht. Da experimentell erhärtete Daten (wie Restfeuchte, Trockenzeit und Bügeldauer mit und ohne Weichspüler) bislang fehlen, werden plausible Annahmen gemacht, die z.T. auf den Vorschlägen der Weichspüler-Hersteller beruhen. Die Resultate beschreiben also nicht eine gemessene Wirklichkeit, sondern die ökologischen Konsequenzen der genannten Szenarien.

Die Studie folgt den Vorgaben der ISO-Norm 14040 und berücksichtigt auch die Folgenormen der Reihe ISO 14041 - 14043; sie ist mit der gebotenen Gründlichkeit durchgeführt und macht einen sehr positiven Eindruck. Die verwendeten Daten stammen grossenteils aus anerkannten Quellen; die Annahmen für die Szenarien sind gut dokumentiert und im Verlauf der Studie korrekt umgesetzt worden. Die angewandten Methoden entsprechen dem Stand der Technik, soweit für die Prüfer ersichtlich. Einige Unklarheiten bei der Begründung der Annahmen und der Dokumentation der Methoden konnten im Verlauf der kritischen Prüfung behoben werden. Die Sensitivitätsrechnungen, die für diverse Annahmen und Unter-Szenarien durchgeführt wurden, geben ein sehr gutes Bild der Belastbarkeit der Resultate.

Die Ergebnisse der Studie decken ein bisher unbearbeitetes Feld der Ökobilanzierung ab und erlauben interessante Einsichten in die Zusammenhänge zwischen Weichspüler-Einsatz und Energiespar-Möglichkeiten beim Trocknen und Bügeln. Ausserdem geben sie den Anstoss zu

wünschenswerten weiteren Untersuchungen, die ihrerseits zu Entscheidungshilfen und Handlungsempfehlungen führen werden. Daher sollte die Studie auf jeden Fall publiziert werden.

Im Verlauf der kritischen Prüfung sind einige Verbesserungsmöglichkeiten aufgefallen, die bei der endgültigen Fassung berücksichtigt wurden:

- Die funktionelle Äquivalenz wurde in allen Aspekten der Studie (Bügel-Szenarien, Dosierungs-Berechnung etc.) einheitlich definiert und umgesetzt; vereinzelte Abweichungen (die sich aus der Datenlage ergaben) wurden dokumentiert.
- Annahmen, die von der Arbeit von Grießhammer et al. 1997 [1] abweichen, wurden anhand weiterer (neuerer) Literaturquellen begründet.
- Die Auswirkungen einer durchschnittlichen kommunalen Abwasserbehandlung wurden zusätzlich in die Studie einbezogen. Dies ist wichtig angesichts der Tatsache, dass die Weichspüler genau wegen ihrer Wasserbelastung Gegenstand von Diskussionen sind.

Einige weitere Anmerkungen der Prüfer konnten im Rahmen der Möglichkeiten der Studie nicht im Detail bearbeitet werden, wurden aber in die Diskussion aufgenommen und insbesondere im Kapitel 8 (Handlungsempfehlungen, Forschungs- und Entwicklungsbedarf) berücksichtigt:

- Die Datengrundlage für die Herstellung der Weichspüler-Inhaltsstoffe (Esterquats) ist schmal und nicht sehr repräsentativ; hier wäre eine vertiefte Untersuchung angezeigt.
- Ein Haupt-Ausgangsstoff für die Esterquat-Herstellung, Rindertalg, wirft grosse Allokationsprobleme auf, die sich auch in Sensitivitätsrechnungen zum Schlussresultat manifestieren (am stärksten im N<sub>2</sub>O - Beitrag zum Treibhauseffekt). Diese Fragestellung wurde ausführlich diskutiert, konnte aber nicht abschliessend gelöst werden.
- Weitere in Weichspülern enthaltene Hilfsstoffe und Parfüme wurden nicht untersucht. Diese Stoffe sollten nicht ausser Acht gelassen werden, da einige der eingesetzten Verbindungen unter ökologischen und gesundheitlichen Gesichtspunkten bedenklich sein können.
- Die wenigen tabellierten Sachbilanz-Resultate sind zwar repräsentativ für die auftretende Luftbelastung, nicht aber für diejenige des Abwassers; hier wäre eine Erweiterung angezeigt.
- Auch die Wirkungsabschätzung (Treibhauseffekt und Versauerungspotential) konzentriert sich auf die Luftbelastung. Die verwendete EU-Punkte-Bewertung der Wasserbelastung ist aus verschiedenen Gründen für die untersuchte Fragestellung nicht besonders gut geeignet, sie wird in der Diskussion kritisch hinterfragt.

## 1. Einleitung

Die vorliegende orientierende Ökobilanz von Weichspülern (Ulrike Eberle und Dr. Rainer Grießhammer, Öko-Institut e.V., D-79038 Freiburg) wurde in den Jahren 1998-2000 im Rahmen des UFO-Plan Forschungsvorhabens 106 04 145 "Ökobilanzierung zu Wasch- und Reinigungsmittelrohstoffen und deren Anwendung in der gewerblichen Wäscherei" durchgeführt.

Der Prozess der Kritischen Prüfung begann mit der Zusendung des Endberichts Entwurfes und einer Besprechung zwischen einem Autor der Studie (R. Grießhammer) und dem Vorsitzenden des Prüfungsausschusses (R. Bretz) am 26.4.2000. Im Verlauf der kritischen Prüfung wurden der Endberichts Entwurf vom 12.04.2000 sowie die am 1.5.2000 zugesandten Änderungen mit den Autoren der Studie diskutiert; die Anmerkungen der Prüfer wurden weitgehend in der Endfassung berücksichtigt. Grundlage des vorliegenden Prüfberichtes bildet der Endbericht vom Juli 2000. Den Prüfern lagen weiterhin die meisten zitierten Literatur-Referenzen vor, insbesondere Grießhammer et al. 1997 [1], Dall'Acqua et al. 1999 [2] und Uhl 1998 [3].

Es war nicht Ziel der untersuchten Studie, neue Prozessdaten zu erheben; daher war die Ersterfassung der Daten nicht Gegenstand dieser Prüfung. Ebenfalls nicht untersucht wurden die Berechnungen zur Erstellung der aggregierten Sachbilanzen aus den Einzelprozessen sowie zur Wirkungsabschätzung und Bilanzbewertung. Diese wurden mit der kommerziellen Ökobilanz-Software UMBERTO durchgeführt, und die Prüfer gehen davon aus, dass dieses System sowie die darin enthaltenen Prozess-Module und Verfahren zur Wirkungsabschätzung vom Hersteller validiert wurden. Auch die (logisch und zahlenmässig) richtige Umsetzung der getroffenen und im Endbericht beschriebenen Annahmen und Modelle in Prozessketten in UMBERTO war nicht Gegenstand dieser Prüfung, sondern wurde von der internen Qualitätssicherung des Öko-Institutes gewährleistet.

Nach Vorlage des Entwurfs zum Prüfbericht wurde die Studie von einem Prüfer (Nik Geiler) mit den Autoren sowie Sachverständigen und Vertretern der Zielgruppen diskutiert<sup>57</sup>, worauf der definitive Prüfbericht verfasst wurde.

## 2. Allgemeine Bemerkungen

Die vorliegende Studie richtet sich nach den Normen der Reihe ISO 14040 - 14043 [4,5,6,7], wobei nur ISO 14040 als verbindlich zugrundegelegt wird.

Die Vorgaben dieser Norm sind nach der Sicht der Prüfer weitgehend erfüllt; allfällige Abweichungen werden im Folgenden diskutiert.

Die Vorbehalte für die Mitteilung der Ökobilanz an Dritte (ISO 14040 Kap. 6) werden in Kap. 4.2.3 des Schlussberichtes korrekt angesprochen.

Die Anforderungen von ISO 14041 sind ebenfalls weitgehend erfüllt; die Ersterfassung von Daten war wie erwähnt nicht Ziel der Studie, somit sind die entsprechenden Vorschriften der Norm nicht anwendbar. Auf die Fragen bei der eindeutigen Festlegung der funktionellen Einheit und der Parameterwahl wird weiter unten eingegangen.

Hingegen entspricht die Wirkungsabschätzung nicht allen Vorgaben von ISO 14042. Die gewählten Wirkungsindikatoren (impact categories) Treibhauspotential und Versauerungspotential erfassen hauptsächlich Luftbelastungen, obwohl die Stoffklasse der Weichspüler eher wegen ihrer Gewässerbelastung diskutiert wird. Das verwendete EU-Punktesystem für die Gewässerbelastung durch Waschmittel entspricht nicht der Norm ISO 14042, da ihm keine eindeutige Wirkungskategorie zugrunde liegt.

Die Identifikation signifikanter Parameter<sup>58</sup> und Lebenswegabschnitte sowie die durchgeführten Sensitivitätsrechnungen erfüllen die Forderungen von ISO 14043, ebenso die klaren Angaben zur hypothetischen Natur der bilanzierten Prozesse, zu fehlenden Daten und zur Datenqualität und Konsistenz. Die Schlussfolgerungen und Empfehlungen an die Entscheidungsträger sind eine logische Konsequenz der Befunde in der Studie.

---

<sup>57</sup> Besprechung zu den Weichspüler-/Waschmittelstudien vom Öko-Institut und von AISE und zum Critical Review, am 3.7.2000 in Frankfurt. TeilnehmerInnen: Herr Geiler, Herr Klüppel (Henkel), Frau Paulini (Umweltbundesamt), Frau Eberle (Öko-Institut), Herr Griebhammer (Öko-Institut).

<sup>58</sup> Allerdings nur im Rahmen der sehr beschränkten Sachbilanz-Parameterliste (siehe Punkt 3.5 dieses Berichtes).

### 3. Ziel und Untersuchungsrahmen

#### 3.1 Ziel

Die Ziele der Studie sind in Kapitel 4.1 klar definiert; der Endbericht orientiert sich konsequent an diesen Zielen.

In einigen Fällen, so bei der Wahl der Parameter und Bewertungsmethoden und bei der Qualität der zugrundeliegenden Inventardaten, treten potentiell Konflikte mit dem Ziel der Studie auf; dies wird im jeweiligen Einzelfall weiter unten diskutiert.

#### 3.2 Systemdefinition

Die Vorgehensweise weicht bewusst von derjenigen bei der Ökobilanzierung bestehender oder geplanter Prozesse ab: Es werden nicht reale oder planbare Prozessabläufe beobachtet und bilanziert, sondern die Bilanzierung erfolgt anhand von Modellen, deren Plausibilität während und nach der Studie mit den interessierten Kreisen diskutiert wird. Ein solches Vorgehen liefert naturgemäss nicht ein Abbild der Realität, sondern eine Aussage über ein oder mehrere mögliche Szenarien. Für eine orientierende Ökobilanz ist eine solche Aussage legitim, vorausgesetzt, dass sie (wie in dieser Studie) eindeutig als "auf Annahmen beruhend" gekennzeichnet wird. Angesichts der klaren Sachlage, die sich als ziemlich unabhängig von den Annahmen herausstellt, ist ein solches Vorgehen hier auch zielführend.

Die Definition der gewählten System-Alternativen basiert wie erwähnt auf Szenarien, die in Kapitel 5 klar umschrieben sind. Die getroffenen Annahmen für den Waschprozess (inkl. Waschmittel-Produktion) beruhen auf der Arbeit von Gießhammer [1]. Für die folgenden Prozesse (Trocknen, Bügeln) wurden die (ältere) Arbeit von Dürr [8] sowie die (neueren) Publikationen der Hauptberatungsstelle für Elektrizitätsanwendung - HEA e.V. [9] zugrundegelegt. Abweichungen (z.B. bei der Waschmittel-Dosierung pro Waschgang und beim Strom- und Wasserverbrauch) werden im Einzelfall begründet. Einzelne Ungereimtheiten in der Original-Literatur<sup>59</sup> konnten allerdings nicht ausgeräumt werden.

Die funktionelle Äquivalenz wurde im Verlauf der kritischen Prüfung strikter definiert (Kap. 4.3.1) und entspricht nun der in [1] gewählten Wäschezusammensetzung. Allerdings musste (mangels spezifischer Daten) für den Teilaspekt Bügeln auf Resultate für eine leicht unterschiedliche funktionelle Äquivalenz (aus [8]) abgestellt werden. Die Prüfer teilen die Ansicht der Autoren, dass diese Uneinheitlichkeit das Gesamtergebn nicht massgeblich beeinflusst.

Die Menge des Weichspülers pro Waschgang (30.4 g) wird als "empfohlene Durchschnittsdosierung über unterschiedliche Hersteller" berechnet; die notwendigen Annahmen lassen einen recht grossen Spielraum zu. Die Autoren begegnen dieser Unsicherheit, indem sie eine Sensitivitätsberechnung mit einer deutlich höheren "realistischen" Einsatzmenge (45.2 g, aus Jahresverbrauchszahlen) durchführen, die qualitativ die gleiche Aussage liefert.

---

<sup>59</sup> Z.B. erstaunt in Tabelle 6 "Energieverbrauch beim Bügeln", dass der Bügeltyp "pflegeleicht" konsequent einen höheren Energieverbrauch zeigt als "Einsprengwäsche".

Zusammenfassend ist zu sagen, dass sich die getroffenen Annahmen, wie auch die verwendeten Modell-Rezepturen<sup>60</sup> (Anhang A3), durchaus im Rahmen des Vernünftigen bewegen und für das Studienziel sinnvoll sind.

Dies gilt auch für die Definition des Nutzens, der letztlich als Einsparung von Wasch- und Bügelenergie quantifiziert wird. Die zitierte Literaturstelle von Uhl 1998 [3] lag zwar den Prüfern vor, ist aber nicht allgemein erhältlich; evtl. könnte sie als Anhang beigefügt werden. Die Aussagen von Uhl sind nicht mit experimentellen Daten untermauert und teilweise schwierig nachzuvollziehen. Im Sinne einer konservativen Abschätzung übernehmen die Autoren in ihre Haupt-Szenarien nur zwei der insgesamt vier von Uhl angeführten Nutzen-Aspekte, nämlich 8% weniger häufigen Einsatz der Wäschetrockners, und 17% Mengenreduktion der Bügelwäsche. Die Auswahl der einzelnen Nutzen-Aspekte mag diskutabel sein; immerhin werden die beiden anderen Aspekte<sup>61</sup> in einer Sensitivitäts-Untersuchung mitberücksichtigt, und ihr Primärenergie-Verbrauch wird mit demjenigen der Haupt-Szenarien verglichen. Die gewählten Szenarien gehen alle von moderaten Verhaltensänderungen aus; ausserdem halten sich die Weglassungen und die berücksichtigten Nutzeffekte vermutlich ungefähr die Waage. Demgegenüber lassen die resultierenden Effekte an Deutlichkeit nichts zu wünschen übrig. Insofern erscheint es müssig, die Studie mit leicht veränderten Szenarien nochmals im Einzelnen durchzurechnen.

### 3.3 Systemgrenzen

Die Systemgrenzen sind eindeutig definiert, und die verwendeten Abschneide-Kriterien entsprechen der gängigen Praxis und den Zielen der Studie: Die Herstellung des Waschgutes müsste nur einbezogen werden, wenn ein Zusatznutzen "Verlängerung der Gebrauchsdauer" untersucht würde, was in dieser Studie unterbleibt. Das Weglassen der Kapitalgüter entspricht den Konventionen der EMPA-Studie [2], die weggelassenen Transporte dürften sich höchstens in der Grössenordnung 1-2% auswirken (auf die Gesamtergebnisse - bei den Differenzen wird es noch weniger sein, da sich die Effekte aufheben). Es geht nicht klar hervor, ob die Entsorgung der Weichspüler-Verpackungen weggelassen oder (ähnlich wie in [10]) als Teil der Technosphäre angesehen und mitbilanziert wird. Dieser Unterschied dürfte das Endergebnis aber nicht wesentlich beeinflussen.

Die Abwasserbehandlung wurde auf Anraten der Prüfer wenigstens durch Verwendung eines Standard-Moduls für eine kommunale Abwasserreinigungsanlage einbezogen, wenn auch nur in Form von drei summarischen Parametern. Eine weitergehende Untersuchung war in Anbetracht der dürftigen Datenlage und der Komplexität und Heterogenität der bestehenden Abwasserreinigungs-Verfahren im Rahmen der Studie nicht durchführbar.

### 3.4 Datengrundlagen und Datenqualität; Allokationsprobleme

Gegen die Verwendung von allgemeinen Daten und 'generischen Datensätzen' in einer orientierenden Ökobilanz ist nichts einzuwenden, insbesondere wenn die betroffenen Prozesse entweder

---

<sup>60</sup> Bei der Modell-Rezeptur Superkompakt-Vollwaschmittel erstaunt der Tensid-Mix 80% FAS / 20% LAS, da üblicherweise LAS als das meistgebrauchte anionische Tensid gilt. Diese Frage dürfte das Endergebnis vermutlich nicht stark beeinflussen.

<sup>61</sup> 7 % weniger Energieverbrauch beim Trocknen im Wäschetrockner, und eine Bügel-(Heiz-) Zeiteinsparung von 25% durch leichteres Bügeln.

- einen *kleinen* Beitrag zum Gesamtergebnis haben (wie Additive und Hilfsstoffe), oder
- einen *nahezu gleichen* Beitrag zum Gesamtergebnis aller Alternativen verursachen (so dass sich die Unsicherheiten zum grossen Teil aufheben)

Je grösser der Massenstrom und/oder die Umweltrelevanz eines Prozesses ist, und je *„näher“* er mit dem Studienziel oder den beobachteten Unterschieden zusammenhängt, umso höher müssen die Anforderungen an die Qualität der Daten gesetzt werden.

Insofern sind die gewählten Daten für den Untersuchungsgegenstand Esterquat fragwürdig. Bereits in der EMPA-Studie [2] wurde darauf hingewiesen, dass speziell die Daten dieser Stoffklasse den allgemein hohen Standard der übrigen Arbeit nicht erreichen, da

- die eigentlichen Prozessdaten nur von *einem* Hersteller stammen, noch dazu von einem kleineren Betrieb in Randlage, dessen Daten nicht unbedingt auf die Massenproduktion extrapoliert werden können, und
- drei wichtige Ausgangsmaterialien, Triethanolamin, Dimethylsulfat und Isopropanol, nur anhand von Literaturdaten grob geschätzt werden konnten.

Gegenüber der EMPA-Publikation wird die Unsicherheit noch vergrössert durch die Annahme einer Mischung von Esterquat aus Rindertalg und solchem aus Kokos/Palmkernöl. Das Mischverhältnis wird - mangels besserer empirischer Daten - als 50:50 angenommen. In der Studie [2] unterscheiden sich die beiden Esterquat-Typen (in den untersuchten Parametern) deutlich, wobei das Material aus Rindertalg meist die höheren Werte zeigt (fossiles CO<sub>2</sub>: Faktor 1.8, NO<sub>x</sub> gar 4.2). Allerdings besteht beim Ausgangsmaterial des Talg-Esterquat, dem Ko-Produkt Rindertalg, eine grosse Unsicherheit bezüglich des Allokationsfaktors: Von der Annahme *„Umweltbelastung ≈ 0“* (als unvermeidlichem Abfall) über die Allokation nach Marktpreisen (Fleisch : Talg = 10:1) bis zur reinen Gewichtsallokation (Talg als gleichwertiges Ko-Produkt des Fleisches) besteht ein beträchtlicher Spielraum. Details zu dieser Allokation werden in der einschlägigen Literatur (z.B. [11]) diskutiert.

Die Autoren haben in einer Sensitivitätsanalyse den Einfluss der Annahme *„50% Esterquat aus Rindertalg“* geprüft. Erwartungsgemäss beeinflusst das Ergebnis die Rangfolge der Szenarien nicht; immerhin ändert sich das Treibhauspotential bei einzelnen Szenarien um zweistellige Prozentzahlen (bezogen auf das Gesamtergebnis), was weiteren Forschungs- und allenfalls Handlungsbedarf anzeigt. Eine Handlungsempfehlung an die Hersteller zugunsten des Esterquat aus Kokos/Palmkernöl ist allerdings bei der gegenwärtigen Datenlage noch nicht gerechtfertigt.

### 3.5 Auswahl der Parameter

Die Studie diskutiert im Detail nur vier echte Sachbilanzparameter, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> und Wasserverbrauch. Daneben werden weitere Luftemissionen (Methan, N<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>, HCl und HF) tabelliert und in der Berechnung zweier Wirkungsindikatoren (Treibhauspotential und Versauerungspotential) verwendet. Weiterhin wurde der Primärenergieverbrauch aus den oberen Heizwerten der verbrauchten Ressourcen ermittelt. Von einigen Autoren wird bezweifelt, ob dieser Parameter zur Sachbilanz gehört, da er Wertungskomponenten enthält [12].

Die meisten genannten Parameter sind stark *„Luft-lastig“*; auch die Ressourcen-Grösse Energie zeigt in der Regel einen ähnlichen Verlauf wie die Verbrennungs-Emissionen CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> und NO<sub>x</sub>. Den Anstoss zu der vorliegenden Studie gab jedoch nicht der Verdacht auf unzulässige Luftbelastung beim Verbrauch von Weichspülern, sondern deren Auswirkungen in der aquatischen Umgebung. Diese Fragestellung wird lediglich durch drei relativ summarische Sachbilanz-Parameter einer standardisierten kommunalen Abwasserreinigungsanlage (geklärtes Abwasser, Klärschlammfall und BSB-5) angesprochen. Ausserdem wurde ein zusätzlicher Wirkungs- oder Bewertungsindikator, das EU-Punkte-Bewertungssystem, verwendet (Diskussion siehe unten); für diesen Indikator wurden aber keine eigentlichen

Wasseremissionen erhoben, sondern nur Daten aus der Zusammensetzung von Waschmittel und Weichspüler verwendet.

## **4. Sachbilanz**

### **4.1 Methodologie**

Aus der Arbeit geht klar hervor, dass hier Szenarien und nicht reale, gemessene Prozesse bilanziert werden. Die Modelle für die Szenarien sind klar beschrieben und nachvollziehbar.

Die verwendeten Berechnungsverfahren waren nicht Gegenstand dieser kritischen Prüfung; die Prüfer gehen davon aus, dass die eingesetzte Ökobilanz-Software UMBERTO validiert ist, und die eingegebenen Daten einer internen Qualitätssicherung unterzogen wurden.

### **4.2 Datenquellen und Literatur**

Grösstenteils stammen die Daten, soweit ersichtlich, aus der international anerkannten Literatur, aus der vorangegangenen Studie [1] oder aus Quellen, die einem kritischen Review unterzogen wurden [2]. Einige ganz zentrale Informationen wurden jedoch als persönliche Mitteilung erhalten, so die Rahmenrezepturen für den Modellweichspüler [13] und das Superkompakt-Vollwaschmittel [14]. Die Prüfer müssen davon ausgehen, dass die Autoren dieser Mitteilungen für die jeweiligen Aussagen qualifiziert sind.

Auf die Problematik der Esterquat-Daten wurde bereits hingewiesen, ebenso auf den limitierten Umfang der Inventardaten.

### **4.3 Validierung, Transformationen**

Da den Prüfern nur der Schlussbericht vorlag, konnten die Rohdaten nicht validiert und die Transformationen nicht überprüft werden.

### **4.4 Allokationen**

Wie bereits erwähnt, kann die Allokationsmethode beim Rindertal das Resultat der Studie deutlich beeinflussen; wie dies im Kapitel 4.4.2 diskutiert wird.

Demgegenüber sind die übrigen (in Kapitel 4.4.2 erwähnten) Allokationsverfahren vermutlich von geringerer Tragweite.

### **4.5 Ergebnisse der Sachbilanz**

In qualitativer Sicht ähneln die Resultate früheren Befunden an der ETH Zürich [15]: Energie, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> und NO<sub>x</sub> ergeben gleichsinnig die Rangordnung:

Weichspüler < Bügeln < Waschmittelherstellung < Waschprozess < Wäschetrockner

Es wäre interessant gewesen, in Kapitel 5.1 die Übereinstimmungen und allfällige Diskrepanzen zur Studie [15] zu diskutieren, die die gleichen Prozesse (ausser Weichspüler-Herstellung und -Verwendung) untersucht und mit ähnlichen Modellen arbeitet.

Der Vergleich in Tabelle 17 zwischen Weichspüler und Superkompakt-Waschmittel (Restfeuchte 7%) ist recht überraschend, angesichts der Tatsache, dass der Weichspüler zu 85% (w/w) aus Wasser besteht und trotzdem (gewichtsbezogen) im Vergleich zum Waschmittel 23% des Energieverbrauches, 32% der CO<sub>2</sub>-Emissionen und gar 39% des NO<sub>x</sub>-Ausstosses zeigt. Das vergleichsweise hohe Treibhauspotential des Weichspülers wird durch den Beitrag des N<sub>2</sub>O plausibel erklärt, ebenso das Versauerungspotential durch die NH<sub>3</sub>-Emissionen. Beide auffälligen Emissionen stammen allerdings mehrheitlich aus dem bereits erwähnten Prozessmodul "Rindertal" und hängen somit stark von der gewählten Allokationsmethode ab.

#### **4.6 Einbezug des Primärenergiebedarfs KEA**

Wie erwähnt wurde der Primärenergiebedarf in die Diskussion der Sachbilanz einbezogen, der sich zwar nicht eindeutig einer Sachbilanz zuordnen lässt [12], aber auch im strengen Sinn der ISO-Norm kein Wirkungsindikator (für Ressourcen-Verbrauch) ist. Andererseits wird die Primärenergie in vielen praktischen Studien dennoch als Kenngrösse genutzt, da sie auch für Nicht-Ökobilanz-Experten verständlich ist, und bei Verwendung einheitlicher Energiemodelle (wie in dieser Studie) ein recht vernünftiges Globalmass für Luftbelastung und Ressourcenverbrauch abgibt. Somit ist die Diskussion der Energieeinsparungen in diesem Kapitel durchaus zielführend.

#### **4.7 Sensitivitätsberechnungen**

Die Sensitivitätsberechnungen über die Weichspüler-Dosierung, die gebügelte Wäschemenge, die Bügelzeit und die Trocknerlaufzeit geben ausgezeichnete Beispiele für den Wert solcher Überlegungen zur Belastbarkeits-Untersuchung von Ökobilanz-Aussagen.

Auf Vorschlag der Prüfer wurde eine zusätzliche Sensitivitätsberechnung über die beiden Rohstoffe der Esterquats (Talg und Kokos-/Palmkernöl) durchgeführt; sie zeigt deutlich das Ausmass dieser Unsicherheit und gibt einen Hinweis auf weiteren Forschungs- oder evtl. Handlungsbedarf.

### **5. Wirkungsabschätzung und Bilanzbewertung**

#### **5.1 Wirkungsabschätzung nach ISO-Wirkungskategorien**

Die gewählten Wirkungskategorien Treibhauspotenzial und Versauerungspotenzial werden in korrekter Weise diskutiert; auf den starken Einfluss der Allokationsmethode (bei den Luft-Emissionen der Esterquat-Herstellung) und die damit begründete Unsicherheit wird hingewiesen.

Angesichts der Diskussion um die Wasserbelastung durch Weichspüler wäre es von der ISO-Norm 14042 angezeigt gewesen, zusätzlich wasserbezogene Wirkungskategorien auszuwählen (z.B. Ökotoxizität und Eutrophierung), um einen umfassenden Satz der mit dem Produktsystem verbundenen Umweltthemen widerzuspiegeln. Dies war angesichts der fehlenden Sachbilanzdaten nicht möglich. Die statt dessen diskutierten Parameter (geklärtes Abwasser, Klärschlammanfall und BSB-5) sind eher der Sachbilanz zuzuordnen und ersetzen eine eigentliche Wirkungsbetrachtung nicht, ebensowenig wie das nachstehend diskutierte EU-Punkte-Bewertungssystem.

## 5.2 Potenzielle Gewässerbelastung anhand des EU-Punkte-Bewertungssystems

Zugegebenermassen enthalten ältere [16] und selbst neue Bewertungsmethoden [17] keine adäquaten Gewichtungsfaktoren für Esterquats (und andere Waschmittelinhaltsstoffe), daher ist es nicht einfach, eine brauchbare aquatische Wirkungsabschätzung des Waschprozesses und insbesondere des inkrementalen Anteils des Weichspülers vorzunehmen. Als Ausweg wurde in der vorliegenden Arbeit das EU-Punkte-Bewertungssystem für *Waschmittel* beigezogen, welches für die Erteilung des EU-Umweltzeichens konzipiert ist.

Es ist korrekt, diese Extrapolation auf die Kombination Waschmittel+Weichspüler vorzunehmen, und nicht etwa auf letzteren allein. Trotzdem wird das Bewertungssystem den Besonderheiten des Weichspüler-Einsatzes nicht gerecht:

- Drei von acht Punkte-Kriterien (Phosphat, unlösliche und lösliche Anorganika) erfassen die Anwesenheit des Weichspülers wegen seiner andersartigen Zusammensetzung prinzipiell nicht.
- Zwei weitere Kriterien (aerob und anaerob nicht abbaubare Organika) fallen ausser Betracht, wenn man von der Abbaubarkeit des Esterquats ausgeht.
- Nochmals zwei Kriterien (Critical Dilution Volume und biochemischer Sauerstoffbedarf) verzeichnen zwar eine Zunahme der Grund-Messgrösse durch den Weichspüler; da die Bewertung aber in Stufenform erfolgt, bleibt die erreichte Punktzahl gleich.
- Lediglich ein Kriterium (Gesamtmenge Chemikalien) hat bei 70g pro Waschgang eine "Hürde", die vom Waschmittel alleine mit 69.4g gerade noch knapp genommen wird, der Kombination Waschmittel + Weichspüler aber drei Punkte Abzug einträgt. Dieser Unterschied ist zufällig und verschwindet völlig, wenn man die Waschmitteldosierung um 1% = 0.8 g(!) erhöhen würde, was in Anbetracht der Annahmen durchaus denkbar wäre.

Wegen der Stufen-Charakteristik des EU-Punkte-Bewertungssystems (die für die Erteilung von Umweltzeichen durchaus berechtigt sein mag) kann die zusätzliche Wasserbelastung durch den Weichspüler nicht adäquat (z.B. in Prozenten) angegeben werden. Ausserdem liegt dem EU-Punkte-Bewertungssystem keine einheitliche Wirkungskategorie gemäss ISO 14042 zugrunde.

Es würde den Rahmen der vorliegenden orientierenden Ökobilanz sprengen, entsprechend der neueren Literatur [18,19,20] für die Waschmittelinhaltsstoffe individuelle Gewichtungsfaktoren schaffen zu wollen, obgleich die dazu nötige (öko)toxikologische Information sicher bereits vorliegt. Immerhin wäre ein Hinweis auf weitere notwendige Forschung angezeigt. Letztlich führt auch eine sachgerechte Wirkungsabschätzung nach ISO [6] zu dem Dilemma, dass die Weichspüler-Varianten zwar in der Wasserbelastung etwas höher, dafür bei den Luftschadstoffen tiefer liegen als diejenigen ohne Weichspüler. Eine abschliessende Aussage erfordert dann eine Gewichtung von Indikatorergebnissen über Wirkungskategorien hinweg (siehe unten).

## 5.3 Bilanzbewertung

Die Bilanzbewertung weist richtigerweise auf die Unsicherheiten der verwendeten Szenarien hin und diskutiert die notwendige Abwägung zwischen der erreichbaren Reduktion des Primärenergieverbrauches durch den Einsatz von Weichspüchern und der gleichzeitig dadurch verursachten Mehrbelastung des Abwassers.

Nach dem heutigen Stand der Diskussion ist eine allgemein anerkannte Wertung zwischen diesen beiden Effekten (in verschiedenen Wirkungskategorien) noch nicht möglich; und ISO 14042 erklärt eine solche als unzulässig für vergleichende Aussagen, die zur Veröffentlichung bestimmt sind [6]. Folgerichtig unterbleibt dieser Schritt der Bilanzbewertung in der vorliegenden Arbeit.

