

Ökobilanz Kombi-Kühlschrank Electrolux ERB3105

ausgearbeitet durch

Roland Steiner

Mireille Faist Emmenegger

Rolf Frischknecht

Auftraggeber

S.A.F.E. Schweizerische Agentur für Energieeffizienz,

Bundesamt für Energie (BFE)

Impressum

<i>Titel:</i>	Ökobilanz Kombi-Kühlschrank Electrolux ERB3105
<i>Auftraggeber:</i>	S.A.F.E. Schweizerische Agentur für Energieeffizienz, Bundesamt für Energie (BFE)
<i>Liability Statement</i>	Information contained herein have been compiled or arrived from sources believed to be reliable. Nevertheless, the authors or their organizations do not accept liability for any loss or damage arising from the use thereof. Using the given information is strictly your own responsibility.
<i>Autoren:</i>	Roland Steiner, Mireille Faist Emmenegger, Rolf Frischknecht ESU-services Kanzleistrasse 4, 8610 Uster Tel. +41 44 940 61 35, Fax +41 44 940 61 94 steiner@esu-services.ch www.esu-services.ch

Zusammenfassung

Die vorliegende Studie hat zum Ziel, die Frage nach dem optimalen Zeitpunkt aus Umweltsicht für den Ersatz weisser Güter beantworten zu helfen. Zu diesem Zweck wurde die Ökobilanz eines Kombi-Kühlschranks (mit getrenntem Kühl- und Gefrierfach und zwei Kompressoren, Energieklasse A+) der Firma Electrolux erstellt. Als Bezugsgrösse wurde der durchschnittliche Betrieb des Kühlschranks während eines Jahres gewählt bei einer Lebensdauer von 15 Jahren.

Die Ökobilanz umfasst die Herstellung und Distribution, die Nutzung inkl. Unterhalt sowie Entsorgung des Kühlschranks. Die Resultate der Sachbilanz wurden mit den Methoden Kumulierter Energieaufwand, Ökologische Knappheit 1997 (Umweltbelastungspunkte) sowie Eco-indicator 99 bewertet.

Die Herstellung und der Vertrieb des Kühlschranks verursachen 20 % des kumulierten Energieaufwandes, rund 27 % der Umweltbelastungspunkte 1997 beziehungsweise rund 61 % der Eco-indicator Punkte, jeweils bezogen auf den Gesamt-Energieaufwand beziehungsweise die Gesamtumweltbelastung über den gesamten Lebenszyklus des Kühlschranks.

Die Studie erlaubt folgende Erkenntnisse:

- Die in früheren Untersuchungen zur "Grauen Energie" weisser Ware gewonnenen Erkenntnisse werden bestätigt. Das heisst der Betrieb des Kühlschranks ist bezüglich "Grauer Energie" die wichtigste Phase.
- Die umfassendere Betrachtung der Umweltbelastungen mit den Methoden Eco-indicator 99 und Ökologische Knappheit 1997 zeigt eine höhere Bedeutung der Herstellungsphase im Vergleich zum Kumulierten Energieaufwand.
- Die Metallkomponenten prägen die Ökobilanz der Herstellung des Kühlschranks.
- Sensitivitätsanalysen zeigen eine deutliche Abhängigkeit der Ergebnisse vom zugrunde gelegten Strommix.
- Die ökologische Rückzahldauer erhöht sich bei einer umfassenderen Betrachtung der Umweltbelastungen.
- Die Ergebnisse für den Kühlschrank sind vergleichbar mit denjenigen eines Waschautomaten.
- Bei Geräten der Energieeffizienzklasse A+ und A++ sind Ökobilanzbetrachtungen unerlässlich.

Inhalt

ZUSAMMENFASSUNG	II
1 EINLEITUNG	1
1.1 Ausgangslage	1
1.2 Zielsetzung und Vorgehen	1
1.3 Die Ökobilanz-Methode.....	1
2 SYSTEMDEFINITION	3
2.1 Funktionelle Einheit.....	3
2.2 Adressat	3
2.3 Struktur der Ökobilanz	3
2.4 Bewertungsmethoden	4
3 ÖKOLOGISCHER VERGLEICH	4
3.1 Auswertung bezogen auf die Nutzung des Kühlschranks	4
3.2 Auswertung wichtiger Teilbilanzen.....	8
3.2.1 Herstellung und Auslieferung des Kühlschranks	8
3.2.2 Herstellung der Kompressoren	11
3.2.3 Entsorgung des Kühlschranks	13
3.3 Sensitivitätsanalyse Strommix	15
4 DISKUSSION UND EMPFEHLUNGEN	16
ANHANG: BERECHNUNGSGRUNDLAGEN	18
ANHANG: ERLÄUTERUNG ZU DEN FLUSSDIAGRAMMEN	23

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

S.A.F.E. (schweizerische Agentur für Energieeffizienz) und der FEA (Fachverband Elektroapparate für Haushalt und Gewerbe Schweiz) sind übereingekommen, ein gemeinsames Vorhaben zur Verminderung der Markthindernisse für die Umwälzung des Bestandes im Bereich Haushaltgeräte (weisse Ware) zu lancieren. Dabei sollen einerseits Markt- und Produktkenntnisse von FEA sowie Technik- und Effizienzkenntnisse von S.A.F.E. kombiniert werden.

1.2 Zielsetzung und Vorgehen

Beim Timely Replacement stellt sich die Frage, ob der Energieverbrauch im Hinblick auf die Reduktion der Umweltbelastung die wesentliche und „richtige“ Entscheidungsgrösse ist. Für eine umfassende Beurteilung der rechtzeitigen Ersatzes aus Umweltsicht müssen die Umweltbelastungen des Betriebs eines neuen Gerätes und des Aufwands zu ihrer Herstellung relativ genau bekannt sein.

Im Rahmen der Ökobilanz eines Kühlschranks der Energieeffizienzklasse A+ wird überprüft, welchen Stellenwert die Herstellung des Gerätes im Vergleich zu dessen Nutzung hat. Hierbei werden einerseits umweltbezogene Bewertungsmethoden wie Eco-indicator 99 und die Methode der ökologischen Knappheit 1997, andererseits die Grösse Kumulierter Energieaufwand (oder Graue Energie) beigezogen.

Die Firma Electrolux hat mehrere EPDs (environmental product declaration) publiziert. Im Rahmen des vorliegenden Projektes wird ein Gerät der Firma Electrolux aufgrund der (vertraulichen) Grundlagendaten zu einem EPD bilanziert.

Die Ergebnisse der Bilanz werden hinsichtlich der drei Hauptphasen Herstellung, Nutzung und Entsorgung ausgewertet. Die Bilanz der Herstellung wird detailliert analysiert. Die Fragestellung des rechtzeitigen Ersatzes wird speziell erörtert.

1.3 Die Ökobilanz-Methode

Die Ökobilanz bzw. das Life Cycle Assessment (LCA) ist eine Methode zur Abschätzung der mit einem Produkt¹ verbundenen Umweltauswirkungen. Die Ökobilanz beruht auf einem Lebenszyklus-Ansatz. Damit werden die Umweltauswirkungen eines Produktes von der Wiege bis zur Bahre („cradle to grave“), also von der Rohstoffentnahme bis zur Entsorgung des Produktes und der Produktionsabfälle erfasst und beurteilt.

Die Internationale Organisation für Normung ISO hat die Vorgehensweise innerhalb der Ökobilanz-Methode mit der Norm ISO 14040 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO) 1997) in ihren Grundzügen und mit ISO 14041 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO) 1998) für die Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens sowie die Sachbilanz standardisiert. Die Normen zu den weiteren

¹ Der Begriff Produkt schliesst hier Dienstleistungen mit ein.

Phasen der Ökobilanz (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO) 2000a, b) wurden in der ersten Hälfte 2000 verabschiedet und veröffentlicht.

Eine Ökobilanz lässt sich gemäss ISO 14040 in vier Phasen unterteilen (siehe Fig. 1.1): (1) Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens, (2) Sachbilanz, (3) Wirkungsabschätzung und (4) Auswertung.

