

## **Betrachtungen zu Produktlebensdauer und Ersatzstrategien von Miele-Haushaltsgeräten**

Im Auftrag der  
Miele & Cie. KG  
Carl-Miele-Straße 29  
33332 Gütersloh

Freiburg, 28. Januar 2015

### **Autoren:**

Carl-Otto Gensch  
Markus Blepp

### **Öko-Institut e.V.**

#### **Geschäftsstelle Freiburg**

Postfach 17 71  
79017 Freiburg, Deutschland

#### **Hausadresse**

Merzhauser Straße 173  
79100 Freiburg

**Tel.** +49 (0) 761 – 4 52 95-0

**Fax** +49 (0) 761 – 4 52 95-288

#### **Büro Darmstadt**

Rheinstraße 95  
64295 Darmstadt, Deutschland

**Tel.** +49 (0) 6151 – 81 91-0

**Fax** +49 (0) 6151 – 81 91-133

#### **Büro Berlin**

Schicklerstr. 5-7  
10179 Berlin, Deutschland

**Tel.** +49 (0) 30 – 40 50 85-0

**Fax** +49 (0) 30 – 40 50 85-388

Zur Entlastung der Umwelt ist dieses Dokument für den  
**beidseitigen Druck** ausgelegt.

## Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>V</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>VII</b>
<b>Zusammenfassung</b>	<b>1</b>
<b>Summary of the Study</b>	<b>6</b>
<b>1 Hintergrund und Einführung</b>	<b>11</b>
<b>2 Ziele und Anwendungen der Studie</b>	<b>13</b>
<b>3 Methodisches Vorgehen</b>	<b>14</b>
<b>3.1 Referenz-Ökobilanzen für die vier Produktgruppen</b>	<b>14</b>
<b>3.1.1 Systemgrenzen</b>	<b>15</b>
<b>3.1.2 Anforderungen an die Datenqualität</b>	<b>16</b>
<b>3.1.3 Funktionelle Einheit</b>	<b>17</b>
<b>3.1.4 Allokationsverfahren und Gutschriften</b>	<b>18</b>
<b>3.1.5 Auswahl der Wirkungskategorien</b>	<b>19</b>
<b>3.1.6 Modellierungsgrundlage</b>	<b>20</b>
<b>3.1.7 Untersuchtes Produktsystem und Systemgrenze</b>	<b>21</b>
<b>3.1.8 Normkonformität und kritische Prüfung</b>	<b>23</b>
<b>3.2 Betrachtung der Lebensdauer</b>	<b>23</b>
<b>3.2.1 Vorzeitiger Ersatz</b>	<b>24</b>
<b>3.2.2 Ökologisch optimale Lebensdauer</b>	<b>26</b>
<b>3.2.3 Rahmenbedingungen und Herausforderungen</b>	<b>27</b>
<b>3.3 Geräteauswahl Referenzgerät</b>	<b>29</b>
<b>3.4 Herstellung der Referenzgeräte</b>	<b>30</b>
<b>3.5 Distribution der Referenzgeräte</b>	<b>34</b>
<b>3.6 Nutzung der Referenzgeräte und Vergleichswerte für den vorzeitigen Ersatz</b>	<b>35</b>
<b>3.6.1 Waschmaschinen</b>	<b>35</b>
<b>3.6.2 Wäschetrockner</b>	<b>40</b>
<b>3.6.3 Spülmaschinen</b>	<b>41</b>
<b>3.6.4 Kühl-Gefrier-Kombinationen</b>	<b>43</b>
<b>3.6.5 Hintergrunddaten für die Bilanzierung</b>	<b>44</b>
<b>3.7 Entsorgung von Hausgeräten</b>	<b>47</b>

<b>4</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>49</b>
<b>4.1</b>	<b>Waschmaschinen</b>	<b>49</b>
4.1.1	Ökobilanz Referenzgerät	49
4.1.2	Vorzeitiger Ersatz	51
4.1.3	Ökologisch optimale Lebensdauer	54
<b>4.2</b>	<b>Wäschetrockner</b>	<b>56</b>
4.2.1	Ökobilanz Referenzgerät	56
4.2.2	Vorzeitiger Ersatz	59
4.2.3	Ökologisch optimale Lebensdauer	62
<b>4.3</b>	<b>Spülmaschinen</b>	<b>65</b>
4.3.1	Ökobilanz Referenzgerät	65
4.3.2	Vorzeitiger Ersatz	67
4.3.3	Ökologisch optimale Lebensdauer	68
<b>4.4</b>	<b>Kühl-Gefrier-Kombinationen</b>	<b>71</b>
4.4.1	Ökobilanz Referenzgerät	71
4.4.2	Vorzeitiger Ersatz	72
4.4.3	Ökologisch optimale Lebensdauer	74
<b>4.5</b>	<b>Signifikanz der Ergebnisse</b>	<b>77</b>
<b>5</b>	<b>Schlussfolgerungen und Empfehlungen</b>	<b>78</b>
<b>6</b>	<b>Referenzen</b>	<b>80</b>
<b>7</b>	<b>Anhänge</b>	<b>82</b>
<b>7.1</b>	<b>Anhang 1</b>	<b>82</b>
7.1.1	Wirkungsindikatoren und -modelle	82
7.1.2	Modellierungsgrundlagen Sachbilanz	86
<b>7.2</b>	<b>Anhang 2</b>	<b>92</b>
7.2.1	Gutachten zur Kritischen Prüfung	92

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Grundsätzlicher Ansatz für die Betrachtung des vorzeitigen Ersatzes (fiktives Beispiel)	12
Abbildung 2	Die vier Teilschritte einer Ökobilanz. Doppelpfeile stehen für ein iteratives Vorgehen (DIN EN ISO Norm 14040:2009)	15
Abbildung 3	Untersuchtes Produktsystem und Systemgrenze	22
Abbildung 4	Methodenbetrachtung „Vorzeitiger Ersatz“ und „Ökologisch optimale Lebensdauer“	23
Abbildung 5	Kosten- und Umweltbelastungstreiber beim vorzeitigen Ersatz von Haushaltsgeräten	24
Abbildung 6	Materialanalyse für das Referenzgerät Waschmaschine	31
Abbildung 7	Materialanalyse für das Referenzgerät Wäschetrockner	32
Abbildung 8	Materialanalyse für das Referenzgerät Geschirrspülmaschine	32
Abbildung 9	Materialanalyse für das Referenzgerät Kühl-Gefrier-Kombination	33
Abbildung 10	Ökobilanz Referenzgerät Waschmaschine: Relative Anteile entlang des Lebenswegs für alle Wirkungskategorien	50
Abbildung 11	Ökologische Rückzahldauer in Jahren beim vorzeitigen Ersatz von Miele Waschmaschinen aus den Jahren 2000 und 2005	52
Abbildung 12	Sensitivitätsanalyse: Abhängigkeit der ökologischen Rückzahldauer beim vorzeitigen Ersatz von Miele-Waschmaschinen aus dem Jahr 2000 für den aktuellen Strom-Mix (blaue Balken) und den erwarteten Strom-Mix 2030 (grüne Balken)	53
Abbildung 13	Sensitivitätsanalyse GWP: Ökologisch optimale Lebensdauer in Jahren für das Referenzgerät für Strommix 2010) und Strommix 2030 bezogen auf zukünftig angenommene Effizienzsteigerungen	55
Abbildung 14	Ökobilanz Referenzgerät Wäschetrockner: Relative Anteile entlang des Lebenswegs für alle Wirkungskategorien	58
Abbildung 15	Ökologische Rückzahldauer in Jahren beim vorzeitigen Ersatz von Miele-Wäschetrocknern aus den Jahren 2004 bis 2005 und aus dem Jahr 2008 – Nutzung 100%	60
Abbildung 16	Sensitivitätsanalyse: Abhängigkeit der ökologischen Rückzahldauer in Jahren beim vorzeitigen Ersatz von Miele-Wäschetrocknern aus den Jahren 2004 bis 2005 für „Nutzung 60%“ und „Nutzung 100%“	61
Abbildung 17	Sensitivitätsanalyse: Abhängigkeit der ökologischen Rückzahldauer in Jahren beim vorzeitigen Ersatz von Miele-Wäschetrocknern aus den Jahren 2004 bis 2005 und 2008 für den derzeitigen Strommix 2010 und den erwarteten Strommix 2030	62
Abbildung 18	Sensitivitätsanalyse GWP: Ökologisch optimale Lebensdauer in Jahren für das Referenzgerät und ein kurzfristig realisiertes Zukunftsgerät (jeweils Strommix 2010) und das Referenzgerät (Strommix 2030) bezogen auf zukünftig angenommene Effizienzsteigerungen	64

Abbildung 19	Ökobilanz Referenzgerät Spülmaschine: Relative Anteile entlang des Lebenswegs für alle Wirkungskategorien	66
Abbildung 20	Ökologische Rückzahldauer in Jahren beim vorzeitigen Ersatz von Miele-Spülmaschinen aus den Jahren 2000 und 2005	68
Abbildung 21	Sensitivitätsanalyse GWP: Ökologisch optimale Lebensdauer in Jahren für das Referenzgerät in Abhängigkeit vom Strommix (2010 und 2030) bezogen auf zukünftig angenommene Effizienzsteigerungen	70
Abbildung 22	Ökobilanz Referenzgerät Kühl-Gefrier-Kombination: Relative Anteile entlang des Lebenswegs für alle Wirkungskategorien	72
Abbildung 23	Ökologische Rückzahldauer in Jahren beim vorzeitigen Ersatz von Miele Kühl-Gefrier-Kombinationen	73
Abbildung 24	Sensitivitätsanalyse: Abhängigkeit der ökologischen Rückzahldauer beim vorzeitigen Ersatz von Miele-Kühl-Gefrier-Kombinationen aus den Jahren 2000 und 2005 für den aktuellen Strommix (volle Balken) und für den erwarteten Strom-Mix 2030 (schraffierte Balken)	74
Abbildung 25	Sensitivitätsanalyse GWP: Ökologisch optimale Lebensdauer in Jahren für das Referenzgerät und eine Zukunfts-Kühl-Gefrier-Kombination (jeweils Strommix 2010) und das Referenzgerät (Strommix 2030) bezogen auf zukünftig angenommene Effizienzsteigerungen	76

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Funktionelle Einheit für die betrachteten vier Produktgruppen	17
Tabelle 2	Kennwerte der für die Referenz-Ökobilanz herangezogenen Miele-Geräte (Verbrauchswerte gemäß Energieverbrauchskennzeichnung), Quelle aller Angaben: Miele 2013	30
Tabelle 3	Fertigungsaufwand für die vier untersuchten Referenzgeräte – alle Zahlenwerte pro Gerät (Quelle der Daten: Miele)	33
Tabelle 4	Datensätze für die Vorketten zur Bilanzierung des Fertigungsaufwands	34
Tabelle 5	Datenerhebung für die Distribution der Spülmaschine zu den Verkaufsstandorten ermittelte Input-Daten	35
Tabelle 6	Referenzgerät: Spezifikation des durchschnittlichen Waschverhaltens bzgl. Programmwahl, Waschtemperatur und Beladung sowie zugehörige Verbrauchswerte je Programm (gerundete Zahlenwerte)	36
Tabelle 7	Bestandsgerät 2005: Spezifikation des durchschnittlichen Waschverhaltens bzgl. Programmwahl, Waschtemperatur und Beladung sowie zugehörige Verbrauchswerte je Programm (gerundete Zahlenwerte)	38
Tabelle 8	Bestandsgerät 2000: Spezifikation des durchschnittlichen Waschverhaltens bzgl. Programmwahl, Waschtemperatur und Beladung sowie zugehörige Verbrauchswerte je Programm (gerundete Zahlenwerte)	39
Tabelle 9	Verbrauchswerte von Miele-Waschmaschinen unterschiedlichen Baujahrs im Vergleichsprogramm und bei unterschiedlicher Anzahl Waschzyklen	40
Tabelle 10	Verbrauchswerte in kWh von Miele-Wäschetrocknern unterschiedlicher Baujahre im Vergleichsprogramm	41
Tabelle 11	Datengrundlage zum Energie- und Wasserverbrauch sowie zum Reinigungsmittelverbrauch in der Nutzungsphase des Referenzgeräts Spülmaschine	42
Tabelle 12	Übersicht zu den ausgewählten Geräten der Produktgruppe Spülmaschine: Referenz- und Bestandsgeräte	43
Tabelle 13	Kühl- und Gefriergerät-Kombination, die für die Betrachtung des vorzeitigen Ersatzes herangezogen wurde	44
Tabelle 14	Datensätze zur Modellierung der Nutzung	44
Tabelle 15	Anteile an Kraftwerkstypen zur Bereitstellung von Elektrizität im Strommix 2010 und 2030	45
Tabelle 16	Umweltauswirkungen durch die Herstellung von jeweils 1 kg Vollwaschmittel kompakt	46
Tabelle 17	Zusammensetzung eines handelsüblichen Spülmaschinen-Tabs (überarbeitet nach Hauthal und Wagner 2007)	47
Tabelle 18	Annahmen zur Bilanzierung der Umweltauswirkungen durch die Redistribution von Hausgeräten zur Entsorgung	47

Tabelle 19	Ergebnis der Ökobilanz Referenzgerät Miele-Waschmaschine für die berücksichtigten Wirkungskategorien bezogen auf die funktionelle Einheit	49
Tabelle 20	Ökologisch optimale Lebensdauer in Jahren für die Referenzwaschmaschine bezogen auf zukünftig angenommene Effizienzsteigerungen (Stromverbrauch Nutzungsphase) gegenüber dem Referenzgerät	55
Tabelle 21	Ergebnis der Ökobilanz Referenzgerät Miele-Wäschetrockner für alle Wirkungskategorien bezogen auf die funktionelle Einheit (Szenario „Nutzung 100%“)	57
Tabelle 22	Ökologisch optimale Lebensdauer in Jahren für den Referenz-Wäschetrockner bezogen auf zukünftig angenommene Effizienzsteigerungen (Stromverbrauch Nutzungsphase) gegenüber dem Referenzgerät	63
Tabelle 23	Ergebnis der Ökobilanz Referenzgerät Miele-Spülmaschine für alle Wirkungskategorien bezogen auf die funktionelle Einheit	65
Tabelle 24	Ökologisch optimale Lebensdauer in Jahren für die Referenz-Spülmaschine bezogen auf zukünftig angenommene Effizienzsteigerungen (Stromverbrauch Nutzungsphase) gegenüber dem Referenzgerät	69
Tabelle 25	Ergebnis der Ökobilanz Referenzgerät Miele-Kühl-Gefrier-Kombination für alle Wirkungskategorien bezogen auf die funktionelle Einheit	71
Tabelle 26	Ökologisch optimale Lebensdauer in Jahren für die Referenz- Kühl- und Gefrierkombination bezogen eine zukünftige angenommene Effizienzsteigerung (Stromverbrauch) gegenüber dem Referenzgerät	75
Tabelle 27	Erläuterung der einbezogenen Wirkungsindikatoren	82
Tabelle 28	Materialzusammensetzung und verwendete Datensätze aus ecoinvent 2.2 für alle betrachteten Produktgruppen – Zahlenwerte in kg	86
Tabelle 29	Eingabedaten für die allgemeine Verarbeitungsprozesse für die Herstellung der Einzelkomponenten	91
Tabelle 30	Datensätze für die Vorketten zur Bilanzierung des Fertigungsaufwands	91
Tabelle 31	Datensätze für die Distribution	91
Tabelle 32	Datensätze für die Nutzung	91
Tabelle 33	Angenommene Zusammensetzung Spülmaschinen-Tab und Zuordnung der Datensätze	92
Tabelle 34	Datensätze für die Entsorgung	92
Tabelle 35	Angenommene Zusammensetzung Kabelbaum	92

## Zusammenfassung

### Hintergrund und Zielsetzung

Haushaltsgeräte und darunter vor allem die Großgeräte wie Waschmaschinen und Wäschetrockner, Spülmaschinen, Kühl- und Gefriergeräte und Herde sind Produkte, von denen Verbraucherinnen und Verbraucher eine lange Lebensdauer erwarten. Das heißt es wird davon ausgegangen, dass diese Produkte über eine lange Nutzungsdauer zuverlässig zur Verfügung stehen. Für das Unternehmen Miele ist die Lebensdauer von Haushaltsgeräten insbesondere vor dem Hintergrund relevant, dass die überdurchschnittlich lange Lebensdauer („20 Jahre“<sup>1</sup>) ein wesentliches Positionierungsmerkmal der Marke „Miele“ ist.<sup>2</sup>

In den letzten Jahren wurde im Zusammenhang mit Strategien zur Steigerung der Energieeffizienz zunehmend diskutiert, ob eine hohe technische Lebensdauer und damit eine lange Nutzungsdauer von Haushaltsgeräten überhaupt sinnvoll sind, bzw. ob es umgekehrt besser sein könnte, einen vorzeitigen Ersatz von Haushaltsgeräten in Betracht zu ziehen.

Vorzeitiger Ersatz in diesem Zusammenhang bezeichnet eine Strategie, im Bestand vorhandene und voll funktionsfähige, aber im Vergleich zu Neugeräten weniger energieeffiziente Haushaltsgeräte noch vor Ablauf der technisch möglichen Lebensdauer durch neue, vorzugsweise besonders energieeffiziente Haushaltsgeräte zu ersetzen. Der Kerngedanke ist dabei, in einer ganzheitlichen Betrachtung Energie (sowie damit zusammenhängende Umweltbelastungen) einzusparen. Ganzheitlich bedeutet, dass nicht nur der Energieverbrauch der Geräte während der Nutzung sondern auch der Energieverbrauch sowie Umweltauswirkungen zur Herstellung der neuen Geräte und zur Entsorgung der zu ersetzenden Geräte mitbetrachtet werden.

Vor diesem Hintergrund werden in der vorliegenden Studie werden zwei verwandte, bei näherer Betrachtung aber unterschiedliche Fragestellungen behandelt:

- Ersatz eines Miele-Bestandgeräts:  
Unter welcher Voraussetzung lohnt sich aus ökologischer Sicht der vorzeitige Ersatz eines Hausgerätes der Marke Miele im Bestand? Wie lange muss das Miele-Neugerät im Sinne einer „ökologischen Rückzahldauer“ mindestens betrieben werden, dass die Umweltbelastungen, die bei einem weiteren Betrieb des Altgeräts angefallen wären, größer ausfallen als die Umweltbelastungen, die mit Herstellung, Nutzung und der späteren Entsorgung des Neugeräte verbunden sind?

---

<sup>1</sup> <http://www.miele.de/de/haushalt/unternehmen/4366.htm>

<sup>2</sup> Miele Geschäftsbericht – Daten und Fakten 2005/2006. Gütersloh.

- Ökologisch optimale Lebensdauer:  
 Wenn durch Miele-Neugeräte unter spezifischen Randbedingungen gegenüber alten Miele-Geräten im Bestand ab einer bestimmten Nutzungsdauer Umweltbelastungen reduziert werden können, stellt sich umgekehrt für Miele im Produktentwicklungsprozess die Frage, auf welche Lebensdauer die Geräte ausgelegt werden sollten. Wie lang sollte also unter Annahmen zur zukünftigen Entwicklung von Einspartechnologien die Lebensdauer eines Haushaltsgeräts sein?

Vereinfacht lassen sich beide Betrachtungsweise so darstellen, dass der „vorzeitige Ersatz“ den Blick zurück und die Methode „ökologisch optimalen Lebensdauer“ den Blick nach vorne hat:



**Ausgewählte Produktgruppen und methodisches Vorgehen**

In der nachstehenden Übersicht sind die in der Studie betrachteten vier Produktgruppen mit ihren wesentlichen Eigenschaften charakterisiert:

Gerät	Funktionelle Einheit
Waschmaschine	Waschen von 707 kg Haushaltswäsche pro Jahr mit durchschnittlicher Verteilung nach Programmen und Beladung. Angenommene Lebensdauer der Waschmaschine: 20 Jahre
Wäschetrockner	Trocknen von 707 kg Haushaltswäsche pro Jahr mit durchschnittlicher Verteilung nach Programmen und Beladung. Angenommene Lebensdauer des Wäschetrockners: 20 Jahre
Spülmaschine	Spülen von Geschirr bei 280 Zyklen pro Jahr bei vollständiger Beladung des Geräts und Nutzung des Standardprogramms. Angenommene Lebensdauer der Spülmaschine: 20 Jahre
Kühl-Gefrier-Kombination	Jährliche Nutzung einer Kühl-Gefrier-Kombinationen unter standardisierten Nutzungsbedingungen. Angenommene Lebensdauer des Geräts: 15 Jahre

Für diese vier Produktgruppen wurde jeweils eine Ökobilanz erstellt. Dabei handelt es sich um eine systematische Methode, bei der der gesamte Lebensweg des betrachteten Produktsystems und die zugehörigen ökologischen Auswirkungen erfasst werden. Die entlang des Lebenswegs auftretenden Stoff- und Energieumsätze und daraus resultierende potenzielle Umweltauswirkungen werden mit Hilfe von sogenannten Wirkungsindikatoren quantifiziert. Konkret wurden für die Studie folgende Indikatoren ausgewählt und berechnet:

- Rohstoffentnahme Wasser
- Rohstoffentnahme Metalle
- Landnutzungsänderungen
- Treibhauspotenzial
- Versauerungspotenzial
- Eutrophierung von Süßwasser und marine Eutrophierung
- Photooxidantienbildungspotenzial

Daneben wurde noch als Sachbilanzgröße der kumulierte Energieverbrauch als Maß für den gesamten Verbrauch an nicht erneuerbaren energetischen Ressourcen ausgewiesen.

Um die durchgeführten Ökobilanzen mit Blick auf die beiden Fragestellungen (also ökologische Rückzahldauer bei vorzeitigem Ersatz bzw. ökologisch optimale Lebensdauer) auszuwerten, wurden ferner für die vier untersuchten Produktgruppen typische Geräte im Bestand sowie die zugehörigen Verbrauchswerte dieser Geräte einbezogen.

### **Normkonformität und kritische Prüfung**

Die hier vorliegende Studie wurde entsprechend den Anforderungen an den Stand von Wissenschaft und Technik nach den dafür relevanten Normen DIN EN ISO 14040 und DIN EN ISO 14044 durchgeführt. Zur Feststellung, ob die der Studie zugrundeliegende Ökobilanz den Anforderungen an die Methodik, Daten, Auswertung und Berichterstattung genügt, wurde nach Abschluss der Studie eine kritische Prüfung durch eine externe Sachverständige, Frau Prof. Dr. Birgit Grahl, durchgeführt.

### **Ergebnisse**

Die durchgeführten Ökobilanzen bestätigen die Ergebnisse aus früheren Studien: Bei den großen Haushaltsgeräten werden bei einer lebenswegbezogenen Betrachtung viele der in Ökobilanzen erfassten Umweltauswirkungen und der kumulierte Energieaufwand maßgebend durch die Nutzungsphase und hier durch den Stromverbrauch und ggf. den Verbrauch an Wasch- und Reinigungsmitteln bestimmt. Daneben tragen die zur Herstellung der Geräte erforderlichen Vorketten an Materialien und Komponenten mit einem nicht

vernachlässigbaren Beitrag zu den gesamten Umweltauswirkungen entlang des Lebenswegs der Geräte bei. Die Distribution ist demgegenüber praktisch vernachlässigbar, und auch die Entsorgung der Geräte hat aufgrund der hier angenommenen, quasi-geschlossenen Stoffkreisläufe einen sehr geringen Einfluss auf die in dieser Studie bilanzierten potenziellen Umweltauswirkungen.

### **Ökologische Rückzahldauer bei einem vorzeitigen Ersatz**

Generell ist die aus den durchgeführten Ökobilanzen und aus der Betrachtung der Effizienz von Bestandsgeräten abgeleitete „ökologische Rückzahldauer“ stark davon abhängig, welcher Wirkungsindikator betrachtet wird. Misst man den Treibhausgasemissionen mit dem Indikator Global Warming Potential einen Leitcharakter bei, lassen sich zur Frage des vorzeitigen Ersatzes von Miele-Hausgeräten folgende Schlussfolgerungen ziehen:

- Bei Waschmaschinen und Spülmaschinen rechnet sich ein vorzeitiger Ersatz nicht, da die ökologische Rückzahldauer zum Teil deutlich höher als die nach einer Faustregel bestimmte maximale Dauer von 5 Jahren liegt.
- Bei Wäschetrocknern und bei Kühl-Gefrier-Kombinationen kann sich abhängig von der Gerätegeneration im Bestand sowie von den Nutzungsbedingungen ein vorzeitiger Ersatz ökologisch lohnen.

Bei den anderen hier betrachteten Wirkungsindikatoren liegt die ökologische Rückzahldauer zum Teil wesentlich höher als beim GWP. Das bedeutet, dass bei Betrachtung dieser Indikatoren, die stärker von der Herstellung der zur Fertigung der Geräte erforderlichen Materialien und Komponenten (wie elektronische Bauteile) bestimmt werden, ein vorzeitiger Ersatz gänzlich ausscheidet – die ermittelten Zahlenwerte liegen weit über der derzeit realisierten technischen Lebensdauer.

Allerdings sind diese Aussagen sehr von technologischen Entwicklungen abhängig, wie beispielsweise die Einführung von Wärmepumpen zur Energierückgewinnung in Wäschetrocknern. Solche technologischen Sprünge können dazu führen, dass es Phasen mit einer vergleichsweise kurzen Rückzahldauer gibt, wodurch ein vorzeitiger Ersatz angezeigt sein kann.

### **Ökologisch optimale Lebensdauer**

Wie bereits oben beschrieben wurde in der Studie wurde auch ein Blick nach vorne gerichtet und zwar in dem Sinn, auf welche technische Lebensdauer Miele- Hausgeräte im Produktentwicklungsprozess ausgelegt werden sollen. Die hier bislang von Miele verfolgte Strategie mit einer Lebensdauer von 20 Jahren bei Waschmaschinen, Wäschetrockner und Spülmaschinen sowie von 15 Jahren bei Kühl- und Gefriergeräten wird durch die Studienergebnisse bestätigt. Die für die vier Produktgruppen jeweils ermittelte ökologisch optimale

Lebensdauer ist stark abhängig vom betrachteten Wirkungsindikator. Die einzelnen Werte reichen zum Teil mit über 50 Jahre bis zu mehreren hundert Jahren bei der Betrachtung metallischer Ressourcen in Bereiche, die weit über einer technisch realisierbaren Produktlebensdauer liegen. Bei den „energiegetriebenen“ Indikatoren KEA und GWP nimmt die ökologisch optimale Lebensdauer bei den vier betrachteten Produktgruppen allgemein zwar geringere Werte an. Davon ausgehend, dass ohne weitreichende Technologiesprünge typische Effizienzsteigerungen von einer zur nächsten Gerätegeneration in einem Bereich von 10 bis 20% liegen, ergibt sich bei Betrachtung des GWP eine ökologisch optimale Lebensdauer je nach Produktgruppe von ca. 15 bis über 50 Jahren. Das heißt: die Strategie am Markt Hausgeräte mit der jeweils besten verfügbaren Energieeffizienz in der Nutzungsphase und einer vergleichsweise langen technischen Lebensdauer zu positionieren, ist bei allen hier betrachteten Wirkungsindikatoren gerechtfertigt.

### **Zukünftige Entwicklungen im Umfeld**

Verstärkt wird dieser Befund, wenn zusätzlich die künftigen Entwicklungen im Systemumfeld berücksichtigt werden, namentlich der wachsende Anteil erneuerbarer Energien bei der Strombereitstellung. Wenn wie für Deutschland politisch und strukturell angelegt in den nächsten beiden Jahrzehnten zur Stromproduktion vermehrt erneuerbare Energieträger eingesetzt werden, sinken anteilmäßig die der Nutzungsphase der Hausgeräte anzurechnenden Treibhausgasemissionen und der kumulierte Energieaufwand deutlich. Dies führt wiederum bei allen in dieser Studie betrachteten Produktgruppen dazu, dass für diese Indikatoren die ökologisch optimale Lebensdauer gegenüber der heutigen Situation noch ansteigt. Hinzu kommt, dass nach den bisherigen Prognosen die Energieeffizienzgewinne bei Haushaltsgeräte in Zukunft geringer ausfallen als in der Vergangenheit und ihre Realisierung mehr Zeit beanspruchen wird. Auch dies bestätigt die von Miele verfolgte Strategie, Hausgeräte auf eine hohe technische Produktlebensdauer auszulegen.

## Summary of the Study

### “Reflections on product lifetime and replacement strategies for Miele domestic appliances”

#### Background and objectives

Domestic appliances, namely large appliances such as washing machines and tumble dryers, dishwashers, refrigerators/freezers and electric stoves are products which consumers expect to have a long life. In other words, it is assumed that these products will function reliably throughout the relatively long period of their lifetime. The life of domestic appliances is particularly relevant to Miele in light of the fact that the exceptionally long life (“20 years”<sup>3</sup>) is an essential distinguishing characteristic of the brand name of “Miele”.<sup>4</sup>

In recent years, the question as to whether technological longevity and thus a long operating life of appliances make any sense, or whether the reverse, i.e. an early replacement of domestic appliances should rather be envisaged, has been increasingly discussed in connection with strategies to increase energy efficiency.

Early replacement in this context refers to the strategy of replacing existing domestic appliances that, though fully operational, are less energy-efficient than new equipment, even before the expiry of the technically possible lifetime with new appliances, preferably with especially energy-efficient ones. The basic idea behind this concept is to achieve savings of energy (and related environmental impacts) in the context of an integrated approach, meaning that not only energy consumption of the devices during operation but also energy consumption and environmental impacts associated with the manufacture of the new appliances and the disposal of those that are to be replaced will be taken into account.

Against this background, two related issues, which, on closer examination, however, turned out to be varied in nature, are covered in the study at hand:

- Replacement of an existing Miele device:  
Under which preconditions - from an ecological standpoint - is an early replacement of an existing Miele appliance a worthwhile option? What is the minimum period that the new Miele device needs to be operated in terms of an “ecological payback period”, at which the environmental damages that would result from a further operation of the old unit would be greater than the pollution associated with manufacture, usage and subsequent disposal of the new device?

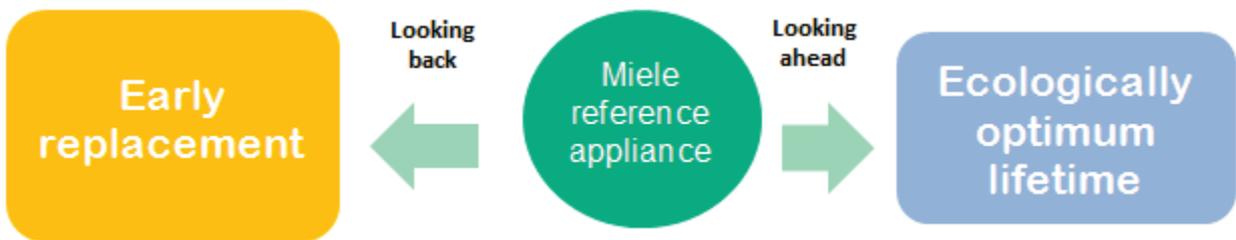
---

<sup>3</sup> <http://www.miele.de/de/haushalt/unternehmen/4366.htm>

<sup>4</sup> Annual report of Miele – data and facts, 2005/2006. Gütersloh.

- Ecologically optimum lifetime:  
If, under certain boundary conditions, environmental burdens can be reduced by using new Miele equipment for a certain minimum duration of use as compared to further use of old Miele appliances in households, the question as to the lifetime for which the devices should be designed conversely arises for Miele when it comes to the product development process. In other words, what is the optimum lifetime of a domestic appliance based on assumptions about the future development of saving technologies?

In somewhat simplified terms, the two approaches can be explained by way of looking back in the case of “early replacement” and looking ahead where reference is made to the method of the “ecologically optimum lifetime”:



### Selected product groups and methodological approach

The four product groups covered by this study, differentiated according to their main characteristics, are set out in the table below:

Device	Functional unit
Washing machine	Washing of 707 kg of household laundry per year with average distribution by programs and loading. Life expectancy of the washing machine: 20 years
Tumble dryer	Drying of 707 kg laundry per year with average distribution by programs and loading. Life expectancy of the tumble dryer: 20 years
Dishwasher	Washing of dishes at 280 cycles per year at full loading of the machine in connection with use of the standard program. Life expectancy of the dishwasher: 20 years
Fridge-freezer	Annual use of the fridge-freezer under standardized conditions of use. Life expectancy of the unit: 15 years

For each of these four product groups, a life cycle assessment has been carried out. This method can be used to systematically record the entire life cycle of the considered product system and the related environmental impacts. Any materials and energy consumed along the product's life cycle and any resulting potential environmental impacts are quantified by means of so-called impact indicators. For the purposes of this study, the following indicators were selected and calculated:

- Resource depletion of water
- Resource depletion of metals
- Land use change
- Global warming potential
- Acidification potential
- Eutrophication of freshwater and marine eutrophication
- Photochemical ozone formation potential

Besides, the cumulative energy consumption was set out as a life cycle inventory value that represents a measurement of the total consumption of non-renewable energy resources.

To interpret the LCAs that have been carried out with a view to the two issues considered (i.e. ecological payback period in the case of early replacement and/or ecologically optimum lifetime), existing devices typical for the four product groups under investigation as well as the associated consumption data for this equipment were also taken into account.

### **Conformance and critical review**

The present study was prepared in accordance with the requirements on the state of science and technology as set out in the appropriate standards, i.e. DIN EN ISO 14040 and DIN EN ISO 14044. To determine whether the LCA on the basis of which this study was carried out complies with the requirements in terms of methodology, data, analysis, and reporting, a critical review was conducted by Prof. Dr. Birgit Grahl, an external expert, after completion of the study.

### **Results**

The LCAs carried out confirm the results of previous studies: By adopting a life-cycle perspective for major domestic appliances, many of the environmental impacts and the cumulative energy demand covered by the LCA are primarily defined by the use phase, and here, in particular by the electricity consumption and consumption of detergents and cleaning agents, if applicable. In addition, all preceding chains of components and materials needed for the manufacture of the devices are - to a not at all negligible extent - responsible for the

overall environmental impacts throughout the life cycle of the device. By contrast, distribution is practically negligible, the disposal of the devices - owing to the almost closed material cycles assumed here - also having only a minor impact on the potential environmental impacts accounted for in this study.

### **Ecological payback period in case of early replacement**

Generally, the “ecological payback period” derived from the life cycle assessments made and from the examination of the efficiency of existing devices greatly depends on the impact indicator which is being considered. Taking global warming potential as a key indicator and thus putting great emphasis on greenhouse gas emissions, the following conclusions can be drawn as to the question whether an early replacement of Miele appliances makes sense:

- An early replacement of washing machines and dishwashers does not pay off, since the ecological payback period in some cases is substantially higher than the rule of thumb which indicates a maximum period of approximately 5 years.
- An early replacement of fridge freezers and tumble dryers may be ecologically beneficial depending on the generation of appliance used and on the conditions of use.

As regards the other impact indicators considered here, the associated ecological payback period is partly considerably higher than for the GWP. This means that, when looking at these indicators which are more determined by the pre-chains of materials and components necessary for the manufacture of these devices (such as electronics), an early replacement would never be considered - the calculated values are well above the technical lifetime that can be currently achieved.

However, these statements are strongly dependent on technological developments, such as the introduction of heat pumps for energy recovery in tumble dryers. Such technological innovations may result in situations with a relatively short payback period, on the basis of which an early replacement may be recommended.

### **Ecologically optimum lifetime**

As described above, the study also tried to look to the future as regards the question for which technical lifetime period Miele appliances should be designed in the product development process. The approach hitherto adopted by Miele presuming a lifetime of 20 years for washing machines, tumble dryers and dishwashers, as well as of 15 years for refrigerators and freezers, is confirmed by the results of the study. The optimum lifetime calculated for each of the four product groups from an ecological point of view is highly dependent on the impact indicator being contemplated. When considering metallic resources, some of the individual values range from over 50 years up to hundreds of years, i.e. to periods that are far above a technically realizable lifetime. The optimum lifetime values

calculated for the four considered product groups in relation to of the “energy-driven” indicators, i.e. “KEA” (cumulated energy demand) and GWP, however, are, in general, somewhat lower. Assuming that typical efficiency enhancements from one generation of devices to the next – in the absence of far-reaching technological leaps – range between 10 and 20 %, the assessment shows an ecologically optimal lifetime ranging from about 15 up to more than 50 years as for the GWP, depending on the product group. In other words: the strategy of positioning appliances with the best available energy efficiency during the use phase and a relatively long technical lifetime on the market is justified on the basis of the assessment of all investigated impact indicators.

### **Future developments**

This finding is reinforced, if, in addition, the future developments in the system environment are taken into account, namely the growing share of renewable energies in the generation of electricity. If - as politically and structurally foreseen for Germany - renewable energy sources will be increasingly used to produce electricity in the next two decades, greenhouse gas emissions and the cumulated energy demand attributable to the use phase of household appliances will decline to a significant extent. This, in turn, will further increase the ecologically optimum lifetime for all product groups investigated in this study in terms of the mentioned indicators as compared to today’s situation. Furthermore, energy efficiency gains related to domestic appliances, according to recent forecasts, will be lower in the future than they have been in the past, and their realization will take more time. This also confirms the viability of the strategy pursued by Miele, i.e. to design domestic appliances for a long technical lifetime.

## 1 Hintergrund und Einführung

Haushaltsgeräte und darunter vor allem die Großgeräte wie Waschmaschinen und Wäschetrockner, Spülmaschinen, Kühl- und Gefriergeräte und Herde sind Produkte, von denen Verbraucherinnen und Verbraucher eine lange Lebensdauer erwarten. Das heißt es wird davon ausgegangen, dass diese Produkte über eine lange Nutzungsdauer zuverlässig zur Verfügung stehen. Für das Unternehmen Miele ist die Lebensdauer von Haushaltsgeräten insbesondere vor dem Hintergrund relevant, dass die überdurchschnittlich lange Lebensdauer („20 Jahre“<sup>5</sup>) ein wesentliches Positionierungsmerkmal der Marke „Miele“ ist.<sup>6</sup>

In den letzten Jahren wurde im Zusammenhang mit Strategien zur Steigerung der Energieeffizienz zunehmend diskutiert, ob eine hohe technische Lebensdauer und damit eine lange Nutzungsdauer von Haushaltsgeräten überhaupt sinnvoll sind, bzw. ob es umgekehrt besser sein könnte, einen vorzeitigen Ersatz von Haushaltsgeräten in Betracht zu ziehen.

