

Initiiert und gefördert durch:



Sonderausgabe vf bifa-Text Nr. 71

# Ökobilanz und Bauchgefühl: Was schnellem Urteil leicht entgeht

Dr. Siegfried Kreibe, Thorsten Pitschke, Matthias Seitz, René Peche



**Impressum**

Alle Rechte (insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung sowie der Übersetzung) sind vorbehalten. Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Kein Teil der bifa-Texte darf in irgendeiner Form ohne Genehmigung der Herausgeber reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme gespeichert, verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

**Herausgeber**

bifa Umweltinstitut GmbH  
Am Mittleren Moos 46  
86167 Augsburg

**Verfasser**

Dr. Siegfried Kreibe, Thorsten Pitschke, Matthias Seitz,  
René Peche (bifa Umweltinstitut GmbH)

Initiiert und gefördert durch vf bifa e. V.

**Druck**

bis500

1. Auflage 2022

© bifa Umweltinstitut GmbH





Sonderausgabe vf bifa-Text Nr. 71

# Ökobilanz und Bauchgefühl: Was schnellem Urteil leicht entgeht

Dr. Siegfried Kreibe, Thorsten Pitschke, Matthias Seitz, René Peche

Initiiert und gefördert durch:





## INHALTSVERZEICHNIS

1	Zusammenfassung	1
2	Warum dieser bifa-Text?	2
3	Alle reden darüber – das muss wichtig sein!	4
4	Diese Verpackungsflut – eine Katastrophe!	10
5	Weite Transportstrecken – Umweltsünde!	14
6	Recycling – das ist die Rettung!	17
7	Mehrweg – immer die beste Lösung!	22
8	Ökobilanzen? – Damit kann man alles beweisen!	28
9	Einmal schlecht – immer schlecht!	32
10	Ökobilanzen – die ganze Wahrheit!	35
11	Fazit	39
	Literatur	40
	Abbildungsverzeichnis	42
	Tabellenverzeichnis	44



## 1 Zusammenfassung

In Diskussionen rund um Vorträge und Presseinterviews, Gesprächen mit Kunden oder Forschungspartnern begegnen uns immer wieder Fehleinschätzungen, die bei schneller Einordnung von ökologischen Effekten und Ökobilanzergebnissen auftreten. In diesem bifa-Text diskutieren wir einige häufiger auftretende Beispiele dieser ökologischen Bewertung „aus dem Bauch heraus“.

So wird der tatsächliche ökologische Stellenwert von Themen dann gerne überschätzt, wenn sie in der Öffentlichkeit längere Zeit intensiv diskutiert werden. In Kapitel drei zeigen wir dies am Beispiel von Seltenen Erden und Plastiktüten.

Wer sich nicht intensiv um die Vermeidung von Verpackungen bemüht, sieht im eigenen Haushalt täglich, dass ansehnliche Mengen davon entsorgt werden. Insbesondere Verpackungen haben dabei ein ausgesprochen schlechtes Umweltimage. Kapitel vier ist einer realistischen Einordnung der ökobilanziellen Bedeutung von Verpackungen und im Speziellen von Kunststoffverpackungen gewidmet.

Zu Land, in der Luft und im Wasser werden gewaltige Mengen an Gütern über riesige Strecken transportiert, und das in aller Regel unter Einsatz fossiler Treibstoffe. Entsprechend laut schallen die ökologischen Schuldzuweisungen. Die Bedeutung von Gütertransporten für die Umwelt ist nicht zu leugnen, aber Kapitel fünf erleichtert eine realitätsnahe Einschätzung zu ihrer Bedeutung in Produktökobilanzen.

Der Rohstoffverbrauch wächst seit Jahrzehnten exponentiell. Recycling könnte die Rettung sein, denn es hält Rohstoffe im Kreislauf. Gewiss leistet Recycling einen wichtigen Beitrag zur Reduzierung des Rohstoffverbrauchs. Wir sollten aber auch die Grenzen seiner ökologischen Entlastungswirkung im Blick behalten. Kapitel sechs stellt dies an konkreten Beispielen dar.

Mehrwegprodukte vermeiden mit jedem Einsatz die Herstellung eines Einwegproduktes. Die Vorteile scheinen auf der Hand zu liegen. Tatsächlich muss ein ökologischer Vergleich von Einweg- und Mehrweglösungen aber für jeden Einzelfall separat erfolgen. Kapitel sieben erläutert die Zusammenhänge und zeigt an Beispielen, warum Mehrweglösungen auch schlechter sein können, und warum die Unterschiede zu Einweglösungen oft gar nicht so groß sind.

Dass man mit Ökobilanzen jedes beliebige Wunschergebnis errechnen könne, ist ein häufiger Vorwurf. Wie jede Bilanz, kann auch die Ökobilanz gefälscht werden. Kapitel acht zeigt, dass der Eindruck der Beliebbarkeit oft eher auf einen Vergleich von Ökobilanzen zurückzuführen ist, die unterschiedliche Dinge untersuchen oder dass Ergebnisse verglichen werden, die nicht auf fundierten Ökobilanzen beruhen, sondern nur auf Abschätzungen zu Teilaspekten.

Kapitel neun ist ein Plädoyer dafür, Ergebnisse von Ökobilanzen nicht als ewige Wahrheiten zu betrachten, denn die bilanzierten Gegenstände wie Produkte oder Prozess können verändert werden, um ihre ökologische Performance zu verbessern. Auch Änderungen im Umfeld des bilanzierten Gegenstandes können die Ergebnisse erheblich beeinflussen, wie am Beispiel des wachsenden Anteils erneuerbarer Energien gezeigt wird.

Kapitel zehn zeigt schließlich die blinden Flecken der Ökobilanzierung. Sie misst weder wirtschaftliche noch soziale Aspekte. Sie deckt aber auch die Vielzahl ökologischer Effekte nicht vollständig ab. Nach wie vor gibt es wichtige Umweltwirkungen, die in der Ökobilanz methodisch noch nicht belastbar quantifiziert werden können.

Die Ausarbeitung dieses bifa-Textes war nur möglich durch großzügige Unterstützung des Fördervereins der bifa Umweltinstitut GmbH, vf bifa e. V. Wir bedanken uns herzlich für die finanzielle Unterstützung und für die begleitende kritische Diskussion.

## 2 Warum dieser bifa-Text?

Seit mehr als 25 Jahren ist Ökobilanzierung ein wichtiger Arbeitsschwerpunkt des bifa Umweltinstituts. Neben der Ökobilanz im engeren Sinne gehören zu diesem Bereich auch Analysemethoden wie etwa die Treibhausgasbilanz oder die Ökoeffizienzanalyse, in der wir die Ergebnisse ökobilanzieller und betriebswirtschaftlicher Betrachtungen zusammenführen. Wir haben zahlreiche Ökobilanzierungsprojekte im Auftrag von öffentlichen und privatwirtschaftlichen Auftraggebern bearbeitet. Häufig sind Ökobilanzen aber auch unterstützende Bausteine in Projekten anderer bifa-Kompetenzfelder. Die Themen, zu denen am bifa Ökobilanzen erarbeitet wurden, sind äußerst vielfältig. So wurden beispielsweise Photovoltaik-Module, Verpackungen, Verfahren der Bioabfallbehandlung, Strategien der kommunalen Wertstofffassung, IT-Hardware, Papierprodukte, Klinikprodukte oder innovative Prozess- und Verfahrensvarianten bilanziert.

Dieser Text ist keine Einführung in die Methodik der Ökobilanzierung. Er wird sich auch nicht mit bilanztheoretischen Fragen befassen, die für die Weiterentwicklung der Methodik sehr wichtig, aber für Nicht-Bilanzierer oft etwas anstrengend sind. Unser Ziel ist eine leicht verständliche Darstellung verbreiteter Fehleinschätzungen mit anschaulichen Beispielen und Hintergrundinformationen.

In Diskussionen rund um Vorträge und Presseinterviews, Gesprächen mit Kunden oder Forschungspartnern begegnen uns immer wieder solche Fehleinschätzungen, die bei schneller Einordnung von ökologischen Effekten und Ökobilanzergebnissen auftreten. In diesem bifa-Text diskutieren wir einige häufiger vorkommende Beispiele dieser ökologischen Bewertung „aus dem Bauch heraus“.

Die Beispiele in diesem Text beruhen zu einem großen Teil auf veröffentlichten Ergebnissen anderer Autoren. bifa verfügt zu allen Kapiteln des Textes über eigene Ökobilanz-Erfahrungen. Leider dürfen wir aber über viele Ergebnisse nicht öffentlich berichten. Vor allem im Auftrag von Unternehmen erarbeitete Ökobilanzen ermöglichen oft einen Einblick in sensible und wettbewerbsrelevante Zusammenhänge. Sie sind daher häufig vertraulich. Verpackungen, Produkte, Transportmittel und selbst Rohstoffgewinnungs- und Werkstoffherstellungsprozesse kommen in einer Vielzahl an Varianten vor. Die zu den Beispielen in diesem Text genannten Werte können daher größere Spannweiten haben. Es sind tatsächlich nur Beispiele.

Bevor wir zu den ersten Bauchgefühlen kommen, werden wir nun den prinzipiellen Ablauf der Ökobilanzierung kurz erläutern.

Die Ökobilanz analysiert die Umweltwirkungen z. B. eines Produkts oder eines Verfahrens anhand der Input- / Outputflüsse entlang seines gesamten Lebensweges. Ökobilanzen bewerten also nicht nur das eigene Handeln, sondern auch die vor- oder nachgelagerten Lebenswegstufen. Dabei werden sowohl die Entnahme von Rohstoffen als auch Stoffeinträge in die Umweltmedien Wasser, Luft und Boden bewertet.