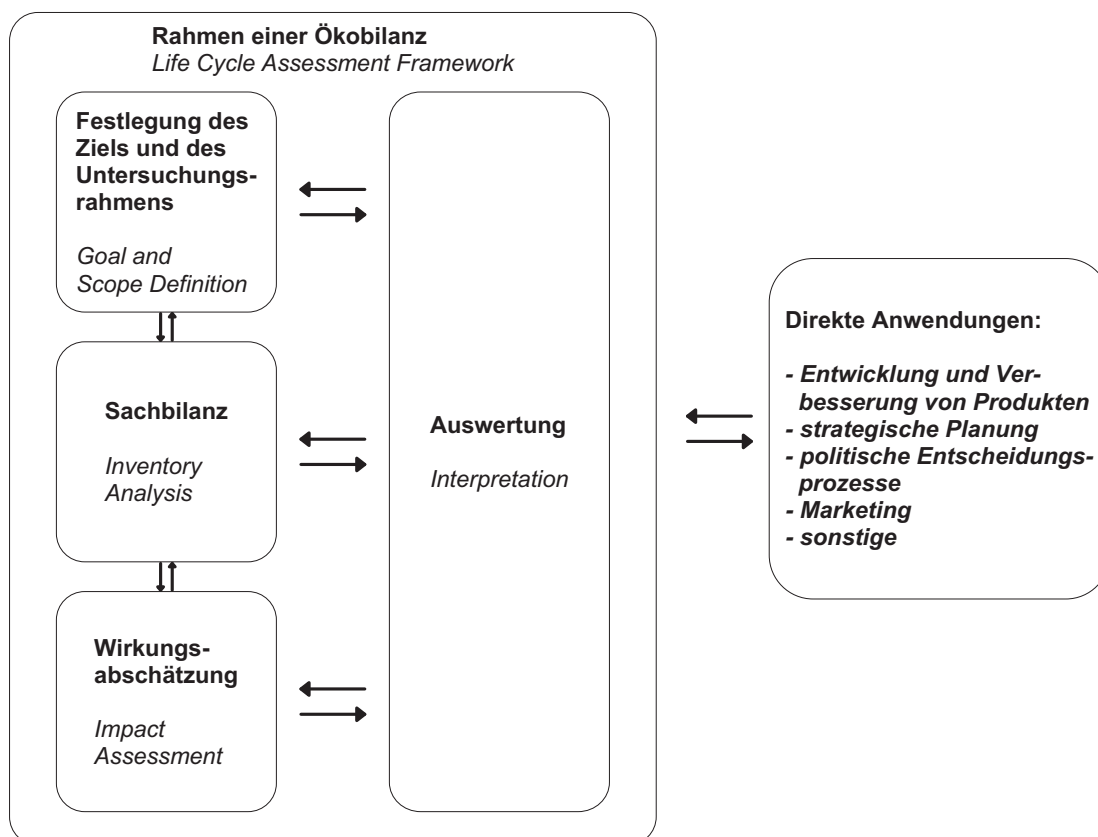


Fig. 1.1: Bestandteile einer Ökobilanz (Life Cycle Assessment, LCA); Bezeichnungen in **deutsch** und *englisch*; gemäss (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO) 1997).

Die *Zieldefinition* (Phase 1) enthält die Beschreibung des Untersuchungsgegenstandes, der sogenannten funktionellen Einheit. Zudem werden diejenigen Umweltaspekte definiert, die bei der Interpretation berücksichtigt werden sollen. Der *Untersuchungsrahmen* wird abgesteckt, indem die Modellierungsweise und die für ein Produkt massgebenden Prozesse bestimmt und beschrieben werden.

In der *Sachbilanz* (=Ökoinventar, Phase 2) werden die direkten Umwelteinwirkungen² und der Bedarf an Halbfabrikaten, Hilfsstoffen und Energie der am Produktlebenszyklus (= Produktsystem) beteiligten Prozesse erfasst und zusammengestellt. Diese Daten werden in Bezug gesetzt zum Untersuchungsgegenstand, der funktionellen Einheit. Es resultieren kumulierte Ressourcenbedarfe und Schadstoffemissionen (Sachbilanzergebnis).

² Ressourcennutzung und Schadstoffemissionen.

Ausgehend von der Sachbilanz wird die *Wirkungsabschätzung* (Phase 3) durchgeführt (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO) 2000a). Hierbei werden eine oder mehrere aktuelle Bewertungsmethoden auf die Sachbilanzergebnisse angewendet.

In der *Auswertung* (Phase 4) werden die Resultate der Sachbilanz und der Wirkungsabschätzung entsprechend dem festgelegten Ziel und dem Untersuchungsrahmen der Ökobilanz zusammengefasst (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO) 2000b). Es werden Schlussfolgerungen gezogen und Empfehlungen formuliert.

2 Systemdefinition

2.1 Funktionelle Einheit

Als funktionelle Einheit wird die Nutzung eines Kühlschranks während einem Jahr gewählt. Dabei werden auch der nötige Unterhalt und die Entsorgung einbezogen.

2.2 Adressat

Diese Ökobilanz wurde für S.A.F.E. (schweizerische Agentur für Energieeffizienz) erstellt. Dieser Bericht und dessen Ergebnisse werden veröffentlicht.

2.3 Struktur der Ökobilanz

Beim bilanzierten Kühlschrank handelt es sich um den Kombi-Kühlschrank ERB3105 von Electrolux. Es ist ein Gerät mit hoher Energieeffizienz (Energieeffizienzklasse A+). Der Kühlschrank besteht zu 60% aus Stahl. Als Bläh- und Kühlmittel werden Cyclopentan bzw. Isobutan eingesetzt. Das Gerät ist 2 m hoch. Der Nutzinhalt beträgt 192 l für das Kühl-, bzw. 92 l für das Gefrierfach. Die Fächer sind getrennt und je über einen eigenen Kompressor gekühlt, d.h. es sind zwei Kompressoren eingebaut. Der jährliche Energieverbrauch beträgt gemäss Herstellerangaben 194 kWh (entspricht etwa 0.53 kWh pro Tag).

Die Bilanz des Kühlschranks basiert auf folgenden Teilbilanzen:

- **Herstellung Kühlschrank:** Die Bilanz des Kühlschranks besteht aus den nötigen Materialien (inkl. elektronische Teile), die Entsorgung des Produktionsausschusses und die Transporte der Materialien. Das totale Gewicht des Geräts beträgt ca. 94 kg. Die Teile des Kühlschranks wurden aufgrund der Materialliste des Modells „ERB3105“ erfasst. Die Produktionsaufwendungen (Energieverbrauch, Wasseremissionen, Lösungsmittlemissionen) wurden berücksichtigt. Die Bilanzierung der elektronischen Teile basiert auf Daten für einen Waschautomaten und werden proportional zum Gewicht angepasst. Für die im Kühlschrank eingesetzten Metalle wird ein durchschnittlicher Anteil an Schrotinput angenommen (Aluminium: 32%, unlegierter Stahl und Kupfer: ca. 40%).
- **Distribution (Kühlschrank, beim Kunden):** In dieser Teilbilanz wird der Transport des Kühlschranks von der Fabrik in Europa zum Kunden (500 km) sowie die Transportverpackung berücksichtigt.

- **Nutzung (Betrieb, Kühlschrank):** Die Nutzung beinhaltet den Bedarf und Strom (194 kWh pro Jahr) sowie den Bedarf an Unterhalt und Entsorgung. Die Lebensdauer des Kühlschranks wird auf 15 Jahre geschätzt.
- **Unterhalt (Unterhalt, Kühlschrank):** In dieser Bilanz werden die Service-Fahrten (17 km mit Lieferwagen) und die nötigen Ersatzteile berücksichtigt. Es wird mit einem Unterhalt (Ersatz von Plastikelementen wie z.B. Dichtungsprofil) pro 10 Jahre gerechnet.
- **Entsorgung (Entsorgung, Kühlschrank):** Es wird angenommen, dass Metallteile recycelt und Kunststoffe verbrannt werden. Weiter wird angenommen, dass die elektronischen Teile recycelt werden. Dabei wird der Kunststoffanteil verbrannt und die Metalle in einem schwedischen Schmelzwerk zurückgewonnen. Die Transporte und die Verbrennungsprozesse der Kunststoffe werden berücksichtigt. Für recycelte Metalle werden keine Gutschriften verrechnet. Recycelte Materialien verlassen das Produktsystem ohne Belastungen (cut-off Ansatz). Entsprechend sind sie auch inputseitig (Schrotanteil im verwendeten Stahl) belastungsfrei.

Die Ökobilanz wurde mit der Software SimaPro 6.0 und mit Sachbilanzdaten aus dem ecoinvent Datenbestand v1.01 und firmeninternen Sachbilanzdaten berechnet.

2.4 Bewertungsmethoden

Die Ergebnisse der Sachbilanz werden mit dem kumulierten Energieaufwand, der Methode der ökologischen Knappheit 1997 (Umweltbelastungspunkte) sowie mit dem „Eco-indicator 99“ (mit der Bewertungsperspektive Hierarchist, Average weighting (H,A)) bewertet.

3 Ökologischer Vergleich

In diesem Kapitel wird zuerst die Gesamtübersicht der Ökobilanz bezogen auf die Nutzung des Kühlschranks während einem Jahr gezeigt. Einzelne Elemente des Lebenszyklus werden dann in Kap. 3.2 mit den gleichen Bewertungsmethoden näher betrachtet. Es sind dies Herstellung und Distribution des Kühlschranks, die Herstellung des Kompressors sowie die Entsorgung des Kühlschranks. Die dort gezeigten Ergebnisse sind nicht auf ein Jahr Betrieb bezogen, sondern jeweils auf einen Kühlschrank, bzw. Kompressor.

3.1 Auswertung bezogen auf die Nutzung des Kühlschranks

Tab. 3.1 zeigt den kumulierten Energieaufwand über den gesamten Lebenszyklus des Kühlschranks bezogen auf dessen Nutzung während einem Jahr. Insgesamt werden für Betrieb, Herstellung und Entsorgung rund 2550 MJ-eq Primärenergie benötigt, hauptsächlich nichterneuerbare Energie. Dies liegt an der grossen Bedeutung des Stromverbrauchs während der Nutzung. Als Strommix wurde der Schweizer Strommix (inkl. Stromhandel) verwendet, der sich hauptsächlich aus Wasserkraft (36 %), Atomkraft (24 %) und Stromimporten aus Frankreich und Deutschland (22 % bzw. 11 %) zusammensetzt. Die Herstellung und Distribution des Kühlschranks tragen zu knapp 20% zum Gesamtergebnis bei (siehe Abb. 3.1), während die Betriebsphase mit rund 80% den Hauptanteil des kumulierten Energieaufwandes verursacht.