## 5.4 Handlungsempfehlungen

Die Handlungsempfehlungen weisen mehrheitlich auf den weiteren Forschungsbedarf hin, der zur Erhärtung der Aussagen sicherlich besteht. Die vorgeschlagene Angabe aller Inhaltsstoffe sowie die Vereinheitlichung der Dosierungsempfehlung und der Angaben zur Ausgiebigkeit ist begrüßenswert. Hingegen wurde auf eine eigentliche Empfehlung an den Verbraucher vorerst verzichtet - dies ist in Anbetracht der beschriebenen Unsicherheiten ein nachvollziehbarer und vernünftiger Entscheid.

## 6. Schlussbemerkung

Es liegt in der Natur einer kritischen Prüfung, dass sie detaillierter auf offene Fragen und Unklarheiten einer Studie eingeht als auf die positiven Seiten.

Die vorliegende Arbeit untersucht ein Thema, das schon seit einiger Zeit kontrovers diskutiert wurde, und sie weist auf einige interessante Aspekte hin, die bisher nicht gründlich untersucht wurden. Insofern wird sie ihrem Anspruch als orientierende Ökobilanz durchaus gerecht und sollte auf jeden Fall veröffentlicht werden.

Die aufgezählten Kritikpunkte sollen als Hinweise auf eine weitere mögliche Untersuchungen verstanden werden und nicht den Wert der Studie schmälern.

## 7. Literatur

- [1] GRIßHAMMER, R.; BUNKE, D.; GENSCHE, C.-O.: Produktlinienanalyse Waschen und Waschmittel, UBA-Texte 1/97, Berlin 1997
- [2] DALL'ACQUA, S., M. FAWER, R. FRITSCHI, C. ALLENSPACH: Life Cycle Inventories for the Production of Detergent Ingredients, EMPA Report No 244, St. Gallen (1999).
- [3] UHL, J. C.; DEFORCE, L.; PASUPATHY, S.; BOHNEN, J.; FÖLLNER, B.; KRÜßMANN, H.: Vom Wäscheweichspüler zum Wäscheweichpfleger - Produktnutzen und Umweltprofil, Vortrag auf dem 45. Kongreß der SEPAWA 1998
- [4] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, ISO/TC 207/SC5: International Standard ISO 14040: Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework (1997).
- [5] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, ISO/TC 207/SC5: International Standard ISO 14041: Environmental Management - Life Cycle Assessment - Goal and Scope Definition and Inventory Analysis (1998).
- [6] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, ISO/TC 207/SC5: International Standard ISO/DIS 14042: Environmental Management - Life Cycle Assessment - Life Cycle Impact Assessment (2000).
- [7] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, ISO/TC 207/SC5: International Standard ISO/DIS 14043: Environmental Management - Life Cycle Assessment - Life Cycle Interpretation (2000).
- [8] DÜRR, H.; HILMER, K.: Bügelverfahren im Vergleich - Prozesskenngrößen und Gebrauchsmerkmale bei Bügeleisen und Bügelmaschine. Hauswirtsch. Wiss./32 (1984).
- [9] N.N.: Bügelgeräte. Hauptberatungsstelle für Elektrizitätsanwendung - HEA e.V. (Hrsg.). HEA-Bilderdienst, Informationen über Elektrizität und ihre Anwendung. Frankfurt 1996, sowie: Waschmaschinen. HEA-Bilderdienst. Frankfurt 1998, und: Wäschetrockner. HEA-Bilderdienst. Frankfurt 1998.
- [10] HABERSATTER K., FECKER, I, et al.: Ökoinventare für Verpackungen Vol. I + II, Swiss Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Schriftenreihe Umwelt Nr. 250/I+II, Berne (1996).
- [11] D. POSTLETHWAITE: A Life-Cycle Inventory for the Production of Soap in Europe, Tenside Surf. Det. 32, 157-170 (1995).
- [12] FRISCHKNECHT, R., HEIJUNGS, R. HOFSTETTER, P.: Einstein's Lessons for Energy Accounting in LCA, Int.J.LCA 3, 266-272 (1998).

- [13] PAULINI 1999: Persönliche Mitteilung vom 24. September 1999 (Frau Dr. Paulini ist Mitarbeiterin des Umweltbundesamtes Berlin und dort verantwortlich für den Bereich Wasch- und Reinigungsmittel).
- [14] UHL 1998: Fax vom 19. Januar 1998, ergänzt durch eine telefonische Mitteilung vom 12. Februar 1998: Rezeptur Superkompaktvollwaschmittel (Dr. Uhl ist Mitarbeiter von Procter & Gamble und war dort bis 1999 verantwortlich für den Bereich Waschmittel).
- [15] PULLI, R.: Ökobilanz eines Baumwoll-T-Shirts mit Schwerpunkt auf den verwendeten Chemikalien, Diplomarbeit, ETH Zürich (August 1997).
- [16] HEIJUNGS, R. (final ed.): Environmental Life Cycle Assessment of Products, I. Guide, II. Backgrounds, Centre for Environmental Science, Leiden (October 1992).
- [17] Goedkoop, M., R. Spriensma: Eco-indicator 99, a damage oriented LCA impact assessment method, Methodology report and Annexe report, publikatierreeks produktenbeleid Nr 1999/36A+B, Ministry of Urban Planning, Housing and the Environment, The Hague, The Netherlands (1999).
- [18] GUINÉE, J., HEIJUNGS, R., VAN OERS, L., VAN DE MEENT, D., VERMEIRE T., RIKKEN M.: LCA Impact Assessment of Toxic Releases (Generic Modelling of Fate, Exposure and Effect for Ecosystems and Human beings, with Data for about 100 Chemicals), Publikatierreeks Produktenbeleid Nr. 1996/21, Dutch Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment, Den Haag (1996).
- [19] HUIJBREGTS, M.: Priority Assessment of Toxic Substances in the Frame of LCA (Development and Application of the Multi-Media fate, Exposure, and Effect Model USES-LCA, Milieukunde Universiteit van Amsterdam, Amsterdam (1999).
- [20] UDO DE HAES, H., O. JOLLIET, G. FINNVEDEN, M. HAUSCHILD, W. KREWITT, AND R. MÜLER-WENK: Best Available Practice Regarding Impact Categories and Category Indicators in Life Cycle Impact Assessment, Background Document for the Second Working Group on Life Cycle Impact Assessment of SETAC-Europe (WIA-2), Part I, Int.J.LCA 4 (2), pp.66-74, Part II, Int.J.LCA 4 (3), pp.167-174 (1999).

## **Endbericht**

### **Analyse gewerblicher Waschprozesse**

Teilstudie im UFO-Plan Vorhaben 296 64 145  
„Ökobilanzierung zu Wasch- und Reinigungsmittelrohstoffen  
und deren Anwendung in der gewerblichen Wäscherei“

AutorInnen:

Ulrike Eberle

Dr. Rainer Grießhammer

#### **Öko-Institut e.V.**

Geschäftsstelle Freiburg

Postfach 6226

D-79038 Freiburg

Tel.: 0761/45 29 5-0

Fax: 0761/47 54 37

Büro Darmstadt

Elisabethenstraße 55-57

D-64283 Darmstadt

Tel.: 06151/8191-0

Fax: 06151/8191-33

Büro Berlin

Novalisstraße 10

D-10115 Berlin

Tel.: 030/280 486-80

Fax: 030/280 486-88

Freiburg, Juli 2000

## Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>Übersicht .....</b>	<b>1</b>
2.1	Kategorisierung der gewerblichen Waschprozesse .....	3
2.1.1	Waschprozess in einer gewerblichen Wäscherei .....	6
2.1.2	Waschprozess in einem Waschsalon .....	8
2.1.3	Waschprozess im Haushalt .....	9
2.2	Datenerhebung und Fragebogenaktion .....	10
2.2.1	Gewerbliche Wäschereien .....	10
2.2.2	Waschsalons .....	11
2.2.3	Fazit Fragebogenaktion .....	11
2.2.4	Repräsentativität der einbezogenen Daten .....	12
<b>3.</b>	<b>Analyse der Wäschereien und Waschprozesse .....</b>	<b>13</b>
3.1	Gewerbliches Waschen in Wäschereien unterschiedlicher Größe .....	13
3.2	Waschen von Berufsbekleidung .....	18
3.2.1	Gewerbliches Waschen von Berufsbekleidung .....	18
3.2.2	Vergleich: Waschen von Berufsbekleidung in gewerblichen Wäschereien und im privaten Haushalt .....	19
3.3	Waschen von Privatwäsche in einer gewerblichen Wäscherei, im Waschsalon und im Privathaushalt .....	21
3.3.1	Waschen in einer gewerblichen Wäscherei .....	21
3.3.2	Waschen im Waschsalon .....	22
3.3.3	Waschen im Privathaushalt .....	23
3.3.4	Vergleich: Waschen von Privatwäsche in Wäschereien, Waschsalo- ns und privaten Haushalten .....	24
<b>4.</b>	<b>Orientierende Stoffstromanalyse „gewerbliches Waschen“ .....</b>	<b>27</b>

<b>5.</b>	<b>Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen .....</b>	<b>28</b>
<b>6.</b>	<b>Literatur.....</b>	<b>30</b>
	<b>Anhang.....</b>	<b>32</b>
A.1	Eingesetzte Waschmittel in den befragten Wäschereien .....	32
A.2	Fragebogen .....	33
A.2.1	Fragebogen „gewerbliche Wäschereien“ .....	33
A.2.2	Fragebogen „Waschsalons“ .....	37
A.3	Waschmittel.....	40
A.3.1	Rahmenrezeptur gewerbliches Waschmittel für blaue Berufskleidung (Dosiermengen: differenziert nach Verschmutzungsgrad, WM-Typ, Qualitätsanforderung) (Quelle: IHO 1998).....	40
A.3.2	Rahmenrezeptur Superkompaktvollwaschmittel (Quelle: Uhl 1998) .....	41
A.4	Verwendete (obere) Heizwerte zur Berechnung des Primärenergiebedarfs nach Dall’Acqua et al. (1999) und BUWAL (1996).....	41
A.5	Energiebereitstellung: Stromnetz BRD.....	41
A.6	Personenbeförderung .....	43

## 1. Einleitung

Das Waschen in Haushalten ist bereits eingehend aus ökologischer Sicht untersucht worden (Grießhammer et al. 1997). Hingegen stehen analoge Untersuchungen für das Waschen in gewerblichen Wäschereien und Waschsals, sowie für Weichspüler in Deutschland bisher noch aus. Auf europäischer Ebene wurde 1999 eine Studie für das Waschen von Berufsbekleidung in Wäschereien mit Mietervice der European Textile Service Association (ETSA) vorgelegt (Grießhammer et al. 1999). Im Rahmen des UFO-Plan Vorhabens 296 64 145 werden die noch ausstehenden Untersuchungen durchgeführt:

- in der Teilstudie „Orientierende Ökobilanz Weichspüler“ (Eberle und Grießhammer 2000a) wird eine ökobilanzielle Untersuchung von Weichspülern und ihrem Einsatz im Waschprozess vorgenommen;
- in der Teilstudie „Ökobilanz und Stoffstromanalyse Waschen und Waschmittel“ (Eberle und Grießhammer 2000) wird einerseits die „Produktlinienanalyse Waschen und Waschmittel“ (Grießhammer et al. 1997) aktualisiert und andererseits ein Bewertungssystem und Umweltziele für den Bereich Waschen abgeleitet;
- in der hier vorliegenden Teilstudie werden die Umweltauswirkungen von gewerblichen Waschprozessen und die dadurch ausgelösten Stoffströme analysiert.

## 2. Übersicht

In Deutschland gibt es etwa 3.400 gewerbliche Wäschereien (vgl. Abbildung 1) mit einem Jahresumsatz von rund 2,8 Milliarden DM. Rund drei Viertel des (finanziellen) Gesamtumsatzes gewerblicher Wäschereien werden in mittleren und größeren Wäschereien getätigt (vgl. Abbildung 2).

Nach Hochrechnung des Deutschen Textilreinigungsverbandes (DTV) werden pro Jahr rund 675.000 t Wäsche in gewerblichen Wäschereien gewaschen (DTV o.J.).

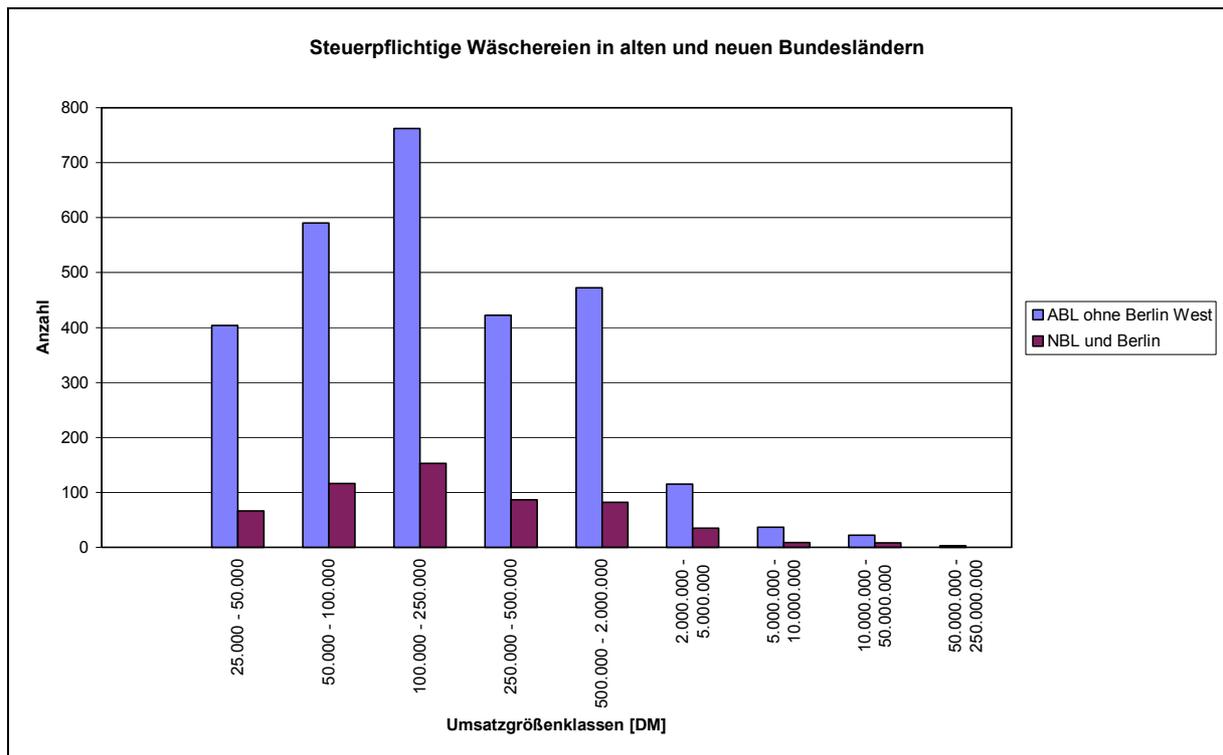


Abb. 1: Steuerpflichtige Wäschereien der Bundesrepublik nach Umsatzgrößenklassen in den alten und neuen Bundesländern (inklusive Berlin) (Quelle: Statistisches Bundesamt, Umsatzsteuerstatistik 1992, 731 1: Wäschereien)

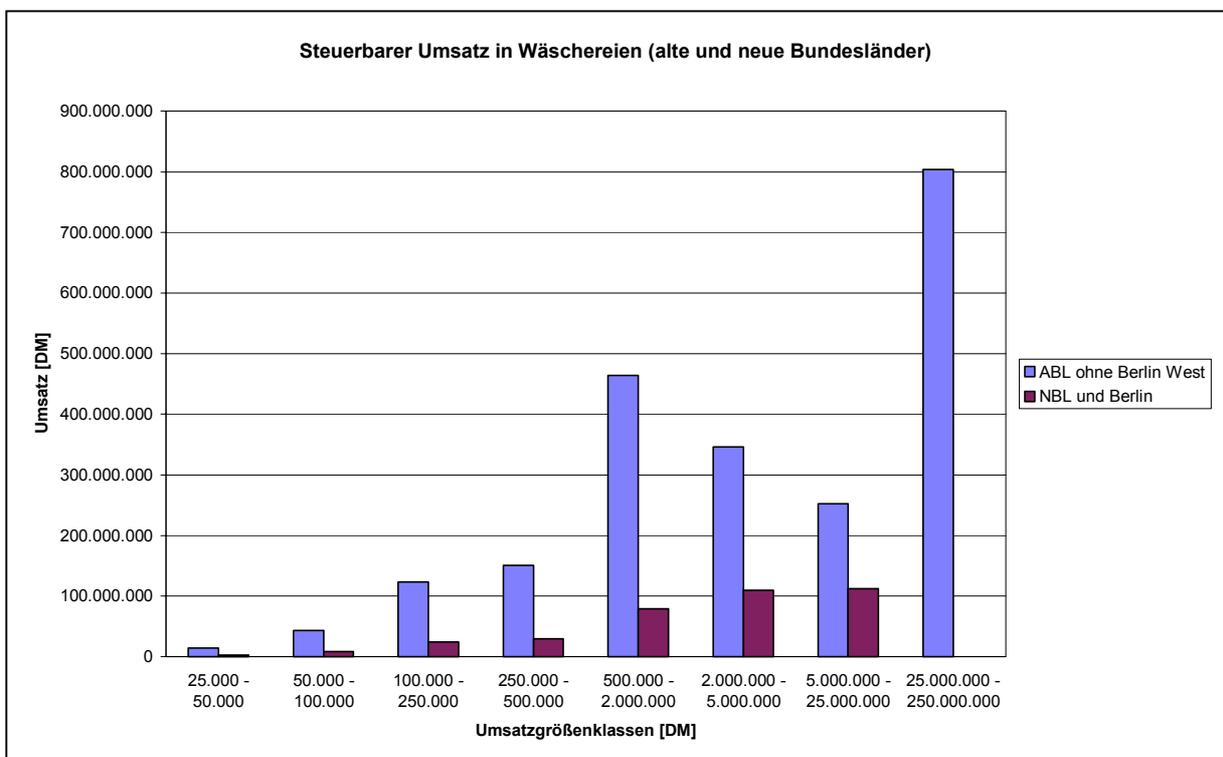


Abb. 2: Steuerbarer Umsatz in den Wäschereien der Bundesrepublik nach Umsatzgrößenklassen in den alten und neuen Bundesländern (inklusive Berlin) (Quelle: Statistisches Bundesamt, Umsatzsteuerstatistik 1992, 731 1: Wäschereien)

Die gewerblichen Wäschereien bzw. Waschprozesse unterscheiden sich nach Größe der Wäschereien, nach dem Waschgut und der Art der Verschmutzung erheblich. Weiterhin existieren unterschiedliche ökonomisch-logistische Voraussetzungen. Die gewerblichen Wäschereien können z.T. nach

- Mietserviceunternehmen und
- Wäschereien, die keinen Mietservice anbieten,

unterschieden werden.

Gesondert hervorheben muss man eigene bzw. ausgegliederte Wäschereien großer Unternehmen oder Dienstleister (z.B. Krankenhäuser), die in dieser Untersuchung nicht näher betrachtet werden (siehe unten).

Darüber hinaus existieren noch semiprofessionelle kleine „Wäschereien“ kleinerer Unternehmen oder Dienstleister (z.B. kleine Hotels), deren Waschprozesse eher denen in privaten Haushalten ähnlich sind und die auch nicht den gewerblichen Wäschereien im eigentlichen Sinne zuzurechnen sind.

Auch Waschsalons gehören dem semiprofessionellen Sektor an. Hier dürfen (außer z.B. Bügelservice) keine Waschdienstleistungen angeboten werden, da hierfür ein Wäschergeerbe angemeldet werden müsste. Waschsalons stellen dem (Privat-)Kunden ausschließlich die Waschmaschinen, Wäschetrockner etc. zur Benutzung zur Verfügung.

Im Gegensatz zum Waschen in Haushalten liegen bisher zu den Stoffströmen und den damit verbundenen Umweltauswirkungen, die durch das Waschen in gewerblichen Wäschereien und Waschsalons verursacht werden, keine Untersuchungen vor. Gewerbliche Waschprozesse sind – anders als beim Waschen in Haushalten – eng mit der eingesetzten Technik (Waschschleudermaschine, Kontinue-Waschanlage), dem zu waschenden Waschgut und der Verschmutzungsart verknüpft. Das Waschmittel wird entsprechend dieser Parameter gewählt. In dieser Studie werden daher verschiedene gewerbliche Waschprozesse in unterschiedlichen Wäschereien in Hinblick auf die Umweltauswirkungen und die insgesamt ausgelösten Stoffströme untersucht (vgl. Kapitel 2.1).

## 2.1 Kategorisierung der gewerblichen Waschprozesse

Das Waschgut gewerblicher Wäschereien ist äußerst vielfältig. Es wird entweder von der Wäscherei zur Benutzung zur Verfügung gestellt (Mietservice-Unternehmen) oder aber ist Eigentum des Kunden. Das Waschgut lässt sich - teilweise mit fließenden Übergängen - einteilen in:

- **Berufskleidung** von Handel, Handwerk, Industrie (z.B. Kfz-Monturen, Lebensmittelindustrie), Gesundheitswesen, Hotellerie, Gastronomie und Spezialkleidung (Jacken,

Kittel, Latzhosen, Overall, Hemden, Shirts, Schutzkleidung für Chemiker, Schweißer, Feuerwehren etc);

- **Hotelwäsche** (Tischwäsche, Bettwäsche etc.);
- **Krankenhauswäsche** (Berufskleidung und OP-Abdeckmaterialien, Bauchtücher etc.), die speziellen hygienischen Anforderungen genügen muss (hier gibt es teilweise Einwegmaterialien);
- **Haushaltswäsche** (Privatwäsche);
- **Waschraumservice** (Handtuchrollen etc.);
- hochverschmutzte **Putztücher** aus dem Reinigen von Maschinen und Anlagen<sup>1</sup>;
- **Spezielles Wäschegut**, (z.B. Bodenmatten, Mehrwegschoonbezüge zum Schutz von Automobilsitzen beim Reinigen etc.).

Die Umsätze in den gewerblichen Wäschereien verteilen sich zu 56 % auf die Mietdienste und zu 44 % auf die restlichen gewerblichen Wäschereien. Das Waschen von Berufsbekleidung nimmt bei den Mietserviceunternehmen mit 58 % den größten Anteil ein, gefolgt von Flachwäsche und Hygienewäsche (jeweils 18 %) und Schmutzmatten (6 %). In den Wäschereien, die keinen Mietservice anbieten, hat v.a. die Objektwäsche eine große Bedeutung (78 %). Die verbleibenden 22 % fallen auf Privatwäsche (vgl. Abbildung 3).

Genauso vielfältig wie das Waschgut sind die Verschmutzungsarten (Fett, Eiweiss, Öl, Metallpartikel, Blut etc.) und damit auch die Waschprozesse. In gewerblichen Wäschereien werden die Waschprozesse in einem langwierigen Prozess genau auf das zu waschende Waschgut, die Verschmutzungsart und die verwendete Anlagentechnik abgestimmt. Passend hierzu werden auch die Waschmittel aus den unterschiedlichen Inhaltsstoffen zusammengestellt.

Daher ist die Auswahl an gewerblichen Waschmitteln und Waschhilfsmitteln sehr groß. Sie lassen sich unterscheiden nach Alleinwaschmittel, GV-Spezialwaschmittel, GV-Feinwaschmittel, GV-Buntwaschmittel, GV-Wäscheweichspülmittel, GV-Vorwaschmittel, GV-Klarwaschmittel, GV-Pelzwaschmittel, Waschalkali, Detachiermittel, Waschmittel für Berufswäsche, Desinfektionsmittel für Krankenhauswäsche. Die Zusammensetzung dieser Waschmittel variiert je nach Anlagenart und -größe und Verschmutzungsgrad und -art des Waschgutes<sup>2</sup>.

Im „semiprofessionellen Sektor“ (z.B. Waschsalons, kleine Hotels etc.) werden häufig auch Haushaltswaschmittel eingesetzt.

---

<sup>1</sup> Die Schmutzmenge (Fett, Öl, Farbe, Lösemittel etc.) beträgt teilweise bis zum Dreifachen des Tuchgewichts.

<sup>2</sup> Im Anhang A.1 findet sich eine Übersichtstabelle über die in den befragten Wäschereien verwendeten Waschmittel.

Es muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass gewerbliches Waschgut mit hohem Verschmutzungsgrad auch in semiprofessioneller oder unprofessioneller Weise in Privathaushalten (z.B. kleine Werkstätten, kleine Handwerksbetriebe) gewaschen wird. Der Umfang dieses Wäscheaufkommens ist im Rahmen dieser Studie nicht abschätzbar.

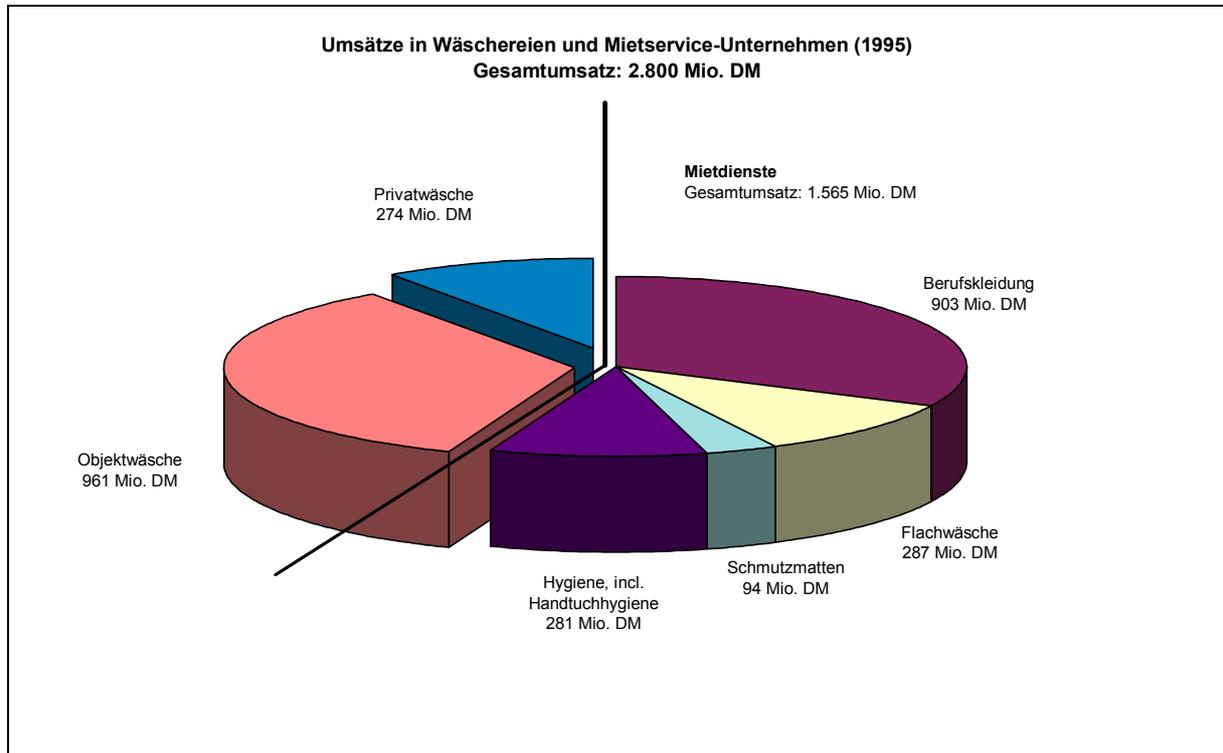


Abb. 3: Umsätze in Wäschereien und Mietserviceunternehmen 1995 (DTV o.J. b)

Aufgrund der Vielfalt der Waschprozesse musste im Rahmen dieser Teilstudie eine Schwerpunktsetzung vorgenommen werden. Untersucht werden folgende Bereiche:

- Waschprozesse in gewerblichen Wäschereien unterschiedlicher Größe – unabhängig von der Art des gewaschenen Waschgutes;
- das Waschen von Berufsbekleidung, da dies einerseits ein typischer „Mietservice“ ist und andererseits hier den größten Anteil stellt;
- das Waschen von Privatwäsche: dieser Bereich wurde ausgewählt, um einen Vergleich mit den Waschprozessen in Privathaushalten und Waschsalongen vornehmen zu können. Jedoch nimmt das Waschen von Privatwäsche auch bei gewerblichen Wäschereien mit knapp 10 % keinen unwesentlichen Anteil ein.

Da sich die Waschprozesse in gewerblichen Wäschereien, privaten Haushalten und Waschsalongen voneinander unterscheiden, werden sie im folgenden jeweils kurz erläutert.

### 2.1.1 Waschprozess in einer gewerblichen Wäscherei

Der Waschprozess in einer gewerblichen Wäscherei kann grob in folgende Schritte eingeteilt werden (vgl. Abbildung 4):

- Produktion des benötigten Waschmittels und der dafür benötigten Verpackungstoffe;
- Bereitstellung der für den Wasch-, Finishing- und Wasseraufbereitungsprozess benötigten Energie (intern und extern);
- Waschen des verschmutzten Waschgutes in einer gewerblichen Waschmaschine/Waschanlage (Kontinue-Waschanlage bzw. Waschschleudermaschine<sup>3</sup>);
- Finishing (v.a. Trocknen) des gewaschenen Waschgutes in professionellen Finishing-Geräten;
- z.T.: Abwasserbehandlung vor Einleitung in die Kläranlage.

In gewerblichen Wäschereien kommen unterschiedliche Waschanlagen zum Einsatz, die sich von denen in Haushalten z.T. erheblich unterscheiden.

Grob kann in

- **Kontinue-Waschanlagen** (halb- bis vollautomatische Waschanlagen mit einer unterschiedlich großen Anzahl an Waschkammern und einer unterschiedlichen Waschkapazität) und
- **Waschschleudermaschinen** (ähnlich der in Haushalten verwendeten Haushaltswaschmaschine, jedoch meist mit erheblich höheren Waschkapazitäten)

unterschieden werden.

Grundsätzlich wird in gewerblichen Wäschereien das für den Waschgang verwendete Wasser enthärtet und meist wird die für den Waschprozess benötigte Wärmeenergie (Dampf) in eigenen Anlagen erzeugt.

In einigen gewerblichen Wäschereien - dies trifft v.a. auf große Wäschereien zu - wird das Wasser vor der Einleitung in das kommunale Abwassersystem aufbereitet. Hier sind unterschiedliche Techniken mit unterschiedlichem Abwasseraufbereitungsgrad im Einsatz.

Das sogenannte „Finishing“ (Trocknen, eventuell Bügeln, Zusammenlegen) unterscheidet sich in gewerblichen Wäschereien z.T. erheblich vom Trocknen in Haushalten oder Waschsalons. In Wäschereien wird z.B. zu fast 100 % die Wäsche maschinell getrocknet (Wäschetrockner, Gebläse etc.). Zum Vergleich: nur 29 % der Haushalte besitzen einen Wäschetrockner.

---

<sup>3</sup> In den betrachteten Wäschereien werden unterschiedliche Waschverfahren (Kontinue-Waschanlage bzw. Waschschleudermaschinen) eingesetzt. Auf die Unterschiede der Waschverfahren wird nicht genauer eingegangen.

Zusätzlich fallen in gewerblichen Wäschereien noch Wäschetransporte an: das Waschgut muss vom Kunden zur Wäscherei und zurück gebracht werden. Die durchschnittlichen Transportentfernungen der Wäschereien sind sehr unterschiedlich. Sie sind abhängig von der Art des Waschgutes und v.a. von der Konkurrenzsituation. Die Transporte erfolgen fast ausschließlich per PKW oder LKW.