Vorzeitiger Ersatz in diesem Zusammenhang bezeichnet eine Strategie, im Bestand vorhandene und voll funktionsfähige, aber im Vergleich zu Neugeräten weniger energieeffiziente Haushaltsgeräte noch vor Ablauf der technisch möglichen Lebensdauer durch neue, vorzugsweise besonders energieeffiziente Haushaltsgeräte zu ersetzen. Der Kerngedanke ist dabei, in einer ganzheitlichen Betrachtung Energie (sowie damit zusammenhängende Umweltbelastungen) einzusparen. Ganzheitlich heißt in diesem Zusammenhang, dass nicht nur der Energieverbrauch der Geräte während der Nutzung sondern auch der Energieverbrauch sowie Umweltauswirkungen zur Herstellung der neuen Geräte oder zur Entsorgung der zu ersetzenden Geräte mitbetrachtet werden. Dieser grundsätzliche Ansatz ist anhand eines fiktiven Beispiels in der nachstehenden Abbildung dargestellt. Im hier dargestellten Fall wäre ab dem achten Jahr der Nutzungsdauer der kumulierte Primärenergieverbrauch eines neuen Gerätes, für das angenommen wird, dass es bei der Nutzung nur noch 75% der Energiebedarfs des Bestandsgeräts verbraucht, geringer als wenn das Bestandsgerät weiterbetrieben würde.

---

<sup>5</sup> <http://www.miele.de/de/haushalt/unternehmen/4366.htm>

<sup>6</sup> Miele Geschäftsbericht – Daten und Fakten 2005/2006. Gütersloh.

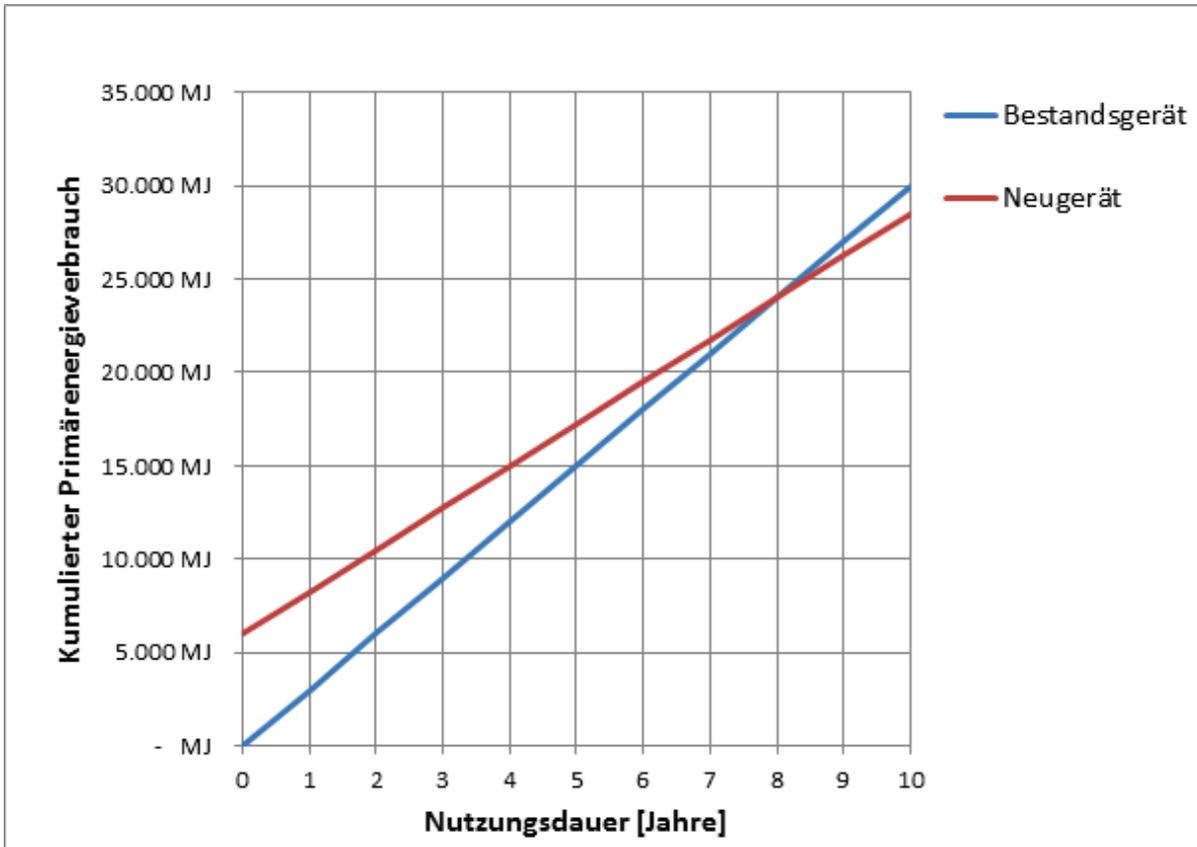


Abbildung 1 Grundsätzlicher Ansatz für die Betrachtung des vorzeitigen Ersatzes (fiktives Beispiel)

Bei den großen Haushaltsgeräten ist das Angebot von Neugeräten am Markt in den letzten Jahren nochmals deutlich energieeffizienter geworden. Allerdings gibt es auch Geräte, bei denen ein Ende der Entwicklung zu noch niedrigeren Verbrauchswerten vermutet werden kann: So sind beispielsweise der weiteren Reduktion des Wasserverbrauchs und damit auch des Energieverbrauchs von Waschmaschinen physikalische Grenzen gesetzt, z.B. durch die Mindestmenge an benötigtem Wasser zur Benetzung der Wäsche und Schmutzentfernung mit der Waschlauge. Insofern stellt sich die Frage, ob bei diesen Geräten ein vorzeitiger Ersatz überhaupt sinnvoll ist.

Das Öko-Institut hat in den Jahren 2007 und 2008 für den europäischen Hausgeräteverband CECED und für Miele (2008) in mehreren Studien den vorzeitigen Ersatz für Kühl- und Gefriergeräte, Geschirrspülmaschinen und Waschmaschinen betrachtet. In diesen im Detail etwas unterschiedlich ausgerichteten Studien konnte gezeigt werden, dass sich abhängig von der Art der Produktgruppe, den herangezogenen Vergleichsindikatoren und den Annahmen zur Effizienz der Bestandgeräte unterschiedliche „Rückzahldauern“ bei einem vorzeitigen Ersatz ergeben.

Der vorliegende Bericht ist wie folgt aufgebaut: In Kapitel 2 werden Zielsetzung und das methodische Vorgehen eingehend dargestellt und begründet. Daneben werden methodische

Festlegungen dargelegt. Ferner erfolgt eine Beschreibung der untersuchten Produktgruppen und der zur Erstellung der Sachbilanzen herangezogenen Datengrundlagen; dabei werden sowohl systemtypische allgemeine Prozesse, als auch die jeweiligen Herstellungsprozesse der einbezogenen Produktsysteme erläutert (siehe hierzu Kapitel 3). Die Ergebnisse werden in Kapitel 4 dargestellt. Im Kapitel 5 erfolgen zusammenfassend Schlussfolgerungen und Empfehlungen.

## 2 Ziele und Anwendungen der Studie

In der vorliegenden Studie werden konkret zwei verwandte, bei näherer Betrachtung aber unterschiedliche Fragestellungen behandelt:

- Ersatz eines Miele-Bestandgeräts:  
Unter welcher Voraussetzung lohnt sich aus ökologischer Sicht der vorzeitige Ersatz eines Hausgerätes der Marke Miele im Bestand? Wie lange muss das Miele-Neugerät im Sinne einer „ökologischen Rückzahldauer“ mindestens betrieben werden, dass die Umweltbelastungen, die bei einem weiteren Betrieb des Altgeräts angefallen wären, größer ausfallen als die Umweltbelastungen, die mit Herstellung, Nutzung und der späteren Entsorgung des Neugeräte verbunden sind?
- Ökologisch optimale Lebensdauer:  
Wenn durch Miele-Neugeräte unter spezifischen Randbedingungen gegenüber alten Miele-Geräten im Bestand ab einer bestimmten Nutzungsdauer Umweltbelastungen reduziert werden können, stellt sich umgekehrt für Miele im Produktentwicklungsprozess die Frage, auf welche Lebensdauer die Geräte ausgelegt werden sollten. Wie lang sollte also unter Annahmen zur zukünftigen Entwicklung von Einspartechnologien die Lebensdauer eines Haushaltsgeräts sein?

Die Studie ist sowohl für die interne Verwendung im Unternehmen Miele als auch zur Kommunikation nach außen, beispielsweise gegenüber Kunden, vorgesehen. In diesem Zusammenhang müssen folgende Aspekte beachtet werden:

- Die vorliegende Studie bezieht sich ausschließlich auf Miele-Produkte (und zwar mit Blick auf die Geräte im Bestand und die ausgewählten Referenzgeräte) und auf Annahmen zu künftigen Effizienzsteigerungen, auch wenn dies aus Gründen der besseren Lesbarkeit in den weiteren Abschnitten dieser Studie nicht in jedem Einzelfall explizit so dargestellt ist. Geräte unterschiedlicher Hersteller unterscheiden sich beispielsweise in der konstruktiven Ausführung und in ihrem spezifischen Energieverbrauch. Das bedeutet, dass die in dieser Studie durchgeführten Berechnungen und die daraus gezogenen Schlussfolgerungen nur für Miele-Produkte zutreffen und eine Übertragung auf Produkte anderer Hersteller nicht möglich ist.

- In den letzten Jahren wird den Medien und in der Fachöffentlichkeit das Thema geplante oder künstliche Obsoleszenz von Produkten intensiv und kritisch diskutiert. So wird unter anderem argumentiert, dass Hersteller bereits im Design bewusst Schwachstellen in das betreffende Produkt einbauen mit dem Ergebnis, dass es bereits nach kurzer Zeit schadhaft und funktionsunfähig wird. Die vorliegende Studie befasst sich nicht mit dieser Fragestellung und verfolgt wie oben dargestellt wurde explizit eine andere Zielstellung. Zudem liegen die in dieser Studie diskutierten Zeiträume mit 10 bis über 20 Jahren weit über den Zeitspannen, die im Zusammenhang mit geplanter Obsoleszenz diskutiert werden.

### 3 Methodisches Vorgehen

In dieser Studie werden vier Produktgruppen betrachtet, nämlich Kühl- und Gefriergeräte, Waschmaschinen, Spülmaschinen sowie Wäschetrockner. Bei der Untersuchung dieser Produktgruppen wird prinzipiell das gleiche methodische Vorgehen gewählt. Konkret werden drei Arbeitsschritte pro Produktgruppe durchgeführt:

- **Ökobilanz mit spezifischem Fokus auf Miele-Geräte** zur Einschätzung der Relevanz der Lebenszyklusphasen (Herstellung und Distribution, Nutzung, Entsorgung);
- Bewertung des **vorzeitigen Ersatzes** von Miele-Altgeräten mit Hilfe der Berechnung der ökologischen Rückzahldauer;
- Abschätzung der zukünftigen **ökologisch optimalen Lebensdauer** von Miele-Neugeräten mit Hilfe der Berechnung der ökologischen Rückzahldauer.

Die einzelnen Arbeitsschritte werden im Folgenden näher skizziert.

#### 3.1 Referenz-Ökobilanzen für die vier Produktgruppen

Mit Hilfe von Referenz-Ökobilanzen für die betrachteten vier Produktgruppen sollen die Umweltauswirkungen entlang des gesamten Lebenswegs für Neugeräte abgebildet werden, wobei jeweils typische Miele-Geräte ausgewählt wurden. Diese im Folgenden als **Referenzgerät** genannten Geräte verfügen in der jeweiligen Produktgruppe über den derzeit besten verfügbaren Stand der Technik und die jeweils höchste Energieeffizienzeinstufung.

Die vier Referenz-Ökobilanzen wurde auf der Grundlage der standardisierten Ökobilanz-Methode nach DIN EN ISO 14040:2009 und 14044:2006 durchgeführt. In einer Ökobilanz werden möglichst umfassend der gesamte Lebensweg eines Produktes bzw. Produktsystems und die zugehörigen ökologischen Auswirkungen erfasst. Die entlang des Lebenswegs auftretenden Stoff- und Energieumsätze und daraus resultierende potenzielle Umweltbelastungen, wie beispielsweise das Treibhauspotenzial, werden quantifiziert. Bei der

Ökobilanz handelt es sich um eine systematische Methode, mit der die umweltseitigen Auswirkungen von Produkten und Prozessen in vier Teilschritten erfasst und analysiert werden (siehe auch Abbildung 2). Die oben angeführte Ermittlung der ökologischen Rückzahldauer und die Herleitung der ökologisch optimalen Lebensdauer sind methodisch gesehen Bestandteil der Auswertung der durchgeführten Ökobilanz, auch wenn dies im weiteren Verlauf der vorliegenden Studie und insbesondere bei den Ergebnisdarstellungen in den betreffenden Abschnitten des Kapitels 4 nicht explizit so bezeichnet wird.

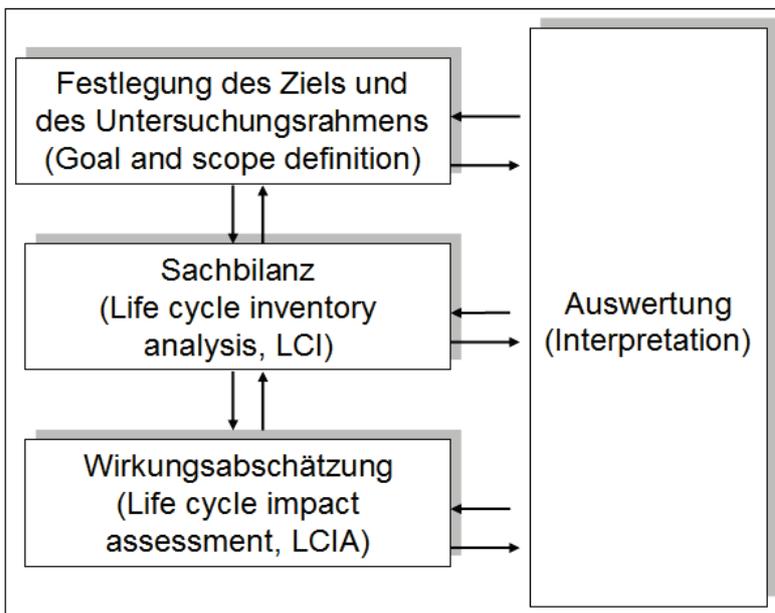


Abbildung 2 Die vier Teilschritte einer Ökobilanz. Doppelpfeile stehen für ein iteratives Vorgehen (DIN EN ISO Norm 14040:2009)

### 3.1.1 Systemgrenzen

In dieser Untersuchung wurde der gesamte Lebensweg für alle vier Produktgruppen untersucht, d.h. es wurden folgende Sachverhalte berücksichtigt:

- Die Herstellung der Geräte, d.h. Materialzusammensetzung (einschließlich Vorketten der eingesetzten Materialien) sowie die Aufwendungen für die Produktion (Fertigung) unter Berücksichtigung der technologiespezifischen Unterschiede,
- die Distribution der Geräte,
- die Nutzung des Geräts (mit Strom- und Wasserverbrauch sowie den Wasch- und Reinigungsmitteln),
- die Behandlung des bei der Nutzung anfallenden Abwassers bei den Produktgruppen Waschmaschinen und Spülmaschinen, und
- die Entsorgung der Geräte.

### 3.1.2 Anforderungen an die Datenqualität

Mit den Anforderungen an Daten und Datenqualität werden in allgemeiner Form die Merkmale der Daten festgelegt, die für die Durchführung der Ökobilanz benötigt werden. Nachstehend werden die in dieser Studie zugrunde gelegten Anforderungen zusammenfassend dargestellt:

- **Zeitbezogener Erfassungsbereich.** In dieser Studie sollten die einbezogenen Daten zu Vor- und Nachketten den repräsentativen, mittleren Stand der Technik (siehe unten) sowie die derzeitigen energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen abbilden. Bezüglich der spezifischen Daten wurden soweit möglich Daten des Jahres 2012/13 verwendet. Die allgemeinen Daten aus ecoinvent 3.01 beziehen sich auf die Zeitspanne 2010 bis 2013.
- **Geografischer Erfassungsbereich.** Der geographische Bezugsraum ist Deutschland. Auf ihn beziehen sich die Hintergrunddaten, beispielsweise zur Strom- und Wasserversorgung und zu den Nutzungsmustern.
- **Technologischer Erfassungsbereich:** Die verwendeten allgemeinen Daten bilden grundsätzlich den mittleren Stand der Technik ab. Konkret bedeutet dies, dass die in dieser Studie verwendeten Daten zur Herstellung von Materialien, zur Fertigung und Distribution sowie zur Entsorgung der betrachteten Hausgeräte den Mix an den im Bestand befindlichen Technologien abbilden. Die ausgewählten Referenzgeräte stellen mit Blick auf die Nutzungsphase den jeweiligen besten verfügbaren Stand der Technik ab.

Diese Vorgehensweise entspricht dem derzeitigen Praxisstand bei der Durchführung von Ökobilanzen. Insgesamt lagen aus Sicht des Erstellers der Studie Daten mit einer der Fragestellung und Zielsetzung angemessenen Qualität zugrunde.

Die Umweltauswirkungen von Haushaltsgeräten hängen sehr stark von Nutzungsart und -häufigkeit ab. Diese hängt wiederum eng mit der Haushaltsgröße zusammen. Die in der angebotenen Studie vorgesehenen Berechnungen wurden in Abstimmung mit Miele durchgeführt und sind in den entsprechenden Unterkapiteln zu den einzelnen Produktgruppen dargestellt.

Darüber hinaus wurden Sensitivitätsanalysen durchgeführt, um die Richtungssicherheit der Ergebnisse in Abhängigkeit von getroffenen Festlegungen und Annahmen zu prüfen. Bei der Darstellung der Ergebnisse in Kapitel 4 wird fallbezogen auf diese Sensitivitätsanalysen eingegangen.

### 3.1.3 Funktionelle Einheit

Allgemein dient nach DIN EN ISO 14040:2009 die funktionelle Einheit dazu, einen quantifizierten Bezug zu schaffen, auf den die Input- und Outputflüsse in der Ökobilanz bezogen werden. Die Funktionen des untersuchten Systems spiegeln die geforderten Gebrauchseigenschaften wider. Für alle untersuchten Varianten sollten die Funktionen gleich sein, Abweichungen müssen entsprechend erläutert werden.

Für die vier in dieser Studie untersuchten Produktgruppen wurde die funktionelle Einheit wie folgt festgelegt:

Tabelle 1 Funktionelle Einheit für die betrachteten vier Produktgruppen

Gerät	Funktionelle Einheit
Waschmaschine	Waschen von 707 kg Haushaltswäsche pro Jahr mit durchschnittlicher Verteilung nach Programmen und Beladung. Angenommene Lebensdauer der Waschmaschine: 20 Jahre
Wäschetrockner	Trocknen von 707 kg Haushaltswäsche pro Jahr mit durchschnittlicher Verteilung nach Programmen und Beladung. Angenommene Lebensdauer des Wäschetrockners: 20 Jahre
Spülmaschine	Spülen von Geschirr bei 280 Zyklen pro Jahr bei vollständiger Beladung des Geräts und Nutzung des Standardprogramms. Angenommene Lebensdauer der Spülmaschine: 20 Jahre
Kühl-Gefrier-Kombination	Jährliche Nutzung einer Kühl-Gefrier-Kombinationen unter standardisierten Nutzungsbedingungen. Angenommene Lebensdauer des Geräts; 15 Jahre

Die definierte funktionelle Einheit bezieht sich somit auf die Nutzung der betrachteten Geräte auf den Zeitraum eines Jahres, wobei die potenziellen Umweltauswirkungen aus der Herstellung, Distribution und Entsorgung entsprechend der angegebenen Lebensdauer der Geräte anteilig umgelegt wurden.

Bei den Produktgruppen Spülmaschine und Kühl-Gefrier-Kombination wurden für die Art der Nutzung jeweils die standardisierten Nutzungsbedingungen für die Energieverbrauchskennzeichnung zugrunde gelegt. Diese Herangehensweise konnte bei den Produktgruppen Waschmaschine und Wäschetrockner aus verschiedenen Gründen nicht angewandt werden. Zum einen hat sich die Berechnungsmethode für die Energieverbrauchskennzeichnung geändert, zum anderen sollte eine wirklichkeitsnahe Modellierung des Nutzungsverhalten erreicht werden, was bei Zugrundelegung der standardisierten Bedingungen sehr wahrscheinlich nicht der Fall ist. Zuletzt sollte auf diese Weise auch die größer gewordene maximal mögliche Beladungsmenge der Geräte (von 5 kg Wäsche im Jahr 2000 auf 8 kg im Jahr 2013) Berücksichtigung finden. Daher wurde eine eigene Verteilung nach Programmen und Beladung angenommen, vgl. ausführlich Abschnitt 3.6.1.

Die neu betrachtete Produktgruppe Wäschetrockner wurde bezüglich der Beladung analog zum Waschen modelliert. Dem lag die Annahme zugrunde, dass bei maschineller Trocknung der Wäsche die Beladungsmenge der Waschmaschine mit der des Trockners identisch ist. Hinsichtlich der Programmwahl wurde aus Vereinfachungsgründen das Standardprogramm Baumwolle schranktrocken angenommen.

Mit den oben vorgenommenen Festlegungen zur funktionellen Einheit werden auch die sogenannten Referenzflüsse festgelegt, also die Stoff- und Energieflüsse der einzelnen Geräte, die entlang ihres Lebenswegs zur Erfüllung dieser Funktion erforderlich sind. Neben dem Energieverbrauch bei der Nutzung der Geräte werden somit auch anteilig die Herstellung und die Entsorgung der einbezogenen Geräte mitbilanziert.

### 3.1.4 Allokationsverfahren und Gutschriften

Unter Allokation werden bei der Durchführung von Ökobilanzen Zuordnungsverfahren verstanden, die dann erforderlich sind, wenn bei den betrachteten Systemen mehrere verwertbare Produkte erzeugt werden bzw. wenn in betrachtete Teilprozesse Stoff- und Energieströme von anderen, nicht betrachteten Systemen einfließen.

Bei einer Reihe der dieser Studie zugrunde gelegten allgemeinen Hintergrunddaten sind bereits Allokationsregeln angewendet worden; eine Darstellung würde den Rahmen dieser Studie sprengen. Nachstehend werden zwei Sachverhalte beschrieben, die im Zusammenhang mit dieser Studie explizit relevant sind:

- Zur Abbildung des **Fertigungsaufwands** wurden seitens Miele Daten zur Verfügung gestellt, wobei hier die Zuordnung des Aufwands nach Stückzahl der gefertigten Geräte erfolgte. Der Grund hierfür ist, dass die den Fertigungsaufwand kennzeichnenden Verbrauchsgrößen an elektrischer und thermischer Energie sowie der Wasserverbrauch und die dahinter stehenden Prozesse im Wesentlichen von der Anzahl produzierter Einheiten und nicht beispielsweise vom Gewicht der Geräte abhängen. So ist der prozessbestimmende und limitierende Faktor bei den Förderbändern der Fertigungs- und Montagelinien nicht das Gewicht, sondern die Abmessungen der Geräte. Da diese Abmessungen bei Hausgeräten wiederum weitgehend standardisiert sind, kann die Stückzahl als gutes Bestimmungsmerkmal zur Allokation herangezogen werden.
- Bei den **Vorketten eingesetzter Metalle** wurden Datensätze verwendet, bei denen bereits mit durchschnittlichen Sekundäreinsatzquoten gerechnet wird. Vor diesem Hintergrund wurde für Sekundärrohstoffe, die am Ende des Lebenswegs der betrachteten

Produkte anfallen, keine Gutschriften erteilt, sondern von einem Quasi-Closed-Loop-System ausgegangen.<sup>7</sup>

- Bei der **Abfallbehandlung** werden Haushalts-Großgeräte mechanisch in Fraktionen zerlegt (Schredder). Üblicherweise sind dies (einschließlich Nachbehandlung) Fe-Metalle, Nichteisenmetalle, Schwerfraktion und Leichtfraktion. Kunststoffe aus der Weißen Ware finden sich zum weitaus überwiegenden Anteil in der Schredderleichtfraktion (SLF). Leiterplatten werden auch über die Schwerfraktion und die Fe-Fraktion aus dem Prozess ausgeschleust. In einigen Fällen werden aus Weißer Ware (vor allem Kühl- und Gefriergeräte) Kunststoffe manuell ausgebaut und einer werkstofflichen Verwertung zugeführt (Sander et al. 2004). Eine Gutschrift für die Kunststoffe wurde nicht angerechnet, da der Beitrag insgesamt gegenüber den anderen Prozessen entlang des Lebensweges vernachlässigbar ist. Ebenso wird dadurch die Richtungssicherheit der Ergebnisse für die hier vorliegende der Fragestellung nicht beeinflusst.

### 3.1.5 Auswahl der Wirkungskategorien

Die Wirkungsabschätzung dient im Rahmen von Ökobilanzen dazu, die Sachbilanzergebnisse hinsichtlich ihrer potenziellen Wirkungen auf die Umwelt zu quantifizieren. Konkret werden dabei die Sachbilanzdaten den entsprechenden Wirkungskategorien zugeordnet und charakterisiert (zum Beispiel Kohlendioxid und Methan zur Wirkungskategorie Treibhauseffekt) und – soweit beim derzeitigen Stand der Wissenschaft möglich – wirkungsbezogen zusammengefasst (d.h. zum Beispiel, dass alle treibhausrelevanten Gase wie u.a. Kohlendioxid und Methan gewichtet nach dem stoffspezifischen Wirkungspotenzial zum Indikator Global Warming Potential – GWP – zusammengefasst werden).

In der Studie werden die folgenden Wirkungskategorien betrachtet; erfahrungsgemäß werden damit die wesentlichen potenziellen Umweltauswirkungen entlang des Lebenswegs von Haushaltsgeräten abgebildet (in Klammern stehen ggfs. jeweils die bei der Ergebnisdarstellung verwendeten Abkürzungen sowie die Maßeinheiten):

---

<sup>7</sup> Andernfalls müssten bei den verwendeten Datensätzen zur Herstellung der Metalle auch Lastschriften für die eingesetzten Sekundärrohstoffe berechnet werden.

- Rohstoffentnahme Wasser (l Wasseräquivalente)
- Rohstoffentnahme Metalle (kg Fe-Äquivalente)<sup>8</sup>
- Landnutzungsänderungen (m<sup>2</sup>)
- Treibhauspotenzial (GWP, kg CO<sub>2</sub>-eq.)
- Versauerungspotenzial (AP, kg SO<sub>2</sub>-eq.)
- Eutrophierung von Süßwasser und marine Eutrophierung (EP-S in kg P-eq. und EP-M in kg N-eq.)
- Photooxidantienbildungspotenzial (POCP, kg NMVOC))

Eine Gewichtung der Wirkungsindikatoren war im Rahmen dieser Studie nicht vorgesehen.

Zusätzlich würde aus den Inputflüssen der Sachbilanz der Primärenergieverbrauch (kumulierter Energieaufwand, KEA) als Maß für den gesamten Verbrauch an nicht erneuerbaren energetischen Ressourcen ausgewiesen. Grundsätzlich wäre es wünschenswert gewesen, hier zusätzlich auch den Verbrauch an erneuerbaren energetischen Ressourcen darzustellen, weil dann durch eine Betrachtung von KEA<sub>erneuerbare Energieträger</sub> und KEA<sub>nicht erneuerbare Energieträger</sub> die Veränderungen an den Ergebnissen bei Annahme des erwarteten Strom-Mix im Jahr 2030 besser hätten sichtbar gemacht werden können (vgl. Kapitel 3.6.5 und Tabelle 15). Mit der zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Studie verfügbaren Programmversion Umberto NXT LCA mit der Datenbankversion ecoinvent 3.01 war dies allerdings nicht möglich.

Die für die oben genannten Wirkungskategorien verwendeten Charakterisierungsmodelle samt Quellen sind im Anhang dargestellt (Kapitel 7.1.1).

### 3.1.6 Modellierungsgrundlage

Die Modellierung wurde mit Hilfe der Ökobilanzsoftware Umberto (Programmversion NXT LCA mit der ecoinvent-Datenbasis 3.01) vorgenommen. Aus der ecoinvent-Datenbasis wurden die Hintergrunddatensätze mit Aufwendungen für Infrastruktur herangezogen. Auf der Grundlage der auf die funktionellen Einheiten bezogenen Input- und Outputflüsse wurden die Sachbilanzen und die Wirkungsabschätzungen erstellt. Die bilanzierten jährlichen poten-

---

<sup>8</sup> Zusätzlich zum o.a. Indikator „Rohstoffentnahme Metalle“ wurde auch die Verwendung des Kumulierten Rohstoffaufwands (KRA) erwogen. Dieser Indikator wird definiert als die Summe aller in ein System eingehenden Rohstoffe – außer Wasser und Luft – ausgedrückt in Gewichtseinheiten (siehe bspw. Giegrich et al. 2012). Allerdings liegen nicht für alle in dieser Studie zur Beschreibung des Lebenswegs der Hausgeräte berücksichtigten Prozessmodule Datensätze vor. Um Asymmetrien zu vermeiden wurde daher von einer Auswertung abgesehen. Die für ausgewählte Lebenswegabschnitte errechneten KRA-Werte liegen in der elektronischen Fassung der Rohergebnisse vor.

ziellen Umweltauswirkungen wurden nach den verschiedenen Lebenswegphasen differenziert, namentlich:

- „Herstellung“, mit den beiden Teilmodulen „Material“ für die Vorketten der Materialien wie Stahl, Kunststoffe, Elektronikkomponenten etc. und „Fertigung“ für die Teilefertigung und Gerätemontage bei Miele;
- „Distribution“ der Geräte zum Handel;
- „Nutzung“ (mit Bereitstellung von Strom, Wasser und ggf. Wasch- und Reinigungsmittel sowie Abwasserbehandlung);
- Entsorgung (mit den Aufwendungen zur Redistribution und Zerlegung von Altgeräten, zur Gewinnung von Sekundärrohstoffen und Behandlung und Deponierung nicht verwertbarer Reststoffe).

### **3.1.7 Untersuchtes Produktsystem und Systemgrenze**

In der nachstehenden Abbildung ist das untersuchte Produktsystem für die Haupt-Prozessmodule der vier in dieser Studie betrachteten Produktgruppen dargestellt. Darin sind aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht alle Detailprozesse, sondern die Hauptprozesse entlang des Lebenswegs ersichtlich. Auf dieser Ebene wurde ferner dargestellt, für welche dieser Prozessmodule spezifische Daten nach Angaben von Miele herangezogen wurden und umgekehrt, wo Daten aus der verwendeten ecoinvent-Datenbasis 3.01 verwendet wurden. Ebenfalls dargestellt sind am Ende des betrachteten Lebenswegs die Sekundärrohstoffe aus der Abfallaufbereitung entsorgter Altgeräte; wie in Abschnitt 3.1.4 bereits dargestellt wurde, verlassen diese die Systemgrenzen ohne weitere Verfolgung und Vergabe von Gutschriften.

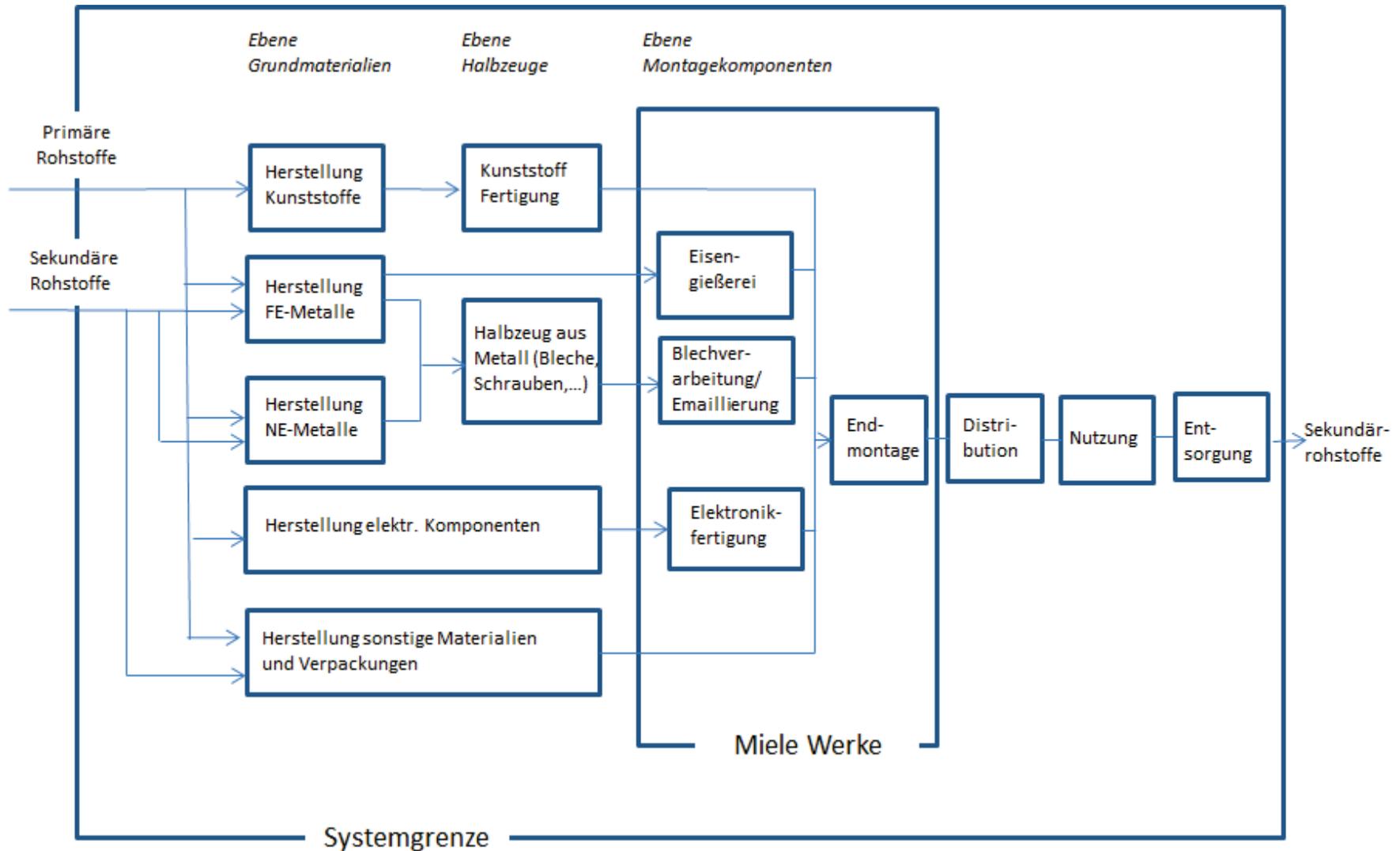


Abbildung 3 Untersuchtes Produktsystem und Systemgrenze

### 3.1.8 Normkonformität und kritische Prüfung

Die hier vorliegende Studie wurde entsprechend den Anforderungen an den Stand von Wissenschaft und Technik nach den dafür relevanten Normen DIN EN ISO 14040 und DIN EN ISO 14044 durchgeführt. Zur Feststellung, ob die der Studie zugrundeliegende Ökobilanz den Anforderungen an die Methodik, Daten, Auswertung und Berichterstattung genügt, wurde nach Abschluss der Studie eine kritische Prüfung durch eine externe Sachverständige, Frau Prof. Dr. Birgit Grahl, durchgeführt. Der Bericht der kritischen Prüfung ist im Anhang enthalten (Kapitel 7.2).

## 3.2 Betrachtung der Lebensdauer

Ausgangspunkt ist für beide Betrachtungen das jeweilige Miele-Referenzgerät (Neugerät) und die Ergebnisse aus den Referenz-Ökobilanzen

Vereinfacht lassen sich beide Betrachtungsweise so darstellen, dass der „vorzeitige Ersatz“ den Blick zurück und die Methode „ökologisch optimalen Lebensdauer“ den Blick nach vorne hat (vgl. Abbildung 4).



Abbildung 4 Methodenbetrachtung „Vorzeitiger Ersatz“ und „Ökologisch optimale Lebensdauer“

Beide Betrachtungen hängen im Wesentlichen von zwei Parametern ab:

- Der Anteil an den Aufwendungen (Umweltauswirkungen) für die Herstellung und die Distribution der Neugeräte sowie die Entsorgung der ggf. zu ersetzenden Geräte<sup>9</sup>.
- Das Einsparpotenzial des Referenzgerätes während der Nutzungsphase durch den niedrigeren Verbrauch an Betriebsstoffen (Strom, Wasser etc.) im Vergleich zum Bestandsgerät bzw. Einsparpotenzial zukünftiger, effizienterer Geräte im Vergleich zum Referenzgerät.

<sup>9</sup> Für die konkrete Bilanzierung wurde aus Vereinfachungsgründen anstelle der Entsorgung der zu ersetzenden Bestandsgeräte die Entsorgung des Referenzgerätes herangezogen, vgl. Abschnitt 3.7.

Generell lässt sich aus den beiden Parametern schließen: je effizienter das betrachtete Gerät ist, desto länger ist die Amortisationszeit oder ökologische Rückzahldauer, also die Nutzungsdauer, ab der sich der Ersatz des betrachteten Geräts durch ein effizienteres (Neu-)Gerät unter Umweltgesichtspunkten lohnt. Dies bedeutet auch: Je effizienter ein heute gekauftes Gerät ist, umso unwahrscheinlicher ist es, dass sich der Ersatz – selbst mit dem besten Gerät am Markt – lohnt. In diesem Zusammenhang ist die Feststellung wichtig, dass auf der methodischen Grundlage von Ökobilanzen wissenschaftlich begründet keine ein-dimensionale Darstellung aller Umweltgesichtspunkte möglich ist. Das heißt die Frage, ob sich der Ersatz unter Umweltgesichtspunkten lohnt, kann ausschließlich für die jeweils ausgewählten Wirkungskategorien und die konkret berechneten Wirkungsindikatoren dargestellt werden, wobei grundsätzlich der Anspruch besteht, mit den ausgewählten Wirkungskategorien die potenziellen Umweltauswirkungen möglichst vollständig abzubilden.

In früher durchgeführten Studien (Rüdenauer und Gensch 2005a und 2005b, Rüdenauer und Quack 2008) konnten sowohl aus ökologischer als auch aus ökonomischer Sicht Kosten- und Umweltbelastungstreiber identifiziert werden. Zu den wesentlichen Kostentreibern zählen der Anschaffungspreis und die Betriebskosten während der Nutzungsdauer, zu den Umweltbelastungstreibern zählt insbesondere der Verbrauch von Betriebsmitteln während der Nutzungsphase, vgl. Abbildung 5.