Tab. 3.1: Kumulierter Energieaufwand für die Nutzung des Kühlschranks während eines Jahres.

	Einheit	Nutzung, Kühlschrank
Nichtererneuerbar, fossil	MJ-eq/a	732
Nichtererneuerbar, nuklear	MJ-eq/a	1'357
Erneuerbar, Biomasse	MJ-eq/a	12
Erneuerbar, Wind, Solar, Geothermie	MJ-eq/a	9
Erneuerbar, Wasser	MJ-eq/a	435

Abb. 3.1 zeigt den Beitrag der einzelnen Prozesse zum kumulierten Energieaufwand (total) für die Nutzung des Kühlschranks während einem Jahr.

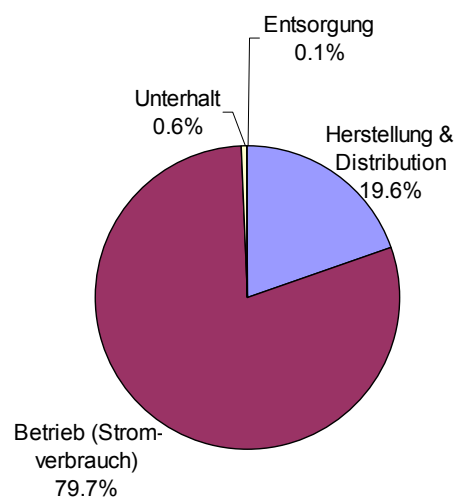


Abb. 3.1: Beitrag der einzelnen Prozesse für die Nutzung eines Kühlschranks während einem Jahr für die Bewertung mit dem kumulierten Energieaufwand.

Abb. 3.2 zeigt die Bewertung der Nutzung des Kühlschranks mit Eco-indicator 99 (H,A). Die Herstellung und Distribution des Kühlschranks tragen zu 61 % des Resultats bei, während der Stromverbrauch 37 % des Resultats ausmacht. Der Unterhalt mit knapp 2 % fällt praktisch nicht ins Gewicht, ebenso die Entsorgung des Kühlschranks.

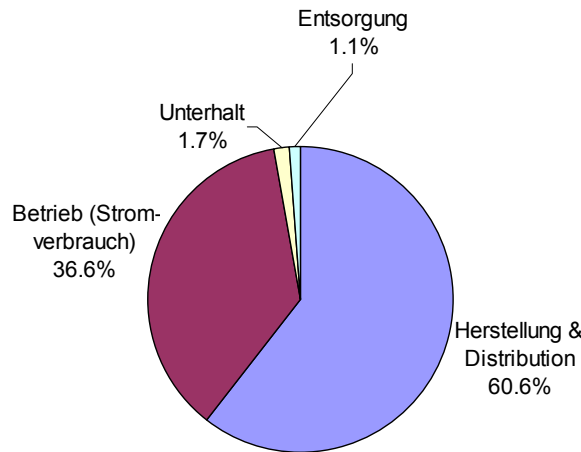


Abb. 3.2: Beitrag der einzelnen Prozesse für die Nutzung eines Kühlschranks während einem Jahr für die Bewertung mit Eco-indicator 99 - Punkten (H,A).

Die Bewertung der Nutzung des Kühlschranks mit der Methode der ökologischen Knappheit 1997 wird in Abb. 3.3 dargestellt. Der Stromverbrauch macht 72 % des Gesamtergebnisses aus, hauptsächlich bedingt durch den Kernenergieanteil im Strommix. Herstellung und Distribution des Kühlschranks sind für rund 27 % des Resultats verantwortlich. Der Unterhalt und die Entsorgung verursachen zusammen weniger als 2 % der Gesamtbelastung.

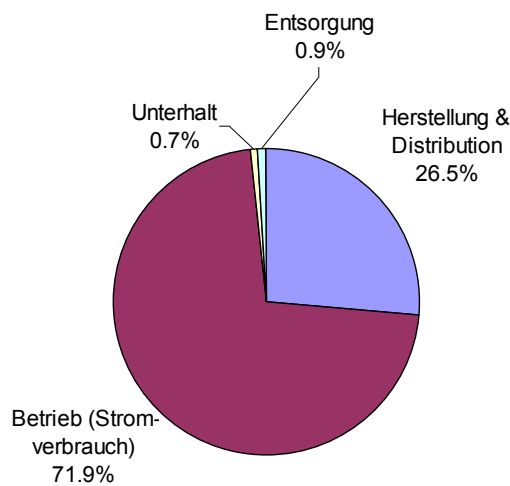


Abb. 3.3: Beitrag der einzelnen Prozesse für die Nutzung eines Kühlschranks während einem Jahr für die Bewertung mit der Methode der Ökologischen Knappheit (Umweltbelastungspunkte 1997).

Tab. 3.2 zeigt die Übersicht der Anteile der verschiedenen Lebensphasen des Kühlschranks am Gesamtergebnis (bewertet mit den Methoden Kumulierter Energieaufwand, Eco-indicator 99 und Umweltbelastungspunkte 1997). Die Anteile beim kumulierten Energieaufwand

bestätigen die Erkenntnis früherer Studien, dass die Betriebsphase beim Energieverbrauch am relevantesten ist.

Unter Umweltgesichtspunkten gewinnt die Herstellungsphase aber an Bedeutung. Unter Berücksichtigung der Schadstoffemissionen in Luft, Wasser und Boden mittels Eco-indicator 99 ist die Herstellung (und Distribution) des Kühlschranks (inklusive der Bereitstellung der Materialien) die wichtigste Lebensphase. Bei der Methode der ökologischen Knappheit hingegen bleibt der Betrieb, wegen der starken Gewichtung des Stroms aus Kernenergie, die bedeutendste Phase.

Tab. 3.2: Bedeutung der Lebensphasen des Kühlschranks bewertet mit den Bewertungsmethoden Kumulierter Energieaufwand, Eco-indicator 99 (H,A) und Ökologische Knappheit 1997.

Lebensphase	Kumulierter Energieaufwand	Eco-indicator 99	Ökologische Knappheit 1997
Herstellung & Distribution	19.6%	60.6%	26.5%
Betrieb (Stromverbrauch)	79.7%	36.6%	71.9%
Unterhalt	0.60%	1.72%	0.65%
Entsorgung	0.06%	1.05%	0.91%

3.2 Auswertung wichtiger Teilbilanzen

3.2.1 Herstellung und Auslieferung des Kühlschranks

Tab. 3.3 zeigt den kumulierten Energieaufwand für die Herstellung und die Auslieferung des Kühlschranks und seiner Teile. Es werden rund 7'500 MJ-eq., hauptsächlich nicht erneuerbare Primärenergieträger, benötigt. Diese werden für den Einsatz fossiler Energieträger in der Produktion und zu einem geringeren Ausmass während dem Transport und bei der Strombereitstellung benötigt.

Tab. 3.3: Kumulierter Energieaufwand für die Herstellung und Distribution des Kühlschranks.

	Einheit	Kühlschrank ERB3105
Nichtererneuerbar, fossil	MJ-eq	6'073
Nichtererneuerbar, nuklear	MJ-eq	1'089
Erneuerbar, Biomasse	MJ-eq	63
Erneuerbar, Wind, Solar, Geothermie	MJ-eq	22
Erneuerbar, Wasser	MJ-eq	231

Der Bedarf an Stahl und Polystyrol (16% bzw. 11%) sowie der Produktionsvorgang in der Fabrik (9%) sind für den kumulierten Energieaufwand am wichtigsten. Bei der Produktion fällt vor allem der Stromverbrauch ins Gewicht. Der Beitrag von Kupfer ist mit 1% gering.

Die folgende Abbildung (Abb. 3.4) zeigt die Bewertung der Herstellung und Auslieferung des beim Kunden installierten Kühlschranks mit Eco-indicator 99 - Punkten (H,A)³. Die wichtigsten Elemente, die mit mehr als 6% zu diesem Resultat führen, sind im Flussdiagramm dargestellt. Wie beim kumulierten Energieaufwand tragen Stahl mit 21% und das Polystyrol mit 9% zu einem guten Teil der Gesamtbelastung bei. Mit 15% trägt das Kupfer, wovon sich zwei Drittel in den Kompressoren befinden, massgeblich zum Gesamtergebnis bei. Das Kupfer hat im Kühlschrank einen Gewichtsanteil von lediglich 2.5%, aber wegen dessen Ökotoxizität sind die Umweltauswirkungen trotzdem von gewisser Bedeutung. Der Produktionsvorgang hat mit 4% hingegen ein deutlich tieferes Gewicht als beim kumulierten Energieaufwand.

³ Eine Erläuterung zu der Darstellung der Flussdiagramme findet sich im Anhang, Seite 23.

