

Ökobilanz-Moduldaten für ein serviceorientiertes Geschäftsmodell für Waschmaschinen

Studie im Auftrag eines
Hausgeräteherstellers

Freiburg, 15.03.2024

Autorinnen und Autoren

Carl-Otto Gensch
Kevin Stuber-Rousselle
Ina Rüdener

Weitere Mitarbeit

Ran Liu

Kontakt

info@oeko.de
www.oeko.de

Geschäftsstelle Freiburg

Postfach 17 71
79017 Freiburg

Hausadresse

Merzhauser Straße 173
79100 Freiburg
Telefon +49 761 45295-0

Büro Berlin

Borkumstraße 2
13189 Berlin
Telefon +49 30 405085-0

Büro Darmstadt

Rheinstraße 95
64295 Darmstadt
Telefon +49 6151 8191-0

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	5
Tabellenverzeichnis	6
1 Hintergrund, Zielsetzung und Anwendung der Studie	7
2 Methodisches Vorgehen	8
2.1 Ökobilanz als methodische Grundlage der Studie	8
2.2 Betrachtete Alternativen	8
2.3 Iteratives Vorgehen in drei Bilanzversionen und einer Ergänzungsversion	10
2.4 Systemgrenzen des zu untersuchenden Produktsystems	10
2.5 Anforderungen an die Datenqualität	11
2.6 Funktionelle Einheiten	11
2.7 Allokationsverfahren und Gutschriften	12
2.8 Methode der Wirkungsabschätzung und Auswahl der Wirkungskategorie Treibhausgaspotenzial	12
2.9 Modellierungsgrundlage und Festlegungen der Basisversion eines Parametermodells	14
2.10 Normkonformität und Kritische Prüfung	15
3 Grundlagen der Sachbilanz	16
3.1 Herstellung der Geräte	16
3.2 Distribution (beide Modelle) und Redistribution (Mietmodell)	21
3.3 Nutzungsphase der Geräte	21
3.4 „R-Fabrik“ beim Mietmodell	23
3.5 Entsorgung der Geräte	25
3.5.1 Szenariendefinition für das Kauf- und das Mietmodell	25
3.5.2 Annahmen der Modellierung	26
4 Ergebnisse	30
4.1 Signifikanz der Ergebnisse	30
4.2 Ergebnisse für die Basisversion des Bilanzmodells	31
4.3 Beitragsanalyse am Beispiel des Szenarios 2-Personen-Haushalte	33
4.4 Sensitivitätsanalysen: Ausgewählte Ergebnisse des Bilanzmodells unter abweichenden Parametern	37
4.4.1 Reduktion der Anzahl an Refurbishing-Zyklen beim Mietmodell, mit und ohne Kontrolle über EoL	38

4.4.2	Effiziente Ausstattung nur beim Mietmodell	39
4.4.3	Anreiz zu höherer Beladung im Mietmodell durch Abrechnung pro Waschgang	40
5	Schlussfolgerungen und Empfehlungen	41
6	Literaturverzeichnis	44

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Die vier Teilschritte einer Ökobilanz	8
Abbildung 4-1: Vergleich Kauf-/Mietmodell für die vier untersuchten Wirkungsindikatoren	32
Abbildung 4-2: Vergleich der Beiträge zu den THG-Emissionen für das Miet- und das Kaufmodell für 2-Personen-Haushalte	34
Abbildung 4-3: Vergleich der Beiträge zur Nutzung fossiler Rohstoffe für das Miet- und das Kaufmodell für 2-Personen-Haushalte	35
Abbildung 4-4: Vergleich der Beiträge zur Nutzung mineralischer und metallischer Rohstoffe für das Miet- und das Kaufmodell für 2-Personen-Haushalte	36
Abbildung 4-5: Vergleich der Beiträge zur Inanspruchnahme knapper Wasserressourcen für das Miet- und das Kaufmodell für 2-Personen-Haushalte	37

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Überblick zu den ausgewerteten Wirkungskategorien	13
Tabelle 2-2:	Überblick zu den Parametern für das Rechenmodell der Basisversion im Kauf- und Mietmodell sowie mögliche Variationen	14
Tabelle 3-1:	Überlegungen zur Vereinfachung des Aufwands zur Bilanzierung der Herstellung von Waschmaschinen bei Anwendung des Massekriteriums	16
Tabelle 3-2:	Zuordnung von Materialgruppen aus der Gruppe der Polymere zu Datensätzen aus der Datenbankecoinvent 3.8	18
Tabelle 3-3:	Zuordnung von Materialgruppen aus dem Bereich der Metalle und weiteren Materialien zu Datensätzen aus der Datenbankecoinvent 3.8	20
Tabelle 3-4:	Grundlagen und Annahmen zur Distribution / Redistribution im Kauf- und im Mietmodell	21
Tabelle 3-5:	Verbrauchsdaten Stiftung Warentest	22
Tabelle 3-6:	Variation der Verbrauchsdaten in Abhängigkeit von der Ausstattung der Geräte	23
Tabelle 3-7:	Annahmen zur Abschätzung des spezifischen Energiebedarfs einer „R-Fabrik“	23
Tabelle 3-8:	Beschreibung der definierten Szenarien für die Modellierung der Entsorgungsphase	25
Tabelle 3-9:	Datensätze für die Modellierung der Entsorgung der Waschmaschinen	28
Tabelle 4-1:	Wesentlichkeitsschwellen bei den in dieser Studie ausgewählten Wirkungsindikatorergebnissen	30
Tabelle 4-2:	Sensitivitätsanalyse: Reduktion der Anzahl an Refurbishing-Zyklen beim Mietmodell, 2-Personen-Haushalt, THG-Emissionen [kg CO ₂ -eq/a]	39
Tabelle 4-3:	Sensitivitätsanalyse: Effiziente Ausstattung der Geräte nur beim Mietmodell, 2-Personen-Haushalt, THG-Emissionen [kg CO ₂ -eq/a]	40
Tabelle 4-4:	Sensitivitätsanalyse: Höhere Beladung durch Abrechnung pro Waschgang beim Mietmodell, 2-Personen-Haushalt, THG-Emissionen [kg CO ₂ -eq/a]	41

1 Hintergrund, Zielsetzung und Anwendung der Studie

Bei einem Hausgerätehersteller bestehen im Bereich der Wäschepflege Überlegungen, zusätzlich zum bestehenden Geschäftsmodell Schritte in Richtung serviceorientierter Modelle zu gehen. Bei diesen Modellen werden Geräte anstatt eines individuellen Erwerbs nach dem Prinzip „Produkt as a Service“ den Kundinnen und Kunden auf Mietbasis zur Nutzung zur Verfügung gestellt. Damit verbunden sind u.a. folgende Vorstellungen und Zielsetzungen:

- Nutzungsdauerverlängerung bzw. optimale Ausnutzung der Nutzungsdauer durch (rechtzeitige) Wartung, Reparaturen und eine Wiederaufbereitung (Refurbishing) der Geräte bei einem Servicemodell.
- Steuerung bezüglich nachhaltigerer Nutzung der Geräte, beispielsweise über den Verkauf einer bestimmten Anzahl an Waschvorgängen inklusive des optimal dosierten Waschmittels.
- Gewinnung von Kundinnen und Kunden, die aus Kostengründen zurückhaltend sind, ein besonders hochwertiges und ökologisch optimiertes Gerät zu erwerben, aber gegenüber einer Miete aufgeschlossen sind.
- Rückgewinnung von Gerätekomponenten mit dem Ziel einer Wiederverwendung (ggf. nach Aufarbeitung und Reparatur) bzw. ein hochwertiges, materialspezifisches Recycling. Dadurch dass bei einem Mietmodell der Hausgerätehersteller als Eigentümer die Kontrolle über die Geräte behält, könnten in der EoL-Phase wesentlich sorgfältigere Strategien zur Wieder- und Weiterverwendung und -verwertung umgesetzt werden und die Neuproduktion von Komponenten könnte teilweise vermieden werden.

Um die möglichen bzw. erwarteten umweltbezogenen Vorteile dieser Strategie erfassen und bewerten zu können, wird eine fundierte ökobilanzielle Grundlage benötigt. Konkret soll der Hausgerätehersteller mit modular aufgebauten (Teil-)Ökobilanzen in die Lage versetzt werden, eigenständig mögliche Geschäftsmodelle zu analysieren und zu bewerten. Auf dieser Grundlage können potenzielle ökologische Vorteile, aber auch mögliche gegenläufige Effekte (etwa höherer Aufwand in der Logistik und bei Anfahrten zu den Kundinnen und Kunden) im Vergleich zum herkömmlichen, eigentumsorientierten Geschäftsmodell ermittelt werden.

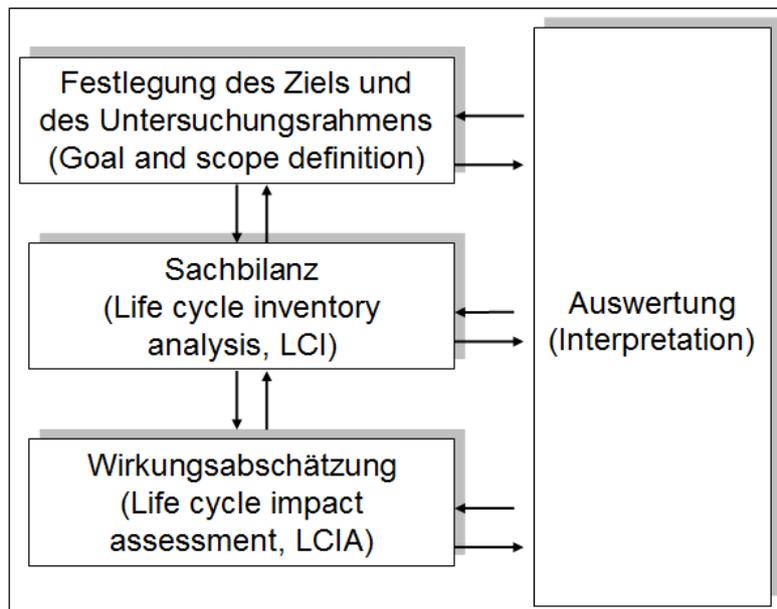
Diese Studie ist die anonymisierte Fassung eines Projektberichts aus dem Jahr 2022, der ausschließlich zur internen Verwendung bei dem Hausgerätehersteller als Auftraggeber vorgesehen war. In dieser öffentlich verfügbaren Berichtsversion wurden einige Daten und Detailbeschreibungen, aus denen Rückschlüsse auf den betreffenden Hausgerätehersteller gezogen werden können, anonymisiert, ferner ist das zusätzlich erstellte Rechenmodell nicht Gegenstand dieses öffentlich zugänglichen Berichts. Der vorliegende Bericht beinhaltet vergleichende Aussagen zu den untersuchten Varianten Kauf- bzw. Mietmodell. Nach den Vorgaben in DIN EN ISO 14040:2021-02 Abschnitt 7.3.2 wäre daher die Durchführung einer Kritischen Prüfung der Ergebnisse der Ökobilanz und des hier vorgelegten Studienberichts durch ein unabhängiges, aus mindestens drei Experten bestehendes Gutachtergremium (engl. Critical Review Panel) erforderlich gewesen. Da zunächst eine Veröffentlichung nicht vorgesehen war, wurde diese Studie weder einer externen kritischen Prüfung unterzogen, noch werden die spezifischen Anforderungen erfüllt, die für Berichte mit vergleichenden Aussagen gelten, die der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden sollen. Insofern wird für diese Studie keine Konformität mit den Ökobilanznormen DIN EN ISO 14040:2021-02 und DIN EN ISO 14044:2021-02 beansprucht.

2 Methodisches Vorgehen

2.1 Ökobilanz als methodische Grundlage der Studie

Die in dieser Studie erstellte Ökobilanz wurde in Anlehnung an die standardisierte Ökobilanz-Methode nach DIN EN ISO 14040:2021-02 und DIN EN ISO 14044:2021-02 durchgeführt. Grundsätzlich werden in einer Ökobilanz 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 oder die Entnahme knapper Ressourcen, 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 2-1).

Abbildung 2-1: Die vier Teilschritte einer Ökobilanz



Quelle: DIN EN ISO 14040:2021-02

Die folgenden Abschnitte beschreiben den Untersuchungsrahmen der Studie.

2.2 Betrachtete Alternativen

In dieser Studie werden modellhaft zwei Waschmaschinen betrachtet, die für die Nutzung in privaten Haushalten vorgesehen sind. Der Unterschied besteht im Grundsatz darin,

- ob das Gerät wie heute gängig erworben und anschließend genutzt wird (im Folgenden mit „**Kaufmodell**“ bezeichnet),
- oder ob das Gerät auf Mietbasis vom Hausgerätehersteller (oder ggf. einem beauftragten Dienstleister) zur Nutzung zur Verfügung gestellt wird, also im Eigentum des Hausgeräteherstellers verbleibt, und nach Ablauf der Vertragsdauer nach einer

qualitätsgesicherten Überholung und Instandsetzung (Refurbishing) erneut Kundinnen und Kunden zur Nutzung zur Verfügung gestellt wird. Diese Praxis wird in dieser Studie mit „**Mietmodell**“ bezeichnet.