Zunächst müssen das Ziel und der Rahmen der Ökobilanz so präzise wie möglich konkretisiert werden. Es gilt festzulegen, welche Fragen die Ökobilanz beantworten soll und welche Aspekte dabei einbezogen werden müssen. Im Anschluss werden über den gesamten Lebensweg Daten gesammelt, die als Input-/Outputbilanz beschreiben, welche Stoffe der Umwelt entnommen oder an sie abgegeben werden. Dieses Inventar wird dann in verschiedenen Umweltwirkungen ausgewertet. Abschließend erfolgen die Bewertung der Ergebnisse und die Beurteilung der Auswirkungen.

Ökobilanzen sollten immer mehrere Umweltwirkungen analysieren, um ein möglichst vollständiges ökologisches Bild zu zeichnen. Es gibt keine verbindlichen Vorgaben, welche konkreten Umweltwirkungen betrachtet werden sollten. Eine aktuelle und fundierte Empfehlung zu relevanten Wirkungskategorien gibt die Europäische Kommission im Rahmen der „Environmental Footprint“-Initiative. Die dort empfohlenen Wirkungskategorien sind in Tabelle 1 dargestellt. Auf Basis einer Stakeholder-Befragung wurden von dieser Initiative außerdem Gewichtungsfaktoren ermittelt, die eine Priorisierung der Umweltwirkungen abbilden (JRC (2018)). Die Wirkungskategorie mit der höchsten Gewichtung ist der Klimawandel. Dies spiegelt die große Resonanz wider, die dieser Wirkung in der gesellschaftlichen Diskussion zukommt. Ein umweltfreundliches Produkt oder Verfahren muss heute in erster Linie eine klimafreundliche Lösung sein.

Vor diesem Hintergrund sind auch in diesem Text viele Sachverhalte beispielhaft anhand des Klimawandels illustriert. Diese Verkürzung sei uns nachgesehen. Uns ist bewusst, dass zu einer vollständigen und ausgewogenen Ökobilanz weitere Umweltwirkungen gehören.

*Tabelle 1: Wirkungskategorien und empfohlene Gewichtungsfaktoren ohne toxizitätsbezogene Wirkungskategorien, empfohlen von der Europäischen Kommission im Rahmen der „Environmental Footprint“ Initiative. Quelle: JRC (2018)*

<b>Wirkungskategorien</b>	<b>Gewichtungsfaktoren Normierung auf 100</b>
Klimawandel	22,19
Feinstaub	9,54
Wasserknappheit	9,03
Ressourcenverbrauch, fossile Energieträger	8,92
Landnutzung	8,42
Ressourcenverbrauch, Minerale und Metalle	8,08
Ozonabbau	6,75
Versauerung	6,64
Ionisierende Strahlung	5,37
Photochemische Ozonbildung (Sommersmog)	5,10
Eutrophierung Böden	3,91
Eutrophierung Meeresgewässer	3,11
Eutrophierung Binnengewässer	2,94

### 3 Alle reden darüber – das muss wichtig sein!

#### 3.1 Bauchgefühle

Vieles begegnet uns immer wieder und doch nehmen wir es kaum wahr. Nicht jeder hat Freude an der Vielfalt von Flora und Fauna. Nur wer sie kennt, sieht sie auch. Dem Gräserforscher ist die Welt voller Süß- und Sauergräser, vom Wiesenschweidel bis zur Quecke, vom Ruchgras bis zur Weichen Trespe. Der Durchschnittsmensch sieht nur Wiese. Andere Dinge hingegen drängen sich förmlich auf, weil sie kaum zu übersehen sind. Wer interessiert sich nicht für ein Gewitter, wenn es unter freiem Himmel über ihn hereinbricht?

Und so geht es uns auch mit ökologischen Themen: Wichtig erscheint uns zunächst das, worüber viel geredet und geschrieben wird, selbst wenn es im Alltag kaum wahrnehmbar ist. Auch Unscheinbares kann so Bedeutung erlangen:

Immerzu war in Zeitung, Radio und Fernseher von diesen Seltenen Erden zu hören, die in Elektronikprodukten enthalten sind. Unter großen Umweltbelastungen werden sie aus dem Boden geholt. In einer Unzahl von Elektronikprodukten werden diese seltenen Metalle verwendet und irgendwann gibt es nichts mehr davon! Da muss doch etwas unternommen werden!

Noch wichtiger erscheinen uns Dinge, über die viel geredet wird und mit denen wir auch noch häufig umgehen:

Ständig hatten wir diese Plastiktüten in der Hand, überall lagen sie herum – in Mülltonnen, Papierkörben, Schubfächern. Alle Welt schrieb und redete über Milliarden von Plastiktüten, die jedes Jahr in Deutschland verbraucht werden. Das sind gewaltige Mengen! Für die Umwelt ist das eine Katastrophe! Aber zum Glück gab es nach einer Selbstverpflichtung des Handels an den Supermarktkassen immer weniger von diesen leichten Plastiktüten. Seit 2022 sind sie in Deutschland endlich verboten. Das ist ein großer Erfolg!

#### 3.2 Genauer betrachtet

Schauen wir uns diese beiden Beispiele, die in den letzten Jahren viel Aufmerksamkeit gefunden haben, einmal etwas genauer an, und versetzen wir uns in die Rolle von Ökobilanzierern. Die haben dazu einigen Fragen, denen wir nachgehen wollen.

##### Plastiktüten

Welche Frage stellen sich Ökobilanzierern, wenn sie auf den Erfolg der Plastiktütenvermeidung schauen?

Zunächst ist wichtig, mit welchen Stoffflüssen, also mit welcher Menge an Plastiktüten wir es zu tun haben und in welchem Umfang diese Menge reduziert werden konnte. Die große öffentliche Aufmerksamkeit für das Thema hat wirksame Maßnahmen ausgelöst. Tatsächlich sank der Pro-Kopf-Verbrauch leichter Plastiktüten von 2015 bis 2019 in Deutschland von jährlich 68 auf 18 Tüten. In absoluten Zahlen war das eine Verringerung von 5,6 Mrd. auf 1,49 Mrd. Stück. Das ist ein eindrucksvolles Ergebnis. Wie groß ist nun der ökologische Effekt dieser Plastiktütenvermeidung? Nehmen wir als Beispiel wieder die Auswirkungen auf den Klimaschutz. Fünfundzwanzig vermiedene Tüten pro Kopf mit einem Gewicht von je 25 g entsprechen etwa 2,3 kg CO<sub>2</sub>. Das entspricht ungefähr dem CO<sub>2</sub>-Effekt von 13 Pkw-Kilometern pro Person und Jahr. Das ist mehr als nichts, klingt aber schon viel weniger eindrucksvoll als die schiere Zahl an vermiedenen Tüten. Inzwischen sind diese Plastiktüten ganz verboten. Damit werden zwar auch die letzten 18 Tüten pro Kopf vermieden. Dennoch bleibt der Effekt sehr überschaubar.

Nun war der Treiber der öffentlichen Debatte zu diesem Thema weniger der Klimawandel als vielmehr die Reduzierung des Eintrags von Kunststoffen in die Umwelt. Wie groß ist nun hier der Effekt der Plastik-

tütenvermeidung, letztlich für die Reduzierung von Mikroplastik? Wenn wir von einer durchschnittlichen Kunststoffmenge von 25 g pro Plastiktüte ausgehen, wurde die Menge in Deutschland von 141.389 t im Jahr 2015 auf 36.981 t im Jahr 2019 reduziert. Auch diese eindrucksvoll wirkende Zahl relativiert sich, wenn wir sie ins Verhältnis zum Gesamt-Kunststoffverbrauch in Deutschland setzen (s. Abbildung 1).

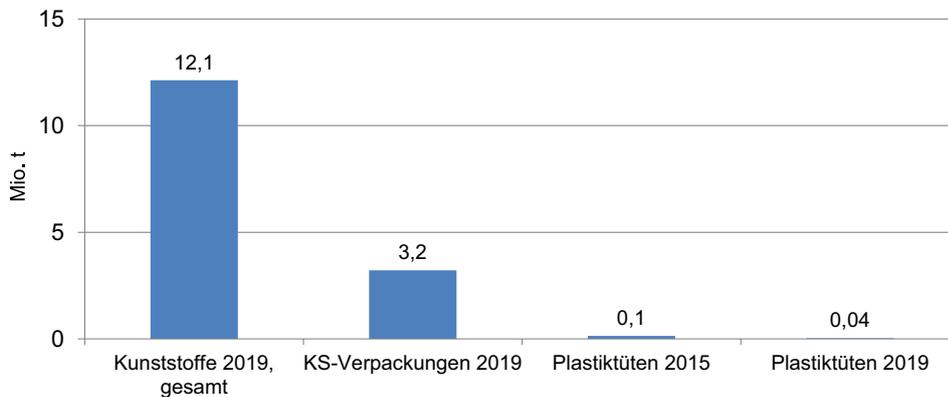


Abbildung 1: Verbrauch von Kunststoffen in Deutschland 2019. Quelle: Conversio (2020) und eigene Berechnungen (KS = Kunststoff).

Das Plastiktütenverbot betrifft also nur ein Segment des Kunststoff-Marktes von weniger als einem Prozent. Auch der Anteil der Plastiktüten an der gesamten Kunststoffverpackungsmenge liegt nur bei etwa drei Prozent. Noch ernüchternder werden die Effekte des Plastiktütenverbots, wenn wir uns fragen, aus welchen Quellen in Deutschland Kunststoffe in die Umwelt eingetragen werden. Hierzu muss berücksichtigt werden, welchen Weg Kunststoffe und Kunststoffabfälle üblicherweise nehmen. Was in Müllverbrennungsanlagen zerstört oder in Recyclingprozessen verwertet wird, gelangt nämlich nicht in die Umwelt. Abbildung 2 zeigt hierzu Zahlen aus einer im Auftrag des Umweltbundesamtes durchgeführten Studie.