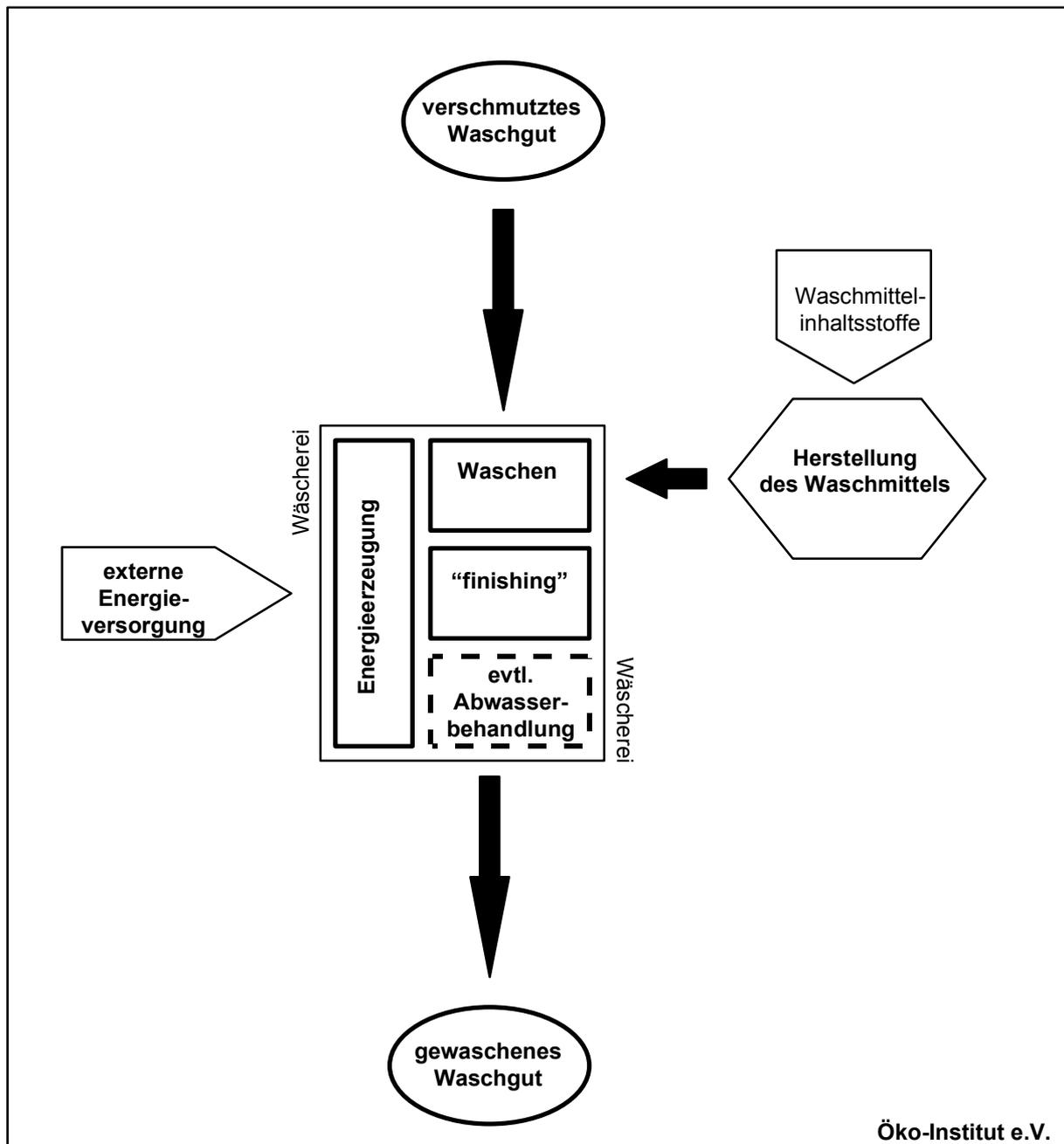


Abb. 4: Prozessschema Waschen in einer gewerblichen Wäscherei

## 2.1.2 Waschprozess in einem Waschsalon

Der Prozess des Waschens in Waschsalon kann grob in folgende Schritte eingeteilt werden (vgl. Abbildung 5):

- Produktion des benötigten Waschmittels und der dafür benötigten Verpackungstoffe;
- Bereitstellung der für den Wasch-, Trocken- und Wasseraufbereitungsprozess benötigten Energie;
- Waschen des verschmutzten Waschgutes in einer Waschmaschine;
- meist Trocknen des gewaschenen Waschgutes in einem Wäschetrockner.

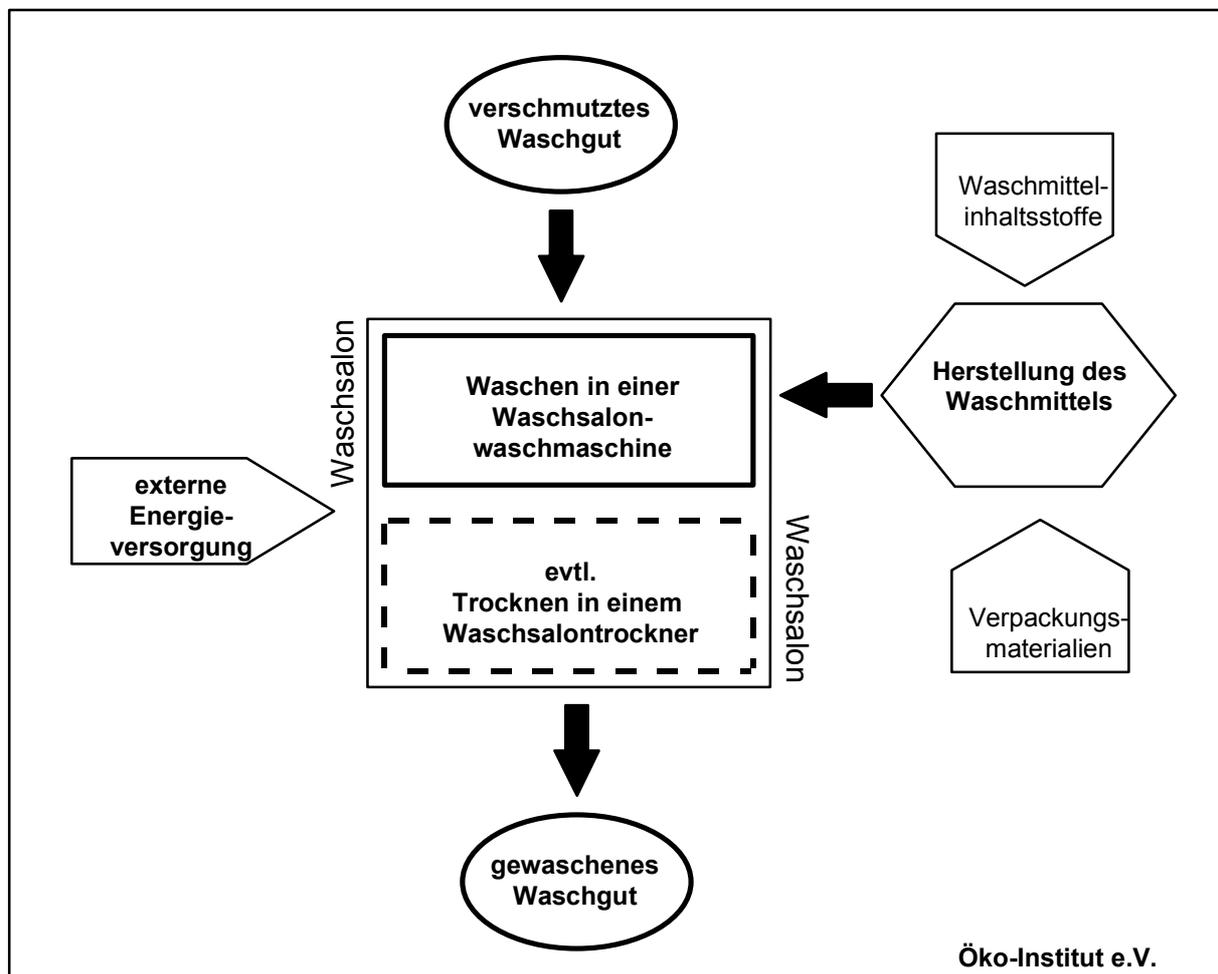


Abb. 5: Prozessschema Waschen in einem Waschsalon

Der Waschprozess in Waschsalon ist ähnlich wie in Haushalten, aber im Gegensatz zu Haushalten wird in Waschsalon das für den Waschprozess verwendete Wasser häufig vorenthärtet. Einige Waschsalon haben Waschmaschinen mit Warmwasseranschluss im Einsatz und erhitzen das Wasser in eigenen Anlagen. Die Wäschetrocknertechnik unterscheidet sich in einigen Waschsalon von Haushaltstrocknern: Die bereitgestellten Modelle sind

meist größer und werden teilweise auch mit Gas betrieben. Auch die Waschmaschinen in Waschsalo-ns sind meist größer als Haushaltsmaschinen (meist 6 kg).

Zusätzlich fällt in Waschsalo-ns im Gegensatz zum privaten Haushalt noch der Transport der Wäsche zum Waschsalon und zurück an. Dieser Wäschetransport – meist wohl über kurze Distanzen – erfolgt entweder zu Fuß (kurze Distanz, keine Parkplätze) oder per PKW.

### 2.1.3 Waschprozess im Haushalt

Der Prozess des Waschens in Haushalten kann grob in folgende Schritte eingeteilt werden (vgl. Abbildung 6):

- Produktion des benötigten Waschmittels und der dafür benötigten Verpackungstoffe;
- Bereitstellung der für den Wasch- und Trockenprozess benötigten Energie;
- Waschen des verschmutzten Waschgutes in einer Waschmaschine;
- eventuell Trocknen des gewaschenen Waschgutes in einem Wäschetrockner.

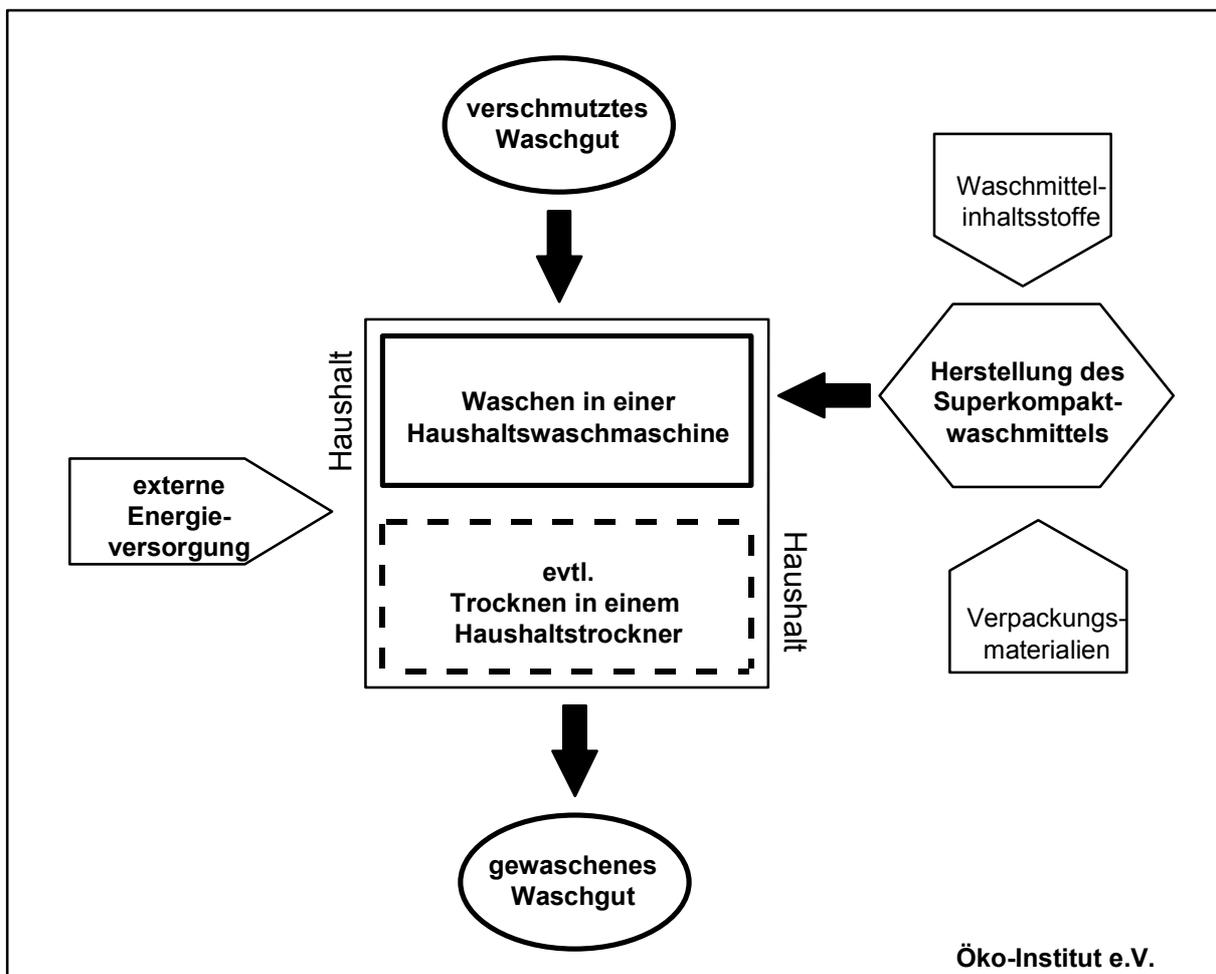


Abb. 6: Prozessschema Waschen in Haushalten

In Haushalten werden v.a. „Frontlader-Waschmaschinen“ (75 % der 1996 gekauften Geräte) verwendet. Kombinierte Wasch- und Trockengeräte werden nur selten gekauft (7 %).

Haushaltswaschmaschinen sind in der Regel für 4,5-5 kg Waschgut ausgelegt. Meist haben die Maschinen nur einen Kaltwasseranschluss. Ein Warmwasseranschluss ist bei Haushaltsmaschinen äußerst selten.

Wäschetrockner werden für Haushalte mit Kondensationstechnik oder Ablufttechnik angeboten, feuchtigkeits- oder zeitgesteuert (vgl. auch Eberle und Gießhammer 2000a).

## **2.2 Datenerhebung und Fragebogenaktion**

Die Daten für den Waschprozess in Haushalten sind aus Gießhammer et al. 1997 bekannt. Sie wurden mit Verbandsangaben zum Strom- bzw. Wasserverbrauch von Waschmaschinen und Wäschetrocknern aktualisiert (HEA 1998a; HEA 1998b).

Die Daten für den Waschprozess in gewerblichen Wäschereien und Waschsaloons wurden mit Hilfe eines Fragebogens<sup>4</sup> erhoben. Der Fragebogen wurde in Abstimmung mit dem Deutschen Textilreinigungsverband (DTV) erstellt.

### **2.2.1 Gewerbliche Wäschereien**

Der Fragebogen wurde an alle gewerblichen Wäschereien in Baden-Württemberg, Thüringen, Sachsen und Berlin verschickt<sup>5</sup>. Dies sind insgesamt 1.192 gewerbliche Wäschereien, davon 364 in Baden-Württemberg, 311 in Sachsen, 175 in Thüringen und 242 in Berlin. Trotz intensiver telefonischer Nachfrage war die Rücklaufquote, bezogen auf die verschickten Fragebögen, sehr gering (4,4 %). Jedoch stellte sich nach Vergleich mit der Umsatzsteuerstatistik von 1994 heraus, dass in den neuen Bundesländern die tatsächliche Zahl der Wäschereien sehr stark rückläufig war. So existierten in Sachsen noch 138 Wäschereien, in Thüringen 74 und in Berlin 150. In Baden-Württemberg reduziert sich die Gesamtzahl der Wäschereien, die den Fragebogen erhalten haben auf 332, da einige Wäschereien nicht mehr unter der verschickten Adresse existieren und einige der Wäschereien korrekterweise Reinigungen sind und somit nicht in die Befragung einbezogen werden konnten. Legt man diese Zahlen als Gesamtzahl zugrunde, so betrug der Rücklauf 7,5 %.

---

<sup>4</sup> Vgl. Anhang A.2.

<sup>5</sup> Eine Versendung des Fragebogens an alle gewerblichen Wäschereien in Deutschland wäre im Rahmen dieses Projektes nicht leistbar gewesen, daher wurden in den neuen und alten Bundesländern sowohl städtische wie auch ländliche Regionen ausgewählt und in die Befragung einbezogen (Berlin, Thüringen, Sachsen, Baden-Württemberg).

Allerdings sind nicht alle der ausgefüllten Fragebögen voll auswertbar, da entweder die Angaben nicht plausibel erscheinen oder nur ein Teil der Fragen beantwortet ist. Die Zahl der Fragebögen, die für die ökobilanzielle Untersuchung auswertbar sind, ist wesentlich geringer: 16 der Fragebögen lassen sich für den Energieverbrauch auswerten, 20 Fragebögen für den Wasserverbrauch. Die Angaben zu Transporten sind grundsätzlich nicht verwertbar.

### **2.2.2 Waschsalons**

Insgesamt wurden 81 Fragebögen an Waschsalons in den alten und neuen Bundesländern verschickt. In den neuen Bundesländern kamen sechs beantwortete Fragebögen zurück, von denen drei auswertbar sind, in den alten Bundesländern kamen vier Fragebögen beantwortet zurück, von denen zwei auswertbar sind. Drei der angeschriebenen Waschsalons existierten nicht mehr. Die Rücklaufquote beträgt damit bezogen auf die verschickten Fragebögen 12 %, bezogen auf die noch bestehenden Waschsalons (n = 78) 13 %. Auch bei den Waschsalons war die Rücklaufquote trotz intensiver telefonischer Nachfrage und nochmaligem Verschicken der Fragebögen letztendlich nicht zufriedenstellend.

### **2.2.3 Fazit Fragebogenaktion**

Insgesamt kann gesagt werden, dass die Fragebogenaktion nicht erfolgreich verlaufen ist, obwohl die Fragebogenaktion optimal vorbereitet und durchgeführt wurde. Der Fragebogen wurde in Abstimmung mit dem DTV erstellt und in der Zeitschrift des DTV wurde auf die Studie hingewiesen und um Mithilfe gebeten. Offensichtlich bestand bei den Wäschereien nur ein geringes Interesse an einer Zielsetzung des Projektes. Allerdings hat auch die knappe Personalsituation - v.a. auch bei kleineren Wäschereien - das Ausfüllen verhindert. Teilweise muss davon ausgegangen werden, dass die abgefragten Daten den Wäschereien gar nicht vorliegen - obwohl die Daten auch aus ökonomischer Sicht hoch relevant sind. Weitere mögliche Gründe für das unbefriedigende Ergebnis können sein:

- grundsätzlich keine Bereitschaft zur Beantwortung von Fragebögen;
- in Berlin wurde bereits 1995 eine umfangreiche Befragung von Wäschereien - mit anderer Zielsetzung - durchgeführt.

Abschließend muss festgestellt werden, dass der Aufwand zur Erstellung des Fragebogens mit den daraus gewonnenen Erkenntnissen in keinem ausgewogenen Verhältnis steht. Sinnvoller erscheint es, zukünftig zur Datenerhebung einige Wäschereien bzw. Waschsalons auszuwählen, gezielt zu besuchen und dort dann die Datenerhebung durchzuführen.

## 2.2.4 Repräsentativität der einbezogenen Daten

Zur Repräsentativität der Daten aus der Fragebogenerhebung kann keine allgemeine Aussage getroffen werden. Zum einen ist der Rücklauf nur sehr gering, zum anderen ist auch nicht bekannt, ob beispielsweise ein bestimmter Wäschereityp überhaupt nicht oder überproportional häufig geantwortet hat.

Im folgenden wird versucht, eine vorsichtige Einschätzung der Daten zu geben.

### *Wäschereien*

Die einbezogenen Daten aus den Fragebögen können aufgrund des geringen Rücklaufs nur einen geringen Prozentsatz der real existierenden gewerblichen Wäschereien in Deutschland abdecken. Die Daten, die verwendet werden konnten, beziehen sich von daher auf einen sehr kleinen Datenpool. Jedoch zeigte sich, dass vermutlich eine relativ große Bandbreite an Wäschereien durch die beantworteten Fragebögen abgedeckt werden konnte:

- Wäschereien unterschiedlicher Größe,
- Wäschereien mit unterschiedlichem Modernisierungsstand,
- Wäschereien mit unterschiedlichem Waschgut.

Auch im Vergleich mit einer 1995 durchgeführten Studie zu Wäschereien in Berlin (b.u.s. 1995) zeigt sich, dass die erhaltenen Daten in einer ähnlichen Größenordnung liegen.

Nichtsdestotrotz kann die hier durchgeführte Analyse nur eine vorsichtige Einschätzung der realen Situation liefern.

### *Waschsalons*

Auch hier decken die einbezogenen Daten aus den Fragebögen nur einen geringen Prozentsatz der real existierenden Waschsalons ab. Es wurde jedoch auch bei Waschsalons eine Bandbreite von Daten unterschiedlicher Waschsalons erhalten und von daher kann davon ausgegangen werden, dass die Daten zu einer vorsichtigen Einschätzung der Situation bei Waschsalons verwendet werden können. Bei Waschsalons gibt es jedoch im Gegensatz zu gewerblichen Wäschereien keine Vergleichsdaten aus anderen vorangegangenen Untersuchungen. Die Datenbasis kann von daher schlechter eingeschätzt werden als bei gewerblichen Wäschereien.

### *Haushalte*

Die Repräsentativität der Daten für den Durchschnittshaushalt wird als hoch eingeschätzt, da

- die einbezogenen Daten für den Stromverbrauch von Waschmaschine und Wäschetrockner sich auf den Durchschnittsverbrauch für diese Geräte 1997 (Waschmaschine) und 1996 (Wäschetrockner) beziehen (HEA 1998a; HEA 1998b),
- den Daten die selben Annahmen bezüglich Waschmitteldosierung, Waschmaschinenbeladung und Wäscheanfall pro Jahr zugrunde gelegt wurden wie in der umfassenden Untersuchung „Produktlinienanalyse Waschen und Waschmittel“ (Grießhammer et al. 1997). In dieser Studie hatten sich die für das Bedürfnisfeld „Waschen“ relevanten - und in drei Workshops einbezogenen - Akteure auf der Basis umfangreicher Untersuchungen und Erfahrungen auf die jeweiligen Annahmen geeinigt.

### **3. Analyse der Wäschereien und Waschprozesse**

In den folgenden Kapiteln wird das Waschen in Wäschereien, Waschsaloons und privaten Haushalten analysiert und verglichen. Folgende Modell-Wäschereien, Modell-Waschsaloons und Modell-Haushalte werden in die Untersuchung einbezogen:

- *gewerbliche Wäschereien:*
  - das Waschen in einer kleinen Wäscherei (Wäscheanfall: < 125 t/a);
  - das Waschen in einer mittelgroßen Wäscherei (Wäscheanfall: 125 bis < 750 t/a);
  - das Waschen in einer großen Wäscherei (Wäscheanfall: > 750 t/a);
  - das Waschen in einer deutschen Durchschnittswäscherei;
  - das Waschen von Berufsbekleidung in einer Wäscherei, die ausschließlich oder zumindest überwiegend Berufsbekleidung wäscht;
  - das Waschen von Privatkleidung in einer Wäscherei, die überwiegend Privatkleidung wäscht;
- *Waschsaloons:*
  - das Waschen in einem deutschen Durchschnittswaschsalon;
- *private Haushalte:*
  - das Waschen in einem deutschen Durchschnittshaushalt.

#### **3.1 Gewerbliches Waschen in Wäschereien unterschiedlicher Größe**

Zugrunde gelegt wird der Durchschnitt der Waschprozesse in großen, mittelgroßen und kleinen gewerblichen Wäschereien. Die Wäschereien wurden nach der pro Jahr gewaschenen Wäschemenge in die Kategorien „klein“, „mittelgroß“ und „groß“ eingeteilt (vgl. Tabelle 1).

Tab. 1: Größenkategorien nach gewaschener Wäschemenge pro Jahr bei gewerblichen Wäschereien

Größenkategorie	Wäschemenge
klein	< 125 Tonnen pro Jahr
mittelgroß	125 bis < 750 Tonnen pro Jahr
groß	mindestens 750 Tonnen pro Jahr

Der analysierte Waschprozess beinhaltet das Waschen, das Finishing und die Abwasserbehandlung (soweit vorhanden) bis zur Einleitung in das öffentliche Abwassersystem. Beim Waschprozess wurde nicht zwischen verschiedenen Waschsystemen unterschieden, es wurde der Durchschnitt über die Verbrauchsdaten gebildet - unabhängig von der eingesetzten Waschmaschinenteknik und der gewaschenen Wäsche. Es wird in allen Wäschereien ein Modell-Waschmittel für das gewerbliche Waschen von Berufsbekleidung in Kontinuanlagen eingesetzt. Die Modell-Rezeptur wurde vom Industrieverband Hygiene und Oberflächenschutz zur Verfügung gestellt<sup>6</sup>. Die für die Waschmittelrezeptur zugrunde gelegten Rahmenbedingungen für die Verschmutzungsart, die Waschmaschinen etc. finden sich im Anhang A.3.1.

Der Stromanschluss erfolgt über das deutsche Stromnetz.

Die Ergebnisse sind in den Tabellen 2 bis 4 zusammengestellt.

Tab. 2: Ergebnisse der Analyse des Waschens in kleinen<sup>7</sup> gewerblichen Wäschereien (Ökobilanzwerte inklusive der Vorketten)

	Primärenergieverbrauch [kJ/kg]	Kohlendioxid [kg/kg]	Schwefeldioxid [g/kg]	Stickoxide [g/kg]	Wasserverbrauch [l/kg]
<b>Waschmittel</b>	1.030	0,043	0,25	0,13	0,2
<b>Waschprozess/Finishing</b>	22.800	1,080	4,36	1,97	22,8
<b>Gesamt</b>	<b>23.830</b>	<b>1,123</b>	<b>4,61</b>	<b>2,10</b>	<b>23,0</b>

Datenbasis: Energieverbrauch: 9 Wäschereien; Wasserverbrauch: 10 Wäschereien

Tab. 3: Ergebnisse der Analyse des Waschens in mittelgroßen<sup>8</sup> gewerblichen Wäschereien (Ökobilanzwerte inklusive Vorketten)

	Primärenergieverbrauch [kJ/kg]	Kohlendioxid [kg/kg]	Schwefeldioxid [g/kg]	Stickoxide [g/kg]	Wasserverbrauch [l/kg]
<b>Waschmittel</b>	1.030	0,043	0,25	0,13	0,2

<sup>6</sup> Die zugrunde gelegte Rahmenrezeptur für das gewerbliche Modell-Waschmittel für Berufsbekleidung findet sich im Anhang A.3.1. Die Hauptkomponenten des Waschmittels sind Enthärter, Tenside, Alkaliträger und Phosphat. Sie wurde hier in Ermangelung einer Durchschnittsrezeptur für das gewerbliche Waschen zugrunde gelegt.

<sup>7</sup> Kleine Wäscherei: < 125 t Wäsche pro Jahr.

<sup>8</sup> Mittelgroße Wäscherei: 125 bis < 750 t Wäsche pro Jahr.

<b>Waschprozess/ Finishing</b>	63.100	4,120	6,27	1,39	14,8
<b>Gesamt</b>	<b>64.130</b>	<b>4,163</b>	<b>6,52</b>	<b>1,52</b>	<b>15,0</b>

Datenbasis: Energieverbrauch: 2 Wäschereien; Wasserverbrauch: 4 Wäschereien

Tab. 4: Ergebnisse der Analyse des Waschens in großen<sup>9</sup> gewerblichen Wäschereien (Ökobilanzwerte inklusive Vorketten)

	<b>Primärenergie- verbrauch [kJ/kg]</b>	<b>Kohlendioxid [kg/kg]</b>	<b>Schwefeldioxid [g/kg]</b>	<b>Stickoxide [g/kg]</b>	<b>Wasserverbrauch [l/kg]</b>
<b>Waschmittel</b>	1.030	0,043	0,25	0,13	0,2
<b>Waschprozess/ Finishing</b>	10.100	0,581	0,94	0,33	15,9
<b>Gesamt</b>	<b>11.130</b>	<b>0,624</b>	<b>1,19</b>	<b>0,46</b>	<b>16,1</b>

Datenbasis: Energieverbrauch: 5 Wäschereien; Wasserverbrauch: 6 Wäschereien

#### *Vergleich der unterschiedlichen Wäschereigrößen*

Es zeigt sich, dass kleine Wäschereien im Durchschnitt mehr Energie und auch mehr Wasser pro Kilogramm Wäsche verbrauchen als große Wäschereien. Mittelgroße Wäschereien fallen in dieser Untersuchung bezüglich des Energieverbrauchs etwas aus dem Rahmen. Dies wird v.a. auf die geringe Datenbasis beim Energieverbrauch (n = 2) zurückgeführt. Beim Wasserverbrauch war die Datenbasis für mittelgroße Wäschereien größer (n = 4) und das Ergebnis scheint realistischer (vgl. Abbildung 7).

Bezieht man in den Vergleich ausschließlich den Durchschnitt der kleinen und großen Wäschereien ein, so zeigt sich, dass

- kleine Wäschereien mehr als doppelt soviel Energie pro Kilogramm Wäsche verbrauchen wie große Wäschereien,
- kleine Wäschereien 1,8 mal soviel Kohlendioxid emittieren wie große Wäschereien,
- kleine Wäschereien 3,8 mal soviel Schwefeldioxid emittieren wie große Wäschereien,
- kleine Wäschereien 4,6 mal soviel Stickoxide emittieren wie große Wäschereien,
- kleine Wäschereien 1,4 mal soviel Wasser verbrauchen wie große Wäschereien.

Die im Vergleich zum Primärenergiebedarf hohen Emissionswerte bei Schwefeldioxid und Stickoxide liegen v.a. daran, dass kleine Wäschereien (zumindest die hier in die Untersuchung einbezogenen) keine Eigenenergieerzeugung haben. Sie beziehen ihre Energie ausschließlich über das Stromnetz, während große Wäschereien mit Gas und Öl Wärmeenergie (Dampf) für die Wäscherei erzeugen. Vor allem durch den Kohlestromanteil im Stromnetz und den im Vergleich v.a. mit Gas hohen Emissionen von Schwefeldioxid durch Kohle, ergeben sich die Unterschiede zwischen den Kohlendioxid- und Schwefeldioxid- bzw. Stickoxidemissionen beim Vergleich von kleinen und großen Wäschereien.

<sup>9</sup> Große Wäscherei: mindestens 750 t Wäsche pro Jahr.

Der Wasserverbrauch pro Kilogramm Wäsche variiert in den Wäschereien sehr stark: von 8 l/kg bis zu rund 40 l/kg. Betrachtet man die Bandbreite des Wasserverbrauchs nach Wäschereigrößen, so sieht man, dass v.a. in kleinen Wäschereien die Unterschiede sehr groß sind (9,6 l/kg bis 39,7 l/kg<sup>10</sup>). Dies ist eine Abweichung vom Durchschnittsverbrauch in kleinen Wäschereien (22,8 l/kg) um 58 % nach unten bzw. 74 % nach oben. Bei mittelgroßen und großen Wäschereien sind die Unterschiede wesentlich geringer (8,0 l/kg bis 20,8 l/kg bzw. 9,6 l/kg bis 20,8 l/kg). Dies bedeutet für mittelgroße Wäschereien eine Abweichung um 47 % nach unten bzw. 39 % nach oben und für große Wäschereien von 40 % nach unten und 29 % nach oben. Es zeigt sich, dass der heutige Mindestverbrauch an Wasser pro Kilogramm Wäsche unter 10 l Wasser liegt. Dies ist unabhängig von der Wäschereigröße - in jeder der drei Größenklassen gab es Wäschereien, die diesen Verbrauchswert erreichten (vgl. Abbildung 8).