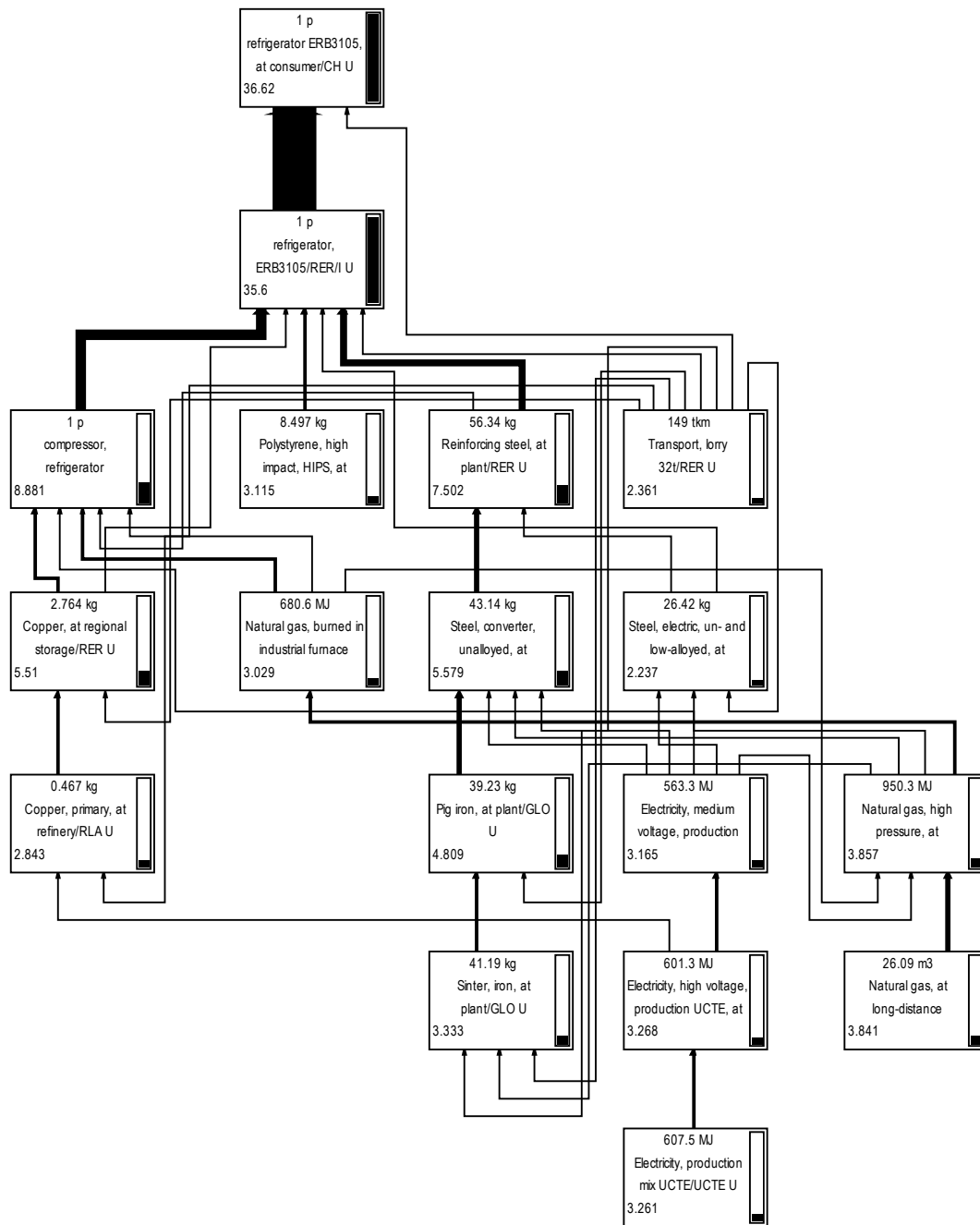


Abb. 3.4: Bewertung der Herstellung und Verteilung des Kühlschranks mit Eco-indicator 99 - Punkten (H,A). Die Dicke der Pfeile zeigt den relativen, kumulierten Beitrag der Elemente.

Abb. 3.5 zeigt die Bewertung der Herstellung und Auslieferung des an den Kunden gelieferten Kühlschranks mit Umweltbelastungspunkten 1997. Es sind wiederum Stahl und Kupfer (27% bzw. 12%), welche die grösste Bedeutung im Gesamtergebnis haben. Der Produktionsvorgang sowie die elektronischen Teile werden mit 8% resp. 6% etwas stärker bewertet als beim Eco-indicator 99, das Polystyrol mit 4% hingegen deutlich schwächer.

Die Auslieferung des Kühlschranks zum Kunden (Lastwagenfahrten und Kartonverpackung) fällt bei allen drei Bewertungsmethoden mit Anteilen von 1 bis 2% wenig ins Gewicht.

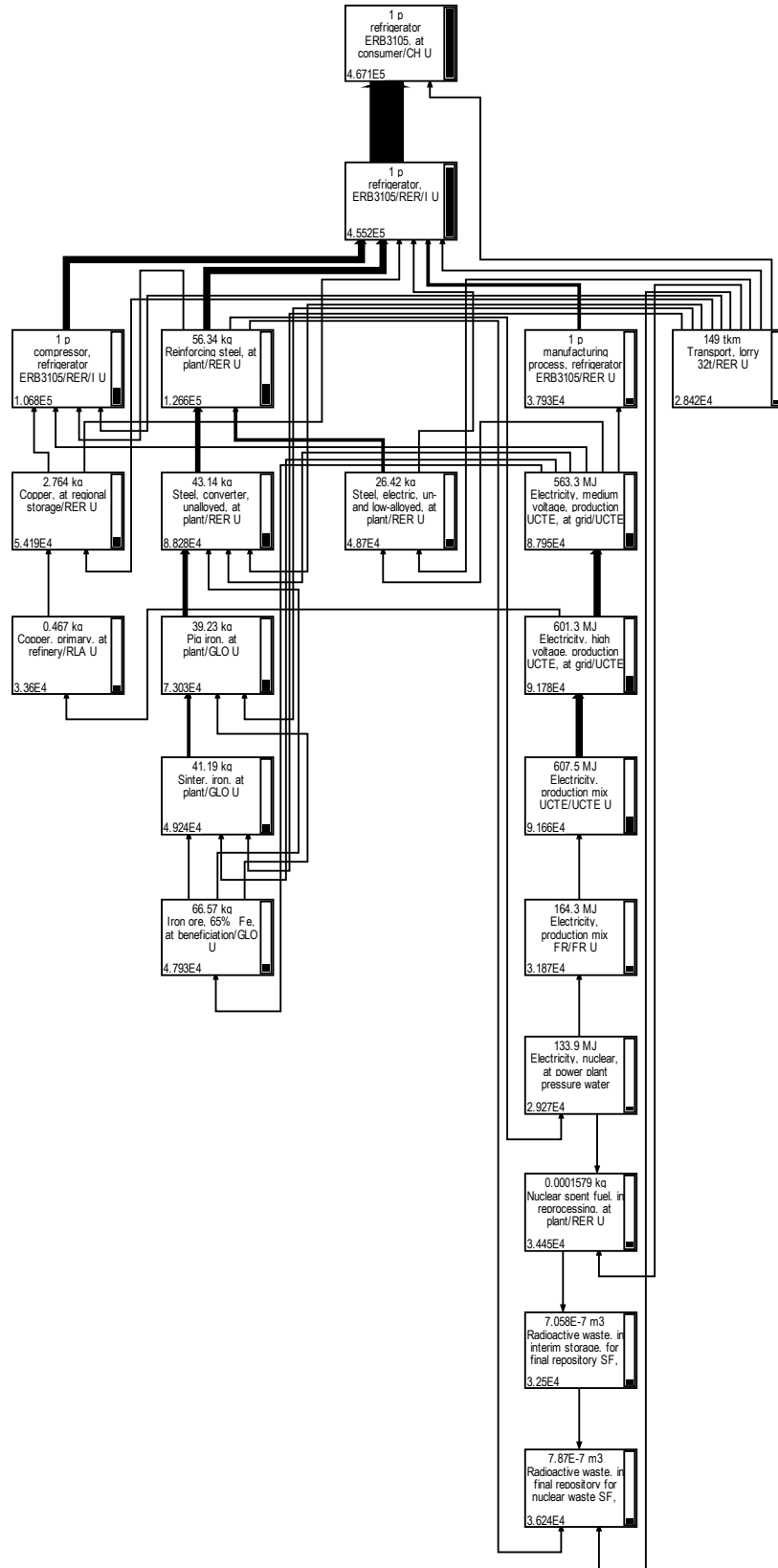


Abb. 3.5: Bewertung der Herstellung und Distribution des Kühlschranks mit der Methode der Ökologischen Knappheit (Umweltbelastungspunkte 1997). Die Dicke der Pfeile zeigt den relativen Beitrag der Elemente.