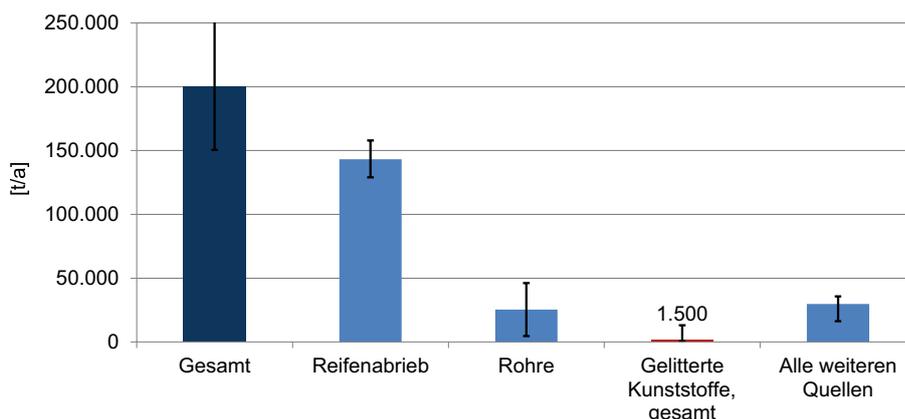


Abbildung 2: Kunststoffeinträge in die Umwelt. Quelle: UBA (2020).

Als weitaus wichtigste Quelle für Kunststoffeinträge in die Umwelt wurde in dieser Untersuchung der Reifenabrieb identifiziert. Unsere Plastiktüten können in der Regel nur dann in die Umwelt gelangen, wenn sie gelittert, also achtlos in die Umwelt entsorgt werden. Der geringe Anteil, der diesen Weg geht, verbirgt sich in der Gesamtmenge von 1.500 t, die auf gelitterte Kunststoffe zurückzuführen sind. Auch hier ist der Effekt des Plastiktütenverbots also sehr gering.

Als Nächstes fragen Ökobilanzierer, was an die Stelle der vermiedenen Plastiktüten tritt. Ein Teil wird durch Einkaufskörbe, Rucksäcke oder Ähnliches ersetzt, ein Teil durch Papiertüten, ein anderer etwa durch Baumwollbeutel oder durch robuste, mehrfach einsetzbare Beutel aus Kunststoff oder Verbundmaterialien. Abbildung 3 zeigt die CO<sub>2</sub>-Rucksäcke der Werkstoffe, die für leichte Kunststofftüten eingesetzt werden, im Vergleich mit einigen Alternativen.

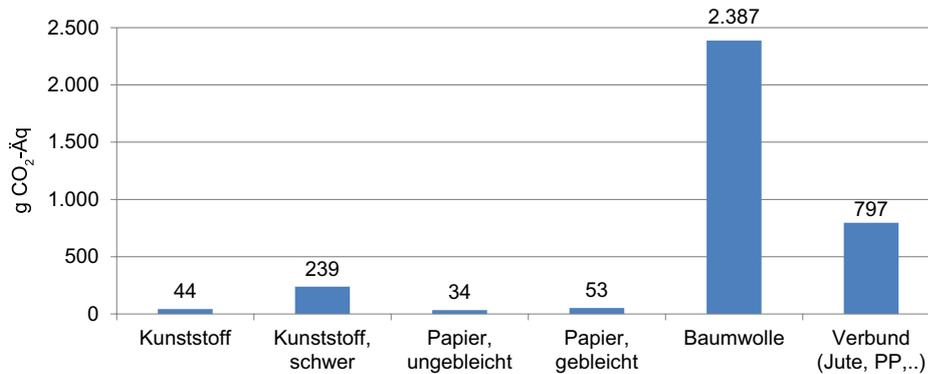


Abbildung 3: CO<sub>2</sub>-Rucksack von Tüten und Tragetaschen (ohne Mehrfachgebrauch und Entsorgung).  
Quelle: Bisinella et al. (2018). CO<sub>2</sub>-Äq = CO<sub>2</sub>-Äquivalente.<sup>1</sup>

Es zeigt sich, dass die Werte der CO<sub>2</sub>-Rucksäcke von Plastiktüten und Papiertüten nicht weit auseinanderliegen. Alternativen wie Beutel aus Verbundmaterialien oder Baumwolle müssen etwa 20- bis 50-mal eingesetzt werden, ehe sie Plastiktüten mit einem Gewinn für den Klimaschutz ersetzt haben können. Dies ist eine Abschätzung, die natürlich nur mit Einschränkungen gilt, denn zusätzlich sind weitere Faktoren zu berücksichtigen, wie die Entsorgung bzw. Verwertung der Beutel und Tüten, die Frage, wie häufig sie tatsächlich eingesetzt werden oder die Reinigung der Baumwollbeutel.

Insgesamt zeigt sich, dass die Einsparung von Plastiktüten ökologisch vermutlich einen positiven Effekt hat. Sicher ist, dass dieser Effekt sehr gering ist.

### Seltene Erden

Eingängige Begriffe verführen zu leichtfertiger Interpretation. Seltene Erden sind durchaus nicht selten. Die für technische Anwendungen wichtigsten Seltenerdmetalle Neodym, Dysprosium, Terbium und Praseodym kommen in der Erdkruste in ähnlich großer Menge vor wie beispielsweise Zinn und in etwa hundertmal größerer Menge als Silber<sup>2</sup>. Seltene Erden wurden sie von ihren Entdeckern genannt, weil die Mineralien, in denen sie entdeckt wurden, nur selten zu finden waren. Dennoch sollte man diese Rohstoffe – wie alle Rohstoffe – effizient und sparsam einsetzen, und sie möglichst dem Recycling zuführen.

Welche Fragen stellen nun Ökobilanzierer, wenn sie den Umweltnutzen des Recyclings von Seltenerdmetallen, beispielweise aus einem Smartphone, bewerten sollen?

Zunächst fragen sie, wie groß der Anteil dieser Metalle an einem typischen Smartphone ist und welchen ökologischen Rucksack sie haben. Nach einer aktuellen Studie beträgt der Anteil von Seltenerdmetallen in einem gängigen Smartphone nur etwa 0,3 Gew.-%<sup>3</sup>. Zu finden sind diese Metalle dort weit überwiegend in den verwendeten Magneten, z. B. für Lautsprecher.

<sup>1</sup> Treibhausgase (z. B. CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) haben die unterschiedlich stark ausgeprägte Eigenschaft, Wärme in der Erdatmosphäre zu halten. Das Treibhausgaspotenzial quantifiziert diese stoffspezifische Eigenschaft und wird im Verhältnis zum relevantesten Treibhausgas CO<sub>2</sub> in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten angegeben.

<sup>2</sup> CRC Handbook (2016-2017)

<sup>3</sup> Bookhagen et al. (2020)

Nun können auch Materialien, die geringen Anteil an einem Gerät haben, für dessen ökologische Bewertung sehr bedeutsam sein. Die nächste Frage ist daher, wie hoch der Anteil dieser Metallmengen an den gesamten Umweltwirkungen des betrachteten Produktes ist. Abbildung 4 zeigt dies beispielhaft für den CO<sub>2</sub>-Rucksack eines Smartphones<sup>4</sup>. Der Anteil der Seltenerdmetalle an der CO<sub>2</sub>-Last aller zur Produktion benötigten Rohstoffe beträgt nur etwa 0,4 %. Bezogen auf die gesamte CO<sub>2</sub>-Last des Smartphones ist der Anteil mit nur ca. 0,02 % noch eine Größenordnung geringer. Die ohnehin überschaubare Bedeutung der Seltenerdmetalle, wie auch der gesamten Rohstoffbereitstellung, für die CO<sub>2</sub>-Last wird noch geringer, wenn neben dem reinen Stromverbrauch auch die Nutzung des Gerätes im Mobilfunknetz und im Internet (abgeschätzt jährlich weitere 43 kg / CO<sub>2</sub>) berücksichtigt wird.

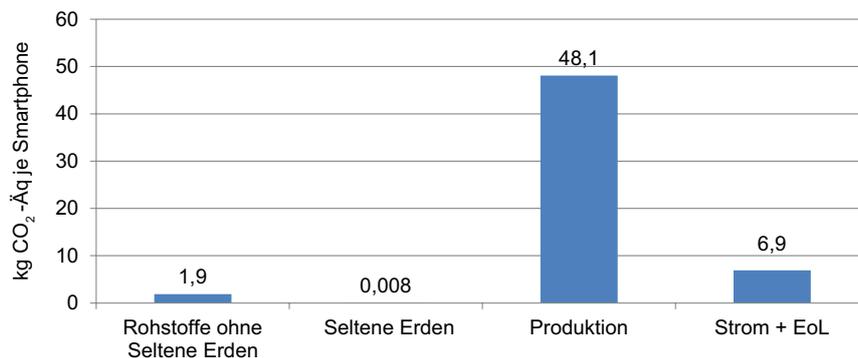


Abbildung 4: Zusammensetzung des CO<sub>2</sub>-Rucksacks eines Sony Z5 Smartphone ohne seine Nutzung.

Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis Ercan, et al. (2016). CO<sub>2</sub>-Äq = CO<sub>2</sub>-Äquivalente.

