

Vergleich der Umweltauswirkungen und Kosten verschiedener Wäschetrocknungssysteme

Studie im Auftrag der
B/S/H Hausgeräte GmbH

Freiburg, 17. Juni 2008

Autoren:

Ina Rüdener

Carl-Otto Gensch

Ran Liu

Öko-Institut e.V.

Geschäftsstelle Freiburg

Postfach 50 02 40

79028 Freiburg, Deutschland

Hausadresse

Merzhauser Straße 173

79100 Freiburg, Deutschland

Tel. +49 (0) 761 - 4 52 95-0

Fax +49 (0) 761 - 4 52 95-88

Büro Darmstadt

Rheinstraße 95

64295 Darmstadt, Deutschland

Tel. +49 (0) 6151 - 81 91-0

Fax +49 (0) 6151 - 81 91-33

Büro Berlin

Novalisstraße 10

10115 Berlin, Deutschland

Tel. +49 (0) 30 - 28 04 86-80

Fax +49 (0) 30 - 28 04 86-88

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

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	III
Abbildungsverzeichnis	V
1 Hintergrund und Zielsetzung	1
2 Grundlagen und Untersuchungsrahmen	2
2.1 Generelles Vorgehen der Studie	2
2.2 Das Wäschetrocknen	2
2.3 Untersuchte Alternativen	3
2.3.1 Basisvariante	3
2.3.2 Sensitivitäts- und Detailanalysen	5
2.4 Funktionelle Einheit	6
2.5 Einbezogene Prozesse	6
2.6 Geographischer und zeitlicher Bezugsrahmen	7
2.7 Methode der Wirkungsabschätzung	8
2.7.1 Kumulierter Energieaufwand (KEA)	8
2.7.2 Treibhauspotenzial (Global Warming Potential, GWP)	8
2.7.3 Gesamtumweltauswirkungen	9
2.8 Einschränkungen	10
2.9 Kritische Prüfung	11
3 Daten und Annahmen	11
3.1 Gerätetrockner	11
3.1.1 Herstellung und Distribution	11
3.1.2 Nutzung	13
3.1.3 Entsorgung	21
3.1.4 Umweltauswirkungen durch die verwendeten Kältemittel	21
3.1.5 Kosten	25
3.2 Trockenräume	26
3.2.1 Herstellung und Entsorgung	26
3.2.2 Nutzung	27

3.2.3	Kosten	34
3.3	Energiebereitstellung	34
3.3.1	Strom- und Raumwärmebereitstellung	34
3.3.2	Umweltauswirkungen	36
3.3.3	Kosten	36
4	Ergebnisse	37
4.1	Deutschland – Basisvariante	37
4.1.1	Umweltauswirkungen	38
4.1.2	Kosten	42
4.2	Deutschland – Sensitivitätsanalysen	43
4.2.1	Deutschland – „Wirtschaftsraum“	43
4.2.2	Deutschland – „Kleinerer Trockenraum“	48
4.2.3	Deutschland – Analyse der Kältemittelverlustrate	53
4.2.4	Deutschland – Analyse einzelner Tage	55
4.3	Skandinavien	62
4.3.1	Umweltauswirkungen	62
4.3.2	Kosten	65
4.4	Spanien	67
4.4.1	Umweltauswirkungen	67
4.4.2	Kosten	70
4.5	Großbritannien	72
4.5.1	Umweltauswirkungen	72
4.5.2	Kosten	75
5	Schlussfolgerungen	77
6	Literatur	80
7	Anhang	83
7.1	Herstellung von Wäschetrocknern	84
7.2	Modellierung von Trockenräumen	88

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Zielwerte und daraus resultierende Gewichtungsfaktoren zur Berechnung der Gesamtumweltauswirkungen in UZBP	9
Tabelle 2	Annahmen zur Bilanzierung der Umweltauswirkungen durch die Distribution von Wäschetrocknern	12
Tabelle 3	Heizperioden der betrachteten Länder/Regionen	13
Tabelle 4	Anteil Heiztage während der Heizperiode und durchschnittliche Temperaturdifferenz innen / außen an Heiztagen in den betrachteten Länder/Regionen	14
Tabelle 5	Wäscheanfall in Haushalten und Trocknerbeladung	14
Tabelle 6	Anteile der Nutzungsmodi von Wäschetrocknern in Bezug auf Programmwahl und Beladung	15
Tabelle 7	Spezifischer Energieverbrauch der betrachteten Wäschetrockner in den definierten Nutzungsmodi unter Standardbedingungen	16
Tabelle 8	Stromverbrauch der betrachteten Wäschetrockner bei Nutzung während der Heizperiode	16
Tabelle 9	Kondensationsrate von Kondensationstrocknern im Programm „Baumwolle schranktrocken“ bei voller und halber Beladung	17
Tabelle 10	Ableitung der Abluftmenge an Heiztagen	19
Tabelle 11	Anrechenbarer Anteil der Abwärme von Kondensationstrocknern	20
Tabelle 12	Annahmen zur Bilanzierung der Umweltauswirkungen durch die Redistribution von Wäschetrocknern zur Entsorgung	21
Tabelle 13	Treibhauspotenzial des in den Wärmepumpenwäschetrocknern enthaltenen Kältemittels	22
Tabelle 14	Kaufpreise und jährliche Anschaffungskosten für Wäschetrockner (gerundete Werte)	25
Tabelle 15	Umweltauswirkungen durch die Herstellung und Entsorgung von Trockenräumen	27
Tabelle 16	Anrechenbarer Anteil und Lebensdauer der Trockenräume	27
Tabelle 17	Charakterisierung der Klimadaten der betrachteten Länder/Regionen	29
Tabelle 18	Wäscheanfall in Haushalten, Wäscheart und durchschnittliche Beladung	30
Tabelle 19	Eingangs- und Endrestfeuchten der Wäschetrocknung nach Wäscheart	30
Tabelle 20	Zusätzlicher Heizwärmebedarf während der Heizperiode bei Trocknung auf der Leine in beheizten Räumen	31
Tabelle 21	Zusätzlicher Heizwärmebedarf pro kg Wäsche während der Heizperiode bei Trocknung auf der Leine in beheizten Räumen	31
Tabelle 22	Übersicht der ausgewählten einzelnen Tage	33

Tabelle 23	Zusätzlicher Heizwärmebedarf bei der Trocknung eines typischen Wäschepostens auf der Leine an vier typischen Tagen während der Heizperiode	33
Tabelle 24	Strombereitstellung in den betrachteten Ländern/Regionen	35
Tabelle 25	Raumwärmebereitstellung den betrachteten Ländern/Regionen	35
Tabelle 26	Effizienz der Raumwärmebereitstellung aus Primärenergie	35
Tabelle 27	Umweltauswirkungen pro Kilowattstunde Strom bzw. Raumwärme	36
Tabelle 28	Energiepreise	36
Tabelle 29	Basisvariante: Kumulierter Energieaufwand (KEA) in MJ/a, Deutschland	38
Tabelle 30	Basisvariante: Treibhauspotenzial (GWP) in kg CO ₂ -Äq./a, Deutschland	39
Tabelle 31	Basisvariante: Gesamtumweltauswirkung in µUZBP/a, Deutschland	40
Tabelle 32	Basisvariante: Kostenvergleich, Deutschland	42
Tabelle 33	Sensitivitätsanalyse I: Kumulierter Energieaufwand (KEA) in MJ/a, Deutschland	44
Tabelle 34	Sensitivitätsanalyse I: Treibhauspotenzial (GWP) in kg CO ₂ -Äq./a, Deutschland	45
Tabelle 35	Sensitivitätsanalyse I: Gesamtumweltauswirkung in µUZBP/a, Deutschland	46
Tabelle 36	Sensitivitätsanalyse I: Kostenvergleich, Deutschland	48
Tabelle 37	Sensitivitätsanalyse II: Kumulierter Energieaufwand (KEA) in MJ/a, Deutschland	49
Tabelle 38	Sensitivitätsanalyse II: Treibhauspotenzial (GWP) in kg CO ₂ -Äq./a, Deutschland	50
Tabelle 39	Sensitivitätsanalyse II: Gesamtumweltauswirkung in µUZBP/a, Deutschland	51
Tabelle 40	Sensitivitätsanalyse II: Kostenvergleich, Deutschland	53
Tabelle 41	Auswirkung der Kältemittel-Verlustrate auf das Treibhauspotenzial, Deutschland	54
Tabelle 42	Kumulierter Energieaufwand (KEA) in MJ pro Wäscheposten, Deutschland	56
Tabelle 43	Treibhauspotenzial (GWP) in kg CO ₂ -Äq. pro Wäscheposten, Deutschland	57
Tabelle 44	Gesamtumweltauswirkung in µUZBP pro Wäscheposten, Deutschland	58
Tabelle 45	Kostenvergleich, Deutschland, pro Wäscheposten	60
Tabelle 46	Kumulierter Energieaufwand (KEA) in MJ/a, Skandinavien	62
Tabelle 47	Treibhauspotenzial (GWP) in kg CO ₂ -Äq./a, Skandinavien	63
Tabelle 48	Gesamtumweltauswirkung in µUZBP/a, Skandinavien	64
Tabelle 49	Kostenvergleich, Skandinavien	66
Tabelle 50	Kumulierter Energieaufwand (KEA) in MJ/a, Spanien	67

Tabelle 51	Treibhauspotenzial (GWP) in kg CO ₂ -Äq./a, Spanien	68
Tabelle 52	Gesamtumweltauswirkung in µUZBP/a, Spanien	69
Tabelle 53	Kostenvergleich, Spanien	71
Tabelle 54	Kumulierter Energieaufwand (KEA) in MJ/a, Großbritannien	72
Tabelle 55	Treibhauspotenzial (GWP) in kg CO ₂ -Äq./a, Großbritannien	73
Tabelle 56	Gesamtumweltauswirkung in µUZBP/a, Großbritannien	74
Tabelle 57	Kostenvergleich, Großbritannien	75
Tabelle 58	Zuordnung der verwendeten EcoInvent-Datensätze zur Bilanzierung der Materialvorketten für die drei Gerätetrockner-Technologien	84
Tabelle 59	Zuordnung der verwendeten EcoInvent-Datensätze und getroffene Annahmen zur Bilanzierung der eingesetzten elektronischen Bauelemente	86
Tabelle 60	Eingabedaten für die Modellierung der Herstellung der Trockenräume, Betonkonstruktion	88
Tabelle 61	Eingabedaten für die Modellierung der Entsorgung der Trockenräume, Betonkonstruktion	88

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Entsorgungsweg von Wäschetrocknern	23
Abbildung 2	Basisvariante: Kumulierter Energieaufwand (KEA) in MJ/a, Deutschland	38
Abbildung 3	Basisvariante: Treibhauspotenzial (GWP) in kg CO ₂ -Äq./a, Deutschland	39
Abbildung 4	Basisvariante: Gesamtumweltauswirkung in µUZBP/a, Deutschland	40
Abbildung 5	Basisvariante: Kostenvergleich, Deutschland	42
Abbildung 6	Sensitivitätsanalyse I: Kumulierter Energieaufwand (KEA) in MJ/a, Deutschland	44
Abbildung 7	Sensitivitätsanalyse I: Treibhauspotenzial (GWP) in kg CO ₂ -Äq./a, Deutschland	45
Abbildung 8	Sensitivitätsanalyse I: Gesamtumweltauswirkung in µUZBP/a, Deutschland	46
Abbildung 9	Sensitivitätsanalyse I: Kostenvergleich, Deutschland	47
Abbildung 10	Sensitivitätsanalyse II: Kumulierter Energieaufwand (KEA) in MJ/a, Deutschland	49
Abbildung 11	Sensitivitätsanalyse II: Treibhauspotenzial (GWP) in kg CO ₂ -Äq./a, Deutschland	50
Abbildung 12	Sensitivitätsanalyse II: Gesamtumweltauswirkung in µUZBP/a, Deutschland	51
Abbildung 13	Sensitivitätsanalyse II: Kostenvergleich, Deutschland	52

Abbildung 14	Auswirkung der Kältemittel-Verlustrate auf das Treibhauspotenzial, Deutschland	54
Abbildung 15	Kumulierter Energieaufwand (KEA) in MJ pro Wäscheposten, Deutschland	56
Abbildung 16	Treibhauspotenzial (GWP) in kg CO ₂ -Äq. pro Wäscheposten, Deutschland	57
Abbildung 17	Gesamtumweltauswirkung in µUZBP pro Wäscheposten, Deutschland	58
Abbildung 18	Kostenvergleich, Deutschland, pro Wäscheposten	60
Abbildung 19	Kumulierter Energieaufwand (KEA) in MJ/a, Skandinavien	62
Abbildung 20	Treibhauspotenzial (GWP) in kg CO ₂ -Äq./a, Skandinavien	63
Abbildung 21	Gesamtumweltauswirkung in µUZBP/a, Skandinavien	64
Abbildung 22	Kostenvergleich, Skandinavien	65
Abbildung 23	Kumulierter Energieaufwand (KEA) in MJ/a, Spanien	67
Abbildung 24	Treibhauspotenzial (GWP) in kg CO ₂ -Äq./a, Spanien	68
Abbildung 25	Gesamtumweltauswirkung in µUZBP/a, Spanien	69
Abbildung 26	Kostenvergleich, Spanien	70
Abbildung 27	Kumulierter Energieaufwand (KEA) in MJ/a, Großbritannien	72
Abbildung 28	Treibhauspotenzial (GWP) in kg CO ₂ -Äq./a, Großbritannien	73
Abbildung 29	Gesamtumweltauswirkung in µUZBP/a, Großbritannien	74
Abbildung 30	Kostenvergleich, Großbritannien	75

1 Hintergrund und Zielsetzung

Die BSH Bosch und Siemens Hausgeräte GmbH (im Folgenden kurz „BSH“) hat einen neuartigen Wäschetrockner mit Wärmepumpentechnologie entwickelt, der im Laufe des Jahres 2008 auf den Markt kommen soll. Dieser ist nach Angaben der BSH im Vergleich zu konventionellen Abluft- und Kondensationstrocknern, aber auch im Vergleich zu Wärmepumpentrocknern von Mitbewerbern energieeffizienter. Allerdings wird ein Kältemedium eingesetzt, das im Unterschied zu R134a, welches derzeit in auf dem Markt erhältlichen Wärmepumpentrocknern eingesetzt wird, ein höheres spezifisches Treibhauspotenzial hat. Außerdem wird hiervon eine größere Menge als bei den derzeitigen Wärmepumpentrocknern eingesetzt.

Vor diesem Hintergrund wurde von BSH die vorliegende Studie beauftragt. Die Studie analysiert, ob das neu entwickelte Gerät unter einer Lebenswegperspektive gegenüber den bislang entwickelten Wärmepumpentrocknern und konventionellen Wäschetrocknern Vor- oder Nachteile aufweist bzw. „ökologisch gleichzieht“. Die Ergebnisse sollen zum einen der internen Orientierung im Unternehmen, zum anderen als Grundlage für eine Kommunikationsstrategie dienen, um die erwarteten Gesamtvorteile auf einer wissenschaftlich nachvollziehbaren Basis kommunizieren zu können. Zielgruppen für den BSH-Wärmepumpentrockner sind dabei einerseits KonsumentInnen, die bereits Wäschetrockner verwenden und auf ein energieeffizienteres Gerät umsteigen wollen, andererseits umweltbewusste KonsumentInnen, die ihre Wäsche bisher an der Luft getrocknet haben. Dieser Zielgruppenbezug wurde bei der Definition der funktionellen Einheit berücksichtigt, d.h. es wurde von einer ökologisch sensibilisierten Klientel ausgegangen, die besonders energiesparend Wäsche trocknen möchte und daher wenn, dann Wäschetrockner nur während der Heizperiode nutzt.

Neben dieser, auf eine spezifische Gerätetechnologie ausgerichteten Untersuchung soll das Thema Wäschetrocknen insgesamt analysiert werden. Das Öko-Institut hat hierzu bereits in 2004 Ergebnisse von Berechnungen zu den Umweltauswirkungen und den Kosten des Wäschetrocknens in Gerätetrocknern und Trockenräumen veröffentlicht (vgl. Gensch und Rüdener 2004). Teilweise beruhen die dort durchgeführten Berechnungen auf älteren Daten (z.B. sind die Daten zur Modellierung der Herstellung von Gerätetrocknern von 1996) bzw. es wurden zum Teil sehr grobe Annahmen, v.a. bzgl. des Heizwärmebedarfs getroffen. Die Berechnungen und Annahmen werden daher in der vorliegenden Studie validiert und aktualisiert.

2 Grundlagen und Untersuchungsrahmen

2.1 Generelles Vorgehen der Studie

Der *Vergleich der Umweltauswirkungen* der verschiedenen Wäschetrocknungssysteme erfolgt entsprechend den Ökobilanznormen ISO 14040 und 14044. Allerdings wurde keine Kritische Prüfung durchgeführt, welche bei vergleichenden und zur Veröffentlichung bestimmten Ökobilanzen obligatorisch ist (vgl. Kapitel 2.9). Das heißt, der gesamte Lebensweg der zu untersuchenden Alternativen wird berücksichtigt, von der Bereitstellung der Rohstoffe zur Herstellung der Geräte bzw. Trockenräume, über die Nutzung bis hin zur Entsorgung. Die Systemgrenzen der Alternativen und der zu erfüllende Nutzen sind dabei identisch.

Der *Vergleich der Kosten* der verschiedenen Wäschetrocknungssysteme wird mit Hilfe einer Lebenszykluskostenrechnung auf Basis einer statischen Kostenrechnung durchgeführt. D.h. es werden alle Kosten berücksichtigt, die mit einer der Alternativen für den Nutzer verbunden sind (also Kosten für die Anschaffung, Nutzung und ggf. Entsorgung). Dynamische Aspekte wie zukünftige Preissteigerungen oder Diskontierungen werden nicht berücksichtigt, da die Unsicherheiten im Zusammenhang mit der Abschätzung zukünftiger Preisentwicklungen oder des anzuwendenden Diskontsatz größer wären als der zu erwartende zusätzliche Erkenntnisgewinn. Dabei werden die gleichen Alternativen wie beim Vergleich der Umweltauswirkungen betrachtet.

Die Systemgrenzen, Daten und Annahmen werden in den folgenden Kapiteln dokumentiert.

2.2 Das Wäschetrocknen

Das Trocknen feuchter Wäsche benötigt in jedem Fall Energie. Ein erster Schritt ist das Schleudern in der Waschmaschine, wobei Wasser mechanisch aus der Wäsche entfernt wird. Die noch in der Wäsche verbleibende Restfeuchte muss anschließend thermisch entfernt werden. Je geringer die Eingangsrestfeuchte der Wäsche, umso geringer ist der thermische Energieverbrauch.

Wird Wäsche auf der Leine getrocknet, so muss das in der Wäsche enthaltene Wasser verdunstet werden. Hierfür ist in jedem Fall die Verdampfungsenthalpie von Wasser notwendig, die beim Wäschetrocknen in beheizten Räumen durch das Heizsystem bereitgestellt werden muss. Muss daneben durch das Wäschetrocknen mehr gelüftet werden (da ansonsten die Luftfeuchtigkeit im Innenraum zu stark ansteigt), so muss diejenige Menge an Luft, die zusätzlich zum ohnehin stattfindenden Luftaustausch ausgetauscht wird, während der Heizperiode vom Heizungssystem aufgeheizt werden.

Wird Wäsche im Wäschetrockner getrocknet, so wird hierfür zum einen direkt elektrische Energie für den Betrieb des Geräts benötigt. Je nach Wäschetrocknertechnologie wird darüber hinaus entweder zusätzlich Raumwärme benötigt oder Raumwärme eingespart. Grundsätzlich kann man zwei Gerätetechnologien unterscheiden:

- Bei *Abluftwäschetrocknern* wird die Luft aus der Umgebung angesaugt, aufgeheizt und in die Trommel geleitet. Dort nimmt die Luft die Feuchtigkeit aus der Wäsche auf und wird über den Abluftschlauch ins Freie geleitet. Hierdurch entsteht ein leichter Unterdruck im Gebäudeinneren, was dazu führt, dass Luft von außen durch Undichtigkeiten oder geöffnete Fenster/Türen nachströmt. Je nach Aufstellort des Trockners und Jahreszeit muss diese Luft auf die Raumtemperatur aufgeheizt werden. Ablufttrockner sind also in der Regel mit einem zusätzlichen Heizwärmebedarf verbunden.
- Bei *Kondensationstrocknern* wird die Luft zum Trocknen der Wäsche im Kreislauf geführt. Die aufgeheizte (trockene) Luft wird in die Trommel geführt und nimmt dort Feuchtigkeit aus der Wäsche auf. Anschließend wird der Wasserdampf, der in der heißen Luft enthalten ist, im Kondensator kondensiert und die wieder trockene und abgekühlte Luft erneut in den Kreislauf geführt. Es ist kein Abluftschlauch ins Freie notwendig. Bei konventionellen Kondensationstrocknern wird die Abwärme vollständig an den Raum abgegeben. Kondensationstrockner mit Wärmepumpe (so genannte Wärmepumpentrockner) verwenden einen Teil der Abwärme erneut für den Trocknungsvorgang und verbrauchen dadurch gegenüber konventionellen Kondensationstrocknern weniger Strom. Auch hier wird die restliche Abwärme an den Raum abgegeben. Die an den Raum abgegebene Abwärme kann einen gewissen Anteil des Heizwärmebedarfs bereitstellen, der somit nicht vom normalen Heizsystem bereitgestellt werden muss.

2.3 Untersuchte Alternativen

2.3.1 Basisvariante

In der Studie werden verschiedene Gerätetrockner und das Trocknen von Wäsche auf der Leine betrachtet. Konkret werden für alle betrachteten Länder/Regionen (vgl. Kapitel 2.6) folgende Alternativen miteinander verglichen:

- Nutzung eines konventionellen Ablufttrockners (Energieeffizienzklasse C) während der Heizperiode;
- Nutzung eines konventionellen Kondensationstrockners (Energieeffizienzklasse B) während der Heizperiode;
- Nutzung eines Kondensationstrockner mit Wärmepumpe von BSH-Mitbewerbern (Energieeffizienzklasse A) während der Heizperiode (kurz „Wärmepumpentrockner Wettbewerb“);

- Nutzung eines Kondensationstrockner mit Wärmepumpe von BSH während der Heizperiode (kurz „Wärmepumpentrockner BSH“);
- 5./6. Trocknung in einem Raum, dessen Spezifikationen einem Wohnraum entsprechen (Größe ca. 20 m², Höhe ca. 2,5 bis 2,7 m; Soll-Raumtemperatur: 20°C, Soll-Luftfeuchtigkeit: maximal 50%);
- Alternative 5: mit geregelter Lüftung mit Luftfeuchtesensor, dies entspricht einer „Best Case“-Trockenraum-Variante;
- Alternative 6: ohne geregelte Lüftung, dafür mit einem über den Zeitraum der Wäschetrocknung gekippten Fenster, dies entspricht einer „Worst Case“-Trockenraum-Variante.

Es wird angenommen, dass bei den vier Alternativen bei denen in Wäschetrocknern getrocknet wird, dieser nur während der Heizperiode genutzt wird. In Monaten, in denen nicht geheizt wird, wird wie bei den anderen beiden Alternativen auf der Leine getrocknet und dadurch keine zusätzliche Energie verbraucht. Das heißt, es wird untersucht, ob während der Heizperiode die Nutzung von Wäschetrocknern gegenüber der Trocknung auf der Leine vorteilhaft ist.

Diese Annahme resultiert aus der Tatsache, dass in Monaten, in denen nicht geheizt wird, die Trocknung auf der Leine auf jeden Fall der Trocknung im Wäschetrockner vorzuziehen ist, da in diesem Zeitraum keine Heizwärme für die Leinentrocknung anfällt. Die notwendige Energie für die Trocknung wird direkt durch Sonnen- oder Windenergie bereitgestellt und verursacht keinerlei Umweltauswirkungen. Ökologisch vorteilhaft sind Wäschetrockner daher höchstens während der Heizperiode. Die Annahme wird vor dem Hintergrund der angestrebten Zielgruppe des BSH-Wärmepumpentrockners (eher umweltbewusste KonsumentInnen, die möglichst energiesparend Wäsche trocknen möchten) als realistisch eingeschätzt.

Das Trocknen in Wohnräumen ist in Mietswohnungen zwar häufig nicht gestattet. Allerdings stellt es (neben der Nutzung von Wäschetrocknern) v.a. während der Heizperiode oft die einzige Alternative zur Trocknung in Trockenräumen, wie Dachboden oder Keller, dar, da an ungünstigen Wetterlagen (kalt, feucht), die Wäsche dort nicht innerhalb einer für den Verbraucher akzeptablen Zeitspanne trocknet. Zu lange Trocknungsdauern können auch dazu führen, dass die frisch gewaschene Wäsche unangenehm oder muffig riecht, da sich in der feuchten Wäsche Mikroorganismen vermehren können. Wäsche wird daher v.a. im Winter in Räumen getrocknet, die entweder absichtlich oder durch Abwärme von Heizungsanlagen oder –rohren beheizt werden. Letzteres ist v.a. in energieoptimierten Gebäuden eher selten anzutreffen (was unter energetischen Gesichtspunkten zu befürworten ist!), so dass eine akzeptable Trocknungsdauer hier zum Teil eben durch gezieltes Heizen erreicht wird.

Nicht berücksichtigt werden so genannte Raumlüftentfeuchter und Trockenschränke. Beide Systeme haben nur eine vergleichsweise geringe Marktrelevanz.

Raumlüftentfeuchter werden in potenziell feuchten Räumen aufgestellt, z.B. in Gemeinschaftstrockenräumen und reduzieren die in der Luft enthaltene Feuchtigkeit durch Kondensation. Damit entsprechen sie von der Funktionsweise her etwa einem Kondensations-trockner und sind hinsichtlich ihres Energieverbrauchs mit diesem vergleichbar. Auch hier gibt es Geräte mit und ohne Wärmepumpe. Wesentlich für einen möglichst niedrigen Energieverbrauch ist, dass die Fenster und Türen des Trockenraums während des Betriebs des Raumlüftentfeuchters geschlossen bleiben müssen, da sonst unnötig viel Feuchtigkeit kondensiert wird. (TopTen.ch 2008)

Trockenschränke arbeiten ebenfalls entweder über das Kondensationsprinzip oder über das Abluftprinzip. Bei Geräten mit Kondensationsprinzip entspricht der Energieverbrauch ebenfalls in etwa entsprechenden Kondensationswäschetrocknern. Ablufttrockenschränke funktionieren ähnlich wie Ablufttrockner, d.h. die feuchte Luft wird nach außen geblasen. Diese Geräte haben oft einen sehr geringen Stromverbrauch, da nur eine geringe oder keine Heizleistung erbracht wird und damit nur vergleichsweise wenig Strom für die Ventilation benötigt wird. Da die Trocknung dafür aber sehr lange (etliche Stunden) dauert, werden pro Trockengang sehr große Abluftmengen nach Außen transportiert. Der Gesamtenergieverbrauch dieser Geräte hängt daher entscheidend von der zusätzlich benötigten Raumwärme ab, was wiederum von den klimatischen Bedingungen und der Art der Raumwärmebereitstellung abhängt (TopTen.ch 2008, BSH 2008).

Es kann davon ausgegangen werden, dass beide hier nicht berücksichtigte Trockensysteme keine wesentlichen Vorteile gegenüber heute am Markt befindlichen A-Wäschetrocknern besitzen, sondern tendenziell eher schlechter abschneiden (vgl. auch Nipkow 1999).

2.3.2 Sensitivitäts- und Detailanalysen

(1) Als **Sensitivitätsanalysen bezüglich der Trocknung auf der Leine** werden für den geographischen Bezugsraum Deutschland noch folgende Untersuchungen durchgeführt:

- Trocknung in einem Raum, dessen Spezifikationen einem Hauswirtschaftsraum entsprechen (d.h. geringere Soll-Raumtemperatur (18°C), höhere erlaubte Luftfeuchtigkeit (70%));
- Trocknung in einem kleineren Raum (Größe 12 m²).

(2) Da die Verlustrate des in Wärmepumpentrocknern eingesetzten Kältemittels eine relativ hohe Unsicherheit aufweist und gleichzeitig das Kältemittel ein relativ hohes Treibhauspotenzial aufweist, wird die **Abhängigkeit der Ergebnisse von der Verlustrate des Kältemittels** für den geographischen Bezugsraum Deutschland gesondert untersucht.

Dabei wird für die Alternativen der Basisvariante (s.o.) das Treibhauspotenzial in Abhängigkeit von der Verlustrate berechnet. Die Alternativen ohne Kältemittel zeigen keine Abhängigkeit, lediglich bei den beiden Wärmepumpentrockner-Alternativen steigt das jährliche Treibhauspotenzial mit steigender Verlustrate an.

(3) Um noch genauere Aussagen zu ermöglichen, ob es an einzelnen Tagen während der Heizperiode ökologisch und ökonomisch sinnvoll ist, einen Wäschetrockner zu nutzen, werden **vier typische Tage während der Heizperiode** (Wintertag, Übergangstag trocken, Übergangstag feucht (Klima Berlin), Übergangstag sehr feucht (Klima Hamburg)) gesondert betrachtet. Dabei werden für jeden dieser Tage die Umweltauswirkungen und Kosten durch die Trocknung eines typischen Wäschepostens von 3,3 kg für die Alternativen der Basisvariante (s.o.) berechnet. (vgl. Kapitel 3.2.2)

Die genaue Spezifizierung und Beschreibung der Modellierung der betrachteten Alternativen erfolgt in Kapitel 3 (Daten und Annahmen).

2.4 Funktionelle Einheit

Bei der funktionellen Einheit handelt es sich im Rahmen von Ökobilanzen um den quantifizierten Nutzen der untersuchten Systeme, auf den sich alle zu ermittelnden Daten sowie die Ergebnisse der Studie beziehen. Sie muss für alle untersuchten Alternativen identisch sein.

Die in der vorliegenden Studie definierte funktionelle Einheit ist die Trocknung der jährlich in einem durchschnittlichen privaten Haushalt anfallenden Menge an feuchter Wäsche. Die Parameter der Wäsche z.B. bezüglich Restfeuchtegehalt entsprechen den Vorgaben der Norm EN 61121:2005 zur Messung des Energieverbrauchs von Wäschetrocknern.

Wie oben bereits erläutert, wird angenommen, dass bei den vier Alternativen bei denen in Wäschetrocknern getrocknet wird, dieser nur während der Heizperiode genutzt wird. In Monaten, in denen nicht geheizt wird, wird wie bei den anderen beiden Alternativen auf der Leine getrocknet und dadurch keine zusätzliche Energie verbraucht.

2.5 Einbezogene Prozesse

Es wird grundsätzlich der gesamte Lebensweg der Wäschetrocknungssysteme betrachtet. Auch wenn häufig die mit der Gerätenutzung verbundenen Umweltbelastungen dominierend sind, macht die Betrachtung des gesamten Lebenswegs Sinn. Dadurch können beispielsweise die bei der Gerätenutzung erwarteten Effizienzgewinne mit potenziell höheren Umwelt-

belastungen durch die Verwendung eines klimawirksamen Kältemittels in Relation gesetzt werden.

Die einbezogenen Prozesse sind

- die Herstellung der Wäschetrockner und Trockenräume (einschließlich Vorketten der eingesetzten Materialien);
- bei Gerätetrocknern der direkte elektrische Energieverbrauch der Geräte und der zusätzliche Raumwärmebedarf bei Ablufttrocknern bzw. Raumwärmegutschriften bei Kondensationstrocknern (vgl. Kapitel 2.2);
- bei Trockenräumen der Heizwärmebedarf zur Trocknung der Wäsche (vgl. Kapitel 2.2);
- die Nachgebrauchsphase (Abfallbehandlung und Recycling, Verlust von enthaltenem Kältemittel).

Bei der Berechnung der Lebenszykluskosten werden die Anschaffungs-, die Nutzungs- und (prinzipiell auch) die Entsorgungskosten berücksichtigt.

2.6 Geographischer und zeitlicher Bezugsrahmen

Die Untersuchung wird zunächst für den geographischen Bezugsraum Deutschland durchgeführt (Basisvariante).

Auf der Grundlage vorhandener Studien muss davon ausgegangen werden, dass die Ergebnisse nicht unerheblich von den klimatischen Bedingungen sowie davon abhängen, aus welchen Ressourcen der Strom bzw. die Raumwärme erzeugt wird. Daher werden die Ergebnisse für drei weitere Länder / Regionen variiert, die sich hinsichtlich ihrer klimatischen Bedingungen und Versorgungsstruktur unterscheiden.