3.2.2 Herstellung der Kompressoren

In diesem Abschnitt wird die Herstellung der beiden Kompressoren detailliert ausgewertet. Abb. 3.6 zeigt den kumulierten Energieaufwand der Komponenten die einen wesentlichen Beitrag haben. Dies sind vor allem der Verbrauch von Erdgas (49%) und der Strombedarf (28%) für die Herstellung des Kompressors, wobei diese Zahlen eine gewisse Unsicherheit aufweisen, da sie aus Branchendurchschnitten hergeleitet worden sind. Der Stahl trägt mit 22% ebenfalls wesentlich zum Gesamtergebnis bei.

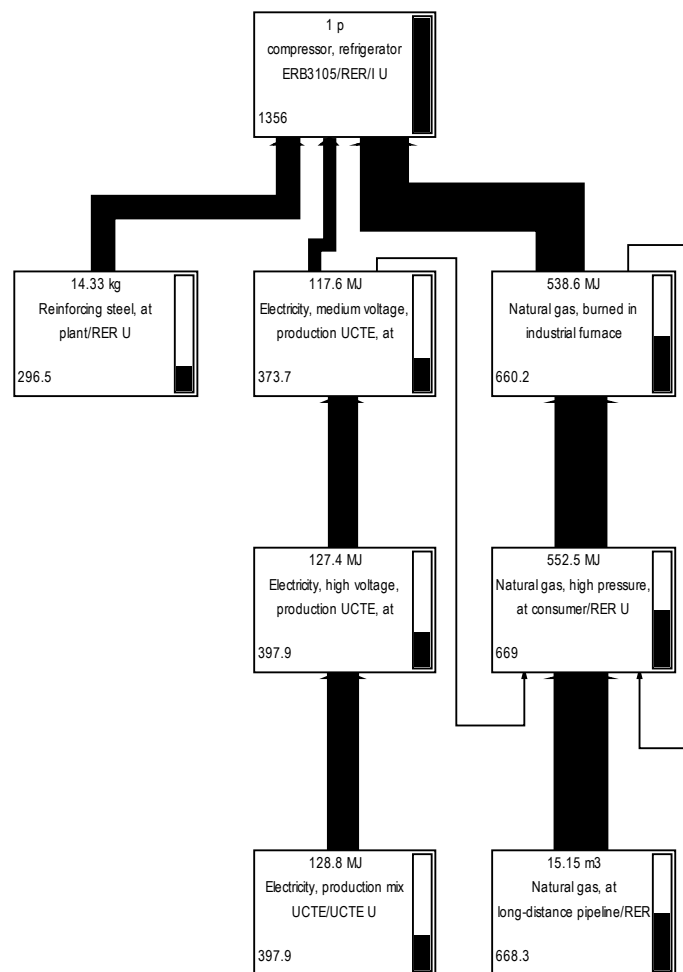


Abb. 3.6: Kumulierter Energieaufwand für den Kompressor des Kühlschranks. Die Dicke der Pfeile zeigt den relativen, kumulierten Beitrag der Elemente.

Abb. 3.7 zeigt die Bewertung des Kompressors mit Eco-indicator 99 -Punkten (H,A). Wie bei der Auswertung des ganzen Kühlschranks zeigt sich hier der Beitrag des Kupfers mit 40% besonders stark. Erdgas und Stahl sind mit 27% bzw. 21% immer noch wichtig, wobei das Erdgas im Vergleich zum kumulierten Energieaufwand einen deutlich geringeren, wohl aber immer noch wichtigen, Anteil am Resultat hat. Der Strom trägt mit 3% relativ wenig zum Gesamtergebnis bei.

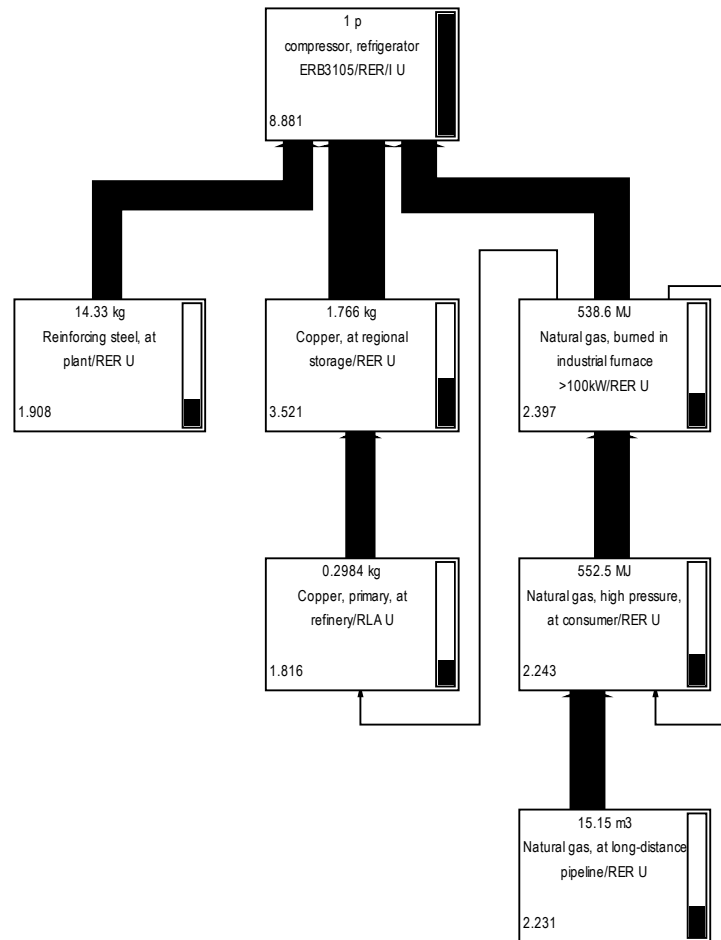


Abb. 3.7: Bewertung des Kompressors mit Eco-indicator 99 -Punkten (H,A). Die Dicke der Pfeile zeigt den relativen Beitrag der Elemente.

Die Bewertung mit der Methode der Ökologischen Knappheit (Umweltbelastungspunkte 1997) wird in Abb. 3.8 dargestellt. Die Resultate zeigen ein leicht anderes Bild als bei den Eco-indicator 99 -Punkten (H,A). Stahl und Kupfer tragen praktisch gleichviel zum Ergebnis bei (30% bzw. 32%). Das Erdgas ist mit 10% Anteil deutlich weniger wichtig als beim Eco-indicator. Der Stromverbrauch ist hingegen wieder relevant (17%), vor allem durch den Beitrag aus der Kernenergie.

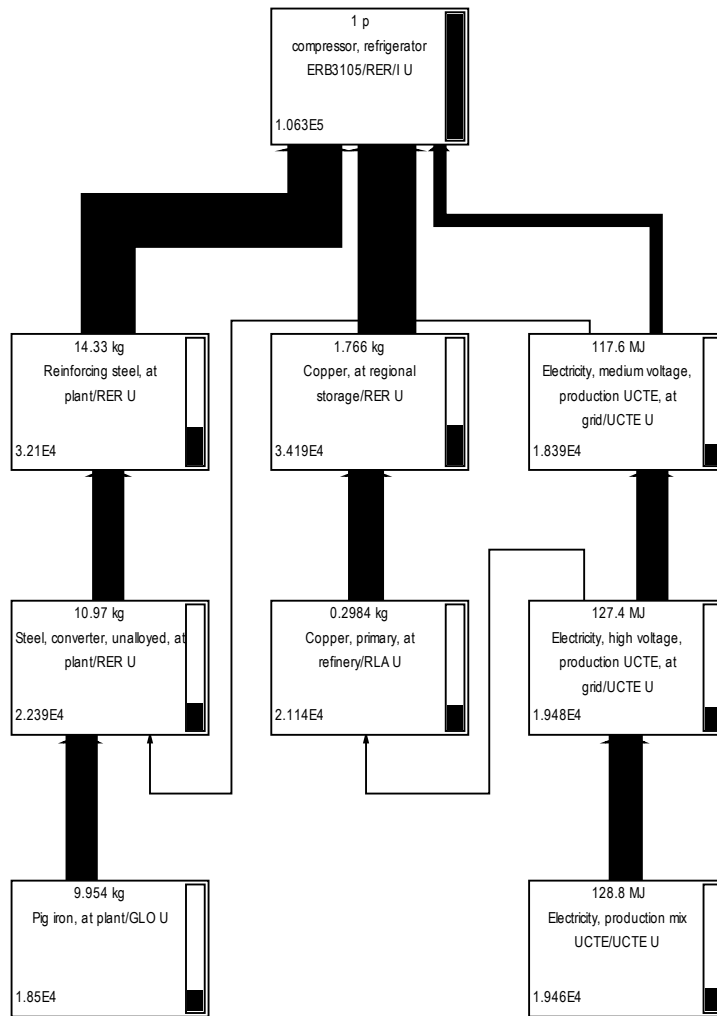


Abb. 3.8: Bewertung des Kompressors mit der Methode der Ökologischen Knappheit (Umweltbelastungspunkte 1997). Die Dicke der Pfeile zeigt den relativen Beitrag der Elemente.

3.2.3 Entsorgung des Kühlschranks

Die Entsorgung des Kühlschranks wird in der Darstellung der mit Eco-indicator 99 bewerteten Ergebnisse gezeigt. Durch die Annahme eines hohen Anteils rezyklierbarer Materialien und Komponenten des Kühlschranks spielen bei der Bewertung der Entsorgung nur wenige Elemente eine Rolle. Wichtigster Prozess ist die Verbrennung der Kunststoffteile (92%). Die Bewertung der Entsorgung mit der Methode der ökologischen Knappheit (UBP) zeigt ein sehr ähnliches Bild und wird deshalb hier nicht gezeigt.