Nun ist das Treibhauspotenzial nur eine der ökobilanziellen Messgrößen. Diskutiert werden die Seltenerdmetalle vor allem im Zusammenhang mit der Ressourcenknappheit. Ökobilanzierer bewerten die Ressourcenbeanspruchung üblicherweise mit dem Indikator ADP (Abiotic Depletion Potential). Wenden wir diesen Indikator auf die in unserem Smartphone enthaltenen Metalle an und multiplizieren ihn mit deren Gewichtsanteilen, dann ergibt sich näherungsweise das in Abbildung 5 dargestellte Bild. Tatsächlich spielen die Seltenerdmetalle also auch mit Blick auf die Beanspruchung mineralischer Ressourcen keine wesentliche Rolle. Dieser Parameter wird eindeutig vom enthaltenen Gold dominiert. Es sei darauf hingewiesen, dass das ADP zwar Eingang in die Ökobilanzierung gefunden hat, tatsächlich aber kein ökologischer Parameter im engeren Sinne ist, sondern eher ein wirtschaftspolitischer, der auch für andere Metalle wie etwa Stahl von Bedeutung ist. Dies soll nicht in Abrede stellen, dass die Gewinnung von Seltenerdmetallen vor Ort erhebliche Umweltbelastungen verursacht. Allerdings gilt das auch für viele andere Rohstoffe, die wir in wesentlich größerem Umfang verbrauchen.

<sup>4</sup> Ercan, et al. (2016)

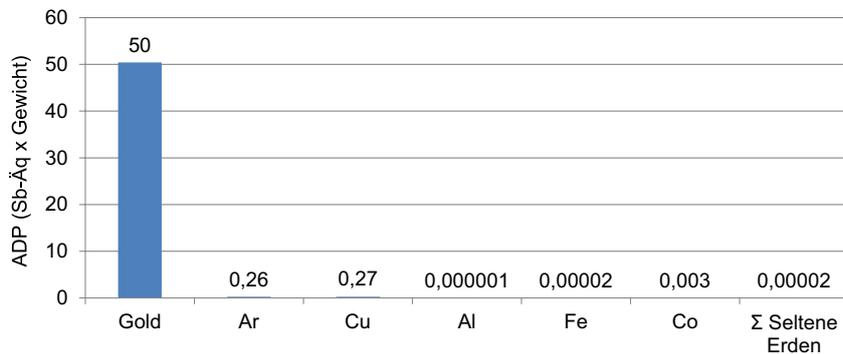


Abbildung 5: Ressourcenverbrauch eines Smartphones. Quelle: Eigene Berechnungen. ADP: Abiotic Depletion Potential. Sb: Antimon.

### 3.3 Was folgt daraus?

Wir neigen dazu, Umwelthemen, über die viel geredet wird, einen hohen ökologischen Stellenwert zuzuweisen. Das gilt vor allem dann, wenn sie mit großen Zahlen in Verbindung gebracht werden. In diesem Kapitel wurde dies anhand von Plastiktüten und Seltenerdmetallen erläutert.

Unabhängig von diesen konkreten Beispielen gilt: Wann immer Sie eindrucksvolle Zahlen hören, prüfen Sie lieber noch einmal nach, ehe Sie sich zu sehr mitreißen lassen. Hier einige weitere Beispiele:

- > Wenn von einem Abfall in Deutschland jedes Jahr etwa 70.000 t ins Abwasser geraten, dann hört sich das sehr bedenklich an. Bei gut 80 Millionen Einwohnern handelt es sich aber pro Kopf nur um etwas weniger als ein Kilogramm, also etwa den pro Kopf Jahresverbrauch an Zahnpasta. Gewichtsbezogen relativiert sich diese eindrucksvoll wirkende Zahl also ganz erheblich. Wenn es sich allerdings nicht um Zahnpasta handelt, sondern etwa um Gold oder auch um eine toxikologisch sehr problematische Substanz, dann kann auch ein Kilogramm pro Kopf ein ernstes Problem darstellen.
- > Ein Lebensmittel, das in den meisten deutschen Haushalten konsumiert wird, enthält eine chemische Verbindung, die tödlich wirken kann. Mit der im Jahr in Deutschland konsumierten Menge dieser Verbindung könnten Millionen von Menschen umgebracht werden. Es handelt sich um Koffein. Die tödliche Dosis für Erwachsene liegt bei etwa 10 g. Ein halber Liter Filterkaffee enthält etwa 0,3 g und ist als Tagesdosis gesundheitlich harmlos.

Andererseits können scheinbar nebensächliche Aspekte eine erhebliche Rolle spielen. So liegt der Anteil des Siliziums in PV-Modulen nur bei etwa 10 Gew-%, und Silizium gehört zu den in der Erdkruste am meisten vertretenen Elementen. Wegen des hohen Energieaufwandes zur Herstellung des für PV-Module erforderlichen, hochreinen Siliziums und der erforderlichen Kristallisation liegt der Beitrag zur Treibhausgasbilanz eines Silizium-basierten PV-Moduls allerdings bei ca. 70 %.

Um einen Eindruck von den Unterschieden zu geben, die zwischen den ökologischen Rucksäcken verschiedener Materialien liegen, zeigt die folgende Abbildung beispielhaft den CO<sub>2</sub>-Fussabdruck einiger Materialien.

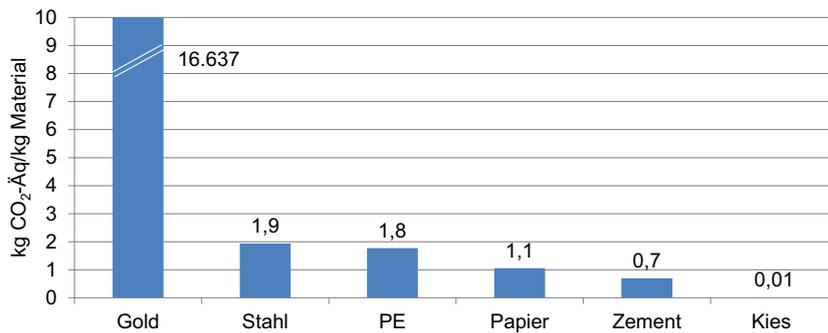


Abbildung 6: CO<sub>2</sub>-Rucksack verschiedener Materialien. PE: Polyethylen.

Quellen: Umweltprofile aus der ecoinvent-Datenbank und cordis (2019) für Zement.

Mit Blick auf den Klimawandel wird demnach bei der Herstellung von einem Kilogramm Polyethylen etwa die gleiche Menge klimaschädlicher Gase freigesetzt, wie bei der Herstellung von 300 kg Kies, und die Bereitstellung von einem Kilogramm Gold belastet das Klima etwa so stark wie die Herstellung von mehr als 23.000 kg Zement.

Daraus kann nicht geschlossen werden, dass Materialien mit großem ökologischem Rucksack schlechter sind. Es kommt immer auf die eingesetzten Mengen und auf den Zweck des Materialeinsatzes an. Wie das Beispiel Gold im Smartphone (Abbildung 5) gezeigt hat, können aber auch sehr kleine Materialanteile die Ökobilanz eines Produktes erheblich beeinflussen.

## 4 Diese Verpackungsflut – eine Katastrophe!

### 4.1 Bauchgefühle

Jahr für Jahr werden gewaltige Mengen an Verpackungen entsorgt, und es werden immer mehr. Wenn ich sehe, wie umständlich und aufwändig viele Produkte verpackt sind, wie viele Plastikverpackungen allein bei mir zu Hause in der Gelben Tonne landen! Dann kommt noch Glas dazu und Kartons, und bei vielen Leuten findet sich ja auch im Restmüll noch eine Menge an Verpackungen. Warum um alles in der Welt brauchen wir so viele Verpackungen? Die meisten könnten wir bestimmt vermeiden. Dann wäre der Umwelt viel geholfen! Vor allem die Unmengen von Kunststoffverpackungen sind schädlich, und die sind nun wirklich nicht nötig!

### 4.2 Genauer betrachtet

So manche Verpackung ist vermeidbar, und vieles wurde ja auch schon eingespart. Früher gab es in Supermärkten keine Zahnpastatube, die nicht noch zusätzlich in eine Schachtel eingepackt war. Heute ist das eher die Ausnahme. Offenbar geht es auch ohne. Und das ist nicht das einzige Beispiel. Es gab durchaus Erfolge. Nachdem in Deutschland durch die Verpackungsverordnung die getrennte Erfassung von Verpackungsabfällen vorgeschrieben wurde, sank deren Menge von 1991 bis 1996 von 15,6 Mio. t um 13 % auf 13,6 Mio. t. Seitdem ist die Menge allerdings wieder um mehr als ein Drittel gewachsen. 2018 fielen in Deutschland 18,7 Mio. t Verpackungsabfälle an, davon 3,2 Mio. t Kunststoffe, 2,9 Mio. t Glas, 8,3 Mio. t an Papier, Pappe, Kartonage, 0,5 Mio. t Weißblech und 0,1 Mio. t Aluminium.<sup>5</sup> Das sind eindrucksvolle Mengen, und der Kunststoffanteil ist erheblich.

Die Frage, welche dieser Materialien für die Umwelt besser und welche schlechter sind, verkneifen sich erfahrene Ökobilanzierer. Natürlich ist für die Ökobilanz wichtig, welche Materialien in Verpackungen eingesetzt werden. Jedes Material hat aber Vor- und Nachteile und die Bewertung fällt für jede Umweltwirkung anders aus (s. Abbildung 7).