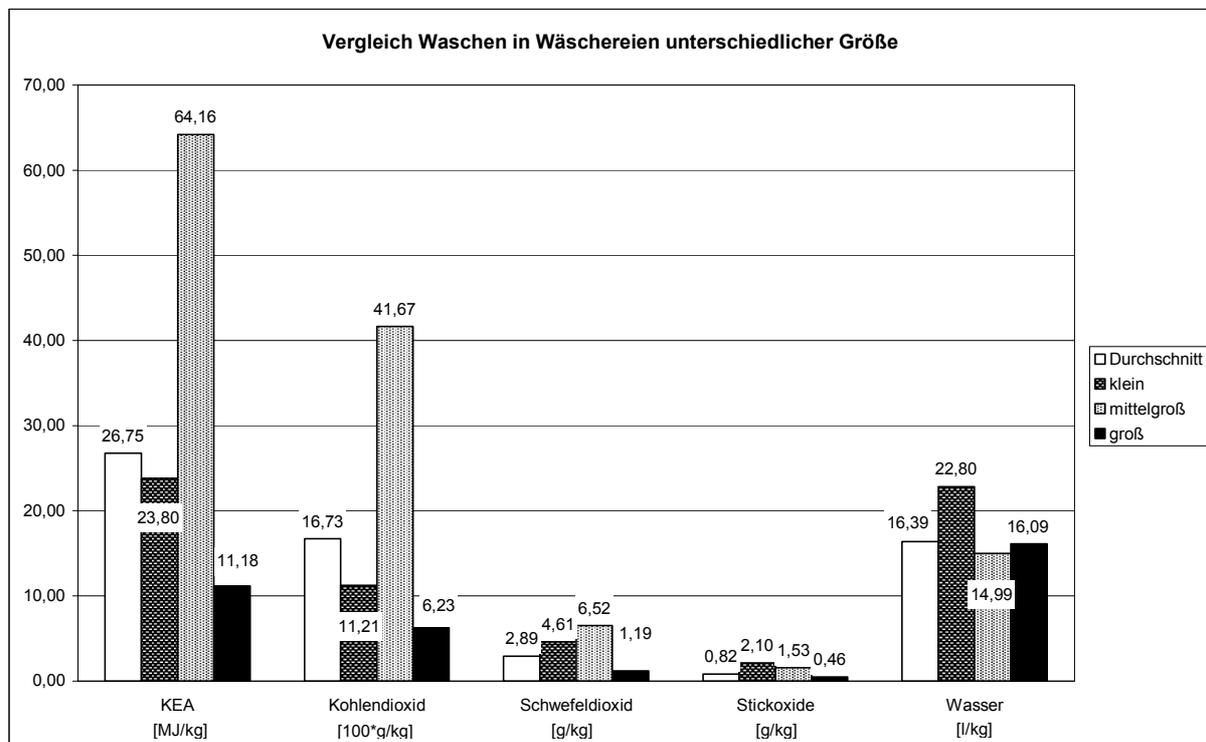


Abb. 7: Vergleich des Waschens in Wäschereien unterschiedlicher Größe

<sup>10</sup> Ein unrealistisch erscheinender singulärer Spitzenwert von 63,2 l/kg Wäsche wurde hier nicht berücksichtigt.

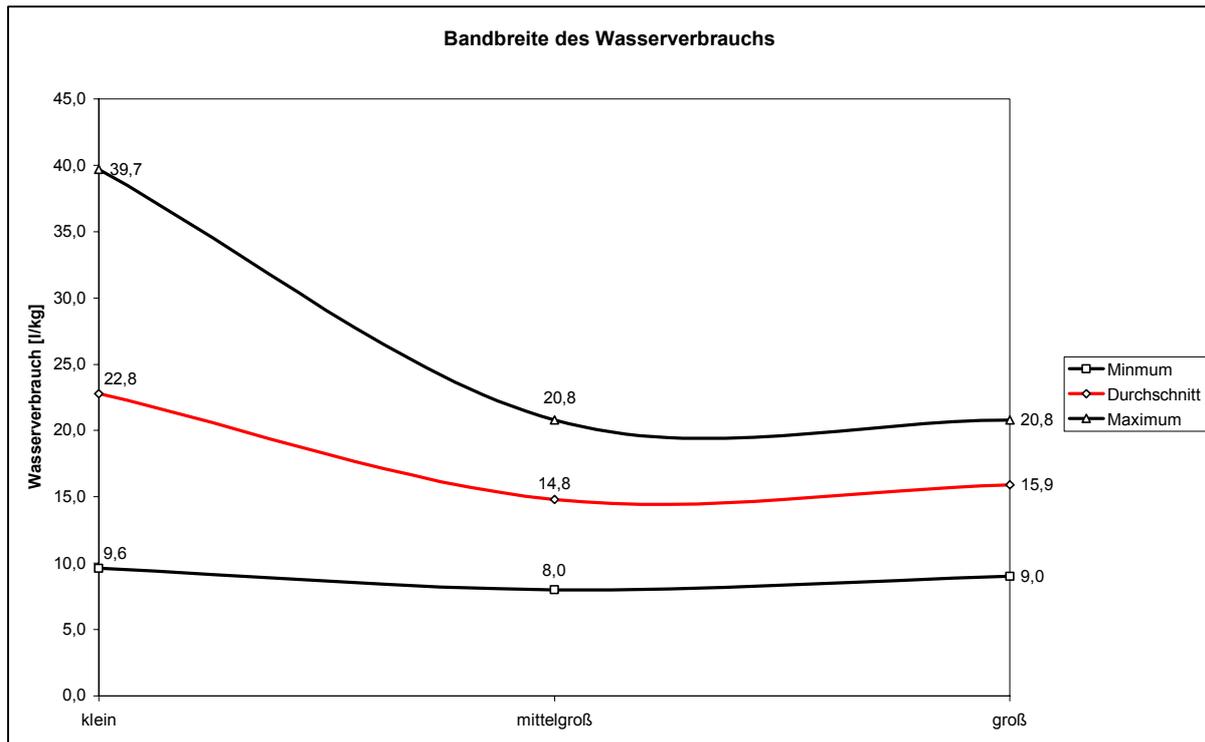


Abb. 8: Bandbreite beim Wasserverbrauch in Wäschereien unterschiedlicher Größenkategorien

Bildet man aus den vorhandenen Daten eine hypothetische Durchschnittswäscherei (zugrunde gelegt wird der Durchschnitt der Waschprozesse, gewichtet nach den Umsätzen und der Umsatzsteuerstatistik), so erhält man folgendes Ergebnis (vgl. Tabelle 5):

Tab. 5: Ergebnisse der Analyse des Waschens in einer gewerblichen Durchschnittswäscherei (pro Kilogramm Waschgut)

	Primärenergieverbrauch [kJ/kg]	Kohlendioxid [kg/kg]	Schwefeldioxid [g/kg]	Stickoxide [g/kg]	Wasserverbrauch [l/kg]
<b>Waschmittel</b>	1.030	0,043	0,25	0,13	0,2
<b>Waschprozess/Finishing</b>	25.700	1,630	2,64	0,68	16,2
<b>Gesamt</b>	<b>26.730</b>	<b>1,673</b>	<b>2,89</b>	<b>0,81</b>	<b>16,4</b>

Datenbasis: Energieverbrauch: 16 Wäschereien; Wasserverbrauch: 20 Wäschereien

Diese hypothetische gewerbliche Durchschnittswäscherei verbraucht 26,7 MJ Primärenergie und 16,4 l Wasser pro Kilogramm Waschgut. Sie liegt damit beim Wasserverbrauch leicht über dem Durchschnitt der mittelgroßen und großen Wäschereien. Der Energieverbrauch liegt höher als der Durchschnitt der kleinen und großen Wäschereien. Dies liegt an dem sehr hohen Energieverbrauch der beiden einbezogenen mittelgroßen Wäschereien (siehe oben).

## Fazit

Kleine Wäschereien verbrauchen mehr Energie und Wasser als große Wäschereien. Kleine Wäschereien bis DM 500.000 Umsatz stellen 77 % der gewerblichen Wäschereien, tätigen jedoch nur 14 % des Umsatzes. Das heisst, die Hauptstoffströme des gewerblichen Waschens werden in größeren Wäschereien (> DM 500.000 Umsatz) ausgelöst. Optimierungsmaßnahmen erscheinen daher v.a. bei diesen größeren Wäschereien wirkungsvoll. Insgesamt kann festgestellt werden, dass in allen drei untersuchten Wäschereigrößen

- Wasserverbräuche unter 10 l/kg Wäsche und
- Energieverbräuche unter 20 MJ/kg Wäsche

realisierbar sind.

## **3.2 Waschen von Berufsbekleidung**

### **3.2.1 Gewerbliches Waschen von Berufsbekleidung**

Zugrunde gelegt wird der (mengengewichtete) Durchschnitt der Waschprozesse von Berufsbekleidung in Wäschereien, die mindestens 1.000 t Berufsbekleidung pro Jahr waschen<sup>11</sup>.

Der analysierte Waschprozess beinhaltet das Waschen der Berufsbekleidung, das Finishing und die Abwasserbehandlung (soweit vorhanden) bis zur Einleitung in das öffentliche Abwassersystem. Beim Waschprozess wurde nicht zwischen verschiedenen Waschsystemen unterschieden, es wurde der (mengengewichtete) Durchschnitt über die Verbrauchsdaten gebildet - unabhängig von der eingesetzten Waschmaschinenteknik. Es wird in allen Wäschereien ein Modell-Waschmittel<sup>12</sup> für das gewerbliche Waschen von stark verschmutzter Berufsbekleidung in Kontinue-Anlagen eingesetzt. Die Modell-Rezeptur wurde vom Industrieverband Hygiene und Oberflächenschutz zur Verfügung gestellt. Die für die Waschmittelrezeptur zugrunde gelegten Rahmenbedingungen für die Verschmutzungsart, die Waschmaschinen etc. finden sich im Anhang A.3.

Der Stromanschluss erfolgt über das deutsche Stromnetz.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 6 zusammengestellt.

---

<sup>11</sup> Die Basis für dieses Szenario bilden drei Wäschereien, von denen eine zusätzlich zu Berufsbekleidung noch andere Wäsche wäscht. Die Energie- und Wasserdaten beziehen sich bei dieser Wäscherei auf die gesamten Waschprozesse und nicht ausschließlich auf das Waschen von Berufsbekleidung, da hierfür keine Daten erhältlich waren. Die anderen beiden Wäschereien waschen ausschließlich Berufsbekleidung.

<sup>12</sup> Vgl. Fußnote 6

Tab. 6: Ergebnisse der Analyse des Waschens von Berufsbekleidung in gewerblichen Wäschereien

	Primärenergieverbrauch [kJ/kg]	Kohlendioxid [kg/kg]	Schwefeldioxid [g/kg]	Stickoxide [g/kg]	Wasserverbrauch [l/kg]
Waschmittel	1.160	0,052	0,32	0,17	0,3
Waschprozess/ Finishing	11.800	0,639	0,97	0,37	16,7
<b>Gesamt</b>	<b>12.960</b>	<b>0,691</b>	<b>1,29</b>	<b>0,54</b>	<b>17,0</b>

Datenbasis: 3 Wäschereien

Gewerbliche Wäschereien, die (fast) ausschließlich Berufsbekleidung waschen, benötigen pro Kilogramm Waschgut 13 MJ Primärenergie und 17 l Wasser. Verglichen mit einer hypothetischen Durchschnittswäscherei<sup>13</sup> verbrauchen sie etwas mehr Wasser pro Kilogramm Wäsche (ca. 4 %) und um die Hälfte weniger Primärenergie. Verglichen mit einer großen Wäscherei<sup>14</sup> - Wäschereien für Berufsbekleidung gehören der Kategorie große Wäschereien an - benötigt eine Wäscherei für Berufswäsche rund 6 % mehr Wasser und 17 % mehr Primärenergie pro Kilogramm Waschgut.

Vergleicht man die Ergebnisse für deutsche Wäschereien für Berufswäsche mit den Ergebnissen einer Studie, die das Waschen von Berufsbekleidung auf europäischer Ebene untersucht hat (Grießhammer et al. 1999), dann zeigt sich, dass die deutschen Berufsbekleidungswäschereien

- beim Primärenergieverbrauch<sup>15</sup> um 15 % unter dem europäischen Durchschnitt liegen und
- beim Wasserverbrauch um 4 % unter dem europäischen Durchschnitt liegen.

In der Untersuchung von Grießhammer et al. 1999 wurden Transporte berücksichtigt. Sie haben am Primärenergieverbrauch einen Anteil von 15 %. In etwa dieser Größenordnung dürfte der Transportaufwand auch in deutschen Berufsbekleidungswäschereien liegen.

### 3.2.2 Vergleich: Waschen von Berufsbekleidung in gewerblichen Wäschereien und im privaten Haushalt

In der Untersuchung des Waschens von Berufsbekleidung auf europäischer Ebene (Grießhammer et al. 1999) wurde das gewerbliche Waschen mit dem Waschen von Berufsbeklei-

<sup>13</sup> Vgl. Kapitel 3.1.

<sup>14</sup> Vgl. Kapitel 3.1.

<sup>15</sup> Primärenergieverbrauch jeweils ohne Transporte.

dung im Haushalt verglichen. Legt man das dort gewählte Haushaltsszenario zugrunde<sup>16</sup> und vergleicht es mit den Ergebnissen der deutschen Berufsbekleidungswäscherei (vgl. Kapitel 3.2.1), dann zeigt sich,

- dass die gewerbliche Wäscherei rund zwei Drittel weniger Primärenergie verbraucht<sup>17</sup>,
- dass die gewerbliche Wäscherei 73 % weniger Wasser verbraucht als der Haushalt.

Würde der Haushalt jedoch seine Waschmaschine mit 4,5 kg Wäsche beladen, dann läge der Primärenergieverbrauch mit 11,3 MJ/kg um 13 % unter dem einer gewerblichen Wäscherei. Der Wasserverbrauch läge dann mit 14 l/kg Waschgut sogar um 17 % niedriger als in gewerblichen Wäschereien (Grießhammer et al. 1999).

Bei diesem Vergleich muss jedoch berücksichtigt werden, dass die Anforderungen in einer gewerblichen Wäscherei meist höher sind als im Haushalt und von daher ein Vergleich vorsichtig betrachtet werden muss. Zudem wird in Haushalten stark verschmutzte Berufsbekleidung vermutlich eher nicht mit der restlichen Wäsche zusammen gewaschen, so dass die Waschmaschinenbefüllung mit 1 kg realistischer erscheint. Dies bedeutet, dass das Waschen von Berufsbekleidung in gewerblichen Wäschereien umweltverträglicher ist.

### Fazit

Zum Waschen von Berufsbekleidung wird in Wäschereien, die mehr als 1.000 t Berufsbekleidung pro Jahr waschen,

- rund 13 MJ Primärenergie und
- 17 l Wasser pro Kilogramm Wäsche verbraucht.

Verglichen mit großen europäischen Berufsbekleidungswäschereien waschen die deutschen Berufsbekleidungswäschereien in Hinblick auf den Wasser- und Energieverbrauch ökologischer: Sie verbrauchen sowohl weniger Primärenergie als auch weniger Wasser.

---

<sup>16</sup> Es wurde angenommen, daß der Haushalt die Waschmaschine mit 1 kg (entspricht 2 Arbeitsanzügen) verschmutzter Berufsbekleidung belädt, die Waschmitteldosierung „stark verschmutzt“ wählt und bei 60 °C wäscht (Grießhammer et al. 1999).

<sup>17</sup> Hierbei muß berücksichtigt werden, daß bei gewerblichen Wäschereien noch Transporte des Waschgutes anfallen, die hier nicht berücksichtigt wurden. Grießhammer et al. 1999 geben den Primärenergieverbrauch für diese Transporte bei europäischen Wäschereien mit 2,66 MJ/kg Berufsbekleidung an.

### 3.3 Waschen von Privatwäsche in einer gewerblichen Wäscherei, im Waschsalon und im Privathaushalt

#### 3.3.1 Waschen in einer gewerblichen Wäscherei

Zugrunde gelegt wird der Durchschnitt der Waschprozesse von Privatkleidung in Wäschereien, die mindestens 70 % Privatkleidung waschen.

Der analysierte Waschprozess beinhaltet das Waschen der Privatkleidung, das Finishing und die Abwasserbehandlung (soweit vorhanden) bis zur Einleitung in das öffentliche Abwassersystem. Beim Waschprozess wurde nicht zwischen verschiedenen Waschsystemen unterschieden, es wurde der Durchschnitt über die Verbrauchsdaten gebildet - unabhängig von der eingesetzten Waschmaschinenteknik. Es wird in allen Wäschereien ein Modell-Waschmittel<sup>18</sup> für das gewerbliche Waschen von Berufsbekleidung in Kontinue-Anlagen eingesetzt. Die Modell-Rezeptur wurde vom Industrieverband Hygiene und Oberflächenschutz zur Verfügung gestellt<sup>19</sup>. Die für die Waschmittelrezeptur zugrunde gelegten Rahmenbedingungen für die Verschmutzungsart, die Waschmaschinen etc. finden sich im Anhang A.3.1.

Der Stromanschluss erfolgt über das deutsche Stromnetz.

Sensitivitätsanalyse: Um besser abschätzen zu können, wie die Auswirkungen eines anderen Waschmittels auf die Gesamtbilanz sind, wurde in einer Sensitivitätsanalyse anstelle des im Basisszenario verwendeten Modell-Waschmittels für gewerbliche Wäschereien ein Haushaltswaschmittel eingesetzt.

Die Ergebnisse finden sich in der folgenden Tabelle (vgl. Tabelle 7).

Tab. 7: Ergebnisse der Analyse des Waschens von Privatkleidung in gewerblichen Wäschereien

	<b>Primärenergieverbrauch [kJ/kg]</b>	<b>Kohlendioxid [kg/kg]</b>	<b>Schwefeldioxid [g/kg]</b>	<b>Stickoxide [g/kg]</b>	<b>Wasserverbrauch [l/kg]</b>
<b>Waschmittel</b>	1.030	0,043	0,25	0,13	0,2
<b>Waschprozess/ Finishing</b>	10.300	0,469	2,08	0,96	18,6
<b>Gesamt</b>	<b>11.330</b>	<b>0,512</b>	<b>2,33</b>	<b>1,09</b>	<b>18,8</b>

Datenbasis: Energieverbrauch: 4 Wäschereien; Wasserverbrauch: 1 Wäscherei

<sup>18</sup> Siehe Fußnote 6

<sup>19</sup> Die der Analyse zugrunde gelegte Rezeptur bezieht sich auf das Waschen von Berufsbekleidung (vgl. Anhang A.3.1). Sie wurde hier in Ermangelung einer Rezeptur für das Waschen von Privatkleidung zugrunde gelegt.

### 3.3.2 Waschen im Waschsalon

Zugrunde gelegt wird der Durchschnitt der Waschprozesse in Waschsalons.

Der analysierte Waschprozess beinhaltet das Waschen der Privatkleidung und das eventuelle Trocknen. Es wird in allen Waschsalons ein Superkompaktwaschmittel für Haushalte eingesetzt. Die Rahmenrezeptur für das Modell-Waschmittel befindet sich in Anhang A.3.2.

Der Stromanschluss erfolgt über das deutsche Stromnetz.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 8 zusammengestellt.

Tab. 8: Ergebnisse der Analyse des Waschens in einem Waschsalon

	Primärenergieverbrauch [kJ/kg]	Kohlendioxid [kg/kg]	Schwefeldioxid [g/kg]	Stickoxide [g/kg]	Wasserverbrauch [l/kg]
<b>Waschmittel</b>	1.120	0,038	0,31	0,12	0,4
<b>Waschprozess/Finishing</b>	8.050	0,198	0,84	0,38	14,9
<b>Gesamt</b>	<b>9.170</b>	<b>0,236</b>	<b>1,15</b>	<b>0,50</b>	<b>15,3</b>

Datenbasis: 5 Waschsalons

Die Bandbreite des Energie- und Wasserverbrauchs ist bei Waschsalons groß. Der beste Waschsalon liegt im Primärenergieverbrauch rund 60 % unter dem Durchschnitt, der schlechteste fast 90 % darüber (vgl. Abbildung 9). Beim Wasserverbrauch liegt der beste Waschsalon gut ein Drittel unter dem Durchschnitt der Waschsalons, der schlechteste mehr als 40 % darüber (vgl. Abbildung 10).

Auch beim Waschmittelverbrauch ergeben sich große Unterschiede, die durch die Verwendung unterschiedlicher Waschmittelkonzepte begründet sein dürften. So liegt der Durchschnittsverbrauch an Waschmitteln im Waschsalon bei 17 g/kg Wäsche, der geringste Verbrauch bei 12 g/kg Wäsche und der höchste bei 27 g/kg Wäsche. Vermutlich wird bei der Dosierung 27 g/kg kein Konzentrat (= Superkompaktat) eingesetzt.

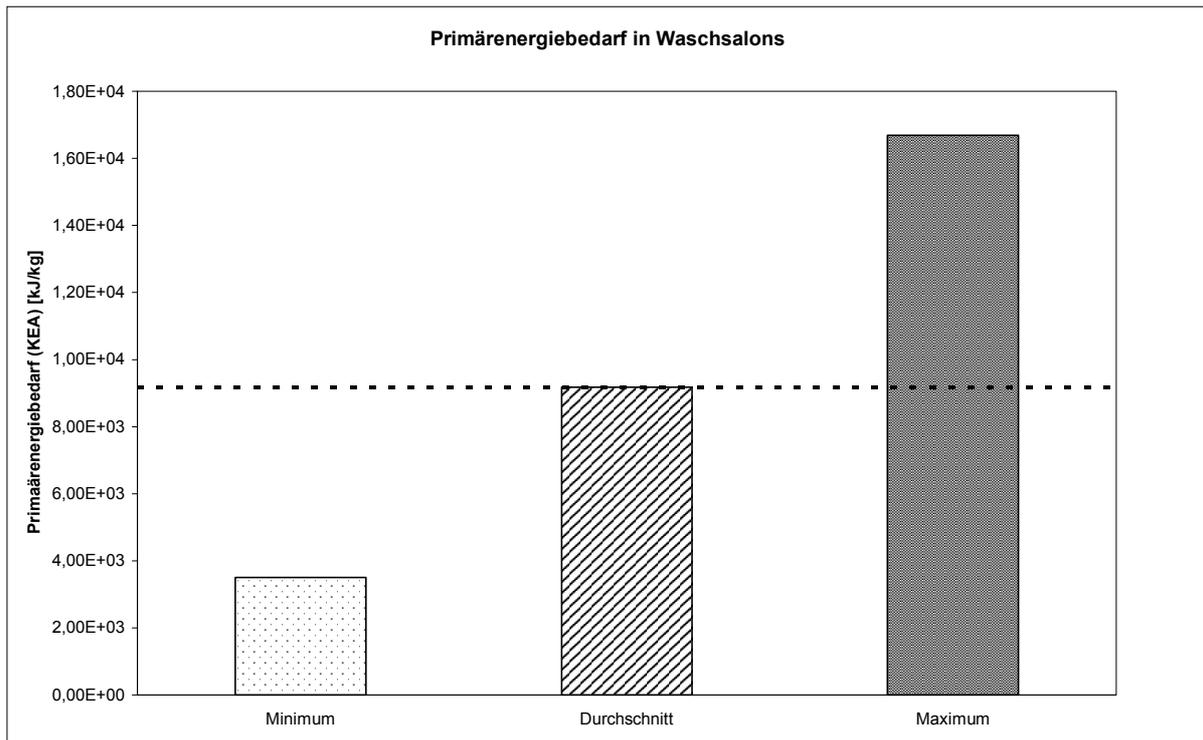


Abb. 9: Bandbreite beim Primärenergiebedarf (KEA) in Waschsalmns

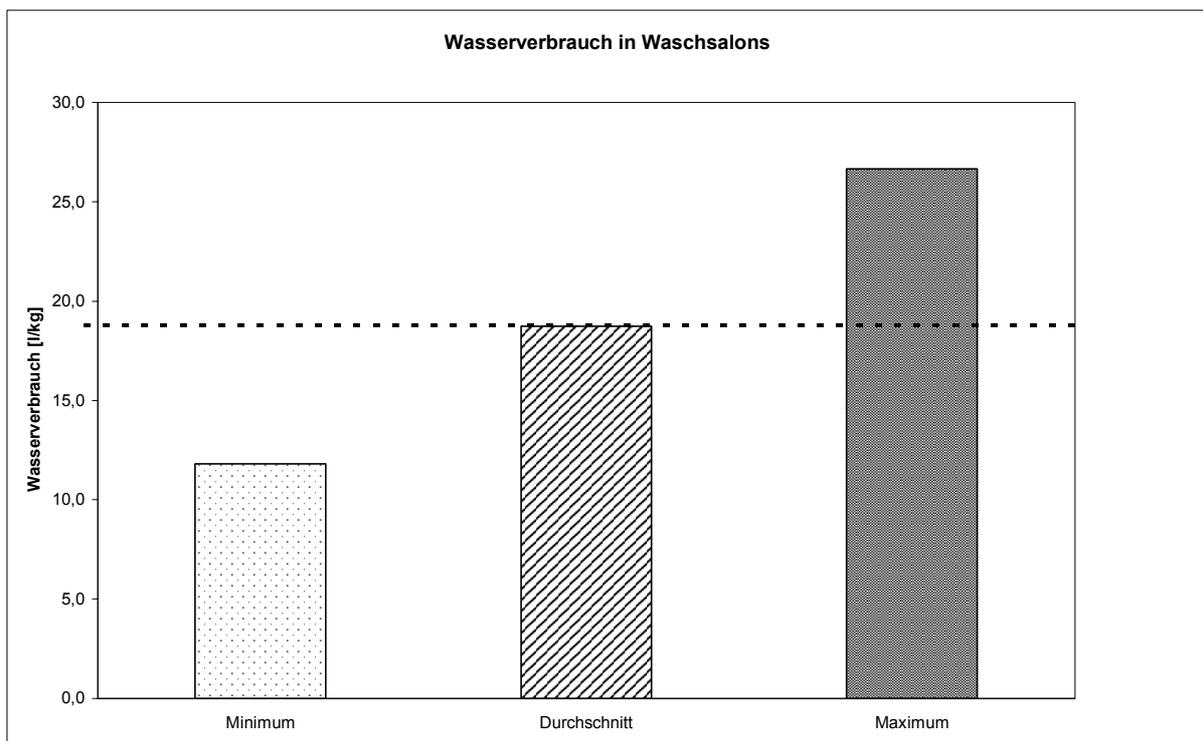


Abb. 10: Bandbreite beim Wasserverbrauch in Waschsalmns

### 3.3.3 Waschen im Privathaushalt

Zugrunde gelegt wird der Durchschnitt der Waschprozesse in Haushalten.

Der analysierte Waschprozess beinhaltet das Waschen der Kleidung und das eventuelle Trocknen<sup>20</sup>. Zum Waschen wird ein Superkompaktwaschmittel eingesetzt. Die Rahmenrezeptur für das Modell-Waschmittel befindet sich in Anhang A.3.2.

Der Stromanschluss erfolgt über das deutsche Stromnetz.

Die Ergebnisse finden sich in Tabelle 9.

Tab. 9: Ergebnisse der Analyse des Waschens in einem Durchschnittshaushalt

	Primärenergieverbrauch [kJ/kg]	Kohlendioxid [kg/kg]	Schwefeldioxid [g/kg]	Stickoxide [g/kg]	Wasserverbrauch [l/kg]
<b>Waschmittel</b>	2.000	0,068	0,55	0,21	0,8
<b>Waschprozess</b>	4.250	0,193	0,86	0,40	21,4
<b>Trocknen</b>	7.060	0,321	1,42	0,66	0
<b>Gesamt (ohne Trockner)</b>	<b>6.250</b>	<b>0,261</b>	<b>1,41</b>	<b>0,61</b>	<b>22,4</b>
<b>Gesamt (mit Trockner)</b>	<b>13.310</b>	<b>0,582</b>	<b>2,83</b>	<b>1,27</b>	<b>22,4</b>

### 3.3.4 Vergleich: Waschen von Privatwäsche in Wäschereien, Waschsalons und privaten Haushalten

Es zeigt sich, dass in Haushalten ohne Wäschetrockner nur gut die Hälfte der Primärenergie pro Kilogramm Wäsche verbraucht wird wie in Wäschereien, die Privatwäsche waschen. In Waschsalons wird 1,5 mal soviel Energie pro Kilogramm Wäsche verbraucht wie in privaten Haushalten ohne Wäschetrockner und rund ein Fünftel weniger Energie als in gewerblichen Wäschereien, die Privatwäsche waschen. Die meiste Energie pro Kilogramm Wäsche benötigen jedoch Haushalte mit Wäschetrockner. Sie verbrauchen mehr als doppelt soviel Primärenergie pro Kilogramm Wäsche wie Haushalte ohne Wäschetrockner, knapp ein Fünftel mehr Energie als gewerbliche Wäschereien und 1,5 mal soviel Energie wie Waschsalons. Der Energieverbrauch beim Waschprozess in Haushalten wird deutlich vom Energieverbrauch des Wäschetrockners dominiert (vgl. Abbildung 11).

Berücksichtigt man, dass 29 % der bundesdeutschen Haushalte einen Wäschetrockner besitzen und diesen auch benutzen (HEA 1998b), dann ergibt sich folgendes Bild:

- ein solcher deutscher Durchschnittshaushalt<sup>21</sup> benötigt knapp drei Viertel der Energie, die eine gewerbliche Wäscherei zum Waschen von 1 kg Privatwäsche benötigt,

<sup>20</sup> 29 % der bundesdeutschen Haushalte besitzen einen Trockner und benutzen diesen auch (HEA 1998b).

<sup>21</sup> Der Berechnung des Durchschnittshaushaltes wurde zugrunde gelegt, daß 29 % der Haushalte einen Wäschetrockner besitzen und 71 % keinen Wäschetrockner haben. Dies wurde dann für den Durchschnittshaushalt gemittelt.

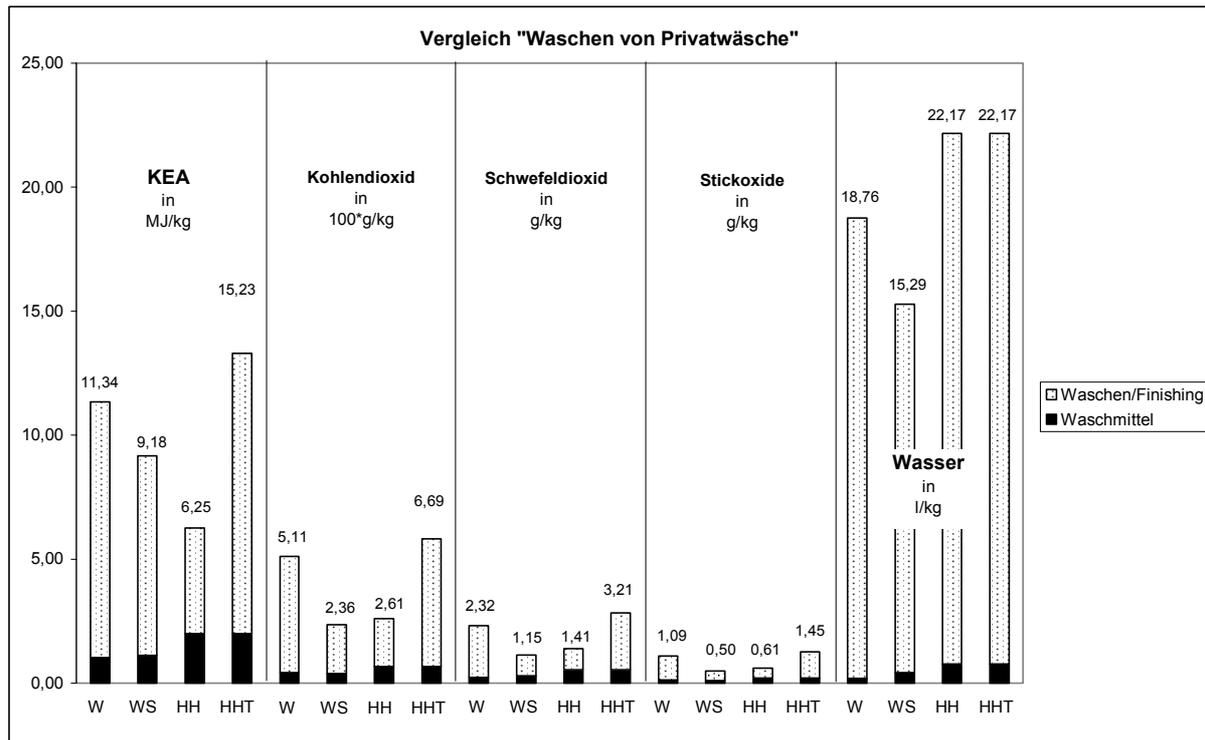
- ein solcher deutscher Durchschnittshaushalt benötigt 90 % der Energie, die in einem Waschsalon zum Waschen von 1 kg Privatwäsche benötigt wird.