Es werden also insgesamt folgende Länder / Regionen betrachtet:

- Deutschland (Basisvariante),
- Skandinavien,
- Spanien,
- Großbritannien.

Die Daten und Annahmen beziehen sich soweit möglich auf den aktuellen Zeitraum (~2007/2008).

2.7 Methode der Wirkungsabschätzung

Die Umweltauswirkungen, die von den unterschiedlichen Alternativen verursacht werden, werden mit Hilfe folgender Indikatoren quantifiziert:

- Kumulierter Energieaufwand,
- Treibhauspotenzial,
- Gesamt-Umweltauswirkungen (mit Hilfe der Methode EcoGrade).

Die Berechnung der jeweiligen Indikatoren wird in den folgenden Unterkapiteln erläutert.

2.7.1 Kumulierter Energieaufwand (KEA)

Der kumulierte Energieaufwand ist ein Maß für den gesamten Verbrauch an energetischen Ressourcen, die für die Bereitstellung eines Produkts oder einer Dienstleistung benötigt werden. Im KEA enthalten ist auch der Energiegehalt, der im Produkt selbst enthalten ist (z.B. der KEA eines Liter Benzins ist die Summe aus dem Verbrauch an energetischen Ressourcen zur Bereitstellung und dem Energiegehalt des Liters Benzin). Der KEA weist alle nicht-erneuerbaren und erneuerbaren energetischen Ressourcen als Primärenergiewerte aus.

2.7.2 Treibhauspotenzial (Global Warming Potential, GWP)

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, werden bilanziert und entsprechend ihres spezifischen Treibhauspotenzials zum gesamten Treibhauspotenzial charakterisiert. Das spezifische Treibhauspotenzial beschreibt den Treibhauseffekt von chemischen Substanzen im Verhältnis zu Kohlenstoffdioxid (CO₂) mit Hilfe von CO₂-Äquivalenten.

Die Charakterisierungsfaktoren (GWP-100) wurden IPCC (2007) entnommen.

2.7.3 Gesamtumweltauswirkungen

Für die Berechnung der Gesamtumweltauswirkungen werden die Ergebnisse der folgenden Wirkungskategorien aggregiert:

- Treibhauspotenzial,
- Versauerungspotenzial,
- Eutrophierungspotenzial,
- Photochemisches Oxidantienbildungspotenzial (Sommersmog).

Für die Aggregation werden die Umweltauswirkungen in den vier Wirkungskategorien gewichtet und anschließend addiert. Zur Gewichtung wird die Relevanz der Umweltauswirkungen bestimmt, indem sie mit den politisch gesetzten Umweltzielen in Beziehung gesetzt werden. Hierfür werden die zu erreichenden Zielwerte mit einem bestimmten Punktwert gleich gesetzt (die Zielwerte entsprechen jeweils einer Million Umweltzielbelastungspunkten (UZBP)). Über den Anteil der spezifischen Emissionen an den jeweils angestrebten Umweltzielen können hieraus spezifische Punktwerte je Wirkungskategorie ermittelt werden, die zu einem Gesamtwert addierbar sind.

Die Umweltziele repräsentieren die politisch gesetzten Grenzwerte, die hinsichtlich einer bestimmten Emission oder Wirkungskategorie erreicht werden sollen. Je ambitionierter das Ziel (d.h. je geringer der Zielwert), umso größer ist damit der Anteil, den die spezifische Emission des untersuchten Systems hieran ausmacht und umso höher ist der Punktwert. (vgl. auch Möller et al. 2005)

Folgende Tabelle zeigt die zur Gewichtung verwendeten Zielwerte (die einer Million UZBP entsprechen) und die hieraus resultierenden Gewichtungsfaktoren für die spezifischen Emissionen der untersuchten Alternativen.

Tabelle 1 Zielwerte und daraus resultierende Gewichtungsfaktoren zur Berechnung der Gesamtumweltauswirkungen in UZBP

Wirkungskategorie	Ziel	Zielwert (2010) = 1 Mio. UZBP	Resultierender Gewichtungsfaktor
Treibhauspotenzial	Kyoto Protokoll	9.90E+11 kg CO ₂ -Äqu. ¹	1 kg CO ₂ -Äqu.= 1,01 µUZBP
Versauerungspotenzial	UN ECE Protokoll	2.08E+09 kg SO ₂ -Äqu.	1 kg SO ₂ -Äqu.= 481 µUZBP
Eutrophierungspotenzial	UN ECE Protokoll	5.00E+08 kg PO ₄ -Äqu.	1 kg PO ₄ -Äqu.= 2000 µUZBP
Sommersmog	UN ECE Protokoll	5.50E+08 kg Ethen-Äqu.	1 kg Eth-Äqu.= 1820 µUZBP

¹ Der Zielwert in 2010 ist der Durchschnittswert für den beabsichtigten Zeithorizont (2008-2012) des Kyoto-Protokolls.

2.8 Einschränkungen

- In dieser Studie wurde der Heizwärmebedarf für das Trocknen auf der Leine in beheizten Räumen mit Hilfe von Simulationsrechnungen bestimmt, die in Teilen experimentell validiert wurden (zur Überprüfung des Berechnungsansatzes wurden Messungen zur Bestimmung der Verdunstungsleistung und des Trocknungsverlaufs durchgeführt, vgl. Döring 2008). Letztendliche Sicherheit bezüglich der Ergebnisse würden allerdings nur reale Messungen des Heizwärmebedarfs mit und ohne Wäschetrocknung unter verschiedenen Rahmenbedingungen ergeben.
- Vor allem bei der Trocknung der Wäsche auf der Leine sind die möglichen Rahmenbedingungen in der Realität sehr unterschiedlich. Die Umweltauswirkungen resultieren hier im Wesentlichen aus der für die Verdunstung des Wassers notwendigen Verdampfungsenthalpie und der eventuell zusätzlich notwendigen Lüftung der Räume, wodurch mehr geheizt werden muss. Der tatsächliche Energieverbrauch und die daraus resultierenden Umweltauswirkungen hängen dabei z.B. von der Raumgröße, der ohnehin bestehenden Luftwechselrate, dem Lüftungsverhalten während der Wäschetrocknung, den klimatischen Bedingungen oder der Art der Raumwärmebereitstellung ab. Hinsichtlich dieser Parameter wurden bestimmte Annahmen getroffen (siehe Kapitel 3.2.2), einige Parameter wurden auch variiert (z.B. Lüftungsverhalten, klimatische Verhältnisse, Raumwärmebereitstellung). Die Ergebnisse zeigen damit die mögliche und plausible Bandbreite des Energieverbrauchs und der Umweltauswirkungen bei der Wäschetrocknung auf der Leine auf, die, unter Annahme extremerer Rahmenbedingungen, jedoch noch über- oder unterschritten werden können.
- Die Ergebnisse für die Trockenräume gelten streng genommen nur für die angegebenen Klimata, d.h. für Deutschland wurde als repräsentatives Klima das von Berlin und das von Hamburg gewählt. Der Standort Berlin wird auch für die Berechnung des Energiebedarfs gemäß Energieeinsparverordnung (EnEV) bzw. DIN 18599 als Referenzklima verwendet und gilt in sofern als repräsentativ für Deutschland. Der Standort Hamburg wurde für die „Worst Case-Berechnung“ gewählt, da hier ein relativ kühl-feuchtes Klima herrscht. An anderen Orten innerhalb Deutschlands können allerdings andere klimatische Bedingungen herrschen. Durchschnittliche Klimadaten für ganze Länder oder Regionen gibt es nicht. Dies gilt es bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen.
- Bezüglich der Entsorgung des in den Wärmepumpentrocknern enthaltenen Kältemittels (R134a bzw. R407c) wurde in der Basisvariante eine recht ambitionierte Verlustrate von 10% angenommen. Inwiefern diese Rate zum Zeitpunkt der Entsorgung der Geräte (d.h. in ca. 10 bis 15 Jahren) tatsächlich eingehalten wird, kann heute nicht mit Sicherheit vorausgesagt werden. Zur Absicherung wird daher eine detailliertere Untersuchung der Abhängigkeit der Ergebnisse von der Verlustrate durchgeführt.

2.9 Kritische Prüfung

Die Ökobilanz-Normen ISO 14040 und 14044 schreiben bei vergleichenden, für die Öffentlichkeit bestimmten (normkonformen) Ökobilanzen eine kritische Prüfung (Critical Review) vor. Die vorliegende Studie wurde nicht kritisch geprüft, wurde ansonsten jedoch weitgehend entsprechend den Ökobilanz-Normen durchgeführt. Bei vergleichenden und zur Veröffentlichung bestimmten Ökobilanzen ist eine kritische Prüfung allerdings obligatorisch. Bei Veröffentlichung von Ergebnissen der Studie muss daher klar kommuniziert werden, dass es sich nicht um eine normkonforme Ökobilanz handelt.

3 Daten und Annahmen

Die folgenden Abschnitte dokumentieren die Annahmen und Daten, die zur Modellierung der Umweltauswirkungen und der Lebenszykluskosten der betrachteten Alternativen verwendet wurden.

3.1 Gerätetrockner

Die folgenden Daten und Annahmen beziehen sich auf die Alternativen, in denen angenommen wird, dass während der Heizperiode mit einem Wäschetrockner getrocknet wird. Dies sind folgende Alternativen:

- Konventioneller Ablufttrockner (Energieeffizienzklasse C)
- Konventioneller Kondensationstrockner (Energieeffizienzklasse B)
- Wärmepumpentrockner Wettbewerb
- Wärmepumpentrockner BSH

3.1.1 Herstellung und Distribution

Herstellung

Ausgangspunkt zur Bilanzierung der Herstellung der Gerätetrockner war eine von BSH zur Verfügung gestellte Zusammenstellung zur Materialzusammensetzung der drei unterschiedlichen Typen von Gerätetrocknern. Es handelt sich dabei um typische Daten für BSH-Geräte, wobei davon auszugehen ist, dass diese Daten als typisch für marktdurchschnittliche Geräte bzw. die derzeit eingesetzten Gerätetechnologien angesehen werden können.

Zur Bilanzierung der Materialvorketten wurden ausschließlich Daten aus EcoInvent 2.0 herangezogen. In Tabelle 58 im Anhang ist die Materialzusammensetzung und die Zuordnung zu Datensätzen dokumentiert.

Für die Steuerungselektronik (in Tabelle 58 als „Elektrokomponenten Mix“ bezeichnet) konnte von BSH im gesetzten zeitlichen Rahmen der Studie keine Differenzierung angegeben werden. Auf der Grundlage eines zur Verfügung gestellten Musters konnten allerdings die verwendeten elektronischen Bauelemente identifiziert werden, so dass auch hier eine Zuordnung zu Datensätzen aus Ecolnvent möglich war. Das konkrete Vorgehen ist in Tabelle 59 im Anhang dargestellt.

Für die Endmontage der Geräte konnten keine spezifischen Daten zur Verfügung gestellt werden; ersatzweise wurden hier Daten zugrunde gelegt, die als typisch für die Herstellung von Haushaltsgroßgeräten angesehen werden können (Werte pro Gerät):

- Nutzwärme, Erdgas, ab Industriefeuerung > 100kW: 36,54 MJ
- Strommix [DE]: 27,10 kWh

Im Vergleich zu den Beiträgen aus den Materialvorketten ist die Endmontage vergleichsweise wenig bedeutsam, so dass die hier getroffene Pauschalisierung als tragfähig angesehen werden kann.

Distribution

Die Wäschetrockner der BSH werden alle in einem polnischen Werk gefertigt. Für die Bilanzierung der Distribution bis zum Einzelhandel wurde unabhängig von den betrachteten vier Zielmärkten einheitlich eine durchschnittliche Distributionskette Europa angenommen mit einem Sattelzug-Lkw im Hauptlauf und einem kleinen Lkw im Nachlauf. Konkret wurden folgende Annahmen zugrunde gelegt:

Tabelle 2 Annahmen zur Bilanzierung der Umweltauswirkungen durch die Distribution von Wäschetrocknern

	Hauptlauf	Nachlauf
Entfernung (einfach)	1.500 km	50 km
Auslastungsgrad Hinfahrt	80%	60%
Auslastungsgrad Rückfahrt	80%	40%
Fahranteil Autobahn	70%	50%
Fahranteil Landstraße	20%	30%
Fahranteil Innerorts	10%	20%

Die unterschiedlichen Gewichte der Gerätetechnologien wurden nicht berücksichtigt. Es wurde pauschal von 50 kg pro Gerät ausgegangen.

Basierend auf diesen Parameterwerten wurden Kraftstoffverbräuche und Emissionen mit dem Datenmodul „Lkw, hin/zurück mit Vorkette“ aus dem Stammdatensatz der Ökobilanzsoftware Umberto 5.5 modelliert.

Verglichen mit dem Beitrag aus der Herstellung der Gerätetrockner ist der Beitrag aus der Distribution vergleichsweise gering. Die getroffenen Annahmen und Vereinfachungen beeinträchtigen damit nicht die Richtungssicherheit der Ergebnisse.

Die Umweltauswirkungen durch Herstellung und Distribution wurden auf die funktionelle Einheit, d.h. pro Jahr, umgerechnet. Dabei wurde von einer durchschnittlichen Lebensdauer von Wäschetrocknern von 13 Jahren ausgegangen (GfK 2003).

3.1.2 Nutzung

Es wird angenommen, dass die Wäsche nur während der Heizperiode in Wäschetrocknern getrocknet wird. In Monaten, in denen nicht geheizt werden muss, wird auf der Leine getrocknet und dadurch keine zusätzliche Energie verbraucht.

Relevante Klimadaten der betrachteten Länder/Regionen

Es wird angenommen, dass während der gesamten Heizperiode der Wäschetrockner genutzt wird. Folgende Tabelle zeigt die für die betrachteten Länder / Regionen angenommene Heizperiode. Aus dem Anteil der Heizperiode am Jahr wird die Wäschemenge, die pro Jahr im Wäschetrockner getrocknet wird, berechnet (vgl. nächster Abschnitt).

Tabelle 3 Heizperioden der betrachteten Länder/Regionen

Land/Region ²	Heizperiode	Anzahl Heizmonate	Anteil Heizperiode am Jahr
Deutschland (Berlin)	1.10. – 30.04.	7	58,3%
Deutschland (Hamburg)	1.10. – 30.04.	7	58,3%
Skandinavien (Helsinki)	1.09. – 31.05.	9	75,0%
Spanien (Barcelona)	1.11. – 31.03.	5	41,7%
Großbritannien (London)	1.10. – 15.05.	7,5	62,5%

Quelle: Döring (2008)

Für die Berechnung der Lastschrift durch den Abluftausgleich bei Ablufttrocknern wird noch der Anteil an Heiztagen während der Heizperiode und die durchschnittliche Temperaturdifferenz an solchen Tagen benötigt (siehe auch „Abluftausgleich bei Ablufttrocknern“, unten).³ Folgende Tabelle stellt die angenommenen Werte dar.

² Heizperiode abgeleitet aus Klimadaten der angegebenen Stadt, vgl. Döring (2008).

³ Als Heiztage werden die Tage betrachtet, bei denen die Außentemperatur unter der Heizgrenztemperatur von 12°C und angestrebter Innenlufttemperatur 20°C liegt.

Tabelle 4 Anteil Heiztage während der Heizperiode und durchschnittliche Temperaturdifferenz innen / außen an Heiztagen in den betrachteten Länder/Regionen

Land/Region	Anzahl Heiztage / Tage während Heizperiode	Anteil Heiztage während Heizperiode	Durchschnittliche Temperaturdifferenz an Heiztagen
Deutschland (Berlin)	196 / 212	92,5%	16,53°C
Deutschland (Hamburg)	200 / 212	94,3%	16,01°C
Skandinavien (Helsinki)	261 / 273	95,6%	19,48°C
Spanien (Barcelona)	91 / 151	60,3%	9,21°C
Großbritannien (London)	211 / 227	93,0%	13,13°C

Quelle: Eigene Ableitung aus Klimadaten der angegebenen Stadt, vgl. Döring (2008)

Wäscheanfall und Waschverhalten

Der Energieverbrauch der Wäschetrockner und die Abluftmenge bei Nutzung eines Ablufttrockners hängen sowohl von der Menge der in der Heizperiode zu trocknenden Wäsche ab, als auch von der Wäscheart und der Beladung der Wäschetrockner (bei voller Beladung trocknet ein Wäschetrockner am effizientesten, bei Minderbeladung steigt der Energieverbrauch und die Abluftmenge pro Kilogramm Wäsche an). Die Annahmen, die bezüglich des Wäscheanfalls und der Trocknerbeladung in den betrachteten Länder / Regionen getroffen wurden, sind in der folgenden Tabelle aufgeführt.

Dabei wurde angenommen, dass die Wäsche gleichmäßig während des gesamten Jahres anfällt. Über den Anteil der Heizperiode am Jahr (vgl. Tabelle 3) wurde die Wäschemenge berechnet, die während der Heizperiode getrocknet wird. Dabei wurde vereinfacht angenommen, dass die gesamte zu trocknende Wäsche im Wäschetrockner getrocknet wird.

Tabelle 5 Wäscheanfall in Haushalten und Trocknerbeladung

Land/Region	Wäscheanfall p.a.	Wäscheanfall Heizperiode	Wäscheart		Beladung des Trockners	
			Baumwolle	Pflegeleichte Wäsche	voll	halb
Deutschland	717 kg	418 kg	73%	27%	60%	40%
Skandinavien	780 kg ⁴	585 kg	73%	27%	54%	46%
Spanien	767 kg	320 kg	73%	27%	69%	31%
Großbritannien	845 kg	528 kg	73%	27%	46%	54%

Quellen: EuP (2007) (Wäscheanfall); eigene Ableitung nach GfK (2001) (Wäscheart), Taylor Nelson (2002) (Beladung)

⁴ Wert für Schweden, andere skandinavische Länder wurden in EuP (2007) nicht untersucht.

Aus den Anteilen von Wäscheart und Beladung des Trockners wurden vereinfacht drei Nutzungsmodi in Bezug auf Programmwahl und Beladung abgeleitet:

1. Programm „Baumwolle, schranktrocken“, voll beladen
2. Programm „Baumwolle, schranktrocken“, halb beladen
3. Programm „pflegeleichte Wäsche“, halb beladen

Die folgende Tabelle zeigt die Anteile, die in den verschiedenen Nutzungsmodi getrocknet werden.

Tabelle 6 Anteile der Nutzungsmodi von Wäschetrocknern in Bezug auf Programmwahl und Beladung

Land/Region	BW schranktrocken, voll beladen	BW schranktrocken, halb beladen	pflegeleichte Wäsche, halb beladen
Deutschland	60%	13%	27%
Skandinavien	54%	19%	27%
Spanien	69%	4%	27%
Großbritannien	46%	27%	27%

BW = Baumwolle; Quelle: eigene Ableitung.

Energieverbrauch Wäschetrockner

Für die vorliegende Studie wurden Energieverbrauchswerte für die drei definierten Nutzungsmodi verwendet, die gemäß der Norm EN 61121:2005 gemessen wurden. Die Werte wurden von BSH zur Verfügung gestellt.⁵ Nachfolgende Tabelle stellt die angenommenen Werte dar.

⁵ Hierbei wurde davon ausgegangen, dass die Werte über die gesamte Nutzungsdauer der Geräte konstant bleiben. Dies setzt teilweise eine regelmäßige Reinigung der Geräte, v.a. des Wärmetauschers voraus. Wird dies nicht durchgeführt können Trocknungsdauer und Energieverbrauch teilweise erheblich ansteigen.

Tabelle 7 Spezifischer Energieverbrauch der betrachteten Wäschetrockner in den definierten Nutzungsmodi unter Standardbedingungen

Wäschetrocknertyp	BW schranktrocken, voll beladen	BW schranktrocken, halb beladen	pflegeleichte Wäsche, halb beladen
Einheit	kWh/kg	kWh/kg	kWh/kg
Konventioneller Ablufttrockner	0,59	0,73	0,37
Konventioneller Kondensationstrockner	0,60	0,68	0,40
Wärmepumpentrockner Wettbewerb	0,34	0,41	0,23
Wärmepumpentrockner BSH	0,28	0,33	0,19

BW = Baumwolle; Quelle: BSH 2008

Je nach Wäschetrocknertyp, Wäscheart, Programmwahl und tatsächlicher Beladung unterscheidet sich der Energieverbrauch pro kg zu trocknender Wäsche (spezifischer Energieverbrauch).

Der jährliche Verbrauch an elektrischer Energie für die Nutzung von Wäschetrocknern während der Heizperiode ist in folgender Tabelle dargestellt (errechnet mit Hilfe der Daten zum Klima, zum Waschverhalten und zum spezifischen Stromverbrauch in den drei Nutzungsmodi).

Tabelle 8 Stromverbrauch der betrachteten Wäschetrockner bei Nutzung während der Heizperiode

Wäschetrocknertyp	Deutschland	Skandinavien	Spanien	Großbritannien
Einheit	kWh pro Heizperiode	kWh pro Heizperiode	kWh pro Heizperiode	kWh pro Heizperiode
Konventioneller Ablufttrockner	230	326	171	300
Konventioneller Kondensationstrockner	233	328	176	300
Wärmepumpentrockner Wettbewerb	134	189	100	174
Wärmepumpentrockner BSH	110	155	82	142

Quelle: eigene Rechnung

Neben dem direkten Stromverbrauch muss bei Wäschetrocknern noch der zusätzliche Bedarf an Raumwärme (bei Ablufttrocknern) bzw. die Gutschrift von Abwärme bei der Raumwärmebereitstellung (bei Kondensationstrocknern) berücksichtigt werden, vgl. entsprechende Abschnitte in diesem Kapitel weiter unten. Eine direkte Verrechnung mit dem Stromverbrauch ist nicht möglich, da die Raumwärme nicht (ausschließlich) durch Strom

bereitgestellt wird und eine Kilowattstunde Raumwärme daher nicht direkt mit einer Kilowattstunde Strom gleichgesetzt werden kann. Die Verrechnung erfolgt allerdings auf der Ebene der Wirkungsabschätzung (KEA, GWP, Gesamtumweltauswirkungen; vgl. Kapitel 4).

Kondensationsrate Wäschetrockner

Bei Kondensationswäschetrocknern wird die Luft zum Trocknen der Wäsche im Kreislauf geführt. Die aus der Wäsche aufgenommene Feuchtigkeit in der heißen Luft wird dabei im Kondensator kondensiert und die wieder trockene und abgekühlte Luft erneut aufgeheizt und durch die Wäsche geleitet. Es existiert kein Abluftschlauch ins Freie. Eine relevante Größe bei solchen Wäschetrocknern ist die Kondensationsrate, die aussagt, wie viel Prozent des in der Wäsche enthaltenen und während des Trocknungsvorgangs verdampften Wassers, wieder kondensiert und im entsprechenden Behälter aufgefangen wird. Das restliche, nicht kondensierte Wasser entweicht als Feuchtigkeit in den Raum.

Die Kondensationsrate ist eine relevante Größe, da die nicht kondensierte, in den Raum entweichende Feuchtigkeit die Raumluftfeuchte erhöht. Hierdurch kann, ähnlich wie bei der Trocknung der Wäsche in Innenräumen auf der Leine, Schimmelbildung auftreten, wenn nicht zusätzlich gelüftet wird. Teilweise ist die Nutzung von Kondensationstrocknern in Mietwohnungen daher nicht erlaubt.

Die untersuchten Kondensationstrockner unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Kondensationsrate (vgl. folgende Tabelle).

Tabelle 9 Kondensationsrate von Kondensationstrocknern im Programm „Baumwolle schranktrocken“ bei voller und halber Beladung

Wäschetrockner	BW schranktrocken, volle Beladung	BW schranktrocken, halbe Beladung
Konventioneller Kondensationstrockner	90%	90%
Wärmepumpentrockner Wettbewerb	76%	74%
Wärmepumpentrockner BSH	85%	84%

BW = Baumwolle; Quelle: BSH 2008

Eine eventuell notwendige zusätzliche Raumlüftung und der dadurch eventuell notwendige zusätzliche Heizwärmebedarf wird in der vorliegenden Studie allerdings nicht berücksichtigt, aufgrund der Unsicherheiten, in wie fern tatsächlich Luftfeuchtigkeiten resultieren, die zu einer erhöhten Lüftung führen sollten. Hierzu müsste zunächst eine genauere Untersuchung

mit Hilfe von Versuchen oder Simulationen durchgeführt werden,⁶ die jedoch den Aufwand der vorliegenden Studie überschreiten würden.

Abluftausgleich bei Ablufttrocknern

Neben dem direkten Verbrauch elektrischer Energie durch die betrachteten Wäschetrockner ist bei Ablufttrocknern der Energieverbrauch durch den Abluftausgleich zu berücksichtigen. Während des Trocknungsvorgangs wird eine bestimmte Menge an aufgeheizter, feuchter Abluft nach außen geleitet. Diese Menge wird durch frische Luft von außen ersetzt, die während der Heizperiode vom Heizsystem auf die gewünschte Raumtemperatur aufgeheizt werden muss.

Aus der spezifischen Abluftmenge in den drei Nutzungsmodi (pro kg Wäsche) wurde die Gesamtabluftmenge *an Heiztagen* während der Heizperiode berechnet. Die Abluft, die an solchen Tagen während der Heizperiode ausgeleitet wird, die keine Heiztage sind (d.h. wenn die Außentemperatur so hoch ist, dass nicht geheizt wird), wird daher beim Abluftausgleich nicht berücksichtigt. Die Abluftmenge an Heiztagen entspricht der Menge an zugeführter Frischluft, die während der Heizperiode wieder aufgeheizt werden muss.

Folgende Tabelle zeigt die Annahmen und Ergebnisse. Zur Berechnung wurde der Anteil der Heiztage an der Heizperiode verwendet (vgl. Tabelle 4).

⁶ Ähnlich denen zur Ermittlung des zusätzlichen Heizwärmebedarf durch die Trocknung auf der Leine in beheizten Räumen, vgl. Kapitel 3.2.2.

Tabelle 10 Ableitung der Abluftmenge an Heiztagen

Land/Region bzw. Nutzungsmodus	Luftdurchsatz pro kg Wäsche	Luftdurchsatz während der Heizperiode	Anteil Heiztage an Heizperiode	Luftdurchsatz an Heiztagen in der Heizperiode
Einheit	m ³ /kg	m ³ /Jahr		m ³ /Jahr
Deutschland, Berlin				
BW schranktrocken, voll	38,86	9.751	92,5%	9.015
BW schranktrocken, halb	48,08	2.614		2.417
Pflegeleichte Wäsche, halb	29,71	3.356		3.102
Deutschland, Hamburg				
BW schranktrocken, voll	38,86	9.751	94,3%	9.199
BW schranktrocken, halb	48,08	2.614		2.466
Pflegeleichte Wäsche, halb	29,71	3.356		3.166
Skandinavien				
BW schranktrocken, voll	45,71	14.441	95,6%	13.806
BW schranktrocken, halb	56,56	6.287		6.010
Pflegeleichte Wäsche, halb	41,14	6.499		6.213
Spanien				
BW schranktrocken, voll	45,71	10.081	60,3%	6.075
BW schranktrocken, halb	56,56	723		436
Pflegeleichte Wäsche, halb	41,14	3.550		2.139
Großbritannien				
BW schranktrocken, voll	42,74	10.384	93,0%	9.652
BW schranktrocken, halb	52,89	7.541		7.010
Pflegeleichte Wäsche, halb	32,69	4.661		4.332

BW = Baumwolle; Quelle: BSH 2008; bei „BW, halbe Beladung“: eigene Ableitung des Luftdurchsatzes mit Hilfe des Verhältnisses der Energieverbräuche bei „BW, volle Beladung“ und „BW, halbe Beladung“.

Die unterschiedlichen Abluftmengen je Land / Region resultieren daraus, dass teilweise Wäschetrocknermodelle mit unterschiedlicher Heizleistung genutzt werden. In Deutschland können beispielsweise aufgrund der Stabilität des Stromnetzes Wäschetrockner mit einer Heizleistung von 2500 W genutzt werden. In Skandinavien und Spanien beträgt die Heizleistung dagegen nur 1800 W. Bei höherer Heizleistung resultiert eine kürzere Trocknungsdauer. Da der Luftvolumenstrom je Zeiteinheit bei allen Geräten gleich ist, resultiert hieraus in Deutschland direkt ein geringeres Abluftvolumen. In Großbritannien ist der Abluftstrom ca. 10% größer als in Deutschland. (BSH 2008)

Aus der Abluftmenge an Heiztagen in der Heizperiode wird der zusätzliche Heizwärmebedarf durch den Abluftausgleich bei Ablufttrocknern über folgende Formeln berechnet:

- $Q = m * C_{p,L} * \Delta T$
- $m = V * \rho$

mit: Q = benötigte Wärmeenergie in kWh
 m = Masse in kg
 ρ Luft = Dichte von Luft bei 20°C (1,2 kg/m³)
 C_{p,L} = spezifische Wärmekapazität Luft bei 20°C (0,00028 kWh/kgK)
 Δ T = durchschnittliche Temperaturdifferenz innen/außen (vgl. Tabelle 4)
 V = Abluftvolumen

Raumwärmegutschriften bei Kondensationstrocknern

Im Gegensatz zu Ablufttrocknern geben Kondensationstrockner die bei der Kondensation der Feuchtigkeit frei werdende Wärme (zumindest teilweise) an die Umgebung ab. Diese Abwärme kann an Heiztagen während der Heizperiode Raumwärme ersetzen, die ansonsten durch das Heizsystem bereitgestellt werden müsste.

Der anrechenbare Anteil ergibt sich aus dem Anteil an Heiztagen während der Heizperiode (vgl. Tabelle 4) und aus einem anzunehmenden Faktor, zu wie viel Prozent die Abwärme tatsächlich Heizwärme einspart. Eine vollständige Anrechnung der Abwärme an Heiztagen kann nicht erfolgen, da die Abwärme nicht gezielt zur Verfügung steht und somit nicht gezielt zur Heizung von Räumen genutzt werden kann. In der vorliegenden Studie wurde angenommen, dass die Hälfte der Abwärme während der Heiztage in der Heizperiode Heizwärme ersetzt. Hieraus ergeben sich folgende Gesamtfaktoren:

Tabelle 11 Anrechenbarer Anteil der Abwärme von Kondensationstrocknern

Land/Region	Anteil Heiztage an Heizperiode	Anrechenbarer Anteil der Abwärme an Heiztagen	Gesamtfaktor
Deutschland (Berlin)	92,5%	50%	46,3%
Deutschland (Hamburg)	94,3%	50%	47,2%
Skandinavien (Helsinki)	95,6%	50%	47,8%
Spanien (Barcelona)	60,3%	50%	30,2%
Großbritannien (London)	93,3%	50%	46,5%

Die Gutschrift an Heizwärme wird aus dem ermittelten Verbrauch an elektrischer Energie durch Kondensationstrockner und dem Gesamtfaktor berechnet.

3.1.3 Entsorgung

Für die Entsorgung der Gerätetrockner 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 12 Annahmen zur Bilanzierung der Umweltauswirkungen durch die Redistribution von Wäschetrocknern zur Entsorgung

Parameter	Wert
Entfernung (einfach)	50 km
Auslastungsgrad Hinfahrt	60%
Auslastungsgrad Rückfahrt	40%
Fahranteil Autobahn	10%
Fahranteil Landstraße	30%
Fahranteil Innerorts	60%

Basierend auf diesen Parameterwerten wurden Kraftstoffverbräuche und Emissionen mit dem Datenmodul „Lkw, hin/zurück mit Vorkette“ aus dem Stammdatensatz der Ökobilanzsoftware Umberto 5.5 modelliert.

Für die mechanische Behandlung wurde ein entsprechender Datensatz aus EcoInvent herangezogen („mechanical treatment plant, WEEE scrap“).

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 Gerätetrockner Materialien mit Sekundärrohstoffanteilen eingesetzt werden, für die keine Lastschrift angesetzt wurden. Bilanztechnisch wurde somit eine „Quasi-Closed-Loop“-Situation zugrunde gelegt.

Die Umweltauswirkungen durch die Entsorgung wurden auf die funktionelle Einheit, d.h. pro Jahr, umgerechnet. Dabei wurde von einer durchschnittlichen Lebensdauer von Wäschetrocknern von 13 Jahren ausgegangen (GfK 2003).

3.1.4 Umweltauswirkungen durch die verwendeten Kältemittel

Sowohl die Wärmepumpentrockner des Wettbewerbs als auch der neu entwickelte Wärmepumpentrockner von BSH enthalten eine bestimmte Menge Kältemittel. Die Umweltauswirkungen durch die *Produktion* der Kältemittel wurden bereits in der Modellierung der Herstellung der Wäschetrockner berücksichtigt (vgl. Kap. 3.1.1).