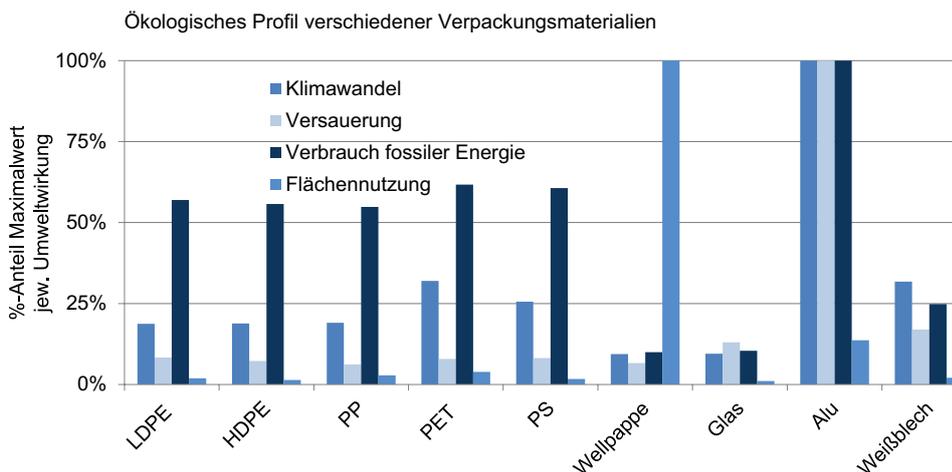


Abbildung 7: Ökologisches Profil der Herstellung typischer Verpackungsmaterialien für ausgewählte Umweltwirkungen. Angabe in Prozent vom jeweiligen Maximalwert. Bezug jeweils 1 kg Material. Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis der Umweltprofile aus der ecoinvent-Datenbank.

<sup>5</sup> Angaben zur Entwicklung des Verpackungsaufkommens nach Umweltbundesamt (2018)

Diese Unterschiede sind aber gar nicht so entscheidend, denn mindestens ebenso wichtig wie die Art des Verpackungsmaterials, ist die davon in einer Verpackung eingesetzte Menge. Der ökologische Rucksack der Verpackungsbestandteile ergibt sich also aus ihrer Art und Menge. Abbildung 8 zeigt dies am Beispiel typischer Joghurtverpackungen mit 500 g Füllgewicht.

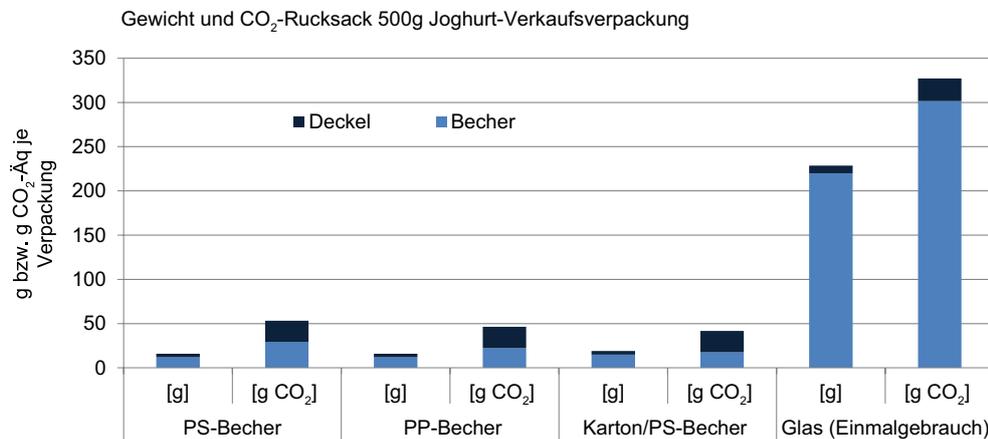


Abbildung 8: Gewicht und CO<sub>2</sub>-Rucksäcke Joghurtverkaufsverpackungen (500 g Füllgewicht). Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis der Materialien ohne Becherherstellung, Mehrweggebrauch, Logistik und Entsorgung. CO<sub>2</sub>-Äq = CO<sub>2</sub>-Äquivalente.

Gerade im Verpackungsbereich wird viel über Kunststoffvermeidung diskutiert. In unserem Beispiel schneidet der Kunststoffbecher gar nicht schlecht ab. Die Glasverpackung ist um ein Mehrfaches schwerer als die Kunststoff-Alternativen. Allerdings ist hier nur der reine Materialeinsatz bewertet, ohne Mehrweggebrauch, Logistik, Entsorgung und weitere Faktoren. Eine fundierte Bewertung ist daher nur in einer vollständigen Ökobilanz möglich, die auch diese Aspekte berücksichtigt. Es wird aber deutlich, dass die Glasverpackung für dieses Produkt in anderen Feldern erhebliche Vorteile aufweisen muss, um den Kunststoffbecher ökologisch schlagen zu können.

Ob ein Material ökologisch besser oder schlechter als ein anderes ist, kann zudem immer nur für eine konkrete Verpackung eines bestimmten Produktes beurteilt werden. Dabei sind viele weitere Faktoren wichtig, etwa ob die Verpackung das Produkt vor Feuchtigkeit oder auch vor Luftsauerstoff schützen muss oder wie sie beim Transport am wenigsten Platz beansprucht.

Die wichtigste Funktion einer Verpackung ist meist der Schutz des verpackten Produkts. Dieser Schutz hat auch aus ökologischer Sicht hohe Priorität, denn wenn das Produkt beschädigt wird und nicht mehr verwendbar ist, dann ist der ökologische Schaden fast immer viel größer als der ökologische Rucksack der Verpackung. Abbildung 9 zeigt einige Beispiele, die das deutlich machen.

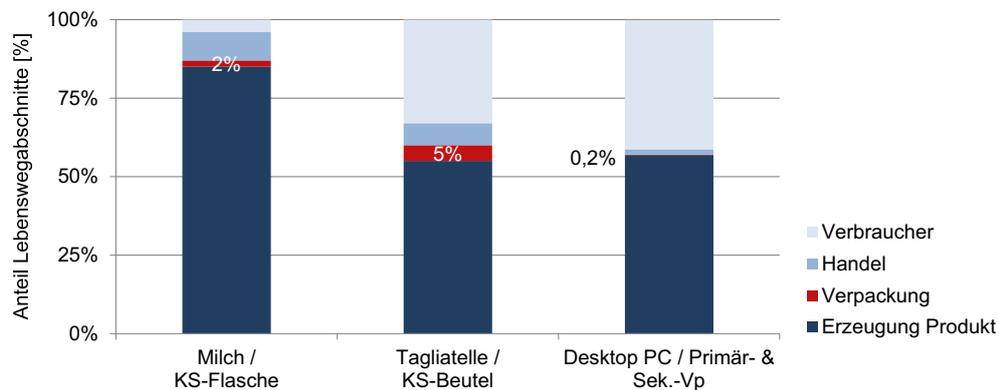


Abbildung 9: CO<sub>2</sub>-Rucksack verschiedener Produkt-Verpackungs-Systeme. KS = Kunststoff, Vp = Verpackung.  
 Quellen: Eigene Arbeiten, Kristensen (2011), FRoSTA (2009) und Fujitsu (2021).

Erfahrene Ökobilanzierer wissen das. Darum sind sie meist etwas unglücklich darüber, dass so viel über Verpackungen geredet wird. Denn: Ursache der Verpackungsmengen ist der Konsum der verpackten Produkte. Vielleicht werden Verpackungen ja auch deshalb so viel diskutiert, weil die Vermeidung der Produkte ein weniger angenehmes Thema ist. Es ist leichter auf die Kunststoffolie zu schimpfen, als auf das neue, damit verpackte Hemd, das womöglich gekauft wurde, obwohl noch reichlich funktionstüchtige Hemden im Kleiderschrank liegen.

### 4.3 Was folgt daraus?

Es gibt bessere, schlechtere, sehr schlechte und auch gänzlich vermeidbare Verpackungen. Darum sollten wir uns kümmern, und es ist alle Mühen wert, konsequent an der ökologischen Verbesserung von Verpackungen zu arbeiten. Allerdings sollten wir dabei Folgendes nicht aus dem Blick verlieren:

- > Beim ökologischen Vergleich von Verpackungen aus unterschiedlichen Materialien muss unbedingt auch das eingesetzte Verpackungsgewicht berücksichtigt werden. Wenn sie selbst einige Verpackungen auf die Waage legen, können Sie Überraschungen erleben.
- > Zentrale Funktion der Verpackung ist meist ihre Schutzfunktion. Sie muss gewährleistet sein, denn ein beschädigtes Produkt bedeutet in der Regel eine viel größere Umweltbelastungen als seine Verpackung.
- > Wer die Umwelt entlasten will, sollte ökologisch bessere Verpackungen wählen. Wer auf das eine oder andere Produkt verzichtet, erreicht allerdings viel mehr.

Abbildung 10 zeigt zu einigen Verpackungsbeispielen typische Gewichte und CO<sub>2</sub>-Rucksäcke und stellt diese in Relation zu alltäglichen Tätigkeiten und Produkten.

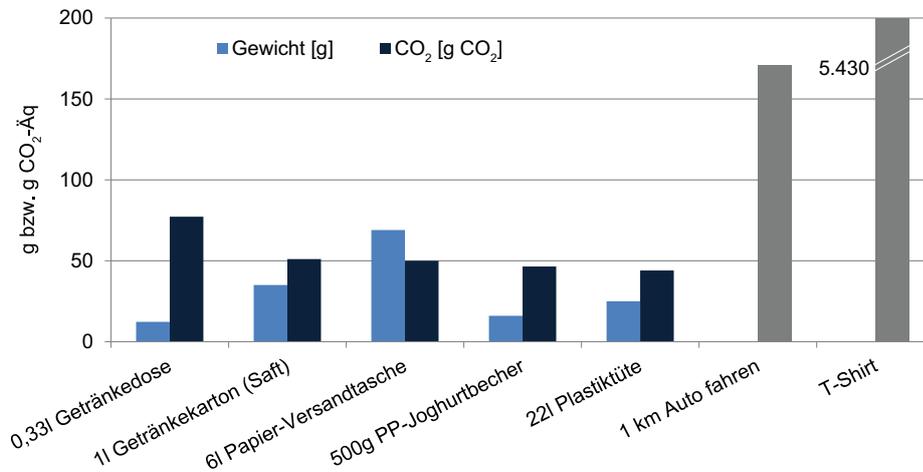


Abbildung 10: Gewicht bzw. CO<sub>2</sub>-Rucksack verschiedener Verpackungs-Systeme und Aktivitäten bzw. Produkte des täglichen Lebens im Vergleich. Quellen: Kauertz et al. (2018), Kauertz et al. (2008), Metal Packaging Europe (2019), BMU (2019), VDW (2021), Bisinella et al. (2018) und eigene Berechnungen für Joghurtbecher, Autofahren und T-Shirt. CO<sub>2</sub>-Äq = CO<sub>2</sub>-Äquivalente.