Nachfolgend wird qualitativ beschrieben, worin sich die beiden Geschäftsmodelle mit Blick auf die Abbildung in einer Ökobilanz unterscheiden:

- Die **Herstellung der Waschmaschinen** einschließlich der vorgelagerten Wertschöpfungsketten (also Entnahme und Aufbereitung von Rohstoffen, Herstellung von Grundmaterialien und Weiterverarbeitung zu Vorprodukten und Komponenten, werkseigene Prozesse bis hin zur Endmontage der Geräte) kann als identisch angenommen werden¹. Dennoch wird in der vorliegenden Ökobilanz die Herstellung der Waschmaschinen wesentlich differenzierter abgebildet, als dies in vorangegangenen Studien (Gensch und Blepp 2015; Rüdener et al. 2020; Gensch et al. 2022) der Fall war. In diesen Studien wurde die Ökobilanz der Herstellung der Waschmaschinen aus Vereinfachungsgründen (und um den Aufwand zur Durchführung der Studien zu begrenzen) nach Materialgruppen (etwa niedrig legierte Stähle, verschiedene Arten rostfreier Stähle, Aluminium, Kunststoffcompounds etc.) strukturiert und ausgewertet. Bei Betrachtungen zur Nutzungsdauerverlängerung und Zirkularität, etwa durch direkte Wiederverwendung, oder Reparatur und Aufbereitung gebrauchter Komponenten, oder durch ein spezifisches, hochwertiges Recycling von Bauteilen, ist demgegenüber eine andere Strukturierung erforderlich – nämlich nach funktionellen Komponenten und ggf. Subkomponenten einer Waschmaschine. Das genaue Vorgehen wird im Abschnitt 3.1 erläutert.
- Bei der **Distribution** der Geräte bestehen insofern Unterschiede, als beim Kaufmodell dieser Vorgang bis zur Endauslieferung beim Kunden nur einmal während der Nutzungsdauer des Geräts stattfindet, während beim Mietmodell auch ein Wechsel des gemieteten Gerätes und damit zusätzliche Distributions-/Redistributionsvorgänge anfallen (können). Nähere Erläuterungen dazu finden sich im Abschnitt 3.2.
- **Nutzungsphase** der Geräte:
 - **Verbrauch an Waschmittel, Energie und Wasser:**

Aus den Erfahrungen von vorangegangenen Studien ist bei den meisten Indikatoren der Wirkungsabschätzung die Nutzungsphase eindeutig die relevanteste Phase entlang des Lebenswegs von Waschmaschinen. Insofern wären Unterschiede in der Nutzungsphase zwischen dem Kauf- und dem Mietmodell besonders ergebnisrelevant. In der Basisversion der Studie und des Rechenmodells wird von identischen Bedingungen in der Nutzungsphase ausgegangen. Das Modell lässt aber mit Hilfe änderbarer Parameter auch davon abweichende Annahmen zu, bspw. dass nur im Mietmodell die Geräte über Ausstattungsmerkmale verfügen, die zu Einsparungen in der Nutzungsphase (Waschmittel, Energie- und Wasserverbrauch) beitragen können, vgl. Abschnitt 3.3.
 - **Reparaturen:**

Trotz der hohen Qualität der Geräte kann nicht ausgeschlossen werden, dass in der Nutzungs-

¹ Weiter unten im Abschnitt im Text wird dargestellt, dass die Parameter des Bilanzmodells so eingestellt werden können, dass ausschließlich beim Mietmodell eine Ausstattung mit automatischer Dosierung und/oder mit der Technologie „Sparmodus bei Niedrigbeladung“ angenommen wird. Der Herstellungsaufwand der dafür notwendigen zusätzlichen Komponenten ist allerdings im Verhältnis zu anderen Parametern nicht signifikant, so dass dieser Aspekt bei der Bilanzierung der Herstellungsphase der Geräte vernachlässigt werden kann.

phase auch Reparaturen anfallen. Dem wird beim Kaufmodell durch die Berücksichtigung von Kundendienstfahrten Rechnung getragen. Beim Mietmodell wird demgegenüber in der Basisversion durch die hier angenommene regelmäßige Wartung der Geräte davon ausgegangen, dass keine zusätzlichen Reparaturen mit Kundendienstfahrten anfallen. Näheres dazu wird im Abschnitt 3.4 beschrieben.

- **Nachgebrauchsphase / End-of-Life:**

Beim Kaufmodell wird angenommen, dass die Waschmaschine am Ende des Lebenswegs vergleichbar zu anderen Haushaltsgroßgeräten in einem Mix aus ordnungsgemäß getrennter Erfassung mit geordnetem End-of-Life und nicht geordneter Entsorgung zugeführt wird. Demgegenüber werden beim Mietmodell die Geräte entlang der gesamten Nutzungsdauer mehrfach einer „R-Fabrik“ zugeführt. In dieser Fabrik finden je nach Zustand des Gerätes verschiedene Wartungsarbeiten, Reparaturen und, falls erforderlich, eine Wiederaufbereitung (Refurbishing) der Geräte statt. Am Ende der technischen oder wirtschaftlichen Nutzungsdauer können im Mietmodell die Geräte einem Sekundärmarkt zugeführt werden. Alternativ dazu könnten die verschiedenen Funktionskomponenten der Waschmaschine je nach Abnutzung und der Möglichkeit einer technischen Aufarbeitung einer Wieder- oder Weiterverwendung zugeführt werden. Aufgrund der gezielten Erfassung können sie auch einem vergleichsweise hochwertigen Recycling zugeführt werden. Die konkreten Annahmen für das Kauf- und das Mietmodell werden im Abschnitt 3.5 beschrieben.

2.3 Iteratives Vorgehen in drei Bilanzversionen und einer Ergänzungsversion

Um während des Projekts weitere Schwerpunkte der Untersuchung mit Blick auf die Ergebnisrelevanz einschätzen zu können, wurde die Bilanzierung prozessorientiert in drei aufeinanderfolgenden Versionen erstellt. Methodische und datenbezogene Grundlagen sowie die Ergebnisse jeder Bilanzversion wurden jeweils als Präsentation zusammengefasst und mit Vertreterinnen und Vertretern des Hausgeräteherstellers diskutiert. Die abschließende dritte Version wird zusätzlich zu diesem Studienbericht auch in einem Rechenmodell auf der Grundlage von MS Excel dokumentiert. Dieses Rechenmodell ist allerdings nicht veröffentlicht.

2.4 Systemgrenzen des zu untersuchenden Produktsystems

Grundsätzlich wird bei Ökobilanzen der gesamte Lebensweg der betrachteten Produktsysteme untersucht. Lebenswegabschnitte können nur von der Betrachtung ausgenommen werden, wenn diese entweder zu den gesamten Umweltbelastungen nicht oder nicht signifikant beitragen oder wenn zwischen den betrachteten Alternativen keine relevanten Unterschiede bestehen.

Aus der in Abschnitt 2.2 vorgenommenen Gegenüberstellung der Alternativen Kauf- und Mietmodell wird deutlich, dass letzten Endes in allen Lebenswegabschnitten Unterschiede bestehen bzw. je nach Einstellung der Parameter im Bilanzmodell bestehen können. Vor diesem Hintergrund umfasst die erstellte Ökobilanz alle Lebenswegabschnitte von Waschmaschinen. Dies bedeutet auch, dass für die Nutzungsphase neben der Energie- und Wasserbereitstellung auch die Herstellung des Waschmittels mitberücksichtigt wurde. Durch den Einsatz von Sekundärrohstoffen zur Herstellung der in den Geräten verarbeiteten Materialien und durch in der EoL-Phase zurückgewonnene Sekundärrohstoffe oder Gebrauchtkomponenten ergibt sich die Notwendigkeit, diese Stoffflüsse adäquat zu berücksichtigen, vgl. dazu Abschnitt 3.5.

2.5 Anforderungen an die Datenqualität

Mit den Anforderungen an die Daten und die 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 der Jahre 2020/2021 verwendet. Für die allgemeinen Daten wurde auf die letztverfügbare Ökobilanzdatenbankecoinvent 3.8 zurückgegriffen, die letzte Aktualisierung dieser Datenbank erfolgte 2022.

- **Geographischer Erfassungsbereich.**

Der geographische Bezugsraum für die Nutzungsphase ist Deutschland. Auf ihn beziehen sich die Hintergrunddaten, beispielsweise zur Strombereitstellung. Wo spezifische Daten für Deutschland nicht vorhanden waren, wurden europäische Datensätze verwendet, z. B. für die Herstellung von typischen Rohmaterialien aus dem Bereich von Metallen, Polymeren und weiteren Grundstoffen. Für die Modellierung der Entsorgung wurde ebenfalls auf Datensätze aus der Datenbankecoinvent zurückgegriffen. Je nach Entsorgungsszenario wurden dabei deutsche bzw. europäische Datensätze verwendet.

- **Technologischer Erfassungsbereich:**

Die verwendeten allgemeinen Daten bilden grundsätzlich den realisierten 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 Geräte den Mix an den im Bestand befindlichen Technologien abbilden. In den Fällen, wo auf spezifisch bei dem Hausgerätehersteller erhobene Daten zurückgegriffen wurde, wird der dort eingesetzte Stand der Technik abgebildet.

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

2.6 Funktionelle Einheiten

Allgemein dient die funktionelle Einheit nach DIN EN ISO 14040:2021-02 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 den hier vorgenommenen Vergleich des Kauf- und Mietmodells wurde zwischen zwei Haushaltsgrößen und damit eine unterschiedliche Nutzungsintensität der Geräte unterschieden. Für die Ergebnisse werden zwei funktionelle Einheiten berechnet und ausgewiesen:

„Waschen von Haushaltswäsche in 2-Personen-Haushalten mit 125 Waschgängen oder in 4-Personen-Haushalten mit 300 Waschgängen pro Jahr mit durchschnittlicher Verteilung nach Programmen und Beladung, bei einer angenommenen Nutzungsdauer der Waschmaschine von 20 Jahren“

Die definierte funktionelle Einheit bezieht sich somit auf die Nutzung der betrachteten Geräte für den Zeitraum eines Jahres, wobei die potenziellen Umweltauswirkungen aus der Herstellung, Distribution und Entsorgung entsprechend der Nutzungsdauer der Geräte anteilig umgelegt wurden. Im Basisszenario wurde sowohl für das Kauf- als auch für das Mietmodell eine identische Nutzungsdauer von 20 Jahren angenommen. Das Bilanzmodell lässt hier auch abweichende Annahmen zu.

2.7 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 einigen dieser Studie zugrunde gelegten allgemeinen Hintergrunddaten sind bereits Allokationsregeln angewendet worden; eine detaillierte Darstellung würde den Rahmen dieser Studie sprengen. Für die vorliegende Studie wurden ausschließlich Datensätze aus dem Systemmodell „Allocation at Point of Substitution (APOS)“ verwendet, die der Datenbank ecoinvent Version 3.8 entstammen.

Neben den Allokationen bei einzelnen Prozessmodulen der Ökobilanz besteht ein weiterer Festlegungsbedarf in Bezug auf Sekundärrohstoffe und die Frage nach der Vergabe für Gutschriften (und ggf. Lastschriften). Es wurde grundsätzlich angenommen, dass Stahl, Kupfer und Aluminium nach der Entsorgung einer werkstofflichen Verwertung zugeführt werden, wodurch die entsprechende Primärproduktion vermieden wird. Dabei wird von einem Closed-Loop-System ausgegangen: d. h., für den Primäranteil der eingesetzten Metalle wurde am Ende des Lebenswegs eine Gutschrift erteilt, für den Sekundäranteil der eingesetzten Metalle hingegen wurde keine Gutschrift erteilt. Bei langlebigen Gütern wird von manchen Ökobilanz-Expert*innen auch von einem „Quasi-Closed-Loop-System“ gesprochen, weil zwischen der Nutzung von primären und sekundären Rohstoffen im Input und in der Nachnutzung der aus dem Recycling gewonnenen Sekundärrohstoffe rund 20 Jahre vergehen, während diese Zeitdauer beispielsweise bei Verpackungsmaterialien nur wenige Monate beträgt. Am eigentlichen positiven Effekt der Nutzung von Sekundärrohstoffen ändert sich aber nichts.

2.8 Methode der Wirkungsabschätzung und Auswahl der Wirkungskategorie Treibhausgaspotenzial

Im Zuge der Festlegung des Untersuchungsrahmens muss auch bestimmt werden, welche Wirkungskategorien, Wirkungsindikatoren und Charakterisierungsmodelle in der Ökobilanz-Studie berücksichtigt werden. Die Wirkungsabschätzung orientiert sich an den Vorgaben von DIN EN ISO 14040:2021-02 und DIN EN ISO 14044:2021-02. Letztere benennt die nachfolgend aufgeführten verbindlichen Bestandteile der Wirkungsabschätzung:

- Auswahl von Wirkungskategorien, Wirkungsindikatoren und Charakterisierungsmodellen;
- Zuordnung der Sachbilanzergebnisse zu den ausgewählten Wirkungsindikatoren (sogenannte Klassifizierung);
- Berechnung der Wirkungsindikatorwerte (sogenannte Charakterisierung).

Neben den verbindlichen Teilen benennt die DIN EN ISO 14044:2021-02 auch optionale Bestandteile der Wirkungsabschätzung. Diese umfassen die Normierung, Ordnung und Gewichtung der Wirkungsabschätzungsergebnisse sowie die Analyse der Datenqualität. Eine Normierung, Ordnung oder Gewichtung der Ergebnisse wird in der vorliegenden Studie nicht vorgenommen.

In der vorliegenden Studie werden die Indikatoren und Modelle der Wirkungsabschätzung auf der Grundlage der PEF-Methode der EU-Kommission ausgewählt. Die konkrete Auswahl der Wirkungsindikatoren wurde so vorgenommen, dass neben den THG-Emissionen insbesondere auch die Inanspruchnahme von Ressourcen (fossile, mineralische und metallische sowie Wasser) ersichtlich wird, vgl. Tabelle 2-1.