Die verwendeten Kältemittel (R134a und R407c) haben auch selbst ein hohes Treibhauspotenzial, das allerdings nur dann wirksam wird, wenn die Kältemittel in die Umwelt gelangen. In der vorliegenden Studie wird den Wärmepumpenwäschetrocknern daher lediglich das Treibhauspotenzial der tatsächlich entweichenden Menge an Kältemittel angerechnet. Dabei bedeutet die angenommene Verlustrate von 10% (siehe folgende Ausführungen), dass über alle genutzten und zu entsorgenden Wärmepumpentrockner und über den gesamten Lebensweg durchschnittlich 10% des Kältemittels in die Umwelt entweichen, nicht dass alle Geräte einen diffusen Kältemittelverlust von 10% haben. Bei fachgerechter Entsorgung und ohne Defekte am Gerät entweicht in der Regel kein Kältemittel. Lediglich falls das Gerät nicht fachgerecht entsorgt werden oder der Kältekreislauf defekt ist, entweicht Kältemittel. In diesem Fall kann dann davon ausgegangen werden, dass das gesamte in dem Gerät enthaltene Kältemittel vollständig entweicht.

Folgende Tabelle zeigt das Treibhauspotenzial, das durch die gesamte, in den Wärmepumpenwäschetrocknern enthaltene Menge an Kältemittel verursacht würde.

Tabelle 13 Treibhauspotenzial des in den Wärmepumpenwäschetrocknern enthaltenen Kältemittels

Wärmepumpen-trockner	Kältemittel	Kältemittel-menge	Spez. Treibhauspotenzial KM	Gesamtes Treibhaus-potenzial
<i>Einheit</i>		<i>kg / Gerät</i>	<i>kg CO₂-Äqu. pro kg KM</i>	<i>kg CO₂-Äqu. pro Gerät</i>
Wettbewerb	R134a	0,27	1.430	386
BSH	R407c ⁷	0,38	1.774	674

KM = Kältemittel; Quelle (spez. Treibhauspotenzial): IPCC 2007.

Das Treibhauspotenzial des gesamten im Wärmepumpentrockner von BSH enthaltenen Kältemittels liegt also knapp 300 kg (75%) höher als das des Wärmepumpentrockners des Wettbewerbs. Der Verlust des Kältemittels wurde nur für Treibhauspotenzial und Gesamtumweltauswirkungen bilanziert.

Bezüglich des Anteils an Kältemittel, das in die Umwelt gelangt, können nur Abschätzungen getroffen werden. Es kann davon ausgegangen werden, dass während der Herstellung der Kältemittel und der Wäschetrockner sowie während der Nutzung der Wäschetrockner praktisch kein Kältemittel in die Umwelt gelangt. Die wesentliche Lebenszyklusphase, in der ein Verlust zu befürchten ist, ist die Entsorgung der Wäschetrockner.

Der Entsorgungsweg von Wäschetrocknern ist in nachfolgender Abbildung schematisch dargestellt.

⁷ R407c ist eine Mischung aus den Kältemitteln R32 (23%), R125 (25%) und R134a (52%). Für das spezifische Treibhauspotenzial wurden die spezifischen Werte dieser Kältemittel anteilig berücksichtigt.

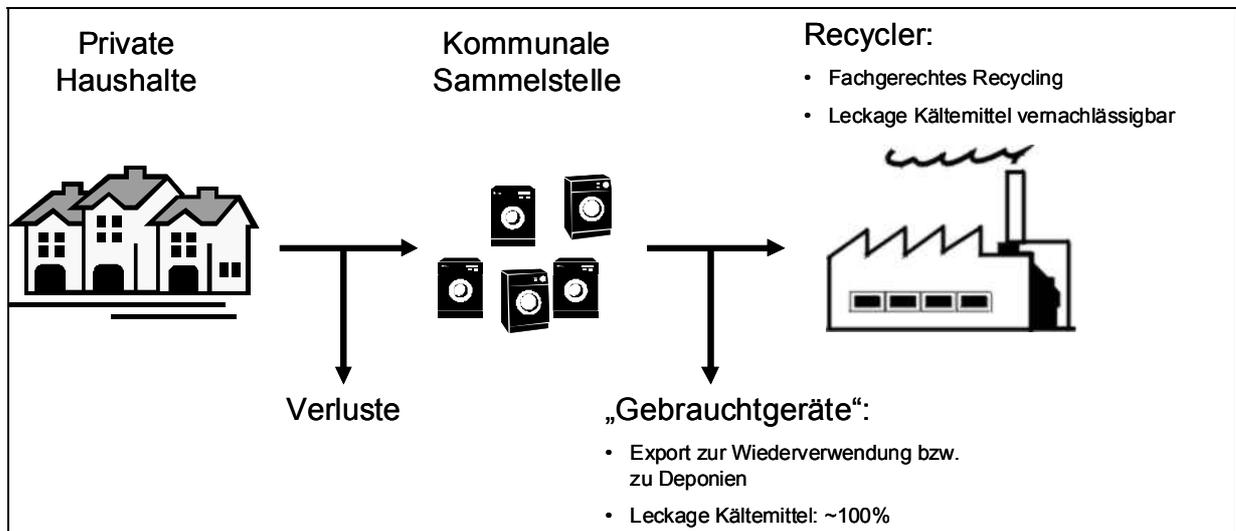


Abbildung 1 Entsorgungsweg von Wäschetrocknern

Gemäß der Europäischen WEEE Richtlinie⁸ ist die Entsorgung von Elektro- und Elektronik-Altgeräten, darunter auch Wäschetrocknern, für private Haushalte kostenfrei. Die Sammlung übernehmen je nach Land kommunale Sammelstellen oder vergleichbare Einrichtungen. Die Sammlung erfolgt entweder über die Sperrmüllabholung, oder die Geräte werden direkt von den Haushalten an die Sammelstellen angeliefert. Da Wäschetrockner nicht mülltonnengängig sind, ist anzunehmen, dass nahezu alle Geräte entweder direkt angeliefert oder zur Sperrmüllsammlung gegeben werden. Allerdings sind Verluste durch mitgenommene Geräte vom Sperrmüll zu erwarten. Diese Geräte werden voraussichtlich in anderen Haushalten weitergenutzt und landen im besten Fall eine bestimmte Zeit später bei den kommunalen Sammelstellen.

Die Geräte werden in den kommunalen Sammelstellen gemäß den in der WEEE Richtlinie definierten Gerätekategorien sortiert und durch Unternehmen abgeholt, die entweder selbst Teile des Geräterecyclings durchführen oder die Schnittstelle zu entsprechenden Recyclern darstellen. Für das Recycling von Geräten der verschiedenen Kategorien gelten laut WEEE Richtlinie bestimmte Recyclingquoten. Bei fachgerechter Entsorgung kann davon ausgegangen werden, dass die eingesetzten Kältemittel quantitativ entnommen und anschließend thermisch unschädlich gemacht werden.

⁸ DIRECTIVE 2002/96/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 27 January 2003 on waste electrical and electronic equipment (WEEE). Official Journal of the European Union, 13.2.2003, L 37; S. 24 – 38.

An dieser Stelle muss allerdings erwähnt werden, dass im Rahmen der Umsetzung der WEEE Richtlinie derzeit nur 16,3% aller in der EU anfallenden großen Haushaltsgeräte (WEEE-Kategorie 1A) und 27,3% aller anfallenden Kühl- und Gefriergeräte (WEEE-Kategorie 1B) gesammelt werden (Huisman et al. 2007). Der Verbleib der restlichen Geräte kann nur teilweise durch verlängerte Lagerung in Privathaushalten bzw. Sekundärnutzung erklärt werden. Ein weiteres denkbares „Schlupfloch“ für diese Geräte stellt der Export in nicht-EU-Staaten dar: So wird immer wieder davon berichtet, dass gebrauchte und defekte Elektro- und Elektronikgeräte in größerem Umfang nach Asien und Afrika exportiert werden (vgl. Bund 2007; Buchert et al. 2007). Bei diesen Geräten ist davon auszugehen, dass sie dort früher oder später lediglich deponiert und nicht fachgerecht recycelt werden, wobei die gesamte Menge an Kältemittel in die Umwelt freigesetzt wird. In wie weit hier auch große Haushaltsgeräte betroffen sind, ist weitgehend unklar: Während Buchert et al. (2007) davon berichten, dass der Export von Kühlschränken derzeit nur noch von geringer Bedeutung sei, konnte die Deutsche Umwelthilfe (2007) solche Exporte aus Deutschland eindeutig nachweisen.

Welchen Anteil die fachgerechte Entsorgung bei Wäschetrocknern hat bzw. in ca. 10 bis 15 Jahren haben wird (also zu einem Zeitpunkt, wenn die ersten Wärmepumpentrockner von privaten Haushalten entsorgt werden), ist derzeit unklar. Erschwerend kommt hinzu, dass Wäschetrockner bisher nicht als Geräte wahrgenommen werden, die problematische Stoffe enthalten (im Gegensatz zu Kühl- und Gefriergeräten, die unter WEEE eine eigene Kategorie bilden, da in Altgeräten FCKW, FKW oder VOC enthalten sind, die eine gesonderte Behandlung erfordern). Allerdings ist es vor dem Hintergrund der Höhe des Treibhauspotenzials der enthaltenen Kältemittel absolut notwendig, eine möglichst vollständige fachgerechte Entsorgung dieser zu gewährleisten.

Die Problematik wurde mit BSH ausführlich diskutiert. Vor dem Hintergrund dieser ausführlichen Diskussion wurde für die vorliegende Studie angenommen, dass BSH in der Lage ist, ein effektives Rücknahme- und Recyclingsystem für das eingesetzte Kältemittel zu gewährleisten. Als Verlustrate wird daher eine im Vergleich zu heutigen Rücknahmequoten relativ geringe Rate von 10% angenommen, die sich auf Verluste über den gesamten Entsorgungsweg bezieht. D.h. es wird angenommen, dass bei 10% der Geräte das Kältemittel nicht fachgerecht entsorgt wird. In 90% der Fälle erreichen die Altgeräte oder zumindest das Kälteaggregat die Recyclinganlage mit intaktem Kältekreislauf und das Kältemittel wird vollständig entsorgt.

Da eine Verlustrate von 10% vor dem Hintergrund der aktuellen eine ambitionierte Annahme ist, wird die Auswirkung der Verlustrate auf die Ergebnisse detaillierter untersucht (vgl. Kapitel 2.3 und 4.2.3).

Die Umweltauswirkungen durch die Kältemittelverluste wurden auf die funktionelle Einheit, d.h. pro Jahr, umgerechnet. Dabei wurde von einer durchschnittlichen Lebensdauer von Wäschetrocknern von 13 Jahren ausgegangen (GfK 2003).

3.1.5 Kosten

Zur Berechnung der Lebenszykluskosten werden alle für einen privaten Haushalt mit der Anschaffung, Nutzung und Entsorgung von Wäschetrocknern anfallenden Kosten berücksichtigt.

Anschaffung

Folgende Tabelle stellt die angenommenen Kaufpreise für die verschiedenen Wäschetrockner dar. Die Preise für konventionelle Wäschetrockner entsprechen durchschnittlichen Preisen für Modelle von BSH, nicht des gesamten Markts. Die Kosten werden mit einer angenommenen Lebensdauer der Wäschetrockner von 13 Jahren auf Kosten pro Jahr umgerechnet (vgl. funktionelle Einheit).

Tabelle 14 Kaufpreise und jährliche Anschaffungskosten für Wäschetrockner (gerundete Werte)

Wäschetrocknertyp	Kaufpreis	Jährliche Anschaffungskosten
Konventioneller Ablufttrockner BSH (Klasse C) Montagekosten Abluftschlauch	600,- € 100,- €	54,- €
Konventioneller Kondensationstrockner BSH (Klasse B)	790,- €	61,- €
Wärmepumpentrockner Wettbewerb	1000,- €	77,- €
Wärmepumpentrockner BSH	1040,- €	80,- €

Quelle: BSH 2008, eigene Marktrecherche (Wärmepumpentrockner Wettbewerb)

Nutzung

Die Kosten während der Nutzung berechnen sich über den jährlichen Energieverbrauch (sowohl für Strom als auch für zusätzliche bzw. eingesparte Kosten für die Raumwärmebereitstellung) und die spezifischen Kosten pro Kilowattstunde Strom bzw. Raumwärme.

Die Berechnung des jährlichen Energieverbrauchs durch die Wäschetrocknernutzung wurde in Kapitel 3.1.2 bereits erläutert. Die Kosten der Energiebereitstellung finden sich in Kapitel 3.3.3.

Entsorgung

Die Entsorgung der Wäschetrockner ist gemäß WEEE bzw. Elektro- und Elektronikgesetz seit März 2006 für private Haushalte kostenfrei. Es werden daher keine Kosten für die Entsorgung der Wäschetrockner angenommen.

3.2 Trockenräume

Die folgenden Daten und Annahmen beziehen sich auf die Alternativen, in denen angenommen wird, dass die Wäsche ganzjährig auf der Leine (und dabei während der Heizperiode in beheizten Räumen) getrocknet wird. Dies sind folgende Alternativen:

- Trocknung in einem Raum, dessen Spezifikationen einem Wohnraum entsprechen (Größe ca. 20 m², Höhe ca. 2,5 bis 2,7 m; Soll-Raumtemperatur: 20°C, Soll-Luftfeuchtigkeit: maximal 50%).
 - Alternative 5: mit geregelter Lüftung mit Luftfeuchtesensor („Best Case“-Variante);
 - Alternative 6: ohne geregelte Lüftung, mit einem über den Zeitraum der Wäschetrocknung gekippten Fenster („Worst Case“-Variante).
- Sensitivitätsanalysen:
 - Trocknung in einem kleineren Raum (Größe 12 m²)
 - Trocknung in einem Raum, dessen Spezifikationen einem Hauswirtschaftsraum entsprechen (d.h. geringere Soll-Raumtemperatur (18°C), höhere erlaubte Luftfeuchtigkeit (70%))

3.2.1 Herstellung und Entsorgung

Mit Hilfe der Ökobilanz-Software Umberto ® wurde die Herstellung und Entsorgung von zwei Trockenraumvarianten modelliert, die sich hinsichtlich ihrer Größe unterscheiden:

Für die Basisvariante der Untersuchung wurde ein Trockenraum modelliert, der etwa den Abmessungen des Referenzraums im Forschungsgebäude des Lehrstuhls für Stahlbau und Leichtmetallbau an der RWTH Aachen entspricht. Dieser hat ein Volumen von ca. 50 m³. Für die Sensitivitätsanalyse mit einem kleineren Raum wurde ein Trockenraum mit einem Volumen von ca. 30 m³ modelliert.

Die Modellierung erfolgt mit dem Modul „Gebäude, mehrstöckig“ aus der EcoInvent 2.0-Datenbank (Kellenberger et al. 2007). Dieser Datensatz ist eine Kombination aus zwei Gebäudetypen in Betonbauweise (Baujahr 1927 und 1972). Der Datensatz schließt die Herstellung und Entsorgung der eingesetzten Materialien, den Transport der Bauteile zur Baustelle und die entsprechenden Energieverbräuche ein. Tabelle 60 bis Tabelle 61 im Anhang geben die Inputdaten pro m³ Gebäudevolumen wieder.

Folgende Tabelle zeigt die berechneten Umweltauswirkungen für die Herstellung und Entsorgung der beiden Räume.

Tabelle 15 Umweltauswirkungen durch die Herstellung und Entsorgung von Trockenräumen

Variante	Herstellung	Entsorgung	Einheit
Trockenraum, 20 m ²			
KEA	235.098	4.304	MJ
GWP	10.147	455	kg CO ₂ -Äqu.
Gesamtumweltauswirkungen	73.688	2.454	μUZBP
Trockenraum, 12 m ²			
KEA	141.059	2.582	MJ
GWP	6.088	273	kg CO ₂ -Äqu.
Gesamtumweltauswirkungen	44.213	1.472	μUZBP

Von den Umweltauswirkungen durch die Herstellung und Entsorgung der Trockenräume kann nur ein bestimmter Anteil der Wäschetrocknung angerechnet werden. Außerdem sollen sich die Ergebnisse auf ein Jahr beziehen. Folgende Tabelle stellt die bezüglich anrechenbarem Anteil und Lebensdauer der Trockenräume getroffenen Annahmen dar.

Tabelle 16 Anrechenbarer Anteil und Lebensdauer der Trockenräume

Variante	Der Trocknung anrechenbarer Anteil	Lebensdauer
Wohnraum	10%	80 Jahre
Wirtschaftsraum	40%	80 Jahre

3.2.2 Nutzung

Die Nutzungsphase, d.h. die Trocknung der Wäsche auf der Leine wurde mit Hilfe von Simulationsrechnungen durch die RWTH Aachen modelliert. (vgl. Döring 2008) Die Simulationsrechnungen basieren sowohl auf theoretischen Grundlagen zum Trocknungsvorgang von Wäsche, als auch auf experimentellen Untersuchungen zum Trocknungsverlauf.

Im vorliegenden Bericht werden zur besseren Lesbarkeit dieses Gesamtberichts die wesentlichen grundlegenden Annahmen und Ergebnisse dargestellt. Detaillierte Angaben sind Döring (2008) zu entnehmen.

Allgemeines Vorgehen der Simulation

Für jede(s) der betrachteten Länder/Regionen wurde der Einfluss des Wäschetrocknens auf den Heizwärmebedarf in vier Schritten ermittelt (vgl. Döring 2008, S. 17).

1. Berechnung der Null-Variante, d.h. des Heizwärmebedarfs ohne Trockenvorgang
2. Berechnung des zusätzlichen Heizwärmebedarfs unter Beibehaltung der üblichen Luftwechselrate von 0,7 h⁻¹ (s.u.), wobei die Raumlufffeuchte ggf. über den gewünschten Wert von 60% (in Wohnräumen) bzw. 70% (in Hauswirtschaftsräumen)

ansteigen kann. Diese Alternative ist nicht empfehlenswert, da hier bauliche Schäden oder Schimmelbildung resultieren können.

3. Berechnung des zusätzlichen Heizwärmebedarfs unter Erhöhung der Luftwechselrate, so dass immer genau die gewünschte Luftfeuchtigkeit von 60% (in Wohnräumen) bzw. 70% (in Hauswirtschaftsräumen) eingehalten wird. Dies ist nur mit einer geregelten Lüftung möglich, die voraussichtlich nur in neuen, energieoptimierten Gebäuden anzutreffen ist. Diese Berechnung stellt den so genannten „Best Case“ der Wäschetrocknung in beheizten Räumen dar, da ein geringerer Luftaustausch nicht empfohlen werden kann (siehe vorheriger Spiegelstrich).
4. Berechnung des zusätzlichen Heizwärmebedarfs, wenn während der gesamten Dauer des Trocknungsvorgangs ein Fenster in Kippstellung geöffnet ist. Diese Variante stellt den so genannten „Worst Case“ da, da hier ständig feuchte, warme Innenluft durch kältere Luft von außen ersetzt wird.

Die Ergebnisse der beiden letzten Berechnungen fließen als so genannte „Best Case“ und „Worst Case“-Alternative in den Vergleich mit den Gerätetrocknern ein. Für den geographischen Bezugsraum Deutschland werden hierfür die Ergebnisse von zwei verschiedenen Klimazone verwendet: für die „Best Case“-Alternative wurden die Ergebnisse für Klima Berlin, für die „Worst Case“-Alternative wurden die Ergebnisse für Klima Hamburg angenommen.

Es ist anzunehmen, dass sich der zusätzliche Energiebedarf durch das Wäschetrocknen in beheizten Räumen in der Realität je nach Randbedingungen im Bereich zwischen diesen beiden Extremwerten befindet, unter alltagspraktischen Bedingungen und bei Gebäuden ohne geregelte Lüftung wahrscheinlich näher am „Worst Case“ (Kippfenster) denn am „Best Case“ (geregelte Lüftung). Ohne geregelte Lüftung werden entsprechende Werte nur durch sehr aufmerksames Lüftungsverhalten (z.B.: kurze Stoßlüftungen) erreicht.

Allgemeine Annahmen bezüglich der Trockenräume

- Als übliche Luftwechselrate in Gebäuden wird $0,7 \text{ h}^{-1}$ angenommen (Annahme gemäß DIN 4108-6). Dies bedeutet, dass pro Stunde 70% der gesamten Innenraumluft ausgetauscht wird. Dieser Wert entspricht der mittleren Standard-Luftwechselrate für nicht luftdichtigkeitsgeprüfte Gebäude. Für luftdichtheitsgeprüfte Gebäude gilt laut DIN 4108-6 ein Wert von $0,6 \text{ h}^{-1}$. Als Untergrenze für einen ausreichenden Luftwechsel gilt $0,5 \text{ h}^{-1}$, darunter können zu hohe Luftfeuchtigkeiten und Schadstoffkonzentrationen resultieren, die ggf. sogar zu Bauschäden führen können. Insgesamt liegt die Spanne der tatsächlich anzutreffenden Luftwechselraten je nach Alter und Dämmungsstandard der Gebäude im Bestand in etwa zwischen $0,3$ und 1 h^{-1} , wobei Extremwerte darüber und darunter liegen können.

- Für die Basisvariante, die der Trocknung in einem Wohnraum entspricht, wird angenommen, dass die Soll-Temperatur des Trockenraums 20°C, die Soll-Luftfeuchtigkeit 60% beträgt. Die Raumgröße beträgt ca. 20 m².
- Für die Sensitivitätsanalyse, die der Trocknung in einem Hauswirtschaftsraum entspricht, wird angenommen, dass die Soll-Temperatur des Trockenraums 18°C, die Soll-Luftfeuchtigkeit 70% beträgt. Die Raumgröße entspricht der der Basisvariante.
- Für die Sensitivitätsanalyse bezüglich der Raumgröße wird angenommen, dass der Raum etwa 12 m² groß ist. Die Soll-Temperatur und Soll-Luftfeuchtigkeit entspricht den Werten der Basisvariante (Wohnraum).

Relevante Klimadaten der betrachteten Länder/Regionen

Für die Simulation wurden Wetterdaten von Meteonorm für bestimmte Städte der vier betrachteten Länder/Regionen zugrunde gelegt (vgl. folgende Tabelle, die Klimadaten entsprechen denen, die für die Berechnungen bei den Gerätetrocknern verwendet wurden, vgl. Tabelle 3).

Tabelle 17 Charakterisierung der Klimadaten der betrachteten Länder/Regionen

Variante	Wetterdaten	Beschreibung	Heizperiode
Var D1	Deutschland (Berlin)	Mitteleuropäisch, kontinental	1.10. – 30.04.
Var D2	Deutschland (Hamburg)	Mitteleuropäisch, küstennah	1.10. – 30.04.
Var Fin	Finnland (Helsinki)	Nordeuropäisch	1.09. – 31.05.
Var Spa	Spanien (Barcelona)	Mediterran, Küstenlage	1.11. – 31.03.
Var UK	Großbritannien (London)	Mitteleuropäisch, Küstenlage	1.10. – 15.05.

Quelle: Döring (2008)

Da es keine gemittelten Klimadaten für ganze Länder oder Regionen gibt, wurden bestimmte Städte ausgewählt. Auswahlkriterien waren zum einen die Größe (es wurden eher die Hauptstädte ausgewählt), zum anderen die Unterschiedlichkeit der Klimata. In Deutschland wurden Berlin und Hamburg ausgewählt. Berlin, da dieses Klima auch für die Berechnung des Energiebedarfs gemäß Energieeinsparverordnung (EnEV) bzw. DIN 18599 als Referenzklima verwendet wird und in sofern als repräsentativ für Deutschland gilt, Hamburg, da hier ein relativ feucht-kühles Klima herrscht. In Spanien wurde abweichend nicht die Hauptstadt sondern Barcelona gewählt, da Madrid mit seiner hohen Binnenlage (trocken, extremere Temperaturen im Sommer und Winter) nicht repräsentativ für Spanien und die Mittelmeerregion im Allgemeinen ist.

An anderen Orten innerhalb der betrachteten Länder/Regionen können allerdings andere klimatische Bedingungen herrschen. Dies gilt es bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen.

Typischer Wäscheposten

Die Annahmen hinsichtlich der Menge an jährlich zu trocknender Wäsche und der Wäscheart entsprechen denen bei der Trocknung der Wäsche in Wäschetrocknern. Vereinfacht wird allerdings von einer einheitlichen durchschnittlichen Wäschemenge pro Trocknungsvorgang ausgegangen.

Tabelle 18 Wäscheanfall in Haushalten, Wäscheart und durchschnittliche Beladung

Land/Region	Wäscheanfall p.a.	Wäscheanfall Heizperiode	Wäscheart		Durchschnittliche Wäschemenge pro Trocknungsvorgang
			Baumwolle	Pflegeleichte Wäsche	
Deutschland	717 kg	418 kg	73%	27%	3,3 kg
Skandinavien	780 kg ⁹	585 kg	73%	27%	3,2 kg
Spanien	767 kg	320 kg	73%	27%	3,1 kg
Großbritannien	845 kg	528 kg	73%	27%	3,2 kg

Quellen: EuP (2007) (Wäscheanfall und durchschnittliche Beladung); eigene Ableitung nach GfK (2001) (Wäscheart)

Der Energieverbrauch bei der Trocknung der Wäsche hängt u.a. von der Eingangs- und Endrestfeuchte der Wäsche ab. Diese Restfeuchtwerte wurden gemäß EN 61121:2005 angenommen, vgl. folgende Tabelle.

Tabelle 19 Eingangs- und Endrestfeuchten der Wäschetrocknung nach Wäscheart

Land/Region	Anteil am Wäscheposten	Eingangsrestfeuchte	Endrestfeuchte
Baumwolle	73%	60%	0%
Pflegeleichte Wäsche	27%	40%	2%

Pro Wäscheposten resultiert hieraus eine durchschnittliche Eingangsrestfeuchte von ca. 55%. Bei einer durchschnittlichen Beladung von 3,3 kg in Deutschland enthält ein Wäscheposten also etwa 1,8 kg Wasser, das verdunstet und zumindest teilweise aus den Trockenräumen nach Außen transportiert werden muss.

Die Ergebnisse der Simulation für den zusätzlichen Heizwärmebedarf während der Heizperiode sind in den folgenden Tabellen dargestellt (gesamter Heizwärmebedarf während der Heizperiode und Heizwärmebedarf pro kg Wäsche während der Heizperiode).

⁹ Wert für Schweden, andere skandinavische Länder wurden in EuP (2007) nicht untersucht.

Tabelle 20 Zusätzlicher Heizwärmebedarf während der Heizperiode bei Trocknung auf der Leine in beheizten Räumen

Alternative	Alternative 5 („Best Case“: geregelter Lüftung)	Alternative 6 („Worst Case“: Kippfenster)
<i>Einheit</i>	<i>kWh p.a.</i>	<i>kWh p.a.</i>
Deutschland (Berlin)		
- Basisvariante	153,9	568,4
- Sensitivitätsanalyse „Wirtschaftsraum“	121,8	529,6
- Sensitivitätsanalyse „Wohnraum 12 m ² “	236,8	488,3
Deutschland (Hamburg)		
- Basisvariante	186,2	666,7
- Sensitivitätsanalyse „Wirtschaftsraum“	131,0	659,0
- Sensitivitätsanalyse „Wohnraum 12 m ² “	274,9	592,7
Skandinavien (Helsinki)	199,4	994,2
Spanien (Barcelona)	36,5	154,2
Großbritannien (London)	226,7	762,9

Quelle: Döring (2008)

Tabelle 21 Zusätzlicher Heizwärmebedarf pro kg Wäsche während der Heizperiode bei Trocknung auf der Leine in beheizten Räumen

Alternative	Alternative 5 („Best Case“: geregelter Lüftung)	Alternative 6 („Worst Case“: Kippfenster)
<i>Einheit</i>	<i>kWh pro kg Wäsche</i>	<i>kWh pro kg Wäsche</i>
Deutschland (Berlin)		
- Basisvariante	0,37	1,36
- Sensitivitätsanalyse „Wirtschaftsraum“	0,29	1,27
- Sensitivitätsanalyse „Wohnraum 12 m ² “	0,57	1,17
Deutschland (Hamburg)		
- Basisvariante	0,45	1,60
- Sensitivitätsanalyse „Wirtschaftsraum“	0,31	1,58
- Sensitivitätsanalyse „Wohnraum 12 m ² “	0,66	1,42
Skandinavien (Helsinki)	0,34	1,70
Spanien (Barcelona)	0,11	0,48
Großbritannien (London)	0,43	1,44

Quelle: Döring (2008)

Die Unterschiede im Heizwärmebedarf zwischen Alternative 5 („Best Case“: geregelte Lüftung) und Alternative 6 („Worst Case“: Kippfenster) sind sehr groß. So beträgt der Heizwärmebedarf während der Heizperiode in Deutschland bei geregelter Lüftung (Alternative 5) 150 bzw. 190 kWh (Berlin resp. Hamburg), bei gekipptem Fenster 570 bzw.

670 kWh. Bei gekipptem Fenster wird damit knapp die vierfache Heizwärmemenge benötigt im Vergleich zur geregelten Lüftung. Pro kg Wäsche entsprechen diese Werte einem Energieverbrauch von 0,37 bzw. 0,45 kWh (Alternative 5) und 1,36 bzw. 1,60 kWh (Alternative 6).

Wird die Wäsche in einem *Wirtschaftsraum* getrocknet, so liegt der Heizwärmebedarf v.a. bei geregelter Lüftung etwas niedriger als bei einem Wohnraum, was an der höheren Soll-Luftfeuchte (beim „Best Case“) und der niedrigeren Soll-Temperatur (beim „Best Case“ und beim „Worst Case“) liegt. Zum einen muss (bei geregelter Lüftung) seltener gelüftet werden, da 70% Luftfeuchtigkeit nicht so schnell überschritten werden, zum anderen muss die Außenluft in beiden Alternativen nur auf 18°C statt auf 20°C aufgeheizt werden.

Wird die Wäsche in einem *kleineren Raum* getrocknet, so steigt der Heizwärmebedarf bei geregelter Lüftung gegenüber dem größeren Raum an, da die Soll-Luftfeuchte rascher erreicht ist und dadurch bei geregelter Lüftung mehr gelüftet werden muss. Bei gekipptem Fenster sinkt der Bedarf dagegen etwas ab, was auf das ebenfalls entsprechend kleinere Fenster und damit den geringeren Luftaustausch zurückzuführen ist. Beim kleineren Raum rücken „Best Case“ und „Worst Case“ also etwas näher zusammen: der Energiebedarf bei gekipptem Fenster ist „nur“ rund doppelt so hoch wie der bei geregelter Lüftung.

Der absolute Heizwärmebedarf steigt in Skandinavien aufgrund der längeren Heizperiode erwartungsgemäß an. Vor allem bei Alternative 6 (Kippfenster) liegt der Wert mit fast 1000 kWh in der Heizperiode (entsprechend 1,7 kWh pro kg Wäsche) sehr hoch. In Spanien ist dagegen v.a. aufgrund der kürzeren Heizperiode der absolute Heizwärmebedarf viel geringer und beträgt pro Heizperiode nur etwa ein Viertel des Bedarfs in Deutschland. In Großbritannien ist der absolute Heizwärmebedarf pro Heizperiode höher als in Deutschland, was allerdings auch auf den etwas höheren Wäscheanfall zurückzuführen ist. Pro kg Wäsche sind die Werte denen von Hamburg recht ähnlich.

Die Umweltauswirkungen bzw. Kosten durch den zusätzlichen Heizwärmebedarf werden mit Hilfe der entsprechenden spezifischen Daten berechnet (vgl. Kapitel 3.3).

Detailanalyse Einzeltage

Für die Detailanalyse wurde der zusätzliche Heizwärmebedarf für die Trocknung eines typischen Wäschepostens an einzelnen Tagen während der Heizperiode berechnet.

Hierfür wurden vier Tage mit den typischen Wetterdaten ausgewählt: ein Wintertag (WT), ein eher trockener Übergangstag (ÜT1), ein feuchter Übergangstag eines eher kontinentalen Klimas (Berlin; ÜT2), und ein sehr feuchter Übergangstag eines küstennahen Standorts (Hamburg; ÜT3). Tabelle 22 fasst die Klimabedingungen zusammen.