## 5 Weite Transportstrecken – Umweltsünde!

### 5.1 Bauchgefühle

Auf den Autobahnen sind immer mehr Lkw unterwegs! Immer mehr Güter werden hin- und hergefahren. Unmengen an Dingen werden sinnlos über weite Strecken transportiert. Die dabei freigesetzten Abgase verpesten die Luft und ruinieren das Klima, und Lärm macht diese Fahrerei auch noch! Äpfel, T-Shirts und Computer werden um die halbe Welt transportiert, vieles sogar im Flugzeug. Wie klimaschädlich Flugzeuge sind, ist allgemein bekannt, und die Emissionen dieser riesengroßen Frachtschiffe sind auch gewaltig. Wenn wir die Ökobilanz verbessern wollen, müssen wir unbedingt Transporte vermeiden.

### 5.2 Genauer betrachtet

Transporte sind eine wichtige Ursache für Umweltbelastungen. Dieser Bereich gehört zu den Feldern, in denen Umweltschutz unbedingt vorangetrieben werden muss. Mobilität von Gütern und Menschen ist in Deutschland für fast 20 % der Treibhausgasemissionen verantwortlich. Der weitaus größte Teil dieser Emissionen stammt aus dem Straßenverkehr.

Allerdings ist in Deutschland und Gesamteuropa nur etwa ein Drittel dieser Belastungen auf den Güterverkehr zurückzuführen. Der größte Anteil entfällt auf die Mobilität von Menschen. Natürlich sollten trotzdem Umweltlasten aus dem Transport von Gütern reduziert werden. Wenn wir uns aber die Ökobilanz von Produkten anschauen, spielen Transporte nur selten eine große Rolle. Wie schon für die Verpackungen dargestellt, gilt auch hier: Die Produkte selbst sind ökologisch meist viel wichtiger als ihr Transport.

Nehmen wir als Beispiel einen PC, der in Asien produziert wird und unter einem Schreibtisch am bifa seine Heimat hat. Ein erheblicher Teil der Transporte, die im Zusammenhang mit der Produktion des Rechners durchgeführt werden, erfolgt von China nach Deutschland. Beim Schiffstransport einer Tonne Desktop PC von Shanghai nach Bremerhaven (ca. 19.000 km) werden etwa 194 kg CO<sub>2</sub> / t freigesetzt. Durch den Weitertransport nach Augsburg (ca. 800 km) in einem 40 t Lkw entstehen dann weitere 38 kg CO<sub>2</sub> / t. Zum Vergleich:

- > Die Ökobilanz des Esprimo P9010 Desktop PC, die bifa für Fujitsu ausgearbeitet hat, zeigt, dass der Anteil aller Transporte inkl. Seetransport und Produktionslogistik an der gesamten CO<sub>2</sub>-Bilanz des Rechners in Höhe von 675 kg CO<sub>2</sub> nur etwa 2 % beträgt (Fujitsu (2021)).
- > Die Autobahn-Fahrt von Bremerhaven nach Augsburg mit einem benzinbetriebenen Pkw verursacht Emissionen von 192 kg CO<sub>2</sub>.

Ein Beispiel mit gänzlich anderen Randbedingungen ist der Transport von Winteräpfeln, deren Anbau im Gegensatz zur Herstellung eines PC nur sehr geringe Treibhausgasemissionen verursacht. Aus Neuseeland importierte Äpfel haben aufgrund ihres langen Transportwegs eine schlechtere CO<sub>2</sub>-Bilanz als Äpfel aus Südtirol oder Deutschland, auch wenn die heimischen Früchte über das Winterhalbjahr gekühlt werden. Fährt der Konsument allerdings extra mit dem Auto, nur um Äpfel zu kaufen, kann diese Fahrt bereits ab einer Strecke von wenigen Kilometern die CO<sub>2</sub>-Bilanz des Apfels bestimmen (vergleiche Abbildung 11).

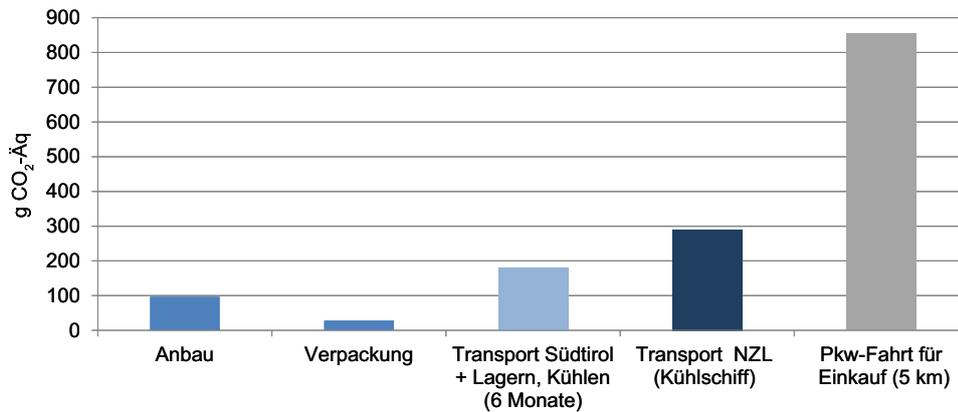


Abbildung 11: Treibhausgas-Bilanz für den Anbau und Vertrieb für 1 kg Winteräpfel aus Südtirol und Neuseeland (NZL).  
Quelle: Reinhardt et al. (2009) und eigene Berechnungen. CO<sub>2</sub>-Äq = CO<sub>2</sub>-Äquivalente.

Ursache für die eher geringe Bedeutung des Gütertransports in den meisten Produkt-Ökobilanzen ist die üblicherweise sehr gute Auslastung der Transportmittel. Seecontainer und auch Lkw sind schon aus Kostengründen meist gut gefüllt. Umgelegt auf ein einzelnes transportiertes Produkt sind die transportbedingten Emissionen daher nur noch gering. Die Raumauslastung von Pkw ist hingegen in aller Regel sehr schlecht.

Tabelle 2 zeigt, dass die Treibhausgasemissionen eines großen Containerschiffs wesentlich größer sind als die eines Lkw oder gar eines Pkw. Sie zeigt aber auch die um ein Vielfaches größere Nutzlast des Containerschiffs.

Tabelle 2: CO<sub>2</sub>-Emissionen aus einem Transport der max. Nutzlast über 1.000 km für verschiedene Transportmittel.  
Quelle: VR (2011) und eigene Schätzung für Pkw.

Transportmittel	Nutzlast [t]	t CO <sub>2</sub> je 1.000 km
Containerschiff	68.900	668
Frachtflugzeug	70	36
Lkw-Transport (40 t)	25	2
Pkw (Benzin)	< 0,5	0,17

Vor allem in zwei Fällen kann der Einfluss von Transporten auf Produktökobilanzen aber erheblich sein. Zum einen können schon kurze Strecken, die zum Transport eines Produktes mit dem Pkw zurückgelegt werden, Ergebnisse signifikant beeinflussen. Ein Beispiel hierfür sind Retouren beim online-Einkauf, die mit dem Pkw zur Annahmestelle gebracht werden. Zum anderen können Gütertransporte dann eine größere Rolle spielen, wenn die Produkte selbst nur einen kleinen CO<sub>2</sub>-Rucksack haben, sie aber einen hohen Transportaufwand verursachen.

Auch für Transporte gilt, was wir schon beim Thema Verpackungen festgestellt haben: Ursache der Transporte ist der Konsum der transportierten Güter. Wer ein Produkt nicht kauft, hat in der Regel mehr für die Umwelt getan als wer genau prüft, wie weit das Produkt transportiert wurde und eine Alternative aus der Region sucht. Gleiches gilt für den Verzicht auf eine etwas längere Pkw-Fahrt.

### 5.3 Was folgt daraus?

Die Bedeutung von Transporten in der Ökobilanz von Produkten wird häufig überschätzt. Oft ist sie nur gering. Achten Sie bei der Einschätzung der ökologischen Wirkung von Transporten vor allem auf folgende Effekte:

- > Das Transportmittel selbst mit seiner üblichen Auslastung: Die Treibhausgasemissionen pro Tonnenkilometer unterscheiden sich im Gütertransport erheblich und zeigen dabei folgende Einflüsse: Schiff << Bahn << Lkw << Flugzeug.
- > Transporte mit dem Pkw auch über kürzere Strecken: Diese haben in der Regel eine viel schlechtere Auslastung und damit pro transportierte Einheit viel größere Treibhausgasemissionen als kommerzielle Güter-Transporte.
- > Den ökologischen Rucksack des transportierten Guts: Ist er pro Tonne des betrachteten Produktes sehr klein, werden auch Transportaufwände wichtig.

Um eigene Abschätzungen zu erleichtern, zeigt Abbildung 12 typische CO<sub>2</sub>-Rucksäcke des Transportes von einer Tonne je Kilometer für unterschiedliche Transportmittel.