Tabelle 2-1: Überblick zu den ausgewerteten Wirkungskategorien

Wirkungsindikator	In diesem Bericht verwendete Bezeichnung	Einheit	Kurzbeschreibung ² und Anmerkungen
Climate change	Treibhausgaspotenzial	kg CO ₂ -eq	Globales Erwärmungspotenzial über einen Zeithorizont von 100 Jahren, basierend auf IPCC 2013.
Climate change, biogenic	Treibhausgaspotenzial – biogen	kg CO ₂ -eq	Jeweils die Teilbeiträge zum globalen Erderwärmungspotenzial. Diese weisen den biogenen, fossilen und landnutzungsbedingten „Anteil“ am potenziellen Beitrag zum Klimawandel aus. Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden bei der Ergebnisdarstellung dieser Studie diese Teilbeiträge nicht getrennt ausgewiesen.
Climate change, fossil	Treibhausgaspotenzial – fossil	kg CO ₂ -eq	
Climate change, Land use and land use change	Treibhausgaspotenzial – Landnutzung und Landtransformation	kg CO ₂ -eq	
Resource use, fossils	Inanspruchnahme abiotischer Ressourcen (Energieträger)	MJ	Abiotische Ressourceninanspruchnahme fossiler Energieträger
Resource use, minerals and metals	Inanspruchnahme abiotischer Ressourcen (Mineralien und Metalle)	kg Sb eq	Abiotische Ressourceninanspruchnahme, Mineralien und Metalle
Water use	Inanspruchnahme von knappen Wasserressourcen	m ³ depriv.	Wirkungsbasierte Inanspruchnahme von Wasserressourcen basierend auf dem AWARE-Model ³

Quelle: eigene Zusammenstellung auf Basis von EF 3.0

² Die ausführliche Beschreibung der Wirkungskategorien und -indikatoren ist online verfügbar unter: https://eplca.jrc.ec.europa.eu/permalink/TR_SupportingCF_FINAL.pdf, zuletzt abgerufen am 01.06.2021

³ <http://wulca-waterlca.org/aware/>, zuletzt abgerufen am 01.03.2021

2.9 Modellierungsgrundlage und Festlegungen der Basisversion eines Parametermodells

Die Berechnung der Ökobilanz erfolgte mit Hilfe der Software openLCA mit der Datenbank ecoinvent 3.8 für die Hintergrunddaten der Ökobilanz. Bei der Konzeption zu dieser Ökobilanzstudie und bei der Diskussion der Zwischenergebnisse der Bilanzversionen 1 und 2 (vgl. Abschnitt 2.3) wurde frühzeitig deutlich, dass zu einigen Aspekten, die typischerweise bei einer Ökobilanz bei der Definition des Untersuchungsrahmens festgelegt werden, derzeit noch keine abschließenden Festlegungen getroffen werden können. Dies betrifft beispielsweise die konkrete Ausstattung der Waschmaschinen im Kauf- und Mietmodell, die Nutzungsintensität (Haushaltsgröße, Waschzyklen und Verteilung nach Programmwahl und Beladung, Nutzung von Eco-Programmen) oder die Anzahl der Refurbishing-Vorgänge während der Nutzungsdauer beim Mietmodell. Ferner mussten beispielsweise für die (Re-)Distributionsvorgänge oder die Auslegung einer „R-Fabrik“ im Mietmodell einige Annahmen (Durchsatz an Geräten zum Refurbishing pro Tag und Mitarbeiter*in, Flächenbedarf pro Gerät) getroffen werden, da hierzu noch keine Erfahrungswerte vorliegen.

Nach Vorstellung der Ergebnisse zu Bilanzversion 2 wurde in Abstimmung mit der Projektbegleitgruppe des Hausgeräteherstellers entschieden, die Festlegungen zu den signifikanten Parametern der Ökobilanz in diesem Abschlussbericht zu fixieren und hier zu dokumentieren, das Modell aber so zu strukturieren, dass davon abweichende Einstellungen der Parameter möglich sind. In der nachstehenden Tabelle werden die Parameter der Basisversion und mögliche abweichende Einstellungen dargestellt.

Tabelle 2-2: Überblick zu den Parametern für das Rechenmodell der Basisversion im Kauf- und Mietmodell sowie mögliche Variationen

Aspekt	Festlegung Basisversion ⁴	Relevant für Kaufmodell	Relevant für Mietmodell	Variationen
Tabellenblatt „Ergebnisse_Parameter“				
Waschzyklen p.a.	125 / 300	x	x	2-/4-Personen-Haushalte
Nutzungsdauer	20a	x	x	frei einstellbar
Ausstattung Automatische Dosierfunktion	ja	x	x	frei einstellbar
Ausstattung Sparmodus bei Niedrigbeladung	ja	x	x	frei einstellbar
Anzahl Refurbishments	5 / 5	-	x	frei einstellbar
Kundendienstfahrten		x	-	Zusätzliche Kundendienstfahrten beim Mietmodell optional
Waschprogramme	100% n. Stift. Warentest	x	x	Eco-Waschprogramm n. Stift. Warentest als Option einstellbar
Kontrolle Hausgerätehersteller über EoL	ja	-	x	

⁴ „# / #“: 2-Personen-Haushalt / 4-Personen-Haushalt

Quelle: Eigene Zusammenstellung

Neben den in dieser Tabelle aufgeführten Parametern sind weitere Parameter der Berechnungen im Tabellenblatt „feste_Parameter“ eingestellt, aber ebenfalls veränderbar. Dabei handelt es sich im Wesentlichen um die Parameter, die die Distribution / Redistribution sowie Kundendienstfahrten betreffen, wie beispielsweise Transportentfernungen und die Auslastung der Fahrzeuge.

2.10 Normkonformität und Kritische Prüfung

Die hier vorliegende Studie wurde entsprechend den Anforderungen an den Stand von Wissenschaft und Technik in Anlehnung an die dafür relevanten Normen DIN EN ISO 14040:2021-02 und DIN EN ISO 14044:2021-02 durchgeführt.

Der vorliegende Bericht beinhaltet vergleichende Aussagen zu den untersuchten Varianten Kauf- bzw. Mietmodell. Nach den Vorgaben in DIN EN ISO 14040:2021-02 Abschnitt 7.3.2 wäre daher die Durchführung einer Kritischen Prüfung der Ergebnisse der Ökobilanz und des hier vorgelegten Studienberichts durch ein unabhängiges, aus mindestens drei Experten bestehendes Gutachtergremium (engl. Critical Review Panel) erforderlich gewesen. Da zunächst eine Veröffentlichung nicht vorgesehen war, wurde diese Studie weder einer externen kritischen Prüfung unterzogen, noch werden die spezifischen Anforderungen erfüllt, die für Berichte mit vergleichenden Aussagen gelten, die der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden sollen. Insofern wird für diese Studie keine Konformität mit den Ökobilanznormen DIN EN ISO 14040:2021-02 und DIN EN ISO 14044:2021-02 beansprucht.

3 Grundlagen der Sachbilanz

3.1 Herstellung der Geräte

Für die hier durchgeführte Ökobilanz wurde mit Blick auf die Herstellung von Waschmaschinen ein Vorgehen gewählt, bei dem im Unterschied zu vorangegangenen Arbeiten eine deutlich tiefergehende Differenzierung auf Komponentenebene erfolgte. Als Grundlage für die Festlegung, welche Komponenten differenziert und welche Komponenten (analog zum Vorgehen in den bisherigen Studien) aggregiert nach Materialgruppen bilanziert werden, wurde bereits in der Konzeptionsphase dieser Ökobilanz eine umfangreiche, vom Hausgerätehersteller bereitgestellte Datenstruktur in MS Excel ausgewertet. Im Kern enthält diese Datenstruktur eine BOM mit sieben hierarchischen Ebenen bis hin zu Einzelbauteilen; sie umfasst 482 Zeilen und damit (unter Einbezug von Zwischenüberschriften zu den Hierarchieebenen) rund 350 Einzeleinträge, also potenzielle Ökobilanzmodule. Diese Module würden sich dann wieder ausdifferenzieren in Vorketten (Rohstoffentnahme und -aufbereitung, Herstellung von Grundmaterialien, Herstellung von Halbzeugen, Fertigungsprozesse bei Vorlieferanten und beim Hausgerätehersteller, Transport und Logistikprozesse). Für eine vollständige, komponentenscharfe Abbildung der BOM in einer Ökobilanz müssten damit in erster Näherung 2.500 Einzelmodule angelegt und logisch verknüpft werden. Dieser Aufwand wäre weder zeitlich noch finanziell rechtfertigbar bzw. dem hohen Aufwand steht ein begrenzter zusätzlicher Erkenntnisgewinn gegenüber.

Eine gängige Vereinfachungsstrategie in Ökobilanzen bei solchen Konstellationen besteht darin, ein massebezogenes Kriterium zu definieren und dann Komponenten unterhalb eines bestimmten Gewichts auszuschließen. Eine Vorauswertung hat allerdings gezeigt, dass sich die Anzahl der Einträge nur dann deutlich reduzieren würde, wenn das Kriterium auf einen Bereich zwischen 100 und 500 Gramm eingestellt würde, vgl. nachstehende tabellarische Übersicht.

Tabelle 3-1: Überlegungen zur Vereinfachung des Aufwands zur Bilanzierung der Herstellung von Waschmaschinen bei Anwendung des Massekriteriums

Massekriterium	Anzahl Einträge
Komponenten schwerer 10g	320
Komponenten schwerer 20g	284
Komponenten schwerer 50g	219
Komponenten schwerer 100g	178
Komponenten schwerer 500g	86

Quelle: Eigene Darstellung

Dabei würden aber Komponenten ausgeschlossen werden, die trotz geringem Gewicht erfahrungsgemäß zu einem hohen Anteil an den Umweltauswirkungen der Herstellung beteiligt sind, insbesondere elektronische Bauteile wie Leiterplatten einschließlich Bestückung, Sensoren und Aktoren.

Vor diesem Hintergrund wurde nach eingehender Abstimmung mit der Projektbegleitgruppe des Hausgeräteherstellers die Auswahl von Komponenten wie folgt vorgenommen: Ausgewählt wurden Komponenten, die sehr spezifisch zusammengesetzt sind und entweder im Fall einer Reparatur oder eines Refurbishing aufgrund von Verschleiß oder aus optischen Gründen ausgetauscht werden oder aufgrund der hohen Wertigkeit besonders interessant mit Blick auf eine Weiterverwendung sind. Die nach diesen Kriterien ausgewählten 43 Komponenten wurden in einer Tabelle aufgelistet. Je nach verfügbarer Information wurde die Materialzusammensetzung dieser Komponenten unterschiedlich ermittelt:

- Für manche Baukomponenten waren nähere Angaben zur Materialzusammensetzung anhand von Daten aus SAP bzw. technischen Zeichnungen verfügbar („Hausgerätehersteller/SAP“).
- Ferner lag eine differenzierte BOM für die Waschmaschine eines bestimmten Typs vor („BOM-Excel“).
- Insbesondere für Elektronikkomponenten, darunter auch MSR-Komponenten, konnten keine genauen Stücklisten zur Verfügung gestellt werden. Bei diesen Teilen erfolgte eine Bestimmung der Baukomponenten und Materialien durch Zerlegung und Verwiegung und Abmessung („Bauteilzerlegung“).
- Sofern genauere Daten nur für einzelne Komponenten vorhanden waren, wurden die Modellierungsmethoden für die Modellierung der Bauteile gemischt.
- Zwischen den Angaben in der BOM oder in den SAP-Daten einerseits und den vom Hausgerätehersteller zur Zerlegung zugesandten Komponenten andererseits waren teilweise Gewichtsunterschiede festzustellen, die im eng gesetzten Zeitrahmen dieser Studie nicht abschließend geklärt werden konnten. In diesen Fällen wurde die selbst gemessenen Gewichtsangaben zugrunde gelegt.

Die „restliche Waschmaschine“, also alle Bauteile, welche nicht in der Liste aufgeführt sind, wurden anhand ihrer Materialien kumuliert nach Materialgruppen modelliert. Dazu wurde eine Liste erstellt, die Materialien und die verwendeten Mengen der Modellierung der „restlichen Waschmaschine“ aufführt. Die Modellierung beruht auf einer Exceldatei des Hausgeräteherstellers abzüglich der Gewichtsanteile nach Materialgruppen aus der Bilanzierung der spezifischen Bauteile.

In den nachfolgenden Tabellen wird die Zuordnung der Materialgruppen zu den Datensätzen aus der herangezogenen Ökobilanzdatenbank ecoinvent V 3.8 vorgenommen, in Tabelle 3-2 für Polymere, in Tabelle 3-3 für Metalle und weitere Materialien.

Tabelle 3-2: Zuordnung von Materialgruppen aus der Gruppe der Polymere zu Datensätzen aus der Datenbank ecoinvent 3.8

Material	Materialgruppe	Materialgruppen-Modellierung in Ecoinvent
ABS	ABS	acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer production [RER] market for electricity, low voltage [DE] (Spritzgießen)
ABS-GF20	ABS-GF	acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer production [RER] market for glass fibre [RER] market for electricity, low voltage [DE] (Spritzgießen)
ASA	ASA	styrene-acrylonitrile copolymer production [RER] market for electricity, low voltage [DE] (Spritzgießen)
EPDM	Elastomer	synthetic rubber production [RER] market for electricity, low voltage [DE] (Spritzgießen)
EPS	EPS	polystyrene production, expandable [RER] market for electricity, low voltage [DE] (Spritzgießen)
NBR	ABS	acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer production [RER] market for electricity, low voltage [DE] (Spritzgießen)
PA 6.6	PA 6.6	market for nylon 6-6 [RER] market for electricity, low voltage [DE] (Spritzgießen)
PA 6.6 GF30	PA 6.6 GF	market for nylon 6-6, glass-filled [RER] market for electricity, low voltage [DE] (Spritzgießen)
PC	PC	polycarbonate production [RER] market for electricity, low voltage [DE] (Spritzgießen)
PC + ABS	PC + ABS	polycarbonate production [RER] acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer production [RER] market for electricity, low voltage [DE] (Spritzgießen)
PCB	PCB	market for printed wiring board, for power supply unit, desktop computer, Pb free - GLO
PCTG	PET	polyethylene tetraphtalat production [RER] market for electricity, low voltage [DE] (Spritzgießen)
PE-Folie	PE-Folie	polyethylene production, low density, granulate [RER] market for electricity, low voltage [DE] (Spritzgießen)
PMMA	PMMA	polymethyl methacrylate production, sheet [RER] market for electricity, low voltage [DE] (Spritzgießen)
POM	POM	melamine formaldehyde resin production [RER] market for electricity, low voltage [DE] (Spritzgießen)
POM-GF25	POM-GF	melamine formaldehyde resin production [RER] glass fibre production [RER] market for electricity, low voltage [DE] (Spritzgießen)
PP	PP	polypropylene production, granulate [RER] injection moulding [RER]