Tabelle 22 Übersicht der ausgewählten einzelnen Tage

Abkürzung der Variante	Wetterdaten	Temperatur (min. / max.)	rel. Feuchte (min. / max.)
WT	Wintertag	-4,7°C / +2,6°C	65 / 96%
ÜT1	Übergangstag, trocken	4,3°C / 13,3°C	43 / 76%
ÜT2	Übergangstag, feucht	4,6°C / 12,5°C	67 / 92%
ÜT3	Übergangstag, sehr feucht	9,6°C / 11,5°C	81 / 90%

Folgende Tabelle zeigt den zusätzlichen Heizwärmebedarf bei der Trocknung auf der Leine an den vier betrachteten Tagen.

Tabelle 23 Zusätzlicher Heizwärmebedarf bei der Trocknung eines typischen Wäschepostens auf der Leine an vier typischen Tagen während der Heizperiode

Alternative	Best Case	Worst Case
<i>Einheit</i>	<i>kWh pro 3,3 kg</i>	<i>kWh pro 3,3 kg</i>
Wintertag	1,47	5,95
Übergangstag, trocken	1,98	2,24
Übergangstag, feucht	2,20	3,58
Übergangstag, sehr feucht	3,12	2,47

Interessanterweise schneidet beim sehr feuchten Übergangstag (Hamburg) der „Worst Case“ mit gekipptem Fenster besser ab als der „Best Case“ mit geregelter Lüftung. Dies ist auf die sehr hohe Luftfeuchtigkeit zurückzuführen, die hohe Lüftungsraten erforderlich macht. Die Lüftungsraten bei geregelter Lüftung werden bei gekipptem Fenster dabei nicht erreicht, wodurch der Heizwärmebedarf geringer ist. Bei beiden Alternativen steigt die Luftfeuchtigkeit über den festgelegten Soll-Wert von 60% an, bei gekipptem Fenster aufgrund der geringeren Luftaustauschrate entsprechend stärker. Die Werte für den sehr feuchten Übergangstag liegen darüber hinaus innerhalb der Werte für den feuchten Übergangstag (Berlin), so dass sie beim Gesamtvergleich nicht gesondert ausgewiesen werden (vgl. Kapitel 4.2.4).

Die unterschiedlichen Spannen zwischen ‚Best Case‘ und ‚Worst Case‘ ergeben sich durch die unterschiedlichen Luftfeuchtigkeiten der Außenluft und die Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außenluft. Für eine genauere Erläuterung der auftretenden Unterschiede vgl. Döring (2008).

3.2.3 Kosten

Zur Berechnung der Lebenszykluskosten werden die für einen privaten Haushalt mit der Herstellung von Trockenräumen und der Trocknung von Wäsche in beheizten Räumen anfallenden Kosten berücksichtigt.

Herstellung

Reine Herstellungskosten, d.h. Baukosten betragen im Wohnungsbau ganz grob im Durchschnitt ca. 1.800,- € je m² Wohnfläche, wobei hier enorme Bandbreiten nach oben und unten bestehen (je nach dem, ob es sich um ein Mehrfamilienhaus, ein Reihenhaus, eine Doppelhaushälfte usw. handelt). Für die Basisvariante (Wohnraum) wird dieser Wert als durchschnittlicher Wert für die Herstellung angenommen.

Die Kosten eines Kellers oder Anbaus liegen mit etwa 600,- € je m² deutlich niedriger, wobei auch hier große Spannbreiten gegeben sind. Für die Sensitivitätsanalyse (Wirtschaftsraum) wird dieser Wert als durchschnittlicher Wert für die Herstellung angenommen.

Bezüglich der dem Wäschetrocknen anrechenbaren Anteile dieser Kosten gelten die gleichen Annahmen wie bei der Berechnung der Umweltauswirkungen (siehe Tabelle 16: Lebensdauer 80 Jahre; Anrechnung von 10% bzw. 40% der Kosten).

Nutzung

Die Kosten während der Nutzung berechnen sich über den jährlichen Energieverbrauch (Kosten für den zusätzlichen Heizwärmebedarf) und den spezifischen Kosten pro kWh Raumwärme. Der zusätzliche jährliche Heizwärmebedarf wurde in Döring (2008) berechnet. Die spezifischen Kosten werden in Tabelle 28 dargestellt.

Entsorgung

Die Kosten für die Entsorgung von Wohngebäuden wurden aufgrund der großen Datenunsicherheit vernachlässigt.

3.3 Energiebereitstellung

3.3.1 Strom- und Raumwärmebereitstellung

Die Strombereitstellung wurde mit Daten aus EcoInvent 2.0 modelliert. Die entsprechenden Strommixe sind in folgender Tabelle dargestellt. Für „Skandinavien“ wurde dabei als Beispiel Norwegen angenommen.

Tabelle 24 Strombereitstellung in den betrachteten Ländern/Regionen

Strommix	Deutschland	Skandinavien (Norwegen)	Spanien	Großbritannien
Fossil	56,79%	0,24%	47,89%	71,89%
Kernkraft	27,73%	0,43%	28,87%	20,87%
Wasserkraft	4,42%	98,05%	15,21%	2,04%
Sonstige erneuerbare Energien	1,84%	0,17%	2,37%	1,37%
Abfälle	0,49%	0,08%	0,47%	0%
Importanteil	8,73%	1,03%	5,19%	3,83%
Summe	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Quelle: Frischknecht et al. 2007

Die Raumwärmebereitstellung in Deutschland, Skandinavien, Spanien und Großbritannien wurde mit Daten aus Ecolnvent 2.0 modelliert. Die Anteile der verschiedenen Energieträger an der Raumwärmebereitstellung sind in folgender Tabelle dargestellt. Für „Skandinavien“ wurde dabei erneut als Beispiel Norwegen angenommen.

Tabelle 25 Raumwärmebereitstellung den betrachteten Ländern/Regionen

Raumwärmebereitstellung	Deutschland	Skandinavien (Norwegen)	Spanien	Großbritannien
Heizöl	30,2%	6,0 %	23,1 %	4,0%
Erdgas	48,6%	0,0 %	21,5 %	85,7%
Strom	4,0%	62,0 %	36,2 %	8,8%
Fernwärme	13,2%	0,0 %	0,0 %	0,0%
Kohle	1,0%	0,0 %	0,0 %	1,5%
Regenerative Energie	3,0%	32,0 %	19,2 %	0,0%
Summe	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Quellen: Deutschland: Statistisches Bundesamt 2008b; Norwegen: Statistics Norway 2007; Spanien: Rüdener und Gensch 2004; Großbritannien: CLG 2005.

Folgende Tabelle zeigt die durchschnittliche Bereitstellungseffizienz der Raumwärme aus Primärenergie je Land/Region.

Tabelle 26 Effizienz der Raumwärmebereitstellung aus Primärenergie

Land/Region	Bereitstellungseffizienz
Deutschland	83%
Skandinavien (Norwegen)	65%
Spanien	69%
Großbritannien	68%

3.3.2 Umweltauswirkungen

Aus den Daten zur Strom- und Raumwärmebereitstellung resultieren folgende spezifischen Umweltauswirkungen pro Kilowattstunde Strom bzw. Raumwärme.

Tabelle 27 Umweltauswirkungen pro Kilowattstunde Strom bzw. Raumwärme

Indikator	Deutschland	Skandinavien (Norwegen)	Spanien	Großbritannien	Einheit
Strombereitstellung					
KEA	14,2	5,3	13,6	13,5	MJ/kWh
GWP	0,720	0,046	0,594	0,685	kg CO ₂ -Äqu./kWh
Gesamtumweltauswirkungen	1,530	0,208	4,239	2,366	μUZBP/kWh
Raumwärmebereitstellung					
KEA	4,3	5,6	5,2	5,3	MJ/kWh
GWP	0,319	0,065	0,161	0,320	kg CO ₂ -Äqu./kWh
Gesamtumweltauswirkungen	0,715	0,330	0,472	0,756	μUZBP/kWh

3.3.3 Kosten

Die spezifischen Kosten einschließlich Steuern für die Bereitstellung von Strom und Raumwärme sind in folgender Tabelle dargestellt. Die Kosten für die Raumwärmebereitstellung wurden dabei mit Hilfe der Kosten für die einzelnen Energieträger

Tabelle 28 Energiepreise

Regionen	Strom	Raumwärme
Einheit	€/kWh	€/kWh
Großbritannien	0,13	0,048
Deutschland	0,19	0,069
Spanien	0,12	0,081
Norwegen	0,17	0,123

Quellen: Strom: Statistisches Bundesamt 2008a; Raumwärme: eigene Berechnung nach der Verteilung der Raumwärmebereitstellungsart. Erdgas, Statistisches Bundesamt 2008a; Heizöl (Norway): Norsk Petroleumsinstitutt 2006, Heizöl (GB, DE, ES): IEA 2007; Fernwärme (DE) und Kohle (DE) BMWi 2008.

4 Ergebnisse

In den nachfolgenden Kapiteln werden die Ergebnisse der Umweltindikatoren Kumulierter Energieaufwand (KEA), Treibhauspotenzial (GWP), Gesamtumweltauswirkungen sowie der Kostenrechnung jeweils als Abbildung und in tabellarischer Form dargestellt. Zunächst werden die Ergebnisse für Deutschland in allen Variationen (Basisvariante und zwei Sensitivitätsanalysen) dargestellt, gefolgt von einer vertieften Analyse bezüglich der Verlustrate. Anschließend folgen die Ergebnisse für die anderen Länder/Regionen.

4.1 Deutschland – Basisvariante

Die nachfolgenden Ergebnisse beziehen sich auf den geographischen Bezugsraum Deutschland (Berlin (B) und Hamburg (HH)) und die Annahmen in der Basisvariante. Aufgrund der unterschiedlichen Klimata in Berlin und Hamburg, resultieren auch bei den Gerätetrocknern Unterschiede in den mit ihrem Betrieb verbundenen Last- bzw. Gutschriften während der Nutzungsphase (vgl. Tabelle 10 und Tabelle 11). Allerdings sind die Unterschiede marginal und nur in der Datenbeschriftung der Balken erkennbar. Aufgrund der geringen Relevanz der Unterschiede werden in den Tabellen bei den Gerätetrocknern nur die Ergebnisse für Berlin dargestellt.

Die Ergebnisse der Kostenrechnung beziehen sich wie in Kapitel 3.1.5 bereits ausgeführt nicht auf durchschnittliche (konventionelle) Wäschetrockner am Markt, sondern basieren auf Preisen für Geräte von BSH (außer Wärmepumpentrockner des Wettbewerbs).

4.1.1 Umweltauswirkungen

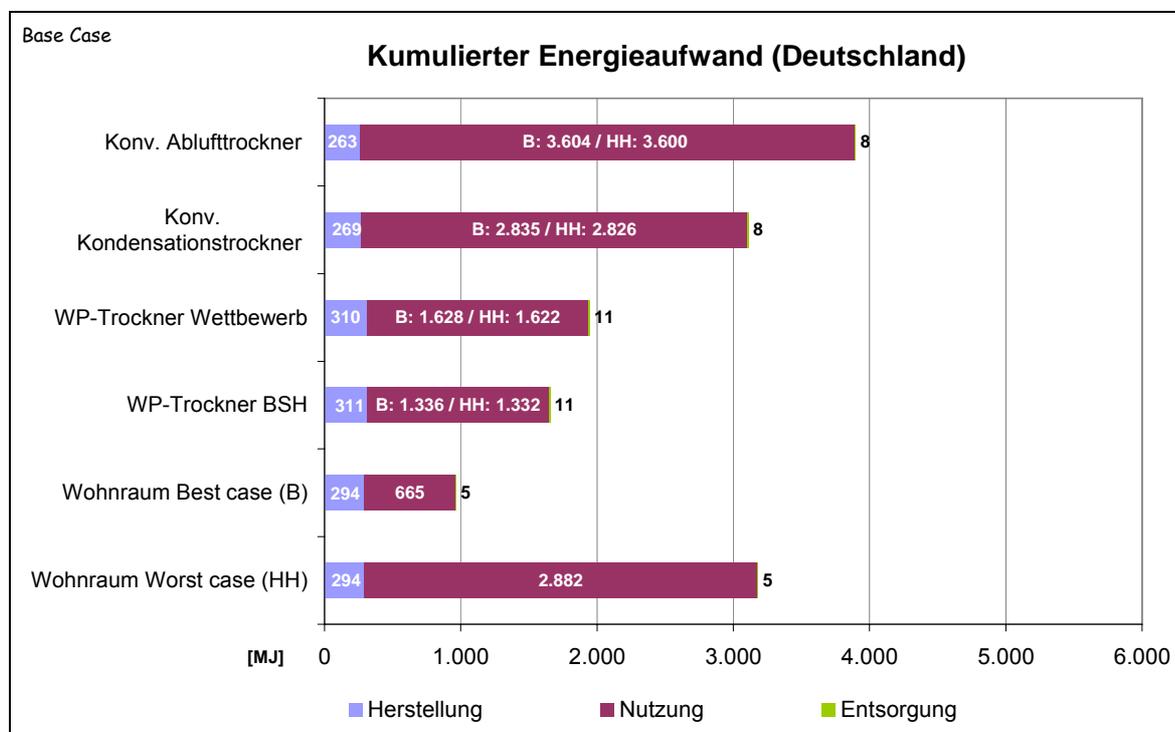


Abbildung 2 Basisvariante: Kumulierter Energieaufwand (KEA) in MJ/a, Deutschland

Tabelle 29 Basisvariante: Kumulierter Energieaufwand (KEA) in MJ/a, Deutschland

Betrachtete Alternativen	Herstellung	Nutzung	Entsorgung	Gesamt
Einheit	MJ/a	MJ/a	MJ/a	MJ/a
Konv. Ablufttrockner (B)	263	3.604	8	3.875
Konv. Kondensationstrockner (B)	269	2.835	8	3.113
WP-Trockner Wettbewerb (B)	310	1.628	11	1.949
WP-Trockner BSH (B)	311	1.336	11	1.658
Wohnraum Best case (B)	294	665	5	965
Wohnraum Worst case (HH)	294	2.882	5	3.181

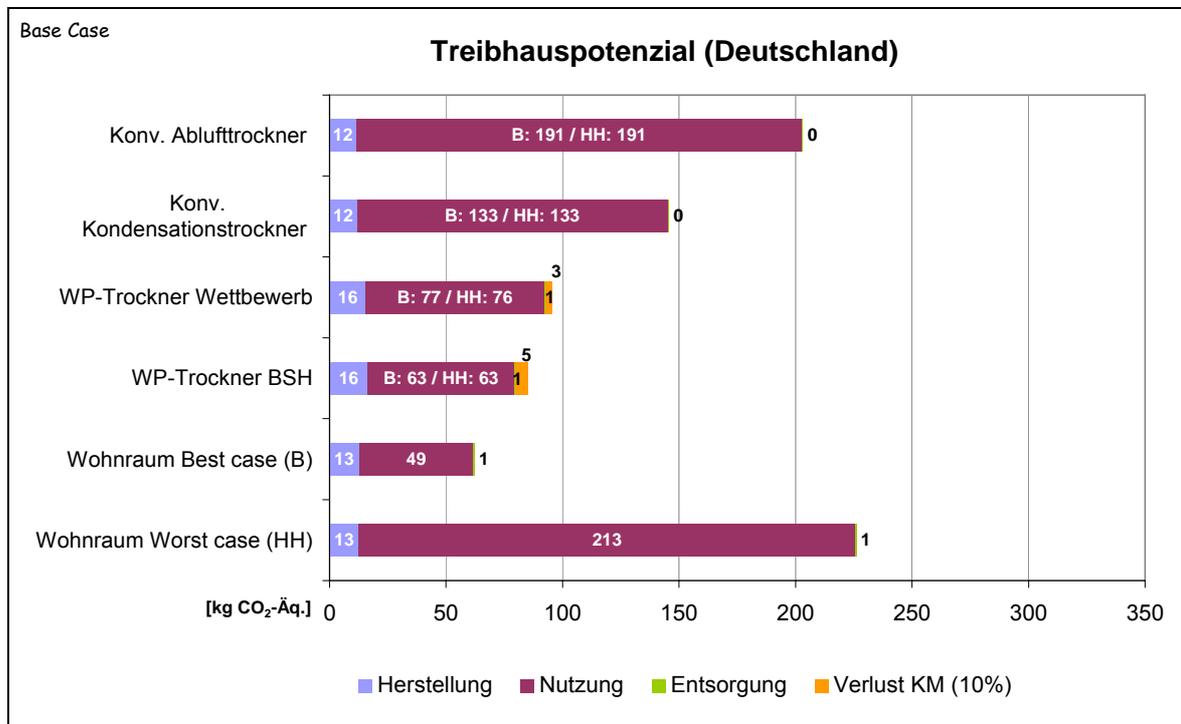


Abbildung 3 Basisvariante: Treibhauspotenzial (GWP) in kg CO₂-Äq./a, Deutschland

Tabelle 30 Basisvariante: Treibhauspotenzial (GWP) in kg CO₂-Äq./a, Deutschland

Betrachtete Alternativen	Herstellung	Nutzung	Entsorgung	Verlust KM	Gesamt
Einheit	kg CO ₂ -Äq./a				
Konv. Ablufttrockner (B)	11,5	191,1	0,4	0	203,1
Konv. Kondensationstrockner (B)	11,8	133,3	0,4	0	145,6
WP-Trockner Wettbewerb (B)	15,7	76,5	0,5	3,0	95,7
WP-Trockner BSH (B)	16,5	62,8	0,5	5,2	85,0
Wohnraum Best case (B)	12,7	49,1	0,6	0	62,4
Wohnraum Worst case (HH)	12,7	212,9	0,6	0	226,1

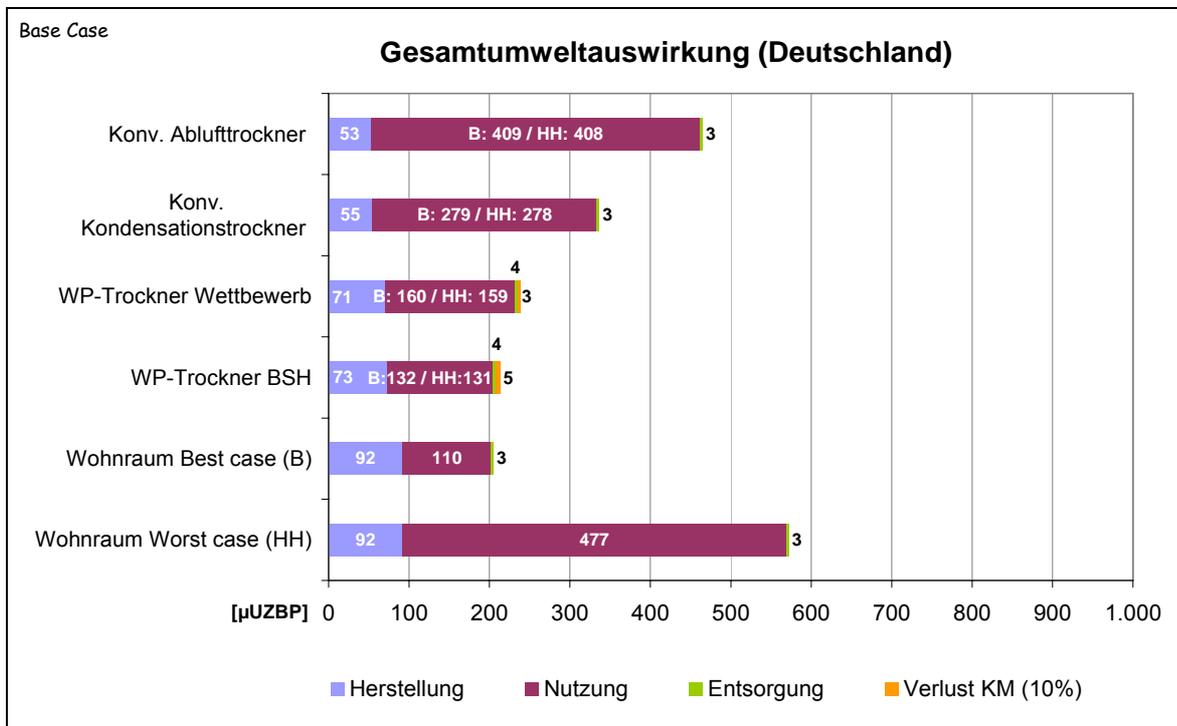


Abbildung 4 Basisvariante: Gesamtumweltauswirkung in µUZBP/a, Deutschland

Tabelle 31 Basisvariante: Gesamtumweltauswirkung in µUZBP/a, Deutschland

Betrachtete Alternativen	Herstellung	Nutzung	Entsorgung	Verlust KM	Gesamt
Einheit	µUZBP/a	µUZBP/a	µUZBP/a	µUZBP/a	µUZBP/a
Konv. Ablufttrockner (B)	53	409	3	0	465
Konv. Kondensationstrockner (B)	55	279	3	0	337
WP-Trockner Wettbewerb (B)	71	160	4	3	238
WP-Trockner BSH (B)	73	132	4	5	213
Wohnraum Best case (B)	92	110	3	0	205
Wohnraum Worst case (HH)	92	477	3	0	572

Vergleicht man die *Umweltauswirkungen der verschiedenen Gerätetrockner*, so zeichnet sich bei allen betrachteten Indikatoren die gleiche Reihenfolge ab: Die höchsten Umweltauswirkungen hat der konventionelle Ablufttrockner (Energieeffizienzklasse C). Im Vergleich hierzu hat der konventionelle Kondensationstrockner 20% bis knapp 30%, die beiden Wärmepumpentrockner knapp 50% bis 60% geringere Umweltauswirkungen. Im Vergleich zum konventionellen Kondensationstrockner (Energieeffizienzklasse B) schneiden die Wärmepumpentrockner um knapp 30% bis 47% besser ab.

Vergleicht man die Wärmepumpentrockner untereinander, so schneidet das Gerät von BSH um 10 bis 15% besser ab als das des Wettbewerbs (bei einer Verlustrate des Kältemittels von 10%).

Die *Umweltauswirkungen durch den Verlust* von insgesamt 10% des Kältemittels wirken sich nur geringfügig auf die Ergebnisse aus. Insgesamt überwiegt bei weitem der Energieverbrauch während der Nutzungsphase. Wie sich eine höhere Verlustrate auf das Treibhauspotenzial und damit auf das Verhältnis der betrachteten Alternativen auswirkt, wird in Kapitel 4.2.3 genauer dargestellt.

Beim *Wäschetrocknen auf der Leine in beheizten Räumen* fällt zunächst auf, dass die Spannbreite zwischen „Best Case“ und „Worst Case“ sehr groß ist. Die Umweltauswirkungen des „Worst Case“ sind zweieinhalb- bis dreimal so hoch wie die des „Best Case“. Wesentlicher Einflussfaktor für den Energieverbrauch bei der Trocknung in beheizten Räumen ist also das Lüftungsverhalten der Nutzer bzw. ob es eine automatisch geregelte Lüftung gibt. Insgesamt kann nicht genau bestimmt werden, wo innerhalb der aufgespannten Bandbreite die Umweltauswirkungen im Durchschnitt liegen. Der „Best Case“ wird sicher nur selten erreicht, etwa wenn ein Gebäude über eine automatisch geregelte Lüftung mit Luftfeuchtigkeitssensor verfügt, was nur bei einem sehr geringen Anteil der Gebäude im Bestand der Fall sein dürfte. Ähnlich gute Werte können erreicht werden, wenn während des Wäschetrocknens die Fenster geschlossen sind und lediglich in bestimmten Zeitabständen eine Stoßlüftung durchgeführt wird. Wann und wie häufig gelüftet werden muss, unterliegt dann allerdings der subjektiven Einschätzung des Nutzers. Insgesamt liegt die Realität sicher näher am „Worst Case“ als am „Best Case“.

Das Trocknen der Wäsche in konventionellen Wäschetrocknern liegt je nach Indikator im Bereich (KEA) oder sogar unter (GWP, Gesamtumweltauswirkungen) den Umweltauswirkungen des „Worst Case“ der Trocknung in beheizten Räumen.

Die Umweltauswirkungen der Wärmepumpentrockner liegen je nach Wirkungskategorie um 5% bis 100% über denen des „Best Case“ der Trocknung in beheizten Räumen. Insbesondere die Gesamtumweltauswirkungen der Wärmepumpentrockner liegen nur geringfügig über denen des „Best Case“. Im Vergleich zum „Worst Case“ schneiden die Wärmepumpentrockner deutlich besser ab, und haben je nach Wirkungskategorie um 40% bis 63% geringere Umweltauswirkungen.

4.1.2 Kosten

Wie bei den Umweltauswirkungen ergeben sich auch bei den Energiekosten während der Nutzung der einzelnen Geräte durch klimabedingte Unterschiede bei den Raumwärmegut- bzw. -lastschriften Unterschiede. Allerdings sind diese Unterschiede so gering, dass sie sich erst in den Nachkommastellen auswirken. Die dargestellten Kosten der Wäschetrocknung in Wäschetrocknern sind daher für beide betrachteten Klimata (Berlin und Hamburg) gültig.

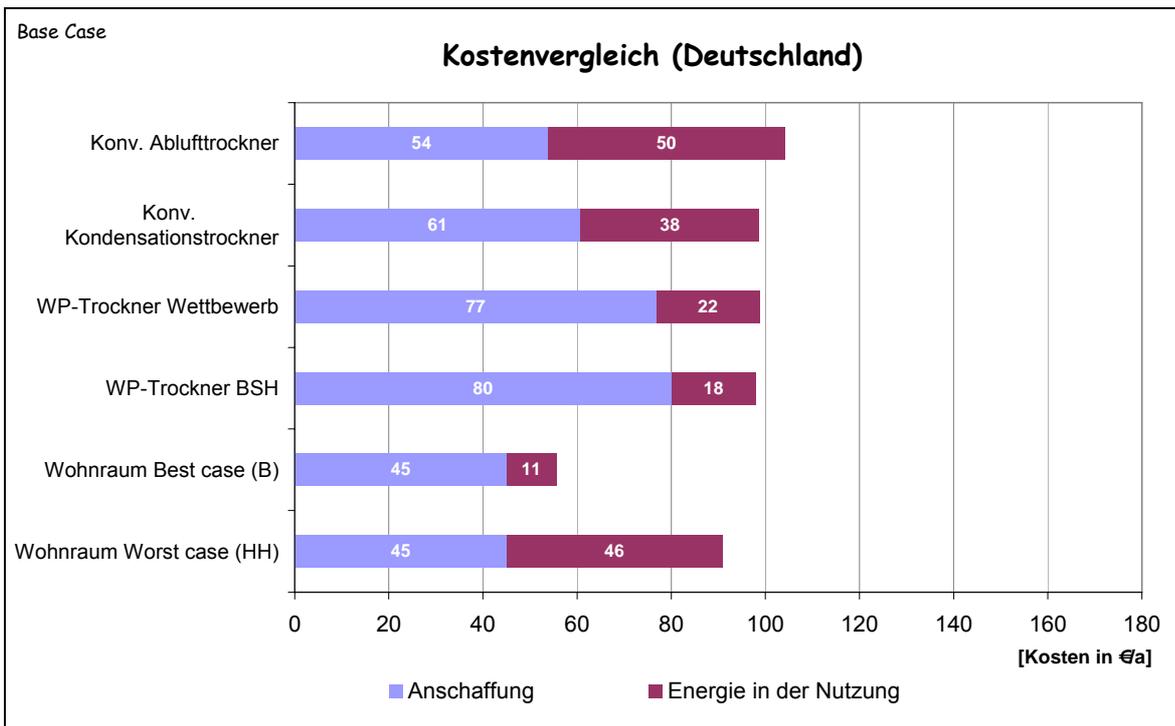


Abbildung 5 Basisvariante: Kostenvergleich, Deutschland

Tabelle 32 Basisvariante: Kostenvergleich, Deutschland

Kostenvergleich	Anschaftung	Nutzung	Entsorgung	Jährliche Gesamtkosten
Einheit	€/a	€/a	€/a	€/a
Konv. Ablufttrockner	54	50	0	104
Konv. Kondensationstrockner	61	38	0	99
WP-Trockner Wettbewerb	77	22	0	99
WP-Trockner BSH	80	18	0	98
Wohnraum Best case (B)	45	11	0	56
Wohnraum Worst case (HH)	45	46	0	91

Die Anschaffungspreise der Gerätetrockner steigen vom konventionellen Ablufttrockner über den konventionellen Kondensationstrockner bis zu den Wärmepumpentrocknern um etwa 50% an. Dennoch liegen, aufgrund der höheren Energiekosten während der Nutzung die Gesamtkosten des konventionellen Ablufttrockners sogar geringfügig über denen der anderen Gerätetrockner.

Die Spanne der Kosten für die Wäschetrocknung in beheizten Räumen variiert deutlich. Die reinen Energiekosten für die Trocknung liegen beim „Worst Case“ viermal so hoch wie beim „Best Case“.

Insgesamt liegen die Kosten der Gerätetrockner über denen des Wäschetrocknens in beheizten Räumen (im Vergleich zum „Worst Case“ nur geringfügig).

Die Ergebnisse der Kostenrechnung sind mit einer gewissen Unsicherheit behaftet, da es große Schwankungsbreiten bei den Kaufpreisen der Wäschetrockner, bei den Erstellungskosten für Gebäude und bei den Energiepreisen gibt. Die Kosten für die Raumwärmebereitstellung sind lediglich ein durchschnittlicher Wert, der je nach tatsächlicher Raumwärmebereitstellung deutlich davon abweichen kann. Auch die anteilige Anrechnung der Herstellungskosten der Räume (10% dieser Kosten werden dem Wäschetrocknen angerechnet) kann in Frage gestellt werden. Ein Kostenvergleich zwischen den Geräten und den Räumen ist daher nur bedingt aussagekräftig. Dennoch wird deutlich, dass das Trocknen in (beheizten) Räumen nicht, wie zunächst vermutet werden könnte, gratis ist, da allein für die Energiekosten jährlich etwa zwischen 10,- bis 50,- € aufgebracht werden müssen.

4.2 Deutschland – Sensitivitätsanalysen

4.2.1 Deutschland – „Wirtschaftsraum“

Die nachfolgenden Ergebnisse vergleichen die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse „Wirtschaftsraum“ (geographischer Bezugsraum Deutschland; Klima Berlin) mit denen der Basisvariante. In einem Hauswirtschaftsraum findet die Wäschetrocknung auf der Leine mit etwas niedrigerer Soll-Temperatur und etwas höherer Soll-Luftfeuchtigkeit im Vergleich zum Wohnraum statt. Die Sensitivitätsanalyse bezieht sich lediglich auf die Wäschetrocknung in beheizten Räumen.