In Waschsалons wird die Energie jedoch effizienter genutzt als in privaten Haushalten: die Kohlendioxidemissionen liegen pro Kilogramm Wäsche um 7 % niedriger als in privaten Haushalten ohne Wäschetrockner. Dies ist v.a. dadurch begründet, dass viele Waschsалons Warmwasser mit Gas bereiten und zudem gasbetriebene Wäschetrockner besitzen. Auch bei den anderen betrachteten Luftschadstoffen liegen die Emissionen der Waschsалons unter denen der Haushalte ohne Wäschetrockner: bei Schwefeldioxid um 12 % und bei Stickoxiden um 14 %. Private Haushalte ohne Wäschetrockner emittieren etwa die Hälfte der Luftschadstoffe (Kohlendioxid, Schwefeldioxid, Stickoxide) pro Kilogramm Wäsche wie gewerbliche Wäschereien. Der Unterschied ist in etwa gleich wie beim Primärenergiebedarf (vgl. Abbildung 11). Entsprechend emittieren private Haushalte, die einen Wäschetrockner benutzen, rund 1,2 mal soviel Luftschadstoffe wie Wäschereien, die Privatwäsche waschen, 2,5 mal soviel wie Waschsалons und rund doppelt soviel wie Haushalte ohne Wäschetrockner.

Beim Wasserverbrauch schneiden die Waschsалons am besten ab: ihr Wasserverbrauch pro Kilogramm Wäsche liegt um knapp ein Fünftel unter dem der gewerblichen Wäschereien und fast ein Drittel unter dem der privaten Haushalte. Gewerbliche Wäschereien benötigen rund 15 % weniger Wasser als private Haushalte (vgl. Abbildung 11).

Es ist zu vermuten, dass der höhere Energieverbrauch der gewerblichen Wäschereien durch das Finishing der Wäsche begründet ist.

Berücksichtigt werden muss bei diesem Vergleich, dass das Wäschefinishing in einer Wäscherei nur bedingt mit dem Trocknen der Wäsche in einem privaten Haushalt bzw. einem Waschsалon vergleichbar ist. Auch sind die Anforderungen, die an Wäsche, die in einer Wäscherei gewaschen wird, gestellt werden, meist höher als in einem Waschsалon oder privaten Haushalt.



W = gewerbliche Wäscherei (Privatwäsche), WS = Waschsalon, HH = Haushalt ohne Wäschetrockner, HHT = Haushalt mit Wäschetrockner

Abb. 11: Vergleich des Waschens von Privatwäsche in gewerblichen Wäschereien, Waschsalons und privaten Haushalten

Ein Teil der Kunden der Waschsalons wird mit dem PKW zum Waschen fahren. Berechnet man, welche Strecke ein solcher Kunde zurücklegen darf, ohne mehr Energie zu verbrauchen als ein privater Haushalt mit Wäschetrockner, dann liegt diese Strecke bei insgesamt 816 m<sup>22</sup>.

### Fazit

Letztendlich kann der Waschprozess in einer gewerblichen Wäscherei und einem Waschsalon vom Waschresultat nur mit dem Waschen in Haushalten mit Trockner verglichen werden. Bei diesem Vergleich schneiden gewerbliche Wäschereien und v.a. Waschsalons deutlich günstiger ab. Berücksichtigt werden muss hier jedoch, dass notwendige Transporte bei gewerblichen Wäschereien und Waschsalons nicht berücksichtigt wurden. Wenn zum Transport der Wäsche ein PKW benutzt wird, dann ist der Energieverbrauch auch in Haushalten mit Wäschetrocknern verglichen mit dem von Waschsalons schon nach rund 800 m Autofahrt geringer. Im Vergleich „gewerbliche Wäschereien – Haushalte“ wird dieser Fall schon bei einer Autofahrt von rund 500 m erreicht.

<sup>22</sup> Zugrunde gelegt wird das Modul „PKW-Personenbeförderung“ aus Umberto 3.2. Die genauen Daten befinden sich im Anhang A.6

#### 4. Orientierende Stoffstromanalyse „gewerbliches Waschen“

Im folgenden werden die durch das gewerbliche Waschen in der Bundesrepublik ausgelösten Stoffströme dargestellt (vgl. Tabelle 10). Grundlage hierfür bilden einerseits die Angaben des DTV über den Wäscheanfall in gewerblichen Wäschereien 1995 (DTV o.J.a) und andererseits die Ergebnisse der Analyse der verschiedenen Wäschereitypen (vgl. vorangegangene Kapitel).

Tab. 10: Wäscheanfall in gewerblichen Wäschereien 1995 (DTV o.J.a)

	Wäschemenge	Umsatz
Mietdienste		
Berufsbekleidung	217.688 t	903 Mio. DM
Flachservice	69.188 t	287 Mio. DM
Schmutzmatten	22.661 t	94 Mio. DM
Hygiene, inklusive Handtuchhygiene	67.741 t	281 Mio. DM
Objektwäsche	231.670 t	961 Mio. DM
Privatwäsche	66.054 t	274 Mio. DM
<b>Gesamt</b>	<b>675.000 t</b>	<b>2.800 Mio. DM</b>

Zur Berechnung der Stoffströme gewerblicher Wäschereien insgesamt werden die Emissionen und Verbräuche einer hypothetischen deutschen Durchschnittswäscherei zugrunde gelegt (vgl. Kapitel 3.1). Diese Vorgehensweise ist stark vereinfachend, v.a. da die Datenbasis für die hypothetische Durchschnittswäscherei nur auf Angaben von einem Teil der gewerblichen Wäschereien basiert (vgl. Kapitel 2.2), wozu allerdings auch Großwäschereien zählen.

Die durch gewerbliche Wäschereien ausgelösten Stoffströme sind in Tabelle 11 zusammengefasst.

In gewerblichen Wäschereien werden pro Jahr 675.000 t Wäsche gewaschen. Dies sind 3,6 % des jährlichen Wäscheaufkommens in Haushalten<sup>23</sup>. Ein direkter Vergleich der Stoffströme von gewerblichen Wäschereien mit dem Waschen in Haushalten ist nicht sinnvoll, da

- in Wäschereien häufig wesentlich problematischere Wäsche gewaschen wird als in Haushalten,
- in gewerblichen Wäschereien das „Finishing“ (trocknen, bügeln etc.) in irgendeiner Form immer im Waschprozess enthalten ist,
- in gewerblichen Wäschereien beim Energieverbrauch beispielsweise auch Raumwärme und Licht enthalten ist, eine Zuordnung, die in Haushalten so nicht möglich ist.

<sup>23</sup> Zu den Stoffströmen im Haushalt vgl. Eberle und Griefßhammer 2000.

Tab. 11: Stoffströme in gewerblichen Wäschereien im Jahr 1995

	pro Tonne Waschgut	in der BRD
<b>alle gewerblichen Wäschereien<sup>24</sup></b>		
<i>Wäscheanfall</i>	1 t	675.000 Tonnen
Primärenergieverbrauch	26.751 MJ	18,1 PJ
Kohlendioxidemissionen	1.673 kg	1,13 Mio. Tonnen
Schwefeldioxidemissionen	2.893 g	1.950 Tonnen
Stickoxidemissionen	817 g	551 Tonnen
Wasserverbrauch	16,4 m <sup>3</sup>	11,1 Mio. m <sup>3</sup>
Waschmittelverbrauch	29,5 kg	19.913 Tonnen
<b>davon Berufsbekleidungswäschereien</b>		
<i>Wäscheanfall</i>	1 t	217.688 Tonnen
Primärenergieverbrauch	12.984 MJ	2.830 TJ
Kohlendioxidemissionen	690 kg	150.296 Tonnen
Schwefeldioxidemissionen	1.293 g	282 Tonnen
Stickoxidemissionen	538 g	117 Tonnen
Wasserverbrauch	17,0 m <sup>3</sup>	3,7 Mio. m <sup>3</sup>
Waschmittelverbrauch	29,5 kg	6.422 Tonnen
<b>davon Waschen von Privatwäsche</b>		
<i>Wäscheanfall</i>	1 t	66.054 Tonnen
Primärenergieverbrauch	11.337 MJ	749 TJ
Kohlendioxidemissionen	511 kg	33.776 Tonnen
Schwefeldioxidemissionen	2.324 g	154 Tonnen
Stickoxidemissionen	1.094 g	72 Tonnen
Wasserverbrauch	18,8 m <sup>3</sup>	1,2 Mio. m <sup>3</sup>
Waschmittelverbrauch	29,5 kg	1.949 Tonnen

## 5. Schlussfolgerungen und Handlungsempfehlungen

In gewerblichen Wäschereien werden 3,6 % des bundesdeutschen Wäscheaufkommens gewaschen. Der größte Anteil hiervon (84 %) entfällt auf Wäschereien mit einem Umsatz von über DM 500.000 pro Jahr, obwohl diese Wäschereien rein zahlenmäßig nur knapp ein Viertel der Wäschereien ausmachen. Optimierungsmaßnahmen sollten daher v.a. bei diesen Wäschereien ansetzen.

In dieser Untersuchung wurden Ökobilanzwerte für verschiedene Wäschereitypen, für das Waschen unterschiedlicher Wäschearten und für WaschsaloNs erarbeitet. Für Vergleiche im Wäschereisektor kann daher in Zukunft auf diese Daten zurückgegriffen werden.

### Gewerbliche Wäschereien

Es hat sich gezeigt, dass die Bandbreite des Standes der eingesetzten Technik in den untersuchten Wäschereien groß ist. Optimierungsempfehlungen können daher nicht für einzelne Wäschereitypen ausgesprochen werden. Mit dieser Untersuchung konnte jedoch ge-

<sup>24</sup> Zugrunde gelegt wird eine Durchschnittswäscherei (vgl. Kapitel 3.1).

zeigt werden, in welche Richtung die Optimierung in bezug auf Energie- und Wasserverbrauch gehen muss.

Der Durchschnitt der gewerblichen Wäschereien wäscht - zumindest was den Wasserverbrauch angeht - einen der wichtigsten Indikatoren beim Waschen - effizienter als Haushalte. Jedoch sind die Unterschiede der Wasserverbräuche zwischen den Wäschereien sehr groß. Vor allem bei kleinen Wäschereien ist die Bandbreite enorm (9,6 l/kg bis 39,7 l/kg Wäsche). Die Untersuchung hat gezeigt, dass ein Wasserverbrauch von **weniger als 10 l/kg Waschgut erreichbar** ist: in allen drei Größenkategorien gab es Wäschereien, die weniger als 10 l/kg Waschgut verbraucht haben.

Teilweise liegen die hohen Wasserverbräuche sicher an der z.T. veralteten Technologie der eingesetzten Waschmaschinen, z.T. können die Waschmaschinen jedoch sicher auch optimaler eingestellt bzw. genutzt werden. Durch einen geringeren Wasserverbrauch lassen sich für die Wäschereien - neben der Reduktion der Umweltbelastung - v.a. auch Kosten einsparen.

Der Energieverbrauch liegt in einigen gewerblichen Wäschereien sehr hoch. Berücksichtigt man nur die kleinen und großen Wäschereien (siehe oben), dann zeigt sich, dass der Primärenergieverbrauch durchaus im Durchschnitt der Wäschereien unter 20 MJ/kg Waschgut liegen könnte. Der Durchschnitt der großen Wäschereien verbraucht lediglich 11,8 MJ/kg Waschgut.

### **Waschsalons**

Auch in Waschsalons ist die Bandbreite des Standes der Technik groß. Jedoch konnten auch hier Optimumwerte ermittelt werden, die beim Einsatz geeigneter Techniken in Waschsalons erreicht werden können. So zeigte sich, dass eine Reduktion des Wasserverbrauchs möglich ist. Eine **Verringerung um rund ein Drittel** des jetzigen Durchschnittsverbrauchs wird als machbar eingestuft. Hier wäre neben dem Einsatz kleinerer Waschmaschinen (siehe unten) auch der Einsatz von Waschmaschinen, die den Spülgang mit nicht enthärtetem Wasser spülen, sinnvoll.

Weiterhin wird in Waschsalons eine **Reduktion des Energieverbrauchs um ca. 60 %** gegenüber dem Durchschnitt als machbar eingeschätzt. Dies kann durch folgende Maßnahmen erreicht werden:

- Einsatz kleinerer Waschmaschinen<sup>25</sup> (5 kg an Stelle von 6 kg oder größer),
- Warmwasseranschluss der Waschmaschinen,

---

<sup>25</sup> Nach Angaben eines Besitzers einer Waschsalonkette werden 6 kg-Waschmaschinen von den Kunden nicht ausgenutzt, da nach Ergebnissen einer Umfrage in dieser Waschsalonkette wesentlich weniger als 6 kg Wäsche pro Waschgang gewaschen werden. Durch den Einsatz kleinerer Waschmaschinen kann Energie und Wasser eingespart werden.

- Warmwasserbereitung mit Gas,
- Waschmaschinen mit hoher Schleuderdrehzahl,
- Wäschetrockner mit Gas.

Grundsätzlich sollte für Kunden ein Anreiz geschaffen werden, bei möglichst niedrigen Temperaturen zu waschen, um den Energieverbrauch beim Waschen zu reduzieren (z.B. Preisreduktion bei der Wahl niedriger Waschttemperaturen).

Weiterhin wird geschätzt, dass eine Reduktion des Waschmittelverbrauchs in Waschsals um rund **30 %** durch den Einsatz von Superkompaktaten realisierbar wäre.

Für Kunden ist die Identifizierung ökologischer Wäschereien oder Waschsals nicht möglich, obwohl vielfach eine Wahlmöglichkeit gegeben wäre. Die Vergabe des Umweltzeichens „Blauer Engel“, das diese Wäschereien und Waschsals auszeichnet, erscheint daher sinnvoll.

## 6. Literatur

- |                             |  |
|-----------------------------|--|
| AEG 1995                    | N.N.; Das besondere Programm; AEG-Firmenprospekt, 1996   |
| b.u.s. 1995                 | N.N.; Branchenkonzept zur Umweltentlastung in Berliner Wäschereien. Abschlussbericht. b.u.s. – Büro für Umwelt- und Sanierungsberatung. Berlin 1995  |
| Boustead 1993               | Boustead, I.; Eco-profiles of the european plastics industry. Report 2: Olefin feedstock sources. Report 4: Polystyrene. European centre for plastics in the environment. PWMI (Hrsg.). Brüssel 1993   |
| BUWAL 1996                  | Habersatter, K.; Fecker, I.; Dall'Acqua, S.; Fawer, M.; Fallscheer, F.; Förster, R.; Maillefer, C.; Ménard, M.; Reusser, L.; Som, C.; Stahel, U.; Zimmermann, P.; Ökoinventare für Verpackungen. Band I und II. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. Bern 1996 |
| CEFIC/ECOSOL 1995           | CEFIC/ECOSOL; European life cycle inventory for detergent surfactants production. Tenside, Surfactants, Detergents 2/1995  |
| DTV o.J.a                   | N.N.; Das Textilreinigungsgewerbe. Zahlen und Fakten 1996/1997. Deutscher Textilreinigungsverband (Hrsg.). Bonn o.J.   |
| DTV o.J.b                   | N.N.; Umsätze der Wäschereien und Mietservice-Unternehmen in der BRD für 1995. Deutscher Textilreinigungsverband (Hrsg.). Bonn o.J.  |
| Eberle und Griebhammer 1997 | Eberle, U.; Griebhammer, R.; Waschmitteleinsparung durch den Ersatz von Vollwaschmitteln. Freiburg 1997  |
| Eberle und Griebhammer 2000 | Eberle, U.; Griebhammer, R.; Ökobilanz und Stoffstromanalyse Waschen und Waschmittel. Teilstudie im UFO-Plan Vorhaben 296 64 145 „Ökobilanzierung zu Wasch- und Reinigungsmittelrohstoffen und deren Anwendung in der gewerblichen Wäscherei“. Freiburg 2000         |
| Eberle und Reichart 1996    | Eberle, U.; Reichart, I.; Textilrecycling. Broschüre im Auftrag der Hans-Böckler-Stiftung. Freiburg 1996   |
| Elis 1998                   | Fax von Dominique Chevillard, G.I.E. Elis, Puteaux vom 30.03.1998  |

Fawer 1996	Fawer, M.; Life cycle inventory for the production of Zeolithe A for detergents. EMPA-Bericht Nr. 234. St. Gallen 1996
Fawer 1997	Fawer, M.; Life Cycle Inventories for the production of sodium silicates. EMPA-Bericht Nr. 241. St. Gallen 1997
Fritsche et al. 1997	Fritsche, U.; Rausch, L.; Buchert, M.; Hochfeld, C.; Jenseit, W.; Matthes, F.; Stahl, H.; Witt, J.; Gesamt-Emissionsmodell Integrierter Systeme (GEMIS), Version 3.0. Im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Energie und Bundesangelegenheiten. 1997
Grießhammer et al. 1997	Grießhammer, R.; Bunke, D.; Gensch, C.-O.; Produktlinienanalyse Waschen und Waschmittel. UBA-Texte 1/97. Berlin 1997
Grießhammer et al. 1999	Eberle, U.; Grießhammer, R.; Eberle, U.; Gensch, C.-O.; Home washing and industrial washing of blue workwear - comparison and benchmarking. Freiburg 1999
Habersatter 1991	Habersatter, K.; Oekobilanz von Packstoffen, Stand 1990. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Hrsg.). Bern 1991
HEA 1998a	N.N.; Waschmaschinen. HEA-Bilderdienst. Frankfurt 1998
HEA 1998b	N.N.; Wäschetrockner. HEA-Bilderdienst. Frankfurt 1998
IHO 1998	Industrieverband Hygiene und Oberflächenschutz (IHO), Fachbereich Wäschereitechnik; Modellwaschverfahren für blaue Berufsbekleidung. IHO 08.06.1998
MEWA 1997	Fax von Rudolf Asmuth, MEWA Textil-Service AG & Co., Wiesbaden, Hauptabteilung Technik vom 11.12.1997
Siemens 1995	N.N.; Voller Durchblick beim Waschen und Trocknen. Siemens-Firmenprospekt. 1995
Sophus 1998	Fax von Kim Christiansen, Sophus Berendsen International, Kopenhagen vom 04.03.1998
Uhl et al. 1998	Uhl, J. C.; Deforce, L.; Pasupathy, S.; Bohnen, J.; Föllner, B.; Krüßmann, H.; Vom Wäscheweichspüler zum Wäscheweichpfleger - Produktnutzen und Umweltprofil. Vortrag auf dem 45. Kongress der SEPAWA 1998
ZVEI 1992	N.N.; Energiebericht der Elektroindustrie 1992. Zentralverband der Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. (Hrsg.). Frankfurt 1992

## Anhang

### A.1 Eingesetzte Waschmittel in den befragten Wäschereien

Nachfolgend sind die bei der Umfrage erfassten Waschmittel dargestellt:

Tab. 12: Verwendete Waschmittel und Waschhilfsmittel in den erfassten gewerblichen Wäschereien ohne Reinigung

Hersteller	Markenname	Typ
Burnus	Burti	Spezialwaschmittel
	Telesil	Bleichmittel
Haas	Tenalan	Alleinwaschmittel
	Penta Basis	Berufsbekleidung (KFZ-Betriebe, metallverarbeitende Betriebe, Lebensmittelbranche, Bauhandwerk)
	CV Konzentrat	Fettentferner
Henkel	Silex Super	Vorwaschmittel
	Ozonex Super	Klarwaschmittel
	Sericol	Zusatzprodukt
Lever	Poti	Spezialwaschmittel
Martin	Marco Plus	Alleinwaschmittel
Woellner	Solvit Spezial	Vorwaschmittel
	DK 100	Alleinwaschmittel
	Bunt	Spezialwaschmittel
	N 200	Berufsbekleidung (Gastronomie, Küchen/Kantinen, Apotheken, metallverarbeitende Betriebe)
Zeiss, Mannheim	Trimmlex Combi	Berufsbekleidung (Ärzte, Apotheken, Lebensmittelhandel, Großküche)
	Aquapon	Weichspüler
Zeiss, Mannheim	Brilliant	Alleinwaschmittel
	Magneta	Berufsbekleidung (Ärzte, Apotheken, Gastronomie)

Tab. 13: Verwendete Waschmittel und Waschhilfsmittel in den erfassten gewerblichen Wäschereien mit Reinigung

Hersteller	Markenname	Typ
Aldi	Aldi Color	Alleinwaschmittel
Burnus	Burti	Spezialwaschmittel
	Helophan	Spezialwaschmittel
	Buractiv	Bleichmittel
	Araplex	Weichspüler
Enzian	Gabilan extra	Vollwaschmittel
	Cridox Super	Klarwaschmittel
	Enzolan	Spezialwaschmittel
Haas	Clean Super	Alleinwaschmittel
Henkel	Silic	Vorwaschmittel
	Taxat Color	Vollwaschmittel
	Taxat profi	Vollwaschmittel
	Persil	Vollwaschmittel
	Eltra	Vollwaschmittel
	Purcompact	Alleinwaschmittel
	Tascat	Alleinwaschmittel
	Sericol perfect	Spezialwaschmittel
	Triplex Basis	Spezialwaschmittel
Trypolsan	Zusatzprodukt (Desinfektion)	
Osmac	Osmac	Vorwaschmittel
	Brisk	Vollwaschmittel
	Lunop Sept	Berufsbekleidung (Ärzte, Apotheken, Metzgereien, Einzelhandel)
Woellner	Gardinenweiss	Spezialwaschmittel

## A.2 Fragebogen

### A.2.1 Fragebogen „gewerbliche Wäschereien“

# Fragebogen gewerbliche Wäschereien

## - Betriebsumfrage -

Die von Ihnen gemachten Angaben werden vertraulich behandelt und anonymisiert.

### I. Allgemeines

#### 1.a) Adresse:

- Wäscherei       chemische Reinigung       Mietwäsche

#### 1.b) Ansprechpartner(in), Telefon:

#### 2.a) Wie hoch war der Umsatz Ihrer Wäscherei 1996? (bitte ankreuzen)

- |                          |           |           |    |                          |              |            |    |
|--------------------------|-----------|-----------|----|--------------------------|--------------|------------|----|
| <input type="checkbox"/> | 25.000 -  | 50.000    | DM | <input type="checkbox"/> | 1.000.000 -  | 2.000.000  | DM |
| <input type="checkbox"/> | 50.000 -  | 100.000   | DM | <input type="checkbox"/> | 2.000.000 -  | 5.000.000  | DM |
| <input type="checkbox"/> | 100.000 - | 250.000   | DM | <input type="checkbox"/> | 5.000.000 -  | 10.000.000 | DM |
| <input type="checkbox"/> | 250.000 - | 500.000   | DM | <input type="checkbox"/> | > 10.000.000 |            | DM |
| <input type="checkbox"/> | 500.000 - | 1.000.000 | DM |                          |              |            |    |

#### 2.b) Wie hoch war davon der Anteil von Wäscherei (also ohne chemische Reinigung)? (Angabe bitte in Prozent)

#### 2.c) Wie hoch ist bei der Wäscherei der Anteil betriebseigener Wäsche bzw. Mietwäsche?

#### 3. Wieviele Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen waren in Ihrer Wäscherei 1996 beschäftigt? (bitte ankreuzen)

- |                          |      |      |
|--------------------------|------|------|
| <input type="checkbox"/> | 1 -  | 5    |
| <input type="checkbox"/> | 5 -  | 10   |
| <input type="checkbox"/> | 10 - | 25   |
| <input type="checkbox"/> | 25 - | 50   |
| <input type="checkbox"/> | 50 - | 100  |
| <input type="checkbox"/> |      | >100 |

**4.a) Wieviele Annahmestellen beliefert Ihre Wäscherei?**

eigene Annahmestellen: \_\_\_\_\_ Agenturen auf Provisionsbasis: \_\_\_\_\_

**4.b) Wieviele gewerbliche Kunden haben Sie?**

**5. Wie groß ist das Gebiet, das Ihre Wäscherei bedient (max. Entfernung nach S, N, W, O)?**

**6. Wie ist eine durchschnittliche Tour:**

- gefahrene Kilometer: \_\_\_\_\_
- Anzahl bedienter Kunden: \_\_\_\_\_
- Menge transportierter Schmutzwäsche: \_\_\_\_\_
- LKW-Kilometer pro Tonne gewaschener Wäsche: \_\_\_\_\_

**7. Wie groß ist der Fuhrpark Ihrer Wäscherei?**

- Anzahl PKW: \_\_\_\_\_
- Anzahl LKW (jeweils mit Angabe der Tonnage): \_\_\_\_\_
- durchschnittliche Auslastung der LKW (in Prozent): \_\_\_\_\_
- Treibstoffverbrauch oder Treibstoffkosten pro Jahr:
  - Benzin: \_\_\_\_\_
  - Diesel: \_\_\_\_\_

**8. Welche Gesamtmenge Wäsche wird in Ihrer Wäscherei im Durchschnitt gewaschen?**

- pro Tag: \_\_\_\_\_ t/Tag
- pro Jahr: \_\_\_\_\_ t/Jahr

**9.a) Welchen Anteil nehmen davon welche Wäschearten ein?**

- Berufskleidung: \_\_\_\_\_ %
- Schmutzmatten: \_\_\_\_\_ %
- Handtuchrollen: \_\_\_\_\_ %
- Putztücher: \_\_\_\_\_ %
- Hotelwäsche und Gastronomiewäsche: \_\_\_\_\_ %
- Krankenhauswäsche, Altenheimwäsche, Hygienewäsche: \_\_\_\_\_ %
- Privatwäsche: \_\_\_\_\_ %

**9.b) Kooperieren Sie mit anderen Wäschereien? Wenn ja, bei welchen Wäschearten?**

**10.a) Für welche Branchen (z.B. Apotheker, Kfz-Betriebe, metallverarbeitende Betriebe etc.) wäscht Ihre Wäscherei Berufskleidung?**

**10.b) Für welche Branchen (Kfz-Betriebe, metallverarbeitende Betriebe etc.) wäscht Ihre Wäscherei Putztücher?**

## **II. Betrieb**

### **11. Beschreiben Sie kurz Ihren Betrieb:**

- Stand der Technik:  
 moderner Betrieb                       mittlerer Stand der Technik                       älterer Betrieb
  
- Geräteausstattung (Anzahl Waschstraßen, Waschschleudermaschinen, Finisher [Umlufttrockner, Volltrockner etc.], Mangeln, innerbetrieblicher Wäschetransport etc.):
  
  
  
  
  
  
  
  
  
  
- Wasserenthärtung:     ja     nein
- Wasserkreislaufführung:     ja     nein
- Abwasserbehandlung:     ja     nein
  
- Energieversorgung:  
 Öl                       Gas                       Kohle                       Strom                       Stromeigenerzeugung
  
- Dampf:     Dampfbezug     Dampfeigenerzeugung
  
- Ökoaudit:     ja     nein
- Qualitätsmanagement:     ja     nein
  
- weitere Informationen:

## **III. Wasch-, Betriebs- und Hilfsmittel**

### **13. Wieviel Wasser wurde in Ihrer Wäscherei verbraucht?**

- gesamter Wasserverbrauch pro Jahr: \_\_\_\_\_ Liter
- Wasserverbrauch pro Kilogramm Wäsche pro Jahr: \_\_\_\_\_ Liter/kg

### **14. Wieviel Abwasser fiel in Ihrer Wäscherei an?**

- gesamter Abwasseranfall pro Jahr: \_\_\_\_\_ Liter
- Abwasser je Kilogramm Wäsche pro Jahr: \_\_\_\_\_ Liter/kg
- Direkt- oder Indirekteinleiter:     Direkt     Indirekt

### **15. Wieviel Energie wurde in Ihrer Wäscherei verbraucht?**

- gesamter Energieverbrauch pro Jahr: \_\_\_\_\_ kWh/a  
Öl: \_\_\_\_\_ Gas: \_\_\_\_\_ Kohle: \_\_\_\_\_ Strom: \_\_\_\_\_
- Energieverbrauch pro Kilogramm Wäsche pro Jahr: \_\_\_\_\_ kWh/kg

### **16. Wieviel Abfall (Tonnage) fällt in Ihrer Wäscherei pro Jahr an? Welcher Art waren diese Abfälle (z.B. Papierabfälle, Hausmüll, Klärschlämme)?**

**17. Welche Waschmittel, Waschhilfsmittel und Chemikalien wurden 1996 in Ihrer Wäscherei verwendet?**

Typ	Bezeichnung	Hersteller	Menge pro Jahr
Vorwaschmittel			kg
Alleinwaschmittel			kg
Klarwaschmittel			kg
Vollwaschmittel			kg
Spezialwaschmittel für Berufskleidung			kg
andere Spezialwaschmittel			kg
Zusatzprodukte (Eiweiss-, Fettentfernung, Desinfektion)			kg
Enthärter			kg
Bleichmittel			kg
Weichspüler			kg
Wäschefinish			kg
Sonstige Chemikalien (z.B. Säuren, Ionenaustauscher etc.)			kg

**18. Skizzieren Sie ein typisches Waschprogramm mit typischen Verbrauchswerten für Berufskleidung (blau, normal verschmutzt):**

- Washtemperatur: \_\_\_\_\_
- Waschzeit: \_\_\_\_\_
- Waschmittelmenge pro Tonne Berufskleidung: \_\_\_\_\_
- Wasserverbrauch pro Tonne Berufskleidung: \_\_\_\_\_
- Energieverbrauch pro Tonne Berufskleidung: \_\_\_\_\_

## A.2.2 Fragebogen „Waschsalons“

# Fragebogen Waschsalon

## - Betriebsumfrage -

Die von Ihnen gemachten Angaben werden vertraulich behandelt und anonymisiert.

### I. Allgemeines

1.a) Adresse:

1.b) Ansprechpartner(in), Telefon:

2. Wie hoch war der Umsatz Ihrem Waschsalon/Waschsalon-Kette 1996? (bitte Größenordnung angeben)

3. Wieviele Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen waren in Ihrem Waschsalon/Waschsalonkette 1996 beschäftigt?