Material	Materialgruppe	Materialgruppen-Modellierung in Ecoinvent
PP + TPE	PP	polypropylene production, granulate [RER] market for electricity, low voltage [DE] (Spritzgießen)
PP GF30 + TPE	PP-GF	polypropylene production, granulate [RER] glass fibre production [RER] market for electricity, low voltage [DE] (Spritzgießen)
PP-GF30	PP-GF	polypropylene production, granulate [RER] glass fibre production [RER] market for electricity, low voltage [DE] (Spritzgießen)
PP-GF40	PP-GF	polypropylene production, granulate [RER] glass fibre production [RER] market for electricity, low voltage [DE] (Spritzgießen)
PP-T20/TPO	PP-T40	polypropylene production, granulate [RER] kaolin production [RoW] market for electricity, low voltage [DE] (Spritzgießen)
PP-T40	PP-T40	polypropylene production, granulate [RER] kaolin production [RoW] market for electricity, low voltage [DE] (Spritzgießen)
PP-TV40	PP-T40	polypropylene production, granulate [RER] kaolin production [RoW] market for electricity, low voltage [DE] (Spritzgießen)
PUR	PUR	market for polyurethane, flexible foam [RER] market for electricity, low voltage [DE] (Spritzgießen)
PVC	PVC	polyvinylchloride production, emulsion polymerisation [RER] market for electricity, low voltage [DE] (Spritzgießen)
PVDF	PVDF	market for polyvinylfluoride [GLO] market for electricity, low voltage [DE] (Spritzgießen)
Silikonkautschuk	Silikon	silicon production, electronics grade [DE] market for electricity, low voltage [DE] (Spritzgießen)
TPE	Elastomer	synthetic rubber production [RER] market for electricity, low voltage [DE] (Spritzgießen)
TPV	Elastomer	synthetic rubber production [RER] market for electricity, low voltage [DE] (Spritzgießen)
VQM	Elastomer	synthetic rubber production [RER] market for electricity, low voltage [DE] (Spritzgießen)

Quelle: Eigene Darstellung

Nicht alle Kunststoffteile werden vom Hausgerätehersteller selbst produziert. Allerdings war keine Aufteilung in selbstproduzierte Bauteile und zugekaufte Bauteile möglich. Daher wurde vereinfacht angenommen, dass Zulieferer vom Hausgerätehersteller über ähnlich effiziente Anlagen zur Kunststoffverarbeitung verfügen wie beim Hausgerätehersteller. Dementsprechend wurden für die Modellierung der Prozesse der Kunststoffverarbeitung einheitlich die spezifischen Verbrauchsdaten des Hausgeräteherstellers sowie Stromversorgung aus dem deutschen Strommix zugrunde gelegt.

Tabelle 3-3: Zuordnung von Materialgruppen aus dem Bereich der Metalle und weiteren Materialien zu Datensätzen aus der Datenbank ecoinvent 3.8

Materialgruppe	Materialgruppen-Modellierung in Ecoinvent
Chrom-Nickel-Stahl	market for steel, chromium steel 18/8 [RER], modelliert nach "steel production, converter, chromium steel 18/8 [RER]" aus ecoinvent 3.6 steel production, electric, chromium steel 18/8 [RER] market for metal working, average for chromium steel product manufacturing [RER] market for sheet rolling, chromium steel [RER] market for hot rolling, steel [RER] Modellierung mit spezifischen Daten des Hausgeräteherstellers zur Verarbeitung (Energieaufwand und Materialverluste)
Chromstahl	modifiziert nach "steel production, converter, chromium steel 18/8 [RER]" aus ecoinvent 3.6 ohne Nickel market for sheet rolling, chromium steel [RER] market for hot rolling, steel [RER] Modellierung mit spezifischen Daten des Hausgeräteherstellers zur Verarbeitung (Energieaufwand und Materialverluste)
Grauguss	Modellierung mit spezifischen Daten des Hausgeräteherstellers zur Verarbeitung (Energieaufwand, Materialzusammensetzung –verlustrate und Sekundäreinsatzquote [99%])
Stahl, niedrig legiert	market for steel, low-alloyed [RER] market for metal working, average for steel product manufacturing [RER] market for hot rolling, steel [RER]
Stahl, niedrig legiert; Kaltgewalzt	market for steel, low-alloyed [RER] market for metal working, average for steel product manufacturing [RER]
Stahlblech	market for steel, low-alloyed [RER] market for metal working, average for steel product manufacturing [RER] market for sheet rolling, steel [RER] market for hot rolling, steel [RER]
Aluminium	market for aluminium, wrought alloy [RER] market for metal working, average for aluminium product manufacturing [RER]
Kupfer	market for copper, cathode [GLO] wire drawing, copper [RER]
Messing	market for brass [RoW] market for casting, brass [GLO]
Kupfer	market for copper, cathode [GLO] wire drawing, copper [RER]
Zink	market for zinc [GLO] Metal working, average for copper product manufacturing [RER]
Holz	market for EUR-flat pallet [GLO]
Kleber	adhesive production, for metal - DE
Papier	kraft paper production [RER]
Waschmittel	Modellierung des Hausgeräteherstellers 2020
Papier	kraft paper production [RER]
Glas	glass fibre production - RER

Quelle: Eigene Darstellung

Die Verarbeitung von Grauguss, Chromstahl und Chrom-Nickel-Stahl wurde anhand von spezifischen Verbrauchsdaten und Verlustraten des Hausgeräteherstellers modelliert.

3.2 Distribution (beide Modelle) und Redistribution (Mietmodell)

In der nachfolgenden Tabelle sind die der Ökobilanz zugrundeliegenden Parameter für die Distribution der Geräte ab Werk bis zu den Kundinnen und Kunden aufgeführt. Die Angaben stammen beim Kaufmodell aus aktuellen Daten vom Hausgerätehersteller, beim Mietmodell wurde in Abstimmung mit der entsprechenden Fachabteilung des Unternehmens plausible Abschätzungen vorgenommen. Die Parameter lassen sich im Rechenmodell bei Bedarf verändern.

Tabelle 3-4: Grundlagen und Annahmen zur Distribution / Redistribution im Kauf- und im Mietmodell

Parameter	Kaufmodell	Mietmodell
Entfernung Hauptlauf (einfach)	326 km	326 km
Auslastung Hauptlauf	100%	100%
Entfernung Nachlauf (einfach)	18 km	18 km
Auslastung Nachlauf	75%	75%
Entfernung Auslieferung (einfach)	15 km	15 km
Auslastung Auslieferung	25%	25%
Entfernung Redistribution Hauptlauf (einfach)	entfällt	326 km
Auslastung Redistribution Hauptlauf		100%
Entfernung Redistribution Nachlauf (einfach)		30 km
Auslastung Redistribution Nachlauf		75%
Entfernung Redistribution Abholung (einfach)		40 km
Auslastung Redistribution Abholung		25%
Entfernung Redistribution Auslieferung (einfach)		40 km
Auslastung Redistribution Auslieferung		25%

Quelle: Eigene Darstellung nach Unternehmensangaben

3.3 Nutzungsphase der Geräte

Die der Modellierung der Nutzungsphase zugrunde liegenden Annahmen zum Energie- und Wasserverbrauch der Waschmaschine stammen aus einer Stiftung Warentest-Studie (2022) und sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 3-5: Verbrauchsdaten Stiftung Warentest

Stiftung Warentest	Beladung [kg]	Wäsche-fracht [kg]	Wasser-verbrauch [l]	Strom-verbrauch [kWh]	Wasch-gänge [p.a.]	Anteil am Programm-Mix
Eco 40-60 (halbe Beladung)	4,5	150	56	0,5	33	16,90%
30° pflegeleicht	4,5	100	51	0,3	25	12,68%
40° bunt (volle Beladung)	9	250	74	0,99	28	14,08%
40° bunt (halbe Beladung)	4,5	200	49	0,63	44	22,54%
40° bunt, kurz (halbe Beladung)	4,5	100	51	0,59	22	11,27%
40° bunt, (2 kg)			26	0,38		
60° bunt, normal (halbe Beladung)	4,5	200	51	1,12	44	22,54%

Quelle: Stiftung Warentest (2022)

Aus den Angaben der Stiftung Warentest aus Tabelle 3-5 ergeben sich durchschnittliche Verbrauchsdaten für Strom von 0,72 kWh pro Waschgang und für Wasser von 54,63 l pro Waschgang. In der vorliegenden Studie wurde ein 2-Personen-Haushalt mit einem jährlichen Wäschebedarf von 125 Waschgängen und ein 4-Personen-Haushalt mit einem jährlichen Wäschebedarf von 300 Waschgängen angenommen. Der Waschmittelverbrauch wurde aus der Studie des Sparmodus bei Niedrigbeladung aus dem Jahr 2016 übernommen und beträgt 0,055 l pro Waschgang.

Die Verbrauchsdaten werden durch die technische Ausstattung der Waschmaschinen mitbestimmt: Die mit der Technologie „Sparmodus bei Niedrigbeladung“ ausgestatteten Geräte haben auch bei kleinen Beladungsmengen sparsame Verbrauchswerte (Rüdenauer und Gensch 2016). Zudem ermöglicht die automatische Dosierfunktion eine der tatsächlichen Beladung angepasste Dosierung von Waschmitteln zum jeweils optimalen Zeitpunkt im Waschprozess und die Dosierung ist so präzise, dass gegenüber einer manuellen Dosierung bis zu 30 % Waschmittel eingespart werden kann (Blepp und Gensch 2013). Am Beispiel des 2-Personen Haushalts wird in der nachstehenden Tabelle die Variation der Verbrauchsdaten in Abhängigkeit von der Ausstattung der Geräte dargestellt. Im Bilanzmodell wird in der Basisversion davon ausgegangen, dass sowohl beim Kauf- als auch beim Mietmodell die Geräte sowohl mit einer automatische Dosierfunktion als auch mit der Technologie „Sparmodus bei Niedrigbeladung“ ausgestattet sind.

Tabelle 3-6: Variation der Verbrauchsdaten in Abhängigkeit von der Ausstattung der Geräte

	Stromverbrauch [kWh/Jahr]	Wasserverbrauch [l/Jahr]	Waschmittel- verbrauch [l/Jahr]
Waschmaschinen ohne zusätzliche Sparoptionen	115	8.796	6,9
Waschmaschinen mit automatischer Dosierfunktion und Ausstattung „Sparmodus bei Niedrigbeladung“	90	6.818	4,9

Quelle: Eigene Darstellung

3.4 „R-Fabrik“ beim Mietmodell

Beim Mietmodell besteht die Besonderheit ggü. dem Kaufmodell, dass die Waschmaschinen nach Ablauf bzw. Kündigung des Mietvertrags wieder zurück an den Hausgerätehersteller (oder an einen beauftragten Dienstleister) gehen und in einem Refurbishing-Vorgang für den nachfolgenden Mietvorgang in einer sogenannten „R-Fabrik“ aufbereitet werden. Da für diese Fabrik noch keine belastbaren Erfahrungswerte vorlagen, wurde im Rahmen dieser Studie auf der Grundlage von mit der Projektbegleitgruppe des Hausgeräteherstellers abgestimmten Annahmen eine „R-Fabrik“ wie folgt modelliert. Grundsätzlich wird dabei angenommen, dass eine R-Fabrik aus einem Werkstattbereich und einem Lagerbereich besteht.

Tabelle 3-7: Annahmen zur Abschätzung des spezifischen Energiebedarfs einer „R-Fabrik“

Parameter	Wert	Einheit	Quelle / Annahmen
Basiswerte für gewerbliche Gebäude			
Spezifischer Wärmebedarf Lager-/Garagengebäude, Baujahr nach 2002	38	kWh/m ² *a	Schlomann et al. 2013
Spezifischer Wärmebedarf Werkstattgebäude, Baujahr nach 2002	158	kWh/m ² *a	Schlomann et al. 2013
LED-Beleuchtung, 30000lm / 6000 K, Durchmesser 380 mm	210	W	Leitungsaufnahme HighBay, 210W, IP65, Fa. Reichelt
Berechnung Werkstattgebäude			
Anzahl Mitarbeiter*innen in R-Produktion	8	Personen	
davon Leitung, Logistik und Verwaltung	3	Personen	
Arbeitszeitbedarf pro Waschmaschine	1	h/Stück	
Wöchentliche Arbeitszeit	38,5	h/Woche	
Tägliche Arbeitszeit	7,7	h/d	
Täglicher Durchsatz Waschmaschinen	38,5	Stück/d	

Parameter	Wert	Einheit	Quelle / Annahmen
Effektive Arbeitstage pro Jahr	200	d/a	220 d/a abzgl. 20 d für Wartung Anlagen etc.
Jahresdurchsatz Waschmaschinen	7700	Stück/a	
spez. Flächenbedarf Werkstatt	7,5	m ² /Stück	Vergleichbar zur Endmontage von Geräten in Einzelfertigung
Flächenbedarf Werkstatt	288,75	m ²	Erforderlich, um den Tagesdurchsatz (Zeile 14) zu ermöglichen
Jährlicher Endenergiebedarf Werkstatt (Wärme)	45623	kWh/a	
Spezifischer Endenergiebedarf Werkstatt (Wärme)	5,925	kWh/Stück	
Anzahl Leuchten	24	Stück	
Jahresverbrauch Licht	7762	kWh/a	
Spezifischer Endenergiebedarf Lager (Licht)	1,01	kWh/Stück	
Berechnung Lagergebäude			
Verhältnis Lagermenge / tägl. Durchsatz	10	Stück / Stück	
Lagerfläche pro Waschmaschine	0,5	m ² /Stück	Zwei Lageretagen
Flächenbedarf Lager (ohne Verkehrsfläche)	192,5	m ²	
Zuschlag Verkehrsfläche / Lagerfläche	1,5	-	
Flächenbedarf Lager (mit Verkehrsfläche)	288,75	m ²	
Jährlicher Endenergiebedarf Lager (Wärme)	10973	kWh/a	
Spezif. Endenergiebedarf Lager (Wärme)	1,425	kWh/Stück	
Anzahl Leuchten	15	Stück	
Jahresverbrauch Licht	4851	kWh/a	
Spezif. Endenergiebedarf Lager (Licht)	0,63	kWh/Stück	Erforderlich, um den Tagesdurchsatz zu ermöglichen
Zusammenfassung			
Spezifischer Energiebedarf Wärme	7,35	kWh/Stück	
Spezifischer Energiebedarf Licht	1,64	kWh/Stück	

Quelle: Eigene Zusammenstellung.