Umweltauswirkungen

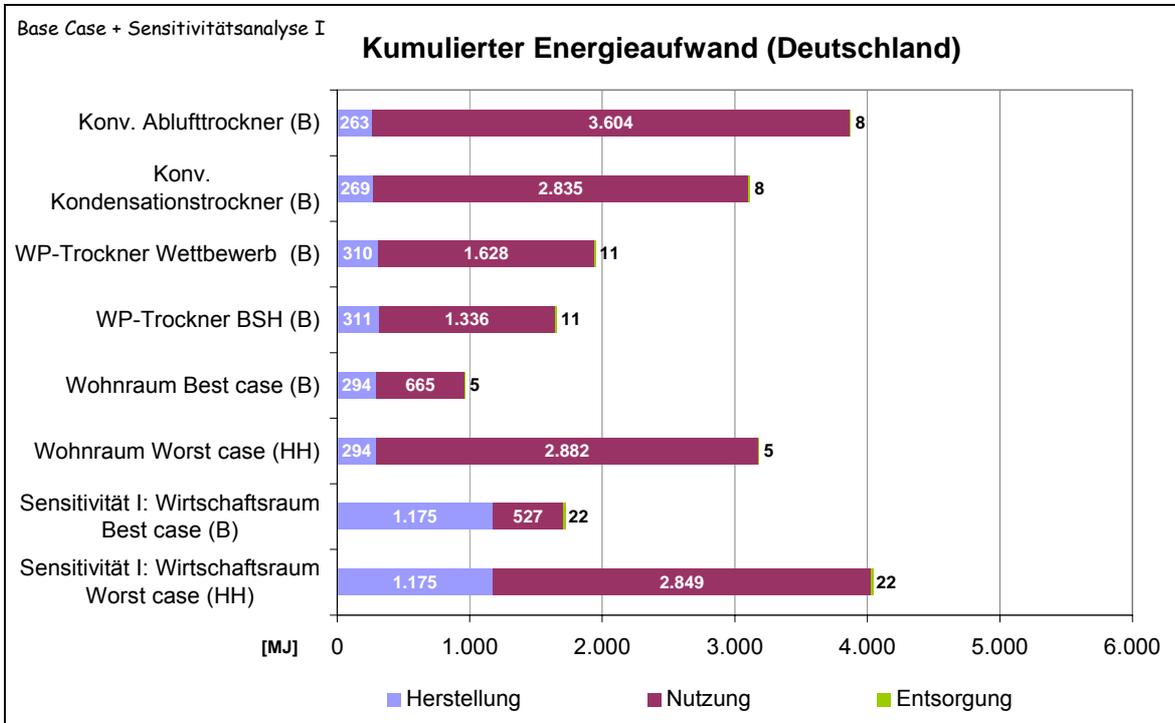


Abbildung 6 Sensitivitätsanalyse I: Kumulierter Energieaufwand (KEA) in MJ/a, Deutschland

Tabelle 33 Sensitivitätsanalyse I: Kumulierter Energieaufwand (KEA) in MJ/a, Deutschland

Betrachtete Alternativen	Herstellung	Nutzung	Entsorgung	Gesamt
Einheit	MJ/a	MJ/a	MJ/a	MJ/a
Konv. Ablufttrockner (B)	263	3.604	8	3.875
Konv. Kondensationstrockner (B)	269	2.835	8	3.113
WP-Trockner Wettbewerb (B)	310	1.628	11	1.949
WP-Trockner BSH (B)	311	1.336	11	1.658
Wohnraum Best case (B)	294	665	5	965
Wohnraum Worst case (HH)	294	2.882	5	3.181
S I: Wirtschaftsraum Best case (B)	1.175	527	22	1.724
S I: Wirtschaftsraum Worst case (HH)	1.175	2.849	22	4.046

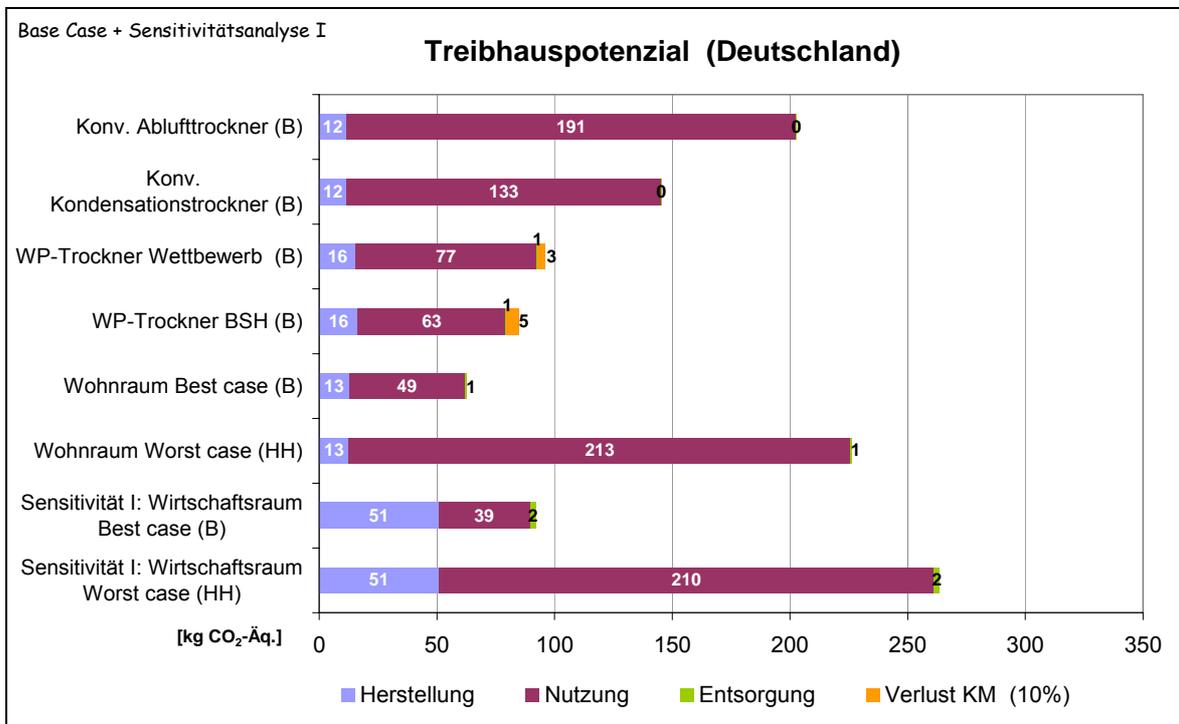


Abbildung 7 Sensitivitätsanalyse I: Treibhauspotenzial (GWP) in kg CO₂-Äq./a, Deutschland

Tabelle 34 Sensitivitätsanalyse I: Treibhauspotenzial (GWP) in kg CO₂-Äq./a, Deutschland

Betrachtete Alternativen	Herstellung	Nutzung	Entsorgung	Verlust KM	Gesamt
Einheit	kg CO ₂ -Äq./a				
Konv. Ablufttrockner (B)	11,5	191,1	0,4	0	203,1
Konv. Kondensationstrockner (B)	11,8	133,3	0,4	0	145,6
WP-Trockner Wettbewerb (B)	15,7	76,5	0,5	3,0	95,7
WP-Trockner BSH (B)	16,5	62,8	0,5	5,2	85,0
Wohnraum Best case (B)	12,7	49,1	0,6	0	62,4
Wohnraum Worst case (HH)	12,7	212,9	0,6	0	226,1
S I: Wirtschaftsraum Best case (B)	50,7	38,9	2,3	0	91,9
S I: Wirtschaftsraum Worst case (HH)	50,7	210,4	2,3	0	263,4

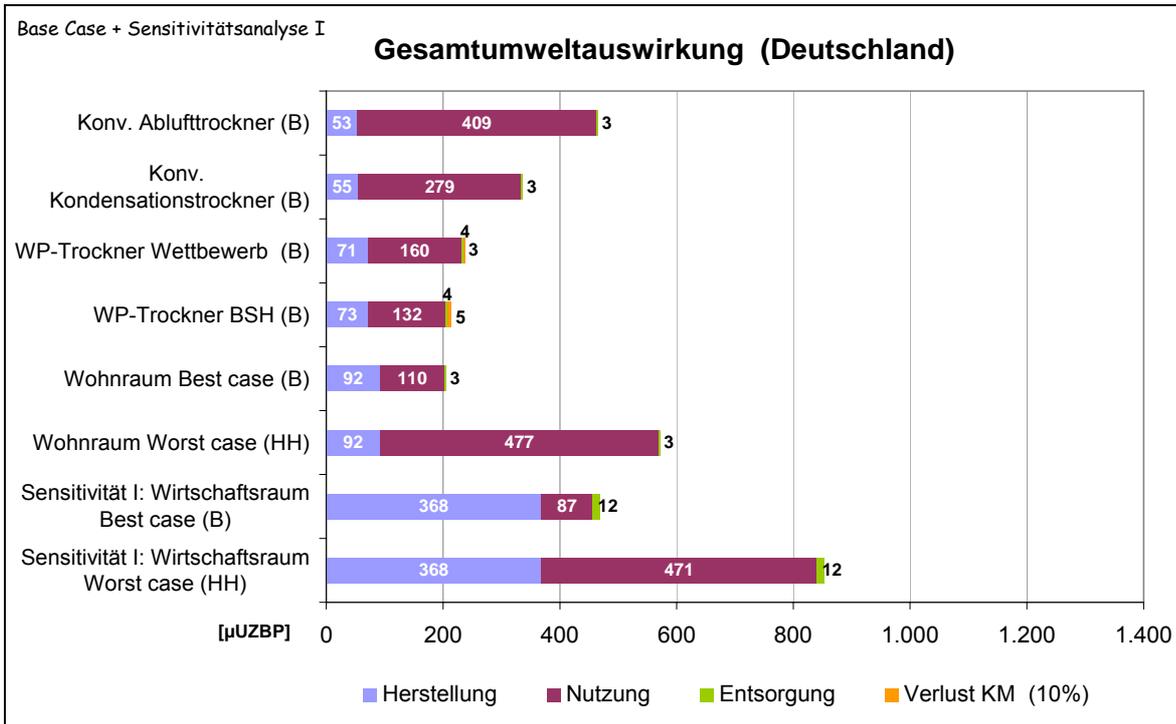


Abbildung 8 Sensitivitätsanalyse I: Gesamtumweltauswirkung in µUZBP/a, Deutschland

Tabelle 35 Sensitivitätsanalyse I: Gesamtumweltauswirkung in µUZBP/a, Deutschland

Betrachtete Alternativen	Herstellung	Nutzung	Entsorgung	Verlust KM	Gesamt
Einheit	µUZBP/a	µUZBP/a	µUZBP/a	µUZBP/a	µUZBP/a
Konv. Ablufttrockner (B)	53	409	3	0	465
Konv. Kondensationstrockner (B)	55	279	3	0	337
WP-Trockner Wettbewerb (B)	71	160	4	3	238
WP-Trockner BSH (B)	73	132	4	5	213
Wohnraum Best case (B)	92	110	3	0	205
Wohnraum Worst case (HH)	92	477	3	0	572
S I: Wirtschaftsraum Best case (B)	368	87	12	0	468
S I: Wirtschaftsraum Worst case (HH)	368	471	12	0	852

Die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse weichen z.T. deutlich von denen der Basisvariante der Trocknung in beheizten Räumen ab. Die Ergebnisse sowohl des „Best Case“ als auch des „Worst Case“ liegen über denen der jeweiligen Basisvariante, was auf die höheren

Umweltauswirkungen für die Herstellung und Entsorgung der Räume zurückzuführen ist.¹⁰ Dies wirkt sich bei den Gesamtumweltauswirkungen am deutlichsten aus.

Die Umweltauswirkungen der Nutzung liegen sowohl im „Best Case“ als auch im „Worst Case“ unter denen der Basisvariante (21% bzw. 7%), was auf die geringere Soll-Luftfeuchtigkeit (beim „Best Case“) sowie auf die geringere Soll-Raumtemperatur (beim „Best Case“ und beim „Worst Case“) zurückzuführen ist.

Insgesamt liegen die Umweltauswirkungen der Gerätetrockneralternativen damit deutlich unter denen der Trocknung in beheizten Räumen. Insbesondere die Umweltauswirkungen der Wärmepumpentrockner liegen in der gleichen Höhe oder sogar unter denen des „Best Case“. Beim „Worst Case“ liegen sogar allein die Umweltauswirkungen der Nutzung höher als diejenigen, die durch Herstellung, Nutzung und Entsorgung der Wärmepumpentrockner, teilweise sogar der konventionellen Gerätetrockner verursacht werden.

Kosten

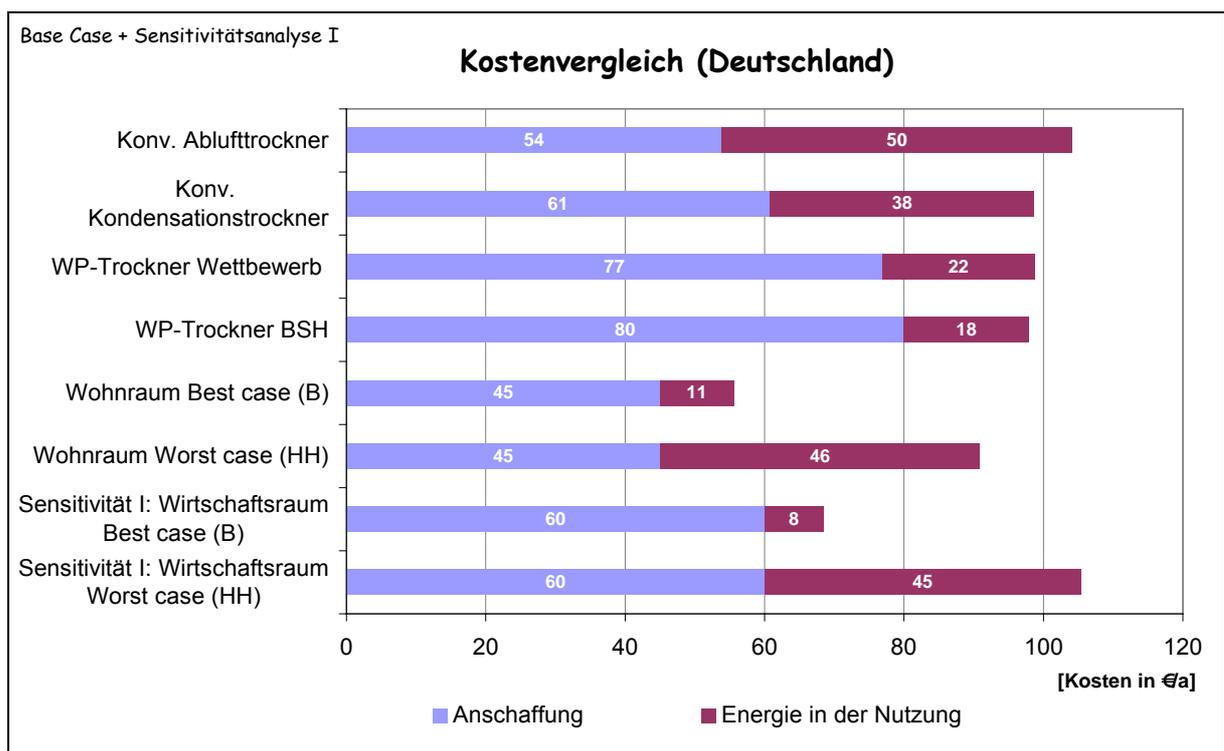


Abbildung 9 Sensitivitätsanalyse I: Kostenvergleich, Deutschland

¹⁰ Beim Wohnraum werden 10%, beim Wirtschaftsraum 40% der gesamten Aufwendungen für die Herstellung und Entsorgung der Trockenräume dem Wäschetrocknen angerechnet. Die anrechenbaren Umweltauswirkungen liegen beim Wirtschaftsraum also viermal höher als in der Basisvariante.

Tabelle 36 Sensitivitätsanalyse I: Kostenvergleich, Deutschland

Betrachtete Alternativen	Anschaffung	Nutzung	Entsorgung	Jährliche Gesamtkosten
<i>Einheit</i>	€/a	€/a	€/a	€/a
Konv. Ablufttrockner	54	50	0	104
Konv. Kondensationstrockner	61	38	0	99
WP-Trockner Wettbewerb	77	22	0	99
WP-Trockner BSH	80	18	0	98
Wohnraum Best case (B)	45	11	0	56
Wohnraum Worst case (HH)	45	46	0	91
S I: Wirtschaftsraum Best case (B)	60	8	0	68
S I: Wirtschaftsraum Worst case (HH)	60	45	0	105

Entsprechend den Umweltauswirkungen liegen die Kosten der Wäschetrocknung im Wirtschaftsraum über denen der Nutzung eines Wohnraums. Auch hier ist der Grund der höhere angerechnete Anteil der Herstellungs- (und Entsorgungs-)kosten des Wirtschaftsraums im Vergleich zum Wohnraum (40% bzw. 10%). Die reinen Nutzungskosten liegen ebenfalls um 21% („Best Case“) bzw. 7% („Worst Case“) unter denen der jeweiligen Basisvariante.

4.2.2 Deutschland – „Kleinerer Trockenraum“

Die nachfolgenden Ergebnisse vergleichen die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse „kleinerer Trockenraum“ (geographischer Bezugsraum Deutschland; Klima Berlin) mit denen der Basisvariante. In einem kleineren Trockenraum findet die Wäschetrocknung auf der Leine in einem 12 m² anstatt einem ca. 20 m² großen Raum statt. Die Sensitivitätsanalyse bezieht sich lediglich auf die Wäschetrocknung in beheizten Räumen.

Umweltauswirkungen

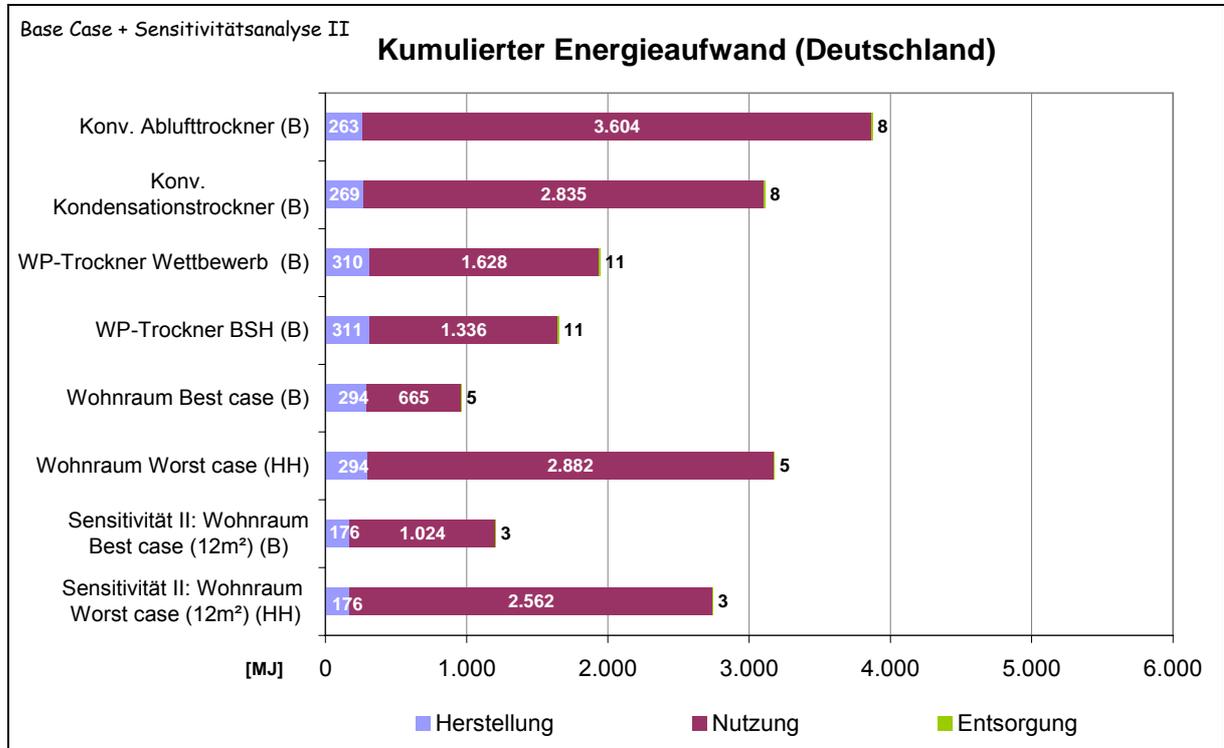


Abbildung 10 Sensitivitätsanalyse II: Kumulierter Energieaufwand (KEA) in MJ/a, Deutschland

Tabelle 37 Sensitivitätsanalyse II: Kumulierter Energieaufwand (KEA) in MJ/a, Deutschland

Betrachtete Alternativen	Herstellung	Nutzung	Entsorgung	Gesamt
Einheit	MJ/a	MJ/a	MJ/a	MJ/a
Konv. Ablufttrockner (B)	263	3.604	8	3.875
Konv. Kondensationstrockner (B)	269	2.835	8	3.113
WP-Trockner Wettbewerb (B)	310	1.628	11	1.949
WP-Trockner BSH (B)	311	1.336	11	1.658
Wohnraum Best case (B)	294	665	5	965
Wohnraum Worst case (HH)	294	2.882	5	3.181
S II: Wohnraum (12m²) Best case (B)	176	1.024	3	1.203
S II: Wohnraum (12m²) Worst case (HH)	176	2.562	3	2.742

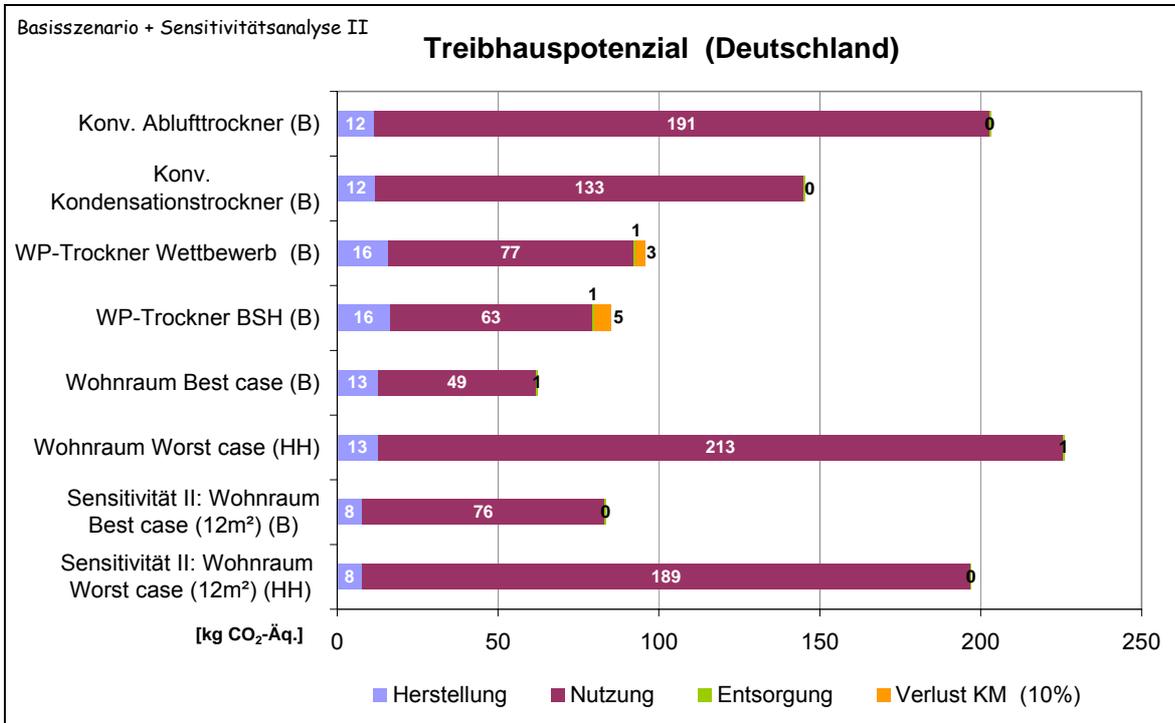


Abbildung 11 Sensitivitätsanalyse II: Treibhauspotenzial (GWP) in kg CO₂-Äq./a, Deutschland

Tabelle 38 Sensitivitätsanalyse II: Treibhauspotenzial (GWP) in kg CO₂-Äq./a, Deutschland

Betrachtete Alternativen	Herstellung	Nutzung	Entsorgung	Verlust KM	Gesamt
Einheit	kg CO ₂ -Äq./a				
Konv. Ablufttrockner (B)	11,5	191,1	0,4	0	203,1
Konv. Kondensationstrockner (B)	11,8	133,3	0,4	0	145,6
WP-Trockner Wettbewerb (B)	15,7	76,5	0,5	3,0	95,7
WP-Trockner BSH (B)	16,5	62,8	0,5	5,2	85,0
Wohnraum Best case (B)	12,7	49,1	0,6	0	62,4
Wohnraum Worst case (HH)	12,7	212,9	0,6	0	226,1
S II: Wohnraum (12m ²) Best case (B)	7,6	75,6	0,3	0	83,6
S II: Wohnraum (12m ²) Worst case (HH)	7,6	189,3	0,3	0	197,2

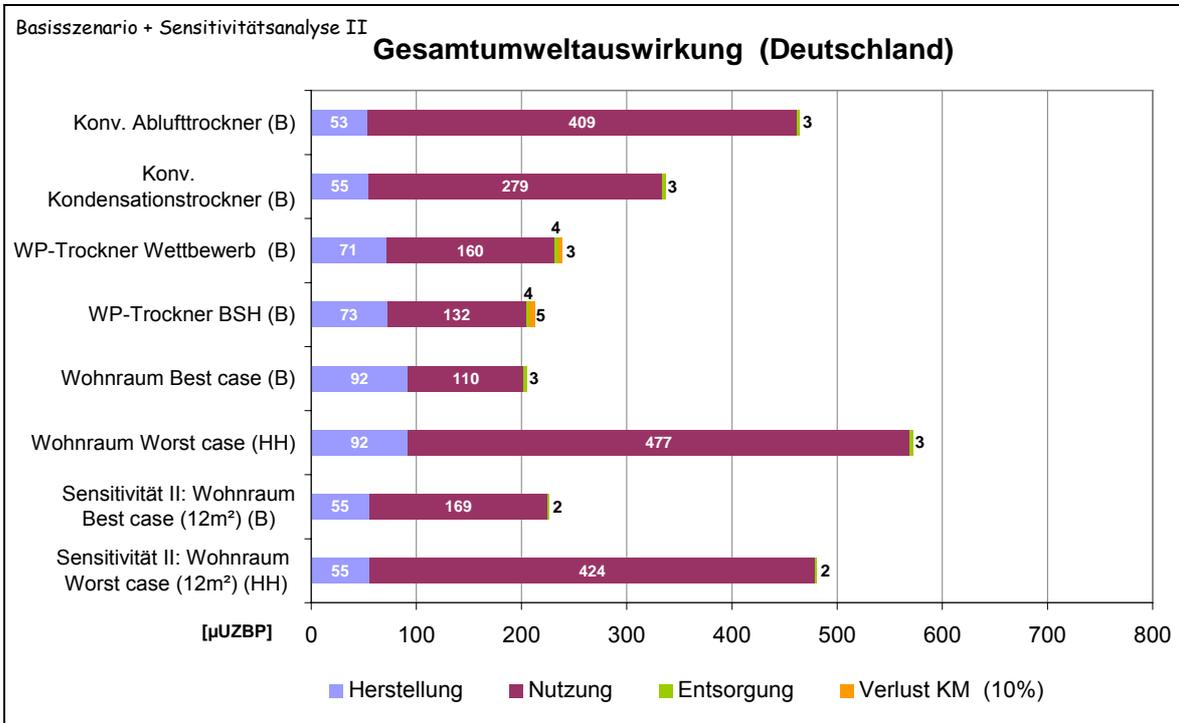


Abbildung 12 Sensitivitätsanalyse II: Gesamtumweltauswirkung in µUZBP/a, Deutschland

Tabelle 39 Sensitivitätsanalyse II: Gesamtumweltauswirkung in µUZBP/a, Deutschland

Betrachtete Alternativen	Herstellung	Nutzung	Entsorgung	Verlust KM	Gesamt
Einheit	µUZBP/a	µUZBP/a	µUZBP/a	µUZBP/a	µUZBP/a
Konv. Ablufttrockner (B)	53	409	3	0	465
Konv. Kondensationstrockner (B)	55	279	3	0	337
WP-Trockner Wettbewerb (B)	71	160	4	3	238
WP-Trockner BSH (B)	73	132	4	5	213
Wohnraum Best case (B)	92	110	3	0	205
Wohnraum Worst case (HH)	92	477	3	0	572
S II: Wohnraum (12m²) Best case (B)	55	169	2	0	226
S II: Wohnraum (12m²) Worst case (HH)	55	424	2	0	481

Die Umweltauswirkungen bei Wäschetrocknung in einem kleineren Raum liegen innerhalb der Spanne zwischen „Best Case“ und „Worst Case“ der Basisvariante.

Zwar liegen die Umweltauswirkungen für die Herstellung und Entsorgung des Trockenraums niedriger als in der Basisvariante. Allerdings sind die Umweltauswirkungen durch die Nutzung im „Best Case“ höher, im „Worst Case“ niedriger als bei der Basisvariante.

Die höheren Umweltauswirkungen beim Vergleich der „Best Case“-Alternativen resultieren daraus, dass die Soll-Luftfeuchte in einem kleineren Raum rascher erreicht wird und dadurch mehr gelüftet werden muss. Bei gekipptem Fenster („Worst Case“) sinkt der Heizwärmebedarf bei kleinerem Raum dagegen etwas ab, was auf das ebenfalls entsprechend kleinere Fenster und den dadurch geringeren Luftaustausch zurückzuführen ist.

Kosten

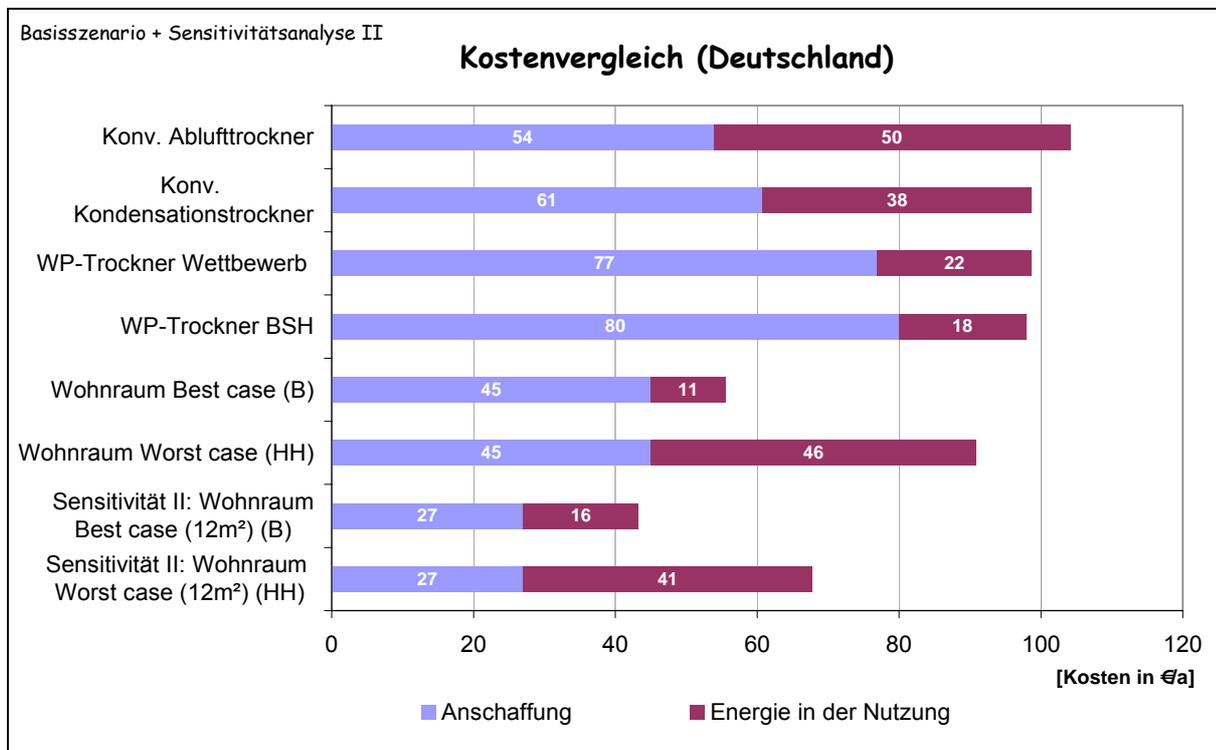


Abbildung 13 Sensitivitätsanalyse II: Kostenvergleich, Deutschland

Tabelle 40 Sensitivitätsanalyse II: Kostenvergleich, Deutschland

Betrachtete Alternativen	Anschaffung	Nutzung	Entsorgung	Jährliche Gesamtkosten
<i>Einheit</i>	<i>€/a</i>	<i>€/a</i>	<i>€/a</i>	<i>€/a</i>
Konv. Ablufttrockner	54	50	0	104
Konv. Kondensationstrockner	61	38	0	99
WP-Trockner Wettbewerb	77	22	0	99
WP-Trockner BSH	80	18	0	98
Wohnraum Best case (B)	45	11	0	56
Wohnraum Worst case (HH)	45	46	0	91
S II: Wohnraum (12m ²) Best case (B)	27	16	0	43
S II: Wohnraum (12m ²) Worst case (HH)	27	41	0	68

Bei den Kosten schneidet der kleinere Raum besser ab als die Basisvariante. Dies ist auf die geringeren Herstellungs- (und Entsorgungs-) Kosten für einen kleineren Raum zurückzuführen. Die Kosten für den Energieverbrauch während der Nutzung liegen innerhalb der Spanne der Basisvariante: jährlich müssen zwischen rund 15,- € und 40,- € für die zusätzliche Raumheizung aufgebracht werden.

4.2.3 Deutschland – Analyse der Kältemittelverlustrate

Für den geographischen Bezugsraum Deutschland wurden die Auswirkungen der Verlustrate des Kältemittels auf die Ergebnisse (nur Treibhauspotenzial) vertieft untersucht. Folgende Abbildung und Tabelle zeigt die Abhängigkeit des Treibhauspotenzials der untersuchten Alternativen von der Verlustrate des Kältemittels.