Abbildung 5 Kosten- und Umweltbelastungstreiber beim vorzeitigen Ersatz von Haushaltsgeräten

### 3.2.1 Vorzeitiger Ersatz

Unter vorzeitigem Ersatz wird der Austausch eines vorhandenen Gerätes durch ein Neugerät verstanden, obwohl das Bestandsgerät noch funktioniert und ein Austausch unter dem Aspekt der Nutzenbereitstellung für den Konsumenten noch nicht notwendig wäre.

Die Bewertung des vorzeitigen Ersatzes von Geräten im Bestand erfolgt entsprechend der Methode der ökologischen Rückzahldauer, die bereits in Rüdenauer und Gensch (2005a und 2005b) sowie in Rüdenauer und Quack (2008) angewandt wurde. Hierfür wird verglichen, ob die Weiternutzung von (Miele-)Bestandsgeräten oder der vorzeitige Ersatz durch Kauf eines Neugeräts ökologisch vorteilhafter ist.

Dazu werden die Einsparungen durch den niedrigeren Verbrauch an Betriebsstoffen (Strom, Wasser etc.) den Umweltauswirkungen gegenübergestellt, die durch die Herstellung, Distribution und durch die Entsorgung der Bestandsgeräte entstehen.

Mit Hilfe von Daten zu den Umweltauswirkungen, die mit der Bereitstellung der Betriebsstoffe verbunden sind, wird das Einsparpotenzial bzgl. der einzelnen Wirkungskategorien während der Nutzungsphase berechnet.

Um die Anzahl an Jahren zu berechnen, die das Neugerät betrieben werden muss, um einen Gleichstand der Umweltbelastungen aus Herstellung, Distribution und laufender Nutzung von neuen Geräten und der Entsorgung des Bestandgerätes einerseits mit den Umweltbelastungen aus dem Weiterbetrieb des Bestandgeräts andererseits herzustellen, kann folgende Rechnung aufgestellt werden:

$$\text{Ökologische Rückzahldauer} = \frac{\text{Umweltauswirkungen}_{\text{Herstellung, Distribution, Entsorgung}}}{\text{Umweltauswirkungen}_{\text{Jährliches Einsparpotenzial, Nutzungsphase}}}$$

Im Zähler dieser Formel stehen also beispielsweise beim Wirkungsindikator Global Warming Potential (GWP) die Treibhausgasemissionen aus der Herstellung und Distribution der Neugeräte zuzüglich der Emissionen aus der Entsorgung des Bestandgerätes – gemessen in kg CO<sub>2</sub>-Äquivalenten. Im Nenner dieser Formel wird die Differenz des GWP aus der Nutzungsphase zwischen dem ineffizienteren Bestandgeräts mit dem effizienteren Neugerät gestellt, mithin das Einsparpotenzial ausgedrückt in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten pro Jahr. Im Ergebnis ergibt sich durch die Bildung des Quotienten die Zeitspanne in Jahren, bei dem ein Gleichstand der CO<sub>2</sub>-Äquivalente besteht.

Diese Zeitspanne wird vereinfacht als ökologische Rückzahldauer bezeichnet. Je kürzer diese Rückzahldauer ist, desto eher sollte das Gerät vorzeitig ersetzt werden.

Als Anhaltspunkt oder „Faustformel“ kann man sagen, dass sich der vorzeitige Ersatz lohnt, wenn diese Zeitspanne kleiner oder gleich 5 Jahre ist. Bei dieser Mindestzeitspanne handelt es sich nicht um einen wissenschaftlich ableitbaren Wert, sondern um eine pragmatische Annäherung. Dabei wird davon ausgegangen, dass sich der Besitzer eines Geräts frühestens nach etwa 10 Jahren Gerätenutzung mit einem möglichen vorzeitigen Ersatz befassen wird. Wenn unter dieser Voraussetzung die nach dem oben dargestellten Ansatz ermittelte ökologische Rückzahldauer länger als 5 Jahre beträgt, kommt man schon nahe an den Bereich der technischen Lebensdauer, so dass nicht mehr von „vorzeitigem Ersatz“ gesprochen werden kann.

In den Kapiteln zu den einzelnen Produktgruppen wird näher beschrieben, welche Merkmale jeweils das Bestandgerät sowie das Neugerät hinsichtlich des oben beschriebenen Zusammenhangs aufweisen.

### 3.2.2 Ökologisch optimale Lebensdauer

Ausgangspunkt dieser Betrachtung ist die Überlegung, dass die Potenziale zur Steigerung der (Energie)-Effizienz der Haushaltsgeräte begrenzt sind. Viele Einsparpotenziale wurden in der Vergangenheit bereits erschlossen und einer weiteren Steigerung der Effizienz können physikalische Grenzen entgegenstehen. Nicht zuletzt muss auch die Erbringung des Produktnutzens, also beispielsweise die Gewährleistung des erwarteten Wasch- oder Spülergebnisses, gewährleistet sein. Demnach würde sich zukünftig die Differenz zwischen den Verbrauchswerten von Geräten im Bestand und jeweiligen Neugeräten verringern, wodurch Haushaltsgeräte mit längerer Lebensdauer ökologisch vorteilhafter wären.

Diese Frage ist für Miele insbesondere vor dem Hintergrund relevant, dass die überdurchschnittlich lange Lebensdauer ein wesentliches Positionierungsmerkmal der Marke „Miele“ ist und deren Kunden sich bewusst aus diesem Grund für Miele-Geräte entscheiden.

Miele-Geräte werden derzeit technisch auf folgende Produktlebensdauern ausgelegt:

- Waschmaschinen, Wäschetrockner und Spülmaschinen: 20 Jahre,
- Kühl- und Gefriergeräte: 15 Jahre.

Zur Beantwortung der Frage, wie lange die ökologisch optimale Lebensdauer eines heute zum Verkauf vorgesehenen Geräts ist, muss die zukünftige Entwicklung des Energie- und ggf. Wasserverbrauchs der Geräte betrachtet werden (Energieeffizienzsteigerungen).

Die künftig erwarteten Effizienzsteigerungen werden in 10-Prozent-Intervallen abgebildet. Dies bedeutet, dass zukünftige Neugeräte in der Nutzungsphase jeweils um 10% energieeffizienter als das Referenzgerät sind. Die höchste Effizienzsteigerung bei zukünftigen Geräten gegenüber dem Referenzgerät wurde in dieser Studie mit 90% festgelegt. Solche Steigerungen können in der Regel lediglich bei Wechsel von Technologien beobachtet werden, beispielsweise beim Wäschetrockner mit der Einführung der Wärmepumpentechnologie.

Die Ergebnisse der bilanzierten Umweltauswirkungen (z.B. GWP) der neuen Geräte in der Nutzungsphase verhalten sich immer proportional zu den angenommenen Energieeffizienzsteigerungen. Demgegenüber wird angenommen, dass trotz dieser erwarteten Effizienzsteigerungen sich die Umweltauswirkungen aus den anderen Lebenswegphasen (also Herstellung, Distribution und Entsorgung) nicht ändern. Das Einsparpotenzial in der Nutzungsphase kann aufgrund der Energieeffizienzsteigerung gegenüber dem Referenzgerät (Basis-szenarien) folgendermaßen berechnet werden:

$$Umweltauswirkungen_{\text{JährlichesEinsparpotenzial}} = Umweltauswirkungen_{\text{Nutzung/Jahr/Gerät}} * x[\%]$$

wobei

- Umweltauswirkungen (Nutzung/Jahr/Gerät) die jährlichen Umweltemissionen (z.B. kumulierten Energieaufwand (KEA), Treibhauspotenzial (GWP)) des Referenzgeräts in der Nutzungsphase repräsentiert,
- x die Energieeffizienzsteigerung (in %) gegenüber dem Referenzgerät darstellt.

Die entsprechende optimale ökologische Lebensdauer in Jahren lässt sich wie folgt berechnen: die Umweltauswirkungen der Herstellung, Distribution und Entsorgung werden durch die aufgrund der Energieeffizienzsteigerung eingesparten Werte (Einsparung des zukünftigen Geräts in der Nutzung gegenüber dem Referenzgerät) des neuen Geräts dividiert.

$$\text{Ökologische optimale Lebensdauer} = \frac{Umweltauswirkungen_{\text{Herstellung, Distribution, Entsorgung}}}{Umweltauswirkungen_{\text{JährlichesEinsparpotenzial}}}$$

Diese Formel sowie die Einheiten der Parameter in Zähler und Nenner sind grundsätzlich identisch mit der in Abschnitt 3.2.1 erläuterten Formel zur ökologischen Rückzahldauer. Der Unterschied besteht in der Frage, auf welche Geräte die Parameter bezogen werden: Während sich bei der ökologischen Rückzahldauer die Parameter auf das Bestandsgerät und das Neugerät (=Referenzgerät) beziehen, wird die ökologisch optimale Lebensdauer mit Parametern bestimmt, die die Eigenschaften von Referenzgerät und zukünftigen Geräten widerspiegeln. Die ökologisch optimale Lebensdauer kann somit auch als ökologische Rückzahldauer unter definierten zukunftsbezogenen Annahmen interpretiert werden.

Zusammenfassend soll diese Betrachtung eine Antwort auf die Frage geben, auf welche optimale ökologische Lebensdauer die Geräte ausgelegt werden sollten, also wie hoch unter Annahmen zur zukünftigen Entwicklung von Einspartechnologien aus heutiger Sicht die Lebensdauer eines Haushaltsgeräts sein sollte.

### 3.2.3 Rahmenbedingungen und Herausforderungen

Auf der Grundlage der im vorgegangenen Abschnitt diskutierten grundsätzlichen Betrachtungsweise dieser Studie werden nachstehend weitere Aspekte diskutiert, die für die Rahmensetzung der vorliegenden Studie relevant sind.

## Systemzusammenhänge

Bei Waschmaschinen muss neben der Energieeffizienz des Geräts auch der Systemzusammenhang mit der Trocknung der Wäsche mit betrachtet werden. Hat das Bestandsgerät eine vergleichsweise geringe maximale Schleuderdrehzahl und wird im betreffenden Haushalt mangels anderer Möglichkeiten oder vorhandener Konsummuster die Wäsche größtenteils im Wäschetrockner getrocknet, kann der Ersatz der Bestandsmaschine durch eine neue Waschmaschine mit höheren Schleuderdrehzahlen und damit einer geringeren Restfeuchte der Wäsche vor dem Trocknungsvorgang im Gesamtzusammenhang mit Blick auf Energieeinsparung durchaus sinnvoll sein, selbst wenn bei einer Einzelbetrachtung nur des Waschens dieser Ersatz nicht angezeigt erscheint.

Solche Systemzusammenhänge können allerdings nur bei Betrachtung konkreter Situationen in einzelnen Haushalten angemessen berücksichtigt werden, im Rahmen von Studien wie der hier vorliegenden wird daher zur Komplexitätsreduktion eine Einengung auf Einzelgeräte vorgenommen.

## Änderungen in der Auszeichnung des Energieverbrauchs

Für die meisten großen Haushaltsgeräte existiert die Energieverbrauchskennzeichnung schon seit Mitte der 1990er Jahre. Die Angaben zum Stromverbrauch basieren auf standardisierten Messverfahren und sind damit prinzipiell vergleichbar. Da die Deklaration vorgeschrieben ist, liegen die Daten für die Geräte der betroffenen Produktgruppen grundsätzlich vor, auch wenn entsprechende Datenbanken zu allen (Bestands-)Produkten nur bedingt verfügbar sind (z.B. Datenbank von CO<sub>2</sub>-Online zu Kühl- und Gefriergeräten). Allerdings haben sich die Messvorschriften für die Energieverbrauchskennzeichnung bei den meisten Produktgruppen in den letzten Jahren geändert. Ein direkter Vergleich von Geräten nach der früheren Energieverbrauchskennzeichnung mit der heutigen ist in diesen Fällen nicht möglich. So bezieht sich beispielsweise bei Waschmaschinen das frühere Label beim Stromverbrauch auf das 60°C-Programm bei voller Beladung. Das neue Label berücksichtigt einen Mix aus verschiedenen Programmen mit unterschiedlicher Beladung, anteilig volle und halbe Beladung bei 60°C bzw. 40°C (2 x 60°C voll-; 2 x 60°C halb-; 3 x 40°C halb beladen). Gleichzeitig ist die Beladungsmenge der Geräte von seinerzeit 5 kg auf heute 8 kg Wäsche gestiegen. In Abschnitt 3.6.1 wird das in dieser Studie gewählte Verfahren näher erläutert, wie trotz dieser Änderungen neue und alte Geräte verglichen werden können.

## Änderungen im Umfeld und in der Gerätenutzung

Eine weitere Schwierigkeit besteht darin, dass sich während der Nutzungsdauer der Hausgeräte die Rahmenbedingungen ändern können, die für die Umweltauswirkungen mitbestimmend sind. Bei allen vier hier betrachteten Produktgruppen ist hier vor allem die weitere Zunahme des Anteils erneuerbarer Energien bei der Bereitstellung von elektrischer Energie

zu nennen. Um diesen Effekt abzubilden, werden fallbezogen die Ergebnisse nicht nur für den Strom-Mix 2010, sondern in einer Sensitivitätsanalyse für den angenommenen Strom-Mix 2030 berechnet. Die Annahmen für diesen Strom-Mix 2030 werden in Abschnitt 3.6.5 diskutiert.

Darüber hinaus eröffnet die Entwicklung im Bereich von Wasch- und Reinigungsmitteln, bei tieferen Temperaturen Wäsche zu waschen bzw. Geschirr zu reinigen, auch die Möglichkeit, zusätzlich Energie in der Nutzungsphase der Geräte zu sparen. Ob und in welchem Umfang Verbraucherinnen und Verbraucher diese Möglichkeit tatsächlich nutzen, kann derzeit nicht eindeutig bestimmt werden. Der Sachverhalt wird daher in dieser Studie nicht abgebildet, wodurch allerdings die die Umweltwirkungen der Nutzungsphase gegenüber den anderen Lebenswegphasen von Waschmaschinen in der Tendenz zu hoch bewertet werden. Anders gesagt kann die ökologisch optimale Lebensdauer bei energiebewusster Nutzung durch den Verbraucher größer sein als die im vorliegenden Modell errechnete optimale Lebensdauer.

Schließlich wird angenommen, dass sich bei einem vorzeitigen Ersatz die Nutzungsansprüche der Verbraucherinnen und Verbraucher und die Nutzungsintensität der Geräte nicht ändern. Konkret bedeutet dies, dass beispielsweise beim Wechsel der Kühl-Gefrier-Kombination kein größeres Gerät mit höherem Nutzvolumen gewählt wird. Bei Waschmaschinen und Wäschetrocknern wird auch davon ausgegangen, dass die die größer gewordene Beladungskapazität nicht dazu verleitet, mehr Wäsche zu waschen oder dass der Anteil an Teilbeladungen zunimmt. Schließlich wird auch unterstellt, dass ein energieeffizienterer Wäschetrockner nicht zu einem geänderten Verbraucherverhalten führt, nämlich dass auch bei vorhandener Möglichkeit im Freien Wäsche zu trocknen das Gerät öfter genutzt wird als das weniger effiziente vormalige Gerät.

Nur unter diesen Bedingungen ist die grundlegende Annahme dieser Studie zutreffend, dass das energieeffizientere Neugerät gegenüber einem bestehenden Gerät tatsächlich auch zu einem dementsprechend verringerten Energieverbrauch führt.

### **3.3 Geräteauswahl Referenzgerät**

In der nachstehenden Tabelle werden für die vier in dieser Studie betrachteten Produktgruppen die wichtigsten Kennwerte der jeweiligen Miele-Referenzgeräte zusammengefasst:

Tabelle 2 Kennwerte der für die Referenz-Ökobilanz herangezogenen Miele-Geräte (Verbrauchswerte gemäß Energieverbrauchskennzeichnung), Quelle aller Angaben: Miele 2013

Kategorie	Modell (Miele-Bezeichnung)	Kapazität	Energieeffizienzklasse	Stromverbrauch	Wasserverbrauch
Waschmaschine	WKH130 WPS	8,0 kg	A+++	168 kWh/a	10.560 l/a
Wäschetrockner	TKR 350 WP	8,0 kg	A++	232 kWh/a	entfällt
Spülmaschine	G 6300	14 Maßgedecke	A+++	235 kWh/a	2.716 l/a
Kühl-Gefrier-Kombination	KF36673iD	208 l Kühlen 58 l Gefrieren	A+++	164 kWh/a	entfällt

Die in der obigen Tabelle verzeichneten Verbrauchswerte beziehen sich jeweils auf die gerätespezifischen Standardbedingungen nach den Vorgaben der entsprechenden Kennzeichnungsrichtlinien. Eine Diskussion dieser Werte bzw. die Begründung abweichender Annahmen zur Nutzungsphase für die betrachteten Produktgruppen erfolgt in Abschnitt 3.6 dieser Studie.

### 3.4 Herstellung der Referenzgeräte

Grundsätzlich erfolgte die Bilanzierung der Geräteherstellung in zwei Schritten:

- Bilanzierung der Materialvorketten:  
 Hierzu erfolgte eine Auswertung von Unterlagen von Miele zur Zusammensetzung der ausgewählten Referenzgeräte nach Komponenten und Materialgruppen. Anhand dieser Materialanalysen erfolgte eine Zuordnung zu den betreffenden Datensätzen aus der ecoinvent-Datenbank. Die Zuordnung im Einzelnen kann der im Anhang enthaltenen tabellarischen Übersicht entnommen werden (Kapitel 7.1.2). In dieser Übersicht sind auch die zur Verpackung der Geräte eingesetzten Materialien enthalten, sie werden allerdings nicht explizit ausgewiesen.  
 Allgemeine Verluste in den Vorketten bei den Fertigungsprozessen wurden dadurch berücksichtigt, dass den jeweiligen Positionen aus den Stücklisten die betreffenden allgemeinen Datensätze zur Weiterverarbeitung zugeordnet wurden (beispielsweise Walzen von Metallblechen oder profilieren von Messing) und bei diesen verarbeitungsbezogenen Datensätzen in ecoinvent prozesstypische Verluste mit berücksichtigt sind. Spezifische fertigungsbezogene Verluste wie insbesondere Stanzabfälle bei der Fertigung von Metallbauteilen, Angussstutzen bei Gusseisenteilen oder Verluste beim Spritzguss von Kunststoffteilen wurden nicht berücksichtigt. Bei Kunststoffen wird davon ausgegangen, dass sortenreine Verarbeitungsabfälle allein schon aus Kostengründen in enger Kreislaufführung erneut eingesetzt werden. Bei den metallischen Reststoffen wäre eine detaillierte Nachverfolgung der wichtigsten Mengenflüsse

erforderlich gewesen, dies war im gesetzten Rahmen der vorliegenden Studie nicht möglich. In der Tendenz wird durch dieses Vorgehen die Bedeutung der Herstellung bezogen auf die Gesamtbilanz tendenziell etwas unterschätzt, wobei der Einfluss als nicht signifikant angesehen wird.

- **Bilanzierung des Fertigungsaufwands:**  
Für den Fertigungsaufwand wurden aus den jeweils betreffenden Werken von Miele Daten zum Bedarf an elektrischer und thermischer Energie sowie zum Wasserbedarf zur Verfügung gestellt. Diese werksbezogenen Daten wurden nach Anzahl der gefertigten Geräte auf das einzelne Referenzgerät zugeordnet. Die Verbrauchsdaten anschließend wurden mit den folgenden Datensätzen aus ecoinvent verknüpft:

In den nachstehenden Abbildungen werden die Materialanalysen der Referenzgeräte für die vier in dieser Studie untersuchten Produktgruppen dargestellt.

Bei der Materialanalyse für die Waschmaschine, vgl. Abbildung 6, geht hervor, dass die Summe der Eisenmetalle (FE-Metalle) den größten mengenmäßigen Anteil (80%) darstellen, gefolgt von den Kunststoffen (z.B. Polypropylen) mit einem Anteil von 11%. Die übrigen 9% entfallen auf die Nicht-Eisenmetalle (z.B. Kupfer, sonstige Materialien (z.B. Glas) sowie die Elektronik (Leiterplatte und elektronische Bauelemente).

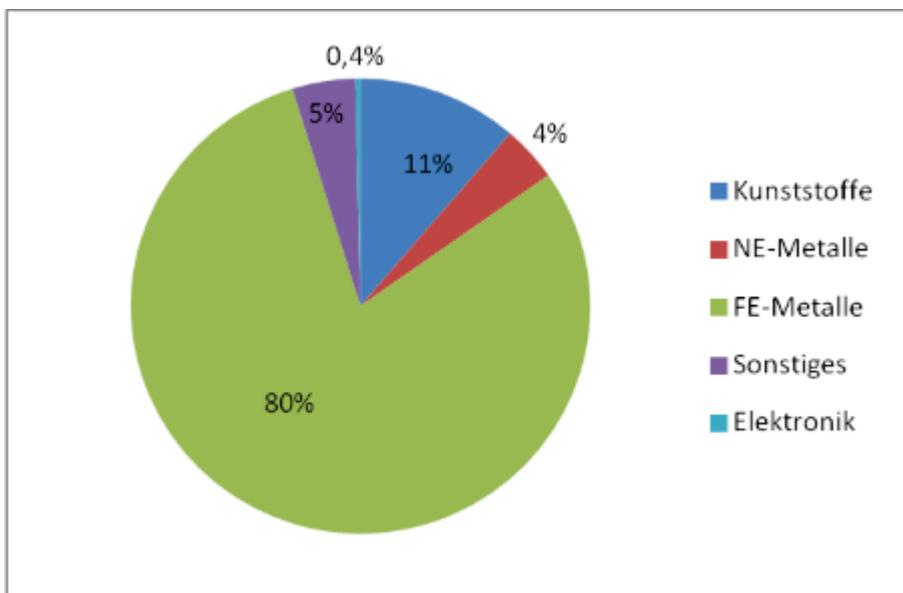


Abbildung 6 Materialanalyse für das Referenzgerät Waschmaschine

Beim Wäschetrockner fällt der Materialanteil der FE-Metalle im Unterschied zur Waschmaschine mit 44% weitaus geringer aus; demgegenüber liegen die NE-Metalle mit einem Anteil von 11% vergleichsweise hoch, siehe nachstehende Abbildung 7. Der Anteil der NE-Metalle

wird im wesentliche durch Kupfer bestimmt, welches im Kältemittelkreislauf für die Wärmepumpe eingesetzt wird.

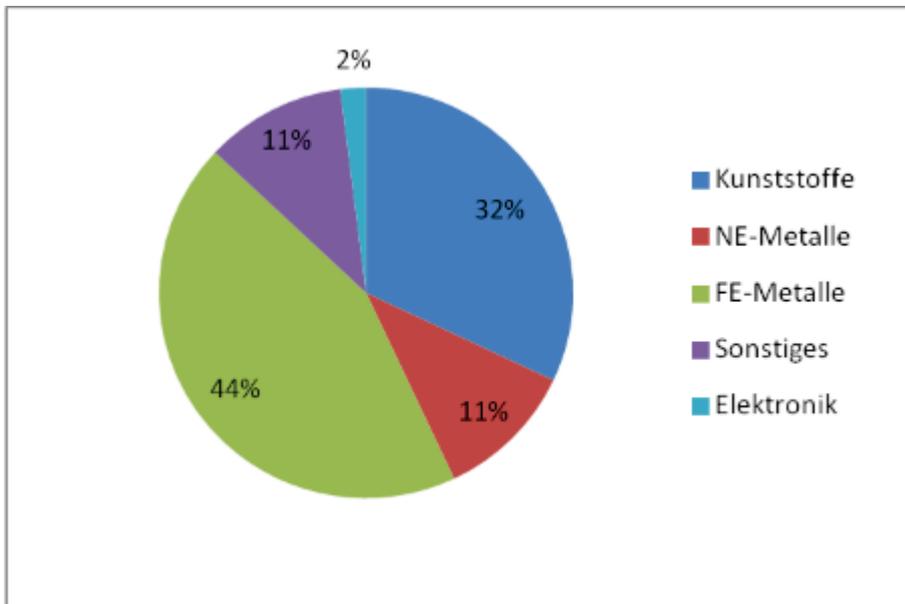


Abbildung 7 Materialanalyse für das Referenzgerät Wäschetrockner

Auch bei der Spülmaschine ist die mengenmäßig größte Materialgruppe FE-Metalle (Stahl etc.), gefolgt den sonstigen Materialien (z.B. Bitumenbahnen) und den Kunststoffen (z.B. Polypropylen), siehe folgende Abbildung.

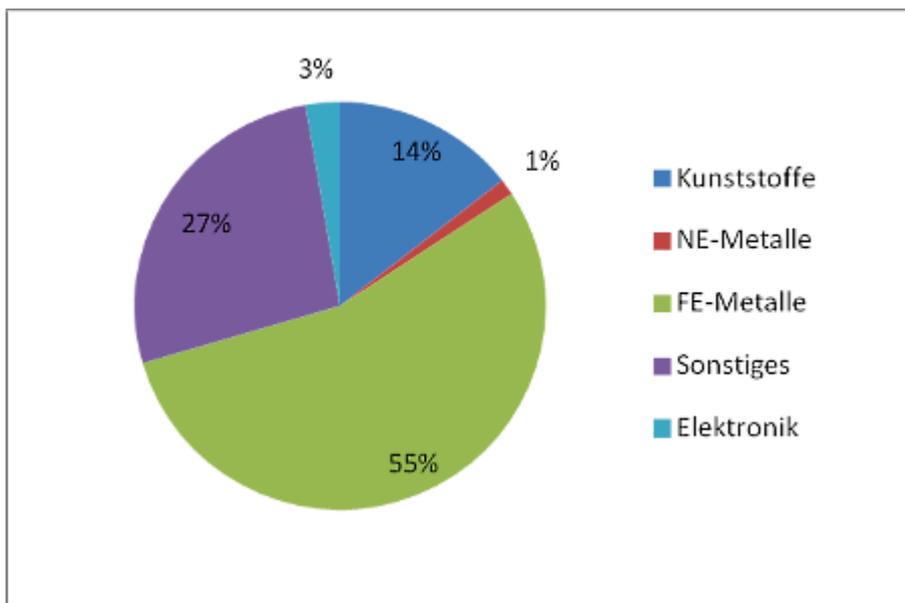


Abbildung 8 Materialanalyse für das Referenzgerät Geschirrspülmaschine

Bei der Kühl-Gefrier-Kombination, vgl. Abbildung 9, ist die dominierende Materialgruppe mit etwa 42% die der Kunststoffe, gefolgt von den FE-Metallen und den sonstigen Materialien, darunter befindet sich auch die zur Wärmedämmung eingesetzte Kieselsäure.

Ein bei Kühl- und Gefriergeräten besonders hervorzuhebender Teil der Materialzusammensetzung sind die verwendeten Kälte- und Schäumungsmittel. Beim Referenzgerät wird das als Kältemittel Isobutan verwendet, wobei aus Gründen der Datenverfügbarkeit hier ersatzweise mit Daten für das Kältemittel Pentan gerechnet wurde.

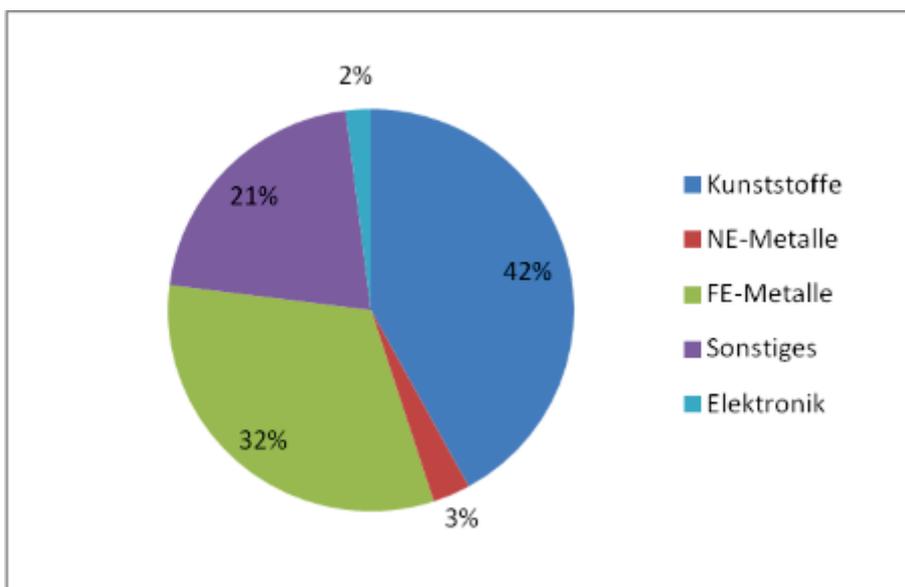


Abbildung 9 Materialanalyse für das Referenzgerät Kühl-Gefrier-Kombination

Die Daten für den Fertigungsaufwand der vier Referenzgeräte sind in der nachstehenden Tabelle zusammengefasst:

Tabelle 3 Fertigungsaufwand für die vier untersuchten Referenzgeräte – alle Zahlenwerte pro Gerät (Quelle der Daten: Miele)

	Waschmaschine	Wäschetrockner	Geschirrspülmaschine	Kühl-Gefrier-Kombination
Strom [kWh]	48,0	6,8	28,5	29,1
Erdgas [kWh]	2,9	9,3	9,3	15,8
Fernwärme [kWh]	-	-	8,8	-
Wasser [l]	23,6	32	33,9	20,5

Die mit dem Fertigungsaufwand verknüpften Daten zu den Vorketten stammen aus eco-invent 2.2; sie sind in der folgenden Tabelle näher dargestellt:

Tabelle 4 Datensätze für die Vorketten zur Bilanzierung des Fertigungsaufwands

Vorkette	Datensatz (Quelle ecoinvent 3.01)	Geographischer Bezug	Zeitlicher Bezug
Strom	market for electricity, medium voltage, kWh	Deutschland	2008–2013
Erdgas	heat production, natural gas, at industrial furnace low-NOx >100kW, MJ	Europa	1990–2013
Fernwärme			
Wasser	market for tap water, at user, kg	Europa	2011–2013

Die Endfertigung des Wäschetrockners erfolgt in Tschechien, zur Vereinfachung des Bilanzierungsmodells wurde bei der Strombereitstellung dennoch mit Daten gerechnet die das deutsche Stromnetz abbilden. Aufgrund des vergleichsweise geringen Beitrags der Fertigung an den Gesamtergebnissen hat diese Vereinfachung allerdings keine Auswirkungen auf die Ergebnisse dieser Studie.

### 3.5 Distribution der Referenzgeräte

Unter Distribution wird hier der Transport der hier betrachteten Hausgeräte ab der Endfertigung bis zum Handel bzw. Endkunden verstanden. Sie bezieht sich auf die Situation in Deutschland und wurde entsprechend den Angaben von Miele sowie Annahmen wie folgt modelliert.

- Laut Miele beträgt die durchschnittliche Entfernung zu den Umschlagpunkten für die Waschmaschinen, Spülmaschine sowie Kühl- und Gefrier-Kombinationen 325 km; beim Wäschetrockner wird aufgrund einer Fertigung im innereuropäischen Ausland von zusätzlich 840 km ausgegangen. Da nicht unbedingt davon ausgegangen werden kann, dass die Spedition ab Umschlagpunkt unmittelbar andere Waren zum Transport aufnehmen kann, wurde jeweils die Hälfte der Wegstrecke als Leerfahrtanteil hinzuge-rechnet.
- Für den weiteren Transport vom Umschlagpunkt zu den Endkunden konnten seitens Miele keine Angaben ermittelt werden. In Anlehnung an Rüdener und Gensch (2004) wurde eine durchschnittliche Transportentfernung von 60 km angesetzt. Hier wurde davon ausgegangen, dass der zum Transport eingesetzte Lkw die gesamte Weg-strecke leer zurückfährt, d.h. es wurde hier insgesamt die doppelte Wegstrecke ge-rechnet.

Ferner wurde das jeweilige Brutto-Gesamtgewicht der hier betrachteten Hausgeräte berücksichtig. In der nachstehenden Tabelle 5 werden die oben beschriebenen Daten zu den Entfernungen mit dem jeweils gerätespezifischen Transportgewicht zu den entsprechenden Transportleistungen (in Tonnenkilometern) zusammengefasst.

Tabelle 5 Datenerhebung für die Distribution der Spülmaschine zu den Verkaufsstandorten ermittelte Input-Daten

Transportgut	Brutto-Gewicht (inkl. Verpackung)	Entfernung Miele – Umschlag- punkte, einfach	Entfernung Umschlag- punkte – Kunden, einfach	Gesamt- entfernung (inkl. Leerfahrten)	Transport- leistung
	kg	km	km	km	t*km
Waschmaschine	101,6	325	60	607,5	61,7
Wäschetrockner	68,4	1165	60	1867,5	127,7
Spülmaschine	56,0	325	60	607,5	34,0
Kühl-Gefrier-Kombination	78,2	325	60	607,5	47,5

Basierend auf diesen Parameterwerten wurden Kraftstoffverbräuche und Emissionen mit dem Datenmodul „market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 [GLO]“ aus ecoinvent 3.01 modelliert.

### 3.6 Nutzung der Referenzgeräte und Vergleichswerte für den vorzeitigen Ersatz

In den nachstehenden Abschnitten werden für die vier betrachteten Produktgruppen jeweils die für die Gerätenutzung relevanten Verbrauchsdaten an Strom und ggf. auch Wasser sowie Wasch- und Reinigungsmitteln dargestellt bzw. hergeleitet. Daneben werden für die Bewertung des vorzeitigen Ersatzes die angenommenen Verbrauchswerte für die Bestandsgeräte aufgeführt.

#### 3.6.1 Waschmaschinen

##### Verbrauchswerte Referenzgerät

Bei Waschmaschinen werden die Umweltauswirkungen während der Nutzung im Wesentlichen durch die spezifischen Verbrauchswerte an Strom, Wasser und Waschmittel bestimmt. Diese hängen teilweise von der Programmwahl und der Häufigkeit der Nutzung ab. Diese Parameter sind wiederum eng mit der Haushaltsgröße korreliert, da diese die Häufigkeit der Nutzung und die Programmwahl mitbestimmt.

Für die Spezifizierung der jährlich in einem durchschnittlichen Privathaushalt durchgeführten Waschgänge in Bezug auf den bei der Festlegung der funktionellen Einheit bestimmten Wäscheposten von 707 kg p.a. wurde auf Daten zurückgegriffen, die in Rüdener et al. (2005) hergeleitet wurden. Durch Kombination der Daten wurde folgende modellhafte Spezifizierung der jährlich in einem durchschnittlichen Privathaushalt durchgeführten

Waschgänge abgeleitet (vgl. Tabelle 6). Die Summe der Anteile nach Waschprogrammen, Waschtemperatur und durchschnittlicher Beladung Waschprogramm stimmt dabei mit empirischen Daten nach Berkholz et al. (2007) überein. Das maximale Fassungsvermögen der Waschmaschine beträgt wie bei der Festlegung der Referenzgeräte dargelegt 8 kg. Die Angaben zu den Verbrauchswerten der einzelnen Waschprogramme basieren auf gemessenen Werten von Miele.

Tabelle 6 Referenzgerät: Spezifikation des durchschnittlichen Waschverhaltens bzgl. Programmwahl, Waschtemperatur und Beladung sowie zugehörige Verbrauchswerte je Programm (gerundete Zahlenwerte)

Programm	Anteil [%]	Beladung		Temperatur		Verbrauch	
		Menge [kg]	Anzahl Wäschen	Temp. [°C]	Anteil [%]	Strom [kWh]	Wasser [l]
Baumwolle 90°	65,5	8,0	5	90	5,9	2,30	58
Baumwolle 60°		8,0	5	60	5,2	1,35	58
Baumwolle 60°		4,0	9	60	5,2	1,00	49
Baumwolle 60° Eco		8,0	5	60	5,2	0,80	48
Baumwolle 60° Eco		4,0	9	60	5,2	0,72	46
Baumwolle 40°		8,0	8	40	9,5	0,88	69
Baumwolle 40°		4,0	17	40	9,5	0,68	49
Baumwolle 40° Eco		4,0	17	40	9,5	0,54	39
Baumwolle 30°		8,0	7	30	8,3	0,58	69
Baumwolle 20°		8,0	2	20	2,0	0,30	69
Pflegeleicht 60°		20,5	4,0	10	60	5,4	0,90
Pflegeleicht 40°	4,0		10	40	5,4	0,60	49
Pflegeleicht 30°	4,0		17	30	9,8	0,40	49
Feinwäsche, Synthetik und Anderes	11,5	3,0	14	40	5,8	0,40	40
Feinwäsche, Synthetik und Anderes		3,0	14	30	5,8	0,24	40
Wolle, Seide	2,5	2,0	9	30	2,5	0,23	35
Waschzyklen	100,0		158		100,0		
Gewichteter Verbrauchswert						0,65	48,2

Aus der angenommenen Verteilung nach Programmen und Beladung ergeben sich insgesamt 158 Waschgänge pro Jahr. Der durchschnittliche Energieverbrauch berechnet sich mit 0,65 kWh pro Waschgang, der spezifische Wasserverbrauch beträgt 48,2 Liter pro Waschgang. Diese beiden Werte wurden für die Bilanzierung des Referenzgeräts herangezogen.

Zur Berücksichtigung der Umweltauswirkungen der Waschmittelnutzung wurde keine Differenzierung nach Waschmittelarten vorgenommen, das heißt es wurde vereinfachend angenommen, dass bei allen Programmen ein kompaktes Vollwaschmittel („VWM kompakt“) eingesetzt wird und dieses manuell dosiert wird. Für die Dosiermengen wurden die von Blepp und Gensch (2013) in Abhängigkeit von Programm und Beladung abgeleiteten Werte herangezogen. Für diese Studie wurde demnach von einer durchschnittlichen Dosierungsmenge von 80 g pro Waschgang ausgegangen.

### **Vergleichswerte vorzeitiger Ersatz**

Bei Waschmaschinen haben sich die Messvorschriften für die Energieverbrauchskennzeichnung in den letzten Jahren geändert. Der Stromverbrauch für Waschmaschinen beim alten Label bezieht sich auf das 60°C-Programm bei voller Beladung. Für das neue Label wird der Stromverbrauch sowohl bei halber Beladung als auch im 40°C-Programm gemessen. Ein direkter Vergleich der Verbrauchswerte von Neugeräten mit Bestandsgeräten ist daher nicht möglich.