Darüber hinaus muss für die „R-Fabrik“ auch festgelegt werden, welche Bauteile der Geräte mit welcher Wahrscheinlichkeit ausgetauscht werden. Zur Abschätzung wurden zum einen vorliegende Kundendienstdaten herangezogen. Zudem wurden Bauteile definiert, die aufgrund von Verschmutzungen oder Ähnlichem mit einer hohen Wahrscheinlichkeit in einer R-Fabrik ausgetauscht werden.

3.5 Entsorgung der Geräte

3.5.1 Szenariendefinition für das Kauf- und das Mietmodell

Die Entsorgungsphase beginnt mit einem Transportprozess der Altgeräte zu dem entsprechenden Abfallbehandlungsort. Dafür wurde eine Entfernung (einfach) von 100 km und eine Auslastung des Transportmittels von 50 % angenommen. Kauf- und Mietmodell unterscheiden sich hier in den grundlegenden Annahmen deutlich, da nur im Mietmodell des Hausgeräteherstellers einen Zugriff auf die Geräte hat und dadurch die EoL-Phase steuern kann. Die Unterschiede sind in der folgenden Tabelle erläutert.

Tabelle 3-8: Beschreibung der definierten Szenarien für die Modellierung der Entsorgungsphase

Szenario	Annahmen
Kaufmodell	<p>40 % der Geräte werden ordnungsgemäß gesammelt</p> <p>60 % der Geräte werden nicht ordnungsgemäß gesammelt. Die weitere Entsorgung ist unbekannt. Es werden folgende Annahmen getroffen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 80 % (von 60 %): Aluminium und Stahl (Eisen) werden zur werkstofflichen Verwertung weiterverarbeitet, die restlichen Materialien gehen zur Abfallbehandlung, • 20 % (von 60 %): gehen verloren. <p>Gutschriften werden berechnet (1) für die rückgewonnenen sekundären Rohstoffe (Aluminium, Eisen und Kupfer) und (2) für die thermische Verwertung von Kunststoffen.</p>
Mietmodell	<p>100 % der Geräte werden getrennt erfasst.</p> <p>Es werden folgende Annahmen getroffen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gutschriften werden berechnet (1) für die rückgewonnenen sekundären Rohstoffe (Aluminium, Eisen und Kupfer) und (2) für die thermische Verwertung von Kunststoffen. • Bauteile, welche sich aufgrund ihrer Wertigkeit besonders gut für eine Wiederverwendung eignen (beruhend auf einer Einteilung vom Hausgerätehersteller) werden für den Bau einer neuen Waschmaschine wiederverwendet. Es werden Gutschriften in Höhe der durch eine vermiedene Produktion eingesparten Emissionen und der Wiederverwendungswahrscheinlichkeit der Bauteile vergeben.

Quelle: Eigene Zusammenstellung.

Für das Kaufmodell wurde das zum aktuellen Zeitpunkt realistischste Szenario gewählt, auch wenn die betrachteten Waschmaschinen erst in etwa 20 Jahren zur Entsorgung anfallen und es heute noch nicht abzusehen ist, wie die Entsorgungssituation dann ausgestaltet sein wird (z. B. Sammelquoten, Verwertungswege etc.) und wie die Prozesse für Primärrohstoffe einschließlich Energievorketten aussehen werden, für die in der Bilanz auf der Grundlage heutiger Verhältnisse Gutschriften vergeben werden.

Beim Mietmodell behält der Hausgerätehersteller die Kontrolle über die Entsorgung der Waschmaschine, wodurch besonders gut für die Wiederverwendung geeignete Bauteile für den Bau

einer neuen Waschmaschine genutzt werden sowie im Vergleich zum Kaufmodell höhere Gutschriften für die rückgewonnenen sekundären Rohstoffe (Aluminium, Eisen und Kupfer) berechnet werden können.

3.5.2 Annahmen der Modellierung

Die Modellierung der Entsorgung erfolgte gemäß den folgenden Annahmen:

- Beim Kaufmodell wird davon ausgegangen, dass 40 % der Waschmaschinen ordnungsgemäß gesammelt werden (vgl. Boyano et al. 2017), beim Kaufmodell sind es 100 %. Bei diesen Geräten wird angenommen, dass sie entsprechend der gesetzlichen Grundlagen weiterbehandelt werden (Richtlinie über Elektro- und Elektronik-Altgeräte (WEEE-Richtlinie, neue Fassung: 2012/19/EU, vgl. WEEE-Richtlinie 2012)). Das Gerät wird mit dem Schredder zerkleinert, anschließend werden Aluminium, Kupfer und Eisenmetalle aussortiert und der weiteren Behandlung zugeführt, um Sekundäraluminium, -kupfer und -eisen zu gewinnen. Die Kunststoffe werden thermisch verwertet, der Schreddersand wird deponiert.
- Die restlichen Geräte (60 %) werden beim Kaufmodell nicht ordnungsgemäß gesammelt; entsprechend ist nicht bekannt, wie diese Geräte entsorgt werden. Es wird angenommen, dass bei 80 % dieser Geräte Stahl, Aluminium und Kupfer aus ökonomischen Gründen entnommen und dem Recycling zugeführt werden. Bezüglich der restlichen Materialien bzw. Geräte dieser nicht ordnungsgemäß gesammelten Geräte ist ein Export als Gebrauchteräte bzw. die unsachgemäße Entsorgung zumindest möglich. Daher werden im Sinne einer konservativen Herangehensweise „worst case“-Module verwendet, um diesen Pfad der Entsorgung zu modellieren. Beispielsweise setzt sich das Modul „market for municipal solid waste [RoW]“, das für die Modellierung der Entsorgung der verbleibenden 20 % der nicht ordnungsgemäß gesammelten Geräte verwendet wurde, aus Deponie (67 %), offener Verbrennung (14 %), offener Deponierung (13 %) und MVA (6 %) zusammen.
- Für die Abfallbehandlungsprozesse der Geräte, die ordnungsgemäß gesammelt werden (40 %/100 %), werden soweit möglich deutsche bzw. europäische Datensätze verwendet. Da bei den nicht ordnungsgemäß gesammelten Geräten (60 %/0 %) ein Großteil als Gebrauchteräte exportiert und dann nach einer Zweitnutzung vor Ort dort entsorgt werden, kann nicht von einer Entsorgung in Deutschland oder Europa ausgegangen werden. Für die Abfallbehandlungsprozesse dieses Anteils der Geräte werden daher Datensätze herangezogen, die sich auf globale Verhältnisse beziehen.
- Die Modellierung folgt dem Closed-Loop-Ansatz, vgl. zur Begrifflichkeit Abschnitt 2.7. Das heißt, Aluminium, Kupfer und die Eisenmetalle (z. B. Chromstahl, Chromnickelstahl, Gusseisen), die in der Maschine verwendet werden, haben je nach den verwendeten Datensätzen der Herstellungsphase unterschiedliche Primär- und Sekundäranteile. Für die Modellierung der Entsorgung wird nur der Primäranteil weiter betrachtet, da der Aufwand für die Produktion der Sekundärmetalle bereits in den Datensätzen für die Herstellung berücksichtigt worden ist.

Die Kunststoffabfälle der ordnungsgemäß gesammelten Geräte werden als Ersatzbrennstoff in der Müllverbrennungsanlage eingesetzt. Es wurden Gutschriften für Strom- und Wärmeproduktion durch die PP-Verwertung vergeben. Andere Kunststoffabfälle fallen nur in sehr geringen Mengen an, weshalb für Nicht-PP-Kunststoffabfälle keine Gutschriften vergeben wurden. Es wurden nur Gutschriften für das ordnungsgemäß gesammelte PP (40 %) vergeben. Die Stromerzeugung aus

der thermischen Verwertung hat einen elektrischen Wirkungsgrad von 14,9 % und einen thermischen Wirkungsgrad von 34,6 % (CEWEP 2010). Die Gutschrift wurde mit dem unteren Heizwert des ecoinvent-Datensatzes „treatment of waste polypropylene, municipal incineration“ berechnet, 37,70 MJ/kg. Die Gutschrift setzt sich aus der eingesparten Strom- und Wärmeproduktion zusammen. Die Gutschrift der eingesparten Stromproduktion wurde mit dem ecoinvent-Datensatz „market for electricity, medium voltage [DE]“ modelliert. Für die eingesparte Wärmeproduktion wurde der Datensatz „market for heat, district or industrial, natural gas [Europe without Switzerland]“ herangezogen.

- Die Modellierung der Entsorgung der Kunststofffraktionen der nicht ordnungsgemäß gesammelten Geräte erfolgt mit globalen Daten zur Entsorgung von Kunststoffen (Verbrennung) bzw. allgemeinen kommunalen Abfällen (vor allem Deponierung und Verbrennung). Bei den folgenden Kunststofffraktionen wurde der Glasfaseranteil der PP-Fraktion (d. h. des Laugenbehälters) von der Gesamtmenge an (PP-)Kunststoff zur Entsorgung abgezogen:
 - PP-Kunststoff Fraktion der ordnungsgemäß gesammelten Geräte
 - Kunststoff-Fraktion von 80 % der nicht ordnungsgemäß gesammelten Geräte

Tabelle 3-9 zeigt die Datensätze, die für die Modellierung der Entsorgung genutzt wurden. Dabei gibt es bei zwei Datensätzen die Notwendigkeit einer rechnerischen Anpassung. Die Datensätze „market for waste polypropylene [DE]“ und „market for waste plastic, mixture [DE]“ aus der verwendeten Datenbank ecoinvent beziehen sich auf Abfälle mit einem pauschalen Wassergehalt, bspw. durch Anhaftungen von 15,9 %. Dies mag für Kunststoffabfälle aus Lebensmittelverpackungen zutreffen, bei Kunststoffabfällen aus technischen Produkten wäre ein so hoher Wassergehalt unrealistisch. Ohne Korrektur würden die CO₂-Emissionen aus der Verbrennung deutlich unterschätzt werden. Um die Datensätze dennoch verwenden zu können, wurden im Bilanzmodell die Mengenflüsse dieser Abfallströme jeweils mit dem Faktor 115,9 % korrigiert.

Tabelle 3-9: Datensätze für die Modellierung der Entsorgung der Waschmaschinen

Aufteilung im Kauf-/Mietmodell	Prozess / Abfallfraktionen	Datensätze	Beschreibung der Prozesse
40 % / 100 % (ordnungsgemäß gesammelt)	Schredder-Aufwand	market for waste electric and electronic equipment [GLO]	Schredder-Prozess
	Beton	treatment of waste concrete, not reinforced, collection for final disposal [Europe without Switzerland]	Deponie
	PP-Kunststoff-Fraktion	market for waste polypropylene [DE]; Wassergehalt wurde korrigiert, ohne Glasfaseranteil	Verbrennung
	Andere Kunststoff-fraktionen	market for waste plastic, mixture [DE]; Wassergehalt wurde korrigiert	Verbrennung
	Stahl- / Eisen-fraktionen	sorting and pressing of iron scrap [RER]	Vorbehandlungsschritt zum Recycling
	Aluminium-fraktionen	treatment of aluminium scrap, post-consumer, prepared for recycling, at refiner [RER]	Vorbehandlungsschritt zum Recycling
	Rest	market for municipal solid waste [DE]	Rest -> 99 % MVA; 1 % Deponie
80 % des nicht ordnungsgemäß gesammelten Anteils (60 % / 0 %)	Schredder	market for waste electric and electronic equipment [GLO]	Schredderaufwand
	Kunststoffe	treatment of waste plastic, mixture, open burning [GLO], Wassergehalt wurde korrigiert, ohne Glasfaseranteil aus PP-Fraktion	Verbrennung
	Stahl- / Eisenfraktionen	sorting and pressing of iron scrap [RoW]	Vorbehandlungsschritt zum Recycling
	Aluminium-Fraktionen	treatment of aluminium scrap, post-consumer, prepared for recycling, at refiner [RoW]	für Recycling
	Beton	treatment of waste concrete, not reinforced, collection for final disposal [RoW]	Deponie
	Restliche Fraktionen	market for municipal solid waste [RoW]	Deponie (67 %); offene Verbrennung (14 %); offene Deponierung (13 %); MVA (6 %)

Aufteilung im Kauf-/Mietmodell	Prozess / Abfallfraktionen	Datensätze	Beschreibung der Prozesse
20 % des nicht ordnungsgemäß gesammelten Anteils (60 % / 0 %)	Verbleibender Reststrom an Gesamtgerät	market for municipal solid waste [RoW]	Deponie (67 %); offene Verbrennung (14 %); offene Deponierung (13 %); MVA (6 %)

Quelle: Eigene Annahmen

4 Ergebnisse

Nach einem einleitenden Abschnitt zu den Signifikanzschwellen der Ergebnisse für die vier in dieser Studie verfolgten Wirkungsindikatoren werden in Abschnitt 4.2 zunächst die Ergebnisse für die Basisversion des Bilanzmodells vorgestellt und in Abschnitt 4.3 anhand der einzelnen Beiträge näher erläutert. Um mögliche Potenziale für das Mietmodell aufzuzeigen, werden im Sinne einer Sensitivitätsanalyse in Abschnitt 4.4 ausgewählte Ergebnisse des Bilanzmodells vorgestellt, die sich aus der Berechnung mit von der Basisversion abweichenden Parametern ergeben.

4.1 Signifikanz der Ergebnisse

Gemäß DIN EN ISO 14044:2021-02 können für das bessere Verständnis der Ergebnisse der Wirkungsabschätzung einer Ökobilanz zusätzliche Methoden und Informationen notwendig sein, um zu entscheiden, ob zwischen den verglichenen Produktalternativen oder wie hier unterschiedlichen Modellen zur Bereitstellung von Waschmaschinen signifikante Unterschiede bestehen. Damit soll vermieden werden, dass kleine, nicht signifikante Unterschiede bei den einbezogenen Systemen überinterpretiert werden.