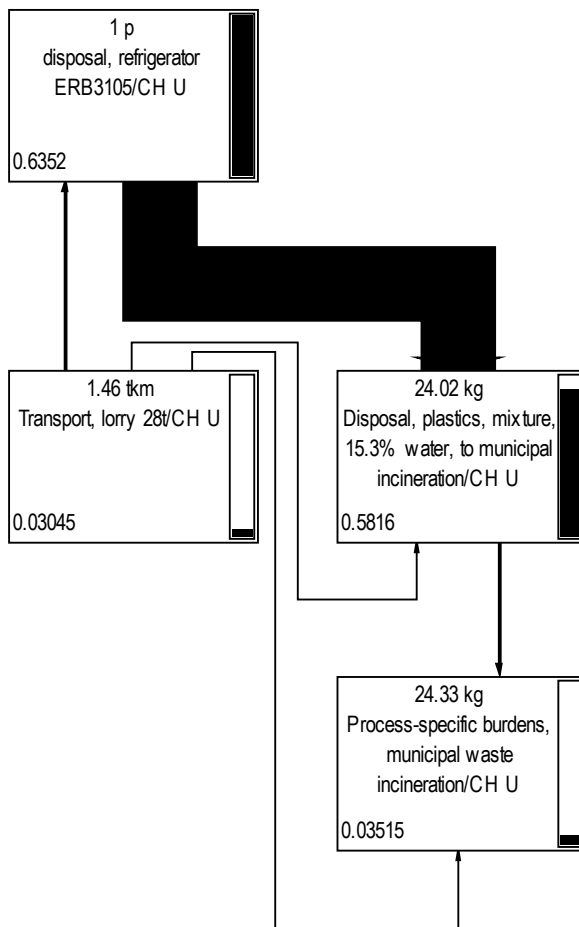


Abb. 3.9: Bewertung der Entsorgung des Kühlschranks mit Eco-indicator 99 -Punkten (H,A). Die Dicke der Pfeile zeigt den relativen, kumulierten Beitrag der Elemente.

3.3 Sensitivitätsanalyse Strommix

Der folgende Abschnitt untersucht den Einfluss des Strommix auf die Gesamtumweltbelastung des Kühlschranks. Für den Betriebsstrom wird anstatt des Schweizer Strommix der Europäische (UCTE-Verbund) zugrunde gelegt. Mit UCTE-Strom erhöhen sich die Umweltbelastungen um 20% bis 80% (Abb. 3.10) aufgrund des höheren Anteils an fossilen Energieträgern im europäischen Strommix.

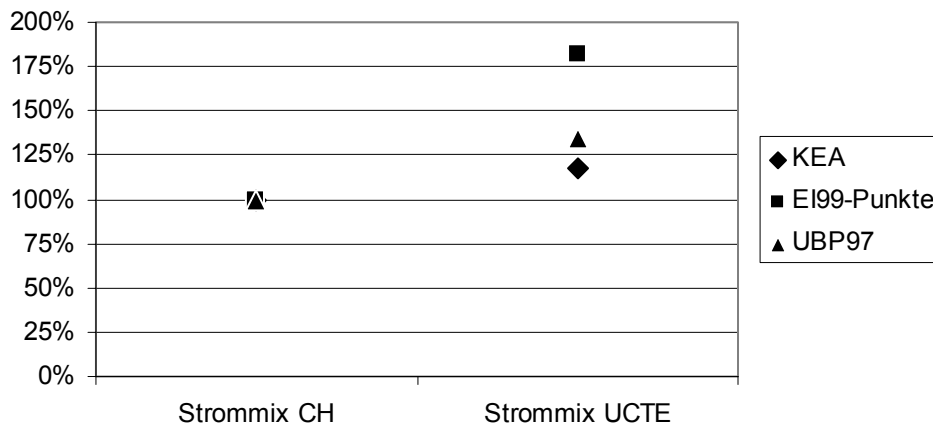


Abb. 3.10: Einfluss des Strommix zur Bereitstellung des Betriebsstrombedarfs auf die Gesamtumweltbelastung des Lebenszyklus des Kühlschranks, bewertet mit Kumuliertem Energieaufwand (KEA), Eco-indicator 99 (EI99) und Ökologischer Knappheit 1997 (UBP97). UCTE: West- und Zentraleuropäischer Stromverbund.

Die Nutzungsphase gewinnt mit dem UCTE-Strommix an Bedeutung, da dieser Strommix von allen Methoden aufgrund des höheren Anteils an fossilen Energieträgern höher bewertet wird als Schweizer Strom. Abb. 3.11 verdeutlicht, dass die Bedeutung der Herstellungsphase sich je nach Bewertungsmethode im Bereich von 3 bis 30% reduziert. Bei der Eco-indicator-Methode wird zudem die Betriebsphase zum bedeutenderen Lebenszyklusabschnitts als die Herstellungsphase, wenn statt dem Schweizer der UCTE-Strommix als Betriebsstrom verwendet wird.

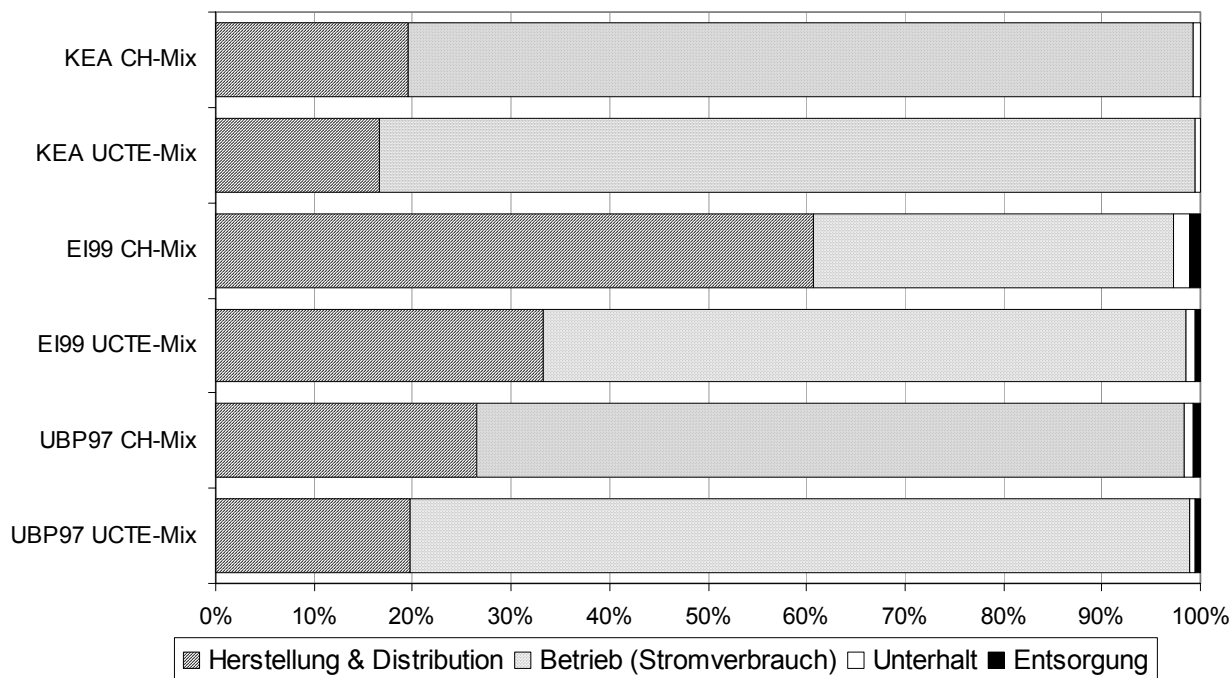


Abb. 3.11: Einfluss des Strommix auf die Bedeutung der einzelnen Lebensphasen für die drei Methoden Kumulierter Energieaufwand (KEA), Eco-indicator 99 (EI99) und Ökologische Knappheit 1997 (UBP97).

4 Diskussion und Empfehlungen

Die Ökobilanz des Kühlschranks zeigt folgende Erkenntnisse:

- 1) **Die in früheren Untersuchungen zur "Grauen Energie" weisser Ware gewonnenen Erkenntnisse werden bestätigt.**

Die Herstellung und Distribution des Kühlschranks verursachen 20% des gesamten kumulierten Energieaufwandes. Der Stromverbrauch während der Nutzungsphase des Kühlschranks prägt mit einem Anteil von knapp 80% die Primärenergiebilanz. Dieses Ergebnis deckt sich mit früheren Analysen, die auf Energieindikatoren beruhen.