Ausgangspunkt für die Ableitung einer einheitlichen Vergleichsgrundlage war die im vorangegangenen Abschnitt vorgestellte Tabelle mit den Spezifikationen des durchschnittlichen Waschverhaltens bzgl. Programmwahl, Waschtemperatur und Beladung einschließlich der jeweiligen Verbrauchswerte je Programm. Dieser definierte Wäscheprogramm mix wurde für die Bestandsgeräte entsprechend übertragen, vgl. Tabelle 7. Für die Geräte im Bestand konnten zwei typische geeignete Gerätegenerationen identifiziert werden, ein Bestandsgerät aus dem Jahr 2000 und ein Bestandsgerät aus dem Jahr 2005. Dabei wurden Programmoptionen, die bei der früheren Energieverbrauchskennzeichnung nicht gab, jeweils dem Programm mit der nächst höheren Temperatur zugeschlagen, also beispielsweise 20°C-Wäsche zu 30° und 60° eco zu 60°C regulär. Die Daten wurden seitens Miele anhand von Bedienungsanleitungen der oben definierten Gerätegenerationen entnommen und entsprechend der Wassermenge und der Waschtemperatur im Hauptwaschgang interpoliert. Für das 2000er-Gerät ist durchgängig von einer relativ höheren Beladung ausgegangen worden (also 3 kg statt 2,5 kg, was der halben Beladung entspräche). Diese 60%-Beladung entspricht vermutlich auch der Realität; anderenfalls würde man bei den Geräten mit kleinerer Beladung auf eine unrealistisch hohe Zyklenanzahl kommen.

In den beiden nachstehenden Tabellen, Tabelle 7 und Tabelle 8, werden die zugeordneten Programme samt Beladung und spezifischen Verbrauchswerten dargestellt.

Tabelle 7 Bestandsgerät 2005: Spezifikation des durchschnittlichen Waschverhaltens bzgl. Programmwahl, Waschtemperatur und Beladung sowie zugehörige Verbrauchswerte je Programm (gerundete Zahlenwerte)

Programmbezeichnung (Miele Waschmaschinen)	Anteil [%]	Beladung		Temperatur		Verbrauch	
		Menge [kg]	Anzahl Wäschen	Temp. [°C]	Anteil [%]	Strom [kWh]	Wasser [l]
Baumwolle 90°	65,5	6,0	7	90	5,9	1,99	47
Baumwolle 60°		6,0	12	60	10,3	1,02	47
Baumwolle 60°		3,0	24	60	10,3	0,73	39
Baumwolle 60° Eco*							
Baumwolle 60° Eco*							
Baumwolle 40°		6,0	17	40	14,3	0,65	59
Baumwolle 40°		3,0	34	40	14,3	0,36	39
Baumwolle 40° Eco*							
Baumwolle 30°		6,0	12	30	10,3	0,46	59
Baumwolle 20°*							
Pflegeleicht 60°		20,5	3,0	13	60	5,4	0,78
Pflegeleicht 40°	3,0		13	40	5,4	0,50	55
Pflegeleicht 30°	3,0		23	30	9,8	0,36	55
Feinwäsche, Synthetik und Anderes	11,5	2,0	21	40	5,8	0,57	69
Feinwäsche, Synthetik und Anderes		2,0	21	30	5,8	0,35	69
Wolle, Seide	2,5	2,0	9	30	2,5	0,23	39
Waschzyklen	100,0		206		100,0		
Gewichteter Verbrauchswert						0,58	52,9

\* Keine Zuordnung möglich, da diese Programmoption bei den Bestandsgeräten nicht existiert.

Tabelle 8 Bestandsgerät 2000: Spezifikation des durchschnittlichen Waschverhaltens bzgl. Programmwahl, Waschtemperatur und Beladung sowie zugehörige Verbrauchswerte je Programm (gerundete Zahlenwerte)

Programmbezeichnung (Miele Waschmaschinen)	Anteil [%]	Beladung		Temperatur		Verbrauch	
		Menge [kg]	Anzahl Wäschen	Temp. [°C]	Anteil [%]	Strom [kWh]	Wasser [l]
Baumwolle 90°	65,5	5,0	8	90	5,9	1,70	49
Baumwolle 60°		5,0	15	60	10,3	0,95	49
Baumwolle 60°		3,0	24	60	10,3	0,95	45
Baumwolle 60° Eco*							
Baumwolle 60° Eco*							
Baumwolle 40°		5,0	20	40	14,3	0,50	49
Baumwolle 40°		3,0	34	40	14,3	0,41	45
Baumwolle 40° Eco*							
Baumwolle 30°		5,0	15	30	10,3	0,34	49
Baumwolle 20°*							
Pflegeleicht 60°	20,5	2,0	19	60	5,4	0,82	62
Pflegeleicht 40°		2,0	19	40	5,4	0,45	58
Pflegeleicht 30°		2,0	35	30	9,8	0,33	58
Feinwäsche, Synthetik und Anderes	11,5	2,0	21	40	5,8	0,54	65
Feinwäsche, Synthetik und Anderes		2,0	21	30	5,8	0,35	65
Wolle, Seide	2,5	2,0	9	30	2,5	0,23	35
Waschzyklen	100,0		240		100,0		
Gewichteter Verbrauchswert						0,57	53,4

\* Keine Zuordnung möglich, da diese Programmoption bei den Bestandsgeräten nicht existiert.

Während der spezifische Energie- und Wasserverbrauch vom Alter der Geräte bzw. der Gerätegeneration mit bestimmt wird, hängt der Verbrauch an Waschmittel hauptsächlich vom individuellen Dosierverhalten der Verbraucher ab. In dieser Studie wird somit angenommen, dass im Waschmittelverbrauch keine Unterschiede bei der Nutzung von Geräten unterschiedlicher Baujahre bestehen.

In folgender Tabelle sind die Parameter für die herangezogenen Waschmaschinen unterschiedlichen Baujahrs zusammengefasst.

Tabelle 9 Verbrauchswerte von Miele-Waschmaschinen unterschiedlichen Baujahrs im Vergleichsprogramm und bei unterschiedlicher Anzahl Waschzyklen

Kategorie	Modell	Energieeffizienzklasse	Füllmenge max. BW	Stromverbrauch	Wasserverbrauch
			kg	kWh pro Waschgang	Liter pro Waschgang
Referenzgerät	WKH130 (2013)	A+++	8,0	<b>0,65</b>	<b>48,2</b>
Bestandsgerät 2005	W4469 (2005)	A+	6,0	0,58	52,9
Bestandsgerät 2000	W397 (2000)	A+	5,0	0,57	53,4

### 3.6.2 Wäschetrockner

#### Verbrauchswerte Referenzgerät

Für die Modellierung der Nutzungsphase wurde analog zur Waschmaschine die funktionelle Einheit mit 707 kg Wäsche p.a. zugrunde gelegt, wobei zwischen Haushalten unterschieden wird, die ihre Wäsche ausschließlich im Wäschetrockner trocknen (im Folgenden als Szenario „Nutzung 100%“) und solchen, die die Wäsche überwiegend im Wäschetrockner behandeln (Szenario „Nutzung 60%“). Das Verhältnis von voller zu halber Beladung des Trockners entspricht dem beim Waschen der Wäsche.

#### Vergleichswerte vorzeitiger Ersatz

Entsprechend den Berechnungen für die Waschmaschinen wird beim vorzeitigen Ersatz die Nutzung von Geräten unterschiedlichen Alters im Bestand mit der Anschaffung und Nutzung einen neuen Miele-Referenzgerät verglichen. Konkret werden Geräte folgender Baujahre betrachtet:

- Referenzgerät (neu) der Energieeffizienzklasse A++ (Wärmepumpentrockner),
- Bestandsgeräte ab 2008, Energieeffizienzklasse A,
- Bestandsgeräte aus 2004–2005, Energieeffizienzklasse C.

Beim Bestandsgerät aus dem Baujahr 2004–2005 handelt es sich um einen Kondens-trockner mit einer Energieeffizienzklasse C. Das Altgerät von 2008 ist bereits ein Wärme-pumpentrockner mit der Energieeffizienzklasse A. Für das Altgerät 2008 wurde zudem ange-nommen, dass das Kältemittel R134a mit identischer Menge von 0,46 kg wie das Referenzgerät sowie 25%-Verlustrate bei der Entsorgung gerechnet wurde.

Die Unterschiede zwischen Geräten unterschiedlicher Baujahre liegen somit hauptsächlich im Bereich des Stromverbrauchs. Folgende Tabelle stellt die angenommenen Werte der ver-gleichenden Geräte dar, und zwar sowohl unter den Standardbedingungen für das Referenz-gerät mit 160 Zyklen p.a., als auch für die oben dargestellten, auf eine funktionelle Einheit

von 707 kg p.a. bezogenen Szenarien „Nutzung 100%“ und „Nutzung 60%“. Aufgrund der unterschiedlichen Beladungskapazität der Geräte, differiert die Anzahl der Nutzungszyklen zwischen den verglichenen Geräten.

Tabelle 10 Verbrauchswerte in kWh von Miele-Wäschetrocknern unterschiedlicher Baujahre im Vergleichsprogramm

Verbrauch Trockner	Referenzgerät	Bestandsgeräte	
Typ	<b>TKR350 WP</b>	<b>T8626</b>	<b>T4223</b>
Baujahr	ab 07/2013	ab 2008	2004-2005
EEK	A++	A	C
Zuladung in kg	8	6	5
	Verbrauchswerte pro Trocknungszyklus		
BW Schranktrocken, 60%, voll in kWh	1,87	1,85	2,95
BW Schranktrocken, halb in kWh	1,13	1,13	1,72
"Deklarationsverbrauch" (voll/halb=3/4) in kWh	1,45	1,44	2,25
	Verbrauchswerte pro Jahr in kWh		
160 Zyklen <sup>10</sup>	232	230	360
Szenario „Nutzung 100%“	(158 Zyklen) 202	(206 Zyklen) 267	(240 Zyklen) 484
Szenario „Nutzung 60%“	(95 Zyklen) 121	(124 Zyklen) 158	(144 Zyklen) 291

Die Abhängigkeit der Ergebnisse von den gebildeten Szenarien wird in Kapitel 4.2 diskutiert.

### 3.6.3 Spülmaschinen

#### Verbrauchswerte Referenzgerät

Bei Spülmaschinen sind die wesentlichen Parameter für die Unterscheidung der Geräte und die Umweltauswirkungen während der Nutzung die spezifischen Werte für den Verbrauch an Strom, Wasser und Reinigungsmittel (hier Multifunktionsstabs, siehe auch nachfolgende Erläuterungen). Darüber hinaus hängen die Umweltauswirkungen während der Nutzungsphase von der Programmwahl und der Häufigkeit der Nutzung ab. Da es keine unabhängigen Studien über das Nutzungsverhalten der Verbraucher gibt, wurde die Berechnung anhand der Vorgaben zur Berechnung des Energieeffizienzindex aus der Kennzeichnungsrichtlinie für Haushaltsgeschirrspüler (Verordnung 1059/2010 vom 28. September 2010) herangezogen. Demnach wurden als durchschnittliche Spülhäufigkeit 280 Reinigungszyklen pro Jahr angenommen. Dies entspricht etwas mehr als fünf Spülgängen pro Woche (5,4 Spülzyklen). Grundlage für einen Reinigungszyklus ist das sogenannte „Standardprogramm“. Dies ist das

<sup>10</sup> Bei den Verbrauchswerten pro Jahr wird die Zeile mit 160 Zyklen nur zur Orientierung angegeben, weil dies der Zyklenanzahl bei der Energieverbrauchskennzeichnung entspricht.

Programm, das zur Reinigung normal verschmutzten Geschirrs geeignet ist und in Bezug auf den kombinierten Energie- und Wasserverbrauch am effizientesten ist.

Die Datengrundlage zum Energie- und Wasserverbrauch sowie zum Reinigungsmittelverbrauch in der Nutzungsphase beruht auf Angaben von Miele und ist in folgender Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 11 Datengrundlage zum Energie- und Wasserverbrauch sowie zum Reinigungsmittelverbrauch in der Nutzungsphase des Referenzgeräts Spülmaschine

Gerätetyp	Energieverbrauch pro Spülgang / pro Jahr	Wasserverbrauch pro Spülgang / pro Jahr	Wasserverbrauch pro Spülgang / pro Jahr
Referenzgerät (G6300)	0,84 / 235 kWh	9,7 / 2.716 Liter	20 / 5.600 g

Quelle: Miele

### Vergleichswerte vorzeitiger Ersatz

Wie bereits im vorangegangenen Abschnitt erwähnt, sind bei Spülmaschinen für die Unterscheidung der Geräte und die Umweltauswirkungen während der Nutzung die spezifischen Werte für den Verbrauch an Strom, Wasser und Reinigungsmittel<sup>11</sup> ausschlaggebend. Die Daten zu den Umweltauswirkungen durch die Bereitstellung von Geschirrspülmittel und Klarspüler werden lediglich in der Ökobilanz (siehe Kapitel 4.3.1) ausgewiesen. Bei der Berechnung der ökologischen Rückzahldauer des vorzeitigen Ersatzes sind die Zahlen irrelevant, da hier keine Unterschiede in den Verbrauchsmengen an Reinigungsmitteln zwischen alten und neuen Geräten angenommen wurden und es somit keine Differenz zwischen den ‚Umweltauswirkungen Bestandsgeräte‘ und den ‚Umweltauswirkungen neuer Geräte‘ durch die Bereitstellung von Geschirrspülmittel, Klarspüler oder Reinigertabs gibt.

Konkret wurden Geräte aus folgenden Baujahren betrachtet:

<sup>11</sup> Der Verbrauch an Geschirrspülmittel wird „der Vollständigkeit halber“ berücksichtigt. Dieser ist zwar unabhängig von der genutzten Spülmaschine und hängt stark vom Nutzerverhalten ab, allerdings erlaubt seine Berücksichtigung eine bessere Einschätzung der ökologischen Relevanz der verschiedenen Lebenswegphasen. Die Ergebnisse der Bewertung des vorzeitigen Ersatzes von Bestandsgeräten werden durch die Berücksichtigung des Spülmittels nicht verändert. Ein anderes Ergebnis wäre dann zu erwarten, wenn Neugeräte im Unterschied zu Bestandsgeräten über eine automatische Dosierung verfügen würden.

Tabelle 12 Übersicht zu den ausgewählten Geräten der Produktgruppe Spülmaschine: Referenz- und Bestandsgeräte

Gerät (Baujahr)	Verbrauchsdaten pro Spülgang		
	Strom [kWh]	Wasser [L]	Reinigertab [g]
Referenzgerät (neu) G6300 (2013)	0,84	9,7	20
Bestandsgerät G 1830 SC (2005)	1,05	10	20
Bestandsgerät G 691 SC (2000)	1,05	13	20

Darüber hinaus hängen die Umweltauswirkungen während der Nutzungsphase von der Programmwahl und der Häufigkeit der Nutzung ab. Diese kann wiederum eng mit der Haushaltsgröße korreliert werden, die sowohl Größe und Ausstattung des Geräts, als auch die Häufigkeit der Nutzung und die Programmwahl mitbestimmt. In dieser Studie wurden daher verschiedene Szenarien im Nutzerverhalten definiert:

- 280 Reinigungszyklen gemäß Verordnung 1059/2010, was hier gleichbedeutend mit einem Viel-Nutzer Szenario gleichzusetzen ist und den Annahmen der Ökobilanz Referenzgerät entspricht.
- Durchschnittliches Nutzer-Szenario mit 210 Zyklen pro Jahr.
- Wenig-Nutzer-Szenario mit 170 Zyklen pro Jahr.

Bei der Bewertung des vorzeitigen Ersatzes von Spülmaschinen im Bestand werden, wie in Kapitel 4.3.2 dargestellt, die Umweltauswirkungen durch die Herstellung und Distribution der aktuellen Referenzgerät sowie den Umweltauswirkungen durch die Entsorgung den vermiedenen Umweltauswirkungen durch den geringeren Stromverbrauch des aktuellen Referenzgerät während der Nutzungsphase gegenübergestellt und sogenannte ‚ökologische Rückzahl dauern‘ errechnet.

### 3.6.4 Kühl-Gefrier-Kombinationen

#### Verbrauchswerte Referenzgerät

Bei Kühl- und Gefriergeräten werden die Umweltauswirkungen in der Nutzung ausschließlich durch den Stromverbrauch bestimmt; hier wurde für die Ökobilanz des Referenzgeräts der Verbrauch unter den standardisierten Bedingungen der Energieverbrauchsrichtlinie herangezogen.

### Vergleichswerte vorzeitiger Ersatz

Bei der Untersuchung des vorzeitigen Ersatzes wurde der Ersatz der meistverkauften Miele-Modelle aus zwei verschiedenen Jahren innerhalb der letzten 15 Jahre betrachtet (siehe auch oben, Kapitel 4.4.2). Konkret wurden neben dem Referenzgerät Bestandsgeräte aus folgenden Baujahren einbezogen:

Tabelle 13 Kühl- und Gefriergerät-Kombination, die für die Betrachtung des vorzeitigen Ersatzes herangezogen wurde

Kühl-Gefrier-Kombination	Modell	Nutzinhalt [L]		NoFrost	Klimaklasse	Energieeffizienzklasse	Stromverbrauch
		Kühlen	Gefrieren				kWh/Jahr
Referenzgerät	KF37673iD	208	58	ja	SN-T	A+++	164
Gerät 2005	KF9757iD	231	57	nein	SN-ST	A+	307
Gerät 2000	KF680i	136	42	nein	SN	B	394

Beide Bestandsgeräte haben dasselbe Nischenmaß, also 60 cm breit und 178,5 cm hoch. Das Nutzvolumen weicht zwar ab, aber der Gedanke ist, dass die Nutzer der Geräte immer dieselbe Schranknische in ihrer Einbauküche besetzen.

### 3.6.5 Hintergrunddaten für die Bilanzierung

#### Allgemeine Hintergrunddaten

Die in den vorangegangenen Abschnitten diskutierten Verbrauchswerte wurden mit den folgenden Daten für die Vorketten zur Strom- und Wasserbereitstellung verknüpft. Zusätzlich wurde zur Abbildung der Abwasserreinigung eine durchschnittliche Kläranlage für kommunales Abwasser angenommen (vgl. Tabelle 14).

Tabelle 14 Datensätze zur Modellierung der Nutzung

Input	Datensätze (Quelle ecoinvent 3.01)	Zeitbezug	Geographischer Bezug
Strom (Nutzung)	Market for electricity, low voltage, kWh	2008–2013	Deutschland
Wasser (Nutzung)	Market for tap water, at user, kg	2011–2013	Europa
Aufwand zur Reinigung des häuslichen Abwassers	Treatment of wastewater, average, capacity 1.1E10 l/year, m <sup>3</sup>	2000	Schweiz

Wie bereits in Abschnitt 3.2.3 diskutiert wurde, wird während der Produktlebensdauer der in dieser Studie betrachteten Hausgeräte der Anteil erneuerbarer Energie an der Stromproduktion zunehmen. Dies führt dazu, dass die der Umweltbelastungen aus der Nutzungsphase der Hausgeräte abnehmen wird. Um diesen Effekt quantitativ abzubilden und den Einfluss

auf die in dieser Studie verfolgten Fragestellungen zu erkennen, wurde in einer Sensitivitätsanalyse anstelle des o.a. Datensatzes zur Strombereitstellung für das Bezugsjahr 2010 ein Datensatz eingestellt, der den erwarteten Strom-Mix im Jahr 2030 abbildet. Dazu wurde die BMU-Leitstudie 2011 zur Entwicklung der deutschen Bruttostromerzeugung herangezogen. Für die in dieser Leitstudie abgebildeten Kraftwerkstypen wurden jeweils die Entsprechungen von Kraftwerken aus der Ökobilanzdatenbank Ecoinvent 3.01 zugeordnet, wobei zum Teil Pauschalierungen und Vereinfachungen getroffen werden mussten. Daneben wurde vereinfachend angenommen, dass sich im Betrachtungszeitraum bis 2030 ausschließlich die Zusammensetzung der Stromerzeugung nach den Arten von Kraftwerken ändern und für die einzelnen abgebildeten Kraftwerkstypen die spezifischen Wirkungsgrade und Emissionsfaktoren gleich bleiben. Es lässt sich erkennen, dass gegenüber dem im Basisszenario angenommenen Strommix 2010 die THG-Emissionen sowie der Kumulierte Energieaufwand im Strommix 2030 deutlich geringer ausfallen.

Bei den in dieser Studie betrachteten Produktgruppen wird mit Hilfe von Sensitivitätsanalysen sowohl bezogen auf den vorzeitigen Ersatz als auch zur Frage der ökologisch optimalen Lebensdauer der Einfluss der Veränderungen durch ein zukünftiges Szenario Strom-Mix 2030 dargestellt.

Tabelle 15      Anteile an Kraftwerkstypen zur Bereitstellung von Elektrizität im Strommix 2010 und 2030

Kraftwerkstypen	Strommix	Strommix
	2010	2030
Fossile Energieträger	60,8%	36,0%
Steinkohlekraftwerke	21,6%	8,6%
Braunkohlekraftwerke	23,5%	6,4%
Gas- und Ölkraftwerke, sonstige	15,7%	21,0%
Kernkraftwerke	22,6%	0,0%
Erneuerbare Energien	16,6%	64,1%
Wasserkraftwerke	3,3%	4,3%
Windkraftwerke	6,1%	34,7%
Photovoltaik	1,9%	10,1%
Biomasse	5,3%	10,3%
Summe	100,0%	100,0%
GWP (g CO <sub>2</sub> eq./kWh Elektrizität)	665	430
KEA (MJ/kWh Elektrizität)	11,0	6,2

## Waschmittel

Für die Analyse und Bewertung der Umweltauswirkungen durch den Waschmittelverbrauch wurde auf Daten zurückgegriffen, die in einer anderen Studie generiert wurden (Gensch et al. 2010). Die Inhaltsstoffe eines Waschmittels wurden aus Rüdener et al. 2006 entnommen. Die Herstellung der jeweiligen Inhaltsstoffe wurde mit der Datenbank ecoinvent 3.01 bilanziert.

Die Umweltauswirkungen pro kg Waschmittel sind in folgender Tabelle dargestellt.

Tabelle 16 Umweltauswirkungen durch die Herstellung von jeweils 1 kg Vollwaschmittel kompakt

Indikator (Einheit)	Wert pro kg Vollwaschmittel
KEA (MJ)	44,98
Rohstoffentnahme Wasser (Liter)	3,99E-02
Rohstoffentnahme Metalle (kg Fe eq.)	0,23
Landnutzungsänderung (m <sup>2</sup> )	1,58E-03
GWP (kg CO <sub>2</sub> eq.)	2,64
Versauerungspotenzial (kg SO <sub>2</sub> eq.)	1,62E-02
Eutrophierungspot. Süßwasser (kg P eq.)	1,07E-03
Eutrophierungspot. Meerwasser (kg N eq.)	2,25E-03
Photooxidantienpotenzial (kg NMVOC)	1,04E-02

## Reinigungsmittel

Als Reinigungsmittel werden hier sogenannte Multifunktionstabs oder Multitabs berücksichtigt. Diese enthalten neben dem eigentlichen Geschirreiniger auch Klarspüler und Salzersatzstoffe und erfüllen teilweise zusätzliche Funktionen wie z.B. Glas- und Silberschutz. Das Regeneriersalz wird in den Multifunktionstabs durch einen höheren Einsatz von Phosphaten, Citraten und Polycarboxylaten ersetzt, die ihrerseits die „Wasserhärte-Ionen“ Calcium und Magnesium abfangen und die Bildung von Kalkbelägen verhindern. Nach Hauthal und Wagner (2007) kann bei der Verwendung von Multifunktionstabs, die Salzersatzstoffe enthalten, bis zu einer Wasserhärte von ca. 21°dH auf die Zugabe von Regeneriersalz verzichtet werden.

Einfache Reiniger-Tabs – auch als Solotabs bezeichnet – enthalten hingegen nur den Reiniger. Klarspüler und Reiniger müssen hier separat dosiert werden.

In der vorliegenden Studie wird die Verwendung von Multi-Tabs angenommen, und zwar 1 Stück Tab mit einem Gewicht von etwa 20 g pro Spülgang. Die Zusammensetzung der Tabs sowie die verwendeten Datensätze für die Modellierung sind in der nachstehenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 17 Zusammensetzung eines handelsüblichen Spülmaschinen-Tabs (überarbeitet nach Hauthal und Wagner 2007)

Inhaltsstoff	Anteil in %	Datensätze aus Ecoinvent 3.01
Pentanatriumtriphosphat	50	Market for sodium tripolyphosphate, kg [GLO]
Phosphonate	5	Market for glyphosphate, kg [GLO]
Natriumpolycarboxylate	5	Market for polycarboxylates, 40% active substance, kg [GLO]
Soda	20	Market for soda ash, dense, kg [GLO]
Natriumdisilicat	5	Market for sodium silicate, spray powder, 80%, kg [GLO]
Natriumpercarbonat	10	Market for sodium percarbonate, powder, kg [GLO]
Bleichaktivator TAED	2	
Schaumarme Tenside	2	Market for ethoxylated alcohol (AE3), kg [GLO]
Paraffine ("Schaumbremse")	1	Market for paraffin, kg [GLO]
<b>Summe</b>	<b>100</b>	

### 3.7 Entsorgung von Hausgeräten

Sowohl für die Ökobilanzen der Referenzgeräte als auch für die Bewertung des vorzeitigen Ersatzes muss auch die Entsorgung der Geräte abgebildet werden. Da die Beiträge zur Gesamtbilanz in beiden Fällen relativ klein ausfallen, wurde nur zwischen den vier hier betrachteten Produktgruppen unterschieden, aber keine weitergehende Differenzierung nach Gerätealter und somit keine Unterscheidung zwischen Referenzgeräten, Bestandgeräten oder zukünftigen Geräten vorgenommen. Konkret bedeutet dies, dass für die Bewertung des vorzeitigen Ersatzes anstelle der Entsorgung von Bestandsgeräten die Lasten aus der Entsorgung des Referenzgeräts der jeweiligen Produktgruppe bilanziert wurden.

Für die Entsorgung der vier in dieser Studie betrachteten Produktgruppen wurden eine Redistribution und eine anschließende mechanische Behandlung in einer für Elektroaltgeräte ausgelegten Anlage mit einer Jahreskapazität von 50 000 t/a modelliert. Für die Redistribution wurden folgende Annahmen zugrunde gelegt:

Tabelle 18 Annahmen zur Bilanzierung der Umweltauswirkungen durch die Redistribution von Hausgeräten zur Entsorgung

Parameter	Wert
Entfernung (einfach)	100 km
Auslastungsgrad Hinfahrt	60%
Auslastungsgrad Rückfahrt	40%

Basierend auf diesen Parametern wurden Kraftstoffverbräuche und Emissionen mit dem Datenmodul „market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO5 [GLO]“ aus Ecoinvent 3.01 modelliert.

Für die mechanische Behandlung wurde ein entsprechender Datensatz aus Ecoinvent 3.01 herangezogen („*treatment of used industrial electronic device, WEEE collection [RoW]*“)

Aus der Zerlegung und mechanischen Behandlung der Altgeräte werden Sekundärrohstoffe gewonnen. Diese wurden im Rahmen dieser Studie nicht ökobilanziell gutgeschrieben, da bei der Bilanzierung der Herstellung der Materialien für die betrachteten Produktgruppen Materialien mit Sekundärrohstoffanteilen eingesetzt werden, für die keine Lastschrift angesetzt wurde. Bilanztechnisch wurde somit eine „Quasi-Closed-Loop“-Situation zugrunde gelegt (vgl. Kapitel 3.1.4).

## 4 Ergebnisse

In den nachfolgenden Abschnitten dieses Kapitels werden für die vier in dieser Studie untersuchten Produktgruppen die Ergebnisse aufgeführt und diskutiert. Hierzu werden pro Produktgruppe jeweils die Ergebnisse der Ökobilanz dargestellt, danach werden die Überlegungen zum vorzeitigen Ersatz und zu der damit zusammenhängenden ökologischen Rückzahldauer erläutert. Abschließend wird für jede Produktgruppe die Frage der ökologisch optimalen Lebensdauer behandelt.

### 4.1 Waschmaschinen

#### 4.1.1 Ökobilanz Referenzgerät

Die Gesamtergebnisse für die bilanzierte Waschmaschine werden in Tabelle 19 in absoluten Zahlen dargestellt, in Abbildung 10 erfolgt die Darstellung der identischen Zahlenwerte als Verhältniszahlen über den gesamten Lebensweg. Es zeigt sich deutlich, dass die Materialvorketten zur Herstellung sowie die Nutzungsphase im Vergleich zu den anderen Lebenswegphasen bei allen betrachteten Wirkungskategorien mit den höchsten Umweltauswirkungen verbunden sind. Umgekehrt spielen die Lebenswegabschnitte Fertigung, Distribution und Entsorgung keine Rolle, der Beitrag zu dem Gesamtergebnis beträgt hier bei den betrachteten Wirkungsindikatoren jeweils maximal 2%.

Tabelle 19 Ergebnis der Ökobilanz Referenzgerät Miele-Waschmaschine für die berücksichtigten Wirkungskategorien bezogen auf die funktionelle Einheit

Indikator	Herstellung		Distri- bution	Nutzung			Ent- sorgung	Summe
	Material	Fertigung		Strom	Wasser und Ab- wasser	Wasch- mittel		
KEA (MJ)	421	27	9	1.130	83	568	15	2.253
Rohstoffentnahme Wasser (Liter)	141	18	1	698	8.654	505	3	10.017
Rohstoffentnahme Metalle (kg Fe eq.)	31,4	4,05E-02	2,85E-02	2,7	0,9	2,9	7,25E-02	38,1
Landnutzungsänderung (m <sup>2</sup> )	4,36E-03	1,42E-04	1,61E-04	5,50E-03	1,23E-03	2,00E-02	2,44E-04	3,14E-02
GWP (kg CO <sub>2</sub> eq.)	32	2	1	68	6	33	2	144
Versauerungspotenzial (kg SO <sub>2</sub> eq.)	2,11E-01	2,00E-03	1,50E-03	1,01E-01	3,95E-02	2,05E-01	5,50E-03	5,65E-01
Eutrophierungspot. Süßwasser (kg P eq.)	4,00E-02	2,00E-03	4,31E-05	8,15E-02	9,50E-03	1,35E-02	2,36E-04	1,47E-01
Eutrophierungspot. Meerwasser (kg N eq.)	1,15E-02	5,00E-04	8,30E-05	2,40E-02	1,57E-01	2,85E-02	3,18E-04	2,22E-01
Photooxidantienpotenzial (kg NMVOC)	1,41E-01	1,50E-03	2,50E-03	7,50E-02	2,55E-02	1,31E-01	6,50E-03	3,83E-01

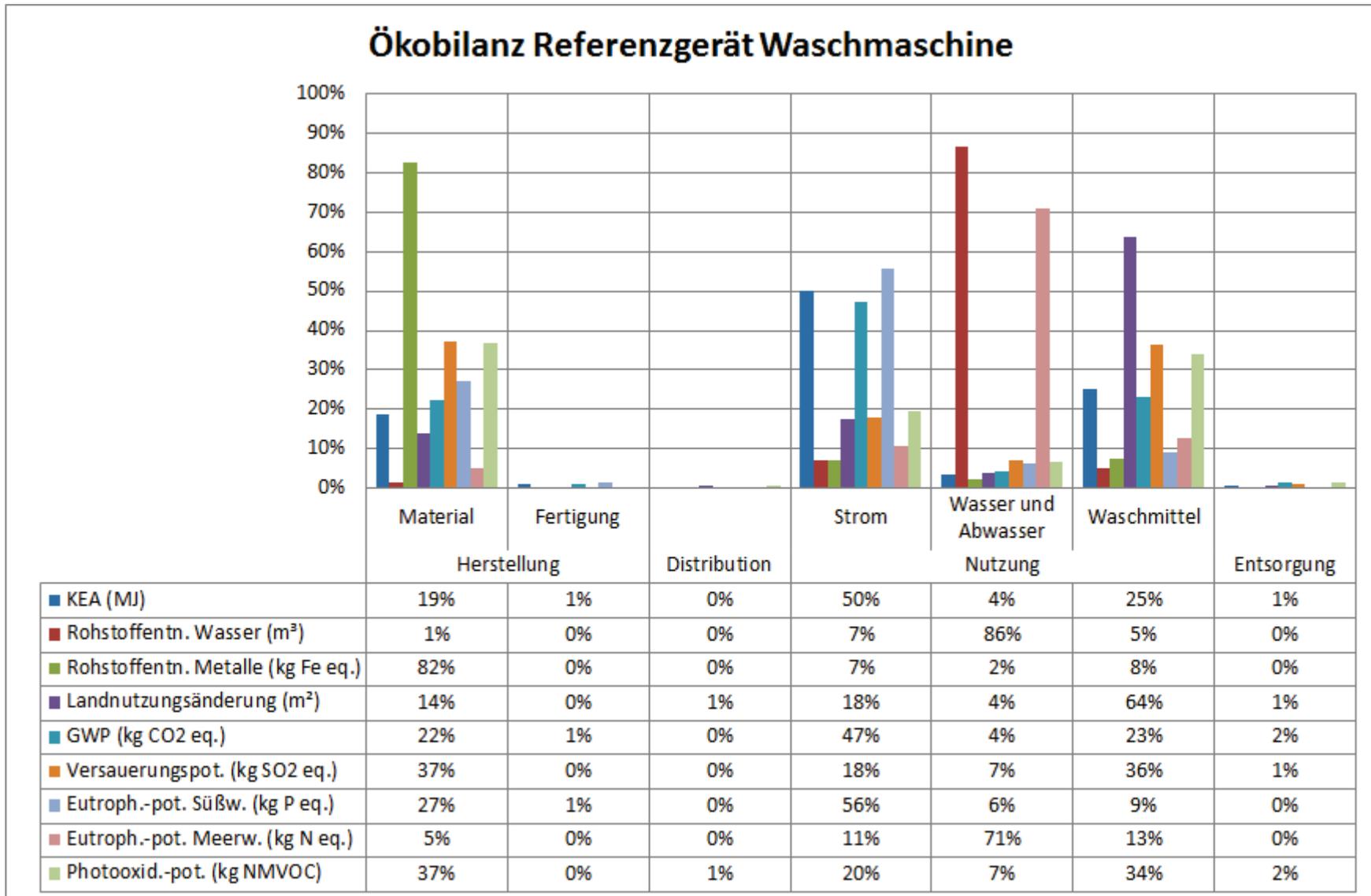


Abbildung 10 Ökobilanz Referenzgerät Waschmaschine: Relative Anteile entlang des Lebenswegs für alle Wirkungskategorien

Bei näherer Betrachtung der einzelnen Beiträge zum Ergebnis ist zu erkennen, dass es jeweils spezifische Lebenswegabschnitte gibt, die das Gesamtergebnis einzelner Wirkungsindikatoren mit hohen Beitragsanteilen dominieren:

- Wesentlicher Treiber für die Rohstoffentnahme von Metallen sind erwartungsgemäß die Materialvorketten, während bei den übrigen Indikatoren dieser Lebenswegabschnitt nur zu Anteilen von rund 10 bis knapp 40 Prozent bezogen auf die Gesamtergebnisse ausmacht.
- Bei der Nutzungsphase ist der Stromverbrauch der maßgebende Treiber für den kumulierten Energieaufwand und die Wirkungskategorien Treibhauspotenzial sowie Eutrophierungspotenzial Süßwasser. Der letztgenannte Indikator wird dabei praktisch ausschließlich durch eutrophierend wirkende Stoffe bestimmt, die beim Abbau von Braunkohle (im derzeitigen Strommix mit einem Anteil von knapp 24% an der Bruttostromerzeugung) freigesetzt werden.
- Die Rohstoffentnahme Wasser wird erwartungsgemäß mit annähernd 90% des Gesamtverbrauchs von der Nutzungsphase der Waschmaschine bestimmt, das Abwasser dominiert die Eutrophierung von Meerwasser.
- Die Beitragsanalyse verdeutlicht ferner, dass die Herstellung der Waschmittelinhaltsstoffe keineswegs vernachlässigt werden kann: sie trägt bei den Indikatoren KEA, GWP, Versauerungspotenzial sowie Photooxidantienpotenzial mit Beiträgen zwischen 25% und 36% nicht unerheblich zu den Gesamtauswirkungen bei. Der landwirtschaftliche Anbau von biogenen Rohstoffen für Waschmittelinhaltsstoffe führt ferner dazu, dass die 2/3 der gesamten bilanzierten Landnutzungsänderungen auf die Waschmittelbereitstellung zurückzuführen ist.

#### 4.1.2 Vorzeitiger Ersatz

Bei der Bewertung des vorzeitigen Ersatzes von Waschmaschinen im Bestand werden, wie in Kapitel 3.2.1 dargestellt, die Umweltauswirkungen aus der Herstellung und Distribution der Neugeräte (Referenzgeräte) und aus der Entsorgung der Bestandsgeräte<sup>12</sup> einerseits mit den vermiedenen Umweltauswirkungen durch den (potenziell) geringeren Stromverbrauch von Neugeräten (auf der Grundlage der definierten Referenzgeräte) während der Nutzungsphase andererseits gegenübergestellt. Daraus wird dann die so genannte ‚ökologische Rückzahldauer‘ errechnet. Die folgende Tabelle stellt diese Rückzahldauer zunächst für die Basisvariante dar, wobei jeweils der Ersatz von Bestandsgeräte aus zwei verschiedenen Zeiträumen (2000 und 2005) in einer Abbildung dargestellt ist.

---

<sup>12</sup> Hier wie auch bei den anderen Produktgruppen ersatzweise bilanziert als Entsorgung des Referenzgeräts, vgl. Kapitel 3.7

Hierzu wird der vorzeitige Ersatz von Miele-Geräten mit dem Referenzgerät (einem typischen Neugerät der Energieeffizienzklasse A+++) betrachtet (vgl. Ausführungen in Kapitel 3.6.2). Die ökologische Rückzahldauer unterscheidet sich für die jeweils betrachtete Wirkungskategorie, die Zahlenwerte in der Abbildung 11 wurden entsprechend gerundet.