Die Identifikation der signifikanten Parameter ist Teil der Auswertungsphase einer Ökobilanz. Dabei muss beachtet werden, dass die Identifikation der signifikanten Parameter in der gängigen ökobilanziellen Praxis in der Regel nicht auf Basis von klassischen Methoden der Fehlerrechnung wie der mathematisch-stochastischen Unsicherheitsanalyse (z. B. Monte-Carlo-Simulation) erfolgt. Vielmehr werden in der ökobilanziellen Praxis überwiegend heuristische Signifikanzschwellen abgeleitet. Auf Basis langjähriger Erfahrung in der Durchführung von Ökobilanzen hält das Öko-Institut die nachfolgend dargestellten Wesentlichkeitsschwellen für gleichermaßen praktikabel wie zweckmäßig. Die Wirkungsindikatoren können dabei in drei Gruppen eingeordnet werden, vgl. die nachstehende tabellarische Übersicht.

Tabelle 4-1: Wesentlichkeitsschwellen bei den in dieser Studie ausgewählten Wirkungsindikatorergebnissen

Wirkungskategorie	Einheit	Signifikanzschwellenwert
Treibhausgaspotential (biogen, fossil und Landnutzung und -transformation)	kg CO ₂ eq	>10%
Inanspruchnahme abiotischer Ressourcen (Energieträger)	MJ	
Inanspruchnahme abiotischer Ressourcen (Mineralien und Metalle)	kg Sb eq	>20%
Inanspruchnahme von knappen Wasserressourcen	m ³ depriv.	

Quelle: Eigene Darstellung

Für die THG-Emissionen und die Inanspruchnahme von Energieträgern sind somit nur Unterschiede in den Bilanzergebnissen als signifikant anzusehen, welche höher als 10% ausfallen. Bei der

Inanspruchnahme von mineralischen oder metallischen Ressourcen und bei der Inanspruchnahme von knappen Wasserressourcen liegt der Schwellenwert bei 20%.

4.2 Ergebnisse für die Basisversion des Bilanzmodells

In Abbildung 4-1 wird für die vier hier untersuchten Wirkungsindikatoren das Kauf- und das Mietmodell vergleichend gegenübergestellt.

Aus dem Vergleich wird ersichtlich, dass sowohl bei 2-Personen- als auch bei 4-Personenhaushalten das herkömmliche Kaufmodell gegenüber dem Mietmodell geringere Werte in der Umweltinanspruchnahme aufweist. Dabei liegen die Werte bei 4-Personenhaushalten näher zusammen, was sich auf den hohen Beitrag der Nutzungsphase der Geräte und der höheren Nutzungsintensität zurückführen lässt. Mit Blick auf die festgelegten Signifikanzschwellen ist das Kaufmodell in 2-Personen-Haushalten beim Indikator fossile Rohstoffnutzung signifikant besser als das Mietmodell; bei allen anderen betrachteten Wirkungsindikatoren und bei allen Ergebnissen für die 4-Personen-Haushalte unterscheiden sich Kauf- und Mietmodell nicht signifikant.

Abbildung 4-1: Vergleich Kauf-/Mietmodell für die vier untersuchten Wirkungsindikatoren



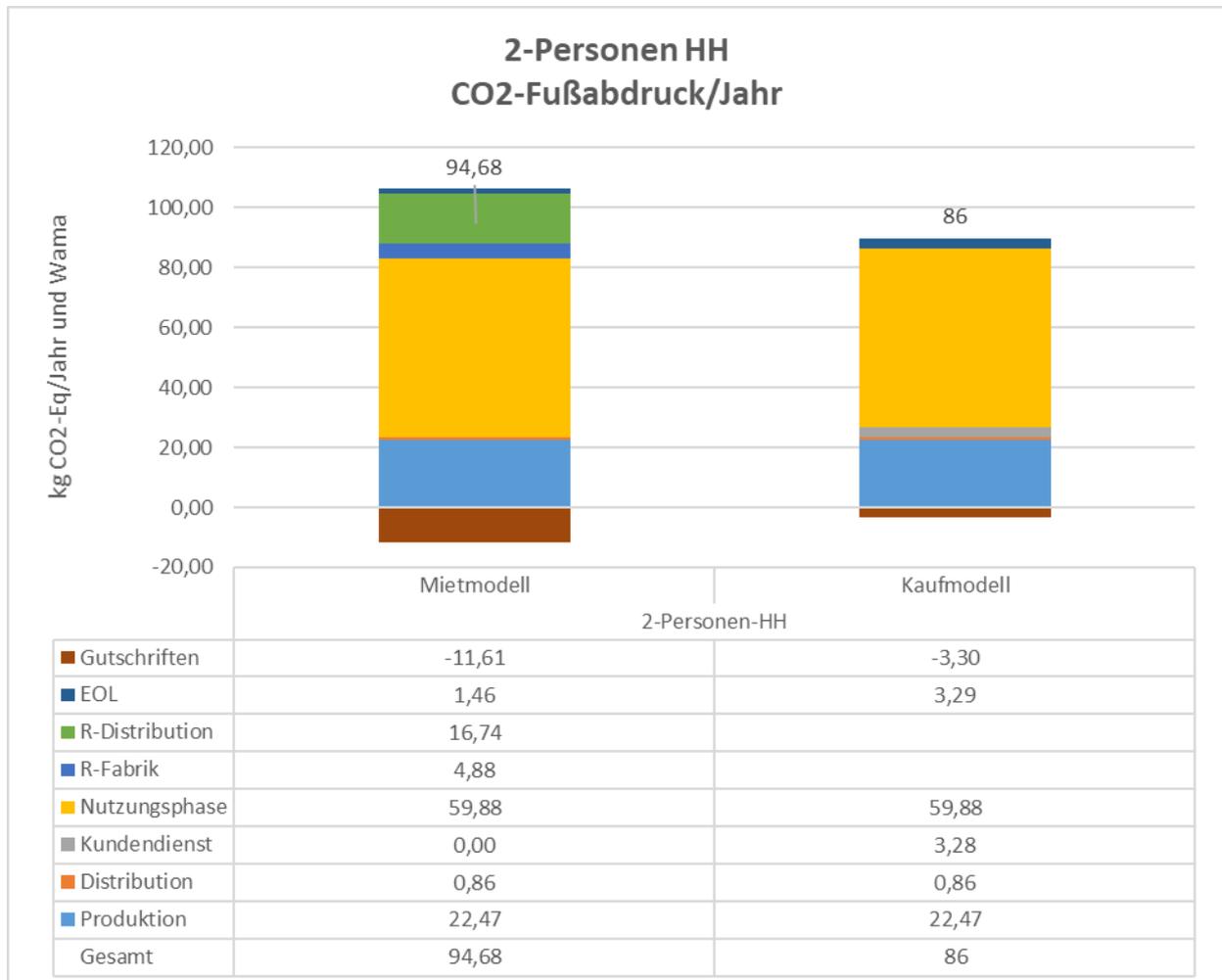
Quelle: Eigene Darstellung

4.3 Beitragsanalyse am Beispiel des Szenarios 2-Personen-Haushalte

Die Unterschiede der Ergebnisse zwischen dem Kauf- und dem Mietmodell lassen sich besser erklären, wenn die einzelnen Beiträge zu den Wirkungsindikatorergebnissen ausgewiesen werden. Dies erfolgt in den folgenden Abbildungen jeweils für den Fall der 2-Personen-Haushalte, da hier die Nutzungsphase weniger bestimmend und der Einfluss anderer Phasen im Lebensweg besser sichtbar ist.

Aus der Gegenüberstellung der THG-Emissionen in Abbildung 4-2 wird ersichtlich, dass die Lebenswegphasen Produktion, Distribution sowie die Nutzungsphase beim Kauf- und Mietmodell auf der Grundlage, der für die Basisversion des Bilanzmodells eingestellten Parametern identische Beiträge aufweisen und dass erwartungsgemäß bei beiden Modellen die Nutzungsphase mit einem Anteil von etwa 2/3 der gesamten THG-Emissionen dominiert. Beim Mietmodell gibt es mit der Redistribution zwischen den einzelnen Mietphasen und durch das Refurbishing der Geräte in der R-Fabrik mit zusammen über 22 kg CO₂-eq/a zwei zusätzliche Beiträge, die es beim Kaufmodell nicht gibt. Umgekehrt entfallen beim Mietmodell ggü. dem Kaufmodell Kundendienstfahrten, wobei diese beim Kaufmodell mit etwas über 3 kg CO₂-eq/a oder 4%, gemessen an den gesamten Emissionen, nicht sehr hoch ausfallen. Der unmittelbare Zugriff vom Hausgerätehersteller auf die Geräte im Mietmodell wirkt sich im Vergleich zum Kaufmodell mit signifikant geringeren Beiträgen aus der End-of-Life aus (beim Mietmodell 1,46 gegenüber 3,29 kg CO₂-eq/a beim Kaufmodell). Demensprechend fallen beim Mietmodell die Gutschriften für wiederverwendete Bauteile und durch die höhere stoffliche Verwertungsquote mit knapp 12 kg CO₂-eq/a um den Faktor 3,5 höher aus als beim Kaufmodell. Diese Vorteile des Mietmodells werden allerdings durch die hohen Aufwendungen zur Redistribution in der Summe überkompensiert, so dass das Mietmodell knapp an der Signifikanzschwelle von 10% schlechter als das Kaufmodell abschneidet.

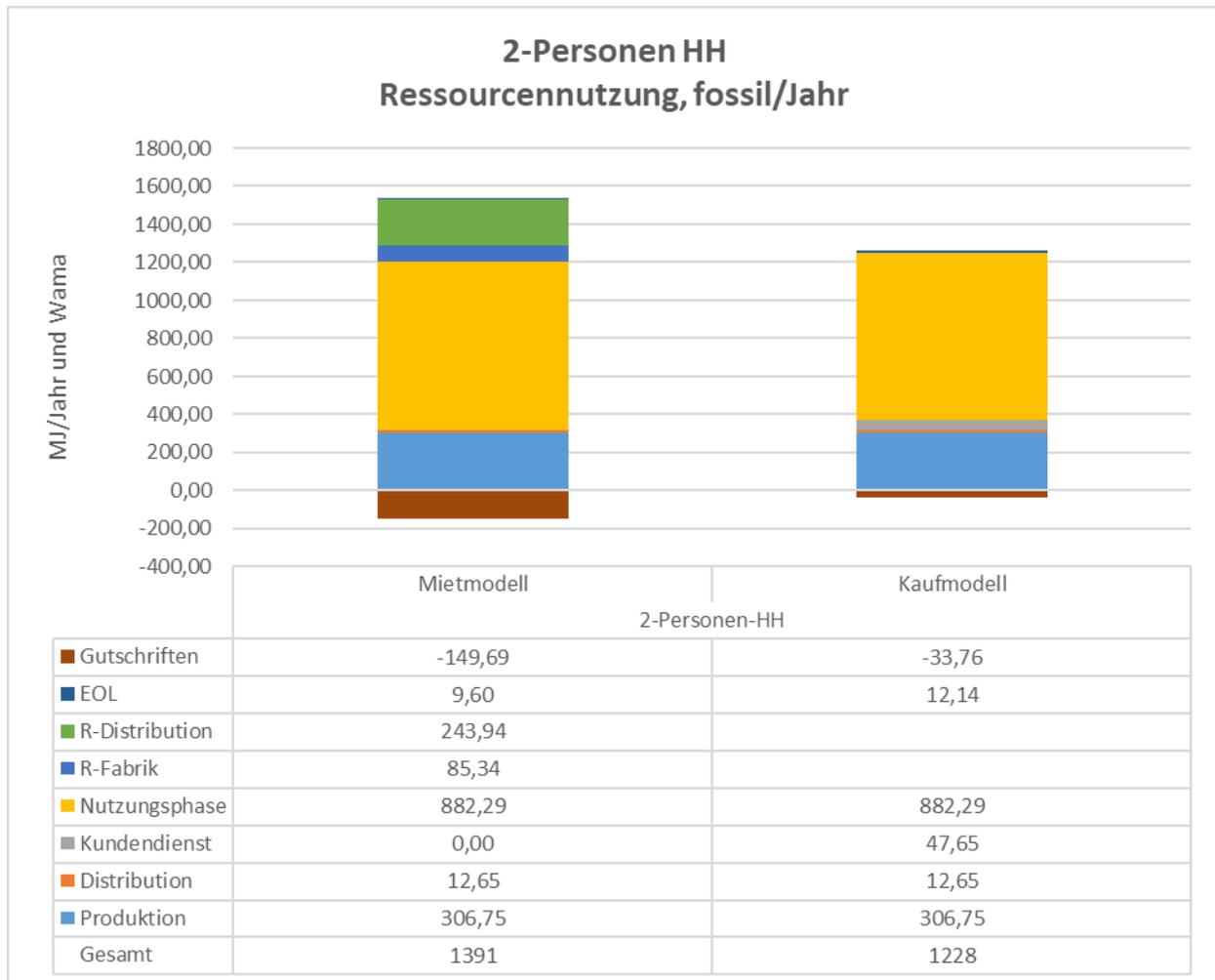
Abbildung 4-2: Vergleich der Beiträge zu den THG-Emissionen für das Miet- und das Kaufmodell für 2-Personen-Haushalte



Quelle: Eigene Darstellung

Ein analoges Bild zeigt sich auch beim Vergleich der fossilen Rohstoffnutzung, vgl. Abbildung 4-3. Auch hier können die Vorteile des Mietmodells durch geringere Beiträge im EoL und höhere Gutschriften nicht den Nachteil durch den Aufwand für die Redistribution und die „R-Fabrik“ kompensieren, so dass auch hier das Kaufmodell signifikant besser als das Mietmodell abschneidet.