- 2) **Die umfassendere Betrachtung der Umweltbelastungen mit den Methoden Eco-indicator 99 und Ökologische Knappheit 1997 zeigt eine höhere Bedeutung der Herstellungsphase**

Herstellung und Unterhalt des Kühlschranks gewinnen bei der Bewertung mit den Methoden Eco-indicator 99 und Ökologische Knappheit 1997 an Bedeutung. Mit Eco-indicator 99 wird die Herstellung und Distribution sogar die wichtigste Lebensphase. Ein wesentlicher Grund für die reduzierte Bedeutung des Betriebsstrombedarfes liegt im zugrunde gelegten Schweizer Strommix (inkl. Stromhandel), der ausgedrückt in Eco-indicator-Punkten eine relativ tiefe spezifische Umweltbelastung aufweist. Bei Verwendung des UCTE-Strommix ist jedoch die Betriebsphase auch bei der Bewertung mit Eco-indicator 99 wichtiger als Herstellung und Distribution. Ein weiterer Grund für die stärkere Bedeutung der Herstellung ist der Einbezug der Schwermetall-Emissionen, die bei der Gewinnung und Herstellung von Stahl und Kupfer anfallen. Eine Betrachtung auf der Basis von Energieindikatoren (kumulierter Energie-

aufwand) tendiert also dazu, die Bedeutung der Geräteherstellung bezüglich Umweltbelastungen zu unterschätzen.

3) Die Metallkomponenten prägen die Ökobilanz der Herstellung des Kühlschranks.

Die Auswertung der Ökobilanz mit der Methode des Kumulierten Energieaufwandes zeigt, dass neben dem Stahl auch Polystyrol wichtig ist. Bei den Methoden Eco-indicator 99 und Ökologische Knappheit 1997 sind die Metallkomponenten (Kupfer und Stahl) deutlich wichtiger als Polystyrol. Der Bedarf an Stahl und Kupfer trägt zu rund einem Drittel der Gesamtumweltbelastung bei.

4) Die Sensitivitätsanalyse zeigt die grosse Bedeutung des Stromverbrauchs im gesamten Lebenszyklus.

Das Gesamtergebnis wird durch den Strommix stark mitgeprägt. So erhöht sich die Umweltbelastung um 20% bis 80% bei der Verwendung von UCTE-Strom statt Schweizer Strom im Betrieb. Der Stromverbrauch während der Betriebsphase ist in fünf von sechs Auswertungen (2 Strommixe, 3 Methoden), der bedeutendste Lebenszyklusabschnitt des Kühlschranks.

5) Die ökologische Rückzahldauer erhöht sich bei einer umfassenderen Betrachtung der Umweltbelastungen.

Die Bewertung des gesamten Lebenszyklus des Kühlschranks zeigt eine erhöhte Bedeutung des Herstellungsaufwandes des Gerätes bei den Methoden Eco-indicator 99 und Ökologische Knappheit 1997. Dadurch resultiert auch eine höhere ökologische Rückzahldauer als bei der alleinigen Betrachtung der grauen Energie. Bei der Frage des rechtzeitigen Ersatzes aus Umweltsicht spielt das Gerät selber bzw. seine Herstellung eine wichtige Rolle.

6) Die Ergebnisse der Ökobilanz für den Kühlschrank sind vergleichbar mit denjenigen eines Waschautomaten.

Bei beiden Geräten ist die Nutzungsphase bezüglich Kumuliertem Energieaufwand die wichtigste Phase. Dies gilt auch für eine Bewertung der Umweltbelastung wenn für den Betriebsstrom der UCTE-Strommix statt des Schweizer Strommix zu Grunde gelegt wird. Die Herstellung der Geräte ist bei einer umfassenden Betrachtung der Umweltbelastungen auf der Basis des Eco-indicators 99 und der Methode der ökologischen Knappheit 1997 ebenfalls sehr wichtig. Unterhalt und Entsorgung des Kühlschranks wie auch des Waschautomaten sind hingegen von geringer Bedeutung. Für die Frage des rechtzeitigen Ersatzes sind für Geräte der Energieeffizienzklasse A+ und A++ relativ genaue Ökobilanzinformationen zu deren Herstellung erforderlich.

Anhang: Berechnungsgrundlagen

Diese Tabellen zeigen die Werte, die als Grundlage für die Berechnungen dienen. Die Spalte „Location“ gibt das Land oder die Region an, für das der Datensatz gültig ist (CH=Schweiz, RER=Europa). Die Spalte „Infrastructure Process“ gibt an, ob es sich um ein Infrastruktur-Datensatz handelt (1=Infrastruktur-Datensatz, 0=kein Infrastruktur-Datensatz). Als Infrastruktur-Datensätze gelten beispielsweise der Kühlschrank (nicht aber die Produktionsprozesse zu dessen Herstellung), die elektronischen Komponenten, oder das Produktionswerk. Diese Infrastruktur-Datensätze werden in der Regel für eine Einheit (1 Gerät, ein Produktionsstandort) und nicht pro kg berechnet.

Der Datensatz der Produktion in der Firma Electrolux ("manufacturing process, refrigerator ERB3105 / RER / unit") kann aus Gründen der Geheimhaltung hier nicht gezeigt werden.

Nutzung des Kühlschranks beim Kunden

	Name	Location	Infrastructure	Unit	operation, refrigerator ERB3105
	Location InfrastructureProcess Unit				CH 0 a
product	operation, refrigerator ERB3105	CH	0	a	1.00E+0
technosphere	refrigerator ERB3105, at consumer	CH	0	unit	6.6667E-2
	electricity, low voltage, at grid	CH	0	kWh	1.9400E+2
	maintenance, refrigerator ERB3105	CH	0	unit	1.0000E-1
	disposal, refrigerator ERB3105	CH	0	unit	6.6667E-2
emission air, high population density	Butane	-	-	kg	8.7200E-4
	Pentane	-	-	kg	9.8933E-4
	Heat, waste	-	-	MJ	6.98E+2

Herstellung des Kühlschranks

	Name	Location	Infrastructure	Unit	refrigerator, ERB3105
	Location InfrastructureProcess Unit				RER 1 unit
product	refrigerator, ERB3105	RER	1	unit	1.00E+0
technosphere	acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer, ABS, at plant	RER	0	kg	6.98E-01
	aluminium, production mix, wrought alloy, at plant	RER	0	kg	1.40E+00
	compressor, refrigerator ERB3105	RER	1	unit	1.00E+00
	copper, at regional storage	RER	0	kg	9.74E-01
	pentane, at plant	RER	0	kg	4.24E-01
	flat glass, uncoated, at plant	RER	0	kg	5.24E+00
	tempering, flat glass	RER	0	kg	5.24E+00
	chemicals organic, at plant	GLO	0	kg	1.26E+00
	polystyrene, expandable, at plant	RER	0	kg	1.60E+00
	polystyrene, high impact, HIPS, at plant	RER	0	kg	8.50E+00
	synthetic rubber, at plant	RER	0	kg	2.69E-01
	glass fibre reinforced plastic, polyamide, injection moulding, at plant	RER	0	kg	2.70E-01
	polyethylene, HDPE, granulate, at plant	RER	0	kg	1.37E-01
	polyols, at plant	RER	0	kg	4.05E+00
	polypropylene, granulate, at plant	RER	0	kg	6.16E-01
	polystyrene, general purpose, GPPS, at plant	RER	0	kg	1.06E+00
	styrene-acrylonitrile copolymer, SAN, at plant	RER	0	kg	4.35E+00
	methylene diphenyl diisocyanate, at plant	RER	0	kg	5.85E+00
	coating powder, at plant	RER	0	kg	3.78E-01
	propane/ butane, at refinery	CH	0	kg	2.18E-01
	reinforcing steel, at plant	RER	0	kg	4.12E+01
	sheet rolling, steel	RER	0	kg	4.12E+01
	powder coating, steel	RER	0	m2	3.95E+00
	steel, electric, un- and low-alloyed, at plant	RER	0	kg	5.44E+00
	electronic components, washing machine, at plant	CH	1	unit	7.37E-01
	silver, from combined gold / silver production, at regional storage	RER	0	kg	2.52E-04
	tin, at regional storage	RER	0	kg	6.95E-03
	epoxy resin, liquid, at plant	RER	0	kg	2.95E-01
	manufacturing process, refrigerator ERB3105	RER	0	unit	1.00E+00
	transport, lorry 32t	RER	0	tkm	6.00E+01
	transport, freight, rail	RER	0	tkm	1.93E+01

Auslieferung des Kühlschranks zum Kunden (Distribution)

Explanations	Name	Location	Infrastructu reProcess	Unit	refrigerator ERB3105, at consumer	
					Location	CH
					InfrastructureProcess Unit	0 unit
product	refrigerator ERB3105, at consumer	CH	0	unit	1.0000E+00	
technosphere	packaging, corrugated board, mixed fibre, single wall, at plant	CH	0	kg	2.5000E+00	
	transport, lorry 32t	RER	0	tkm	4.8250E+01	
	refrigerator, ERB3105	RER	1	unit	1.0000E+00	

Unterhalt des Kühlschranks

Explanations	Name	Location	Infrastructu reProcess	Unit	maintenance, refrigerator ERB3105	
					Location	CH
					InfrastructureProcess Unit	0 unit
product	maintenance, refrigerator ERB3105	CH	0	unit	1.0000E+00	
technosphere	transport, van <3.5t	CH	0	tkm	6.8000E+00	
	polystyrene, high impact, HIPS, at plant	RER	0	kg	2.5000E-01	
	disposal, polystyrene, 0.2% water, to municipal incineration	CH	0	kg	2.5000E-01	

Entsorgung des Kühlschranks

Explanations	Name	Location	Infrastructu reProcess	Unit	disposal, refrigerator ERB3105	
					Location	CH
					InfrastructureProcess Unit	0 unit
product	disposal, refrigerator ERB3105	CH	0	unit	1.0000E+00	
technosphere	disposal, plastic, industr. electronics, 15.3% water, to municipal incineration	CH	0	kg	2.9825E-01	
	disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to municipal incineration	CH	0	kg	2.4265E+01	
	transport, freight, rail	RER	0	tkm	5.0400E-01	
	transport, lorry 28t	CH	0	tkm	1.2133E+00	
	transport, lorry 32t	RER	0	tkm	3.3600E-01	
emission air, high population density	Butane	-	-	kg	2.05E-02	
	Pentane	-	-	kg	4.09E-02	

Die Tabellen auf den 2 folgenden Seiten beinhalten beschreibende Informationen zu in den vorherigen Tabellen dargestellten Berechnungsgrundlagen. Im Datensatz beinhaltete Prozesse, Annahmen, geographische und zeitliche Gültigkeit, etc. werden pro Datensatz angegeben.