4. Wie groß ist das Gebiet, das ein Waschsalon bedient (max. Entfernung nach S, N, W, O)?

5. Welche Gesamtmenge Wäsche wird in Ihrem Waschsalon/Waschsalonkette im Durchschnitt gewaschen?

- pro Tag: \_\_\_\_\_ kg/Tag

- pro Jahr: \_\_\_\_\_ kg/Jahr



**10. Wieviel Energie wurde 1996 in Ihrem Waschsalon/Waschsalonkette verbraucht?**

- gesamter Energieverbrauch pro Jahr: \_\_\_\_\_ kWh/a  
 Öl: \_\_\_\_\_ Gas: \_\_\_\_\_ Kohle: \_\_\_\_\_ Strom: \_\_\_\_\_
- Energieverbrauch pro Kilogramm Wäsche pro Jahr: \_\_\_\_\_ kWh/kg

**11. Wieviel Abfall (Tonnage) fällt in Ihrem Waschsalon/Waschsalonkette pro Jahr an? Welcher Art waren diese Abfälle (z.B. Papierabfälle, Hausmüll, Klärschlämme)?**

**12. Welche Waschmittel, Waschlösungsmittel und Chemikalien wurden 1996 in Ihrem Waschsalon/Waschsalonkette verwendet?**

Typ	Bezeichnung	Hersteller	Menge pro Jahr
Vorwaschmittel			kg
Alleinwaschmittel			kg
Klarwaschmittel			kg
Vollwaschmittel			kg
Spezialwaschmittel für Berufskleidung			kg
andere Spezialwaschmittel			kg
Zusatzprodukte (Eiweiss-, Fettentfernung, Desinfektion)			kg
Enthärter			kg
Bleichmittel			kg
Weichspüler			kg
Wäschefinish			kg
Sonstige Chemikalien (z.B. Säuren, Ionenaustauscher etc.)			kg

### A.3 Waschmittel

#### A.3.1 Rahmenrezeptur gewerbliches Waschmittel für blaue Berufskleidung (Dosiermengen: differenziert nach Verschmutzungsgrad, WM-Typ, Qualitätsanforderung) (Quelle: IHO 1998)

Modell-Waschverfahren für blaue Berufskleidung

Schmutzart	Mineralöl, Pigment
Gewebe	Mischgewebe 65/35
Waschmaschine	Taktwaschanlage, 15 Kammern (4 Vorwäsche, 5 Hauptwäsche, 6 Spülen)
Wasserhärte	0-2 °dH
Wasserverbrauch gesamt	12 l/kg
Flottenverhältnis	1:5
Temperatur	Vorwäsche: 35 °C, Hauptwäsche: 70 °C
Waschzeit gesamt	45 Minuten

Dosierung [g/kg Wäsche]	Vorwäsche	Hauptwäsche	Insgesamt
Hauptwaschmittel A	12	12	24
Verstärker B	3	2	5
Säure C (Spülbad)		0,5	0,5

Ansatzformulierung Modell-Produkte		
	%	Inhaltsstoffe in der Flotte [g/kg Wäsche]
Hauptwaschmittel A		
Natriummetasilikat 5aq	50	12
Natriumtriphosphat	15	3,6
Soda	24	5,76
Polycarboxylat	2	0,48
LAS	2	0,48
Fettalkoholethoxylat C12-14, 5 EO	5	1,2
Carboxymethylcellulose	1	0,24
Methylcellulose	1	0,24
Wasser	0	0
Summe	100	24
Verstärker B		
Fettalkoholethoxylat C12-14, 5 EO	97	4,85
Wasser	0	0
Alkohole	3	0,15
Summe	100	5
Säure C		
Ameisensäure	100	0,5
Wasser	0	0
Summe	100	0,5

### A.3.2 Rahmenrezeptur Superkompaktvollwaschmittel (Quelle: Uhl 1998)

<b>Anionische Tenside</b>	<b>10,0%</b>
davon FAS	80,0%
davon LAS	20,0%
<b>Nichtionische Tenside</b>	<b>6,0%</b>
davon AE7 Pc	100,0%
<b>Bleichaktivator</b>	<b>5,0%</b>
davon TAED	100,0%
<b>Bleichmittel</b>	<b>20,5%</b>
davon Perborat	50,0%
davon Percarbonat	50,0%
<b>Gerüststoffe</b>	<b>30,0%</b>
davon Zeolith A	50,0%
davon Silikate	25,0%
davon Citrat	25,0%
<b>Alkaliträger</b>	<b>10,0%</b>
davon Natriumcarbonat	100,0%
<b>Vergrauungsinhibitoren</b>	<b>3,0%</b>
davon CMC	100,0%
<b>Sonstige</b>	<b>15,0%</b>
davon Natriumsulfat	49,5%
davon Wasser	49,5%
davon Optische Aufheller	1,0%
<b>Gesamt</b>	<b>100,0 %</b>

### A.4 Verwendete (obere) Heizwerte zur Berechnung des Primärenergiebedarfs nach Dall'Acqua et al. (1999) und BUWAL (1996)

Rohöl*	42,6	MJ/kg
Rohgas*	40,2	MJ/m <sup>3</sup>
Rohbraunkohle*	9,9	MJ/kg
Rohsteinkohle*	30,3	MJ/kg
Holz**	16,9	MJ/kg
Uran in UF6**	451,0	MJ/g

\* = nach Dall'Acqua et al. 1999, \*\* = nach BUWAL 1996

### A.5 Energiebereitstellung: Stromnetz BRD

Das Stromnetz BRD wurde nach BUWAL (1996) berechnet. Folgende Daten wurden zugrunde gelegt:

Input			Output		
Braunkohle (RiL)	2,80E-01	kg	Aluminium (W)	2,91E-04	kg
Erdgas (RiL)	1,17E-02	kg	Ammoniak (L)	1,86E-06	kg
Erdöl (RiL)	6,29E-03	kg	Ammonium (W)	2,31E-06	kg
Holz (RiL)	1,76E-03	kg	Anorgan. Salze u. Säuren (W)	2,09E-03	kg
PE, Biomasse	2,96E+01	kJ	AOX (W)	1,11E-09	kg
PE, Braunkohle	2,67E+03	kJ	Aromaten, unspez. (W)	2,87E-07	kg

Input			Output		
PE, Erdgas	5,31E+02	kJ	Arsen (W)	5,83E-07	kg
PE, Erdöl	2,86E+02	kJ	Barium (W)	2,38E-05	kg
PE, nukleare Brennst.	5,58E+03	kJ	Benzol (L)	2,65E-07	kg
PE, regen. Quellen	3,10E+02	kJ	Blei (L)	6,89E-08	kg
PE, Steinkohle	3,42E+03	kJ	Blei (W)	1,64E-06	kg
Steinkohle (RiL)	1,81E-01	kg	BSB-5 (W)	5,91E-08	kg
Uran (RiL)	1,17E-05	kg	Cadmium (L)	6,18E-09	kg
Wasserkraft	3,10E+02	kJ	Cadmium (W)	1,61E-08	kg
			Chlorid (W)	2,01E-03	kg
			Chlorwasserstoff (L)	1,28E-04	kg
			Chrom (W)	2,89E-06	kg
			CSB (W)	1,49E-06	kg
			Cyanid (W)	5,64E-09	kg
			Distickstoffmonoxid (L)	3,58E-06	kg
			DOC (W)	1,73E-07	kg
			Eisen (W)	5,37E-04	kg
			Energie, elektrisch	3,60E+03	kJ
			Feststoffe, suspensiert (W)	6,24E-05	kg
			Fette und Öle (W)	8,75E-06	kg
			Fluorwasserstoff (L)	1,36E-05	kg
			Halon 1301 (L)	1,50E-09	kg
			Kohlendioxid, fossil (L)	5,83E-01	kg
			Kohlenmonoxid (L)	7,78E-05	kg
			Kupfer (W)	1,44E-06	kg
			Mangan (L)	4,14E-08	kg
			Metalle, un spez. (L)	3,51E-05	kg
			Metalle, un spez. (W)	3,22E-05	kg
			Methan (L)	1,38E-03	kg
			Nickel (L)	2,03E-07	kg
			Nickel (W)	1,46E-06	kg
			Nitrat (W)	7,16E-06	kg
			NM VOC (Aromaten) (L)	6,75E-06	kg
			NM VOC, fluorchlor., un spez.(L)	3,04E-10	kg
			NM VOC, un spez. (L)	7,00E-05	kg
			NOx (L)	1,20E-03	kg
			Org. geb. Stickst. a. N. (W)	4,23E-08	kg
			PAK, un spez. (L)	1,11E-08	kg
			PAK, un spez. (W)	4,12E-09	kg
			Phenole (W)	4,82E-08	kg
			Phosphat (W)	1,72E-05	kg
			Quecksilber (L)	2,13E-08	kg
			Quecksilber (W)	4,46E-10	kg
			Schwefeldioxid (L)	2,58E-03	kg
			Staub (L)	8,94E-04	kg
			Stickstoffverbind. als N (W)	3,60E-07	kg
			Stoffe, org., chlor, un spez. (W)	4,71E-10	kg
			Sulfat (W)	3,04E-03	kg
			Sulfide (W)	1,34E-08	kg
			TOC (W)	1,48E-05	kg
			Toluol (W)	3,89E-08	kg
			Zink (L)	1,73E-07	kg
			Zink (W)	2,92E-06	kg

## A.6 Personenbeförderung

Die Personenbeförderung wurde mit Umberto 3.2, Modul „PKW-Personenbeförderung“ berechnet. Die Ergebnisse für 1 km Fahrleistung finden sich in der folgenden Tabelle (vgl. Tabelle 14).

Tab. 14: Ein Kilometer Personenbeförderung

<b>Input</b>		
<b>Bezeichnung</b>	<b>Menge</b>	<b>Einheit</b>
Erdöl	1,26E-01	kg
KEA, fossil gesamt	5,06E+03	kJ
Personen	7,00E+01	kg
<b>Output</b>		
<b>Bezeichnung</b>	<b>Menge</b>	<b>Einheit</b>
Arsen	3,94E-10	kg
Benzo(a)pyren	5,04E-12	kg
Benzol	1,45E-07	kg
Blei	9,70E-07	kg
Cadmium	9,86E-10	kg
Chrom	4,91E-10	kg
Distickstoffmonoxid	1,11E-06	kg
Kohlendioxid, fossil	3,65E-01	kg
Kohlenmonoxid	2,61E-02	kg
Methan	4,70E-04	kg
Nickel	4,01E-08	kg
NM VOC, un spez.	3,67E-03	kg
NO <sub>x</sub>	1,94E-03	kg
PCDD, PCDF	7,99E-17	kg
Personen	7,00E+01	kg
Schwefeldioxid	2,91E-04	kg
Staub	5,28E-05	kg

## **Endbericht**

### **Ökobilanz und Stoffstromanalyse Waschen und Waschmittel**

Teilstudie im UFO-Plan Vorhaben 296 64 145  
„Ökobilanzierung zu Wasch- und Reinigungsmittelrohstoffen  
und deren Anwendung in der gewerblichen Wäscherei“

AutorInnen:

Ulrike Eberle

Dr. Rainer Grießhammer

#### **Öko-Institut e.V.**

Geschäftsstelle Freiburg  
Postfach 6226  
D-79038 Freiburg  
Tel.: 0761/45 29 5-0  
Fax: 0761/47 54 37

Büro Darmstadt  
Elisabethenstraße 55-57  
D-64283 Darmstadt  
Tel.: 06151/8191-0  
Fax: 06151/8191-33

Büro Berlin  
Novalisstraße 10  
D-10115 Berlin  
Tel.: 030/280 486-80  
Fax: 030/280 486-88

Freiburg, Juli 2000

## Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>Modell-Waschmittel .....</b>	<b>1</b>
<b>3.</b>	<b>Modell-Haushalte .....</b>	<b>6</b>
3.1	Ökologische Aspekte des Waschens in Modell-Haushalten.....	6
3.2	Kosten des Waschens in Modell-Haushalten .....	12
<b>4.</b>	<b>Stoffstromanalyse des deutschen Waschaufwands .....</b>	<b>14</b>
<b>5.</b>	<b>EU-Punkte-Bewertungssystem für das europäische Umweltzeichen.....</b>	<b>16</b>
5.1	Erweiterung für Weichspüler.....	17
5.2	Übertrag auf Stoffströme .....	19
<b>6.</b>	<b>Ableitung von Handlungsempfehlungen .....</b>	<b>22</b>
<b>7.</b>	<b>Literatur.....</b>	<b>23</b>

## 1. Einleitung

Ziel des UFO-Plan Vorhabens 296 64 145 war es, Ökobilanzen und Stoffstromanalysen im Bereich Waschmittel zu ergänzen und zu aktualisieren, um eine komplette und aktuelle Übersicht zu gewinnen. Dementsprechend wurden die Ökobilanzen von Waschmittelinhaltsstoffen ergänzt, detailliert und harmonisiert (Dall'Acqua et al. 1999), eine Ökobilanz von Weichspülern und des Bügelns erstellt (Eberle und Grießhammer 2000a) und das gewerbliche Waschen analysiert (Eberle und Grießhammer 2000b).

In der vorliegenden Teilstudie werden - aufbauend auf den oben genannten Teiluntersuchungen - die Ergebnisse der „Produktlinienanalyse Waschen und Waschmittel“ (Grießhammer et al. 1997) aktualisiert und ergänzt:

- die Ökobilanzen von Modell-Waschmitteln (hier auch ergänzt um die neuen Tablettenwaschmittel),
- die Ökobilanzen von Modell-Haushalten,
- die Stoffstromanalyse des bundesdeutschen Waschaufwandes (ergänzt um Weichspüler, Bügelns, sowie um gewerbliches Waschen),
- die Kosten für Waschen, Weichspülereinsatz, Trocknen und Bügelns in Privathaushalten.

## 2. Modell-Waschmittel

In der Untersuchung des Öko-Instituts e.V. „Produktlinienanalyse Waschen und Waschmittel“ (Grießhammer et al. 1997) konnten für einen Teil der Waschmittelinhaltsstoffe nur orientierende Ökobilanzen zugrunde gelegt werden. Mittlerweile haben sich die Waschmittelrezepturen geändert und ein Waschmitteltyp in Tablettenform wurde auf den Markt gebracht - die sogenannten „Tabs“.

Ein Ziel des Forschungsvorhabens ist es daher, diese orientierenden Ökobilanzen zu detaillieren und z.T. zu ergänzen. Die Eidgenössische Materialprüfungsanstalt in St. Gallen hat in Kooperation mit dem Öko-Institut e.V. die Sachbilanzen von einigen Waschmittelinhaltsstoffen aktualisiert und harmonisiert und darüber hinaus noch nicht bearbeitete Inhaltsstoffe ökobilanziert (Dall'Acqua et al. 1999).

Im Rahmen dieser Untersuchung werden die aktualisierten Sachbilanzen zur Aktualisierung der Sachbilanzen von Modell-Waschmitteln verwendet. Die Rahmenrezepturen der Modell-Waschmittel finden sich in Tabelle 1.

Tab. 1: Rahmenrezepturen Modell-Waschmittel (Quelle: Eberle und Gießhammer 1997; Gießhammer et al. 1997; Uhl 1998)

	Vollwaschmittel	Baukastenwaschmittel	Superkompaktvollwaschmittel	Tabs
<i>Dosierung</i>	<i>153 g</i>	<i>77,4 g</i>	<i>75 g</i>	<i>80 g</i>
<b>Tenside</b>				
FAS	3,10 %	6,10 %	8,00 %	6,00 %
LAS	6,90 %	0,00 %	2,00 %	10,00 %
AE7 Pc	3,70 %	11,50 %	6,00 %	4,00 %
Seife	0,50 %	2,60 %	0,00 %	1,00 %
<b>Bleichaktivator</b>				
TAED	0,80 %	0,40 %	5,00 %	6,00 %
<b>Bleichmittel</b>				
Perborat	19,10 %	0,00 %	10,25 %	0,00 %
Percarbonat	0,00 %	2,20 %	10,25 %	17,00 %
<b>Gerüststoffe</b>				
Zeolith A	20,30 %	40,20 %	15,00 %	23,00 %
Silikate	3,10 %	4,30 %	7,50 %	6,00 %
Citrat	0,00 %	0,50 %	7,50 %	0,00 %
<b>Alkaliträger</b>				
Natriumcarbonat	11,90 %	17,80 %	10,00 %	5,00 %
<b>Vergrauungsinhibitoren</b>				
CMC	0,20 %	0,50 %	3,00 %	0,50 %
<b>Sonstige</b>				
Natriumsulfat	19,00 %	0,10 %	7,43 %	3,00 %
Optische Aufheller	0,12 %	0,00 %	0,15 %	0,30 %
Polycarboxylate	3,60 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %
Cellulose	0,00 %	0,00 %	0,00 %	10,00 %
Diverse	0,00 %	0,00 %	0,00 %	2,50 %
Rest	7,68 %	13,80 %	7,43 %	5,70 %
<b>Gesamt</b>	<b>100,00 %</b>	<b>100,00 %</b>	<b>100,00 %</b>	<b>100,00 %</b>

Die Ergebnisse der Ökobilanzen zu den einzelnen Modell-Waschmitteln sind in Tabelle 2 wiedergegeben.

Im Vergleich zur ersten Studie (Gießhammer et al. 1997) liegen die Primärenergieverbrauchswerte z.T. höher, im besonderen, weil in der orientierenden Ökobilanz von Bleichmitteln der Primärenergieverbrauch zu niedrig angesetzt wurde.

Entsprechend kann der Vergleich der Modell-Waschmittel differenziert werden. Nach wie vor sind die traditionellen Vollwaschmittel die mit Abstand schlechtesten Waschmittel. Das Baukastenwaschmittel liegt nach den neuen Ergebnissen nun aber deutlich vor den Superkompaktvollwaschmitteln, im wesentlichen bedingt durch den im Vergleich niedrigen Verbrauch von Bleichmitteln. Die neuen Tablettenwaschmittel sind ökobilanziell ähnlich einzuschätzen wie die Kompaktwaschmittel.

Tab. 2: Ausgewählte Ergebnisse der Aktualisierung der Sachbilanzen der Modell-Waschmittel

	<b>Baukasten- waschmittel</b>	<b>Superkompakt- vollwaschmittel</b>	<b>Vollwaschmittel</b>	<b>Tabs</b>
<i>Dosierung<sup>1</sup></i>	77,4 g	75 g	153 g	80 g
Primärenergieverbrauch	2,89 MJ	4,95 MJ	6,74 MJ	5,33 MJ
Kohlendioxidemissionen, fossil	110 g	168 g	301 g	136 g
Kohlendioxidemissionen, regenerativ	3,2 g	2,9 g	2,6 g	13,2 g
Treibhauspotenzial (CO <sub>2</sub> -Äquivalente)	113 g	172 g	308 g	140 g
Schwefeldioxidemissionen	0,7 g	1,4 g	2,5 g	0,9 g
Versauerungspotenzial (SO <sub>2</sub> -Äquivalente)	0,9 g	1,6 g	2,8 g	1,1 g
Wasserverbrauch	0,9 l	1,9 l	5,5 l	1,3 l

Die Abbildungen 1-4 zeigen beispielhaft am Primärenergieverbrauch, wie hoch die Anteile der einzelnen Waschmittelinhaltsstoffe bei den verschiedenen Waschmitteltypen sind. Es zeigt sich, dass bei Superkompaktwaschmitteln und Waschmitteltabletten (Tabs) die Bleichmittel und Bleichaktivatoren den Hauptanteil am Primärenergiebedarf ausmachen. Bei den Baukastenwaschmitteln spielen diese Inhaltsstoffe hingegen erwartungsgemäß nur eine untergeordnete Rolle. Hier haben die Tenside, gefolgt von den Gerüststoffen, den Hauptanteil am Primärenergiebedarf. Bei den Vollwaschmitteln haben „sonstige Inhaltsstoffe“ (v.a. Natriumsulfat), gefolgt von Bleichmitteln/Bleichaktivator und Tensiden, den größten Anteil am Primärenergiebedarf.

Es zeigt sich deutlich, dass Modell-Waschmittel mit einem hohen Anteil an Bleichmitteln und/oder Bleichaktivator auch einen hohen Primärenergiebedarf aufweisen. Dies ist besonders deutlich beim Baukastenwaschmittel: der Primärenergiebedarf liegt hier bei nahezu gleicher Dosierung pro Waschgang um rund 40 % niedriger als beim Superkompaktvollwaschmittel (vgl. Tabelle 2).

<sup>1</sup> Dosierung nach Eberle und Gießhammer 1997 mit Ausnahme der „Tabs“, hier wurde die Dosierung aus dem Durchschnitt von „Persil Tabs“ und „Sunil Tabs“ berechnet.

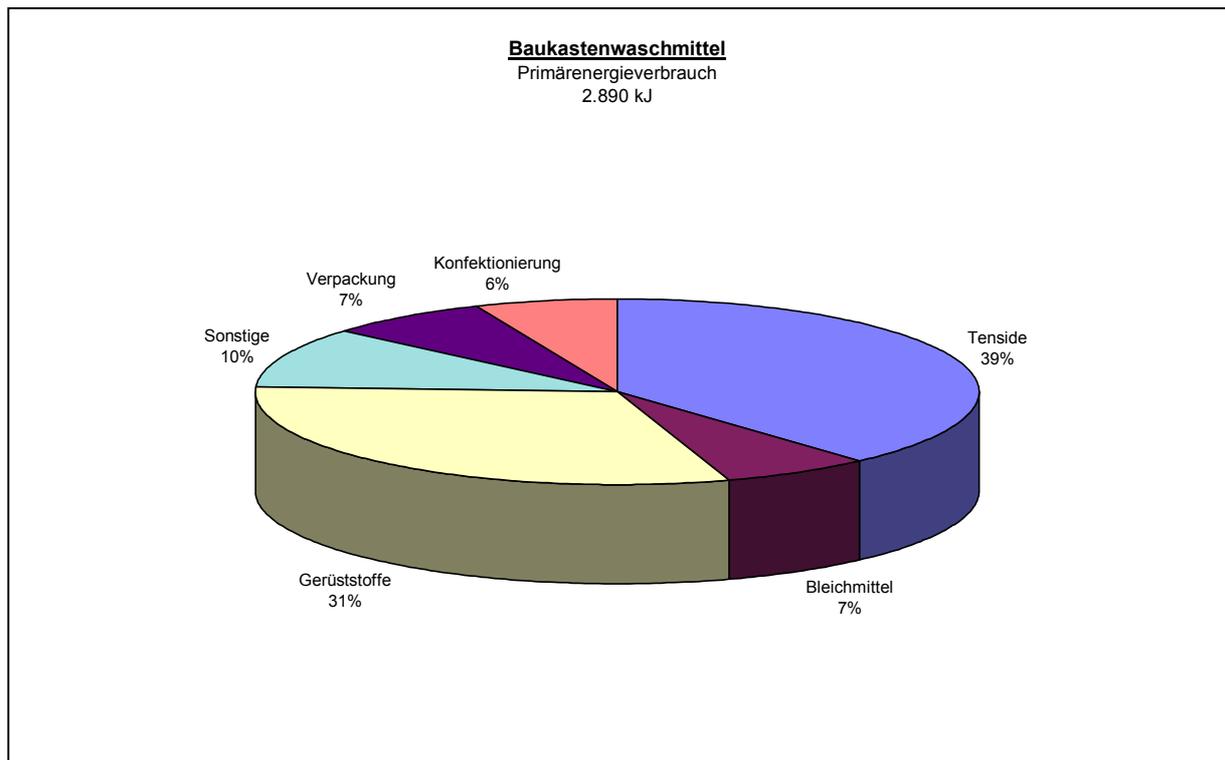


Abb. 1: Anteile der Waschmittelinhaltsstoffe am Primärenergieverbrauch bei einem Modell-Baukastenwaschmittel

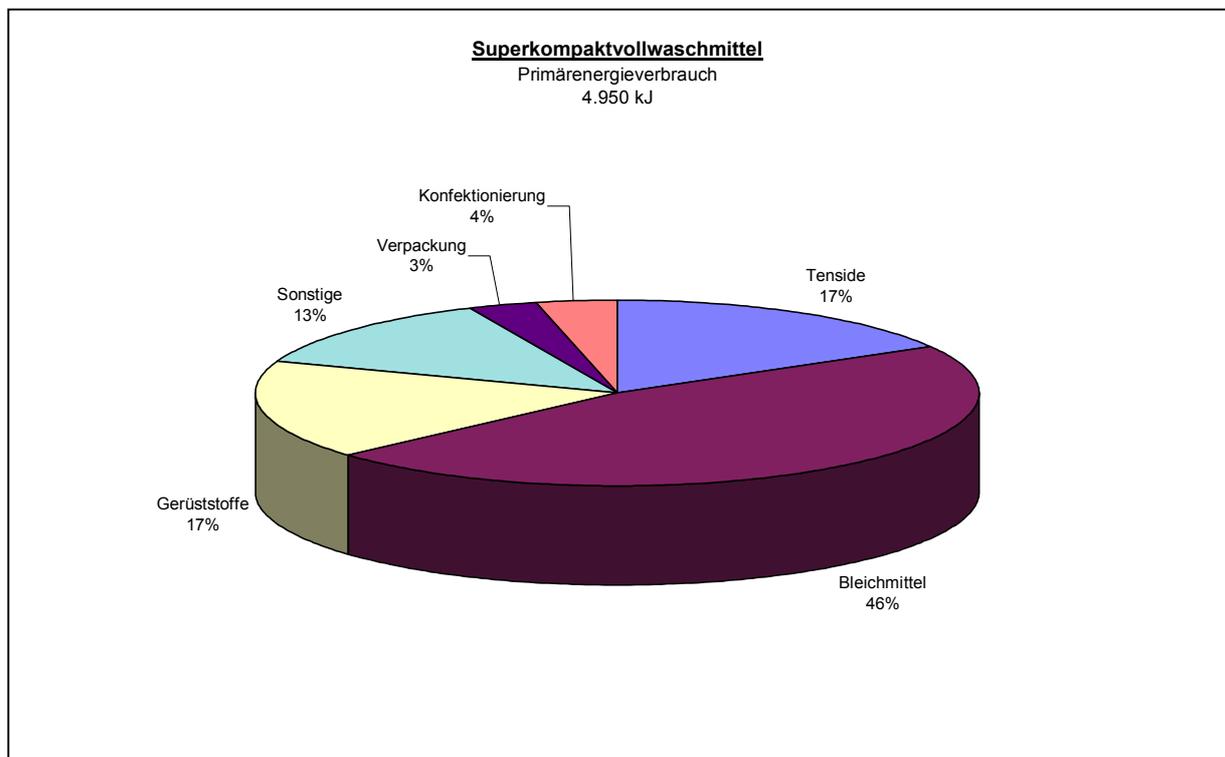


Abb. 2: Anteile der Waschmittelinhaltsstoffe am Primärenergieverbrauch bei einem Modell-Superkompaktvollwaschmittel

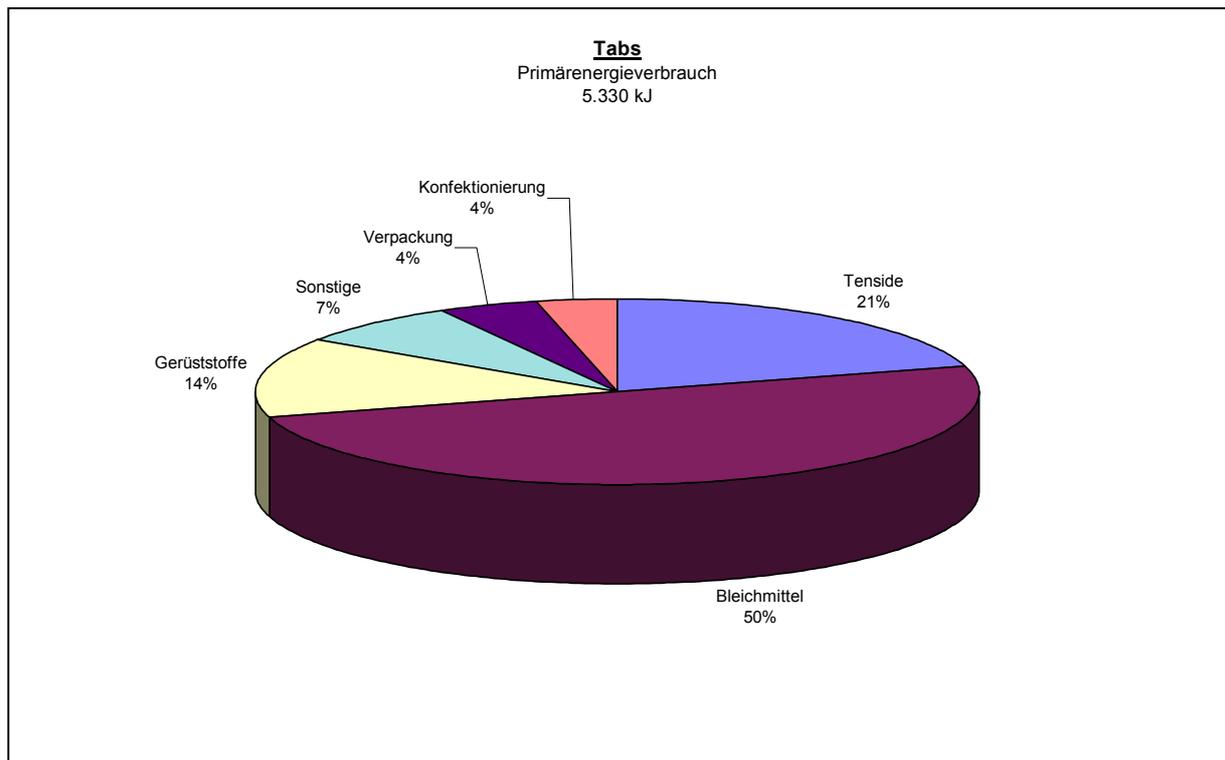


Abb. 3: Anteile der Waschmittelinhaltsstoffe am Primärenergieverbrauch bei einem Modell-Tablettenwaschmittel („Tabs“)

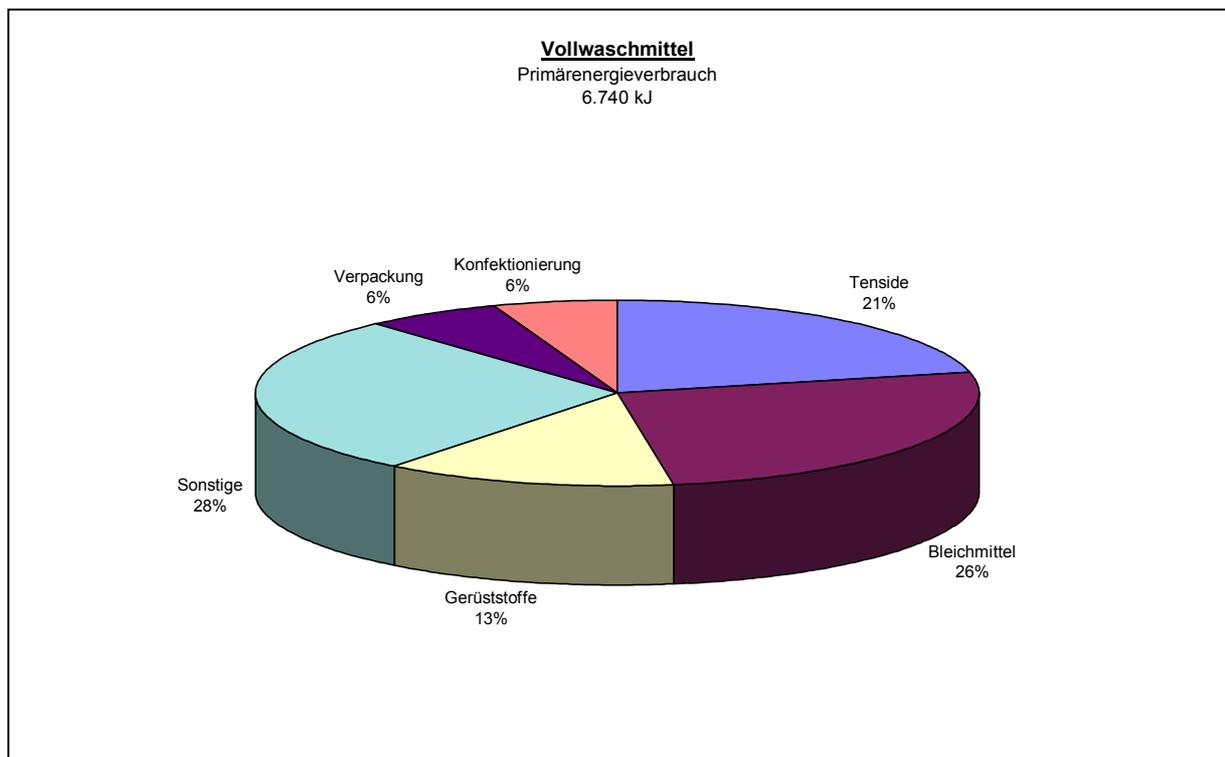


Abb. 4: Anteile der Waschmittelinhaltsstoffe am Primärenergieverbrauch bei einem traditionellen Modell-Vollwaschmittel

### 3. Modell-Haushalte

#### 3.1 Ökologische Aspekte des Waschens in Modell-Haushalten

Im Rahmen der Untersuchung von Grießhammer et al. 1997 wurden auch Modell-Haushalte analysiert. Da inzwischen für die meisten der Waschmittelinhaltsstoffe detailliertere Bilanzen vorliegen (Dall'Acqua et al. 1999) und zudem in Teil II der hier vorgelegten Untersuchung auch Weichspüler analysiert wurden (Eberle und Grießhammer 2000a), werden im folgenden die von Grießhammer et al. 1997 definierten Modell-Haushalte aktualisiert und um den Gebrauch von Weichspülern und Bügeln erweitert. Die Begründung der einzelnen Werte ist Grießhammer et al. 1997 zu entnehmen.