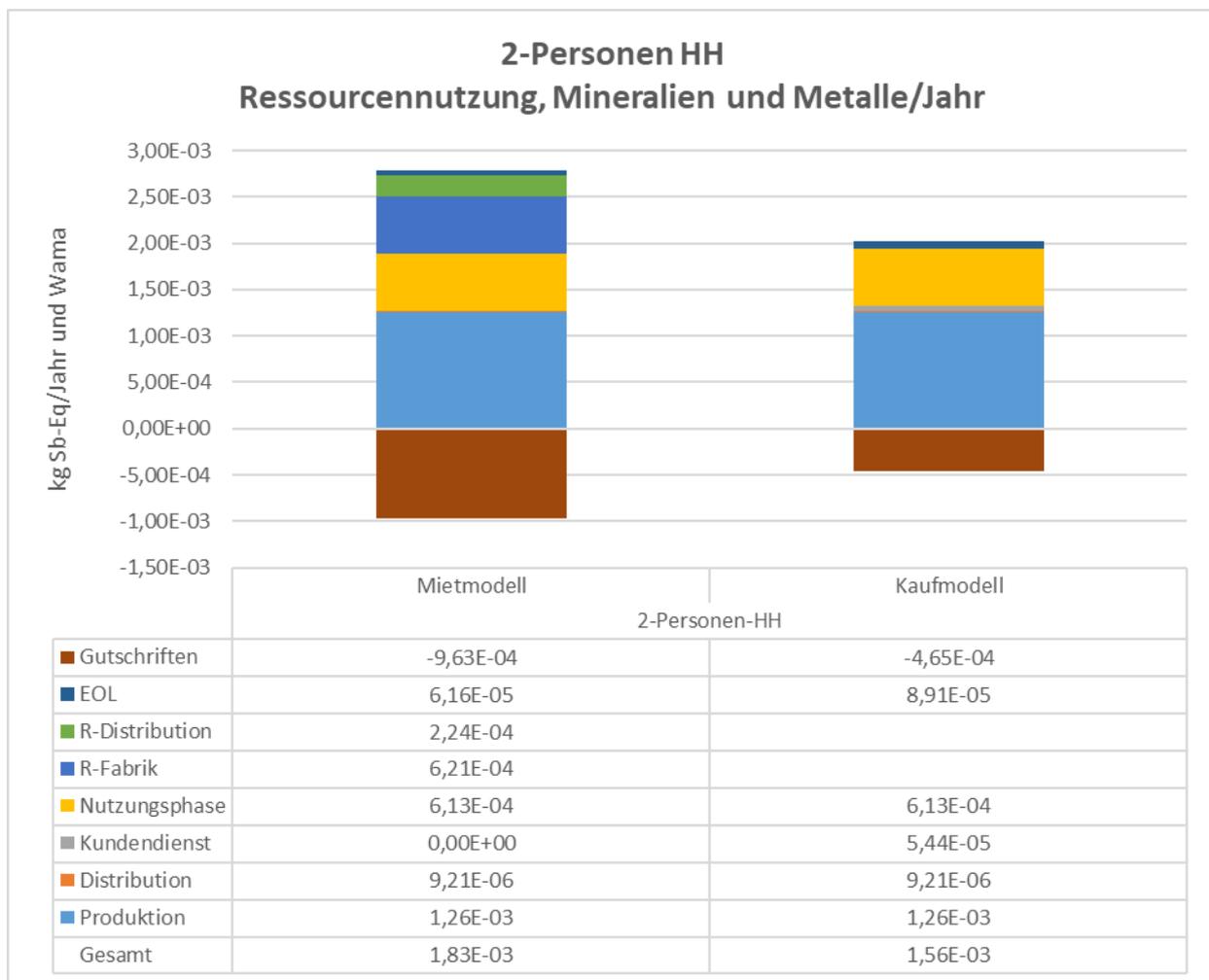
Abbildung 4-3: Vergleich der Beiträge zur Nutzung fossiler Rohstoffe für das Miet- und das Kaufmodell für 2-Personen-Haushalte



Quelle: Eigene Darstellung

Auch bei der Nutzung mineralischer und metallischer Rohstoffe schneidet das Mietmodell schlechter als das Kaufmodell ab. Die Beiträge der einzelnen Lebenswegphasen ist aber im Vergleich zu den oben diskutierten Wirkungsindikatoren unterschiedlich. Insbesondere ist der Beitrag der Nutzungsphase deutlich geringer, während (erwartungsgemäß) die Produktion der Geräte den größten Anteil einnimmt. Interessant ist bei dieser Betrachtung auch der recht hohe Beitrag aus der „R-Fabrik“. Indem im Refurbishing regelmäßig Bauteile gewechselt werden (vgl. Abschnitt 3.4), ist der Beitrag zur Nutzung mineralischer und metallischer Rohstoffe keinesfalls vernachlässigbar, da er rund 50% des Aufwands zur erstmaligen Herstellung der Geräte umfasst. Die höheren Gutschriften beim Mietmodell können insgesamt die Nachteile gegenüber dem Kaufmodell nicht aufwiegen.

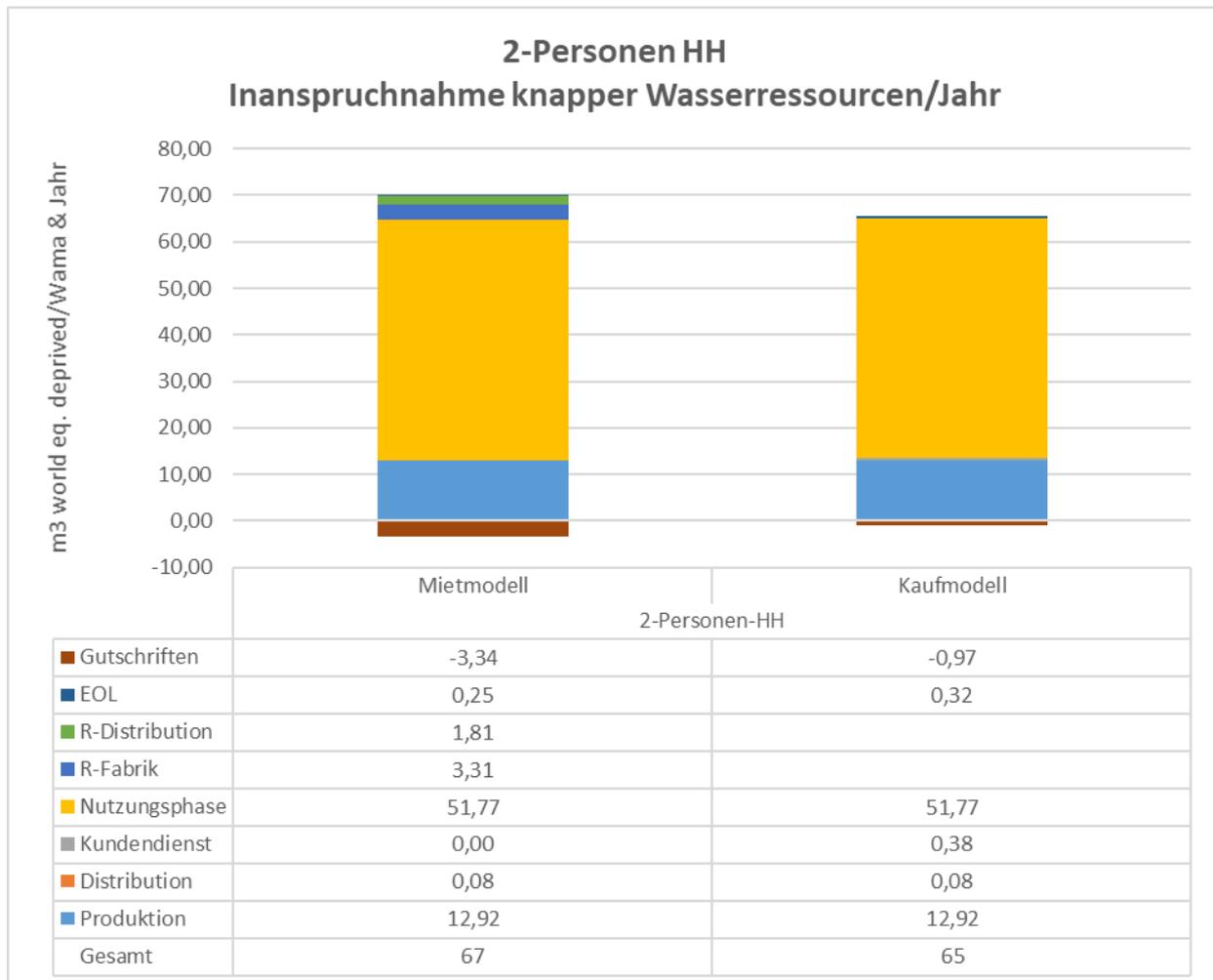
Abbildung 4-4: Vergleich der Beiträge zur Nutzung mineralischer und metallischer Rohstoffe für das Miet- und das Kaufmodell für 2-Personen-Haushalte



Quelle: Eigene Darstellung

Größter Beitrag bei der Inanspruchnahme knapper Wasserressourcen ist erwartungsgemäß die Nutzung der Geräte, gefolgt von der Produktion (bzw. genauer der Vorketten der zur Produktion eingesetzten Materialien), siehe Abbildung 4-5. Auch hier führen die Beiträge zur Redistribution beim Mietmodell dazu, dass die gesamte Inanspruchnahme höher ausfällt als beim herkömmlichen Kaufmodell.

Abbildung 4-5: Vergleich der Beiträge zur Inanspruchnahme knapper Wasserressourcen für das Miet- und das Kaufmodell für 2-Personen-Haushalte



Quelle: Eigene Darstellung

4.4 Sensitivitätsanalysen: Ausgewählte Ergebnisse des Bilanzmodells unter abweichenden Parametern

Wie bereits in Abschnitt 2.9 dargestellt wurde, konnten während der begrenzten Laufzeit des Projekts bei einigen Aspekten, die bei einer Ökobilanz bei der Definition des Untersuchungsrahmens

festgelegt werden, noch keine abschließenden Festlegungen getroffen werden. Daher wurde das Rechenmodell der Ökobilanz so strukturiert, dass bei den wichtigsten Parametern auch Einstellungen vorgenommen werden, die von der Festlegung der Basisversion des Rechenmodells abweichen. Bei diesen Variationen kann im Sinne von Sensitivitätsanalysen geprüft werden, wie sich die Lage der Ergebnisse bei abweichenden Annahmen zur Ausgestaltung des Mietmodells ändern. Daraus lassen sich auch Rückschlüsse für eine ökologisch orientierte weitere Ausgestaltung eines Mietmodells für Waschmaschinen ziehen.

Nachstehend werden exemplarisch an ausgewählten Parametern die Ergebnisse von drei Sensitivitätsanalysen erläutert. Die Klärung, ob die dabei getroffenen Annahmen realistisch bzw. bei einer Umsetzung des Mietmodells realisierbar sind, war nicht Gegenstand der vorliegenden Studie. Dem exemplarischen Charakter folgend werden die Variationen ausschließlich für den Wirkungsindikator THG-Emissionen am Beispiel von 2-Personen-Haushalten dargestellt und diskutiert. Das Rechenmodell selbst bildet alle vier einbezogenen Wirkungsindikatoren ab und stellt alle Ergebnisse für 2- und 4-Personen-Haushalte dar.

4.4.1 Reduktion der Anzahl an Refurbishing-Zyklen beim Mietmodell, mit und ohne Kontrolle über EoL

In der Basisversion des Rechenmodells wurde von fünf Refurbishing-Zyklen ausgegangen. Abweichend davon wird in dieser Sensitivitätsanalyse untersucht, wie sich die Ergebnisse ändern, wenn nur zwei Zyklen betrachtet werden. So wäre es denkbar, dass das Gerät zweimal mit jeweils 2,5 Jahren im Mietmodell ist und anschließend als „geprüftes Best-Age-Gerät“ einem hochwertigen Sekundärmarkt zugeführt wird und weitere 15 Jahre als gekauftes Gerät weiterbetrieben wird.

Die Weitergabe der Geräte aus dem Mietmodell an Sekundärmärkte würde in der Regel dazu führen, dass der Hausgerätehersteller die Kontrolle über die EoL-Phase verliert und eine Wiederverwendung von Bauteilen sowie eine hohe Erfassungs- und Verwertungsquote nicht erreicht wird. Um diesen Effekt abzubilden, wird zusätzlich noch zwischen den Varianten 2 R-Zyklen ohne und mit Kontrolle EoL unterschieden, siehe nachstehende Tabelle.

Tabelle 4-2: Sensitivitätsanalyse: Reduktion der Anzahl an Refurbishing-Zyklen beim Mietmodell, 2-Personen-Haushalt, THG-Emissionen [kg CO₂-eq/a]

Abschnitt im Lebensweg	Mietmodell 5 R-Zyklen EoL-Kontrolle	Mietmodell 2 R-Zyklen o. EoL-Kontrolle	Mietmodell 2 R-Zyklen EoL-Kontrolle	Kaufmodell
Produktion	22,5	22,5	22,5	22,5
Distribution	0,9	0,9	0,9	0,9
Kundendienst				3,3
Nutzungsphase	59,9	59,9	59,9	59,9
R-Fabrik	4,9	2,0	2,0	
R-Distribution	16,7	6,7	6,7	
EOL	1,5	3,3	1,5	3,3
Gutschriften	-11,6	-3,3	-11,6	-3,3
Gesamt	94,7	91,8	81,7	86,5

Quelle: Eigene Darstellung

Die Ergebnisse zeigen, dass der verringerte Aufwand zur Redistribution und in den „R-Fabriken“ zu geringeren THG-Emissionen beiträgt. Wenn dies allerdings zulasten der Kontrolle über die EoL-Phase geht, gehen systemtypische Vorteile des Mietmodells verloren und die Vorteile in der EoL-Phase verringern sich ebenso wie die Gutschriften aus Wiederverwendung und hochwertiger Verwertung von Bauteilen. Ein Mietmodell mit wenigen R-Zyklen mit einem anschließenden „Second-Life“ unter Beibehaltung der EoL-Kontrolle wäre aus dieser Perspektive ökologisch vorteilhaft; die THG-Emissionen würden dann leicht, allerdings noch nicht signifikant unter denen des Kaufmodells liegen.