Name	compressor, refrigerator ERB3105	refrigerator, ERB3105	operation, refrigerator ERB3105	maintenance, refrigerator ERB3105
Location InfrastructureProcess Unit	RER 1 unit	RER 1 unit	CH 0 a	CH 0 unit
IncludedProcesses	This data set includes material use, energy use and thinner emissions of the production of a compressor.	This data set includes the material and energy use as well as transport and process emissions of the production of a refrigerator. It doesn't include electricity requirements and emissions of the use phase. It includes the import of the device from Europa to Switzerland.	This data set includes energy use in operation, infrastructure (requirements of production) and process and operation emissions of a refrigerator.	This process includes transport requirements for the maintenance of one refrigerator during ten years as well as the requirements for production and disposal of replacement parts.
Amount	1	1	1	1
LocalName	Kompressor, Kühlschrank ERB3105	Kühlschrank, ERB3105	Betrieb, Kühlschrank ERB3105	Unterhalt, Kühlschrank ERB3105
Synonyms				
GeneralComment	Material use is actual data from a household device producing company. Energy use and air emissions of manufacture are taken from literature (1996). Standard distances are used for the transport of materials. Losses of metals are assumed to be recycled, plastic production's losses are assumed to be burnt in an incineration plant.	Material use, energy consumption, waste and emissions (air and water) from manufacture are actual data from a household device producing company. The Infrastructure is taken from another household device producing plant. Standard distances are used for the transport of materials. 10% of the rest of blowing agent and refrigerant are assumed to be emitted by the disposal, the rest is recovered. Losses of metals are assumed to be recycled, plastic production's losses are assumed to be burnt in an incineration plant. Life time is assumed to be 15 years.	Data on energy use is actual, emissions data are assumptions from literature (1996). Life time of device is assumed to be 15 years.	Data is based on average measurements of a household device company for the maintenance of washing machines in one year.
InfrastructureIncluded	1	1	1	1
Category	private consumption	private consumption	private consumption	private consumption
SubCategory	household devices	household devices	household devices	household devices
LocalCategory	Privater Konsum	Privater Konsum	Privater Konsum	Privater Konsum
LocalSubCategory	Haushaltsgeräte	Haushaltsgeräte	Haushaltsgeräte	Haushaltsgeräte
Formula				
StatisticalClassification				
CASNumber				
StartDate	1996	1996	2004	2003
EndDate	2004	2004	2004	2003
DataValidForEntirePeriod	1	1	1	1
OtherPeriodText	Energy use and air emissions of manufacture are taken from literature (1996).	Water use and air emissions of manufacture are from literature (1996).	Emissions data are assumptions from literature (1996).	The data refers to the production year 2003.
Text	Data stems from a Swedish company.	Data stems from a Swedish company.	Data stems from a Swedish company.	Data stems from a Swiss company.
Text	Conventional compressor (Rankine princip)	A++ device	A++ device	A++ device
Percent	0	0	0	0
ProductionVolume	unknown	unknown	unknown	unknown
SamplingProcedure	unknown	unknown	unknown	unknown
Extrapolations	none	none	none	none

Name	disposal, refrigerator ERB3105	refrigerator ERB3105, at consumer	manufacturing process, refrigerator ERB3105
Location InfrastructureProcess Unit	CH 0 unit	CH 0 unit	CH 0 unit
IncludedProcesses	This process includes requirements for the disposal of one refrigerator.	This process includes the transport to the consumer in Switzerland as well as packaging requirements.	This process encompasses the general manufacturing requirements to produce one refrigerator
Amount	1	1	1
LocalName	Entsorgung, Kühlschrank ERB3105	Kühlschrank, ERB3105, ab Kunden	Produktionsaufwand, Kühlschrank ERB3105
Synonyms			
GeneralComment	The process assumes that metal parts are recycled, whereas plastic parts are incinerated. Electronic parts are exported to Sweden, where they are melted and the metal recuperated.	This process includes the transport to the retailer in Switzerland as well as packaging requirements. The import of the refrigerator is calculated with lorry (500 km). Data for packaging is based on data for a washing machine.	This process includes the production and disposal processes as well as emissions, which are directly connected to the assembling of the refrigerator. It excludes the components itself and the factory building.
InfrastructureIncluded	1	1	1
Category	private consumption	private consumption	private consumption
SubCategory	household devices	household devices	household devices
LocalCategory	Privater Konsum	Privater Konsum	Privater Konsum
LocalSubCategory	Haushaltsgeräte	Haushaltsgeräte	Haushaltsgeräte
Formula			
StatisticalClassification			
CASNumber			
StartDate	2004	2003	2004
EndDate	2004	2003	2004
DataValidForEntirePeriod	1	1	1
OtherPeriodText		The data refers to the production year 2003.	The data refers to the production year 2003.
Text	Data stems from a Swiss company.	Swiss production plant.	Data stems from a Swedish company.
Text	A++ device	A++ device	A++ device
Percent	0	0	0
ProductionVolume	unknown	unknown	unknown
SamplingProcedure	unknown	unknown	unknown
Extrapolations	none	none	none

Anhang: Erläuterung zu den Flussdiagrammen

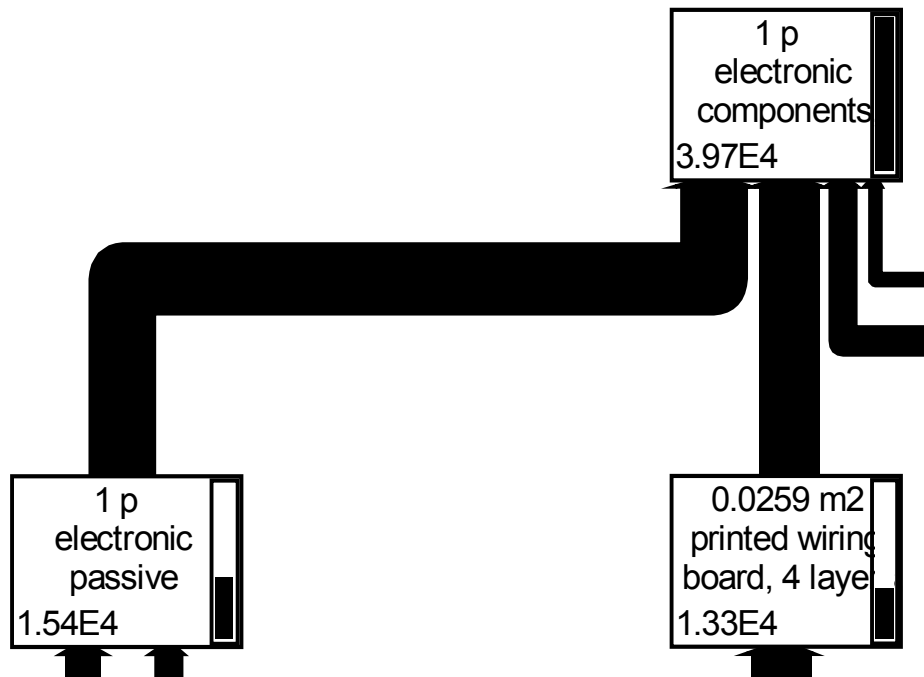


Abb. A.1: Ausschnitt eines Flussdiagramms aus SimaPro 6.0

Die Kästchen in den mit SimaPro 6.0 erzeugten Flussdiagrammen enthalten die folgenden Informationen (siehe Abb. A.1):

In der obersten Zeile steht die jeweilige Bezugsgrösse beziehungsweise die Menge, die vom nachgelagerten Datensatz bezogen wird. Im Beispiel bezieht 1 Einheit (1 p) "electronic components" 1 Einheit (1 p) "electronic passive" und 0.0259 m² "printed wiring board, 4 layers".

Im Kästchen unten links steht jeweils der Beitrag des Prozesses am Gesamtergebnis, entweder in absoluten Werten (wie in diesem Beispiel) oder als Prozentangabe. Der vertikale Balken rechts im Kästchen veranschaulicht diese Information.