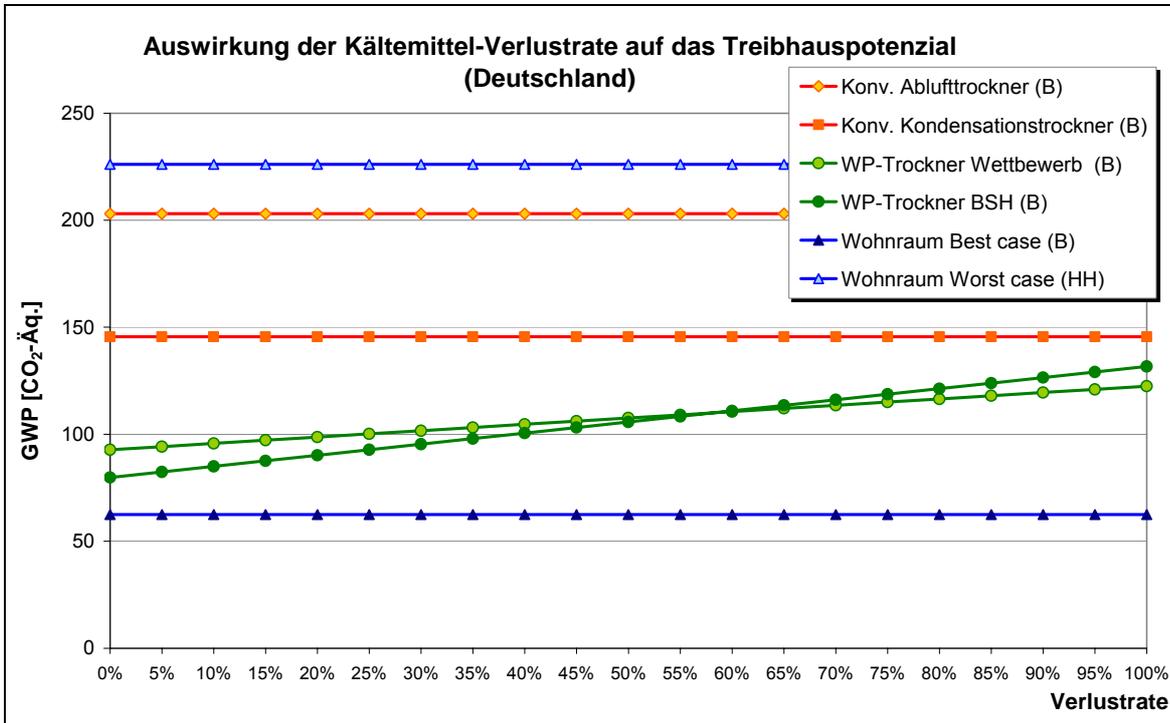


Abbildung 14 Auswirkung der Kältemittel-Verlustrate auf das Treibhauspotenzial, Deutschland

Tabelle 41 Auswirkung der Kältemittel-Verlustrate auf das Treibhauspotenzial, Deutschland

Betrachtete Alternativen	0%	10%	20%	40%	60%	80%	100%
Konv. Ablufttrockner (B)	203	203	203	203	203	203	203
Konv. Kondensationstrockner (B)	146	146	146	146	146	146	146
WP-Trockner Wettbewerb (B)	93	96	99	105	111	116	122
WP-Trockner BSH (B)	80	85	90	101	111	121	132
Wohnraum Best case (B)	62	62	62	62	62	62	62
Wohnraum Worst case (HH)	226	226	226	226	226	226	226

Die Variation der Verlustrate wirkt sich lediglich auf das Treibhauspotenzial der Wärmepumpentrockner aus, da bei allen anderen Alternativen kein Kältemittel verwendet wird.

Mit steigender Verlustrate steigt das Treibhauspotenzial der Wärmepumpentrockner-Alternativen deutlich an: Beim WP-Trockner des Wettbewerbs um etwa ein Drittel von 93 auf 122 kg CO₂-Äquivalente pro Jahr, beim WP-Trockner von BSH um knapp zwei Drittel von 80 auf 132 kg CO₂-Äquivalente pro Jahr. Das Treibhauspotenzial bei Nutzung des Wärmepumpentrockners von BSH liegt dabei bis zu einer Verlustrate von 60% um 0% bis 15% unter dem des Wärmepumpentrockners des Wettbewerbs. Oberhalb einer Verlustrate von

60% liegt das Treibhauspotenzial bei Nutzung des Wärmepumpentrockners von BSH um 0% bis 8% über dem des Wärmepumpentrockners des Wettbewerbs.

Trotz der starken Abhängigkeit des Treibhauspotenzials der Nutzung von Wärmepumpentrocknern von der Verlustrate des Kältemittels liegt das Treibhauspotenzial selbst im schlechtesten Fall (100% Verlust) unter dem von konventionellen Wäschetrocknern und des „Worst Case“ der Wäschetrocknung in beheizten Räumen. Allerdings reduziert sich der Abstand z.B. zum Kondensationstrockner der Klasse B beim WP-Trockner des Wettbewerbs von 35% auf 15%, beim WP-Trockner von BSH von 45% auf 10%.

4.2.4 Deutschland – Analyse einzelner Tage

Die folgenden Ergebnisse zeigen die Ergebnisse der Trocknung eines typischen Wäsche-postens in den vier betrachteten Wäschetrocknern bzw. auf der Leine in beheizten Räumen an drei typischen Tagen während der Heizperiode (typischer Wintertag, trockener und feuchter Übergangstag).

Es sind insbesondere Unterschiede beim Heizwärmebedarf für die Trocknung in beheizten Räumen zu erwarten. Allerdings unterscheiden sich auch die Ergebnisse für den Abluft-trockner je nach dem, an welchem Tag er betrieben wird, aufgrund der unterschiedlichen Lastschrift für den Abluftausgleich (die ersetzte Luft hat eine unterschiedliche Ausgangs-temperatur). Die resultierenden Unterschiede sind hier jedoch sehr gering. Vereinfacht werden daher nur die Ergebnisse für die Nutzung des Ablufttrockners an einem Wintertag dargestellt.

Für die Trocknung in beheizten Räumen werden für die einzelnen Tage jeweils der „Best Case“ (geregelter Lüftung) und der „Worst Case“ (Kippfenster) dargestellt.

Der sehr feuchte Übergangstag (ÜT3 Hamburg, vgl. Kapitel 3.2.2), der in Döring (2008) ebenfalls simuliert wurde, wurde aus Gründen der Vereinfachung nicht dargestellt. Da die Werte zum Heizwärmebedarf innerhalb denen des feuchten Übergangstags (ÜT2 Berlin) liegen (vgl. Tabelle 23) resultiert kein zusätzlicher Erkenntnisgewinn.

Umweltauswirkungen

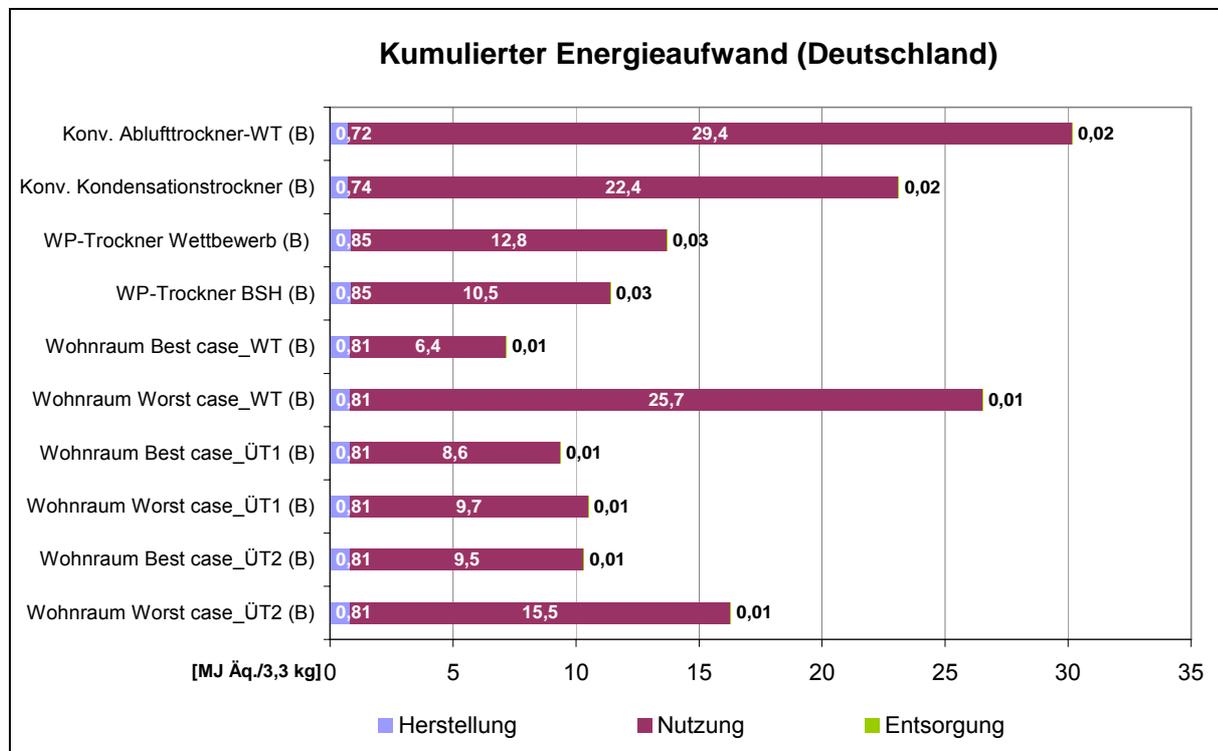


Abbildung 15 Kumulierter Energieaufwand (KEA) in MJ pro Wäscheposten, Deutschland

Tabelle 42 Kumulierter Energieaufwand (KEA) in MJ pro Wäscheposten, Deutschland

Betrachtete Alternativen	Herstellung	Nutzung	Entsorgung	Gesamt
Einheit	MJ/3,3 kg	MJ/3,3 kg	MJ/3,3 kg	MJ/3,3 kg
Konv. Ablufttrockner-WT	0,72	29,4	0,02	30,19
Konv. Kondensationstrockner	0,74	22,4	0,02	23,13
WP-Trockner Wettbewerb	0,85	12,8	0,03	13,72
WP-Trockner BSH	0,85	10,5	0,03	11,42
Wohnraum Best case_WT	0,81	6,4	0,01	7,17
Wohnraum Worst case_WT	0,81	25,7	0,01	26,54
Wohnraum Best case_ÜT1	0,81	8,6	0,01	9,38
Wohnraum Worst case_ÜT1	0,81	9,7	0,01	10,50
Wohnraum Best case_ÜT2	0,81	9,5	0,01	10,33
Wohnraum Worst case_ÜT2	0,81	15,5	0,01	16,30

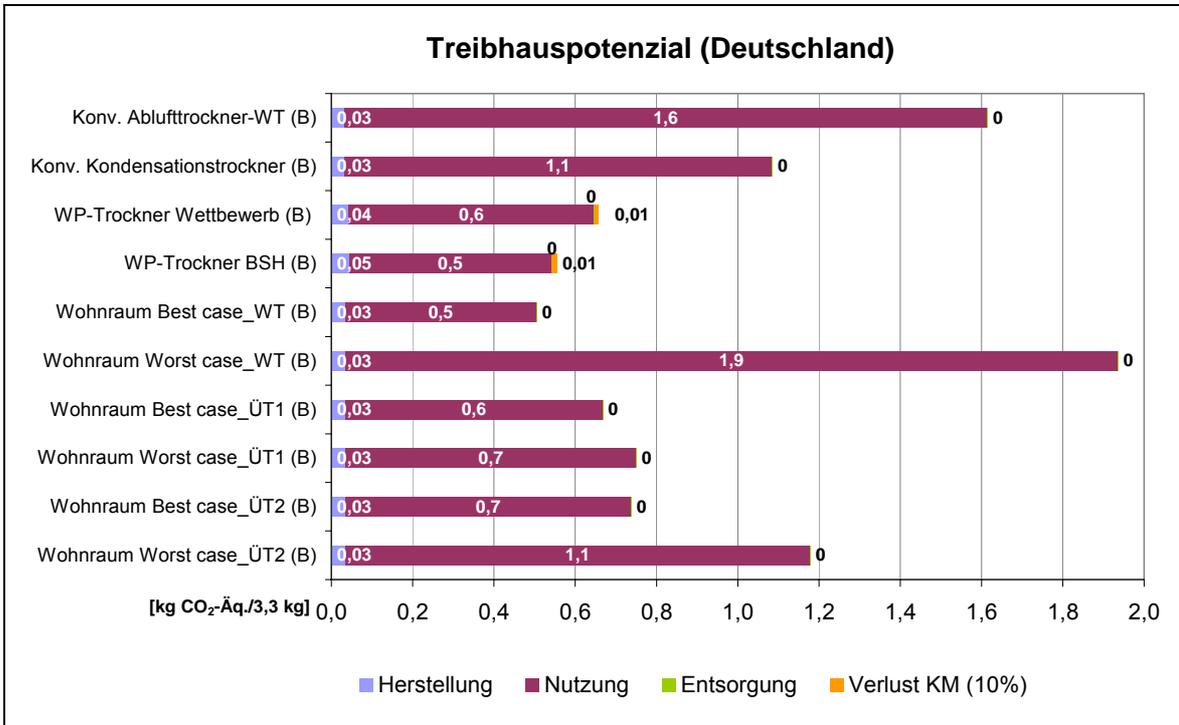


Abbildung 16 Treibhauspotenzial (GWP) in kg CO₂-Äq. pro Wäscheposten, Deutschland

Tabelle 43 Treibhauspotenzial (GWP) in kg CO₂-Äq. pro Wäscheposten, Deutschland

Betrachtete Alternativen	Herstellung	Nutzung	Entsorgung	Verlust KM	Gesamt
Einheit	kg CO ₂ -Äq./ 3,3 kg				
Konv. Ablufttrockner-WT	0,03	1,58	0,00	0,00	1,62
Konv. Kondensationstrockner	0,03	1,05	0,00	0,00	1,09
WP-Trockner Wettbewerb	0,04	0,60	0,00	0,01	0,66
WP-Trockner BSH	0,05	0,50	0,00	0,01	0,56
Wohnraum Best case_WT	0,03	0,47	0,00	0,00	0,51
Wohnraum Worst case_WT	0,03	1,90	0,00	0,00	1,94
Wohnraum Best case_ÜT1	0,03	0,63	0,00	0,00	0,67
Wohnraum Worst case_ÜT1	0,03	0,72	0,00	0,00	0,75
Wohnraum Best case_ÜT2	0,03	0,70	0,00	0,00	0,74
Wohnraum Worst case_ÜT2	0,03	1,14	0,00	0,00	1,18

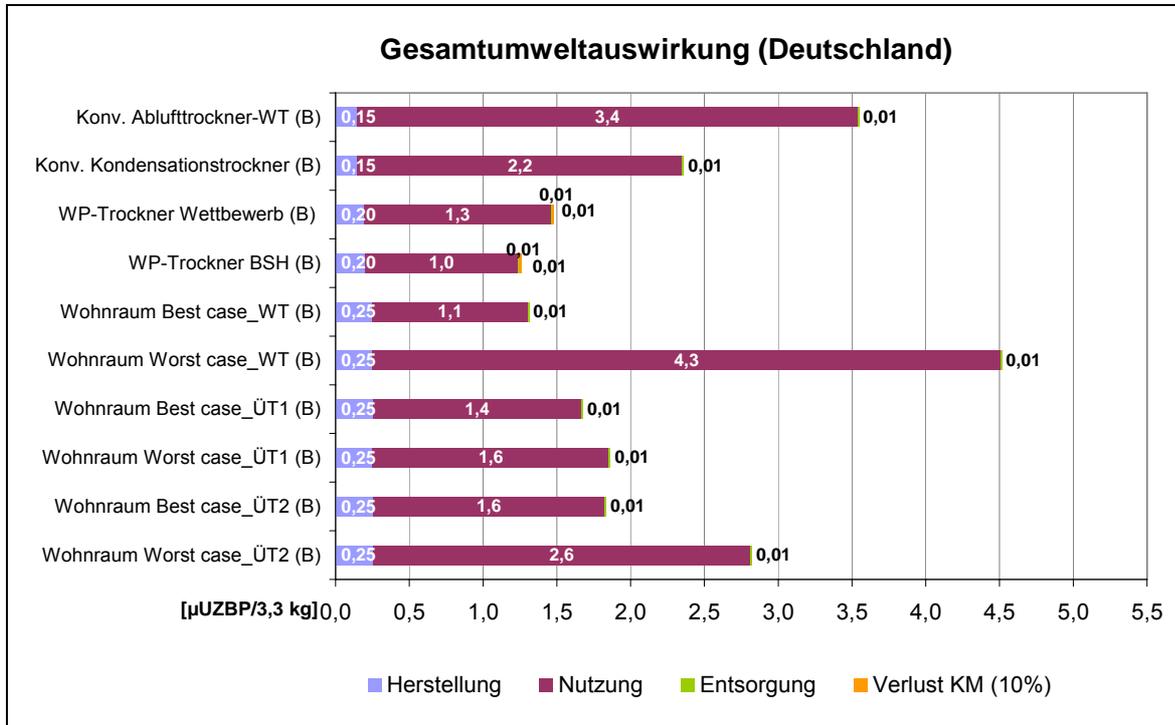


Abbildung 17 Gesamtumweltauswirkung in µUZBP pro Wäscheposten, Deutschland

Tabelle 44 Gesamtumweltauswirkung in µUZBP pro Wäscheposten, Deutschland

Betrachtete Alternativen	Herstellung	Nutzung	Entsorgung	Verlust KM	Gesamt
Einheit	µUZBP/ 3,3 kg				
Konv. Ablufttrockner-WT	0,15	3,39	0,01	0,00	3,55
Konv. Kondensationstrockner	0,15	2,20	0,01	0,00	2,36
WP-Trockner Wettbewerb	0,20	1,26	0,01	0,01	1,48
WP-Trockner BSH	0,20	1,04	0,01	0,01	1,26
Wohnraum Best case_WT	0,25	1,05	0,01	0,00	1,31
Wohnraum Worst case_WT	0,25	4,25	0,01	0,00	4,51
Wohnraum Best case_ÜT1	0,25	1,42	0,01	0,00	1,68
Wohnraum Worst case_ÜT1	0,25	1,60	0,01	0,00	1,86
Wohnraum Best case_ÜT2	0,25	1,57	0,01	0,00	1,83
Wohnraum Worst case_ÜT2	0,25	2,56	0,01	0,00	2,82

Das Verhältnis der Umweltauswirkungen der betrachteten Gerätetrockner unterscheidet sich nicht wesentlich von dem bei Betrachtung der Trocknung während der gesamten Heizperiode (Basisvariante), vgl. Kapitel 4.1.

Die Umweltauswirkungen des Trocknens auf der Leine in beheizten Räumen zeigen allerdings durchaus Unterschiede auf, je nach dem, ob es sich um einen Wintertag (WT), einen trockenen (ÜT1) oder einen feuchten Übergangstag (ÜT2) handelt.

So sind hier beispielsweise die Umweltauswirkungen bei geregelter Lüftung („Best Case“) am geringsten, was auf die geringere Luftfeuchtigkeit der Außenluft im Vergleich zu (wärmeren) Übergangstagen zurückzuführen ist. Dadurch muss weniger gelüftet werden, was trotz der höheren Temperaturdifferenz zwischen innen und außen zu einem geringeren Heizwärmebedarf führt. Allerdings liegen die Umweltauswirkungen bei gekipptem Fenster („Worst Case“) an einem Wintertag weit über denen der Übergangstage. Dies ist im Wesentlichen auf die niedrigeren Außentemperaturen im Winter im Vergleich zur Übergangszeit zurück zu führen.

Vor allem beim trockenen Übergangstag (ÜT1) liegen die Werte für „Best Case“ und „Worst Case“ sehr nahe beieinander und in einem relativ niedrigen Bereich. Je nach Indikator liegen diese Umweltauswirkungen leicht unterhalb (KEA) bzw. oberhalb (GWP, Gesamtumweltauswirkungen) denen der Wärmepumpentrockner.

Beim feuchten Übergangstag (ÜT2) liegt der „Best Case“ geringfügig höher als der „Best Case“ des trockenen Übergangstags. Der „Worst Case“ liegt allerdings deutlich über den Werten des „Best Case“ und „Worst Case“.

Kosten

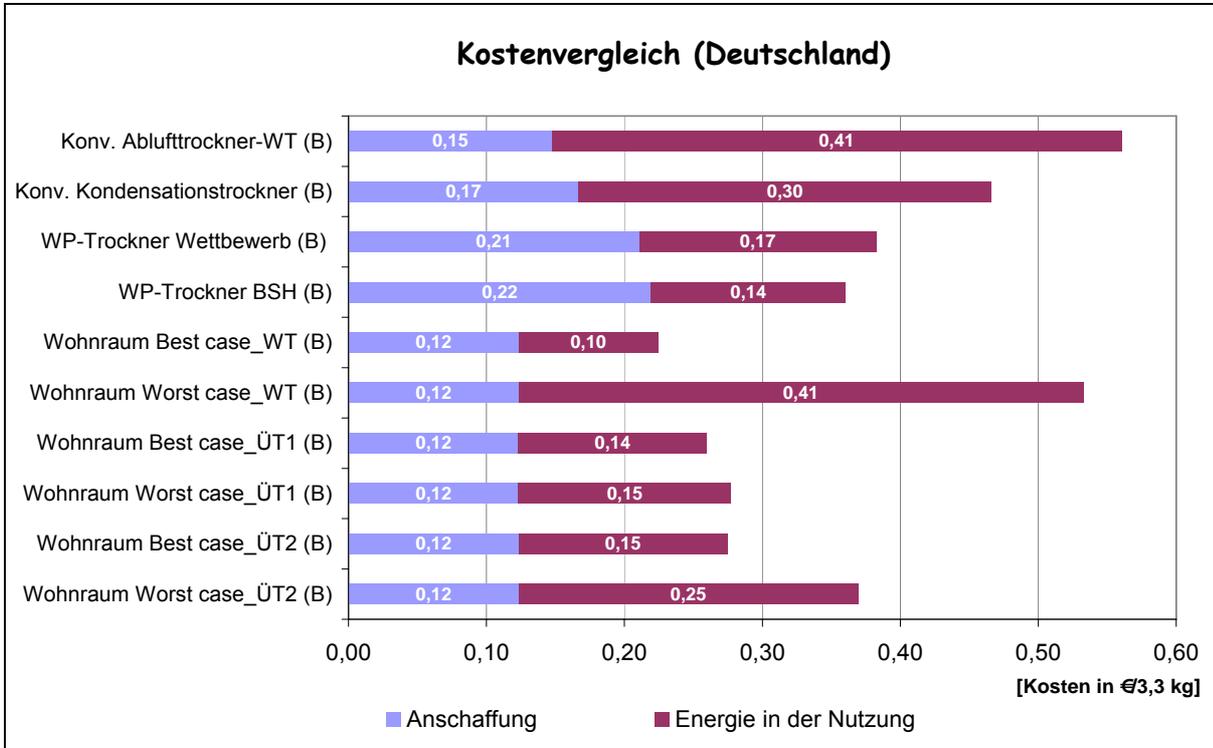


Abbildung 18 Kostenvergleich, Deutschland, pro Wäscheposten

Tabelle 45 Kostenvergleich, Deutschland, pro Wäscheposten

Betrachtete Alternativen	Anschaffung	Nutzung	Entsorgung	Jährliche Gesamtkosten
Einheit	€/ 3,3 kg	€/ 3,3 kg	€/ 3,3 kg	€/ 3,3 kg
Konv. Ablufttrockner-WT	0,15	0,41	0	0,56
Konv. Kondensationstrockner	0,17	0,30	0	0,47
WP-Trockner Wettbewerb	0,21	0,17	0	0,38
WP-Trockner BSH	0,22	0,14	0	0,36
Wohnraum Best case_WT	0,12	0,10	0	0,22
Wohnraum Worst case_WT	0,12	0,41	0	0,53
Wohnraum Best case_ÜT1	0,12	0,14	0	0,26
Wohnraum Worst case_ÜT1	0,12	0,15	0	0,28
Wohnraum Best case_ÜT2	0,12	0,15	0	0,27
Wohnraum Worst case_ÜT2	0,12	0,25	0	0,37

Bei den Kosten ergibt sich insgesamt ein ähnliches Bild wie bei Betrachtung der gesamten Heizperiode (Basisvariante), d.h. die Kosten für die Trocknung in beheizten Räumen liegen unter denen der Trocknung mit Gerätetrocknung. Lediglich die Kosten des „Worst Case“ bei der Trocknung in beheizten Räumen an einem Wintertag liegen im Bereich der Kosten für die Nutzung eines konventionellen Ablufttrockners. Die Kosten des „Worst Case“ an einem feuchten Übergangstag (ÜT2) liegen im Bereich der Kosten für die Nutzung eines Wärmepumpentrockners.

4.3 Skandinavien

Die nachfolgenden Ergebnisse beziehen sich auf den geographischen Bezugsraum Skandinavien und die Annahmen in der Basisvariante (Wohnraum mit 20 m², Verlustrate Kältemittel 10%).

4.3.1 Umweltauswirkungen

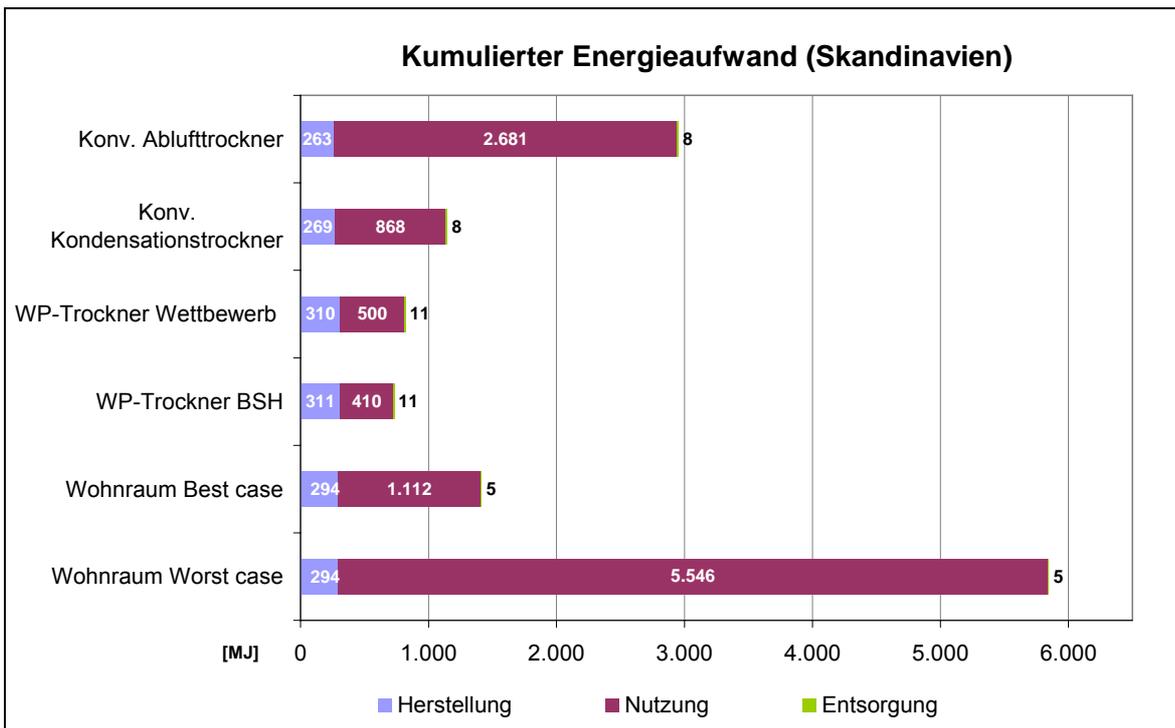


Abbildung 19 Kumulierter Energieaufwand (KEA) in MJ/a, Skandinavien

Tabelle 46 Kumulierter Energieaufwand (KEA) in MJ/a, Skandinavien

Betrachtete Alternativen	Herstellung	Nutzung	Entsorgung	Gesamt
Einheit	MJ/a	MJ/a	MJ/a	MJ/a
Konv. Ablufttrockner	263	2.681	8	2.952
Konv. Kondensationstrockner	269	868	8	1.146
WP-Trockner Wettbewerb	310	500	11	822
WP-Trockner BSH	311	410	11	732
Wohnraum Best case	294	1.112	5	1.412
Wohnraum Worst case	294	5.546	5	5.845

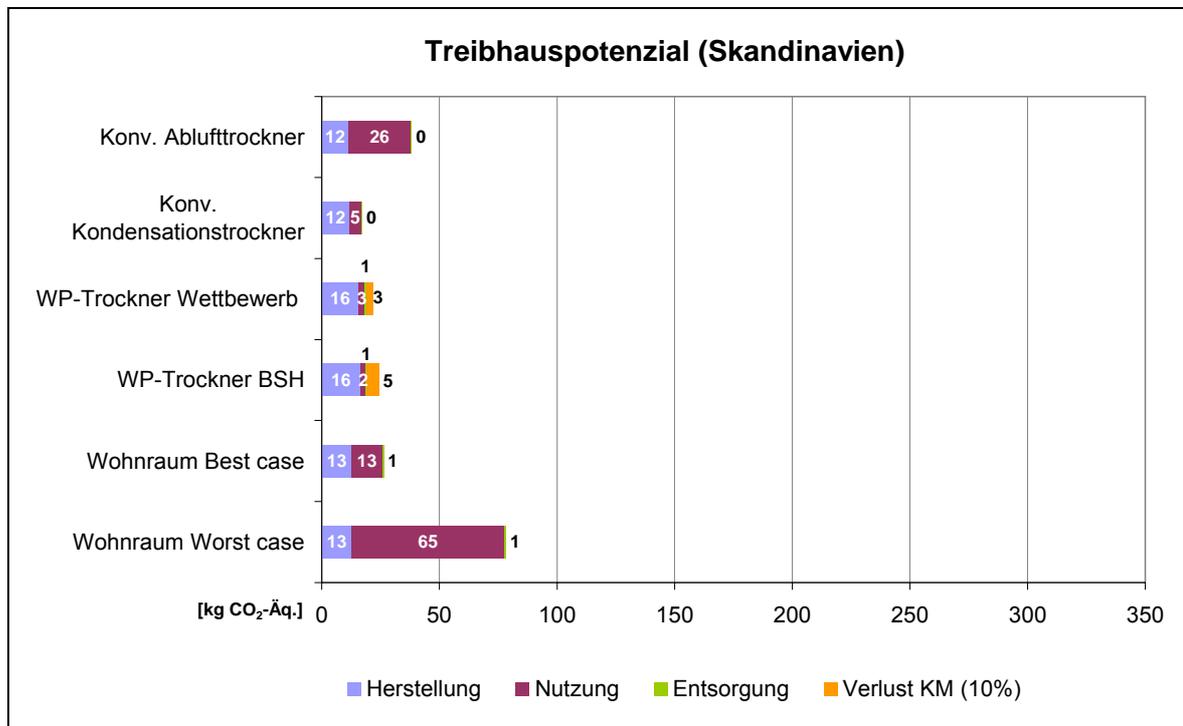


Abbildung 20 Treibhauspotenzial (GWP) in kg CO₂-Äq./a, Skandinavien

Tabelle 47 Treibhauspotenzial (GWP) in kg CO₂-Äq./a, Skandinavien

Betrachtete Alternativen	Herstellung	Nutzung	Entsorgung	Verlust KM	Gesamt
<i>Einheit</i>	kg CO ₂ -Äq./a				
Konv. Ablufttrockner	11,5	26,2	0,4	0	38,1
Konv. Kondensationstrockner	11,8	4,9	0,4	0	17,1
WP-Trockner Wettbewerb	15,7	2,8	0,5	3,0	22,0
WP-Trockner BSH	16,5	2,3	0,5	5,2	24,5
Wohnraum Best case	12,7	13,1	0,6	0	26,3
Wohnraum Worst case	12,7	65,1	0,6	0	78,3

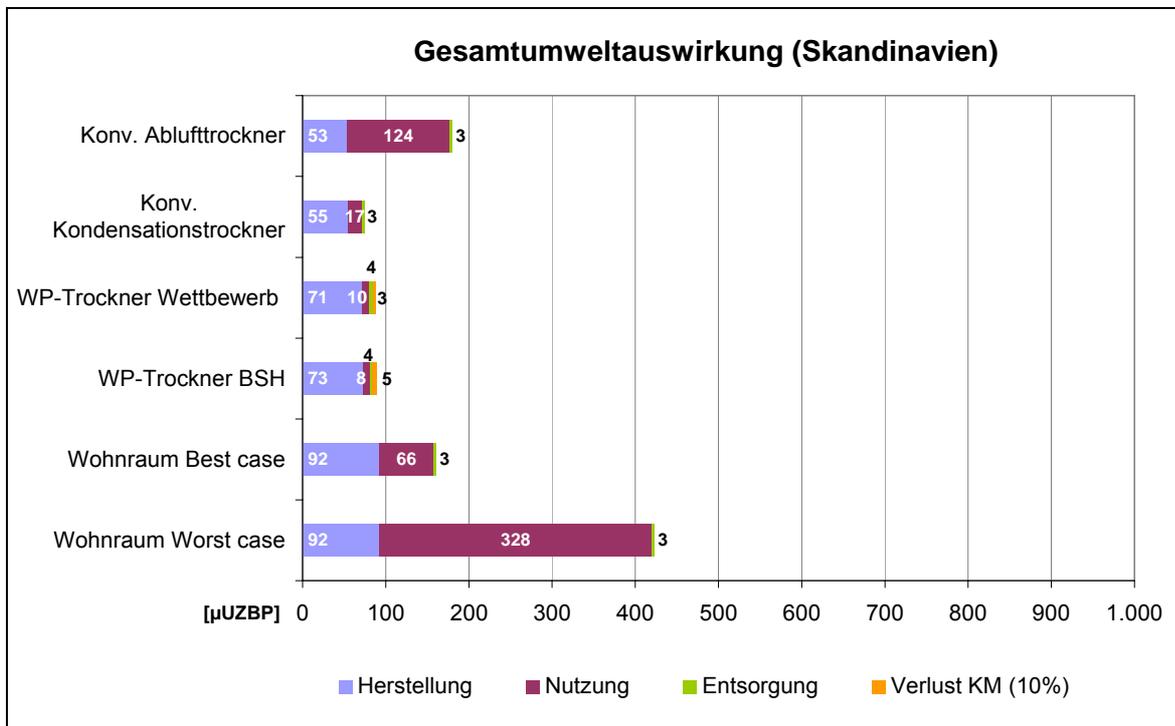


Abbildung 21 Gesamtumweltauswirkung in µUZBP/a, Skandinavien

Tabelle 48 Gesamtumweltauswirkung in µUZBP/a, Skandinavien

Betrachtete Alternativen	Herstellung	Nutzung	Entsorgung	Verlust KM	Gesamt
Einheit	µUZBP/a	µUZBP/a	µUZBP/a	µUZBP/a	µUZBP/a
Konv. Ablufttrockner	53	124	3	0	180
Konv. Kondensationstrockner	55	17	3	0	74
WP-Trockner Wettbewerb	71	10	4	3	87
WP-Trockner BSH	73	8	4	5	89
Wohnraum Best case	92	66	3	0	161
Wohnraum Worst case	92	328	3	0	423

Beim KEA ist die Reihenfolge der betrachteten Gerätetrockner gleich wie in Deutschland. Der Betrieb des Ablufttrockners schneidet im Vergleich zu den anderen Gerätetrockneralternativen jedoch deutlich schlechter ab, wodurch die relativen Einsparpotenziale durch die Nutzung eines konventionellen Kondensationstrockners bzw. der Wärmepumpentrockner deutlich größer ist (60% bis 75%).