4.4.2 Effiziente Ausstattung nur beim Mietmodell

Wie bereits in Abschnitt 3.3 erläutert, werden die Verbrauchsdaten durch die technische Ausstattung der Waschmaschinen mitbestimmt. Während im Bilanzmodell in der Basisversion davon ausgegangen wird, dass sowohl beim Kauf- als auch beim Mietmodell die Geräte sowohl mit automatischer Dosierfunktion als auch mit einem Sparmodus bei Niedrigbeladung ausgestattet sind, wird bei dieser Sensitivitätsanalyse angenommen, dass nur im Mietmodell die Geräte mit diesen technologischen Optionen ausgestattet sind. Die Ergebnisse in der nachstehenden Tabelle 4-3 zeigen, dass unter dieser Voraussetzung das Mietmodell mit Blick auf die THG-Emissionen gegenüber dem Kaufmodell knapp an der Grenze der Signifikanz besser abschneiden würde. Daraus kann geschlossen werden, dass in einem Mietmodell vornehmlich Geräte angeboten werden sollten, die mit dem am besten verfügbaren Stand der Technik ausgestattet sind.

Tabelle 4-3: Sensitivitätsanalyse: Effiziente Ausstattung der Geräte nur beim Mietmodell, 2-Personen-Haushalt, THG-Emissionen [kg CO₂-eq/a]

Abschnitt im Lebensweg	Mietmodell mit Sparmodus bei Niedrigbeladung und automatischer Dosierfunktion	Kaufmodell ohne Sparmodus bei Niedrigbeladung und automatischer Dosierfunktion	Kaufmodell mit Sparmodus bei Niedrigbeladung und automatischer Dosierfunktion
Produktion	22,5	22,5	22,5
Distribution	0,9	0,9	0,9
Kundendienst	0,0	3,3	3,3
Nutzungsphase	59,9	77,0	59,9
R-Fabrik	4,9		
R-Distribution	16,7		
EOL	1,5	3,3	3,3
Gutschriften	-11,6	-3,3	-3,3
Gesamt	94,7	103,6	86,5

Quelle: Eigene Darstellung

4.4.3 Anreiz zu höherer Beladung im Mietmodell durch Abrechnung pro Waschgang

Bei einem Mietmodell für Waschmaschinen könnte die Miete entweder an der Mietdauer oder der Nutzungsintensität, also der Anzahl der Wäschen, ausgerichtet werden. Wenn analog zu professionellen Geräten die Höhe der Mietzahlungen an der Anzahl der Wäschen bemessen wird, könnte ein Anreiz gesetzt werden, die Anzahl der Waschgänge zu verringern und weniger bei Teilbeladungen zu waschen. In der nachstehenden Tabelle wird für das Mietmodell „Abrechnung pro Waschgang“ angenommen, dass in einem 2-Personen-Haushalt die Anzahl der Wäschen um 25% von 125 auf 94 Waschgänge pro Jahr reduziert wird. Zum Vergleich werden die unveränderten Werte für das Kaufmodell dargestellt.

Das Ergebnis dieser Sensitivitätsbetrachtung zeigt, dass sich bei einer Ausgestaltung des Mietmodells pro Waschgang gegenüber einem zeitbezogenen Mietmodell die jährlichen THG-Emissionen um rund 15 kg CO₂eq bzw. knapp 16% pro Jahr verringern und niedriger als beim Kaufmodell ausfallen würden. Der Unterschied zwischen dem Kaufmodell und dem Mietmodell mit Abrechnung pro Waschgang wäre allerdings noch nicht signifikant.

Tabelle 4-4: Sensitivitätsanalyse: Höhere Beladung durch Abrechnung pro Waschgang beim Mietmodell, 2-Personen-Haushalt, THG-Emissionen [kg CO₂-eq/a]

Abschnitt im Lebensweg	Mietmodell Abrechnung über Mietdauer	Mietmodell Abrechnung pro Waschgang	Kaufmodell
Produktion	22,5	22,5	22,5
Distribution	0,9	0,9	0,9
Kundendienst			3,3
Nutzungsphase	59,9	45,1	59,9
R-Fabrik	4,9	4,9	
R-Distribution	16,7	16,7	
EOL	1,5	1,5	3,3
Gutschriften	-11,6	-11,6	-3,3
Gesamt	94,7	79,9	86,5

Quelle: Eigene Darstellung

5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Die vorliegende Studie wurde vor dem Hintergrund von Überlegungen bei einem Hausgerätehersteller durchgeführt, zusätzlich zum bestehenden Geschäftsmodell Schritte in Richtung serviceorientierter Modelle zu gehen. Bei diesen Modellen werden Geräte anstatt eines individuellen Erwerbs nach dem Prinzip „Produkt as a Service“ den Kundinnen und Kunden auf Mietbasis zur Nutzung zur Verfügung gestellt.

Um die möglichen bzw. erwarteten umweltbezogenen Vorteile einer solchen Strategie zu erfassen und zu bewerten, wurde in dieser Studie mit einer modular aufgebauten Ökobilanz eine Grundlage geschaffen, mögliche Geschäftsmodelle zu analysieren. Mit dem auf Basis von MS-Excel zur Verfügung gestellten Rechenmodell können potenzielle ökologische Vorteile, aber auch mögliche gegenläufige Effekte (etwa höherer Aufwand in der Logistik und bei Anfahrten zu den Kundinnen und Kunden) im Vergleich zum herkömmlichen, eigentumsorientierten Geschäftsmodell ermittelt werden. Als Messgrößen werden dazu vier Wirkungsindikatoren betrachtet: Treibhausgaspotenzial, Inanspruchnahme abiotischer Ressourcen (Energieträger sowie Mineralien und Metalle) und die Inanspruchnahme von knappen Wasserressourcen.

Die Parameter der Basisversion des Rechenmodells wurden mit der Projektbegleitgruppe des Hausgeräteherstellers abgestimmt und festgelegt. Bei Einstellung dieser Parameter zeigt sich, dass das Mietmodell gegenüber dem herkömmlichen Kaufmodell keine Umweltvorteile hat – in der Tendenz ist das Gegenteil der Fall. So schneidet bei 2-Personen-Haushalten bei den Indikatoren fossile und mineralische Rohstoffnutzung das Mietmodell schlechter als das Kaufmodell ab, auch wenn die Unterschiede nahe an den Signifikanzschwellen liegen.

Dieses Ergebnis kann darauf zurückgeführt werden, dass es beim Mietmodell mit der Redistribution zwischen den einzelnen Mietphasen und durch das Refurbishing der Geräte in der R-Fabrik beispielsweise bei den THG-Emissionen mit zusammen über 21 kg CO₂-eq/a zwei zusätzliche Beiträge gibt, die beim Kaufmodell nicht relevant sind. Umgekehrt gibt es beim Kaufmodell Kundendienstfahrten, wobei diese bei den THG-Emissionen mit etwas über 3 kg CO₂-eq/a oder 4% gemessen an den gesamten Emissionen nicht sehr hoch ausfallen. Der unmittelbare Zugriff vom Hausgerätehersteller auf die Geräte im Mietmodell wirkt sich im Vergleich zum Kaufmodell mit signifikant geringeren Beiträgen aus der End-of-Life aus (beim Mietmodell 1,46 gegenüber 3,29 kg CO₂-eq/a beim Kaufmodell). Demensprechend fallen beim Mietmodell die Gutschriften für wiederverwendete Bauteile und durch die höhere stoffliche Verwertungsquote mit knapp 12 kg CO₂-eq/a um Faktor 3,5 höher aus als beim Kaufmodell. Diese Vorteile des Mietmodells werden allerdings durch die hohen Aufwendungen zur Redistribution in der Summe der THG-Emissionen überkompensiert, so dass das Mietmodell knapp an der Signifikanzschwelle von 10% schlechter als das Kaufmodell abschneidet.

An drei Beispielen wurden auch Sensitivitätsanalysen angestellt, aus denen sich erste Hinweise für eine ökologische Optimierung eines Mietmodells ableiten lassen:

- Die Anzahl der Refurbishing-Intervalle und die Tiefe der jeweiligen Instandhaltung, also die Anzahl der ausgetauschten Bauteile, sollten möglichst gering ausfallen.
- Im Mietmodell sollten ausschließlich Geräte angeboten werden, die über eine besonders gute Ausstattung an Effizienztechnologien wie Sparmodus bei Niedrigbeladung und automatischer Dosierfunktion verfügen.
- Aus ökologischer Sicht würde es zudem Sinn machen, im Mietmodell einen Anreiz zu setzen, dass die Geräte (bei gleich hohem Wäscheanfall) besser beladen, also seltener genutzt werden. Dies könnte bei der Preisgestaltung des Mietmodells dadurch erreicht werden, dass die Miete nicht an der Dauer, sondern der Anzahl an Waschvorgängen bemessen wird.

Das Parametermodell erlaubt eine hohe Variation von Parametern auf verschiedenen Ebenen, wodurch die Annahmen zur Ausgestaltung eines Mietmodells noch weiter differenziert überprüft werden können. Dies sollte im Anschluss an diese Studie intern beim Hausgerätehersteller weitergeführt werden, da diese Variationen im eng gesteckten Bearbeitungszeitraum nur sehr begrenzt vorgenommen und ausgewertet werden konnten. Dazu gehört insbesondere die kritische Prüfung und Konsolidierung der Datenlage zur Gerätenutzung unter Berücksichtigung von Haushaltgröße, Programmwahl, Beladung, Dosierung und Geräteausstattung. Dies ist insofern von besonderer Relevanz, da die Nutzungsphase bei allen hier untersuchten Wirkungsindikatoren besonders relevant ist und Unterschiede in der Nutzungsphase für die Bewertung Kauf- und Mietmodell besonders signifikant sind.

Weitere Aspekte, die aus unserer Sicht in Anschlussarbeiten adressiert werden sollten, sind:

- Durchführung von Fokusgruppen (mit und ohne Informationsunterstützung der mit dieser Ökobilanz identifizierten „Hebel“ zur Optimierung des Mietmodells), um die Akzeptanz der Bedingungen zur Ausgestaltung eines Mietmodells zu prüfen.
- Abbildung zukünftiger Entwicklung und prospektive Modellierung unter Berücksichtigung folgender Gesichtspunkte:

- Nutzung batterieelektrisch betriebener leichter Nutzfahrzeuge für die Enddistribution/Redistribution (konsistenter und geprüfter Datensatz ist in Ökobilanzdatenbanken noch nicht verfügbar und müsste ggfs. neu entwickelt werden).
- Änderung der Ergebnislage unter Berücksichtigung des EE-Ausbaus im Stromnetz Deutschland in den nächsten 20 Jahren.
- Änderung der Ergebnislage unter Berücksichtigung von Entwicklungen hin zu einem THG-neutralen Grundstoffsektor (insbesondere Stahl und Kunststoffe) – dafür sind kohärente und geprüfte Daten erforderlich.

Es ist zu begrüßen, dass der Auftraggeber dieser Studie der Veröffentlichung dieser anonymisierten Version der Studie zugestimmt hat. Der Diskurs zu zirkulären Geschäftsmodellen wird teilweise wenig faktenbasiert geführt und derzeit gibt es wenig Studien, in denen auf einer fachlich fundierten Grundlage Vor- und Nachteile zirkulärer Geschäftsmodelle analysiert und diskutiert werden.

6 Literaturverzeichnis

Blepp, M.; Gensch, C.-O. (2013): Einsparpotenziale durch automatische TwinDos-Dosierung bei Waschmaschinen, Studie im Auftrag der Miele & Cie. KG. Öko-Institut e.V. (Hg.), 2013.

Boyano, A.; Cordella, M.; Espinosa, N.; Villanueva, A.; Graulich, K.; Rüdener, I.; Alborzi F.; Hook I.; Stamminger, R. (2017): Preparatory study for Ecodesign and Energy Label for Household Washing machines and washer dryers, Preparatory study. Final report. Joint Reseach Center (Hg.), Juni 2017. Online verfügbar unter [publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC109033/jrc109033_20171117_wash_prepstudy\(7\).pdf](http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC109033/jrc109033_20171117_wash_prepstudy(7).pdf), zuletzt geprüft am 16.04.2020.

DIN EN ISO 14040:2021-02 (2021): Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006); Deutsche und Englische Fassung EN ISO 14040:2021-02, Berlin: Beuth Verlag GmbH.

DIN EN ISO 14044:2021-02 (2021): Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen (ISO 14044:2006 + Amd 1:2017); Deutsche Fassung EN ISO 14044:2021-02, Berlin: Beuth Verlag GmbH.

Gensch, C.-O.; Blepp, M. (2015): Betrachtungen zu Produktlebensdauer und Ersatzstrategien von Miele-Haushaltsgeräten, Studie im Auftrag der Miele & Cie. KG. Öko-Institut e.V. (Hg.), 15.01.2015.

Gensch, C.-O.; Stuber-Rousselle, K.; Liu, R. (2022): Update der ökobilanziellen Analyse von Konstruktionsvarianten von Waschautomaten, Studie im Auftrag der Miele & Cie. KG. Öko-Institut e.V. (Hg.), 14.10.2022.

IPCC (2013): Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Stocker, T. F.; Qin, D.; Plattner, G.-K.; Tignor, M.; Allen, S. K.; Boschung, J. et al. (Hg.). Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA,, 2013. Online verfügbar unter http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_ALL_FINAL.pdf, zuletzt geprüft am 24.07.2018.

Rüdener, I.; Gensch, C.-O. (2016): Saving Potential of Miele Washing Machines with the PowerWash 2.0 Technology, Comparison of the Energy Consumption and Global Warming Potential of Washing Machines with PowerWash 2.0 with Appliances of Competitors with Conventional Technology. Öko-Institut e.V. (Hg.), 03.06.2016.

Rüdener, I.; Gensch, C.-O.; Liu, R. (2020): Ökobilanzielle Analyse von Konstruktionsvarianten bei Waschautomaten, Studie im Auftrag der Miele & Cie. KG. Finale Version (V2). Öko-Institut e.V. (Hg.). Freiburg, 21.07.2020.

WEEE-Richtlinie (2012): EU Kommission. RICHTLINIE 2012/19/EU DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 4. Juli 2012 über Elektro- und Elektronik-Altgeräte (Neufassung), WEEE-Richtlinie. In: *Amtsblatt der Europäischen Union* L 197, 38-71. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012L0019&from=DE>.