- Der **Modell-Haushalt Wischi-Waschi** entspricht am ehesten einem Durchschnittshaushalt. Er wäscht in 182 Waschgängen jährlich 500 kg Wäsche mit einem Superkompaktvollwaschmittel, wählt bei 77,5 % der Waschgänge die Dosierung „normal verschmutzt“, bei 22,5 % der Waschgänge die Dosierung „stark verschmutzt“, so dass eine durchschnittliche Dosierung von 83,325 g resultiert<sup>2</sup>. Der Modell-Haushalt wäscht in einer modernen Waschmaschine mit einer durchschnittlichen Befüllung von 2,75 kg<sup>3</sup>. Aufgrund der niedrigeren Befüllung der Waschmaschine resultiert hieraus ein Waschmaschinenstromverbrauch von durchschnittlich 0,74 kWh pro Wäsche und ein Wasserverbrauch von 47 l pro Waschgang. Der Modell-Haushalt setzt bei der Hälfte der Wäschen (91 Waschgänge) ein Weichspülerkonzentrat ein und dosiert entsprechend der Marktdurchschnittsdosierung<sup>4</sup> (45,2 g Weichspülerkonzentrat). Der Modell-Haushalt benutzt für 29 % der Wäsche einen Wäschetrockner. Dies führt zu einem Jahresverbrauch von 76,8 kWh für den Wäschetrockner<sup>5</sup>. 30 % der Wäsche des Modell-Haushaltes wird nach dem Trocknen mit einem Dampfbügeleisen gebü-

---

<sup>2</sup> Anmerkung: Diese Aufteilung wurde so gewählt, dass sie der statistisch ermittelten durchschnittlichen Dosierung pro Waschgang über alle Waschmittel entspricht (vgl. Eberle und Grießhammer 1997).

<sup>3</sup> Durchschnittliche Temperatur- bzw. Waschgangverteilung: 40 % Buntwäsche bei 30 °C; 45 % Buntwäsche bei 60 °C und 15 % Weißwäsche bei 90 °C.

<sup>4</sup> Nach Angaben von Procter & Gamble werden bei rund 50 % der Wäschen Weichspüler eingesetzt. Der Verbrauch an Weichspülern in Haushalten lag 1997/98 bei 154.072 t (normiert auf Konzentrat) (Uhl et al. 1998). Aus der Anzahl der Wäschen in der BRD (Grießhammer et al. 1997) errechnet sich eine Durchschnittsdosierung von 45,2 g pro Waschgang - das sind 50 % mehr als die empfohlene Durchschnittsdosierung.

<sup>5</sup> Durch die Verwendung von Weichspülern wird 8 % weniger Wäsche mit dem Wäschetrockner getrocknet (Uhl et al. 1998). Da Wischi-Waschi bei 50 % der Wäschen Weichspüler einsetzt, verringert sich der Wäscheanfall für den Wäschetrockner nur um 4 %.

gelt. Das Bügeleisen hat einen Stromverbrauch von 0,287 kWh/kg gebügelte Wäsche<sup>6</sup> (Dürr und Hilmer 1984).

- Der **Modell-Haushalt Weißkragen** wäscht in 286 Waschgängen jährlich 500 kg Wäsche mit einem herkömmlichen Vollwaschmittel und wählt die Dosierung „stark verschmutzt“. Der Modell-Haushalt wäscht in einer modernen Waschmaschine mit einer durchschnittlichen Befüllung von 1,75 kg<sup>7</sup>. Aufgrund der niedrigeren Befüllung der Waschmaschine resultiert hieraus ein Waschmaschinenstromverbrauch von durchschnittlich 0,86 kWh pro Wäsche und ein Wasserverbrauch von 47 l pro Waschgang. Der Modell-Haushalt setzt zusätzlich bei allen Waschgängen ein Weichspülerkonzentrat ein und dosiert entsprechend der Marktdurchschnittsdosierung<sup>8</sup> (45,2 g Weichspülerkonzentrat). Der Modell-Haushalt benutzt für 100 % der Wäsche einen Wäschetrockner. Dies führt zu einem Jahresverbrauch von 263 kWh für den Wäschetrockner<sup>9</sup>. 90 % der Wäsche des Modell-Haushaltes wird nach dem Trocknen mit einem Dampf bügeleisen gebügelt. Das Bügeleisen hat einen Stromverbrauch von 0,287 kWh/kg gebügelte Wäsche<sup>10</sup> (Dürr und Hilmer 1984).
- Im **Modell-Haushalt Cleverle** wird die Leibwäsche täglich gewechselt (und damit häufiger als beim Durchschnitt der Bevölkerung). Ebenso werden Küchenhandtücher, Badehandtücher und Bettwäsche häufiger gewechselt als beim Durchschnitt der Bevölkerung. Damit verhalten sich die Personen des Modell-Haushaltes Cleverle hygienischer als der Durchschnitt der Bevölkerung. Oberkleidung wie etwa Hemden oder Blusen, Hosen und Röcke werden dagegen etwas länger getragen, insgesamt wird mehr Vorsorge gegen Verschmutzung getragen (Schürzen beim Kochen, spezielle Arbeitskleidung bei Gartenarbeit und Heimwerken etc.). Cleverle hängt die Kleider zum Lüften auf die Wäscheleine, bevor sie gewaschen werden. Damit liegt der Anfall verschmutzter Wäsche 25 % niedriger als beim Modell-Haushalt Wischi-Waschi. Der Modell-Haushalt Cleverle wäscht in 94 Waschgängen jährlich 375 kg Wäsche mit einem Baukastenwaschmittel und wählt immer die Dosierung „normal verschmutzt“. Bei 30 % der Wäschen verwendet er ein Bleichmittel. Der Modell-Haushalt wäscht in einer modernen Waschmaschine mit einer durchschnittlichen Befüllung der Wasch-

---

<sup>6</sup> Durch die Verwendung von Weichspülern wird 17 % weniger Wäsche gebügelt (Uhl et al. 1998). Da Wischi-Waschi bei 50 % der Wäschen Weichspüler verwendet, verringert sich die Bügelwäsche nur um 8,5 %.

<sup>7</sup> Durchschnittliche Temperatur- bzw. Waschgangverteilung: 30 % Buntwäsche bei 30 °C; 40 % Buntwäsche bei 60 °C und 30 % Weißwäsche bei 90 °C.

<sup>8</sup> Vgl. Fussnote 4.

<sup>9</sup> Durch die Verwendung von Weichspülern wird 8 % weniger Wäsche mit dem Wäschetrockner getrocknet (Uhl et al. 1998).

<sup>10</sup> Durch die Verwendung von Weichspülern wird 17 % weniger Wäsche gebügelt (Uhl et al. 1998).

maschine von 4 kg<sup>11</sup>. Hieraus resultiert ein Waschmaschinenstromverbrauch von durchschnittlich 0,58 kWh pro Wäsche und ein Wasserverbrauch von 59 l pro Waschgang. 10 % der Wäsche des Modell-Haushaltes wird nach dem Trocknen der Wäsche auf der Wäscheleine mit einem Dampfbügeleisen gebügelt. Das Bügeleisen hat einen Stromverbrauch von 0,287 kWh/kg gebügelte Wäsche (Dürr und Hilmer 1984).

Tab. 3: Übersicht über Modell-Haushalte (ergänzt und aktualisiert nach Grießhammer et al. 1997)

	Modell-Haushalt „Cleverle“	Modell-Haushalt „Wischi-Waschi“	Modell-Haushalt „Weißkragen“
Wäscheanfall pro Jahr	375 kg	500 kg	500 kg
Befüllung der Trommel	4,00 kg	2,75 kg	1,75 kg
Waschgänge pro Jahr	94	182	286
Temperaturwahl	75 % bei 30°C, 25 % bei 60°C	40 % bei 30°C, 45 % bei 60°C, 15 % bei 90°C	30 % bei 30°C, 40 % bei 60°C, 30 % bei 90°C
Waschmittel	Baukasten- waschmittel	Superkompakt- vollwaschmittel	Vollwaschmittel
gewählte Dosierung nach Verschmutzungsgrad	75 % leicht 25 % normal	77,5 % normal 22,5 % stark	stark
Waschmitteldosierung pro Waschgang	77,4 g	83,33 g	153 g
Waschmitteleinsatz pro Jahr	7,28 kg	15,17 kg	43,76 kg
Weichspüler	-	Weichspülerkonzentrat	Weichspülerkonzentrat
Anzahl der Wäschen mit Weichspüler	0	91 (50% der Wäschen)	286 (100% der Wäschen)
Weichspülerdosierung pro Waschgang	0 g	45,2 g	45,2 g
Weichspülereinsatz pro Jahr	-	4,11 kg	12,93 kg
Waschmaschinenstromverbrauch pro Waschgang	0,58 kWh	0,74 kWh	0,86 kWh
Waschmaschinenstromverbrauch pro Jahr	54,52 kWh	134,68 kWh	245,96 kWh
Einsatz Wäschetrockner	-	25% des Waschgutes	92% des Waschgutes
Wäschetrocknerstromverbrauch pro Jahr	-	76,80 kWh	263,12 kWh
Bügelwäsche	10 % des Waschgutes	21,5 % des Waschgutes	73 % des Waschgutes
Bügelstromverbrauch pro Waschgang	0,115 kWh	0,170 kWh	0,367 kWh
Bügelstromverbrauch pro Jahr	10,81 kWh	30,94 kWh	104,96 kWh
Gesamtstromverbrauch pro Jahr	65,31 kWh	242,33	613,84
Waschmaschinenwasserverbrauch pro Waschgang	59 l	47 l	47 l
Waschmaschinenwasserverbrauch pro Jahr	5,55 m <sup>3</sup>	8,55 m <sup>3</sup>	13,44 m <sup>3</sup>

<sup>11</sup> Durchschnittliche Temperatur- bzw. Waschgangverteilung: 75 % Buntwäsche bei 30 °C; 25 % Weißwäsche bei 60 °C.

Ausgewählte Parameter der Sachbilanzen der drei Modell-Haushalte sind in Tabelle 4 und in Abbildung 5 zusammengestellt:

Tab. 4: Analyse der Modell-Haushalte (Verbrauch bzw. Emissionen pro Jahr)

	Modell-Haushalt „Cleverle“	Modell-Haushalt „Wischi-Waschi“	Modell-Haushalt „Weißkragen“
Primärenergie, gesamt	1.110 MJ	4.175 MJ	11.117 MJ
Kohlendioxid, gesamt	49 kg	179 kg	505 kg
Schwefeldioxid	233 g	910 g	2.565 g
Stickoxide	109 g	410 g	1.110 g

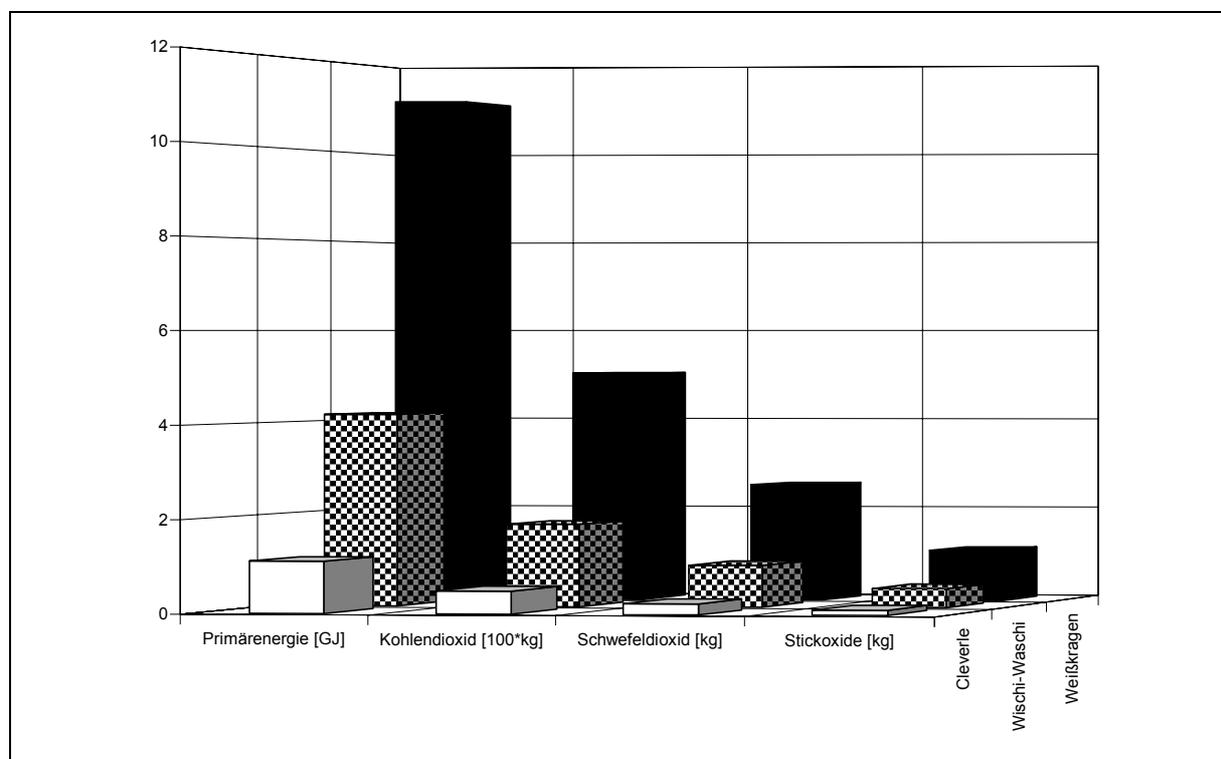


Abb. 5: Vergleich der Modell-Haushalte

Durch die Erweiterung der Modell-Haushalte um Weichspüler und um Bügeln ist eine direkte Gegenüberstellung mit den Werten der ersten Studie nicht sinnvoll. Die überdeutlichen Unterschiede zwischen den einzelnen Haushalten werden aber bestätigt und damit auch der hohe Einfluss des Verbraucherverhaltens.

Der Modell-Haushalt „Weißkragen“ verursacht durch sein Waschverhalten mit Abstand die höchsten Umweltbelastungen. „Weißkragen“ verbraucht pro Jahr

- etwa 10 mal so viel Primärenergie wie „Cleverle“,
- fast 8 mal so viel Waschmittel und Weichspüler wie „Cleverle“.

Verglichen mit dem Modell-Haushalt „Wischi-Waschi“ verbraucht „Weißkragen“ 2,7 mal so viel Primärenergie und 2,9 mal so viel Waschmittel und Weichspüler.

Selbst der Durchschnittshaushalt „Wischi-Waschi“ verbraucht immerhin 3,8 mal so viel Primärenergie wie der ökologisch bewusste Haushalt „Cleverle“ und 2,7 mal so viel Waschmittel und Weichspüler.

Die nähere Analyse des Primärenergiebedarfs zeigt, dass

- bei „Cleverle“ der Stromverbrauch der Waschmaschine mit 63 % den Hauptanteil am Primärenergieverbrauch ausmacht (vgl. Abbildung 6), weil andere Stromverbraucher nicht (Wäschertrockner) oder nur beschränkt (Bügeleisen) eingesetzt werden,
- bei „Wischi-Waschi“ ebenfalls der Stromverbrauch der Waschmaschine mit 40 %, gefolgt von der Waschmittelherstellung und dem Stromverbrauch des Wäschetrockners mit jeweils ca. einem Viertel den größten Teil des Primärenergieverbrauchs ausmachen und
- bei „Weißkragen“ der Stromverbrauch des Wäschetrockners und der Waschmaschine mit jeweils rund einem Drittel den Hauptanteil am Primärenergieverbrauch haben, die nächstgrößten Anteile nehmen mit knapp einem Fünftel die Waschmittelherstellung und mit einem Sechstel das Bügeln ein.

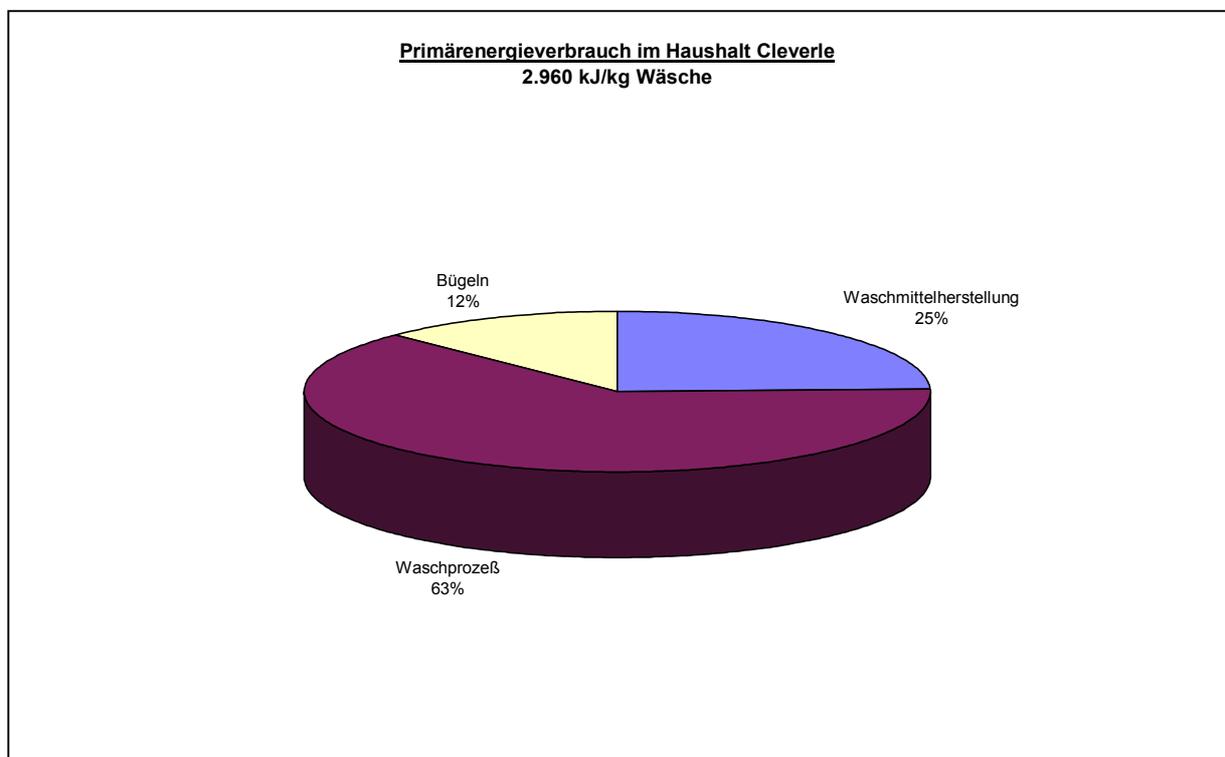


Abb. 6: Aufteilung des Primärenergieverbrauchs beim Modell-Haushalt „Cleverle“

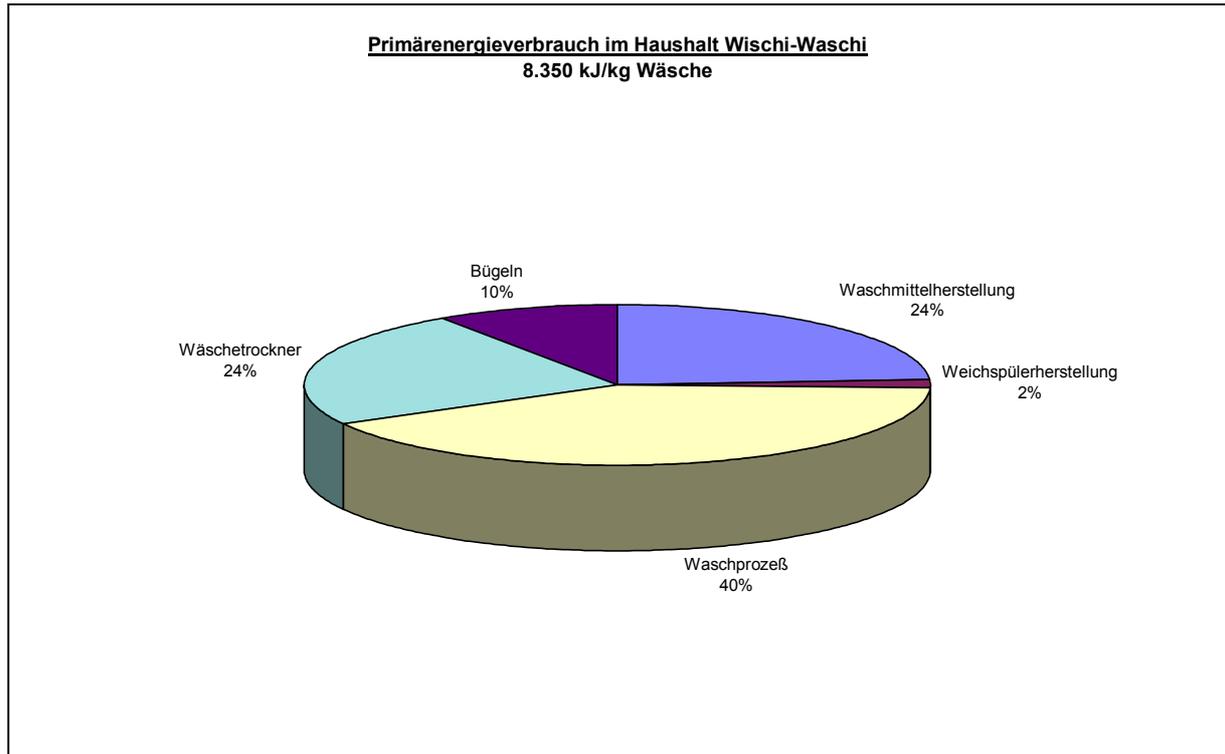


Abb. 7: Aufteilung des Primärenergieverbrauchs beim Modell-Haushalt „Wischi-Waschi“

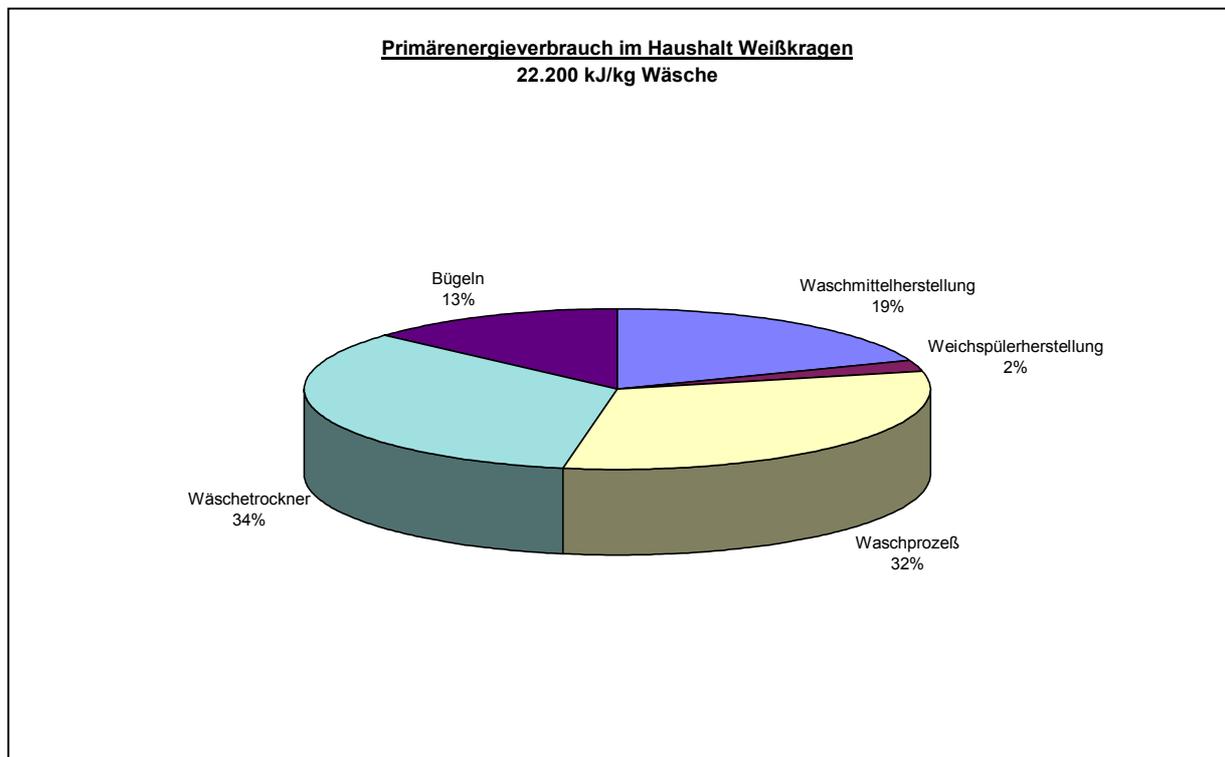


Abb. 8: Aufteilung des Primärenergieverbrauchs beim Modell-Haushalt „Weißkragen“

### 3.2 Kosten des Waschens in Modell-Haushalten

In der Untersuchung von Grießhammer et al. 1997 wurden im Rahmen der Produktlinienanalyse auch die Kosten des Waschens analysiert. Die hier vorliegende Untersuchung ergänzt die Untersuchung von Grießhammer et al. 1997 v.a. auch durch eine detaillierte Untersuchung von Weichspülern. Die ökologischen Auswirkungen des Weichspülereinsatzes sind in Eberle und Grießhammer 2000a eingehend untersucht. Je nach Ausstattung des Haushaltes sind hier Optimierungen aufgrund eines geringeren Energieverbrauchs beim Trocknen von Wäsche im elektrischen Wäschetrockner oder beim Bügeln möglich. Rentiert sich der Einsatz von Weichspülern jedoch auch ökonomisch für die Verbraucher?

Im folgenden werden daher die Kosten, die durch den Kauf des Weichspülers entstehen, mit den Kosten, die durch den reduzierten Energieverbrauch beim Trocknen der Wäsche im Wäschetrockner und beim Bügeln eingespart werden können, für die Modell-Haushalte verglichen. Zudem werden die Gesamtkosten aus Grießhammer et al. 1997 ergänzt und teilweise neu berechnet.

Der Berechnung wird ein Preis von 0,30 DM/kWh Strom, von DM 6,00/cm<sup>3</sup> Wasser/Abwasser (Grießhammer et al. 1997) und ein Durchschnittspreis von 17,5 Pfennig (14 – 21 Pfennig) für die Verwendung von Weichspüler (45,2 g) pro Waschgang zugrunde gelegt. Die Waschmittelkosten für das Baukastenwaschmittel (DM 7,20/kg) und das herkömmliche Vollwaschmittel (DM 4,30/kg) werden aus Grießhammer et al. 1997 übernommen, die Kosten für das Superkompaktwaschmittel entstammen StiWa 1998: gemittelt über alle aufgeführten Waschmittel ergibt sich hier für 1 kg Waschmittel ein Preis von DM 4,90.

Die Ergebnisse der Berechnung finden sich in Tabelle 5.

Die Berechnung zeigt, dass

- Modell-Haushalt Cleverle für den Waschprozess nur die Hälfte der Kosten von Modell-Haushalt Wischi-Waschi aufbringen muss und nur gut 20 % der Kosten des Modell-Haushaltes Weißkragen;
- bei Modell-Haushalt Wischi-Waschi weniger als die Hälfte der Kosten von Modell-Haushalt Weißkragen anfällt;
- die Verwendung von Weichspülern trotz Energieeinsparung sowohl bei Wischi-Waschi wie auch bei Weißkragen mit höheren Kosten verbunden ist: bei Wischi-Waschi liegen die Kosten durch den Weichspülereinsatz um 7 % höher, bei Weißkragen um 8 %.

Ein Vergleich mit den Ergebnissen von Grießhammer et al. 1997 zeigt, dass das Verhältnis der Modell-Haushalte untereinander sich nicht wesentlich verändert. Durch den Einbezug des Bügelns und aufgrund höherer Annahmen bei den Verbrauchswerten von Waschmaschine und Wäschetrockner liegen die Werte hier etwas höher als bei Grießhammer et al. 1997.