Betrachtet man das Treibhauspotenzial und die Gesamtumweltauswirkungen so sind zum einen die absoluten Werte als auch die Unterschiede zwischen den betrachteten Geräten sehr gering. Dies ist im Wesentlichen auf die niedrigen spezifischen Umweltauswirkungen durch die Strombereitstellung in Norwegen zurückzuführen (vgl. Kapitel 3.3), wodurch der Energieverbrauch während der Nutzungsphase nur einen geringen Anteil an den gesamten Umweltauswirkungen ausmacht. Da die Herstellung und der Verlust des Kältemittels dadurch relativ relevanter werden, schneidet bei diesen Indikatoren sogar der konventionelle Kondensationstrockner besser ab als die beiden Wärmepumpenalternativen.

Bei der Trocknung in beheizten Räumen ist die Spanne zwischen „Best Case“ und „Worst Case“ erneut sehr groß. Schneidet bei Betrachtung des KEAs nur der „Worst Case“ noch (deutlich) schlechter ab als alle Gerätetrockneralternativen, so liegen bei GWP und Gesamtumweltauswirkungen die Werte sowohl des „Best Case“ als auch des „Worst Case“ bestenfalls im Bereich des konventionellen Ablufttrockners. Die Gerätetrockner schneiden also deutlich besser ab, als die Trocknung in beheizten Räumen.

4.3.2 Kosten

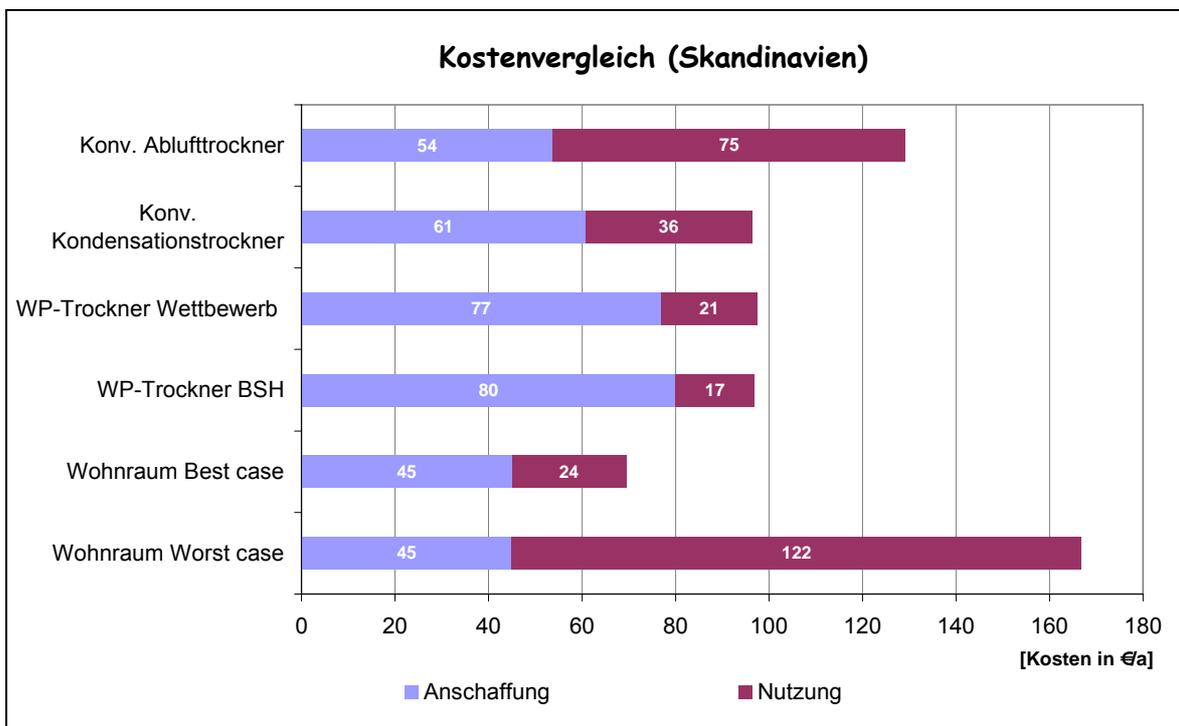


Abbildung 22 Kostenvergleich, Skandinavien

Tabelle 49 Kostenvergleich, Skandinavien

Betrachtete Alternativen	Anschaffung	Nutzung	Entsorgung	Jährliche Gesamtkosten
<i>Einheit</i>	€/a	€/a	€/a	€/a
Konv. Ablufttrockner	54	75	0	129
Konv. Kondensationstrockner	61	36	0	96
WP-Trockner Wettbewerb	77	21	0	97
WP-Trockner BSH	80	17	0	97
Wohnraum Best case	45	24	0	69
Wohnraum Worst case	45	122	0	167

Auch bei den Kosten schneidet der konventionelle Ablufttrockner trotz geringerer Anschaffungskosten deutlich schlechter ab als die anderen Gerätetrockneralternativen, die etwa gleichauf liegen.

Die Kosten der Trocknung in beheizten Räumen liegen im „Best Case“ um knapp 30% unter denen der günstigeren Gerätetrockneralternativen, im „Worst Case“ allerdings um über 70% darüber.

Bezüglich der Kosten der Trockenräume gelten die gleichen Einschränkungen wie bei der Kostenrechnung für Deutschland (vgl. Kapitel 4.1.2). Deutlich sind jedoch v.a. die hohen zusätzlichen jährlichen Heizkosten von 24,- € bis 122,- € im Falle der Wäschetrocknung auf der Leine in beheizten Räumen. Im Vergleich hierzu liegen die Energiekosten bei Nutzung von Gerätetrocknern lediglich zwischen 16,- € und 76,- €.

4.4 Spanien

Die nachfolgenden Ergebnisse beziehen sich auf den geographischen Bezugsraum Spanien und die Annahmen in der Basisvariante (Wohnraum mit 20 m², Verlustrate Kältemittel 10%).

4.4.1 Umweltauswirkungen

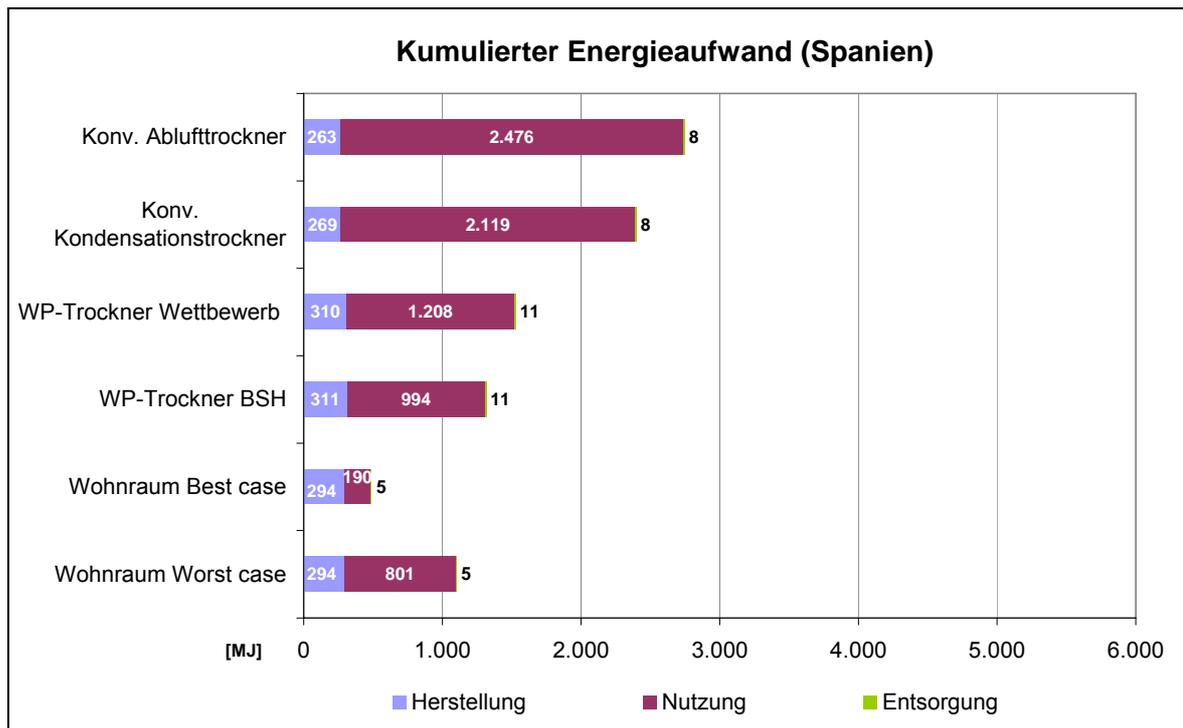


Abbildung 23 Kumulierter Energieaufwand (KEA) in MJ/a, Spanien

Tabelle 50 Kumulierter Energieaufwand (KEA) in MJ/a, Spanien

Betrachtete Alternativen	Herstellung	Nutzung	Entsorgung	Gesamt
Einheit	MJ/a	MJ/a	MJ/a	MJ/a
Konv. Ablufttrockner	263	2.476	8	2.747
Konv. Kondensationstrockner	269	2.119	8	2.397
WP-Trockner Wettbewerb	310	1.208	11	1.529
WP-Trockner BSH	311	994	11	1.316
Wohnraum Best case	294	190	5	489
Wohnraum Worst case	294	801	5	1.100

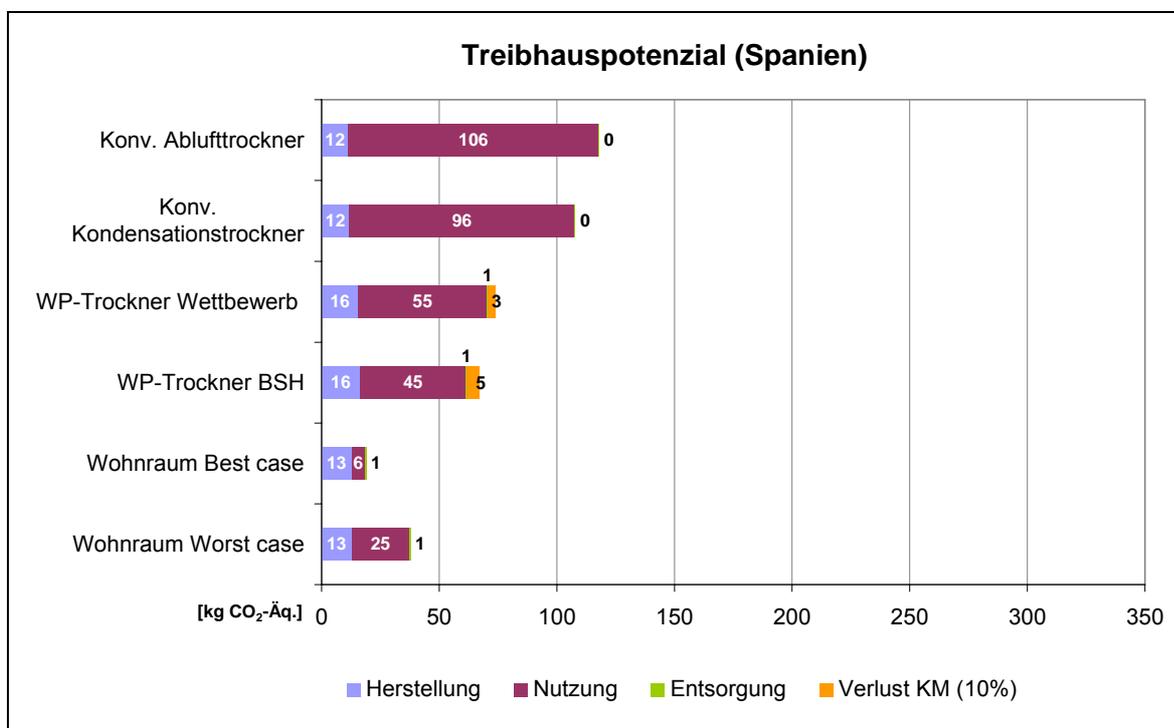


Abbildung 24 Treibhauspotenzial (GWP) in kg CO₂-Äq./a, Spanien

Tabelle 51 Treibhauspotenzial (GWP) in kg CO₂-Äq./a, Spanien

Betrachtete Alternativen	Herstellung	Nutzung	Entsorgung	Verlust KM	Gesamt
Einheit	kg CO ₂ -Äq./a				
Konv. Ablufttrockner	11,5	106,1	0,4	0	118,0
Konv. Kondensationstrockner	11,8	95,7	0,4	0	108,0
WP-Trockner Wettbewerb	15,7	54,6	0,5	3,0	73,8
WP-Trockner BSH	16,5	44,9	0,5	5,2	67,1
Wohnraum Best case	12,7	5,9	0,6	0	19,1
Wohnraum Worst case	12,7	24,8	0,6	0	38,0

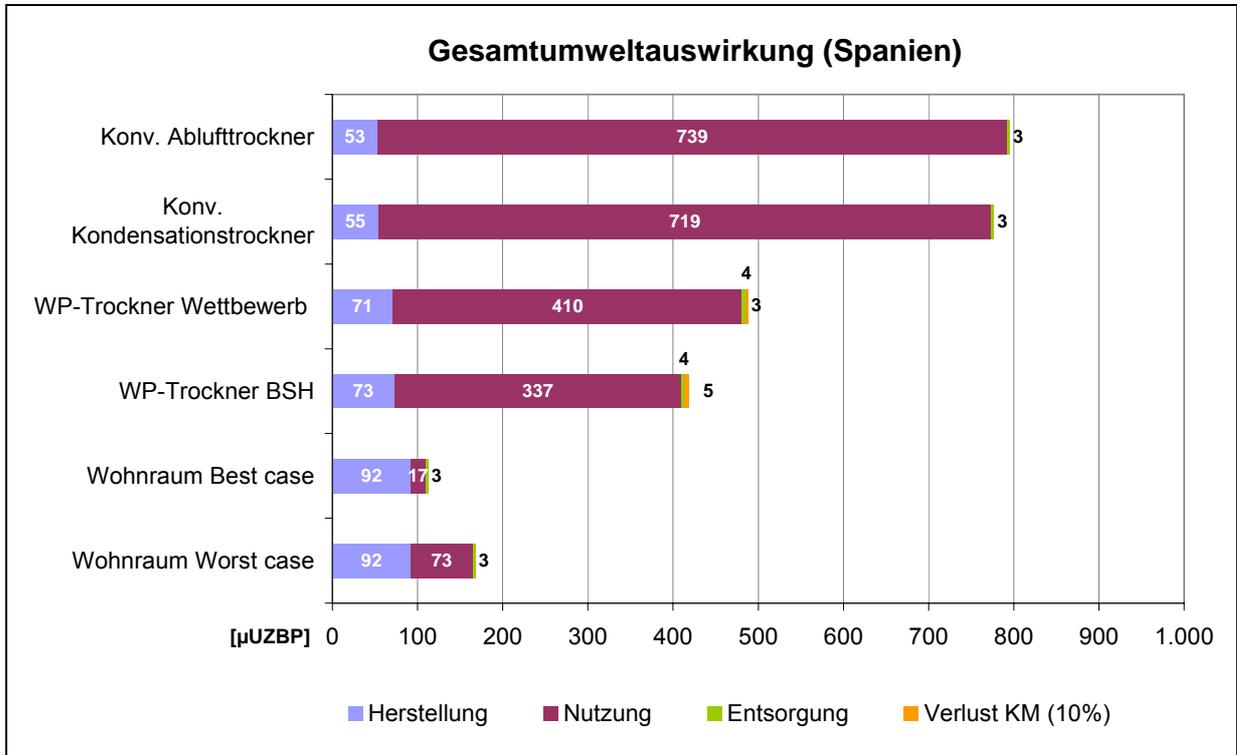


Abbildung 25 Gesamtumweltauswirkung in µUZBP/a, Spanien

Tabelle 52 Gesamtumweltauswirkung in µUZBP/a, Spanien

Betrachtete Alternativen	Herstellung	Nutzung	Entsorgung	Verlust KM	Gesamt
Einheit	µUZBP/a	µUZBP/a	µUZBP/a	µUZBP/a	µUZBP/a
Konv. Ablufttrockner	53	739	3	0	795
Konv. Kondensationstrockner	55	719	3	0	776
WP-Trockner Wettbewerb	71	410	4	3	488
WP-Trockner BSH	73	337	4	5	419
Wohnraum Best case	92	17	3	0	112
Wohnraum Worst case	92	73	3	0	168

Bei den Umweltauswirkungen ist die Reihenfolge der betrachteten Gerätetrockner gleich wie in Deutschland. Der konventionelle Ablufttrockner schneidet am schlechtesten ab, lediglich bei den Gesamtumweltauswirkungen schneiden der konventionelle Abluft- und der konventionelle Kondensationstrockner nahezu gleich (schlecht) ab. Die Umweltauswirkungen des Wärmepumpentrockners von BSH liegen um 9% bis 14% unter denen des Wärmepumpentrockners des Wettbewerbs (bei einer Verlustrate des Kältemittels von 10%).

Die Umweltauswirkungen durch die Trocknung auf der Leine in beheizten Räumen liegen teilweise deutlich unter denen der Gerätetrocknernutzung. Selbst im „Worst Case“ schneidet die Trocknung in beheizten Räumen besser ab als die Trocknung in Wärmepumpentrocknern, die noch die vorteilhafteste Gerätetrockneralternative sind.

Die geringen Umweltauswirkungen der Trocknung in beheizten Räumen ist zum einen auf die kürzere Heizperiode zurückzuführen, zum anderen auf die relativ geringen Umweltauswirkungen der Heizwärmebereitstellung im Vergleich zur Strombereitstellung (vgl. Kapitel 3.3).

4.4.2 Kosten

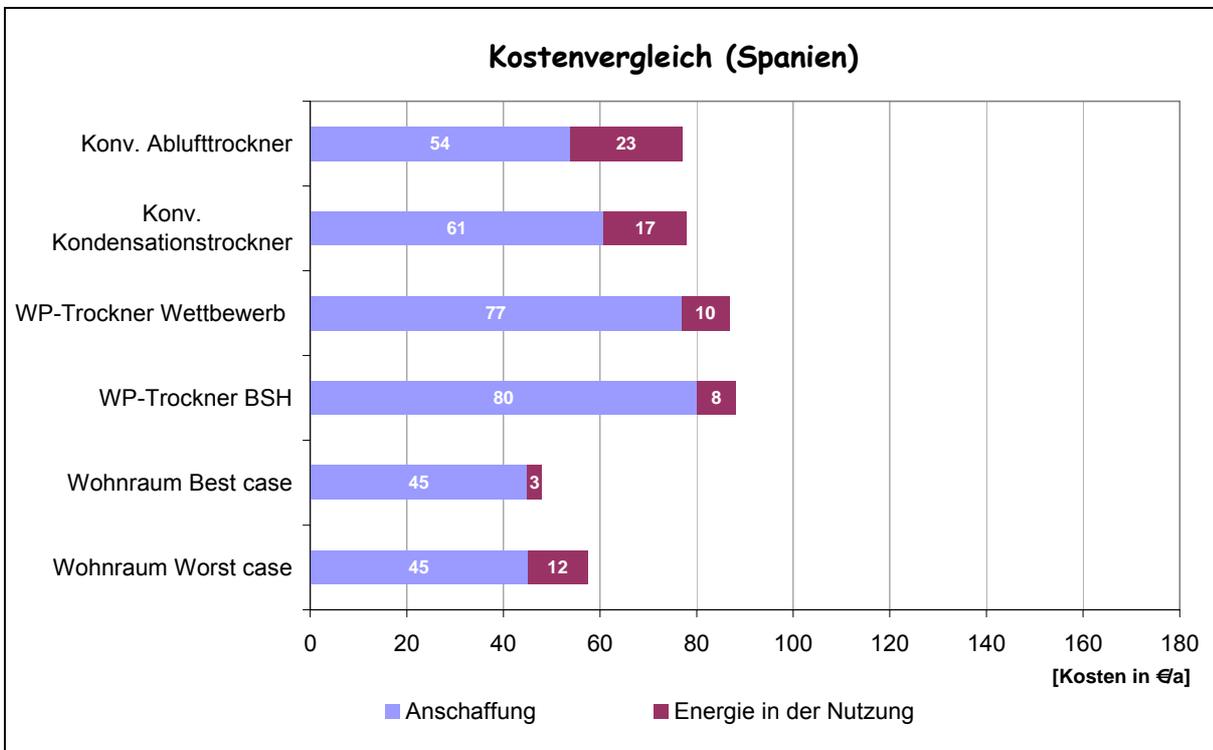


Abbildung 26 Kostenvergleich, Spanien

Tabelle 53 Kostenvergleich, Spanien

Betrachtete Alternativen	Anschaffung	Nutzung	Entsorgung	Jährliche Gesamtkosten
<i>Einheit</i>	<i>€/a</i>	<i>€/a</i>	<i>€/a</i>	<i>€/a</i>
Konv. Ablufttrockner	54	23	0	77
Konv. Kondensationstrockner	61	17	0	78
WP-Trockner Wettbewerb	77	10	0	87
WP-Trockner BSH	80	8	0	88
Wohnraum Best case	45	3	0	48
Wohnraum Worst case	45	12	0	57

Die Kosten für den Energieverbrauch liegen bei allen Alternativen relativ niedrig, was durch niedrige Stromkosten und die kurze Heizperiode verursacht wird. Dadurch haben die Anschaffungskosten einen deutlich größeren Anteil an den Gesamtkosten als die Energiekosten für die Nutzung.

Bei den Gerätetrocknern schneiden dadurch die Wärmepumpentrockner insgesamt etwas schlechter ab als die konventionellen Trockner.

Durch die sehr geringen Kosten für die Raumwärmebereitstellung liegen die Kosten für die Trocknung in beheizten Räumen deutlich unter denen der Nutzung von Gerätetrocknern.

4.5 Großbritannien

Die nachfolgenden Ergebnisse beziehen sich auf den geographischen Bezugsraum Großbritannien und die Annahmen in der Basisvariante (Wohnraum mit 20 m², Verlustrate Kältemittel 10%).

4.5.1 Umweltauswirkungen

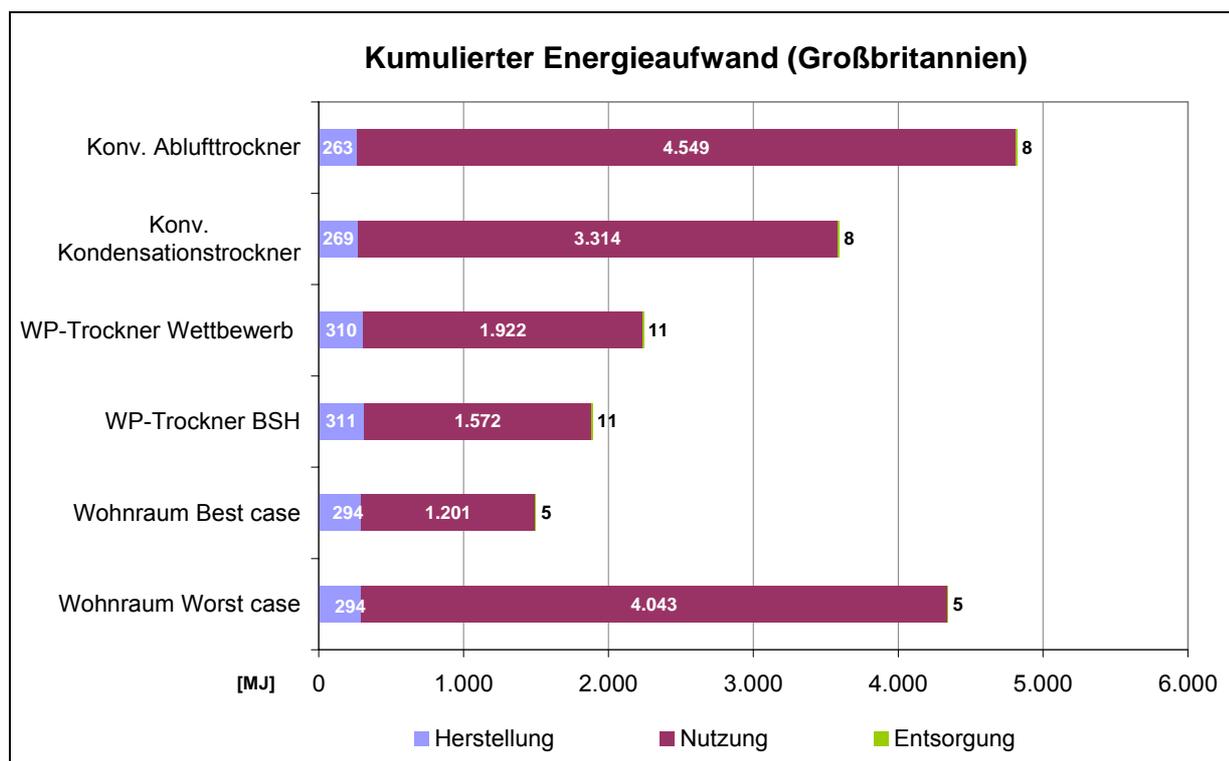


Abbildung 27 Kumulierter Energieaufwand (KEA) in MJ/a, Großbritannien

Tabelle 54 Kumulierter Energieaufwand (KEA) in MJ/a, Großbritannien

Betrachtete Alternativen	Herstellung	Nutzung	Entsorgung	Gesamt
Einheit	MJ/a	MJ/a	MJ/a	MJ/a
Konv. Ablufttrockner	263	4.549	8	4.820
Konv. Kondensationstrockner	269	3.314	8	3.592
WP-Trockner Wettbewerb	310	1.922	11	2.243
WP-Trockner BSH	311	1.572	11	1.894
Wohnraum Best case	294	1.201	5	1.501
Wohnraum Worst case	294	4.043	5	4.342

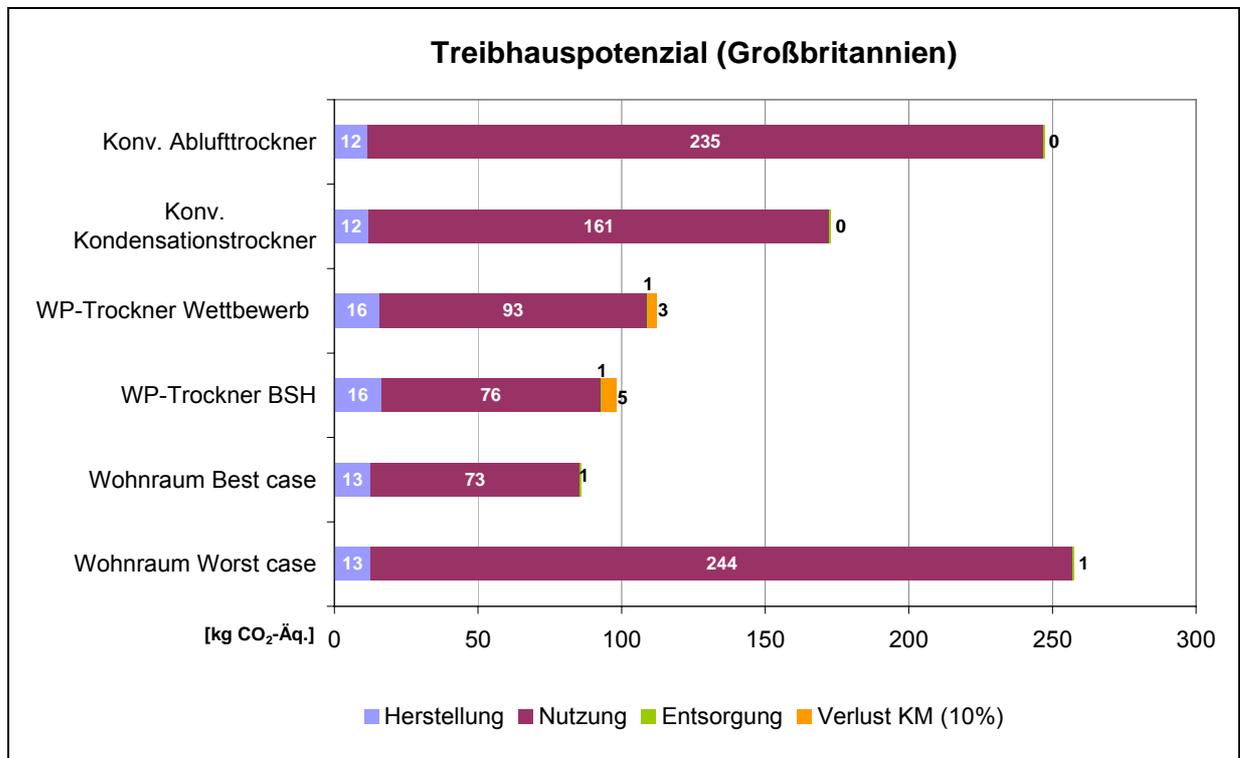


Abbildung 28 Treibhauspotenzial (GWP) in kg CO₂-Äq./a, Großbritannien

Tabelle 55 Treibhauspotenzial (GWP) in kg CO₂-Äq./a, Großbritannien

Betrachtete Alternativen	Herstellung	Nutzung	Entsorgung	Verlust KM	Gesamt
Einheit	kg CO ₂ -Äq./a				
Konv. Ablufttrockner	11,5	235	0,4	0	247,2
Konv. Kondensationstrockner	11,8	161	0,4	0	172,9
WP-Trockner Wettbewerb	15,7	93	0,5	3,0	112,3
WP-Trockner BSH	16,5	76	0,5	5,2	98,4
Wohnraum Best case	12,7	73	0,6	0	85,9
Wohnraum Worst case	12,7	244	0,6	0	257,7

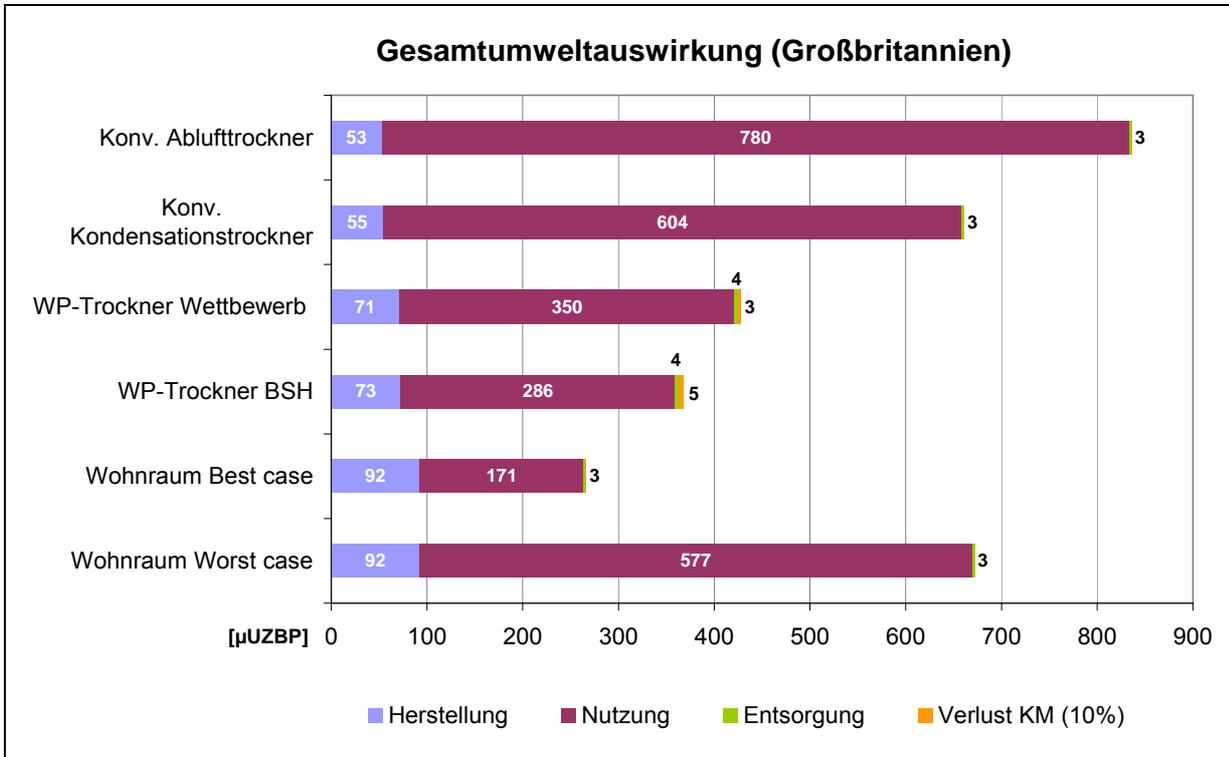


Abbildung 29 Gesamtumweltauswirkung in µUZBP/a, Großbritannien

Tabelle 56 Gesamtumweltauswirkung in µUZBP/a, Großbritannien

Betrachtete Alternativen	Herstellung	Nutzung	Entsorgung	Verlust KM	Gesamt
Einheit	µUZBP/a	µUZBP/a	µUZBP/a	µUZBP/a	µUZBP/a
Konv. Ablufttrockner	53	780	3	0	836
Konv. Kondensationstrockner	55	604	3	0	661
WP-Trockner Wettbewerb	71	350	4	3	428
WP-Trockner BSH	73	286	4	5	368
Wohnraum Best case	92	171	3	0	267
Wohnraum Worst case	92	577	3	0	672

Bezüglich der Umweltauswirkungen ist die Reihenfolge der betrachteten Gerätetrockneralternativen gleich wie in Deutschland, Spanien und teilweise Skandinavien: der konventionelle Ablufttrockner schneidet am schlechtesten ab. Die Einsparpotenziale gegenüber dieser Alternative liegen je nach Indikator und betrachteter Alternative zwischen 20% (Gesamtumweltauswirkungen, konventioneller Kondensationstrockner) und 60% (KEA und GWP,

Wärmepumpenwäschetrockner BSH). Der WP-Trockner von BSH schneidet um 12% bis 16% besser ab als der des Wettbewerbs (bei einer Verlustrate des Kältemittels von 10%).