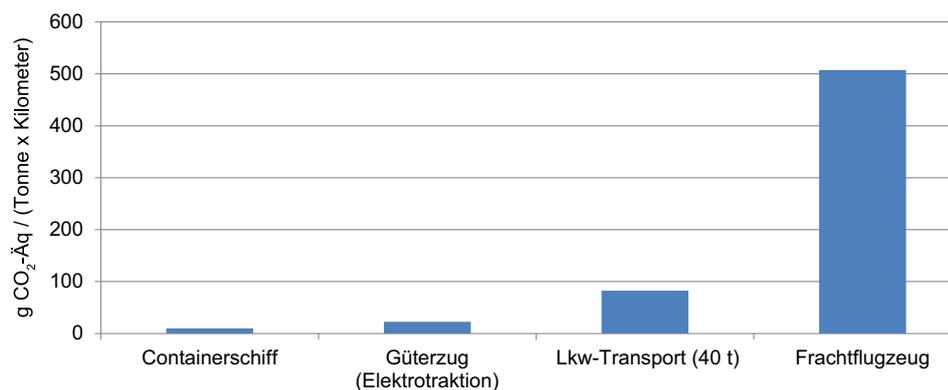


Abbildung 12: CO<sub>2</sub>-Emissionen für verschiedene Transportmittel. Quelle: VR (2011).

Vor allem in zwei Fällen kann der Einfluss von Transporten auf Produktökobilanzen aber auch erheblich sein, nämlich

- > bei geringer Fahrzeugauslastung (z. B. Kleinmengentransport per Pkw) und
- > bei kleinem ökologischem Rucksack des Produkts und hohem Transportaufwand.

Auch wenn der Anteil des Personenverkehrs an den Klimabelastungen deutlich größer ist, liefert der Güterverkehr insgesamt erhebliche Beiträge zu den Treibhausgasemissionen. Auch hier sind also Verbesserungen erforderlich.

## 6 Recycling – das ist die Rettung!

### 6.1 Bauchgefühle

Wir verbrauchen gewaltige Mengen an Rohstoffen: Kunststoffe, Papier, Metalle, Beton und vieles mehr. Seit langem nimmt der Verbrauch exponentiell zu. Wenn wir so weitermachen, haben wir irgendwann den ganzen Globus aufgefressen. Da muss man doch etwas unternehmen! Die Lösung liegt schließlich auf der Hand: Recycling! Was recycelt wird, das bleibt dem Stoffkreislauf erhalten. Wenn wir alles recyceln, dann ist das Problem gelöst. Das gebrauchte Material wird dann wieder eingesetzt. Wir haben geschlossene Stoffkreisläufe und es müssen keine neuen Rohstoffe abgebaut werden.

### 6.2 Genauer betrachtet

Wenn Ökobilanzierer den Nutzen des Recyclings ermitteln, dann überlegen sie zunächst: Was wäre, wenn das Recycling nicht stattfinden würde? Der Unterschied zwischen Recycling und dem, was sonst mit dem Material geschähe, bestimmt den ökologischen Effekt des Recyclings. Dabei ist es wichtig, wo wir uns auf der Welt befinden. In Deutschland werden Haushaltsabfälle, die nicht recycelt werden, in der Regel verbrannt. Das Recycling muss also mit der Verbrennung verglichen werden, sofern wir es nicht mit z. B. mineralischen Abfällen zu tun haben. In anderen Ländern, die nicht über Müllverbrennungsanlagen verfügen, muss Recycling mit der Deponie von Abfällen verglichen werden – oder gar mit ungeordneter Entsorgung (z. B. wilde Deponie, offene Verbrennung).

Aber bleiben wir in Deutschland. Aus Abfällen, die verbrannt werden, wird Energie zurückgewonnen und als Strom oder Wärme nutzbar gemacht. Zurück bleiben vor allem Aschen und Kohlendioxidemissionen. Aus den Aschen werden zwar Metalle zurückgewonnen, alles Brennbares wird bei der energetischen Verwertung allerdings zerstört. Der ganze Aufwand, der nötig war, um etwa aus Erdöl einen Kunststoff zu erzeugen, ist damit verloren.

Als nächstes fragen die Ökobilanzierer, welche Stoffströme beim Recycling auftreten. Die für das Recycling bestimmten Abfälle werden erfasst, sortiert, zu Altpapier, Kunststoff-Rezyklaten, Metallen oder anderen Materialien aufbereitet und dann wieder zu neuen Produkten verarbeitet. In diesen Produkten befindet sich aber nur ein Teil der ursprünglichen Abfallmenge, denn:

- > Abfälle werden nicht zu 100 % getrennt gesammelt. So wird ein erheblicher Teil der Haushaltsabfälle mit dem Restmüll entsorgt, weil nicht alle Menschen ihre Abfälle trennen und weil nicht jeder versteht, wie richtig getrennt wird. Außerdem können Abfälle stark verschmutzt und daher für das Recycling ungeeignet sein.
- > Bei der Abfallsortierung geht ebenfalls ein Teil der Wertstoffe verloren. Von anderen Abfällen verdecktes Material wird von der Sortiertechnik nicht erkannt. Abfallteile verhaken sich miteinander und werden dann falsch sortiert und mitunter sind Abfallpartikel für die Sortierung zu klein. Häufig sind Produkte auch ungünstig gestaltet, und sie enthalten Materialverbunde, die nicht getrennt und somit auch nicht wirksam aussortiert werden können.
- > Auch bei der Aufbereitung zu Rezyklaten gibt es Verluste. Die sortierten Mengen enthalten Verunreinigungen, die abgetrennt werden müssen. Dabei gehen immer auch Teile des Zielmaterials verloren. Gewisse Bestandteile der Produkte, wie z. B. Aufkleber dürfen nicht in das Recyclingmaterial geraten, und schließlich ist jeder Schritt eines Aufbereitungsprozesses auch bei sauberen Materialströmen mit Materialverlusten verbunden.
- > Selbst bei der Verarbeitung zu neuen Produkten kommt es noch zu Verlusten. So können etwa schlechte Qualitäten beim An- und Abfahren von Produktionsprozessen dazu führen, dass ein Teil der Erzeugnisse aussortiert werden muss.

Nehmen wir ein Beispiel, bei dem derzeit kein Recycling stattfindet: Neodym-Eisen-Bor(NdFeB)-Magnete aus IT-Geräten sind vor allem in Festplatten, Kopfhörern und Lautsprechern enthalten. In Deutschland sind in diesen Altprodukten jährlich 275 t neodymhaltiger Magnete enthalten, die zu etwa 29 % aus Neodym und zu 2,3 % aus Dysprosium bestehen. Die Herstellung dieser Metalle verursacht 2,5 Mio. kg CO<sub>2</sub>. Es lohnt sich also, darüber nachzudenken.

Derzeit erfolgt in Sortier- und Demontagebetrieben für Elektroschrott eine Vor- bzw. Aufbereitung der IT-Komponenten zur Wiederverwendung oder eine Schadstoffentfrachtung sowie eine Wertstoffseparation. Eine spezifische Separation von NdFeB-Magneten findet dabei allerdings nicht statt. Bei Aufbereitungsprozessen erfolgt nach der mechanischen Zerkleinerung mit anderen Geräteteilen eine Sortierung des Schredder-Outputs. Dabei haften Magneteile an Eisenpartikeln und die enthaltenen Neodym- und Dysprosiumanteile gehen als Teil der Eisen-Fraktion komplett verloren. In einer Studie des bifa im Auftrag des Umweltbundesamtes wurden die derzeitigen Prozesse und mögliche Verbesserungsansätze untersucht und abgeschätzt, welche Anteile des enthaltenen Neodyms und Dysprosiums zurückgewonnen werden könnten.

Dabei wurden über die gesamte Recyclingkette folgende Verbesserungen angenommen:

- > Erfassung: Steigerung der Effizienz der kommunalen Sammlung durch Anpassung von Öffnungszeiten, Werbung, bessere interne Stoffstromführung, Kontrolle, Arbeitsmittel, Mitarbeiterschulung, Information am Arbeitsplatz, etc.
- > Vorseparation: Ausweitung und Optimierung der manuellen Demontage von Festplatten und Lautsprechern
- > Aufbereitung: Zerkleinerung der Festplatten, Kopfhörer und Lautsprecher mit anschließender Abtrennung der magnethaltigen FE-Fraktion, dezentrale Entmagnetisierung der NdFeB-Magnete und automatische Abtrennung durch abermalige Magnetseparation der FE-Anteile
- > Verwertung: Aufbereitung zu Seltenerdmetalloxid-Konzentraten (Gemischen) in einem mäßig aufwendigen hydrometallurgischen Prozess

Zu jedem dieser Schritte wurde unter Einbindung von Experten abgeschätzt, welche Ausbeuten der Zielmetalle zu erwarten sind (s. Tabelle 3).<sup>6</sup>

Tabelle 3: Recycling von Neodym und Dysprosium aus Neodym-Eisen-Bor-Magneten. Konservative und sehr optimistische Einschätzung der Ausbeuten; nach: Kreibe et al. (2020).

Verfahrensschritt	Ausgangssituation	Ausbeuten nach Maßnahmenumsetzung konservativ abgeschätzt (%)	Ausbeuten nach Maßnahmenumsetzung sehr optimistisch abgeschätzt (%)
Erfassung	50	65	70
Vorseparation	0	20	85
Aufbereitung	0	60	80
Verwertung	0	85	90
<b>Gesamt</b>	<b>0</b>	<b>6,6</b>	<b>42,8</b>

<sup>6</sup> Kreibe et al. (2020), S. 362 ff

Trotz der recht hohen Ausbeuten im eigentlichen Verwertungsschritt kann also auch bei sehr optimistischer Abschätzung am Ende weniger als die Hälfte des Neodyms und des Dysprosiums zurückgewonnen werden. Realistischer dürfte eine Ausbeute in der Nähe der konservativen Abschätzung sein.