Tab. 5: Kosten für das Waschen in Modell-Haushalten (ergänzt und aktualisiert nach Grießhammer et al. 1997)

	Modell-Haushalt "Cleverle"	Modell-Haushalt „Wischi-Waschi“	Modell-Haushalt „Weißkragen“
Wäscheanfall pro Jahr	375 kg	500 kg	500 kg
<b>Waschmittel</b>			
Waschmitteldosierung pro Waschgang	77,4 g	83,33 g	153 g
<i>Waschmittelkosten pro Waschgang</i>	<i>0,56 DM</i>	<i>0,41 DM</i>	<i>0,66 DM</i>
Waschmitteleinsatz pro Jahr	7,28 kg	15,17 kg	43,76 kg
<i>Waschmittelkosten pro Jahr</i>	<i>52,42 DM</i>	<i>74,33 DM</i>	<i>188,17 DM</i>
<b>Weichspüler</b>			
Weichspülerdosierung pro Waschgang	0 g	45,2 g	45,2 g
<i>Weichspülerkosten pro Waschgang</i>	<i>0 DM</i>	<i>0,18 DM</i>	<i>0,18 DM</i>
Weichspülereinsatz pro Jahr	0 kg	4,11 kg	12,93 kg
<i>Weichspülerkosten pro Jahr</i>	<i>0 DM</i>	<i>15,93 DM</i>	<i>50,05 DM</i>
<b>Gesamtkosten Waschmittel und Weichspüler</b>			
<b><i>Waschmittel- und Weichspülerkosten pro Jahr</i></b>	<b><i>52,42 DM</i></b>	<b><i>90,26 DM</i></b>	<b><i>238,22 DM</i></b>
<b>Waschmaschine</b>			
Waschmaschinenstromverbrauch pro Waschgang	0,58 kWh	0,74 kWh	0,86 kWh
<i>Kosten Waschmaschinenstrom pro Waschgang</i>	<i>0,17 DM</i>	<i>0,22 DM</i>	<i>0,26 DM</i>
Waschmaschinenstromverbrauch pro Jahr	54,52 kWh	134,68 kWh	245,96 kWh
<i>Kosten Waschmaschinenstrom pro Jahr</i>	<i>16,36 DM</i>	<i>40,40 DM</i>	<i>73,79 DM</i>
<b>Wäschetrockner</b>			
Einsatz Wäschetrockner	-	25% des Waschgutes	92% des Waschgutes
Wäschetrocknerstromverbrauch pro Jahr	0 kWh	76,80 kWh	263,12 kWh
<i>Kosten Wäschetrocknerstrom pro Jahr</i>	<i>0 DM</i>	<i>23,04 DM</i>	<i>78,94 DM</i>
<b>Bügeln</b>			
Bügelwäsche	10 % des Waschgutes	21,5 % des Waschgutes	73 % des Waschgutes
Bügelstromverbrauch pro Waschgang	0,115 kWh	0,170 kWh	0,367 kWh
<i>Kosten Bügelstrom pro Waschgang</i>	<i>0,04 DM</i>	<i>0,05 DM</i>	<i>0,11 DM</i>
Bügelstromverbrauch pro Jahr	10,81 kWh	30,94 kWh	104,96 kWh
<i>Kosten Bügelstrom pro Jahr</i>	<i>3,24 DM</i>	<i>9,28 DM</i>	<i>31,49 DM</i>
<b>Gesamtkosten Stromverbrauch</b>			
Gesamtstromverbrauch pro Jahr	65,31 kWh	242,33	613,84
<b><i>Gesamtkosten mit Weichspülereinsatz pro Jahr</i></b>	<b>-</b>	<b><i>72,72 DM</i></b>	<b><i>184,22 DM</i></b>
<b><i>Gesamtkosten ohne Weichspülereinsatz pro Jahr<sup>12</sup></i></b>	<b><i>19,60 DM</i></b>	<b><i>74,43 DM</i></b>	<b><i>195,89 DM</i></b>
<b>Wasser</b>			
Waschmaschinenwasserverbrauch pro Jahr	5,55 m <sup>3</sup>	8,55 m <sup>3</sup>	13,44 m <sup>3</sup>
<i>Wasserkosten pro Jahr</i>	<i>33,30 DM</i>	<i>51,30 DM</i>	<i>80,64 DM</i>
<b>Gesamtkosten</b>			
<b><i>Gesamtkosten mit Weichspüler pro Jahr</i></b>	<b>-</b>	<b><i>214,28 DM</i></b>	<b><i>503,08 DM</i></b>
<b><i>Gesamtkosten ohne Weichspüler pro Jahr<sup>13</sup></i></b>	<b><i>105,32 DM</i></b>	<b><i>200,06 DM</i></b>	<b><i>464,70 DM</i></b>

<sup>12</sup> Verwendet der Modellhaushalt Wischi-Waschi keinen Weichspüler, so erhöht sich der Stromverbrauch für den Wäschetrockner um 4 %, für das Bügeln um 8,5 %; bei Weißkragen erhöht sich der Stromverbrauch für den Wäschetrockner um 8 %, für das Bügeln um 17 % (vgl. Fußnoten 5 und 6; Eberle und Grießhammer 2000a).

<sup>13</sup> Vgl. Fußnote 12.

#### 4. Stoffstromanalyse des deutschen Waschaufwands

Die Stoffströme des deutschen Waschaufwands in Haushalten (inklusive Trocknen und Bügeln) wurden anhand von Daten aus Grießhammer et al. 1997 - ergänzt durch Angaben der Hauptberatungsstelle für Elektrizitätsanwendungen (HEA 1998a und HEA 1998b) und durch Angaben von Dürr und Hilmer 1984 - auf Grundlage der vorangegangenen Analyse der Modell-Haushalte berechnet (vgl. Tabelle 6).

Die Daten für die Stoffströme in gewerblichen Wäschereien sind Eberle und Grießhammer 2000b entnommen (vgl. Tabelle 7).

Tab. 6: Stoffströme für das Waschen, Trocknen und Bügeln in Haushalten im Jahr 1997/98 (Grundlage: Modell-Haushalt Wischi-Waschi)

	pro Haushalt	pro Person	BRD gesamt
Wäscheanfall	500 kg	228 kg	18,73 Mio. t
Befüllung der Trommel	2,75 kg	2,75 kg	
Waschgänge	182	83	6,81 Mrd.
Waschmaschinenstromverbrauch	135 kWh	61 kWh	5,04 TWh
Wäschetrocknerstromverbrauch <sup>14</sup>	77 kWh	33 kWh	2,86 TWh
Bügelstromverbrauch <sup>15</sup>	31 kWh	14 kWh	0,42 TWh
<b>Stromverbrauch gesamt</b>	<b>243 kWh</b>	<b>108 kWh</b>	<b>8,32 TWh</b>
<b>Wasserverbrauch</b>	<b>8,55 m³</b>	<b>3,90 m³</b>	<b>320,28 Mio. m³</b>
<b>Waschmittelverbrauch<sup>16</sup></b>	<b>20,44 kg</b>	<b>9,32 kg</b>	<b>764.763 t</b>
<b>Weichspülerverbrauch<sup>17</sup></b>	<b>4,11 kg</b>	<b>1,88 kg</b>	<b>153.906 t</b>
Primärenergieverbrauch	4.216 MJ	1.924 MJ	158 PJ
Kohlendioxidemissionen	187 kg	85 kg	7 Mio. t
Schwefeldioxidemissionen	970 g	440 g	36.333 t
Stickoxidemissionen	420 g	190 g	15.732 t

Tab. 7: Stoffströme in gewerblichen Wäschereien im Jahr 1995<sup>18</sup>

	pro Tonne Waschgut	in der BRD
Wäscheanfall	1 t	675.000 t
Primärenergieverbrauch	26.751 MJ	18,1 PJ
Kohlendioxidemissionen	1.673 kg	1,13 Mio. t
Schwefeldioxidemissionen	2.893 g	1.950 t
Stickoxidemissionen	817 g	551 t
Wasserverbrauch	16,4 m³	11,1 Mio. m³
Waschmittelverbrauch	29,5 kg	19.913 t

<sup>14</sup> Vgl. Fußnote 5.

<sup>15</sup> Vgl. Fußnote 6.

<sup>16</sup> Zusammensetzung: 47,6 % herkömmliche Vollwaschmittel, 46,7 % Superkompaktwaschmittel, 5,7 % Baukastenwaschmittel (Eberle und Grießhammer 1997).

<sup>17</sup> Etwa 50 % der deutschen Haushalte verwenden Weichspüler (Uhl et al. 1998); Zusammensetzung: 100 % Weichspülerkonzentrat.

<sup>18</sup> Zugrunde gelegt wird eine Durchschnittswäscherei (vgl. Eberle und Grießhammer 2000b).

Der gesamte bundesdeutsche Waschaufwand (Haushalte und gewerbliche Wäschereien) ergibt sich daraus wie folgt (vgl. Tabelle 8):

Tab. 8: Bundesdeutscher Waschaufwand - Haushalte und gewerbliche Wäschereien

	Waschaufwand BRD	davon Anteil	
		Waschen in Haushalten	gewerbliches Waschen
<i>Wäscheanfall</i>	19,41 Mio. t	96,5 %	3,5 %
Primärenergieverbrauch	176 PJ	89,7 %	10,3 %
Kohlendioxidemissionen	8 Mio. t	85,3 %	14,1 %
Schwefeldioxidemissionen	38.283 t	94,9 %	5,1 %
Stickoxidemissionen	16.283 t	96,6 %	3,4 %
Wasserverbrauch	331 Mio. m <sup>3</sup>	96,6 %	3,4 %
Wasch(hilfs)mittelverbrauch	938.582 t	97,9 %	2,1 %

Es ist zu vermuten, dass der im Vergleich höhere Energieverbrauch der gewerblichen Wäschereien durch das Finishing der Wäsche begründet ist, das bei gewerblichen Wäschereien immer eingeschlossen ist. Demgegenüber wird nur in 29 % der Haushalte ein Wäschetrockner eingesetzt. Daraus resultieren dann ebenfalls höhere Emissionen an Kohlendioxid und Schwefeldioxid. Die im Vergleich wiederum geringeren Schwefeldioxidemissionen (v.a. aus Stromerzeugung aus Braunkohle) sind auf den hohen Anteil an Eigenenergieerzeugung mittels Gas oder Öl in gewerblichen Wäschereien zurückzuführen, die im Vergleich höheren Kohlendioxidemissionen auf die effizientere Art der Primärenergienutzung in gewerblichen Wäschereien (vgl. auch Eberle und Gießhammer 2000b).

Zusätzlich muss hier berücksichtigt werden, dass das Wäschefinishing in einer Wäscherei nur bedingt mit dem Trocknen der Wäsche in einem privaten Haushalt vergleichbar ist. Auch sind die Anforderungen, die an Wäsche, die in einer Wäscherei gewaschen wird, gestellt werden, meist höher als in einem privaten Haushalt.

Ein Vergleich mit der Stoffstromanalyse von Gießhammer et al. 1997 zeigt, dass der Primärenergieverbrauch durch den Bereich „Waschen/Trocknen/Bügeln“ in Haushalten gesunken ist. Trotz Einbezug des Bügelns ergeben sich heute für Haushalte geringere Primärenergieverbräuche. Grund hierfür sind andere Grundannahmen, die in der Aktualisierung berücksichtigt wurden. Der Stromverbrauch der Waschmaschine und des Wäschetrockners wurde in Gießhammer et al. 1997 für die Stoffstromanalyse aus Zahlen der Energiewirtschaft zum durchschnittlichen Stromverbrauch von 1989 und Angaben des Industrieverband Körperpflege und Waschmittel (IKW) berechnet. In der hier vorliegenden Aktualisierung wurden die von der HEA 1998a bzw. HEA 1998b angegebenen Daten zum Durchschnittsverbrauch verwendet. Daraus ergibt sich ein Minderverbrauch in der Aktualisierung von 100 kWh für die Waschmaschine und 19 kWh für den Wäschetrockner.

Andere Emissionen, beispielsweise die Schwefeldioxidemissionen, sind jedoch im Vergleich mit Grießhammer et al. 1997 gestiegen. Grund hierfür ist das andere Energiemodell, das in der Aktualisierung verwendet wurde. In der Untersuchung von Grießhammer et al. 1997 wurde zur Bilanzierung des Stromnetzes GEMIS 2.1 (Fritsche et al. 1994) verwendet. In der Aktualisierung wurden hingegen Daten aus BUWAL 1996 zugrunde gelegt. Dieses Vorgehen wurde gewählt, um eine Übereinstimmung mit der Vereinheitlichung der Ökobilanzdaten (Dall'Acqua et al. 1999) herbeizuführen. Die Grunddaten von GEMIS 2.1 und BUWAL 1996 unterscheiden sich jedoch wesentlich, v.a. bei den Annahmen zu den Schwefeldioxidemissionen pro eingesetzter Primärenergie. GEMIS 2.1 rechnet mit 0,04 g Schwefeldioxid pro Megajoule Primärenergie, BUWAL 1996 hingegen mit 0,2 g Schwefeldioxid pro Megajoule Primärenergie.

Am gesamten deutschen Primärenergieverbrauch hat der Sektor „Waschen/Trocknen/Bügeln“ einen Anteil von 1,3 %. Der Anteil am Primärenergieverbrauch der Haushalte beträgt 6,5 % (UBA 1998). Ein Anteil von 1,3 % am Gesamtprimärenergieverbrauch scheint nicht sehr hoch; wenn man jedoch berücksichtigt, dass dies durch den Gebrauch von nur wenigen Produkten (Waschmittel, Weichspüler, Waschmaschine, Wäschetrockner, Bügeln) verursacht wird, deren Herstellung nur z.T. (Waschmittel, Weichspüler) berücksichtigt wurde, ist der Anteil nicht zu unterschätzen - v.a. wenn man berücksichtigt, dass hier große Einsparpotenziale vorhanden sind (vgl. unterschiedliche Umweltauswirkungen der drei Modell-Haushalte).

## **5. EU-Punkte-Bewertungssystem für das europäische Umweltzeichen**

Die Ökobilanz-Ergebnisse geben im wesentlichen Energieverbrauch und energiebedingte Luftemissionen wieder. Für die Bewertung des Wasserbelastungspotenzials durch Waschmittel (und Weichspüler) wird auf ein bestehendes Bewertungsmodell zurückgegriffen.

Das Bewertungsmodell, das im Rahmen des EU-Umweltzeichens für Waschmittel entwickelt wurde, bewertet die Wasserbelastung durch Waschmittel nach acht unterschiedlichen Kriterien. Die Kriterien sind:

- der Gesamteintrag an Chemikalien,
- die aquatische Toxizität der Inhaltsstoffe,
- die eutrophierende Wirkung der Inhaltsstoffe,
- der Gehalt an unlöslichen anorganischen Inhaltsstoffen,
- der Gehalt an löslichen anorganischen Inhaltsstoffen,
- der Gehalt an aerob nicht biologisch abbaubaren Inhaltsstoffen,
- der Gehalt an anaerob nicht biologisch abbaubaren Inhaltsstoffen,
- der biologische Sauerstoffbedarf der Inhaltsstoffe.

Ein internationales Expertengremium, zusammengesetzt aus VertreterInnen der unterschiedlichen gesellschaftlichen Gruppen und der Wissenschaft, hat sich bei der Festlegung der Kriterien für ein Umweltzeichen auf eine Punktbewertung für die einzelnen Kriterien und Wichtungsfaktoren zwischen den einzelnen Kriterien geeinigt. Daraus ergibt sich eine Gesamtpunktzahl an EU-Punkten. Je höher die Punktzahl ist, umso geringer ist die Wasserbelastung durch das Waschmittel (vgl. Tabelle 9). Mindestens müssen 45 Punkte erreicht werden, um das EU-Label zu erhalten.

Tab. 9: Beurteilungskriterien und Punktesystem des EU-Eco-Label Detergents (alle Werte beziehen sich auf die empfohlene Einsatzmenge für einen Waschgang) (Quelle: EU 1999)

Kriterium und Indikatoren	Bewertungsbereich				Aus-schluss-wert	Wich-tungs-faktor	Maximal-punktzahl
	4 Punkte	3 Punkte	2 Punkte	1 Punkt			
<b>Einfluss auf Lebewesen</b>							
- Critical Dilution Volume, Toxizität	1.500 l	3.500 l	5.500 l	7.500 l	10.000 l	8	32 Punkte
- Phosphat	0 g	7,5 g	15 g	22,5 g	30 g	2	8 Punkte
<b>Wasser-/Abwasserbelastung</b>							
- Gesamtmenge Chemikalien	60 g	70 g	80 g	90 g	110 g	3	12 Punkte
- unlösliche Anorganica	10 g	15 g	20 g	25 g	30 g	0,5	2 Punkte
- lösliche Anorganica	10 g	25 g	40 g	55 g	70 g	0,5	2 Punkte
- aerob nicht biologisch abbaubare Organica	1 g	2 g	3 g	4 g	8 g	1	4 Punkte
- anaerob nicht biologisch abbaubare Organica	1 g	4 g	7 g	10 g	15 g	1,5	6 Punkte
- biochemischer Sauerstoffbedarf	20 g	40 g	60 g	80 g	130 g	2	8 Punkte
Maximal erreichbare Gesamtpunktzahl							74 Punkte

## 5.1 Erweiterung für Weichspüler

Für Weichspüler existiert kein analoges Bewertungsmodell. Es spricht jedoch nichts dagegen, das EU-Punkte-Bewertungsmodell auf Weichspüler zu erweitern.

Der Hauptbestandteil von Weichspülern sind heute sogenannte „Esterquats“ - kationische Tenside aus der Gruppe der quartären Ammoniumsalze. Im Rahmen des UFO-Plan Vorhabens 296 64 145 hat das Öko-Institut e.V. eine Ökobilanz für Weichspüler und ihre Anwendung im Waschprozess durchgeführt (Eberle und Gießhammer 2000a). Die dort zugrunde gelegte Modell-Rezeptur für Weichspüler wird im folgenden als Grundlage zur Erweiterung des EU-Punkte-Bewertungsmodell auf Weichspüler verwendet (vgl. Tabelle 10).

Tab. 10: Modell-Rezeptur für Weichspüler (Paulini 1999; Eberle und Grießhammer 2000a)

Inhaltsstoffe	Menge
Esterquat	15 %
Wasser	85 %
<b>Gesamt</b>	<b>100 %</b>
<i>durchschnittliche empfohlene Dosierung</i>	<i>30,4 g</i>

Weichspüler sind im Waschprozess ein Waschlösungsmittel, das die Wäsche „weich pflegen“ soll. Sie werden *zusätzlich* zum Waschmittel eingesetzt. Für die Erweiterung des EU-Bewertungsmodells auf Weichspüler wird daher die Menge des pro Waschgang verwendeten Weichspülers zu der des Waschmittels hinzu addiert.

Für die Bewertung ergibt sich daher folgende Rahmenrezeptur eines Superkompaktwaschmittels plus Weichspüler (vgl. Tabelle 11):

Tab. 11: Rahmen-Rezeptur Superkompaktvollwaschmittel plus Weichspüler (Uhl 1998; Paulini 1999)

	Waschmittel plus Weichspüler
<i>Dosierung</i>	<i>105,4 g</i>
<b>Tenside</b>	
FAS	6,00 g
LAS	1,50 g
AE7 Pc	4,50 g
Esterquat	4,56 g
<b>Bleichaktivator</b>	
TAED	3,75 g
<b>Bleichmittel</b>	
Perborat	7,88 g
Percarbonat	7,88 g
<b>Gerüststoffe</b>	
Zeolith A	11,25 g
Silikate	5,63 g
Citrat	5,63 g
<b>Alkaliträger</b>	
Natriumcarbonat	7,50 g
<b>Vergrauungsinhibitoren</b>	
CMC	2,25 g
<b>Sonstige</b>	
Natriumsulfat	5,57 g
Optische Aufheller	0,11 g
Rest (Wasser)	31,41 g

Die EU-Punkte für dieses Waschmittel plus Weichspüler errechnen sich wie folgt (vgl. Tabelle 12):

Tab. 12: EU-Punkte eines Superkompaktvollwaschmittels plus Weichspüler

Kriterium und Indikatoren	Wert	Maximal erreichbare Punktzahl	erreichte Punktzahl	Prozent der Maximalpunktzahl
<b>Einfluss auf Lebewesen</b>				
- Critical Dilution Volume, Toxizität	2.335 l	32 Punkte	32 Punkte	100 %
- Phosphat	0 g	8 Punkte	8 Punkte	100 %
<b>Wasser-/Abwasserbelastung</b>				
- Gesamtmenge Chemikalien	73,96 g	12 Punkte	9 Punkte	75 %
- unlösliche Anorganica	11,25 g	2 Punkte	2 Punkte	100 %
- lösliche Anorganica	34,5 g	2 Punkte	1,5 Punkte	75 %
- aerob nicht biologisch abbaubare Organica	2,4 g	4 Punkte	3 Punkte	75 %
- anaerob nicht biologisch abbaubare Organica	1,95 g	6 Punkte	6 Punkte	100 %
- biochemischer Sauerstoffbedarf	55,5g <sup>19</sup>	8 Punkte	6 Punkte	75 %
<b>Gesamtpunktzahl</b>		<b>74 Punkte</b>	<b>67,5 Punkte</b>	<b>91 %</b>

Erwartungsgemäß steigt die Abwasserbelastung nach dem EU-Punkte-Modell. Da das Bewertungsmodell nicht proportional aufgebaut ist, kann der Anteil des Weichspülers nicht prozentual beziffert werden; zur weiteren Diskussion siehe Eberle und Grießhammer 2000a.

## 5.2 Übertrag auf Stoffströme

Im folgenden wird ein Vorschlag entwickelt, um das Bewertungssystem von Produkten auf Waschmittel-Stoffströme übertragen zu können. In Kapitel 4 wurden die Stoffströme des bundesdeutschen Waschaufwands berechnet.

Um das EU-Punkte-Bewertungsmodell auf Waschmittel-Stoffströme anwenden zu können, muss aus den Stoffströmen ein Durchschnittswaschmittel kreiert werden. Dieses Durchschnittswaschmittel setzt sich wie folgt zusammen (Eberle und Grießhammer 1997)<sup>20</sup>:

- 47,6 % Vollwaschmittel,
- 46,7 % Superkompaktvollwaschmittel,
- 5,7 % Baukastenwaschmittel.

Die Rezeptur des Durchschnittswaschmittels sieht folgendermaßen aus (vgl. Tabelle 13):

<sup>19</sup> Der biochemische Sauerstoffbedarf für das kationische Tensid wurde mittels folgender Formel berechnet:  $ThSB = 16 * (2C + \frac{1}{2} (H - Cl - 3N) + 3S + \frac{5}{2} P + \frac{1}{2} Na - O) / MG$ . Hierbei entspricht: ThSB = Theoret. Sauerstoffbedarf, C = Kohlenstoff, H = Wasserstoff, Cl = Chlor, N = Stickstoff, S = Schwefel, P = Phosphor, Na = Natrium, O = Sauerstoff und MG = Molekulargewicht. Die durchschnittliche Summenformel des kationischen Tensids wurde mit  $C_{40,5}H_{81}NO_4$  angenommen (persönliche Mitteilung Frau Dr. Uthoff, Procter&Gamble vom 17. April 2000).

<sup>20</sup> Zum Zeitpunkt der Erstellung der Studie von Eberle und Grießhammer 1997 wurden noch Kompaktwaschmittel in nennenswerten Mengen verbraucht. Heute ist dies nicht mehr der Fall. Es wird daher davon ausgegangen, dass die Anzahl der Wäschen, die mit Kompaktwaschmitteln durchgeführt wurden, heute mit Superkompaktwaschmitteln gewaschen werden. Ansonsten wird die Verteilung wie angegeben verwendet.

Tab. 13: „Rezeptur“ eines deutschen Durchschnittswaschmittels

	Durchschnittswaschmittel
<i>Dosierung</i>	112,3 g
<b>Tenside</b>	
FAS	5,3 g
LAS	5,7 g
AE7 Pc	5,3 g
Seife	0,5 g
<b>Bleichaktivator</b>	
TAED	2,4 g
<b>Bleichmittel</b>	
Perborat	17,6 g
Percarbonat	3,8 g
<b>Gerüststoffe</b>	
Zeolith A	21,8 g
Silikate	5,1 g
Citrat	2,6 g
<b>Alkaliträger</b>	
Natriumcarbonat	13,0 g
<b>Vergrauungsinhibitoren</b>	
CMC	1,2 g
<b>Sonstige</b>	
Natriumsulfat	16,4 g
Optische Aufheller	0,1 g
Polycarboxylate	2,6 g
Rest (Wasser)	8,8 g

Nach dem EU-Punkte-Modell erhält dieses Waschmittel 50 Punkte (vgl. Tabelle 14). Die aus den Waschmittel-Stoffströmen resultierenden „Waschmittel-Umweltbelastungspunkte“ (WUBP) erhält man nach folgender Formel:

$$(100 - \text{EU-Punkte}_{\text{Durchschnittswaschmittel}}) * \text{Anzahl der Wäschen} = \text{WUBP}$$

Die Umweltbelastungspunkte für den Waschmittel-Stoffstrom betragen somit also 340 Mrd. WUBP.

Tab. 14: EU-Punkte des Durchschnittswaschmittels

Kriterium und Indikatoren	Wert	Maximal erreichbare Punktzahl	erreichte Punktzahl	Prozent der Maximal-punktzahl
<b>Einfluss auf Lebewesen</b>				
- Critical Dilution Volume, Toxizität	4.864 l	32 Punkte	24 Punkte	75 %
- Phosphat	0 g	8 Punkte	8 Punkte	100 %
<b>Wasser-/Abwasserbelastung</b>				
- Gesamtmenge Chemikalien	103,5 g	12 Punkte	3 Punkte	25 %
- unlösliche Anorganica	21,8 g	2 Punkte	1 Punkte	50 %
- lösliche Anorganica	35,9 g	2 Punkte	1,5 Punkte	75 %
- aerob nicht biologisch abbaubare Organica	3,9 g	4 Punkte	2 Punkte	50 %
- anaerob nicht biologisch abbaubare Organica	6,23 g	6 Punkte	4,5 Punkte	75 %
- biochemischer Sauerstoffbedarf	49,29 g	8 Punkte	6 Punkte	75 %
<b>Gesamtpunktzahl</b>		<b>74 Punkte</b>	<b>50 Punkte</b>	<b>68 %</b>

Heute wäre es möglich, anstelle von herkömmlichen Vollwaschmitteln ausschließlich Superkompaktwaschmittel anzubieten. Legt man daher die Modell-Rezeptur eines Superkompaktvollwaschmittels der Berechnung zugrunde, erhält man folgende EU-Punkte (vgl. Tabelle 15):

Tab. 15: EU-Punkte eines Superkompaktvollwaschmittels

Kriterium und Indikatoren	Wert	Maximal erreichbare Punktzahl	erreichte Punktzahl	Prozent der Maximal-punktzahl
<b>Einfluss auf Lebewesen</b>				
- Critical Dilution Volume, Toxizität	2.201 l	32 Punkte	32 Punkte	100 %
- Phosphat	0 g	8 Punkte	8 Punkte	100 %
<b>Wasser-/Abwasserbelastung</b>				
- Gesamtmenge Chemikalien	69,4 g	12 Punkte	12 Punkte	100 %
- unlösliche Anorganica	11,25 g	2 Punkte	2 Punkte	100 %
- lösliche Anorganica	34,5 g	2 Punkte	1,5 Punkte	75 %
- aerob nicht biologisch abbaubare Organica	2,4 g	4 Punkte	3 Punkte	75 %
- anaerob nicht biologisch abbaubare Organica	1,95 g	6 Punkte	6 Punkte	100 %
- biochemischer Sauerstoffbedarf	42,38 g	8 Punkte	6 Punkte	75 %
<b>Gesamtpunktzahl</b>		<b>74 Punkte</b>	<b>70,5 Punkte</b>	<b>95 %</b>

Ein Superkompaktvollwaschmittel erreicht 70,5 EU-Punkte. Nimmt man das Durchschnittswaschmittel als „Basis“, dann ließen sich durch den längst fälligen Ersatz der Vollwaschmittel (vgl. hierzu auch Eberle und Grießhammer 1997) rund 40 % der Umweltbelastungen nach EU-Punkten reduzieren.

## 6. Ableitung von Handlungsempfehlungen

Die größte Umweltentlastung kann durch einen ökologischen Wandel des Waschverhaltens erzielt werden: Der Modell-Haushalt „Wischi-Waschi“, der am ehesten einem deutschen Durchschnittshaushalt entspricht, verbraucht 3,8 mal so viel Primärenergie und 2,7 mal so viel Waschmittel und Weichspüler wie der Modell-Haushalt „Cleverle“ (vgl. Kapitel 3). Dies zeigt, dass in einem ökologischen Wandel des Waschverhaltens ein großes Umweltentlastungspotenzial liegt. Würden alle Haushalte das gleiche Verhalten zeigen wie „Cleverle“, könnte der Primärenergieverbrauch beim Waschen um 73 % beim Waschen, Trocknen und Bügeln reduziert werden, der Wasserverbrauch ließe sich um 35 % senken und der Waschmittelverbrauch um 70 %. Dieses ökologische Waschverhalten wird hauptsächlich durch fünf Faktoren gekennzeichnet:

- Verwendung eines Baukasten- oder Superkompaktwaschmittels und möglichst niedrige Dosierung,
- Wählen einer möglichst niedrigen Waschtemperatur,
- volle Befüllung der Waschmaschine (4,5 kg),
- Verzicht auf elektrischen Wäschetrockner,
- weitgehender Verzicht auf Bügeln.

Weiterhin sollte zum Waschen eine möglichst moderne Waschmaschine mit niedrigen Verbrauchswerten (Energie- und Wasserverbrauch) eingesetzt werden.

Um dies zu erreichen, ist eine umfassende Beratung der Verbraucher sinnvoll. Dies sollte möglichst von mehreren Seiten erfolgen: Waschmittel- und Waschmaschinenhersteller, Umweltbundesamt, Verbraucherberatung, Umweltverbände. Der vom Industrieverband Körperpflege und Waschmittel (IKW) unterzeichnete „Code Umweltgerechtes Handeln“ zielt in die richtige Richtung.

Nach wie vor wird es als dringend notwendig erachtet, herkömmliche Vollwaschmittel durch Superkompaktate zu ersetzen. Die Waschmittelhersteller haben stattdessen ein „Abmagerungskonzept“ eingeleitet: herkömmliche Vollwaschmittel (sogenannte „Jumbos“) werden schrittweise aufkonzentriert (Stufe 1: 9 kg statt 10 kg; Stufe 2: 7,5 kg statt 9 kg), um die VerbraucherInnen zur Verwendung von Superkompaktaten hinzuführen. Von Seiten des Umweltbundesamtes sollte hier auf die zügige Umsetzung geachtet werden. Nach einer gewissen Übergangsfrist sollte das Ziel - der Ersatz der herkömmlichen Vollwaschmittel durch Superkompaktate - erreicht sein.

Es wird empfohlen, das neue Waschmittelkonzept der Waschmitteltabletten (sogenannte Tabs) ökobilanziell detaillierter zu untersuchen, da hier einige bisher nicht untersuchte Inhaltsstoffe (z.B. Cellulose, Phosphonate) verwendet werden.

## 7. Literatur

- Dall'Acqua et al. 1999  
Dall'Acqua, S.; Fawer, M.; Fritschi, R.; Allenspacher, C.; Ökoinventare für die Produktion von Waschmittel-Inhaltsstoffen. EMPA-Bericht Nr. 244, St. Gallen 1999
- Dürr und Hilmer 1984  
Dürr, H.; Hilmer, K.; Bügelverfahren im Vergleich - Prozesskenngrößen und Gebrauchsmerkmale bei Bügeleisen und Bügelmaschine. Hauswirtsch. Wiss./ 32 (1984)
- Eberle und Griebhammer 1997  
Eberle, U.; Griebhammer, R.; Waschmitteleinsparung durch den Ersatz von Vollwaschmitteln. Freiburg 1997
- Eberle und Griebhammer 2000a  
Eberle, U.; Griebhammer, R.; Orientierende Ökobilanz von Weichspülern. Teilstudie im UFO-Plan Vorhaben 296 64 145 „Ökobilanzierung zu Wasch- und Reinigungsmittelrohstoffen und deren Anwendung in der gewerblichen Wäscherei“. Freiburg 2000
- Eberle und Griebhammer 2000b  
Eberle, U.; Griebhammer, R.; Analyse gewerblicher Waschprozesse. Teilstudie im UFO-Plan Vorhaben 296 64 145 „Ökobilanzierung zu Wasch- und Reinigungsmittelrohstoffen und deren Anwendung in der gewerblichen Wäscherei“. Freiburg 2000
- EU 1999  
COMMISSION DECISION XI/1999/019; Establishing the ecological criteria for the award of the Community Eco-label to Laundry Detergents. 1999
- Fritsche et al. 1994  
Fritsche, U.; Leuchtner, J.; Matthes, F.C.; Rausch, L.; Simon, K.-H.; Gesamt-Emissionsmodell Inegrierter Systeme (GEMIS), Version 2.1: Aktualisierter und erweiterter Endbericht. Gutachten und EDV-Modell. Im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Energie und Bundesangelegenheiten. Darmstadt/Freiburg/Berlin/Kassel 1994
- Griebhammer et al. 1997  
Griebhammer, R.; Bunke, D.; Gensch, C.-O.; Produktlinienanalyse Waschen und Waschmittel. UBA-Texte 1/97. Berlin 1997
- Paulini 1999  
Persönliche Mitteilung vom 24. September 1999 (Dr. Paulini ist Mitarbeiterin des Umweltbundesamtes Berlin und dort verantwortlich für den Bereich Wasch- und Reinigungsmittel)
- StiWa 1998  
N.N.; Kompakt ist besser. Stiftung Warentest (Hrsg.), Heft 7/98, S. 43-46
- UBA 1998  
N.N.; Umweltdaten Deutschland 1998. Umweltbundesamt (Hrsg.). Berlin 1998
- Uhl 1998  
Fax vom 19. Januar 1998, ergänzt durch eine telefonische Mitteilung vom 12. Februar 1998 (Dr. Uhl ist Mitarbeiter von Procter & Gamble und war dort bis 1999 verantwortlich für den Bereich Waschmittel)