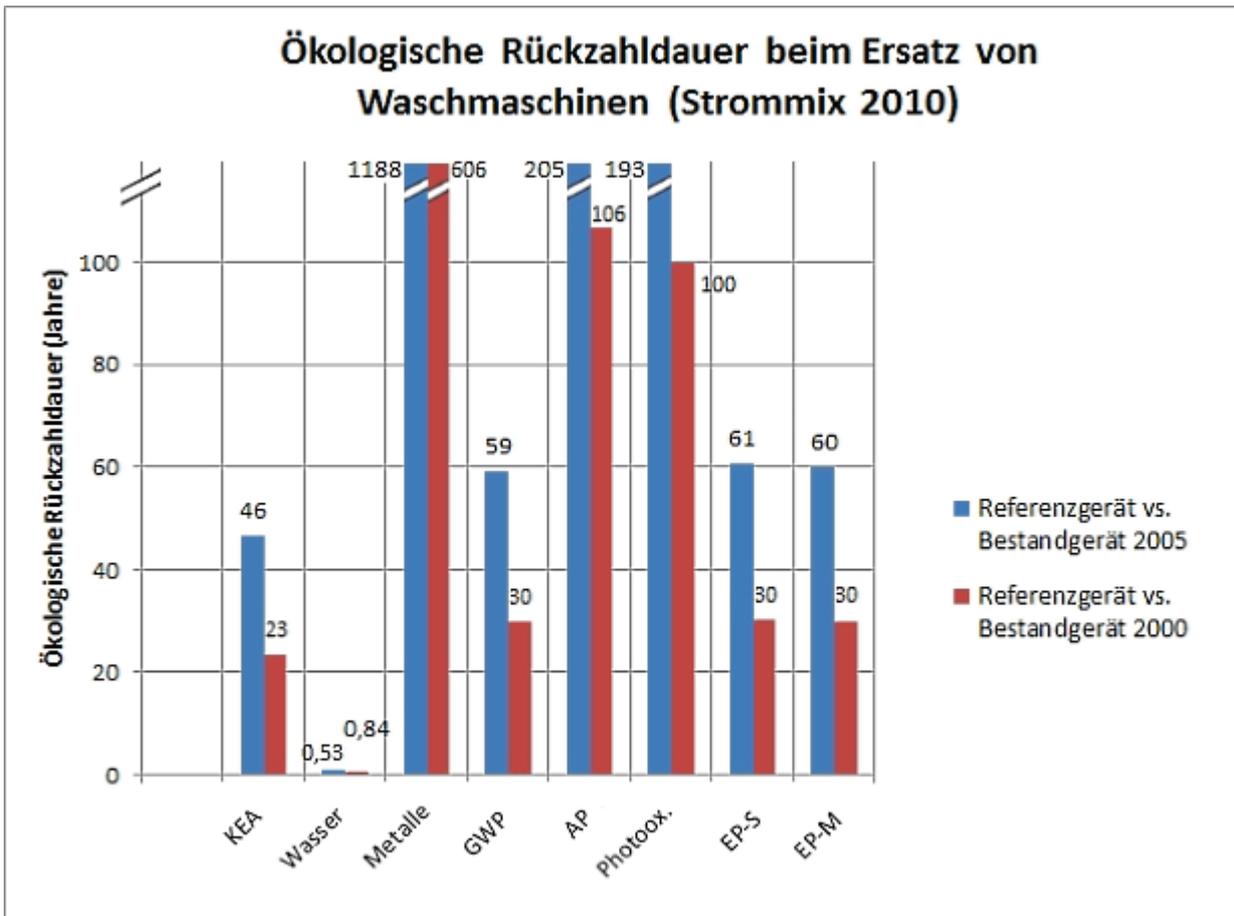


Abbildung 11 Ökologische Rückzahldauer in Jahren beim vorzeitigen Ersatz von Miele Waschmaschinen aus den Jahren 2000 und 2005

Die ökologische Rückzahldauer liegt für beide Bestandsgeräte und alle betrachteten Wirkungskategorien bei weit über 5 Jahren. Neben dem Wasserverbrauch mit einer sehr geringen Rückzahldauer von weniger als einem Jahr gibt es im Vergleich zu den anderen Wirkungsindikatoren nur für die Indikatoren KEA und die THG-Emissionen bei Ersatz des Bestandsgeräts aus dem Jahr 2000 vergleichsweise kurze Rückzahldauern – aber auch hier liegen die Werte bei 23 bzw. 30 Jahren. Bei Annahme der in Abschnitt 3.2.1 eingeführten „Faustregel“, wonach sich ein vorzeitiger Ersatz von Bestandsgeräten nur dann lohnt, wenn die ökologische Rückzahldauer kleiner gleich 5 Jahre beträgt, lohnt sich abgesehen vom Verbrauch an Wasser somit bei beiden betrachteten Waschmaschinen als Bestandsgeräte ein vorzeitiger Ersatz nicht.

Die ökologische Rückzahldauer erhöht sich, wenn anstelle des Strommix 2010 ein erhöhter Anteil an erneuerbaren Energieträgern im Strommix 2030 angenommen wird (Abschnitt 3.6.5), weil dadurch die mit der Gerätenutzung verbundenen Umweltauswirkungen der Strombereitstellung im Vergleich zur Herstellung der Geräte geringer ausfällt; das Ergebnis dieser Sensitivitätsanalyse ist in der nachstehenden Abbildung 12 für die am Beispiel der Indikatoren KEA und GWP dargestellt.

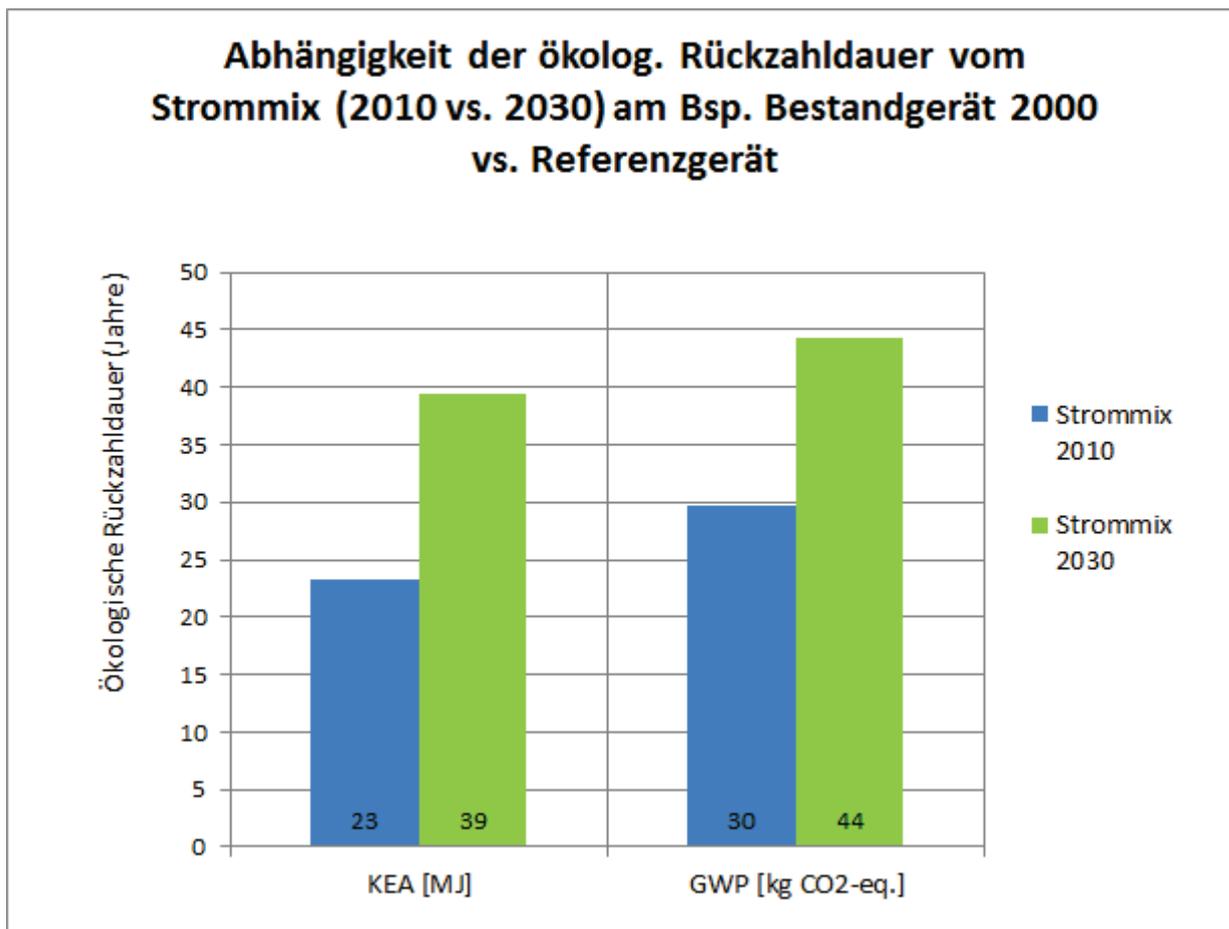


Abbildung 12 Sensitivitätsanalyse: Abhängigkeit der ökologischen Rückzahldauer beim vorzeitigen Ersatz von Miele-Waschmaschinen aus dem Jahr 2000 für den aktuellen Strom-Mix (blaue Balken) und den erwarteten Strom-Mix 2030 (grüne Balken)

Im Vergleich zum Strommix 2010 steigt beim erwarteten Strommix im Jahr 2030 mit einem höheren Anteil an erneuerbaren Energieträgern bei beiden Indikatoren die Rückzahldauer an und liegt bei den Geräten aus dem Jahr 2000 jeweils bei über 20 (KEA) bzw. 30 (GWP) Jahren. Der in den nächsten beiden Jahrzehnten erwartete deutliche Anstieg des Anteils erneuerbarer Energieträger bei der Stromproduktion führt dazu, dass die Umweltauswirkungen aus der Nutzungsphase der Waschmaschinen sinken und sich dadurch die ökologische Rückzahldauer erhöht.

### 4.1.3 Ökologisch optimale Lebensdauer

Wie im einführenden Abschnitt 3.2.2 erläutert wurde, wird bei der Bestimmung der ökologisch optimalen Lebensdauer ausgehend vom Referenzgerät in die Zukunft gesehen und unter Annahmen zu möglichen Effizienzsteigerungen in der Nutzungsphase die daraus resultierende theoretische ökologische (Mindest-)Lebensdauer ermittelt. Bei der hier betrachteten Produktgruppe Waschmaschine beträgt die ökologisch optimale Lebensdauer (Amortisationszeit) je nach Wirkungskategorie zwischen 46 (Rohstoffentnahme Wasser) und über 2000 Jahre (Rohstoffentnahme Metalle), wenn die neue Waschmaschine in der Nutzung 10% energieeffizienter ist. Erst bei Erreichen dieser Werte würden sich die Umweltauswirkungen aus der Herstellung, Distribution und Entsorgung durch die Effizienzsteigerung in der Nutzungsphase amortisieren. Demgegenüber sinkt die ökologisch optimale Lebensdauer bei den meisten Wirkungsindikatoren deutlich (beispielsweise 9 Jahre beim KEA oder 12 Jahre beim GWP), wenn eine (aus heutiger Sicht nicht realistische) Energieeffizienzsteigerung von 90% gegenüber dem Referenzgerät angenommen wird, vgl. Tabelle 20.

Bei der Interpretation der Daten muss beachtet werden, dass mit der in der Tabelle dargestellten Zeitdauer erst dann gerechnet werden kann, wenn die entsprechenden effizienteren Technologien zur Verfügung stehen. So ergibt sich beispielsweise beim Global Warming Potential (GWP) bei einer Effizienzsteigerung von 60% eine ökologisch optimale Lebensdauer von 18 Jahren. Gemessen an den bisherigen Entwicklungszyklen würde die Etablierung einer solchen Effizienzsteigerung etwa 10 Jahre benötigen. Dadurch ergeben sich bei diesem Wirkungsindikator rund 28 Jahre (10 Jahre Zeit Technologieetablierung in Seriengeräten plus 18 Jahre ökologisch optimale Lebensdauer), also ein Gesamtzeitraum, der noch deutlich über der realisierten technischen Lebensdauer von 20 Jahren liegt.

Um die Signifikanz der dargestellten Ergebnisse zur ökologisch optimalen Lebensdauer in Abhängigkeit von den Randbedingungen der Strombereitstellung darzustellen, wurde anhand des Indikators THG-Emissionen eine Sensitivitätsanalyse angestellt: Konkret wurde für die Nutzungsphase des Referenzgerätes anstelle des Strommix 2010 der zukünftige Strommix 2030 mit einem höheren Anteil von regenerativen Energieträgern an der Stromproduktion angesetzt.

Das Ergebnis dieser Sensitivitätsanalyse ist in Abbildung 13 dargestellt.

Ein zukünftiger Strommix würde zu einer deutlichen Erhöhung der optimalen Lebensdauer führen. Unter dieser Voraussetzung würde beispielsweise bei einem Effizienzgewinn von 30% die optimale Lebensdauer von 36 auf 55 Jahre ansteigen. Bei einer Lebensdauer von rund 20 Jahren müsste dann der Effizienzgewinn etwas über 80% betragen, um einen „Gleichstand“ mit dem Referenzgerät zu erreichen.

Tabelle 20 Ökologisch optimale Lebensdauer in Jahren für die Referenzwaschmaschine bezogen auf zukünftig angenommene Effizienzsteigerungen (Stromverbrauch Nutzungsphase) gegenüber dem Referenzgerät

Ökologisch optimale Lebensdauer (Jahre)	Angenommene Effizienzsteigerung (Abnahme des Stromverbrauch) gegenüber Referenzgerät								
	-10%	-20%	-30%	-40%	-50%	-60%	-70%	-80%	-90%
KEA [MJ]	83	42	28	21	17	14	12	10	9
Wasser [m³]	46	23	15	12	9	8	7	6	5
Metalle [kg]	2317	1158	772	579	463	386	331	290	257
GWP [kg CO <sub>2</sub> -eq.]	107	53	36	27	21	18	15	13	12
AP [kg SO <sub>2</sub> -eq.]	437	218	146	109	87	73	62	55	49
Photoox. [kg NMVOC]	404	202	135	101	81	67	58	51	45
EP-S [kg P-eq.]	104	52	35	26	21	17	15	13	12
EP-M [kg N-eq.]	103	52	34	26	21	17	15	13	11

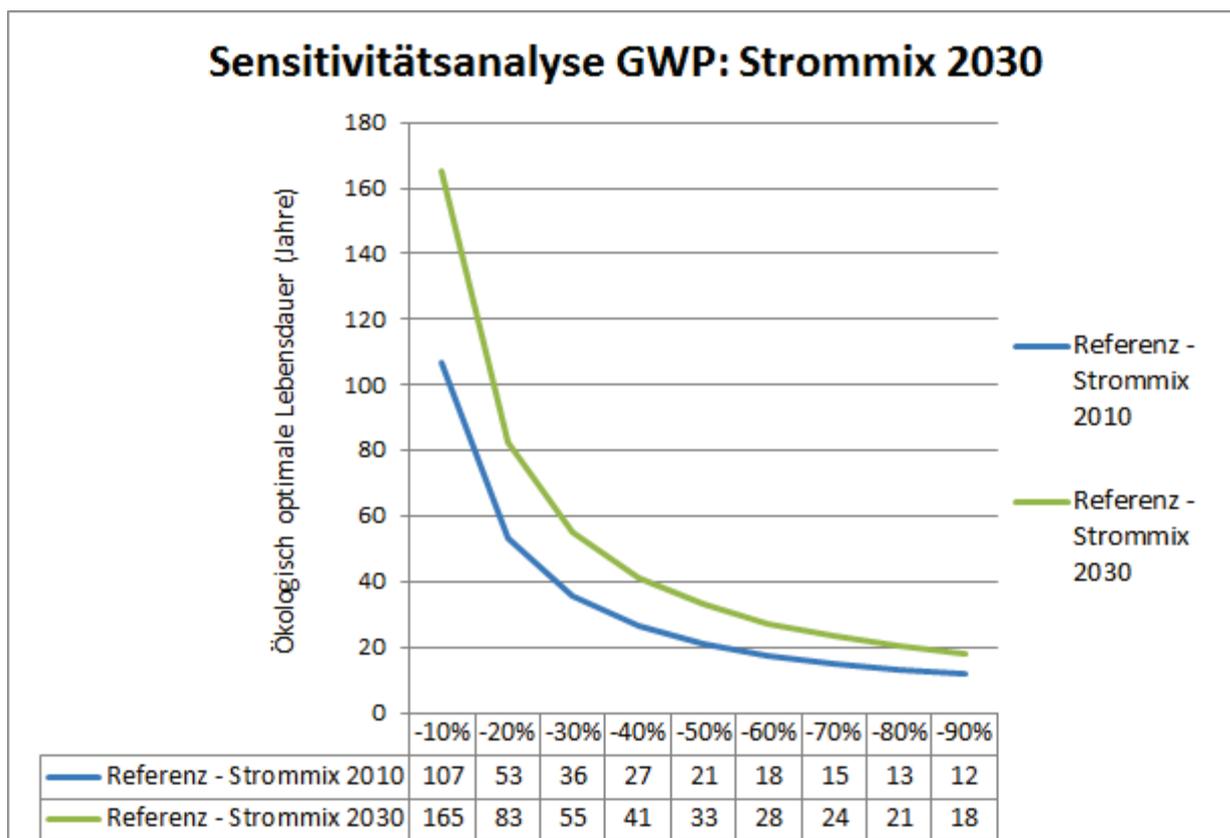


Abbildung 13 Sensitivitätsanalyse GWP: Ökologisch optimale Lebensdauer in Jahren für das Referenzgerät (für Strommix 2010) und Strommix 2030 bezogen auf zukünftig angenommene Effizienzsteigerungen

## 4.2 Wäschetrockner

### 4.2.1 Ökobilanz Referenzgerät

Die in Tabelle 21 und Abbildung 14 zusammengefassten Ergebnisse für den Wäschetrockner zeigen noch ausgeprägter als bei der Waschmaschine die große Bedeutung der Nutzungsphase, die bei diesem Produkt ausschließlich durch den Stromverbrauch bestimmt wird. Mit Ausnahme von zwei Indikatoren, der Rohstoffentnahme Metalle und dem Versauerungspotenzial, hat die Nutzungsphase den größten Anteil an den hier betrachteten Umweltauswirkungen. Erklärungsbedürftig ist, dass die Rohstoffentnahme Wasser zu über 90% von der Nutzungsphase, hier also der Strombereitstellung verursacht wird, obwohl das Gerät selbst im Gegensatz zu Waschmaschinen und Spülmaschinen bei der Nutzung kein Wasser verbraucht. Zurückzuführen ist die nicht unerhebliche Nutzung von Wasser in der Bereitstellung von Brennstoffen sowie zur Kühlung von Kraftwerken. Eine nähere Zuordnung sowie eine Differenzierung zwischen Wassernutzung und Wasserverbrauch sind allerdings auf der Basis der hier durchgeführten Modellierung nicht möglich. Die Herstellung und dabei praktisch ausschließlich die Vorketten der Materialien für die Geräte bestimmt hingegen erwartungsgemäß die Rohstoffentnahme Metalle mit 85% des Gesamtergebnisses. Vergleichbar zur Situation bei der Waschmaschine sind die Anteile der Fertigung, Distribution und Entsorgung bei allen betrachteten Indikatoren vernachlässigbar. Diese Verhältnisse sind darauf zurückzuführen, dass in Wäschetrocknern im Vergleich zu Waschmaschinen weniger Materialien zur Herstellung benötigt werden (rund 68 kg gegenüber 102 kg) und in der Nutzungsphase der Energieverbrauch rund doppelt so hoch ausfällt. Die Umweltauswirkungen durch Kältemittelverluste bei der Entsorgung wirken sich bei einer angenommenen Verlustrate von insgesamt 25% nur geringfügig auf die Ergebnisse aus. Insgesamt überwiegt bei weitem der Energieverbrauch während der Nutzungsphase.

Tabelle 21 Ergebnis der Ökobilanz Referenzgerät Miele-Wäschetrockner für alle Wirkungskategorien bezogen auf die funktionelle Einheit (Szenario „Nutzung 100%“)

Indikator	Herstellung		Distri- bution	Nutzung	Ent- sorgung	Summe
	Material	Fertigung		Strom		
<b>KEA (MJ)</b>	315	20	18	2.222	11	2.586
<b>Rohstoffentnahme Wasser (Liter)</b>	93	12	1,0	1.373	2,0	1.480
<b>Rohstoffentnahme Metalle (kg Fe eq.)</b>	30,4	2,60E-02	5,90E-02	5,4	5,10E-02	35,9
<b>Landnutzungsänderung (m<sup>2</sup>)</b>	2,83E-03	1,74E-04	3,33E-04	1,10E-02	1,72E-04	1,45E-02
<b>GWP (kg CO<sub>2</sub> eq.)</b>	28	1,2	1,1	134	1,6	167
<b>Versauerungspotenzial (kg SO<sub>2</sub> eq.)</b>	2,13E-01	1,50E-03	3,50E-03	1,98E-01	4,00E-03	4,19E-01
<b>Eutrophierungspot. Süßwasser (kg P eq.)</b>	4,55E-02	1,00E-03	8,90E-05	1,61E-01	1,66E-04	2,07E-01
<b>Eutrophierungspot. Meerwasser (kg N eq.)</b>	1,17E-02	3,31E-04	1,72E-04	4,70E-02	2,24E-04	5,95E-02
<b>Photooxidantienpotenzial (kg NMVOC)</b>	1,05E-01	1,00E-03	5,00E-03	1,48E-01	4,50E-03	2,64E-01

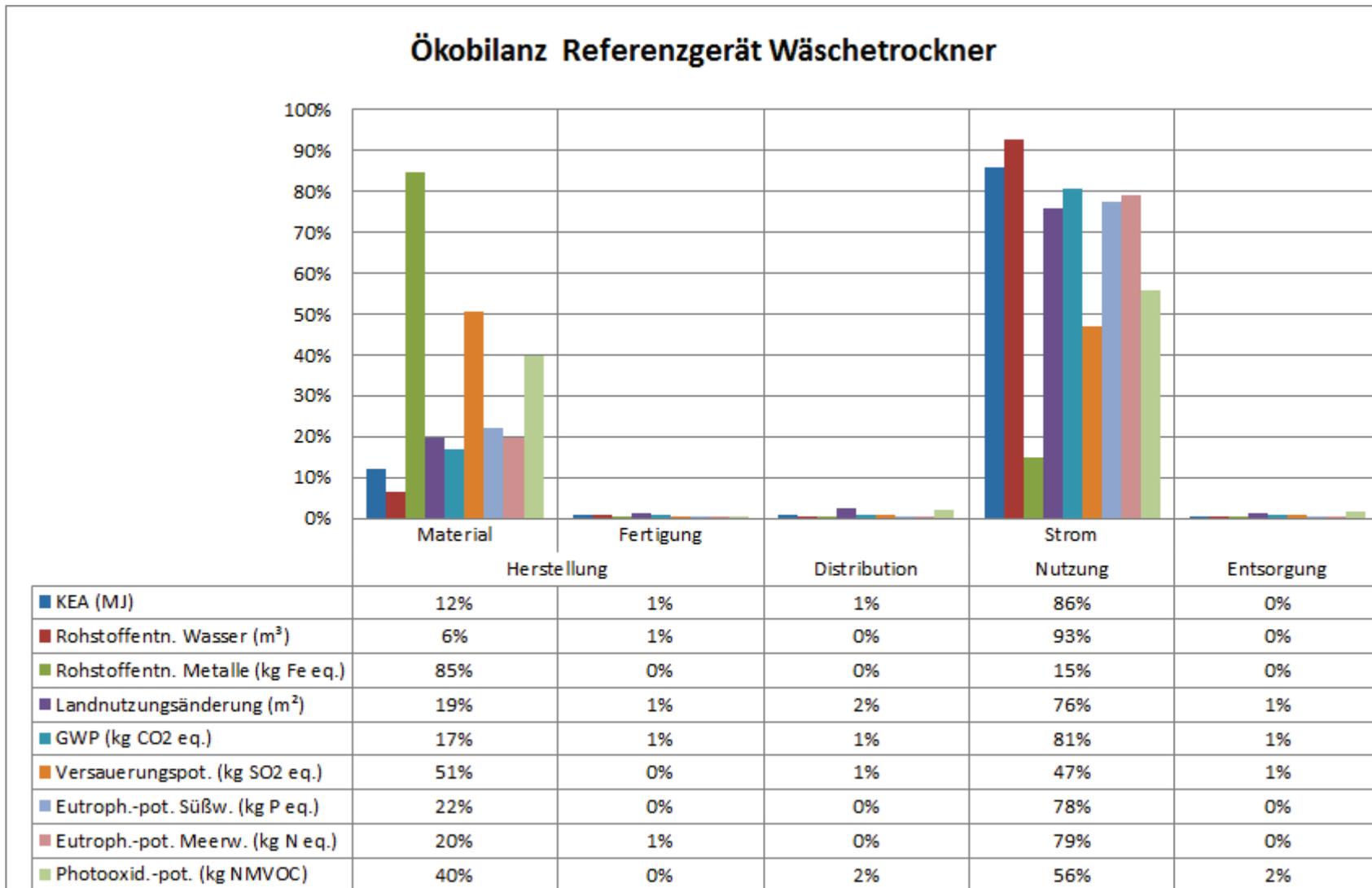


Abbildung 14 Ökobilanz Referenzgerät Wäschetrockner: Relative Anteile entlang des Lebenswegs für alle Wirkungskategorien

#### 4.2.2 Vorzeitiger Ersatz

Die nach der in Abschnitt 3.2.1 beschriebenen Methode ermittelte ökologische Rückzahl-dauer ist in Abbildung 15 dargestellt. Es zeigt sich, dass sich bei den von der Energiebereit-stellung dominierten Indikatoren KEA, Rohstoffentnahme Wasser, GWP und Eutrophierung die Rückzahldauer bei Ersatz des Bestandgeräts aus den Jahren 2004 bis 2005 zwischen 1 und 4 Jahren ausfällt. Bei den stark von prozessspezifischen Emissionen aus den Material-vorketten bestimmten Versauerungspotenzial und Photooxidantienpotenzial kommt es im Vergleich zu den anderen Indikatoren mit 11 bzw. 16 Jahren zu einer signifikanten Ab-weichung nach oben.

Unter Anwendung der „Faustformel“ von 5 Jahren würde sich hier somit der vorzeitige Ersatz von Miele-Geräten aus dem Bestand unter Betrachtung des KEA und des GWP lohnen. Beim Bestandsgerät aus dem Jahr 2008 trifft dies hingegen nicht zu: dieses Gerät verfügt bereits über die Wärmepumpentechnologie mit entsprechend geringeren Verbrauchswerten, die Rückzahldauer fällt daher je nach betrachteten Indikator wesentlich höher aus, sie reicht von 5 Jahren (Rohstoffentnahme Wasser) bis hin zu über 70 Jahren (Versauerungspotenzial AP). Bei der praktisch ausschließlich von den Materialvorketten bestimmten Rohstoffent-nahme Metalle würde die ökologische Rückzahldauer in diesem Fall rund 350 Jahre betragen. Auch bei den „Leitindikatoren“ KEA und GWP fällt die ökologische Rückzahldauer rund doppelt bis über dreifach so hoch aus wie die Faustzahl von 5 Jahren, die als Grenze für den vorzeitigen Ersatz von Bestandsgeräten herangezogen wurde. Das heißt das bei Miele-Bestandsgeräten, die bereits über eine Wärmepumpe verfügen, ein vorzeitiger Ersatz nicht angezeigt ist.

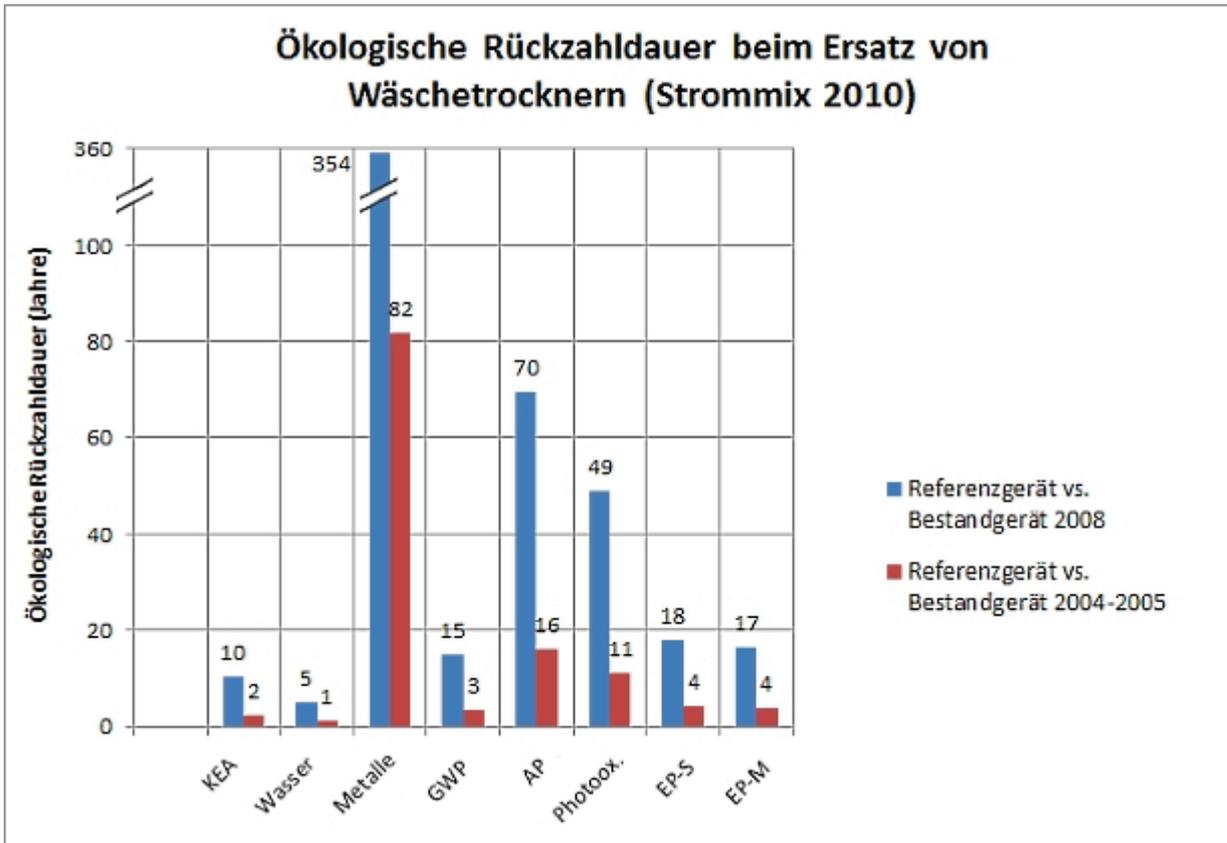


Abbildung 15 Ökologische Rückzahldauer in Jahren beim vorzeitigen Ersatz von Miele-Wäschetrocknern aus den Jahren 2004 bis 2005 und aus dem Jahr 2008 – Nutzung 100%

Beim Bestandsgerät für die Jahre 2004 bis 2005 wurde in einer Sensitivitätsanalyse für die Indikatoren KEA und GWP der Frage nachgegangen, ob sich bei einer weniger intensiven Nutzung des Geräts nach dem in Kapitel 3.6.2 festgelegten Szenario „Nutzung 60%“ die ökologische Rückzahldauer in einem Ausmaß ändert, dass sich der oben diskutierte vorzeitige Ersatz nicht mehr rechnet. Das Ergebnis dieser Betrachtung ist in Abbildung 16 dargestellt. Es zeigt sich, dass die Rückzahldauer erwartungsgemäß ansteigt, sie liegt bei dieser Annahme zur Nutzung des Geräts bei KEA mit 3,9 Jahren unter, beim GWP mit 5,7 Jahren über der festgelegten Marke von 5 Jahren. Nach dieser Faustzahl würde sich ein vorzeitiger Ersatz von Miele-Geräten im Bestand grob vereinfacht gerade noch lohnen.

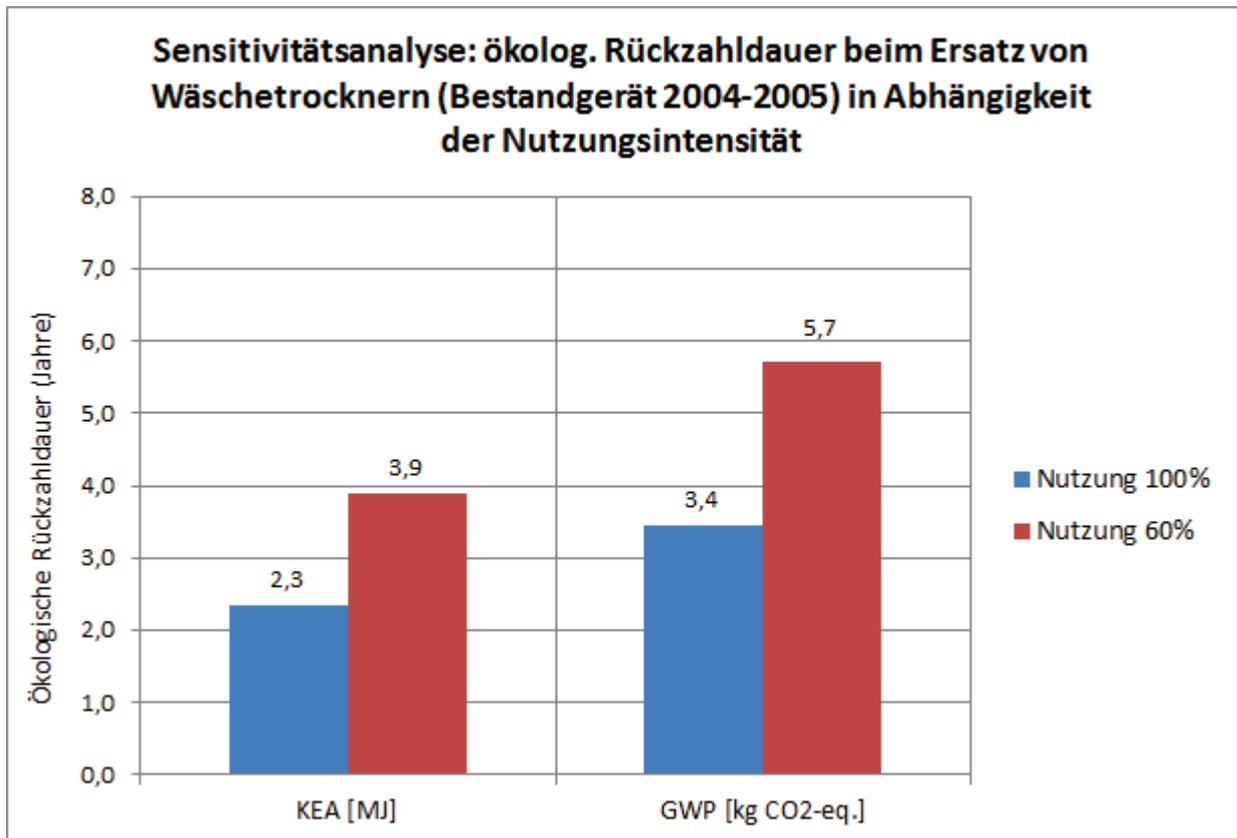


Abbildung 16 Sensitivitätsanalyse: Abhängigkeit der ökologischen Rückzahldauer in Jahren beim vorzeitigen Ersatz von Miele-Wäschetrocknern aus den Jahren 2004 bis 2005 für „Nutzung 60%“ und „Nutzung 100%“

In einer weiteren Sensitivitätsanalyse wurde schließlich für die Indikatoren KEA und GWP der Frage nachgegangen, wie stark die ökologische Rückzahldauer von der Zusammensetzung des Strommix abhängt. Hierzu wurde für beide betrachteten Bestandsgeräte neben dem Strommix 2010 auch der erwartete Strommix 2030 angesetzt. Das Ergebnis dieser Analyse ist in Abbildung 17 dargestellt. Die im Strommix 2030 angenommene starke Zunahme des Anteils erneuerbarer Energieträger an der Stromproduktion führt erwartungsgemäß bei beiden betrachteten Gerätegenerationen dazu, dass sich die ökologische Rückzahldauer erhöht. Sie liegt aber bei den vergleichsweise energie-ineffizienten Bestandsgeräten der Jahre 2004 bis 2005 gerundet immer noch unter der Grenze von 5 Jahren, die als Anhaltspunkt herangezogen wird, ob sich ein vorzeitiger Ersatz lohnt.