Die Umweltauswirkungen beim Trocknen in beheizten Räumen umfassen erneut eine große Spanne, wobei der „Best Case“ etwas besser abschneidet als die beste Gerätetrockneralternative (13 bis 28%). Die Umweltauswirkungen des „Worst Case“ liegen je nach Indikator im Bereich bzw. leicht über denen der konventionellen Wäschetrockner.

4.5.2 Kosten

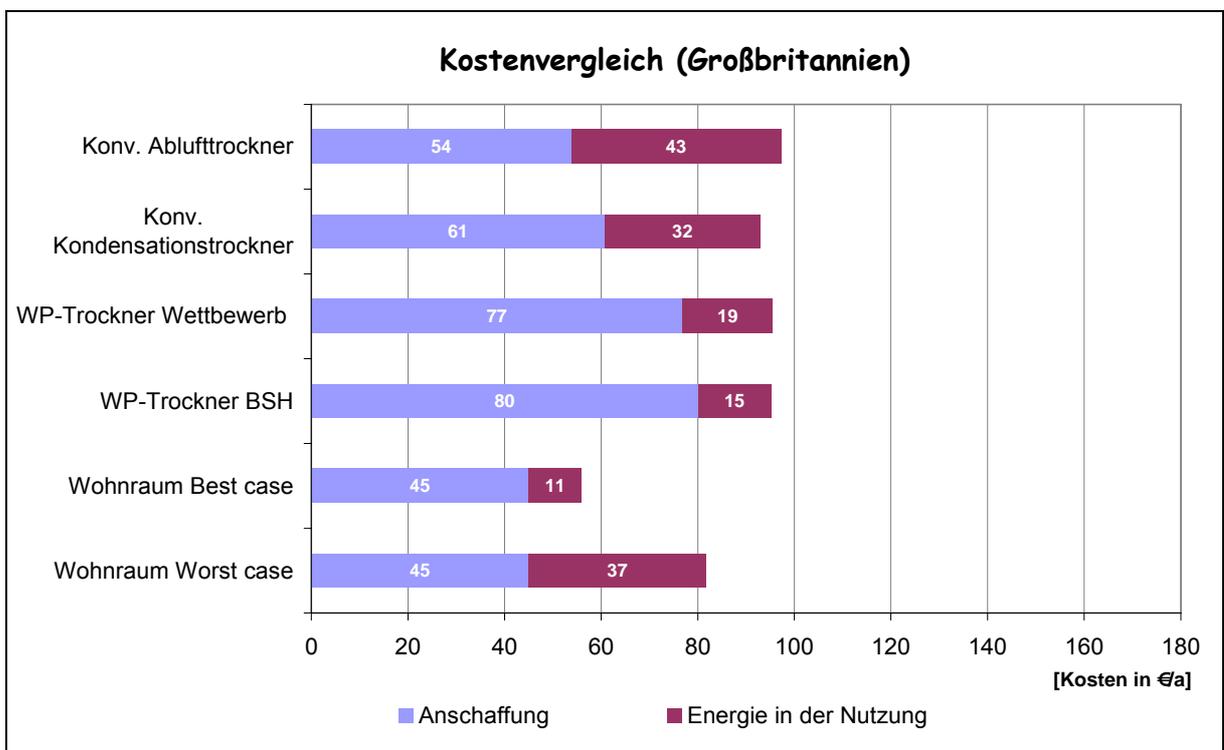


Abbildung 30 Kostenvergleich, Großbritannien

Tabelle 57 Kostenvergleich, Großbritannien

Betrachtete Alternativen	Anschaffung	Nutzung	Entsorgung	Jährliche Gesamtkosten
Einheit	€/a	€/a	€/a	€/a
Konv. Abluftrockner	54	43	0	97
Konv. Kondensationstrockner	61	32	0	93
WP-Trockner Wettbewerb	77	19	0	96
WP-Trockner BSH	80	15	0	95
Wohnraum Best case	45	11	0	56
Wohnraum Worst case	45	37	0	82

Die Gesamtkosten der betrachteten Gerätetrockner sind trotz der sehr unterschiedlichen Anschaffungskosten nahezu gleich und liegen bei knapp 100,-€ pro Jahr.

Im Vergleich hierzu sind die Kosten für die Trocknung auf der Leine in beheizten Räumen sind 15% bis 45% geringer, was auch auf die geringeren Kosten für die Herstellung zurückzuführen ist. Die reinen Energiekosten liegen bei den Geräten zwischen 15,- und knapp 45,- €, bei den Räumen zwischen rund 10,- und knapp 40,- €.

5 Schlussfolgerungen

Das Öko-Institut hat bereits in 2004 Ergebnisse von Berechnungen zu den Umweltauswirkungen und den Kosten des Wäschetrocknens in Gerätetrocknern und Trockenräumen veröffentlicht (vgl. Gensch und Rüdener 2004). Die damals durchgeführten Berechnungen und getroffenen Annahmen sollten insbesondere vor dem Hintergrund der Neuentwicklung eines Wärmepumpentrockners durch BSH in der vorliegenden Studie validiert und aktualisiert werden.

Insgesamt werden die Kernaussagen der damaligen Untersuchung für Deutschland bestätigt:

- Wärmepumpentrockner sind konventionellen Wäschetrocknern¹¹ ökologisch überlegen;
- Wäschetrocknen auf der Leine in beheizten Räumen ist entgegen der weit verbreiteten Annahme nicht „gratis“, sondern benötigt wie das Trocknen in Wäschetrocknern Energie (in jedem Fall die Verdampfungsenthalpie des in der feuchten Wäsche enthaltenen Wassers und eventuell Heizwärme bei einem durch die Wäschetrocknung zusätzlich notwendigen oder stattfindenden Luftaustausch) und verursacht hierdurch entsprechende Umweltauswirkungen;
- Unter ökologischen Gesichtspunkten schneidet die Nutzung von Wärmepumpentrocknern während der Heizperiode gegenüber der Trocknung auf der Leine in beheizten Räumen nicht wesentlich schlechter, je nach dem, welches Lüftungsverhalten unterstellt wird, sogar erheblich besser ab.
- Kostenmäßig amortisieren sich die im Vergleich zu konventionellen Wäschetrocknern höheren Anschaffungskosten der effizienten Wärmepumpentrockner im Laufe der Nutzungsdauer durch die geringeren Energiekosten, wodurch sogar etwas geringere Gesamtkosten¹² resultieren.

Allerdings konnte der „Worst Case“ der Leinentrocknung, der in Gensch und Rüdener (2004) aus Nipkow (o.J.)¹³ entnommen wurde, durch die im vorliegenden Vorhaben durchgeführten Simulationsrechnungen nicht bestätigt werden: Nipkow (o.J.) nennt einen Energieverbrauch von 4 kWh / kg Trockenwäsche als schlechtesten Fall („Trockenraum passiv“ mit Heizkörper). In der vorliegenden Simulation wurde für Deutschland als „Worst Case“ ein

¹¹ „Konventionelle Wäschetrockner“ bezeichnen derzeit auf dem Markt befindliche elektrische betriebene Ablufttrockner und Kondensationstrockner ohne Wärmepumpe.

¹² Es wurden die Kosten für Anschaffung (Kaufpreis), Installation des Abluftschlauchs bei Ablufttrocknern, Nutzung (Strom- und Raumwärmebedarf bzw. -gutschrift) und Entsorgung für private Haushalte einbezogen, wobei in allen betrachteten Ländern die Entsorgung für private Haushalte kostenfrei ist.

¹³ Mittlerweile existiert eine aktualisierte Auflage der Publikation aus 1999, die jedoch den gleichen Wert nennt.

Wert von ca. 1,6 kWh / kg Trockenwäsche erhalten („Worst Case“ der Basisvariante für Klima Hamburg).¹⁴

Insgesamt hängt der Energieverbrauch bei Trocknung auf der Leine in beheizten Räumen stark vom Lüftungsverhalten der Nutzer ab bzw. davon, ob es eine automatisch geregelte Lüftung mit Luftfeuchtigkeitssensor gibt. Hieraus resultieren große Spannbreiten beim potenziellen Heizwärmebedarf und den damit verbundenen Umweltauswirkungen und Kosten. Die besten Werte werden wahrscheinlich nur selten erreicht, etwa wenn ein Gebäude über eine solche automatisch geregelte Lüftung mit Luftfeuchtigkeitssensor verfügt oder wenn die Fenster während des Wäschetrocknens geschlossen sind und lediglich in bestimmten Zeitabständen eine Stoßlüftung durchgeführt wird. Insgesamt liegt die Realität im Durchschnitt sicher näher am „Worst Case“ (gekipptes Fenster während der Trocknungsdauer, Klima Hamburg) als am „Best Case“ (automatisch geregelte Lüftung, Klima Berlin). Das bedeutet aber, dass das Wäschetrocknen auf der Leine in beheizten Räumen in der Regel ähnlich abschneidet wie das Wäschetrocknen in Wäschetrocknern, bei der Nutzung von Wärmepumpentrocknern in der Regel deutlich schlechter.

Die Neuentwicklung des Wärmepumpentrockners von BSH kann insgesamt als vorteilhaft bewertet werden, da der bereits niedrige Stromverbrauch der Wärmepumpentrockner des Wettbewerbs noch unterschritten wird. Die Vorteile beim Treibhauspotenzial (und damit auch bei den Gesamtweltauswirkungen) sind allerdings von der Rücknahme- bzw. Entsorgungsquote des Kältemittels abhängig: Bei Verlusten von mehr als 60% des Kältemittels schneidet der Wärmepumpentrockner des Wettbewerbs besser ab als der von BSH. Der ökologische Vorteil gegenüber konventionellen Kondensationstrocknern der Energieeffizienzklasse B reduziert sich mit steigender Verlustrate ebenfalls deutlich.

Entsprechende effektive Rücknahme- und Entsorgungssysteme, die über die gesetzlichen Verpflichtungen hinaus gehen, müssen daher unbedingt aufgebaut werden. Idealerweise sollte dies gemeinsam mit dem Wettbewerb erfolgen, da dieser im Prinzip vor der gleichen Herausforderung steht, wenngleich das dort eingesetzte Kältemittel ein etwas geringeres Treibhauspotenzial aufweist. Wesentlich ist hierbei z.B. eine deutliche Kennzeichnung der Art und Menge des in den Geräten enthaltenen Kältemittels (vergleichbar mit dem Vorgehen bei Kühl- und Gefriergeräten). Dies ist insbesondere vor dem Hintergrund relevant, dass Wäschetrockner bisher nicht als Geräte wahrgenommen werden, die problematische Stoffe

¹⁴ In dieser Studie wurde der Heizwärmebedarf für das Trocknen auf der Leine in beheizten Räumen mit Hilfe von Simulationsrechnungen bestimmt, die in Teilen experimentell validiert wurden (Messungen zur Bestimmung der Verdunstungsleistung und des Trocknungsverlaufs, vgl. Döring 2008). Letztendliche Sicherheit bezüglich der Ergebnisse würden allerdings nur reale Messungen des Heizwärmebedarfs mit und ohne Wäschetrocknung unter verschiedenen Rahmenbedingungen ergeben.

enthalten.¹⁵ Um Verluste des Kältemittels in der Entsorgungsphase zu minimieren, sollte aus unserer Sicht die derzeitige Gerätekonstruktion auch auf eine leichte Demontage derjenigen Gerätekomponenten, die das Kältemittel enthalten, untersucht, und falls erforderlich angepasst werden.

Wie zu erwarten war, unterscheiden sich die Ergebnisse für die betrachteten Länder/Regionen, wobei die Unterschiede im Wesentlichen aus den klimatischen Verhältnissen und der Art der Energiebereitstellung und nur zu einem geringeren Anteil aus dem Wäscheanfall und dem Waschverhalten (v.a. Beladung des Wäschetrockners) resultieren.

- In Deutschland, Skandinavien und Großbritannien ist die Nutzung von Wärmepumpentrocknern während der Heizperiode in der Regel der Wäschetrocknung in beheizten Räumen vorzuziehen. Insbesondere in Großbritannien, das bereits seit längerem eine vergleichsweise hohe Ausstattungsrate mit v.a. konventionellen Ablufttrocknern hat, aber ggf. auch in Deutschland und Skandinavien, würde sich der vorzeitige Ersatz noch funktionierender Altgeräte voraussichtlich ökologisch lohnen.
- In Spanien besteht kein Vorteil der Gerätetrockner allgemein bzw. der Wärmepumpentrockner speziell gegenüber der Leinentrocknung. Hier kann die Nutzung von Gerätetrocknern auch während der Heizperiode nicht empfohlen werden.

¹⁵ Im Gegensatz zu Kühl- und Gefriergeräten, die unter der WEEE-Richtlinie eine eigene Kategorie bilden, da in Altgeräten FCKW, FKW oder VOC enthalten sind.

6 Literatur

- BSH 2008
Daten von Bosch/Siemens/Hausgeräte zu Energieverbrauch, Kondensationsrate und Abluftmenge von Wäschetrocknern. Erhalten im Zeitraum zwischen Februar und April 2008.
- Buchert et al. 2007
Buchert, M.; Hermann, A.; Jenseit, W.; Stahl, H.; Verbesserung der Edelmetallkreisläufe: Analyse der Exportströme von Gebrauchtpkw und –Elektro(nik)geräten am Hamberger Hafen. Öko-Institut, Darmstadt 2007.
- Bund 2007
Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Sylvia Kotting-Uhl, Ute Koczy, Marieluise Beck (Bremen), weiterer Abgeordneter und der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN – Drucksache 16/5570 – Verwertung und Entsorgung von Elektro-, Elektronikaltgeräten. 2. Juli 2007. download unter http://www.bmu.de/abfallwirtschaft/parl_vorgaenge/doc/39615.php (download am 12.03.2008)
- CLG 2005
CLG English House Condition Survey 2005, EE9a: Heating system and heating fuel by dwelling type. Download unter <http://www.communities.gov.uk/housing/housingresearch/housing-surveys/englishhousecondition/ehcsdatasupporting/ehcsstandard-tables/energyefficiency/> (zuletzt besucht am 09.06.2008)
- Deutsche Umwelthilfe 2007
German Export World Champion – Thanks to Waste Electrical and Electronic Equipment too. Press release, Berlin.
- Döring 2008
Döring, B.; Simulationsrechnungen „Energiebedarf Wäschetrocknen“. Bericht 17.06.2008; Aachen 2008.
- EuP 2007
Preparatory Studies for Eco-design Requirements of EuPs (Tender TREN/D1/40-2005). Lot 14: Domestic Washing Machines and Dishwashers. Task 3, final task report. Bonn, November 2007.
- Frischknecht et al. 2007
Frischknecht, R.; Tuchschild, M.; Faist Emmenegger, M.; Bauer, Ch.; Strommix und Stromnetz, Ecolnvent 2.0, 2007
- Gensch u. Rüdener 2004
Gensch, C.-O.; Rüdener, I.; Ökologische und ökonomische Betrachtung von Wäschetrocknungssystemen, Hauswirtschaft und Wissenschaft (HuW), Aachen 1/2004, 12–19.
- GfK 2001
Wäschetagebuch; durchgeführt von GfK Marktforschung von Mitte August bis Anfang Oktober 2001; im Auftrag von Henkel.
- GfK 2003
GfK Panel Services Consumer Research GmbH; Useful Life in Years of previous appliance (Tumble Dryers). MDA Presentation Consumer Panel D; Year 2003.
- Huismann et al. 2007
Huismann, J.; Magalini, F.; Kuehr, R.; Maurer, C.; Ogilvie, S.; Poll, J.; Delgado, C.; Artim, E.; Szezak, J.; Stevels, A.; 2008 Review of Directive 2002/96 on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE). UNU, Bonn 2007.

IEA 2007	Raumwärme aus Erdgas, Erdöl in Deutschland, Spanien und Großbritannien, IEA 2007, Internationale Energie Agentur, Energy Prices and Taxes Second Quarter 2007. Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, Statistisches Bundesamt, Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft - Projektgruppe "Nutzenergiebilanzen"
BMWi 2008	http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/Binaer/Energiedaten/energiepreise-und-energiekosten4-internationaler-energiepreisvergleich-haushalte,property=blob,bereich=bmwi,sprache=de,rwb=true.xls download am 10.04.2008
IPCC 2007	Intergovernmental panel on climate change (IPCC), Fourth Assessment Report: Climate Change 2007, Chapter 2: Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. 2007 (http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg1.htm)
Kellenberger et al. 2007	Kellenberger, D.; Althaus, H.-J.; Künniger, T.; Lehmann, M.; Jungbluth, N.; Thalmann, Ph.; Life cycle inventories of Building Products, EcoInvent 2.0, 2007
Meteonorm	Globale meteorologische Datenbank für Solarenergie und Angewandte Meteorologie (engl.)
Möller et al. 2005	Möller, M.; Bunke, D.; Gensch, C.-O.; Quack, D.; Vogt, P.; EcoGrade 2.0. Methodology Description. Freiburg 2005.
Nipkow o.J.	Energiesparende Einrichtungen zum Waschen und Trocknen im Mehrfamilienhaus. Zürcher Energieberatung. aktualisierte Version: Nipkow 1999.
Nipkow 1999	Nipkow, J.: Energie rationell nutzen bei Einrichtungen zum Waschen und Trocknen im Mehrfamilienhaus. Zürcher Energieberatung (Hg.), ausgearbeitet von Jürg Nipkow, ARENA Zürich, 1999.
Norsk Petroleumsinstitutt 2006	http://www.np.no/index.php?PHPSESSID=28d206d20530357cb41677bd5273f63c&ID=245&KID=37&SID=59&page=ART (download am 10.04.2008)
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
SSA EcoTopTen 2003	Produktfeld Haus & Wohnung, Subnetz Heizung, Projekt ETT, 2003 Öko-Institut e.V.
Statistisches Bundesamt 2008a	Statistisches Bundesamt Wiesbaden 2008 (https://www.ec.destatis.de/csp/shop/sfg/bpm.html.cms.cBroker.cls?cmspath=struktur,vollanzeige.csp&ID=1021885) (zuletzt besucht am 10.04.2008)
Statistisches Bundesamt 2008b	Statistisches Bundesamt Wiesbaden 2008 (http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Content/Publikationen/Querschnittsveroeffentlichungen/WirtschaftStatistik/WistaFebruar08,property=file.pdf) (download am 10.04.2008)

Statistics Norway 2007	Raumwärme in Norwegen, Statistics Norway, 2007, http://www.ssb.no/english/subjects/01/03/10/husenergi_en/tab-2007-05-23-08-en.html (download am 10.04.2008)
TopTen.ch 2008	Internetangebot der Schweizer Initiative www.topten.ch (zuletzt besucht am 10.03.2008)
Fachwerk 2008	http://www.fachwerk.de/wissen/strom-heizung-28897.html (zuletzt besucht am 10.04.2008)
Taylor Nelson 2002	Taylor Nelson Sofres Consumer Panels: 'Consumer Laundry Habits' aus 16 Ländern. 2002.

7 Anhang

7.1 Herstellung von Wäschetrocknern

Tabelle 58 Zuordnung der verwendeten EcoInvent-Datensätze zur Bilanzierung der Materialvorketten für die drei Gerätetrockner-Technologien

Gruppe	Material	Ablufttrockner	Kondens- trockner	WP-Trockner Wettbewerb/ BSH ¹⁶	Ecoinvent-Datensatz
Metalle	Stahl aus Schrott, blank (einfache Güte)	1,25 kg	1,25 kg	1,25 kg	steel, electric, un- and low-alloyed
	Stahl (7Gew. % PA-beschichtet)	0,53 kg	0,53 kg	0,53 kg	powder coating, steel
	Stahl verzinkt / chromatiert	2,51 kg	2,51 kg	2,78 kg	steel, electric, un- and low-alloyed / zinc coating, pieces
	Coil Coating - Blech	5,05 kg	5,05 kg	5,05 kg	steel, electric, un- and low-alloyed / sheet rolling, steel
	Stahl Druckguss aus Schrott	4,10 kg	4,10 kg	10,73 kg	steel, converter, unalloyed
	Kupfer	0,66 kg	0,66 kg	4,22 kg	copper product manufacturing, average metal working
	Al - Druckguss	0,40 kg	0,40 kg	0,40 kg	aluminium, production mix, cast alloy, at plant
	Al - Blech	5,46 kg	6,76 kg	7,98 kg	aluminium product manufacturing, average metal working
	Edelstahlblech	4,53 kg	4,53 kg	4,53 kg	chromium steel product manufacturing, average metal working
	Summe Metalle	24,48 kg	25,78 kg	37,48 kg	
Kunststoffe	PP	5,47 kg	5,47 kg	5,47 kg	polypropylene, granulate

¹⁶ Für den Wärmepumpentrockner des Wettbewerbs wurde die identische Materialzusammensetzung angenommen. Unterschiede bestehen lediglich bezüglich der Art und Menge des eingesetzten Kältemittels.

Gruppe	Material	Ablufttrockner	Kondens- trockner	WP-Trockner Wettbewerb/ BSH ¹⁶	Ecoinvent-Datensatz
	ABS	1,51 kg	1,51 kg	1,51 kg	acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer, ABS
	POM	0,00 kg	0,00 kg	0,00 kg	[-]
	EPS	0,76 kg	0,76 kg	0,76 kg	polystyrene, expandable
	PE Folie	0,03 kg	0,03 kg	0,03 kg	polyethylene, LDPE
	PA	0,10 kg	0,10 kg	0,10 kg	nylon 66
	PVC	0,15 kg	0,15 kg	0,15 kg	polyvinylchlor
	Elastomer Mix (EPDM, NBR)	0,19 kg	0,19 kg	0,19 kg	synthetic rubber
	Talkum	4,34 kg	4,34 kg	4,34 kg	calcareous marl
	Summe Kunststoffe	12,55 kg	12,55 kg	12,55 kg	
Elektrokomponenten Mix	Elektrokomponenten Mix	0,42 kg	0,42 kg	0,42 kg	siehe Text und Tabelle 59
Sonstiges	Spanplatte beschichtet	2,00 kg	2,00 kg	2,00 kg	medium density fibreboard
	Sicherheitsglas	2,01 kg	2,01 kg	2,01 kg	flat glass, coated
	Summe Sonstiges	4,01 kg	4,01 kg	4,01 kg	
Kältemittel R134a/R407c	Kältemittel R407c	0,00 kg	0,00 kg	0,27 / 0,38 kg	refrigerant R134a
	Summe Kältemittel	0,00 kg	0,00 kg	0,27 / 0,38 kg	
Verpackung	Kunststoffolie aus PE	0,17 kg	0,17 kg	0,17 kg	polyethylene, LDPE, granulate
	Verpackungsmaterial aus EPS	1,02 kg	1,02 kg	1,02 kg	polystyrene, expandable
	Pappe (Zellstoffkarton)	0,43 kg	0,43 kg	0,43 kg	corrugated board base paper, kraftliner
	Summe Verpackung	1,62 kg	1,62 kg	1,62 kg	
Gesamtgewicht		43,07 kg	44,37 kg	56,51 kg	

Tabelle 59 Zuordnung der verwendeten Ecolnvent-Datensätze und getroffene Annahmen zur Bilanzierung der eingesetzten elektronischen Bauelemente

Anzahl	Bauteil	bilanziert als	Bezugsgröße	Inputwert Umberto	Anmerkungen
4	konventionelle Widerstände	resistor, wirewound, through-hole mounting	The dataset represents 1 kg of resistors with a weight of 3.8 gram/unit	1,52E-05 kg	
100	SMD-Widerstände	resistor, SMD t	The dataset represents 1 kg of resistors with a weight of 9.8 miligram/unit.	0,00098 kg	
6	Elkos	capacitor, electrolyte type, < 2cm height	The dataset represents 1 kg of capacitor with a weight of 1.29 gram/unit.	0,00774 kg	
3	Folienkondensatoren	capacitor, film, through-hole mounting	The dataset represents 1 kg of capacitors with a weight of 0.7 gram/unit.	0,0021 kg	
28	SMD-Kondensatoren	capacitor, SMD type, surface-mounting	The dataset represents 1 kg of capacitors with a weight of 0.086 gram/unit.	0,002408 kg	
39	SMD-Transistoren	transistor, SMD type, surface mounting	The dataset represents 1 kg of transistors with a weight of 0.593 gram/unit.	0,023127 kg	
14	SMD-Dioden	diode, glass-, SMD type, surface mounting	The dataset represents 1 kg of diodes with a weight of 32 miligram/unit.	0,000448 kg	
3	Prozessoren	integrated circuit, IC, logic type	k.A.	0,03 kg	Annahme: 10 g pro Stück
1	LCD-Modul	LCD module	The data represent a current 15-inch LCD computer screen at the end of the 90s.	0,1 kg	Schätzung: 100 g pro Modul

Anzahl	Bauteil	bilanziert als	Bezugsgröße	Inputwert Umberto	Anmerkungen
8	Schalter, Relais [Teil 1]	switch, toggle type	The dataset represents 1 kg of toggle type switches with a weight of 29 gram/unit.	0,232 kg	Kein Datensatz für Relais verfügbar; daher als Mix aus Schalter und Kleintransformator bilanziert
8	Schalter, Relais [Teil 2]	transformer, low voltage use	The dataset represents 1 kg of transformers with a weight of 30 gram/unit.	0,24 kg	
1	Miniaturtransformator	transformer, low voltage use	The dataset represents 1 kg of transformers with a weight of 30 gram/unit.	0,03 kg	
11	Steckverbinder	connector, clamp connection	The dataset represents 1 kg of clamp type connectors with a weight of 9 gram/unit.	0,099 kg	
2	Platine	printed wiring board, through-hole, lead-free surface	The described PWB has a square weight of 3.08 kg/m ² .	0,01365 m ²	

7.2 Modellierung von Trockenräumen

 Tabelle 60 Eingabedaten für die Modellierung der Herstellung der Trockenräume, Betonkonstruktion¹⁷

Inputs:	Coefficient	Unit
Backstein, ab Werk [RER]	178	kg
Beton, normal, ab Werk [CH]	0,0927	m ³
Zementmörtel, ab Werk [CH]	61,7	kg
Diesel, in Baumaschine [GLO]	15	MJ
Strom, Mittelspannung, Produktion UCTE, ab Netz [UCTE]	0,3	kWh
Flachglas, unbeschichtet, ab Werk [RER]	3,08	kg
Steinwolle, verpackt, ab Werk [CH]	1,3	kg
Aluminium, Produktionsmix, ab Werk [RER]	8,48	kg
Kupfer, ab Regionallager [RER]	8,48	kg
Armierungsstahl, ab Werk [RER]	24,17	kg
Polyvinylchlorid, ab Regionallager [RER]	0,925	kg
Extrudieren, Kunststoffolie [RER]	0,925	kg
Verpackungsfolie, LDPE, ab Werk [RER]	11	tkm
Transport, Lkw >16t, Flottendurchschnitt [RER]	97,7	tkm
Schnittholz, Nadelholz, gehobelt, kammergetrocknet, ab Werk [RER]	0,0617	m ³
Outputs:		
Gebäude, mehrstöckig, Betonkonstruktion [RER]	1	m ³

Quelle: EcolInvent 2.0

Tabelle 61 Eingabedaten für die Modellierung der Entsorgung der Trockenräume, Betonkonstruktion

Inputs:	Coefficient	Unit
Gebäude, mehrstöckig, Betonkonstruktion [RER, Infra]	1	m ³
Outputs:		
Entsorgung, Gebäude, Backstein, in Sortieranlage [CH]	178	kg
Entsorgung, Gebäude, Massiveisen ohne Armierungseisen, in Sortieranlage [CH]	17	kg
Entsorgung, Gebäude, Zement (in Beton) und Mauermörtel, in Beseitigung [CH]	61,7	kg
Entsorgung, Gebäude, Flachglas, in Beseitigung [CH]	3,08	kg
Entsorgung, Gebäude, Mineralwolle, in Beseitigung [CH]	1,3	kg
Entsorgung, Gebäude, PE-Dichtungsbahn, in Beseitigung [CH]	0,925	kg
Entsorgung, Gebäude, PVC-Produkte, in Beseitigung [CH]	0,925	kg
Entsorgung, Gebäude, bewehrter Beton, in Beseitigung [CH]	239	kg
Entsorgung, Gebäude, Altholz unbehandelt, in Beseitigung [CH]	30,8	kg

Quelle: EcolInvent 2.0

¹⁷ Die Werte für Diesel- und Stromverbrauch umfassen auch den Anteil während der Entsorgungsphase.