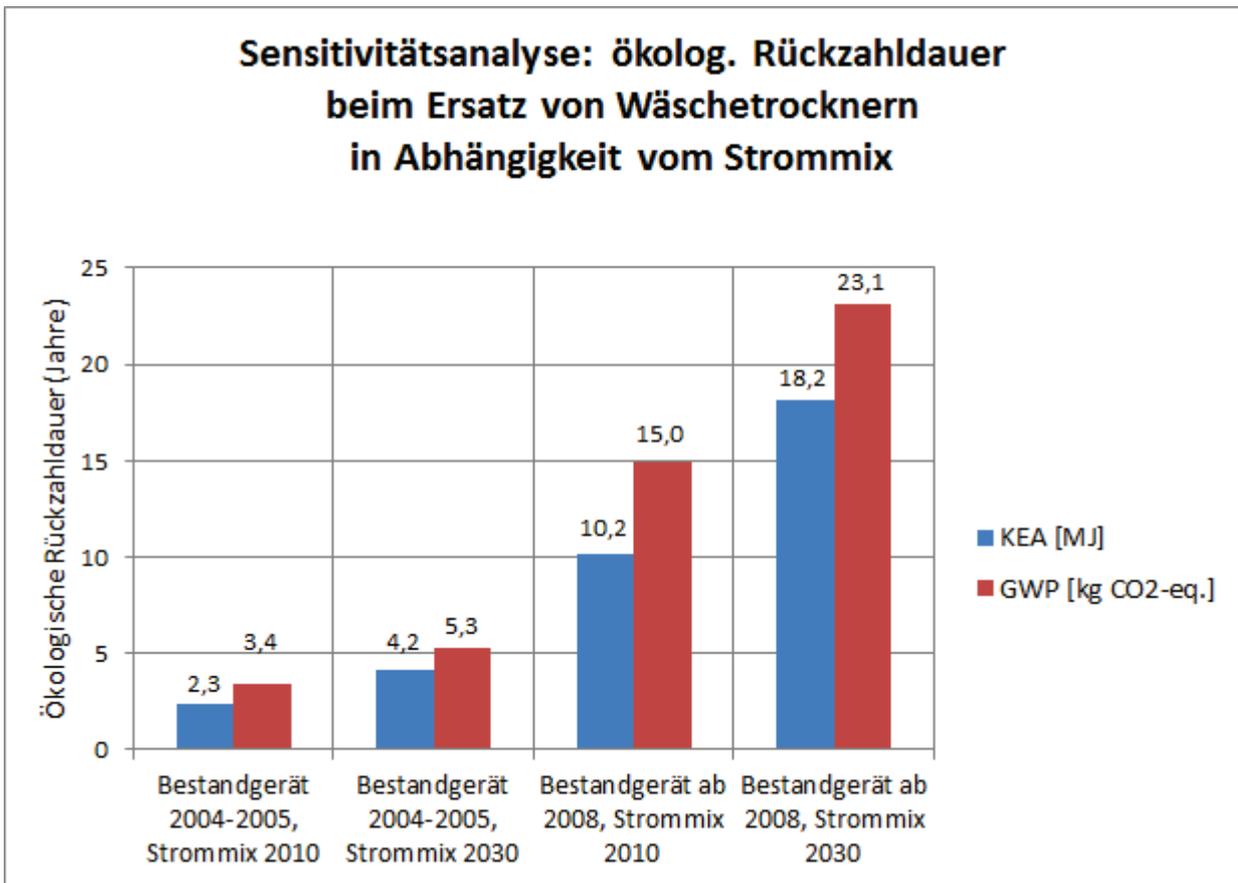


Abbildung 17 Sensitivitätsanalyse: Abhängigkeit der ökologischen Rückzahldauer in Jahren beim vorzeitigen Ersatz von Miele-Wäschetrocknern aus den Jahren 2004 bis 2005 und 2008 für den derzeitigen Strommix 2010 und den erwarteten Strommix 2030

### 4.2.3 Ökologisch optimale Lebensdauer

Bei der hier betrachteten Produktgruppe Wäschetrockner beträgt die ökologisch optimale Lebensdauer (Amortisationszeit) mindestens 16 Jahre (bei der Rohstoffentnahme Wasser) bis über 1000 Jahre (bei der Rohstoffentnahme Metalle), wenn der neue Trockner in der Nutzung 10% energieeffizienter ist, vgl. Tabelle 22. Analog zu den Ergebnissen bei Waschmaschinen (vgl. Abschnitt 4.1.3) muss bei der Interpretation der Daten beachtet werden, dass die Markteinführung einer alternativen, energieeffizienteren Technologie zusätzlich Zeit erfordert. Sollte beispielsweise in 10 Jahren ein Gerät zur Verfügung stehen, das 50% energieeffizienter als das Referenzgerät ist, dann fällt bei Betrachtung der THG-Emissionen die technische Lebensdauer des Referenzgerätes (20 Jahre) mit der optimalen Lebensdauer zuzüglich der Implementierungszeit (10 plus 10 Jahre) zusammen.

Um die Signifikanz der dargestellten Ergebnisse zur ökologisch optimalen Lebensdauer in Abhängigkeit von der Effizienz des betrachteten Wäschetrockners sowie von den Rand-

bedingungen der Strombereitstellung darzustellen, wurden anhand des Indikators THG-Emissionen zwei Sensitivitätsanalysen angestellt:

- Zum einen wurde der Frage nachgegangen, wie sich ökologisch optimale Lebensdauer verschieben würde, wenn **anstelle** des Referenzgeräts eine heute noch nicht verfügbare Technologie („Zukunftsgerät“) kurzfristig realisiert würde mit einer Effizienzsteigerung im Stromverbrauch von -20% gegenüber dem Referenzgerät.
- Zum anderen wurde für die Nutzungsphase des Referenzgerätes anstelle des Strom-Mix 2010 der zukünftige Strom-Mix 2030 mit einem höheren Anteil von regenerativen Energieträgern an der Stromproduktion angesetzt.

Die Ergebnisse dieser beiden Sensitivitätsanalysen sind in Abbildung 18 dargestellt.

Bei einem (noch) effizienteren Zukunftsgerät würde sich die Amortisationszeit gegenüber der Variante Referenzgerät für die betrachtete Wirkungskategorie THG-Emissionen bei einer weiteren Verbesserung der Energieeffizienz um 10% um 12 Jahre erhöhen. Dies bedeutet, dass das Zukunftsgerät 60 Jahre genutzt werden müsste, damit sich die Umweltauswirkungen der Herstellung, Distribution und Entsorgung amortisieren. Noch stärker würde sich ein zukünftiger Strom-Mix auswirken. Unter dieser Voraussetzung müsste beispielsweise der Effizienzgewinn ungefähr 40% betragen, um bei einer Lebensdauer von rund 20 Jahren einen „Gleichstand“ der THG-Emissionen mit dem Referenzgerät zu erreichen.

Tabelle 22      Ökologisch optimale Lebensdauer in Jahren für den Referenz-Wäschetrockner bezogen auf zukünftig angenommene Effizienzsteigerungen (Stromverbrauch Nutzungsphase) gegenüber dem Referenzgerät

Ökologisch optimale Lebensdauer (Jahre)	Angenommene Effizienzsteigerung (Abnahme des Stromverbrauchs) gegenüber Referenzgerät								
	-10%	-20%	-30%	-40%	-50%	-60%	-70%	-80%	-90%
KEA [MJ]	33	16	11	8	7	5	5	4	4
Wasser [m <sup>3</sup> ]	16	8	5	4	3	3	2	2	2
Metalle [kg]	1139	570	380	285	228	190	163	142	127
GWP [kg CO <sub>2</sub> -eq.]	48	24	16	12	10	8	7	6	5
AP [kg SO <sub>2</sub> -eq.]	224	112	75	56	45	37	32	28	25
Photoox. [kg NMVOC]	157	79	52	39	31	26	22	20	17
EP-S [kg P-eq.]	58	29	19	14	12	10	8	7	6
EP-M [kg N-eq.]	53	27	18	13	11	9	8	7	6

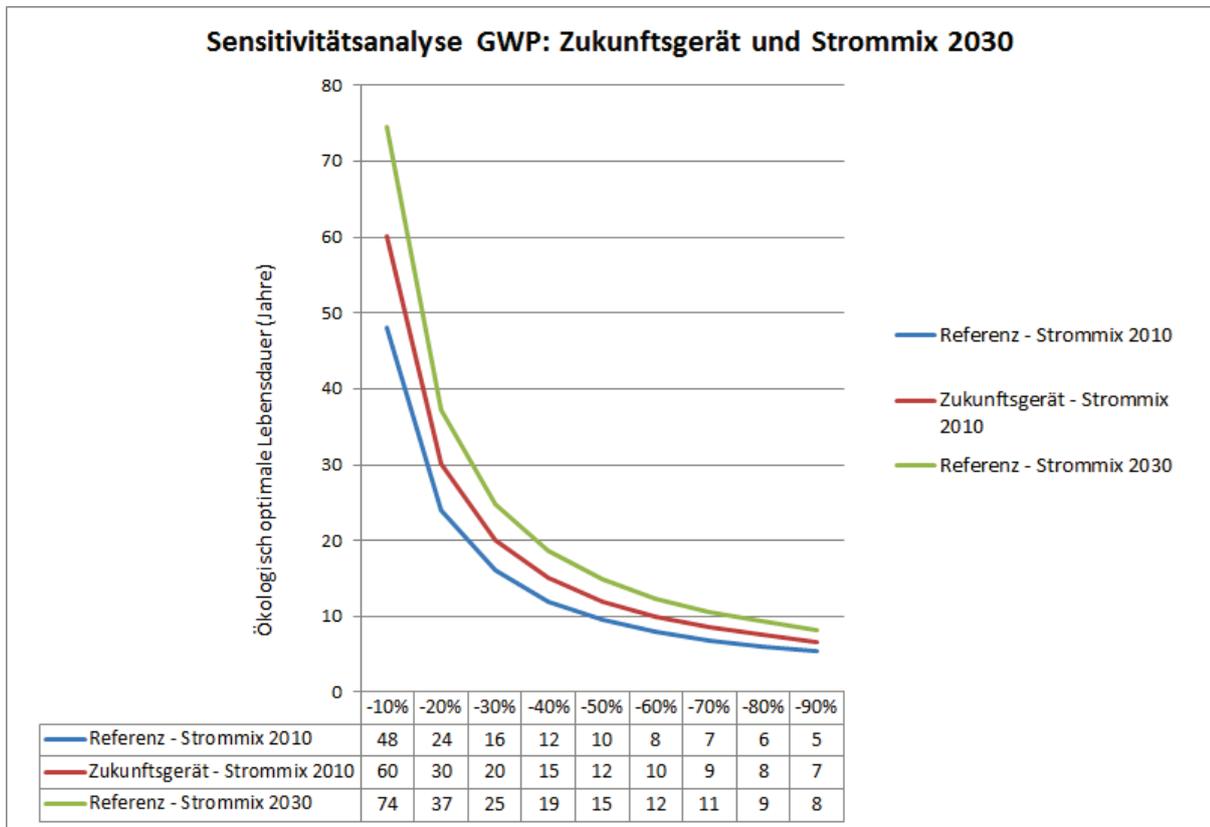


Abbildung 18 Sensitivitätsanalyse GWP: Ökologisch optimale Lebensdauer in Jahren für das Referenzgerät und ein kurzfristig realisiertes Zukunftsgerät (jeweils Strommix 2010) und das Referenzgerät (Strommix 2030) bezogen auf zukünftig angenommene Effizienzsteigerungen

## 4.3 Spülmaschinen

### 4.3.1 Ökobilanz Referenzgerät

Die in Tabelle 23 und Abbildung 19 zusammengefassten Ergebnisse für das Referenzgerät Spülmaschine zeigen ähnliche Ergebnisse wie bei der in Kapitel 4.1.1 behandelten Waschmaschine. Die Lebenswegabschnitte Fertigung, Distribution sowie Entsorgung spielen bei allen betrachteten Wirkungskategorien keine Rolle. Für die Rohstoffentnahme Metalle sind die Prozesse der Materialvorketten mit einem Anteil von 73% erwartungsgemäß dominierend. Bei allen anderen Ergebnisindikatoren ist hingegen die Nutzungsphase dominierend, wobei hier der Stromverbrauch der maßgebende Treiber für den kumulierten Energieaufwand und die Wirkungskategorien Landnutzungsänderungen, Treibhauspotenzial sowie Eutrophierungspotenzial Süßwasser ist. Der letztgenannte Indikator wird wie bereits in Kapitel 4.1.1 erläutert durch den Braunkohleabbau für die Stromerzeugung bestimmt. Die Rohstoffentnahme Wasser wird erwartungsgemäß mit über 60% des Gesamtverbrauchs von der Nutzungsphase der Spülmaschine bestimmt, das Abwasser dominiert die Eutrophierung von Meerwasser. Weiterhin trägt die Herstellung des Tab und der dafür erforderlichen Inhaltsstoffe mit bis zu 32% (Versauerungspotenzial) ebenfalls signifikant zu den berücksichtigten Indikatorergebnissen bei.

Tabelle 23 Ergebnis der Ökobilanz Referenzgerät Miele-Spülmaschine für alle Wirkungskategorien bezogen auf die funktionelle Einheit

Indikator	Herstellung		Distri- bution	Nutzung			Ent- sorgung	Summe
	Material	Ferti- gung		Strom	Wasser/ Abwasser	Tab		
KEA (MJ)	235	6	5	2.588	30	237	9	3.109
Rohstoffentnahme Wasser (Liter)	67	4	0	1.598	3.086	180	2	4.937
Rohstoffentnahme Metalle (kg Fe eq.)	25,0	6,50E-03	1,55E-02	6,2	0,3	2,5	4,20E-02	34,1
Landnutzungs- änderung (m <sup>2</sup> )	2,43E-03	6,90E-05	8,85E-05	1,25E-02	3,95E-04	6,00E-03	1,41E-04	2,20E-02
GWP (kg CO <sub>2</sub> eq.)	16	0	0	156	2	22	1	198
Versauerungspotenzial (kg SO <sub>2</sub> eq.)	1,14E-01	4,48E-04	1,00E-03	2,30E-01	1,40E-02	1,69E-01	3,50E-03	5,31E-01
Eutrophierungspot. Süßwasser (kg P eq.)	2,47E-02	2,69E-04	2,38E-05	1,87E-01	3,50E-03	1,45E-02	1,36E-04	2,30E-01
Eutrophierungspot. Meerwasser (kg N eq.)	5,92E-03	8,15E-05	4,59E-05	5,45E-02	5,62E-02	1,20E-02	1,83E-04	1,29E-01
Photooxidantienpo- tenzial (kg NMVOC)	7,81E-02	3,68E-04	1,50E-03	1,72E-01	9,00E-03	8,05E-02	3,50E-03	3,46E-01

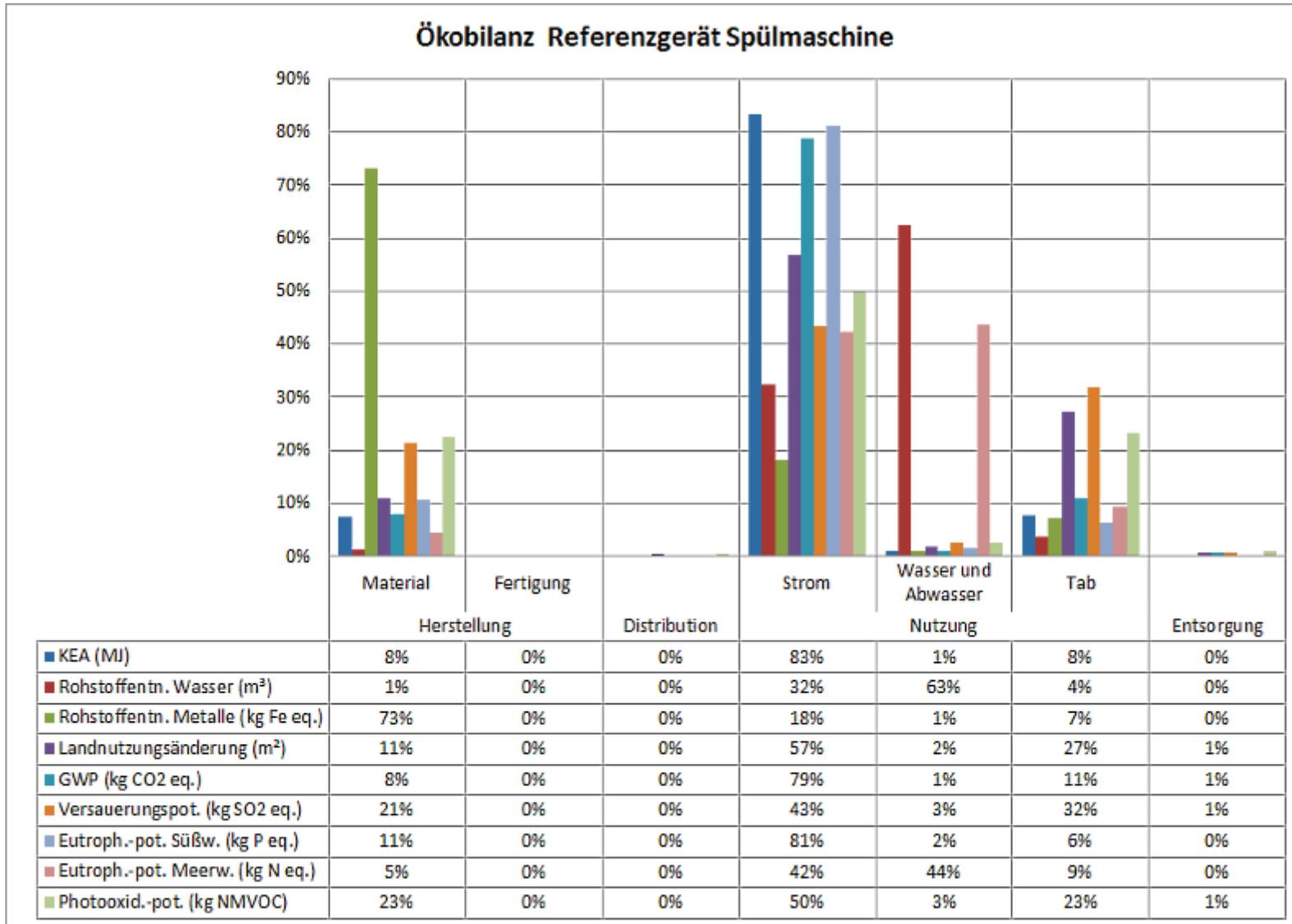


Abbildung 19 Ökobilanz Referenzgerät Spülmaschine: Relative Anteile entlang des Lebenswegs für alle Wirkungskategorien

### 4.3.2 Vorzeitiger Ersatz

Die nach der in Abschnitt 3.2.1 beschriebenen Methode ermittelte Rückzahldauer ist für Spülmaschinen in Abbildung 20 dargestellt. Wie in Tabelle 12 dargestellt wurde, unterscheiden sich die beiden Bestandsgeräte aus den Jahren 2000 und 2005 lediglich im Wasserverbrauch, nicht aber im Energieverbrauch. Da bei den hier relevanten Verbrauchswerten der Geräte die Umweltauswirkungen für die Bereitstellung von Wasser im Vergleich zur Energiebereitstellung um etwa drei Zehnerpotenzen geringer ausfallen, führt dies bei der berechneten Rückzahldauer mit Ausnahme des Indikators „Rohstoffentnahme Wasser“ zu praktisch identischen Werten für beide Bestandsgeräte. Die Rückzahldauer unterscheidet sich wie bei den anderen betrachteten Produktgruppen dieser Studie je nach Wirkungskategorie. Für KEA, GWP, den Wasserverbrauch und das Eutrophierungspotenzial ergeben sich prinzipiell wesentlich kürzere Zeiträume als bei den stark von den Materialvorketten in der Herstellungsphase der Geräte bestimmten Indikatoren, das sind die Rohstoffentnahme Metalle sowie das Versauerungs- und das Photooxidantienpotenzial. Allerdings liegt, mit Ausnahme des Indikators „Rohstoffentnahme Wasser“, bei allen anderen Indikatoren die Rückzahldauer bei Geräten, die im Jahr 2000 oder im Jahr 2005 hergestellt wurden, für die unterschiedlichen Nutzungshäufigkeiten bei über 5 Jahren. Bei den Wirkungskategorien Rohstoffentnahme Metalle, Versauerungspotenzial und Photooxidantienpotenzial ist die Rückzahldauer beim vorzeitigen Ersatz weit länger als 20 Jahre und wird daher während der Lebensdauer des Neugeräts nicht erreicht. Für Bestandsgeräte beider in dieser Studie betrachteten Gerätegenerationen (2000 und 2005) ist die ökologische Rückzahldauer mit Ausnahme des Wasserverbrauchs für alle anderen betrachteten Wirkungskategorien somit größer als 5 Jahre; das bedeutet dass entsprechend der „Faustregel“ sich aus ökologischer Sicht ein vorzeitiger Ersatz nicht lohnt.

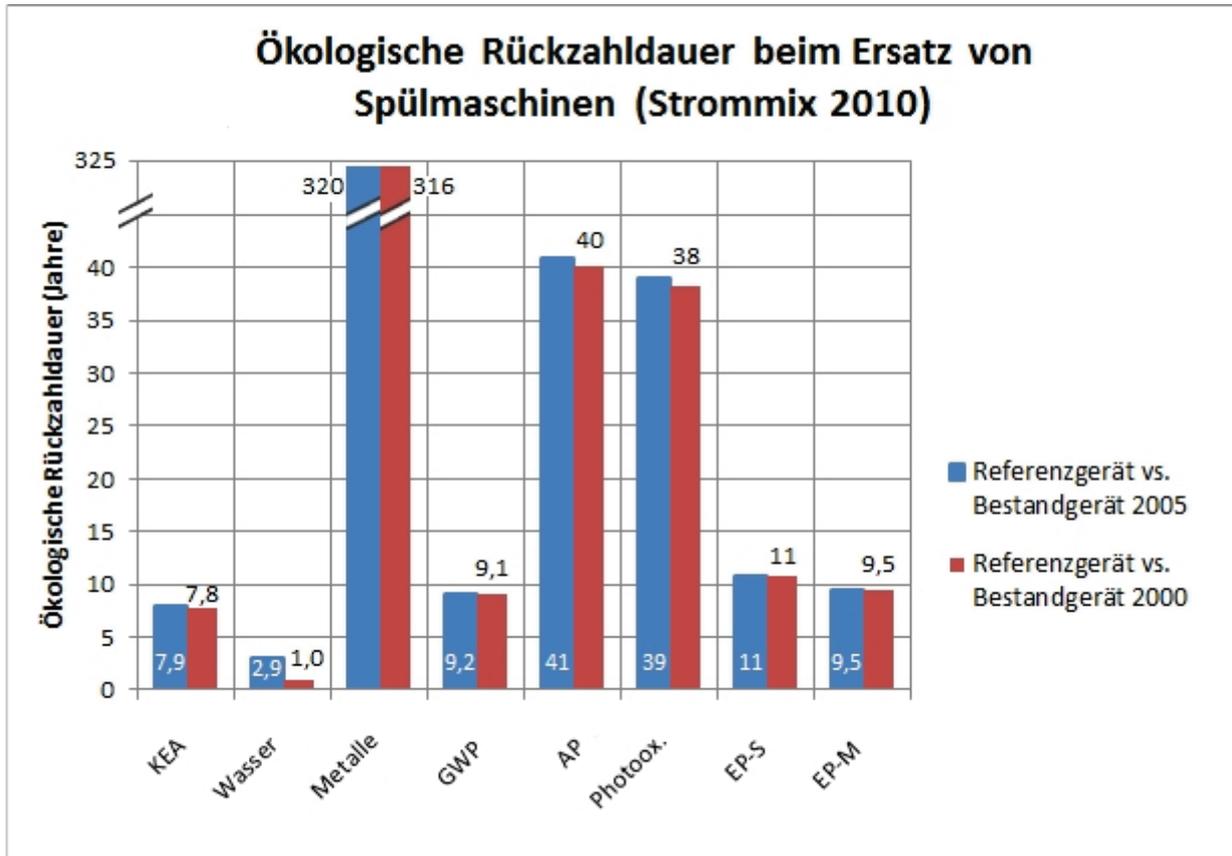


Abbildung 20 Ökologische Rückzahldauer in Jahren beim vorzeitigen Ersatz von Miele-Spülmaschinen aus den Jahren 2000 und 2005

### 4.3.3 Ökologisch optimale Lebensdauer

Bei der hier betrachteten Produktgruppe Spülmaschine beträgt die ökologisch optimale Lebensdauer (Amortisationszeit) mindestens 9 Jahre (beim Indikator „Rohstoffentnahme Wasser“) bis rund 800 Jahre (bei Rohstoffentnahme Metalle), wenn die neue Spülmaschine in der Nutzung 10% energieeffizienter ist. Die ökologisch optimale Lebensdauer würde beispielsweise beim KEA auf rund 5 Jahre sinken, wenn eine (ambitionierte) Energieeffizienzsteigerung von 40% gegenüber dem Referenzgerät. angenommen wird, vgl. Tabelle 24. Auch hier muss wie in den vorgegangenen Abschnitten bei Waschmaschinen (Kapitel 4.1.3) und Wäschetrockner (Kapitel 4.2.3) erläutert wurde beachtet werden, dass die Amortisationszeit mit dem Zeitpunkt der Verfügbarkeit einer alternativen, energieeffizienteren Technologie beginnt. Sollte beispielsweise in 10 Jahren ein Gerät zur Verfügung stehen, das rund 20% energieeffizienter als das Referenzgerät ist, dann fällt beim GWP die technische Lebensdauer des Referenzgerätes mit der ermittelten optimalen Lebensdauer ungefähr zusammen (hier also 10 Jahre Implementierungsdauer plus 11 Jahre ökologisch optimale Lebensdauer).

Auch bei dieser Produktgruppe wurden anhand des Indikators THG-Emissionen eine Sensitivitätsanalyse angestellt, um die Signifikanz der dargestellten Ergebnisse zur ökologisch optimalen Lebensdauer zu überprüfen: Konkret wurde für die Nutzungsphase des Referenzgerätes anstelle des Strommix 2010 der zukünftige Strommix 2030 mit einem höheren Anteil von regenerativen Energieträgern an der Stromproduktion angesetzt.

Die Ergebnisse dieser Sensitivitätsanalyse ist in Abbildung 21 dargestellt. Es zeigt sich bei allen betrachteten Indikatoren eine Verschiebung hin zu höheren Werten für die ökologisch optimale Lebensdauer. Zurückzuführen ist dies darauf, dass mit Blick auf die Umweltauswirkungen wie hier am Beispiel der THG-Emissionen die Nutzungsphase anteilmäßig gegenüber der Herstellung der Geräte an Bedeutung abnimmt und sich daher die Amortisationszeiten zu höheren Werten verschieben.

Tabelle 24      Ökologisch optimale Lebensdauer in Jahren für die Referenz-Spülmaschine bezogen auf zukünftig angenommene Effizienzsteigerungen (Stromverbrauch Nutzungsphase) gegenüber dem Referenzgerät

Ökologisch optimale Lebensdauer (Jahre)	Angenommene Effizienzsteigerung (Abnahme des Stromverbrauchs) gegenüber Referenzgerät								
	-10%	-20%	-30%	-40%	-50%	-60%	-70%	-80%	-90%
KEA [MJ]	20	10	7	5	4	3	3	2	2
Wasser [m³]	9	5	3	2	2	2	1	1	1
Metalle [kg]	802	401	267	200	160	134	115	100	89
GWP [kg CO <sub>2</sub> -eq.]	23	11	8	6	5	4	3	3	3
AP [kg SO <sub>2</sub> -eq.]	103	51	34	26	21	17	15	13	11
Photoox. [kg NMVOC]	98	49	33	24	20	16	14	12	11
EP-S [kg P-eq.]	27	13	9	7	5	4	4	3	3
EP-M [kg N-eq.]	24	12	8	6	5	4	3	3	3

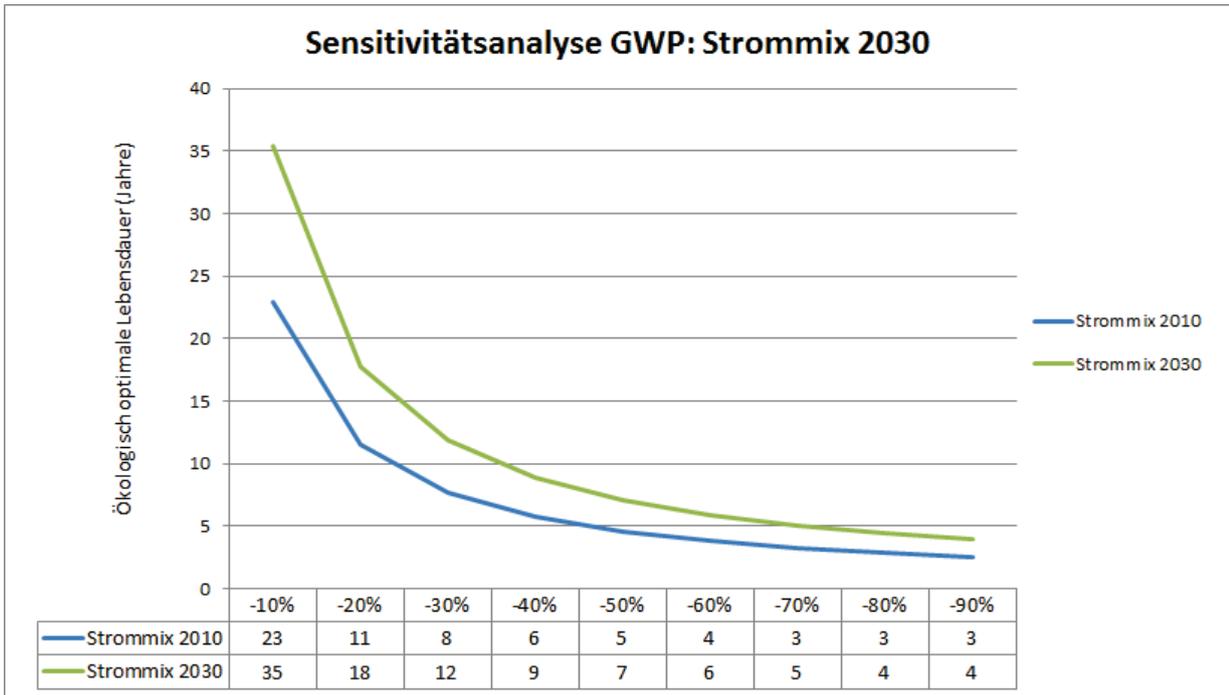


Abbildung 21 Sensitivitätsanalyse GWP: Ökologisch optimale Lebensdauer in Jahren für das Referenzgerät in Abhängigkeit vom Strommix (2010 und 2030) bezogen auf zukünftig angenommene Effizienzsteigerungen

## 4.4 Kühl-Gefrier-Kombinationen

### 4.4.1 Ökobilanz Referenzgerät

Die in Tabelle 25 und Abbildung 22 zusammengefassten Ergebnisse für das Referenzgerät Kühl-Gefrier-Kombination zeigen, dass die bilanzierten Umweltauswirkungen ausschließlich durch die Herstellung (und dort die Materialvorketten) und Nutzung der Geräte bestimmt werden, die Distribution und Entsorgung spielen demgegenüber keine Rolle. Ferner ist der Stromverbrauch in der Nutzungsphase mit Ausnahme der Rohstoffentnahme Metalle der wesentliche Treiber für die weiteren hier berücksichtigten Wirkungskategorien und den KEA. Bei den Indikatoren Versauerungspotenzial und Photooxidantienbildungspotenzial machen die Herstellung und darunter besonders die Materialvorketten den größten Anteil mit jeweils rund 50% aus. Einen hohen Beitrag haben hier die Elektronikkomponenten zur Steuerung und (LED-)Beleuchtung des Geräts

Tabelle 25 Ergebnis der Ökobilanz Referenzgerät Miele-Kühl-Gefrier-Kombination für alle Wirkungskategorien bezogen auf die funktionelle Einheit

Indikator	Herstellung		Distri- bution	Nutzung	Ent- sorgung	Summe
	Material	Fertigung		Strom		
KEA (MJ)	444	26	9	1.804	16	2.299
Rohstoffentnahme Wasser (Liter)	101	15	1	1.114	3	1.233
Rohstoffentnahme Metalle (kg Fe eq.)	24,7	3,47E-02	2,93E-02	4,4	7,80E-02	29,2
Landnutzungsänderung (m <sup>2</sup> )	3,12E-03	2,17E-04	1,65E-04	8,80E-03	2,63E-04	1,27E-02
GWP (kg CO <sub>2</sub> eq.)	27	2	1	109	2	141
Versauerungspotenzial (kg SO <sub>2</sub> eq.)	1,77E-01	2,00E-03	2,00E-03	1,60E-01	6,00E-03	3,47E-01
Eutrophierungspot. Süßwasser (kg P eq.)	2,53E-02	1,33E-03	4,43E-05	1,30E-01	2,53E-04	1,57E-01
Eutrophierungspotenzial Meerwasser (kg N eq.)	1,02E-02	4,48E-04	8,53E-05	3,80E-02	3,41E-04	4,93E-02
Photooxidantienpotenzial (kg NMVOC)	1,25E-01	1,33E-03	2,67E-03	1,20E-01	6,67E-03	2,56E-01

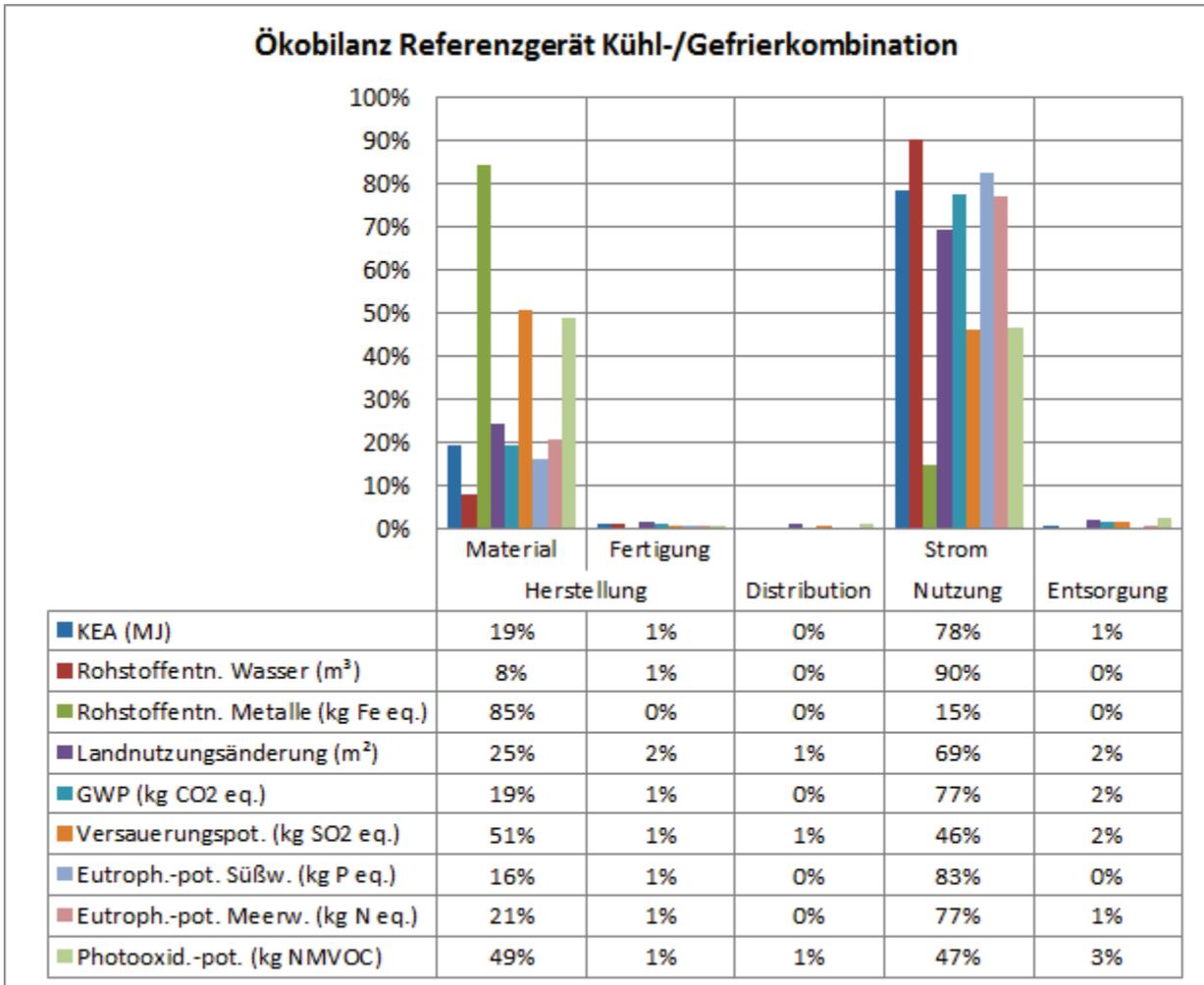


Abbildung 22 Ökobilanz Referenzgerät Kühl-/Gefrier-Kombination: Relative Anteile entlang des Lebenswegs für alle Wirkungskategorien

#### 4.4.2 Vorzeitiger Ersatz

Die folgende Abbildung 23 stellt die ökologische Rückzahldauer dar, wobei jeweils der Ersatz von Bestandsgeräten aus zwei verschiedenen Baujahren (2000 und 2005) in einer Abbildung dargestellt wird.

Die ökologische Rückzahldauer unterscheidet sich, je nachdem welche Wirkungskategorie betrachtet wird. Für die Bestandsgeräte 2000 sowie für das das Gerät aus 2005 lohnt sich der vorzeitige Ersatz für KEA, GWP und das Eutrophierungspotenzial. Bei den anderen Wirkungskategorien liegt die ermittelte ökologische Rückzahldauer bei deutlich höher als 5 Jahre.

Misst man den Indikatoren KEA und GWP einen Leitcharakter bei kann bei Zuordnung der Energieeffizienzklassen der Bestandsgeräte zu den Rückzahldauern bei vorzeitigem Ersatz abgeleitet werden, dass sich der vorzeitige Ersatz dann lohnt, wenn das Bestandsgerät die Energieeffizienzklasse B oder schlechter hat.

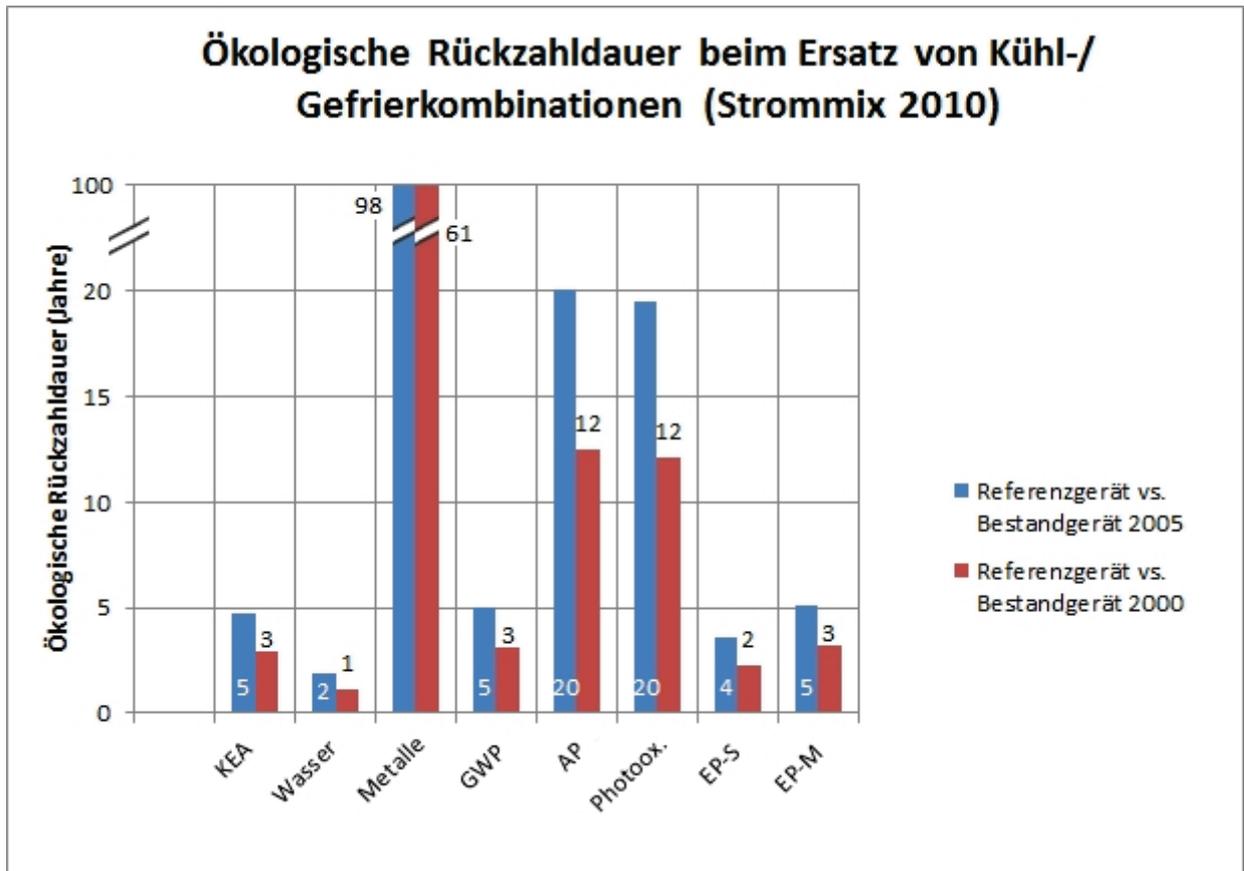


Abbildung 23 Ökologische Rückzahldauer in Jahren beim vorzeitigem Ersatz von Miele Kühl-Gefrier-Kombinationen

Bedingt durch den hohen Anteil der Nutzungsphase an den gesamten Umweltauswirkungen der Geräte ist die Rückzahldauer stark abhängig von der Zusammensetzung der Energieträger für die Stromproduktion. Das Ergebnis der hierzu angestellten Sensitivitätsanalyse ist in der nachstehend für die Indikatoren GWP und KEA dargestellt (Abbildung 24). Es zeigt sich aber, dass unter der Voraussetzung eines höheren Anteils erneuerbarer Energieträger im Netz sich ein vorzeitiger Ersatz von Bestandsgeräten aus dem Jahr 2000 bei Anwendung der „Faustregel“ von fünf Jahren immer noch lohnt.

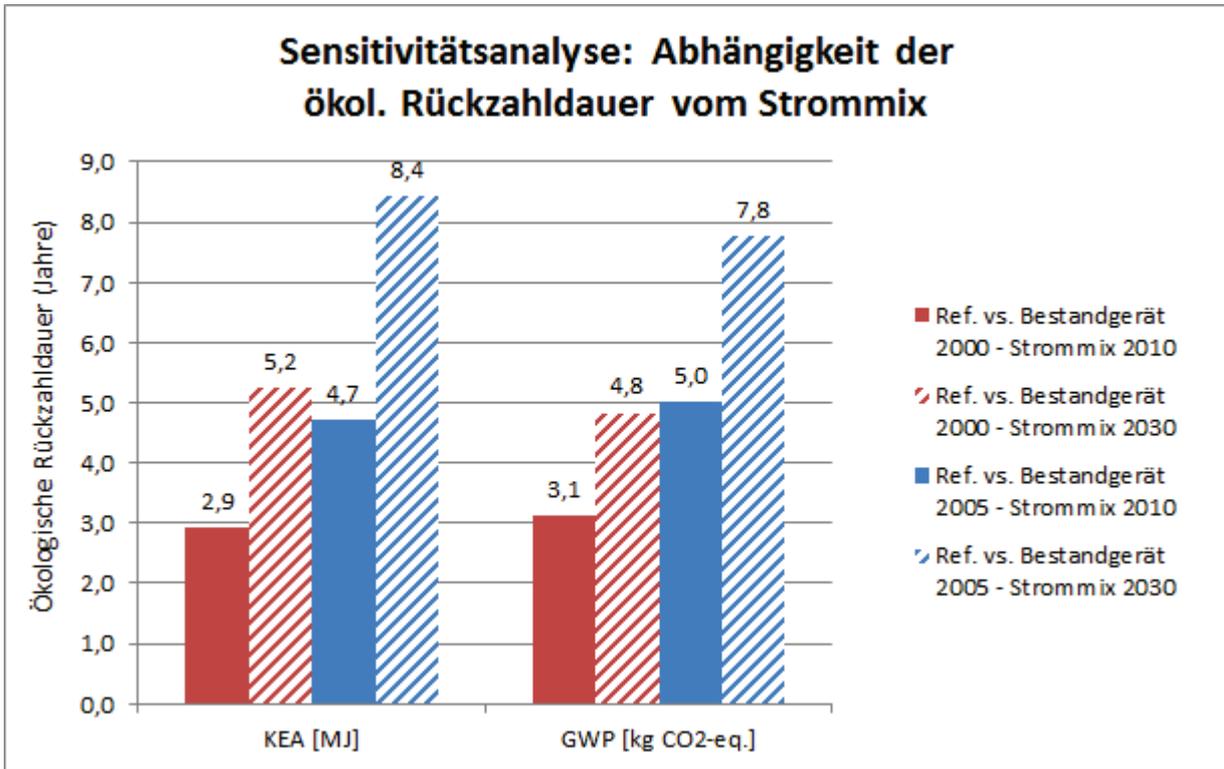


Abbildung 24 Sensitivitätsanalyse: Abhängigkeit der ökologischen Rückzahldauer beim vorzeitigen Ersatz von Miele-Kühl-Gefrier-Kombinationen aus den Jahren 2000 und 2005 für den aktuellen Strommix (volle Balken) und für den erwarteten Strom-Mix 2030 (schraffierte Balken)

#### 4.4.3 Ökologisch optimale Lebensdauer

Auch bei der hier betrachteten Produktgruppe Kühl-Gefrier-Kombination hängt die ökologisch optimale Lebensdauer stark von der betrachteten Wirkungskategorie ab. So beträgt sie mindestens 41 Jahre (beim Wirkungsindikator GWP) und reicht bis annähernd 900 Jahre (beim Indikator Rohstoffentnahme Metalle), wenn das neue Gerät in der Nutzung 10% energieeffizienter wäre. Die ökologisch optimale Lebensdauer würde beispielsweise beim KEA auf rund 5 Jahre sinken, wenn durch eine technologische Neuentwicklung eine aus heutiger Sicht nicht realistisch erscheinende Energieeffizienzsteigerung von 80% gegenüber dem Referenzgerät erreicht würde, vgl. Tabelle 26. Wie bereits bei den anderen in dieser Studie betrachteten Produktgruppen diskutiert muss beachtet werden, dass die Amortisationszeit mit dem Zeitpunkt der Verfügbarkeit einer alternativen, energieeffizienteren Technologie beginnt.

Analog zu den anderen Produktgruppen wurde auch für Kühl-Gefrier-Kombinationen eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt um der Frage nachzugehen, wie sich die ökologisch optimale Lebensdauer verschieben würde, wenn anstelle des Referenzgeräts eine heute noch nicht verfügbare Technologie („Zukunftsgerät“) kurzfristig realisiert würde mit einer

Effizienzsteigerung von –40% gegenüber dem Referenzgerät. Daneben wurde in einer weiteren Sensitivitätsanalyse für die Nutzungsphase des Referenzgerätes anstelle des Strommix 2010 der zukünftige Strommix 2030 mit einem höheren Anteil von regenerativen Energieträgern an der Stromproduktion angesetzt.

Die Ergebnisse dieser Sensitivitätsanalysen sind in Abbildung 25 dargestellt. Beide Annahmen führen zu beinahe identischen Verschiebungen hin zu höheren Werten für die ökologisch optimale Lebensdauer wobei sich der zukünftige Strom-Mix 2030 etwas weniger stark auswirkt als die Annahme der schnellen Markteinführung eines Zukunftsgeräts. Generell ist diese Verschiebung darauf zurückzuführen, dass die Nutzungsphase anteilmäßig gegenüber der Herstellung der Geräte an Bedeutung abnimmt und sich daher die Amortisationszeiten zu deutlich höheren Werten im Vergleich zur Betrachtung des Referenzgeräts bei Annahme des heutigen Strommixes verschieben. Legt man das Zukunftsgerät oder den veränderten Strom-Mix 2030 zugrunde, würde erst bei einer (weiteren) Effizienzsteigerung von 50% für die Treibhausgasemissionen (GWP) die berechnete ökologisch optimale Lebensdauer mit 15 Jahren ungefähr der derzeitigen technischen Lebensdauer dieser Produktgruppe entsprechen. Bei geringeren Effizienzsteigerungen wäre hingegen die optimale Lebensdauer noch länger als die derzeitige technische Auslegungsdauer der Geräte.

Tabelle 26      Ökologisch optimale Lebensdauer in Jahren für die Referenz- Kühl- und Gefrierkombination bezogen eine zukünftige angenommene Effizienzsteigerung (Stromverbrauch) gegenüber dem Referenzgerät

Ökologisch optimale Lebensdauer (Jahre)	Angenommene Effizienzsteigerung (Abnahme des Stromverbrauchs) gegenüber Referenzgerät								
	-10%	-20%	-30%	-40%	-50%	-60%	-70%	-80%	-90%
KEA [MJ]	41	21	14	10	8	7	6	5	5
Wasser [m³]	16	8	5	4	3	3	2	2	2
Metalle [kg]	856	428	285	214	171	143	122	107	95
GWP [kg CO <sub>2</sub> -eq.]	44	22	15	11	9	7	6	5	5
AP [kg SO <sub>2</sub> -eq.]	175	88	58	44	35	29	25	22	19
Photoox. [kg NMVOC]	170	85	57	43	34	28	24	21	19
EP-S [kg P-eq.]	32	16	11	8	6	5	5	4	4
EP-M [kg N-eq.]	45	22	15	11	9	7	6	6	5

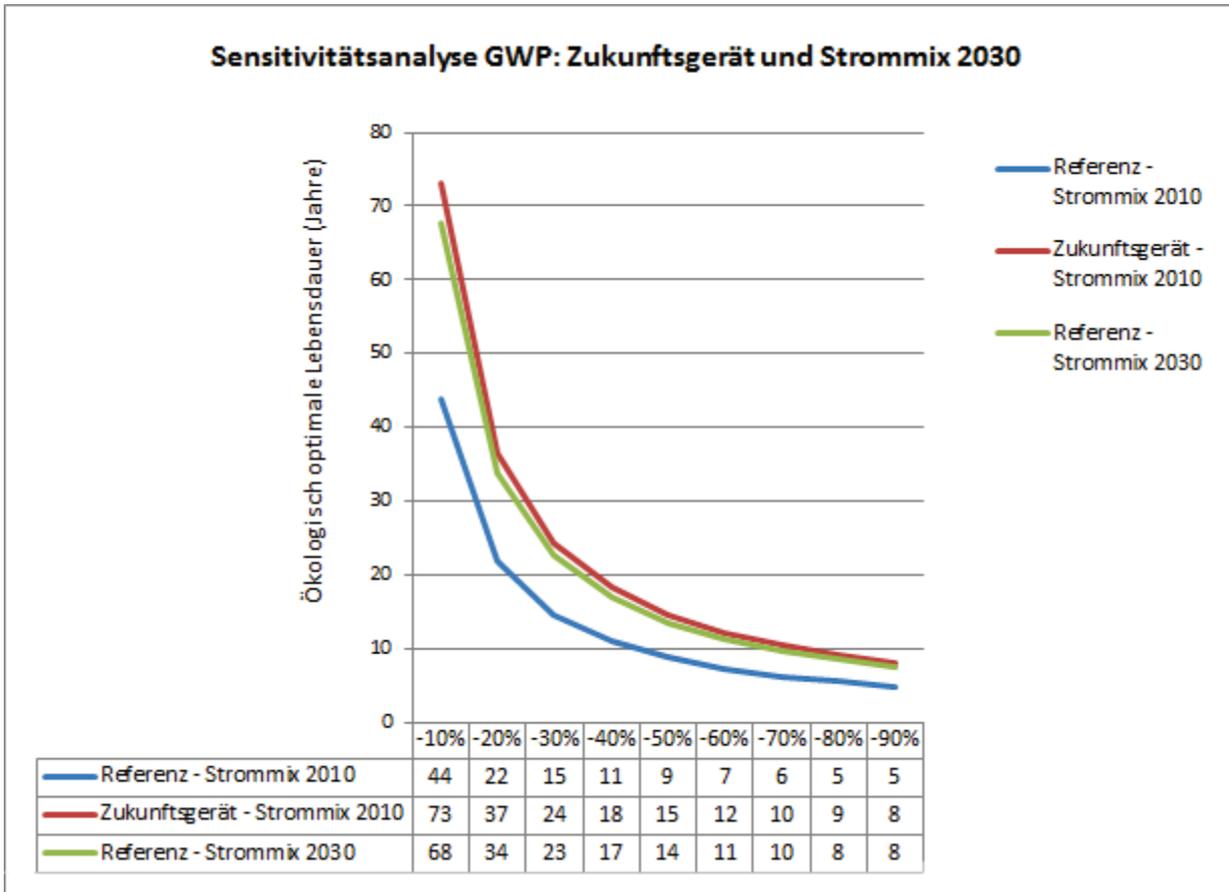


Abbildung 25 Sensitivitätsanalyse GWP: Ökologisch optimale Lebensdauer in Jahren für das Referenzgerät und eine Zukunfts-Kühl-Gefrier-Kombination (jeweils Strommix 2010) und das Referenzgerät (Strommix 2030) bezogen auf zukünftig angenommene Effizienzsteigerungen

## 4.5 Signifikanz der Ergebnisse

In den vorgegangenen Abschnitten der Studie wurden die Ergebnisse der durchgeführten Ökobilanzen nach Beiträgen dargestellt und analysiert und darauf aufbauend nach der in Abschnitt 3.2 beschriebenen Herangehensweise hinsichtlich der ökologischen Rückzahl-dauer (Ersatz von Bestandsgeräten durch effizientere Neugeräte) und der ökologisch opti-malen Lebensdauer ausgewertet.

Bei der Interpretation dieser Ergebnisse muss darüber hinaus auch beachtet werden, inwie-fern die Ergebnisse von methodischen Festlegungen, zugrunde gelegten Daten und An-nahmen bestimmt werden:

- Grundsätzlich muss hier zunächst festgestellt werden, dass die Ergebnisse in erster Linie von der Nutzungsphase und der zur Herstellung der Geräte verwendeten Materi-alien bestimmt werden. Umgekehrt spielen die Fertigung und Distribution sowie die Entsorgung der Geräte eine sehr geringe Rolle. Die für diese Lebenswegabschnitte getroffenen Annahmen, beispielsweise die angewandte Allokationsregel zur Verteilung der Lasten bei der Gerätefertigung beeinflussen somit die Signifikanz der Ergebnisse nur marginal.
- Von hohem Einfluss sind hingegen die spezifischen Verbrauchswerte der betrachteten Geräte (sowohl was Bestandsgeräte als auch Neugeräte angeht) und die Annahmen zur Gerätenutzung. Hier müssen bei einer Studie, die den Anspruch hat, generelle Rückschlüsse zur Produktlebensdauerstrategie eines Unternehmens zu ziehen, Ver-einfachungen durch die Verwendung standardisierter Annahmen und plausibler Durch-schnittsbildungen getroffen werden. Im konkreten Einzelfall können aber diese Bedingungen durchaus abweichen. So kann ein individueller Nutzer beispielsweise seine vorhandene Kühl-Gefrier-Kombination im kühlen Keller aufstellen und selten die Gerätetür öffnen, aber das Neugerät aus Convenience-Gründen in der Küche neben dem wärmeerzeugenden Herd aufstellen und aufgrund der kürzeren Wege das Gerät häufiger öffnen. Unter solchen konkreten Bedingungen kann dann die ermittelte öko-logische Rückzahl-dauer deutlich anders ausfallen.
- Schließlich beziehen sich die hier ermittelten Ergebnisse auf die ausgewählten Wir-kungskategorien und unter Zuhilfenahme einschlägiger Modelle berechneten Indi-katoren. Viele der herangezogenen Indikatoren korrelieren stark mit dem Energie-einsatz, wodurch die Nutzungsphase in der Betrachtung eine hohe Bedeutung ein-nimmt. Wird hingegen der Indikator „Entnahme metallischer Ressourcen“ betrachtet, gewinnt bei allen vier Produktgruppen die Bedeutung der Herstellung mit dem Ergebnis an Bedeutung,, dass die ermittelte ökologische Rückzahl-dauer und die ökologisch optimale Lebensdauer weitaus höhere Zahlenwerte einnehmen, die um Faktoren über den Zeitdauern liegen, die unter heutigen Gesichtspunkten technisch realisierbar sind.. Eine Abwägung zwischen höheren ökologischen Rückzahl-dauern bei von der

Herstellung der Geräte bestimmten Indikatoren gegenüber geringeren Werten bei von der Nutzungsphase dominierten Indikatoren war in dieser Studie nicht vorgesehen. Ein solches Vorgehen müsste die Gewichtung unterschiedlicher politischer Zielsetzungen vornehmen, also insbesondere eine Gewichtung zwischen der Inanspruchnahme von Ressourcen und Klimaschutz.

## 5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Die in dieser Studie durchgeführten Ökobilanzen für die vier Miele-Referenzgeräte aus den betrachteten Produktgruppen Waschmaschinen, Wäschetrockner, Spülmaschinen sowie Kühl-Gefrier-Kombinationen bestätigen die Ergebnisse aus früheren Studien: Bei den großen Haushaltsgeräten werden bei einer lebenswegbezogenen Betrachtung viele der gängigen in Ökobilanzen erfassten Umweltauswirkungen und der kumulierte Energieaufwand maßgebend durch die Nutzungsphase und hier durch den Stromverbrauch und ggf. den Verbrauch an Wasch- und Reinigungsmitteln bestimmt. Daneben tragen die zur Herstellung der Geräte erforderlichen Vorketten an Materialien und Komponenten mit einem nicht vernachlässigbaren Beitrag zu den gesamten Umweltauswirkungen entlang des Lebenswegs der Geräte bei. Die Distribution ist demgegenüber praktisch vernachlässigbar, und auch die Entsorgung der Geräte hat aufgrund der hier angenommenen, quasi-geschlossenen Stoffkreisläufe einen sehr geringen Einfluss auf die in dieser Studie bilanzierten potenziellen Umweltauswirkungen.

Die mit Blick auf eine Steigerung der Energieeffizienz von privaten Haushalten geführte Diskussion zum vorzeitigen Ersatz von Geräten im Bestand wurde in dieser Studie anhand des Vergleichs von typischen Miele-Bestandsgeräten und neuen Miele-Referenzgeräten geführt. Die daraus abgeleitete „ökologische Rückzahldauer“ ist stark davon abhängig, welcher Wirkungsindikator betrachtet wird. Misst man den Treibhausgasemissionen mit dem Indikator Global Warming Potential einen Leitcharakter bei, lassen sich zur Frage des vorzeitigen Ersatzes von Miele-Hausgeräten folgende Schlussfolgerungen ziehen:

- Bei Waschmaschinen und Spülmaschinen rechnet sich ein vorzeitiger Ersatz nicht, da die ökologische Rückzahldauer zum Teil deutlich höher als die nach einer Faustregel bestimmte maximale Dauer von 5 Jahren liegt.
- Bei Wäschetrocknern und bei Kühl-Gefrier-Kombinationen kann sich abhängig von der Gerätegeneration im Bestand sowie von den Nutzungsbedingungen ein vorzeitiger Ersatz ökologisch lohnen.

Bei den anderen hier betrachteten Wirkungsindikatoren liegt die ökologische Rückzahldauer zum Teil wesentlich höher als beim GWP. Das bedeutet, dass bei Betrachtung dieser Indikatoren, die stärker von der Herstellung der zur Fertigung der Geräte erforderlichen

Materialien und Komponenten (wie elektronische Bauteile) bestimmt werden, ein vorzeitiger Ersatz gänzlich ausscheidet – die ermittelten Zahlenwerte liegen weit über der derzeit realisierten technischen Lebensdauer.

Allerdings sind diese Aussagen sehr von technologischen Entwicklungen abhängig, wie beispielsweise die Einführung von Wärmepumpen zur Energierückgewinnung in Wäschetrocknern. Solche technologischen Sprünge können dazu führen, dass es Phasen mit einer vergleichsweise kurzen Rückzahldauer gibt, wodurch ein vorzeitiger Ersatz angezeigt sein kann.

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde auch ein Blick nach vorne gerichtet und zwar in dem Sinn, auf welche technische Lebensdauer Miele- Hausgeräte im Produktentwicklungsprozess ausgelegt werden sollen. Die hier bislang von Miele verfolgte Strategie mit einer Lebensdauer von 20 Jahren bei Waschmaschinen, Wäschetrockner und Spülmaschinen sowie von 15 Jahren bei Kühl- und Gefriergeräten wird durch die Studienergebnisse bestätigt. Die für die vier Produktgruppen jeweils ermittelte ökologisch optimale Lebensdauer ist stark abhängig vom betrachteten Wirkungsindikator. Die einzelnen Werte reichen zum Teil mit über 50 Jahre bis zu mehreren hundert Jahren bei der Betrachtung metallischer Ressourcen in Bereiche, die weit über einer technisch realisierbaren Produktlebensdauer liegen. Bei den „energiegetriebenen“ Indikatoren KEA und GWP nimmt die ökologisch optimale Lebensdauer bei den vier betrachteten Produktgruppen allgemein zwar geringere Werte an. Davon ausgehend, dass ohne weitreichende Technologiesprünge typische Effizienzsteigerungen von einer zur nächsten Gerätegeneration in einem Bereich von 10 bis 20% liegen, ergibt sich bei Betrachtung des GWP eine ökologisch optimale Lebensdauer je nach Produktgruppe von ca. 15 bis über 50 Jahren. Das heißt: die Strategie am Markt Hausgeräte mit der jeweils besten verfügbaren Energieeffizienz in der Nutzungsphase und einer vergleichsweise langen technischen Lebensdauer zu positionieren, ist bei allen hier betrachteten Wirkungsindikatoren gerechtfertigt.

Verstärkt wird dieser Befund, wenn zusätzlich die künftigen Entwicklungen im Systemumfeld berücksichtigt werden, namentlich der wachsende Anteil erneuerbarer Energien bei der Strombereitstellung. Wenn wie für Deutschland politisch und strukturell angelegt in den nächsten beiden Jahrzehnten zur Stromproduktion vermehrt erneuerbare Energieträger eingesetzt werden, sinken anteilmäßig die der Nutzungsphase der Hausgeräte anzurechnenden Treibhausgasemissionen und der kumulierte Energieaufwand deutlich (vgl. hierzu Tabelle 15 in Abschnitt 3.6.5). Dies führt wiederum bei allen in dieser Studie betrachteten Produktgruppen dazu, dass für diese Indikatoren die ökologisch optimale Lebensdauer gegenüber der heutigen Situation noch ansteigt. Hinzu kommt, dass nach den bisherigen Prognosen die Energieeffizienzgewinne bei Haushaltsgeräte in Zukunft geringer ausfallen als in der Vergangenheit und ihre Realisierung mehr Zeit beanspruchen wird. Auch dies bestätigt die von Miele verfolgte Strategie, Hausgeräte auf eine hohe technische Produktlebensdauer auszulegen.

## 6 Referenzen

- Berkholz et al. (2007) Berkholz, P.; Brückner, A.; Kruschwitz, A.; Stamminger, R.; Verbraucherverhalten und verhaltensabhängige Einsparpotenziale beim Betrieb von Waschmaschinen. Leicht geänderte Fassung einer Studie durchgeführt im Auftrag des Bundesministeriums f. Wirtschaft und Technologie (BMW-Projekt Nummer: 86/05 AZ: I A 2 – 00 09 80); in: Schriftenreihe der Haushaltstechnik Bonn, Bd. 1/2007; Aachen 2007.
- CECED (2005) Energy-Efficiency – A Shortcut to Kyoto Targets. The Vision of the European Home Appliance Manufacturers. Brüssel 2005.
- CML (2009) Institute of Environmental Sciences, Leiden University (CML). CML-IA database; <http://cml.leiden.edu/software/data-cmlia.html>.
- Goedkoop et al. (2009) Goedkoop M.J., Heijungs R, Huijbregts M., De Schryver A.; Struijs J., Van Zelm R, ReCiPe 2008, A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level; First edition Report I: Characterisation; 6 January 2009, <http://www.lcia-recipe.net>
- Guinée et al. (2002) Guinée, J. B. (Hg.) et al; Handbook on Life Cycle Assessment: Operational Guide of the ISO standards. Dordrecht u.a.; Kluwer Academic Publishers, 2002.
- Hischier und Weidema (2010) Hischier, B; Weidema, B. (Hrsg.): ecoinvent report No.3 (2010)
- IPCC (2007) Intergovernmental panel on climate change (IPCC); Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC); Cambridge University Press 2007; <http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg1.htm>.
- Rüdenauer et al. (2004) Rüdenauer, I.; Grießhammer, R.; Götz, K.; Birzle-Harder, B.; PROSA – Waschmaschinen. Produkt-Nachhaltigkeitsanalyse von Waschmaschinen und Waschprozessen, Öko-Institut e.V., Freiburg und (Institut für sozial-ökologische Forschung (ISOE); 2004.
- Rüdenauer et al. (2005) Rüdenauer, I.; Gensch, C.-O.; Quack, D.; Eco-Efficiency Analysis of Washing machines – Life Cycle Assessment and determination of optimal life span. Korrigierte Fassung, Öko-Institut Freiburg 2005.
- Rüdenauer und Gensch (2004) Rüdenauer, I.; Gensch, C.-O.; Energy demand of tumble driers with respect to differences in technology and ambient conditions, Final Report, commissioned by: European Committee of Domestic Equipment Manufacturers (CECED), 2004.
- Rüdenauer und Gensch (2005a) Rüdenauer, I.; Gensch, C.-O.; Eco-Efficiency Analysis of Washing machines. Refinement of Task 4: Further use versus substitution of washing machines in stock. Öko-Institut, Freiburg 2005.

- Rüdenauer und Gensch (2005b) Rüdenauer, I.; Gensch, C.-O.; (in collaboration of Martin Möller and Dietlinde Quack): Environmental and economic evaluation of the accelerated replacement of domestic appliances. Case study refrigerators and freezers. Öko-Institut Freiburg 2005.
- Rüdenauer und Quack (2008) Rüdenauer, I.; Quack, D.; Vorzeitiger Ersatz von Miele- Haushaltsgeräten. Öko-Institut, Freiburg 2008.
- Sander et al. 2004 Sander, K., Zangl, S., Bünemann, A., Bartnik, S.; Ermittlung von Verwertungskoeffizienten für die Fraktionen und Bauteile zur Dokumentation von Quoten auf der Basis von Artikel 7 der EU-Richtlinie zur Verwertung von Elektroaltgeräten (WEEE), Umwelt-Forschungs-Plan, FKZ 203 33 395, Endbericht; Berlin 2004

## 7 Anhänge

### 7.1 Anhang 1

#### 7.1.1 Wirkungsindikatoren und -modelle

Die Wirkungsabschätzung erfolgte im Rahmen dieser Untersuchung mithilfe der im Folgenden genannten Wirkungsindikatoren und -modelle. Insgesamt liegen der Studie Modelle aus zwei Methodensammlungen zugrunde.

Tabelle 27 Erläuterung der einbezogenen Wirkungsindikatoren

Auswertungsmethode	Wirkungsfaktoren mit dieser Auswertungsmethode	Quelle und Kommentar
Kumulierter Energieaufwand (KEA)	KEA <sub>nicht erneuerbar</sub>	Hischier, B; Weidema, B. (Hrsg.): ecoinvent report No.3 (2010), S. 33-40.
ReCiPe Midpoint (H) w/0 LT	Terrestrial acidification w/o LT, TAP 100 w/o LT	LCIA-Methode, Ergebnisse auf Midpoint-Ebene siehe auch Goedkoop et al. (2009); Hischier und Weidema 2010
	GWP <sub>100a</sub>	
	Metal depletion	
	Agricultural land occupation w/o LT, Natural land transformation w/o LT	
	Freshwater eutrophication FEP w/o LT, Marine eutrophication W/O LT, MEP w/o LT	
	Photochemical oxidant formation w/o LT POFP w/o LT	
	Water depletion w/o LT, WDP w/o LT	

#### Verbrauch energetischer Ressourcen (Kumulierter Energie-Aufwand, KEA)

Der kumulierte Energieaufwand (KEA) ist ein Maß für den gesamten Verbrauch an energetischen Ressourcen, die für die Bereitstellung eines Produkts oder einer Dienstleistung benötigt werden. Darüber hinaus wird mit dem KEA auch der Energiegehalt bilanziert, der im Produkt selbst enthalten ist. Der KEA<sub>nicht erneuerbar</sub> weist alle nicht-erneuerbaren energetischen Ressourcen als Primärenergiewerte aus. Zu seiner Berechnung wird der obere Heizwert (in MJ) der verschiedenen nicht erneuerbaren Energieträger angesetzt.

#### Rohstoffentnahme Wasser (Water depletion Potential, WDP<sub>w/o LT, m<sup>3</sup></sub>)

Süßwasser ist eine regenerierbare abiotische Ressource, die nur in wenigen Prozessen irreversibel verbraucht wird (Zement -> Beton, Hydrolysen). Bei manchen Nutzungsarten wird das Wasser lediglich erwärmt (Kühlung in thermischen Kraftwerken) oder gibt bei der Nutzung potenzielle Energie ab (Wasserkraftwerke). Die Verdunstung (z. B. bei landwirt-

schaftlicher Nutzung) entzieht das Wasser zwar vorübergehend der menschlichen Nutzung, entfernt es aber nicht aus dem geologischen Kreislauf. Wasser ist in Form von Süßwasser nicht nur eine vielerorts knappe Ressource, sondern auch eine für das Leben aller Organismen unerlässliche Voraussetzung. Wasser gehört damit zum Schutzgut der Ökosysteme. Es kann durch einen zusätzlichen geeigneten Indikator charakterisiert werden. Der hier gewählte Wirkungsindikator berücksichtigt die Wassernutzung im Sinne des gesamten Wasservolumens. Dieses gesamte Volumen setzt sich aus drei verschiedenen Süßwasserquellen zusammen (Oberflächenwasser, Grundwasser und „Wasser un spezifiziert natürlichen Ursprungs“). Letztlich handelt es sich dabei um einen Indikator auf Sachbilanzebene, bei dem der nur formal eingefügte Charakterisierungsfaktor  $1\text{m}^3/\text{m}^3$  für alle Wasserarten identisch ist. Die innerhalb der Systemgrenzen dieser Studie wesentlichen Wasserverbräuche fallen in Mitteleuropa (genauer Deutschland an). Aufgrund der für diesen geographischen Raum größtenteils ausreichend vorhandenen Frischwasserversorgung konnte auf die mitunter aufwändige Recherche und Berücksichtigung von Wasserkritikalitäts-Parametern, wie sie andere Methoden berücksichtigen, verzichtet werden.

#### Rohstoffentnahme Metalle (kg Fe-Äquivalente)

Grundlage der Charakterisierung ist das Metallvorkommen von 20 verschiedenen Metallen, deren Vorkommen monetarisiert werden. Datenbasis ist eine weltweit führende Datenbank über Metallagerstätten.<sup>13</sup> Der Fokus liegt dabei auf dem Abbau des jeweiligen Metalls. Die Einheit des Charakterisierungsfaktors ist  $1/\text{\$*Jahr}$ . Es ist ein monetärer Faktor, der jedem Metall einen bestimmten Wert in Bezug auf Eisen zuweist. Angegeben wird die Wirkungskategorie in Eisenäquivalenten.

#### Landnutzungsänderung (Natural Land Transformation<sub>wo L.T.</sub>, $\text{m}^2$ )

Die Wirkungskategorie Landnutzungsänderung beschreibt die Inanspruchnahme von Landflächen durch den Menschen. Viele menschliche Aktivitäten sind auf die Nutzung einer bestimmten Fläche angewiesen. Hierbei werden natürliche Landflächen dieser Nutzung neu zugeführt.

Grundlage des Charakterisierungsfaktors ist der Wettbewerbsansatz von CML<sup>14</sup>, der die verschiedenen Arten der Flächennutzung addiert: Nutzung landwirtschaftlicher Flächen, Nutzung von Bauland, Umwandlung natürlicher Flächen.

Diese Wirkungskategorie umfasst lediglich die Umwandlung natürlicher Flächen, so dass es sich letztlich um die Darstellung eines Sachbilanzergebnisses handelt.

---

<sup>13</sup> World metal deposits database of US geological survey (Singer et al. 1997)

<sup>14</sup> Guinée et al. (2002)

Treibhauspotenzial (GWP, kg CO<sub>2</sub>-eq.)

Das Treibhauspotenzial beschreibt den Beitrag anthropogener Emissionen an der Wärmeabsorption in der Atmosphäre und ist damit ein Indikator zur Messung des so genannten Treibhauseffekts. Luftemissionen, die zum Treibhauseffekt beitragen (z.B. CO<sub>2</sub>, Methan, Lachgas), werden bilanziert und entsprechend ihres spezifischen Treibhauspotenzials zum gesamten Treibhauspotenzial charakterisiert. Grundlage hierfür bildet IPCC (2007). Das spezifische Treibhauspotenzial beschreibt den Treibhauseffekt von chemischen Substanzen im Verhältnis zu Kohlenstoffdioxid (CO<sub>2</sub>) mit Hilfe von CO<sub>2</sub>-Äquivalenten.

Versauerungspotenzial (Terrestrial Acidification Potential, TAP<sub>100 w/o LT</sub>, kg SO<sub>2</sub>-eq.)

Das Versauerungspotenzial fasst Emissionen zusammen, die Säuren sind, oder zur Versauerung in der Luft, im Wasser oder im Boden beitragen. Diese Substanzen werden entsprechend ihres spezifischen Versauerungspotenzials relativ zu SO<sub>2</sub> mit Hilfe von SO<sub>2</sub>-Äquivalenten zusammengefasst. Die Hauptverursacher des Versauerungspotenzials sind Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>), Ammoniak<sup>15</sup> und Stickoxide.

Aquatisches Eutrophierungspotenzial - Süßwasser (Freshwater Eutrophication Potential FEP<sub>w/o LT</sub>, kg P-eq.)

Die Wirkungskategorie Eutrophierung steht für eine Nährstoffzufuhr im Übermaß in Gewässern. Die Anreicherung von Nährstoffen kann eine Verschiebung der Artenzusammensetzung und eine erhöhte Biomasseproduktion in aquatischen Ökosystemen bewirken. Das Süßwasser-Eutrophierungspotenzial von Nährstoffemissionen in Luft, Gewässer und Boden wird mit Hilfe von kg P-Äquivalenten zu einer Maßzahl aggregiert.

Da in Europa gemäßigte Klimabedingungen herrschen unterscheidet sich der limitierende Nährstoff hinsichtlich Süß- und Meerwasser. Darum werden für die Charakterisierung der Wirkungskategorien Süß- und Salzwassereutrophierungspotenzial unterschiedliche Indikatoren abgeleitet (siehe unten).

Aquatisches Eutrophierungspotenzial – Meerwasser (Marine Eutrophication MEP<sub>w/o LT</sub>, kg N-eq.)

Die Wirkungskategorie Eutrophierung steht für eine Nährstoffzufuhr im Übermaß in Gewässern. Die Anreicherung von Nährstoffen kann eine Verschiebung der Artenzusammensetzung und eine erhöhte Biomasseproduktion in aquatischen Ökosystemen bewirken. Das Meerwasser-Eutrophierungspotenzial von Nährstoffemissionen in Luft, Gewässer und Boden wird mit Hilfe von kg N-Äquivalenten zu einer Maßzahl aggregiert.

---

<sup>15</sup> Die versauernde Wirkung von Ammonium beruht darauf, dass es in Böden durch Mikroorganismen zu Nitrat oxidiert wird, wobei Protonen freigesetzt werden (verborgene Säure).

*Photochemisches Oxidantienbildungspotenzial (Photochemical Oxidant Formation Potential,  $POFP_{w/o LT}$ , kg NMVOC)*

Die Bildung reaktiver Substanzen, wie z.B. Ozon, unter dem Einfluss von chemischen Substanzen (z.B. flüchtige organische Kohlenwasserstoffe) und Sonnenlicht in der Troposphäre wird auch als Sommersmog bezeichnet. Ozon schädigt das menschliche respiratorische System, aber auch Pflanzen. Substanzen, die zur Bildung von troposphärischem Ozon beitragen, werden mit Hilfe ihres photochemischen Oxidantienbildungspotenzials (in kg NMVOC-Äquivalenten) zusammengefasst, wobei NMVOC für flüchtige organische Verbindungen (ohne Methan) steht.

### 7.1.2 Modellierungsgrundlagen Sachbilanz

#### Materialzusammensetzung der Referenzgeräte und verwendete Datensätze zur Modellierung der Herstellung

Tabelle 28 Materialzusammensetzung und verwendete Datensätze aus ecoinvent 2.2 für alle betrachteten Produktgruppen – Zahlenwerte in kg

Material	Waschmaschine Basismodell (WKH130 WPS)	Spülmaschine (G 6300)	WP-Trockner (TKR 350 WP)	Kühl-Gefrier- Kombination (KF36673iD)	Datensatz (Quelle ecoinvent 3.01)	Zeitlicher Bezug
	Gewicht in kg				[geographischer Bezug]	
ABS	1,81	0,107	6,42716	4,8216	market for acrylonitrile-butadiene-styrenecopolymer, kg [GLO]	01.01.2011 – 31.12.2011
EPS	-	-	-	17,1827	market for polystyrene, expandable, kg [GLO]	01.01.2011 – 31.12.2011
Gummi / Elastomere (EPDM)	2,279	0,214	1,043	0,471	market for synthetic rubber, kg [GLO]	01.01.2011 – 31.12.2011
PA 66	1,412	0,474	0,321	0,019	market for nylon 6-6, kg [GLO]	01.01.2011 – 31.12.2011
PET	0,029	0,01	0,03		market for polyethylene terephthalate, granulate, amorphous, kg [GLO]	01.01.2011 – 31.12.2013
POM		0,593	0,221	0,1894	market for nylon 6, kg [GLO]	01.01.2011 – 31.12.2013
PP	7,1257	5,204	11,769	0,828	market for polypropylene, granulate kg [GLO]	01.01.2011 – 31.12.2011
PE	0,195				market for polyethylene, low density, granulate kg [GLO]	01.01.2011 – 31.12.2011
PVC	1,274	1,16	0,147	1,4472	market for polyvinylchloride, emulsion polymerised, kg [GLO]	01.01.2011 – 31.12.2011
PUR				6,3195	market for polyurethan, flexible foam, kg [GLO]	01.01.2011 – 31.12.2013
EVA			0,56		market for ethylene vinyl acetate copolymer, kg [GLO]	01.01.2011 – 31.12.2013
Harz	0,072					

Material	Waschmaschine Basismodell (WKH130 WPS)	Spülmaschine (G 6300)	WP-Trockner (TKR 350 WP)	Kühl-Gefrier- Kombination (KF36673iD)	Datensatz (Quelle ecoinvent 3.01)	Zeitlicher Bezug
PC	1,452		0,252		market for polycarbonate, kg [GLO]	01.01.2011 – 31.12.2013
<b>Summe Kunststoffe</b>	15,64902	7,762	20,770	31,278		
<b>NE-Metalle (für die Bilanzierung wurde von Fertigungsverlusten von 25% ausgegangen)</b>						
Aluminium	4,772	0,2	3,6132	0,7773	market for aluminium scrap, new, kg [GLO]	01.01.2011 – 31.12.2011
Kupfer / Elektrolykupfer	1,0034	0,513	4,2512	1,0973	market for copper, cathode, kg [GLO]	01.01.2011 – 31.12.2011
Messing und Bronze	0,0809	0,014	0,015	0,0124	market for brass, kg [GLO]	01.01.2011 – 31.12.2011
<b>Summe NE-Metalle</b>	5,8563	0,727	7,879	1,887		
<b>FE-Metalle (für die Bilanzierung wurde mit Ausnahme von Grauguss von Fertigungsverlusten von 25% ausgegangen)</b>						
Edelstahl (nichtrostend)	11,687	10,51	4,2475	4,7008	market for steel, chromium steel 18/8, kg [GLO]	01.01.2011 – 31.12.2011
Stahl (niedriglegiert)	26,986	20,447	25,8534	20,1824	market for steel, low-alloyed, kg [GLO]	01.01.2011 – 31.12.2011
Grauguss	30,242				market for cast iron, kg [GLO]	01.01.2011 – 31.12.2013
<b>Summe FE-Metalle</b>	68,915	30,957	30,101	24,883		
EPS	0,383	0,241	0,527	0,5593	market for polystyrene, expandable, kg [GLO]	01.01.2011 – 31.12.2011
PE	-	0,119	0,327	0,1486	market for polyethylene, low density, granulate kg [GLO]	01.01.2011 – 31.12.2011
PE-Folie	-	0,014		0,0675	market for packaging film, low density polyethylene, kg [GLO]	01.01.2011 – 31.12.2013
Holz (OSB)	3,243	2,851	6,302		market for oriented strand board, m <sup>3</sup> [GLO]	01.01.2011 – 31.12.2013
Stülphaube (Papier)	0,214					
Karton	-	1,66		4,7	market for corrugated board box, kg [GLO]	01.01.2011 – 31.12.2013
<b>Summe Verpackung</b>	3,84	4,885	7,156	5,475		

Material	Waschmaschine Basismodell (WKH130 WPS)	Spülmaschine (G 6300)	WP-Trockner (TKR 350 WP)	Kühl-Gefrier- Kombination (KF36673iD)	Datensatz (Quelle ecoinvent 3.01)	Zeitlicher Bezug
<b>Sonstiges</b>						
Bitumen	0,4112	9,435			market for bitumen seal, polymer EP4 flame retardant, kg [GLO]	01.01.2011 – 31.12.2011
Papier, graph. Papier	0,072	0,208	0,542	0,359	market for kraft paper, bleached, kg [GLO]	01.01.2011 – 31.12.2011
Vlies (Kunststoff)	0,832	1,02	0,141		Market for fleece, polyethylene, kg [GLO]	01.01.2011 – 31.12.2011
Öl	0,004		0,024		market for lubricating oil, kg [GLO]	01.01.2011 – 31.12.2011
Glas	1,35			3,339	market for flat glass, uncoated, kg [GLO]	01.01.2011 – 31.12.2013
Deckelplatte	2,25				market for glued laminated timber, for indoor use [GLO]	01.01.2011 – 31.12.2013
Klebstoff	-			0,209	market for adhesive, for metal, kg [GLO]	01.01.2011 – 31.12.2013
Sole	-			1,57	market for sodium chloride, brine solution, kg [GLO]	01.01.2011 – 31.12.2013
Kieselsäure	-			4,26	market for chemicals, inorganic, kg [GLO]	01.01.2011 – 31.12.2013
Pulverlack	-			0,598	market for powder coat, steel, m² [GLO]	01.01.2011 – 31.12.2013
Wärmeleitpaste	-			1,44	market for zinc oxide, kg [GLO]	01.01.2011 – 31.12.2013
R600a	-			0,064	market for propane, kg [GLO]	01.01.2005 – 31.12.2013
R134a	-		0,46		market for tetrafluoroethylene, kg [GLO]	01.01.2011 – 31.12.2011
<b>Summe Sonstiges</b>	4,9192	10,663	1,167	11,839		

Material	Waschmaschine Basismodell (WKH130 WPS)	Spülmaschine (G 6300)	WP-Trockner (TKR 350 WP)	Kühl-Gefrier- Kombination (KF36673iD)	Datensatz (Quelle ecoinvent 3.01)	Zeitlicher Bezug
<b>Elektronik</b>						
Elektronik (Leiterplatte )	0,909	0,572	0,338	0,11	market for printed wiring board, surface mounted, unspecified, Pb free, kg [GLO] market for printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb free, kg [GLO]	01.01.2011 – 31.12.2013
Kabelbaum (Zusammensetzung s.u.)	-	0,68	0,827	0,38		
IC OP-Verstärker	0,001				market for integrated circuit, logic type [GLO]	
Pumpe und elektromagn. Schloss	0,68				market for electric motor, for elect. scooter [GLO]	
passives Element	0,003	0,16			market for electronic component, passive (GLO)	
Mikroschalter	-	0,006	0,04		market for switch, toggle type, kg [GLO]	01.01.2011 – 31.12.2013
LED	0,012			0,0754	market for light emitting diode, kg [GLO]	01.01.2011 – 31.12.2013
Kondensator	-	0,104	0,068		market for capacitor, film type, for through-hole mounting, kg [GLO]	01.01.2011 – 31.12.2013
Einbaustiftleiste	-			0,0017	market for electric connector, peripheral component interconnect buss, kg [GLO]	01.01.2011 – 31.12.2013
Steckverbinder	-			0,0006	market for electric connector, peripheral component interconnect buss, kg [GLO]	01.01.2011 – 31.12.2013
Bedienteil	-			0,08	market for electronics, for control units, kg [GLO]	01.01.2011 – 31.12.2013
Leistungsteil	-			0,096	market for electronics, for control units, kg [GLO]	01.01.2011 – 31.12.2013
Zuleitung	-			0,18	market for cable, three-conductor cable, m [GLO]	01.01.2011 – 31.12.2013
Steckhülse	-			0,001	market for styrene-acrylonitrile copolymer, kg [GLO]	01.01.2011 – 31.12.2013

Material	Waschmaschine Basismodell (WKH130 WPS)	Spülmaschine (G 6300)	WP-Trockner (TKR 350 WP)	Kühl-Gefrier- Kombination (KF36673iD)	Datensatz (Quelle ecoinvent 3.01)	Zeitlicher Bezug
Fühler	-			0,219	market for resistor, metal film type, through-hole mounting, kg [GLO]	01.01.2011 – 31.12.2013
Halter für Flaschen	-			0,033	market for styrene-acrylonitrile copolymer, kg [GLO]	01.01.2011 – 31.12.2013
<b>Summe Elektronik</b>	1,605	1,522	1,273	1,177		
<b>Gesamtsumme</b>	<b>100,78</b>	<b>56,52</b>	<b>68,35</b>	<b>76,54</b>		

Tabelle 29 Eingabedaten für die allgemeine Verarbeitungsprozesse für die Herstellung der Einzelkomponenten

Material	Datensatz (Quelle ecoinvent 3.01) [geographischer Bezug]	Zeitlicher Bezug
<b>Kunststoffe</b>		
Alle außer EPS, Folie	market for injection moulding kg [GLO]	01.01.2011 – 31.12.2011
EPS	market for polymer foaming kg [GLO]	01.01.2011 – 31.12.2011
<b>NE-Metalle</b>		
Aluminium	market for sheet rolling, aluminium kg [GLO]	01.01.2011 – 31.12.2011
Kupfer	market for sheet rolling, copper, kg [GLO]	01.01.2011 – 31.12.2011
Messing	market for contouring, brass, kg [GLO]	01.01.2011 – 31.12.2011
<b>FE-Metalle</b>		
Legierter Stahl	market for sheet rolling, chromium steel, kg [GLO]	01.01.2011 – 31.12.2011
Stahl	market for sheet rolling, steel, kg [GLO]	01.01.2011 – 31.12.2011

Tabelle 30 Datensätze für die Vorketten zur Bilanzierung des Fertigungsaufwands

Material	Datensatz (Quelle ecoinvent 3.01) [geographischer Bezug]	Zeitlicher Bezug
Strom	market for electricity, medium voltage, kWh [DE]	01.01.2008 – 31.12.2013
Gas	heat production, natural gas, at industrial furnace low-NOx >100kW, MJ [Europe without Switzerland]	01.01.1990 – 31.12.2013
Fernwärme	heat production, natural gas, at industrial furnace low-NOx >100kW, MJ [Europe without Switzerland]	01.01.1990 – 31.12.2013
Wasser	market for tap water, at user, kg [Europe without Switzerland]	01.01.2011 – 31.12.2013

Tabelle 31 Datensätze für die Distribution

Material	Datensatz (Quelle ecoinvent 3.01) [geographischer Bezug]	Zeitlicher Bezug
Transport	market for transport, freight, lorry 16-32 metric ton, EURO5 [GLO]	01.01.2011 – 31.12.2013

Tabelle 32 Datensätze für die Nutzung

Material	Datensatz (Quelle ecoinvent 3.01) [geographischer Bezug]	Zeitlicher Bezug
Strom	market for electricity, low voltage, kWh [DE]	01.01.2008 – 31.12.2013
Wasser	market for tap water, at user, kg [Europe without Switzerland]	01.01.2011 – 31.12.2013
Aufwands zur Reinigung des häuslichen Abwassers	Treatment of wastewater, average, capacity 1.1E10 l/year, m <sup>3</sup> [CH]	01.01.1994 – 31.12.2000

Tabelle 33 Angenommene Zusammensetzung Spülmaschinen-Tab und Zuordnung der Datensätze

Spülmaschinentab		Datensatz (Quelle ecoinvent 3.01) [geographischer Bezug]
Inhaltsstoff	Anteil in %	
Pentatriumtriphosphat	50	Market for sodium tripolyphosphate, kg [GLO]
Phosphonate	5	Market for glyphosate [GLO]
Natriumpolycarboxylate	5	Market for polycarboxylates, 40% active substance, kg [GLO]
Soda	20	Market for soda ash, dense, kg [GLO]
Natriumdisilicat	5	Market for sodium silicate, spray powder, 80%, kg [GLO]
Natriumpercarbonat	10	Market for sodium percarbonate, powder, kg [GLO]
Bleichaktivator TAED	2	Market for sodium percarbonate, powder, kg [GLO]
Schaumarme Tenside	2	Market for ethoxylated alcohol (AE3), kg [GLO]
Paraffine („Schaumbremse“)	1	Market for paraffin, kg [GLO]
<b>Summe</b>	<b>100</b>	

Tabelle 34 Datensätze für die Entsorgung

Material	Datensatz (Quelle ecoinvent 3.01) [geographischer Bezug]	Zeitlicher Bezug
Transport	Market for transport, freight, lorry 7.5-16 metric ton, EURO5 [GLO]	01.01.2011 – 31.12.2013
Mechanische Behandlung Altgerät	Treatment of used industrial electronic device, WEEE collection [RoW]	01.01.2005 – 31.12.2013

Tabelle 35 Angenommene Zusammensetzung Kabelbaum

Musterdraht		
Leiterdurchmesser	mm	0,75
Leiterlänge	m	1
Kupfer-Draht in Volumen	mm <sup>3</sup>	441,8
Kupfer-Dichte	g/cm <sup>3</sup>	8,9
<b>Leitergewicht</b>	<b>g</b>	<b>3,941</b>
Gemittelte Isolationsstärke	mm	0,62
Außendurchmesser, gem.	mm	1,98
Gesamtvolumen (Draht u. Isol.)	mm <sup>3</sup>	3088,68
Volumen Isolation	mm <sup>3</sup>	2646,89
PVC-Dichte (weich): 1,20–1,35	g/cm <sup>3</sup>	1,28
<b>Gewicht Isolation</b>	<b>g</b>	<b>3,375</b>
<b>Gesamtgewicht Kupferdraht, isoliert</b>	<b>g</b>	<b>7,316</b>

## 7.2 Anhang 2

### 7.2.1 Gutachten zur Kritischen Prüfung

**Bericht der Kritischen Prüfung nach ISO 14040/44**

der Studie

**“Betrachtungen zu Produktlebensdauer und Ersatzstrategien von  
Miele-Haushaltsgeräten”**

durchgeführt vom Öko-Institut e.V., Freiburg

an die

Miele & Cie. KG, Gütersloh

von

Prof. Dr. Birgit Grahl

Heidekamp

Januar 2015

## INHALT

<b>1</b>	<b>Veranlassung und Ablauf der Prüfung</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Methodische Einordnung der Studie</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Einordnung der Art der Kritischen Prüfung</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>Allgemeiner Eindruck</b>	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>Konformität mit ISO 14040/44</b>	<b>5</b>
5.1	Methodenkonformität mit ISO 14044	5
5.2	Wissenschaftliche und technische Validität der angewendeten Methoden	7
5.3	Validität der verwendeten Daten	8
5.4	Berücksichtigung des Ziels der Studie und erkannter Einschränkungen in der Auswertung	9
5.5	Transparenz und Nachvollziehbarkeit des Berichtes	10
<b>6</b>	<b>Resümee und Empfehlungen zur Kommunikation</b>	<b>10</b>
	Adresse der Gutachterin	11
	Literatur	11

### 1 Veranlassung und Ablauf der Prüfung

Die Miele & Cie. KG, Gütersloh, (Miele, Auftraggeber) trat am 6. Mai 2014 über Herrn Schnarr an Frau Prof. Dr. Grahl mit dem Wunsch heran, nach Abschluss der Studie eine Kritische Prüfung gemäß ISO [14040/14044] durchzuführen.

Die Studie wurde vom Öko-Institut e.V., Freiburg, (Öko-Institut, Ersteller) durchgeführt. Der Entwurf des Endberichtes wurde der Gutachterin vom Öko-Institut am 9. Mai 2014 über Herrn Gensch übermittelt. Es handelt sich demzufolge um eine externe Kritische Prüfung nach Abschluss der Studie, die im Auftrag von Miele durchgeführt wurde.

Der Entwurf des Endberichtes wurde entsprechend der gemäß [ISO 14040, 14044] erforderlichen Kriterien analysiert. Es ergaben sich einige Fragen und Anmerkungen bezüglich einzelner Daten, zur Transparenz der Modellierung, zur Nachvollziehbarkeit der auswertenden Kalkulationen und der Ergebnisdarstellung. Diese Anmerkungen wurden Miele und dem Öko-Institut am 21. Mai 2014 schriftlich übermittelt und am 27. Mai 2014 in einer Telefonkonferenz unter Beteiligung von Herrn Schnarr (Miele) und Herrn Gensch (Öko-Institut) mit der Gutachterin ausführlich durchgesprochen.

Der Bericht wurde auf Basis der diskutierten Aspekte überarbeitet. Der überarbeitete Endbericht wurde der Gutachterin als Abschlussbericht der Studie von Herrn Gensch am 10. Juni 2014 übersandt. Der erste Bericht der Kritischen Prüfung vom Juni 2014 bezog sich auf den so spezifizierten Abschlussbericht und wurde dem Auftraggeber am 10. Juni 2014 übermittelt.

In einem Update der Studie wurden Datengrundlagen aktualisiert und einzelne Aspekte zur optimierten Adressierung der Zielsetzung nachgeschärft (s.u.), was eine erneute Durchsicht

im Rahmen der Kritischen Prüfung erforderlich machte. Der aktualisierte Bericht der Ökobilanz-Studie wurde der Gutachterin am 12.12.2014 von Herrn Gensch übermittelt. Kleinere Rückfragen konnten geklärt werden und der Abschlussbericht der Ökobilanz-Studie wurde am 28.1. 2015 übermittelt. Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich auf den so spezifizierten Abschlussbericht der Ökobilanz-Studie.

Der gesamte Prozeß der Kritischen Prüfung erfolgte in sehr kooperativer Atmosphäre. Fragen der Gutachterin wurden vom Öko-Institut ausführlich beantwortet, Anregungen zur Optimierung der Transparenz und Nachvollziehbarkeit des Berichtes offen diskutiert und aufgegriffen.

Anmerkung: Die Aussagen der Gutachterin im vorliegenden Bericht zur Kritischen Prüfung beziehen sich auf den wie oben spezifizierten Abschlussbericht der o.g. Studie und ausdrücklich nicht auf Auszüge aus dem Abschlussbericht, sonstige Publikationen oder Nutzung dieses Berichtes durch Dritte in anderen Zusammenhängen. Die Schlussfolgerungen der Gutachterin wurden auf Basis der zur Verfügung gestellten Informationen und des derzeitigen Stands der Ökobilanztechnik gezogen, sind spezifisch für den Kontext und den Inhalt der o.g. Studie und sind nicht generalisierbar.

## **2 Methodische Einordnung der Studie**

Die Studie verfolgt zwei Ziele:

1. Quantifizierung ökologischer Vorteile beim vorzeitigen Ersatz älterer Haushaltsgeräte (Vergleichsgeräte) durch Geräte mit optimierten Verbrauchskennwerten (Wasser, Energie) (Referenzgeräte): Ermittlung der „ökologischen Rückzahldauer“ ex post;
2. Die Untersuchung von Szenarien möglicher zukünftiger Entwicklungen auf die „ökologische Rückzahldauer“ unter folgender variabler Randbedingung: hypothetische technische Energie-Effizienzsteigerung in der Nutzungsphase (interne Variable): Ermittlung der „ökologisch optimalen Lebensdauer“.

Zusätzlich wurde als Sensitivitätsanalyse der Szenarienberechnung die Abhängigkeit der Ergebnisse in der Nutzungsphase vom hypothetisch zukünftig verfügbaren Strommix 2030 (externe Variable) untersucht.

Zur Abgrenzung der Ergebnisse der Szenarien gegen die Quantifizierung ex post (Ziel 1) wurde als neuer Begriff die „ökologisch optimale Lebensdauer“ geprägt, der im Kontext der Diskussion von Ziel 2 verwendet wird. Die im Abschlussbericht der Studie aufgenommenen Erläuterungen zu den Begriffen und deren Berechnungsgrundlagen sind nachvollziehbar und bilden die Basis für die Datenanforderungen in Sachbilanz und Auswertung.

Zur Abbildung der Umweltlasten über den gesamten Lebenszyklus wurde für die Produktgruppen Waschmaschinen, Wäschetrockner, Geschirrspülmaschinen und Kühl-

/Gefrier-Kombination je ein bezüglich des Energieverbrauchs optimiertes Miele-Referenzgerät mittels Ökobilanz analysiert. Diese Daten, sowie die Performance und Energie-Verbrauchsdaten in der Nutzungsphase älterer Miele-Geräte (Vergleichsgeräte) bilden die Grundlage der Auswertung vor dem Hintergrund der Zielsetzung 1. Zur Verfolgung der Zielsetzung 2 bilden ebenfalls die Ökobilanzergebnisse des Referenzgerätes die Grundlage der Auswertung.

Da es sich bei den untersuchten Haushaltsgeräten um langlebige, in der Nutzungsphase Energie verbrauchende Produkte handelt, spielt die Nutzungs-/Lebensdauer eine wesentliche Rolle.

Der Schwerpunkt der Studie liegt in der Auswertung. Es ist nicht das Ziel der Studie, die ökologische Vorteilhaftigkeit eines bestimmten Geräts zu ermitteln, sondern strukturell die Bedeutung der Nutzungsphase im Verhältnis zur Neuproduktion unter verschiedenen Randbedingungen (existierende Miele Geräte, Szenarien, Sensitivitätsanalysen) abzubilden. Die Bezeichnungen „ökologische Rückzahldauer“ und „ökologisch optimale Lebensdauer“ sind vor dem Hintergrund der Auswertegrößen zu verstehen, was im Abschlussbericht der Studie explizit erläutert wird.

Der gewählte Ansatz zur Untersuchung Energie verbrauchender, langlebiger Produkte ist interessant. Der in dieser Studie gewählte Ansatz der Auswertung erlaubt, neben der Bedeutung der Nutzungsphase auch die Bedeutung der anderen Lebenswegphasen (Produktion, Distribution, Ende-des-Produktlebensweges) differenziert einzuordnen.

### **3 Einordnung der Art der Kritischen Prüfung**

In der Studie werden ausschließlich Miele Geräte untersucht. Im Abschlussbericht der Studie wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass keine Übertragung der Schlussfolgerungen auf Produkte anderer Hersteller möglich ist. Somit enthält die Studie keine vergleichenden Aussagen zu Produktsystemen anderer Hersteller als Miele, die dazu vorgesehen wären öffentlich kommuniziert zu werden.

Daher wurde die hier durchgeführte Kritische Prüfung als Prüfung gemäß [ISO 14040] Ziffer 7.3.2 bzw. [ISO 14044] Ziffer 6.2 eingeordnet und erfolgte durch eine externe Sachverständige.

Die Studie ist zur internen und externen Kommunikation vorgesehen.

## 4 Allgemeiner Eindruck

Der Aufbau des Studien-Berichts folgt nicht streng den vier Phasen der Ökobilanz nach [ISO 14040/14044]. Es ist hilfreich, dass im Abschlussbericht darauf hingewiesen wird, dass es sich bei der Ermittlung und Diskussion der „ökologischen Rückzahldauer“ und der „ökologisch optimalen Lebensdauer“ bezüglich der Ökobilanz-Systematik um die Auswertung handelt. Eine strengere Orientierung an der üblichen Ökobilanzgliederung hätte die Übersichtlichkeit des Berichtes optimieren können. Dennoch sind alle erforderlichen Elemente einer Ökobilanz nach [ISO 14040/14044] identifizierbar:

Zieldefinition und Untersuchungsrahmen der Ökobilanz der Referenzgeräte sind transparent beschrieben. Die erforderlichen Informationen zur Sachbilanz für das Miele-Referenzgerät und die Miele Vergleichsgeräte sind transparent dargestellt und die Annahmen der Modellierung nachvollziehbar. Die Auswertung erfolgt auf Basis der berücksichtigten Wirkungsindikatoren und des ergänzend ausgewerteten Sachbilanzparameters „kumulierter Energieaufwand“ im Kontext der formulierten Ziele.

## 5 Konformität mit ISO 14040/44

Für die Kritische Prüfung wurden die aktuell gültigen Normen [ISO 14040] und [ISO 14044] zu Grunde gelegt. Geprüft wurde nach den in [ISO 14040] Ziffer 6.1 vorgegebenen fünf Kriterien:

*Das kritische Prüfungsverfahren muss sicherstellen, dass:*

- *die bei der Durchführung der Ökobilanz angewendeten Methoden mit dieser Internationalen Norm übereinstimmen;*
- *die bei der Durchführung der Ökobilanz angewendeten Methoden wissenschaftlich begründet sind und dem Stand der Ökobilanz-Technik entsprechen;*
- *die verwendeten Daten in Bezug auf das Ziel der Studie hinreichend und zweckmäßig sind;*
- *die Auswertungen die erkannten Einschränkungen und das Ziel der Studie berücksichtigen;*
- *der Bericht transparent und in sich stimmig ist.*

### 5.1 Methodenkonformität mit ISO 14044

Der Bericht der Ökobilanz-Studie folgt zwar nicht streng den Gliederungsvorgaben von [ISO 14040/14044], allerdings sind alle methodisch erforderlichen Elemente auffindbar.

In der Zieldefinition werden beide Ziele der Studie nachvollziehbar definiert, die untersuchten Szenarien klar beschrieben und die Variablen der Sensitivitätsanalysen

nachvollziehbar begründet. Die Funktionelle Einheit ist sinnvoll gewählt, der Referenzfluss, die Ergebnisdarstellung und Auswertung sind dazu stimmig.

Basis der Sachbilanz ist jeweils ein Miele-Referenzgerät aus jeder der untersuchten Produktgruppen. Die technische Systemgrenze umfasst den gesamten Lebenszyklus der Geräte. Da es sich um Energie verbrauchende Produkte handelt dominiert bei fast allen berücksichtigten Wirkungskategorien und beim KEA erwartungsgemäß die Nutzungsphase. Die Auswahl der Miele-Referenzgeräte ist nachvollziehbar, und die technischen Daten, die die Grundlage der Sachbilanz bilden, sind gut dokumentiert. Die Annahmen zum Nutzerverhalten, die maßgeblichen Einfluss auf die Ergebnisse der Nutzungsphase haben (z.B. Mix der Programmwahl bei Waschmaschinen) sind transparent und plausibel abgeleitet.

Auch die technischen Daten der Miele-Vergleichsgeräte sind nachvollziehbar und plausibel dokumentiert. Für die Vergleichsgeräte wurden als gemeinsame Basis zu den Referenzgeräten analoge Nutzeranforderungen bezogen auf die Funktionelle Einheit zu Grunde gelegt. Da diese Parameter den Energieverbrauch in der Nutzungsphase maßgeblich mit bestimmen, ist diese Symmetrie zur sinnvollen Auswertung der Ergebnisse essentiell.

Das Vorgehen bei Allokation ist nachvollziehbar beschrieben: Bezüglich der Prozessallokation bei Miele wird eine ungewöhnliche Regel angewandt, nämlich die Allokation pro Stück. Diese wird im Abschlussbericht nachvollziehbar mit der Produktionscharakteristik im Werk begründet. Systemallokationen bezüglich Materialien aufgrund von Verwertungsprozessen (stofflich oder energetisch) am Ende-des-Produktlebensweges wurden nicht durchgeführt. Alle Lasten tragen die untersuchten Produktsysteme, was eine worst-case Betrachtung ist.

Die berücksichtigten Wirkungskategorien sind definiert und über gängige Charakterisierungsmodelle berücksichtigt. Ergänzend wird der Sachbilanzparameter kumulierter Energieaufwand (KEA) ausgewertet. Im Update der Studie wurden die berücksichtigten Wirkungskategorien erweitert, um nicht allein Wirkungspotenziale zu erfassen, die im Wesentlichen vom Energie-, Wasch- und Reinigungsmittelverbrauch beeinflusst werden. Ergänzend aufgenommen wurden Indikatoren zur Adressierung des Verbrauchs mineralischer Ressourcen, um dem Einsatz von Metallen gerecht zu werden, zur Wassernutzung, da zwei der untersuchten Produktgruppen in der Nutzungsphase Wasser nutzen (Waschmaschinen und Geschirrspüler) sowie zur Landnutzung, da der vermehrte Einsatz regenerativer Energie (Strommix 2030) Wirkungskategorien bezüglich Land- und Wassernutzung beeinflussen kann. Im Update der Studie wurden für alle berücksichtigten Wirkungskategorien die von [ReCiPe 2008] vorgeschlagenen Midpoint-Indikatoren verwendet, die im Anhang erläutert werden. Die Auswertung bezieht sich auf die

untersuchten Wirkungskategorien. Aufgrund der Aktualisierung der verwendeten Software und der ecoinvent Datenbank (vgl. Abschnitt 5.2) wurde im Update der Studie unter KEA allein der nicht erneuerbare Anteil des Energieeinsatzes berücksichtigt. Die Berechnung des KEA<sub>erneuerbar</sub> wird von diesen Versionen nicht unterstützt. Auf diese Einschränkung wird in der Studie hingewiesen. Nutzer der Studie müssen diese Tatsache berücksichtigen.

Die Wirkungsindikatoren werden nach Charakterisierung ausgewertet, Normierung und Ordnung werden nicht adressiert. Zur Diskussion der Ergebnisse vor dem Hintergrund der formulierten Ziele ist dieses Vorgehen sinnvoll.

Die Interpretation der Ergebnisse der Szenarien im Zusammenhang mit der Sensitivitätsanalyse ist für jede Produktgruppe graphisch dargestellt, was nicht einfach zu erfassen ist. Der erläuternde Text erschließt allerdings die Bedeutung und stellt nochmals klar: Es handelt sich um hypothetische Szenarien, die ausschließlich dazu dienen, die Bedeutung der wichtigen Einflussgröße, „zukünftige hypothetische Energie-Effizienzsteigerungen noch nicht vorhandener Technologien“ unter Berücksichtigung eines angenommenen zukünftigen Strommix zu untersuchen.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass die angewandten Methoden den in [ISO 14040/14044] vorgegebenen Regeln entsprechen.

## **5.2 Wissenschaftliche und technische Validität der angewendeten Methoden**

Die wissenschaftlichen Eckpunkte der angewendeten Methoden sind beschrieben und nachvollziehbar.

Die Modellierung der Produktsysteme und die Berechnungen wurden im Update der Studie mit Hilfe der Ökobilanzsoftware Umberto (Programmversion NXT LCA) durchgeführt, Hintergrunddatensätze (mit Aufwendungen für Infrastruktur) der ecoinvent-Datenbank 3.01 entnommen und für die Sensitivitätsanalysen der Datensatz für den angenommenen Strommix 2030 sinnvoll modelliert. Die gewählte Vorgehensweise ist konsistent mit [ISO 14040] und [ISO 14044]. Die Nutzung der Umberto® software ermöglicht eine angemessene Modellierung der untersuchten Produktsysteme. Die Einschränkung bezüglich des KEA auf KEA<sub>nicht-erneuerbar</sub> wurde unter 5.1 bereits angesprochen.

[ISO 14044] schreibt nicht vor, welche Wirkungskategorien in einer Studie aufgenommen werden sollen, nicht einmal eine Empfehlung wird gegeben. Insofern obliegt es jeder Studie die Auswahl der Wirkungskategorien und der Charakterisierungsmodelle im Kontext des Ziels zu begründen. Die Ökobilanz-Studie hat im Vergleich zur Vorgängerversion im Update durch die Aufnahme weiterer Wirkungskategorien sehr gewonnen. Die im Update der Studie

berücksichtigten Wirkungskategorien sind der formulierten Zielsetzung angemessen und werden in der Auswertung differenziert diskutiert. Zusammenfassend kann die wissenschaftliche und technische Validität der im Rahmen dieser Studie angewendeten Methoden bestätigt werden.

### **5.3 Validität der verwendeten Daten**

Eine allumfassende Prüfung der Daten ist aufgrund der Menge der berücksichtigten Daten in einer Kritischen Prüfung nicht möglich. Die Prüfungen bezog sich daher auf die allgemeine Plausibilität sowie die Plausibilität der Ergebnisrelevanz, auf die Datenkonsistenz und auf stichprobenartige detaillierte Prüfungen.

Zur Sachbilanz und zur Auswertung wurden der Gutachterin vom Öko-Institut umfangreiche Excel-Dokumentationen zur Verfügung gestellt, die eine differenzierte Plausibilitätsanalyse der Daten ermöglichten.

In der Studie werden Primärdaten von Miele zur Spezifikation der untersuchten Geräte (Referenzgeräte und Vergleichsgeräte) verwendet sowie zur Produktionsphase in Werken von Miele. Die Daten zur Zusammensetzung der Geräte (Bill of Materials - BOM) bilden die Grundlage für die Auswahl von Hintergrunddaten für die entsprechenden Vorkettenmodule. Im Update der Studie wurden die Materiallisten nachgeschärft. Die verwendeten Hintergrunddaten aus der ecoinvent 3.01 Datenbank sind bezüglich der Systemgrenzen tabellarisch gut dokumentiert. Die verwendeten Daten sind sinnvoll gewählt und dem Ziel der Studie angemessen. Ebenfalls dokumentiert ist der Datensatz zum prognostizierten Strommix 2030 auf Basis der BMU-Leitstudie 2011 zur Entwicklung der Deutschen Bruttostromerzeugung, der in den Sensitivitätsanalysen die entscheidende Variable darstellt. Damit sind die getroffenen Annahmen transparent.

Es gibt einige Datenunsicherheiten, was im Abschlussbericht der Studie in Bezug auf Ergebnisrelevanz diskutiert wird. Die Daten zur Distribution basieren zum Teil auf plausiblen Schätzungen.

In den einbezogenen Hintergrunddatensätzen, die auf Basis der BOM gewählt wurden, sind Produktionsverluste berücksichtigt, spezifische fertigungsbezogene Verluste wurden hingegen nicht einbezogen. Die Gutachterin teilt die Einschätzung der Ersteller der Ökobilanz, dass die daraus resultierende Unterschätzung der Umweltlasten keinen wesentlichen Einfluss auf das Ergebnis hat.

Bezüglich des Stromverbrauchs für die Fertigung der Geräte wurde generell der Strommix Deutschland zu Grunde gelegt. Im Fall des Wäschetrockners mit Endfertigung in Tschechien führt das zu einer Unterschätzung der Umweltlasten. Die Gutachterin teilt auch hier die

Einschätzung der Ersteller, dass kein wesentlicher Einfluss auf das Endergebnis zu erwarten ist.

Der Energieverbrauch in der Nutzungsphase hängt maßgeblich vom Verbraucherverhalten ab, was in der Studie sehr plausibel abgeleitet wurde, allerdings auch variieren kann. Der Abschlussbericht der Studie diskutiert diesen Einfluss ausführlich, somit wird einer Überinterpretation der Daten vorgebeugt.

Gemäß Zieldefinition wurden in der Auswertung die Umweltlasten des Energieverbrauchs der Vergleichsgeräte in der Nutzungsphase plus derjenigen die bei deren Entsorgung anfallen, den Umweltlasten aufgrund von Neuproduktion, Distribution und Nutzung der Referenzgeräte gegenüber gestellt. Die Vereinfachung, die Umweltlasten der Entsorgung des bilanzierten Referenzgerätes als Proxy für die Entsorgungsphase der Vergleichsgeräte zu verwenden, ist im Rahmen der interpretierten Datenunsicherheit tragbar.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die verwendeten Daten für die der Studie zu Grunde liegenden Fragestellungen angemessen und hinreichend belastbar sind.

#### **5.4 Berücksichtigung des Ziels der Studie und erkannter Einschränkungen in der Auswertung**

Die Ziele der Studie werden zu Beginn klar und nachvollziehbar formuliert und in der abschließenden Diskussion aufgegriffen.

Bezüglich der in der Zieldefinition gewählten Kenngrößen der Auswertung, „ökologische Rückzahldauer“ und „ökologisch optimale Lebensdauer“, werden in der Auswertung schwerpunktmäßig KEA und GWP diskutiert. Die Ergebnisse zu allen berücksichtigten Wirkungskategorien sind allerdings ebenfalls als aussagekräftige Beitragsanalyse dokumentiert und wesentliche Ergebnisse werden im Abschlussbericht differenziert analysiert und nachvollziehbar interpretiert.

Gespiegelt werden die Ergebnisse der Kenngrößen an zwei zeitlichen Eckpunkten: der technischen Lebensdauer und einer Nutzungsdauer von 5 Jahren. Im Abschlussbericht wird plausibel erläutert, dass der Zeitraum von 5 Jahren als Bezug für einen vorzeitigen Ersatz der Geräte eine sinnvolle Annahme ist, da ein Zeitraum von 5 Jahren deutlich unterhalb der technischen Lebensdauer liegt.

Die abgeleiteten Schlussfolgerungen und Empfehlungen sind auf der Grundlage der Ergebnisse und der vorgenommenen Auswertung nachvollziehbar. Im Bericht sind die Einschränkungen ausführlich diskutiert. Durch die Nachschärfung im Update der Studie wurde die Aussagekraft der Schlussfolgerungen und Empfehlungen verdeutlicht.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass die Auswertung entsprechend des Ziels der Studie erfolgt und die Einschränkungen hinreichend berücksichtigt sind, so dass die Aussagen und Schlussfolgerungen stimmig sind.

## 5.5 Transparenz und Nachvollziehbarkeit des Berichtes

Die Transparenz des Berichts hätte durch eine engere Anlehnung an die Struktur entlang der vier Phasen einer Ökobilanz gewonnen. Dennoch ist transparent, dass die Auswertung in Hinblick auf die „ökologische Rückzahldauer“ und die „ökologisch optimale Lebensdauer“ im Kontext der formulierten Ziele erfolgt und der Untersuchungsrahmen zur Modellierung der untersuchten Produkte sinnvoll gewählt ist. Auch die untersuchten Szenarien sowie die Sensitivitätsanalysen sind zur Beantwortung der in der Zielsetzung formulierten Fragestellungen sinnvoll gewählt.

Insgesamt kann festgestellt werden, dass der Bogen von den Zielen der Studie über die Modellierung des Systems, die Sachbilanz und Ergebnisberechnung unter Berücksichtigung der gewählten Auswertegrößen (Wirkungskategorien und KEA) bis hin zu den Schlussfolgerungen transparent und nachvollziehbar ist.

## 6 Resümee und Empfehlungen zur Kommunikation

Die Kritische Prüfung hat ergeben, dass die Studie in den definierten Systemgrenzen den Anforderungen nach [ISO 14040] und [ISO 14044] entspricht. Damit wird das Ergebnis des Berichtes der Kritischen Prüfung vom Juni 2014 bestätigt.

In der Zielsetzung der Studie wird darauf hingewiesen, dass die Kommunikation mit Kunden in der Wertschöpfungskette sowie Fachpublikationen vorgesehen sind.

Da ausschließlich Miele-Geräte untersucht werden, muss in der Kommunikation darauf geachtet werden, dass keinerlei vergleichende Aussagen - auch nicht als Beispiele zur Veranschaulichung - erfolgen, die bei anderen interessierten Kreisen den Eindruck erwecken könnten, sie seien von der Anwendung der Studie betroffen.

Heidekamp, den 29. Januar 2015



.....

Prof. Dr. Birgit Grahl

## Adresse der Gutachterin

Prof. Dr. Birgit Grahl  
Schuhwiese 6  
23838 Heidekamp  
Tel.: 04533 - 4110  
[integrahl@t-online.de](mailto:integrahl@t-online.de)

## Literatur

- [ISO 14040 2006] Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework.
- [ISO 14044 2006] Environmental management – Life cycle assessment – requirements and guidelines.
- [ReCiPe 2008] Goedkoop, Mark; Heijungs, Reinout; Huijbregts, Mark; De Schryver, An; Struijs, Jaap; van Zelm, Rosalie (2009). ReCiPe 2008 - A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at midpoint and endpoint level. First edition. Report I: Characterisation.