Nehmen wir als weiteres Beispiel Aluminium, das in Elektro- und Elektronikgeräten enthalten ist: Die tatsächliche Sammelquote dieser Geräte lag im Jahr 2019 bei 44,3 %. Bei der Aufbereitung kann Aluminium zunächst recht gut abgetrennt werden. Es kommt aber immer vor, dass Aluminiumteile mit anderen Stoffen verklebt sind, dass sehr feine Aluminiumteilchen enthalten sind, die kaum abtrennbar sind, oder es verhaken sich Partikel zum Beispiel in Kunststoffteilen. Eine Ausbeute von 95 % bei der Aufbereitung zu einer Aluminiumfraktion ist daher eine eher optimistische Annahme. Im Schmelzprozess, in dem das Aluminium aufgereinigt und in nutzbare Form gebracht wird, gehen vielleicht noch einmal fünf Prozent verloren. So bleiben am Ende etwa 40 % übrig. Zusätzlich sind Mengen zu berücksichtigen, die nicht getrennt erfasst wurden, aber aus Verbrennungs-Aschen zurückgewonnen werden. Diese Aluminium-Mengen werden also auch aus Geräten zurückgewonnen, die über den Restmüll entsorgt werden. Hier sind die Ausbeuten insbesondere bei kleinteiligen Aluminiumabfällen allerdings nicht besonders gut.

Gewiss können an allen Stellen im Erfassungs- und Recyclingprozess Verbesserungen erreicht werden. Verlustfreies Recycling wird es aber nicht geben. So wird selbst Altpapier, das Musterbeispiel für funktionierende Kreisläufe, in Deutschland nur zu knapp 80 % getrennt erfasst. Das liegt auch daran, dass sich nicht jedes Produkt recyceln lässt. Bei Toilettenpapier ist das zum Beispiel kaum vorstellbar. Nur der Teil eines Abfalls, der am Ende tatsächlich neue Werkstoffe in Produkten ersetzt, kann aber im Vergleich zur ansonsten stattfindenden Entsorgung, in Deutschland also meist der Verbrennung, die Umwelt entlasten.

Das ist noch nicht die ganze Wahrheit, denn das Recycling selbst verursacht ebenfalls Umweltbelastungen, etwa durch Stromverbrauch, Aufbereitung von Prozesswasser oder Transporte. Der heute noch hohe Energiebedarf ist zum Beispiel eine wichtige Herausforderung, der sich das aktuell viel diskutierte sogenannte chemische Recycling von Kunststoffen stellen muss<sup>7</sup>. Diese Umweltbelastungen müssen vom Umweltnutzen des Recyclings abgezogen werden. Und nur den dann noch verbleibenden Umweltnutzen können wir den Umwelteffekten gegenüberstellen, die entstehen, wenn kein Recycling stattfindet und die Produkte also z. B. verbrannt werden.

Wichtig ist auch, welche Qualität das beim Recycling erhaltene Material hat, denn das ist entscheidend für die Frage, welche Art von Neuware es ersetzen kann. Qualitativ hochwertige sortenreine Kunststoffrezyklate (z. B. aus der Aufbereitung von Einweg-Mineralwasserflaschen) können in geeigneten Einsatzfeldern Kunststoff-Neuware ersetzen. Minderwertige Rezyklate aus Mischkunststoffen sind vielfach nur geeignet als Ersatz für Holz oder Beton, also Materialien mit einem deutlich geringeren CO<sub>2</sub>-Rucksack als Kunststoff-Neuware.

Und jetzt kommt die letzte Korrektur „zulasten“ des Recyclings: Aus brennbaren Abfällen wird in Verbrennungsanlagen Strom erzeugt, und ein Teil der freigesetzten Wärme wird z. B. zur Heizung von Gebäuden verwendet. Dieser Strom und diese Wärmenergie müssen daher nicht auf andere Art erzeugt werden. Da aber immer noch ein großer Teil unserer Strom- und Wärmeversorgung auf Basis von Kohle, Öl und Erdgas erfolgt, werden durch die Müllverbrennung die mit der Gewinnung und Nutzung dieser konventionellen, fossilen Brennstoffe verbundenen Umweltbelastungen eingespart. Dieser Umweltvorteil muss der Verbrennung gutgeschrieben werden, die jetzt endlich mit dem Umweltnutzen des Recyclings verglichen werden kann. Abbildung 13 zeigt diese Zusammenhänge qualitativ in der Übersicht.

<sup>7</sup> Beim sogenannten chemischen Recycling werden die Kunststoffmolekülketten in Bruchstücke zerlegt, aus denen weitere Produkte bis hin zu neuen Kunststoffen erzeugt werden können.

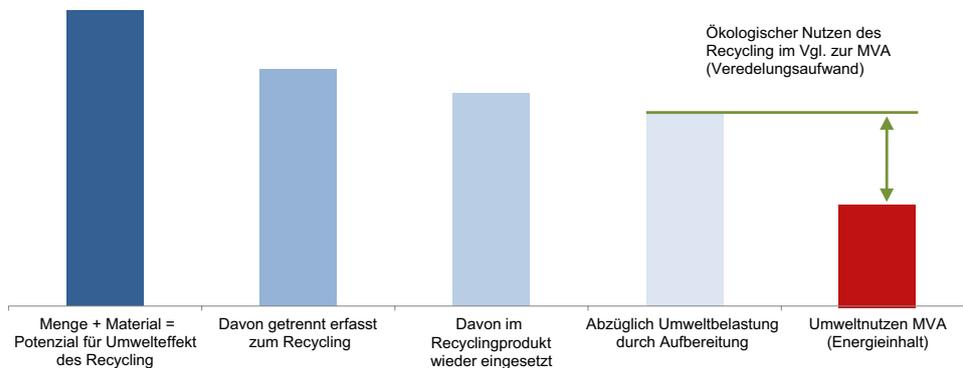


Abbildung 13: Exemplarische Darstellung des Verlusts an ökologischem Nutzen entlang des Recyclingpfads am fiktiven Beispiel eines brennbaren Abfalls.

So wichtig Recycling ist, im Wettbewerb um die ökologisch bessere Lösung gibt es einen weiteren, sehr viel stärkeren Konkurrenten als die Abfallverbrennung, nämlich die Vermeidung. Vermeidung kann bedeuten, dass auf ein Produkt verzichtet wird. Vermeidung findet aber auch ohne Verzicht statt, nämlich durch Verbesserung der Materialeffizienz, also dadurch, dass der gleiche Zweck mit weniger Material erreicht wird – etwa indem eine Flasche dünnwandiger wird. Fünf Prozent Materialeinsparung entlasten die materialbezogene Ökobilanz direkt, während fünf Prozent Entlastung durch Recycling Schritt für Schritt über die gesamte Prozesskette realisiert werden müssen. Abbildung 14 zeigt dies qualitativ an einem fiktiven Beispiel. Natürlich gilt dies nur, wenn es durch die Materialeinsparung nicht zu umweltrelevanten Nachteilen, wie etwa einer Verkürzung der Produktlebensdauer kommt.

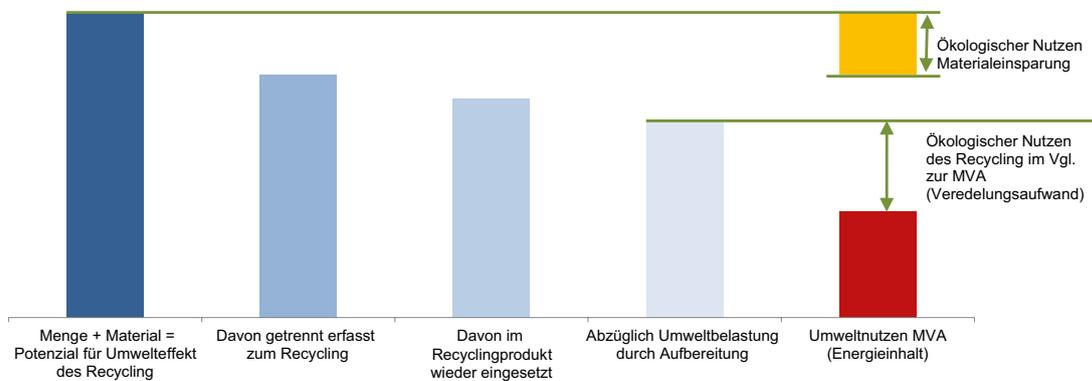


Abbildung 14: Exemplarische Darstellung des ökologischen Nutzens von Recycling und Materialeinsparung im Vergleich.

Nun ist ein Behälter aus Polyethylen, der mit weniger Material hergestellt wird, ebenso gut recyclingfähig wie der dickwandigere. Zwischen Materialeinsparung und Recycling kann es durchaus zur Zielkonkurrenz kommen. Ein nicht recyclingfähiges Produkt, etwa aus einer Verbundfolie, das mit sehr geringem Materialeinsatz auskommt, kann ökologisch besser sein als ein recyclingfähiges, für das viel größere Materialmengen eingesetzt werden. Ideale Lösungen verbinden die beiden Ziele miteinander.

### 6.3 Was folgt daraus?

Trotz all der genannten Einschränkungen gilt am Ende immer noch: Recycling ist in aller Regel wichtig und ökologisch vorteilhaft. Wir sollten uns nur hüten, diesen Vorteil zu überschätzen. Ökobilanziell muss der Entlastungseffekt allerdings für jeden Einzelfall individuell abgeschätzt werden. Um die ökologischen Auswirkungen des Recyclings für einen konkreten Anwendungsfall einzuschätzen, sollten zunächst die Recyclingausbeuten für jeden Schritt von der Sammlung der Abfälle bis zur Rückgewinnung der eigentlichen Recyclingmaterialien abgeschätzt werden (s. Abbildung 15).

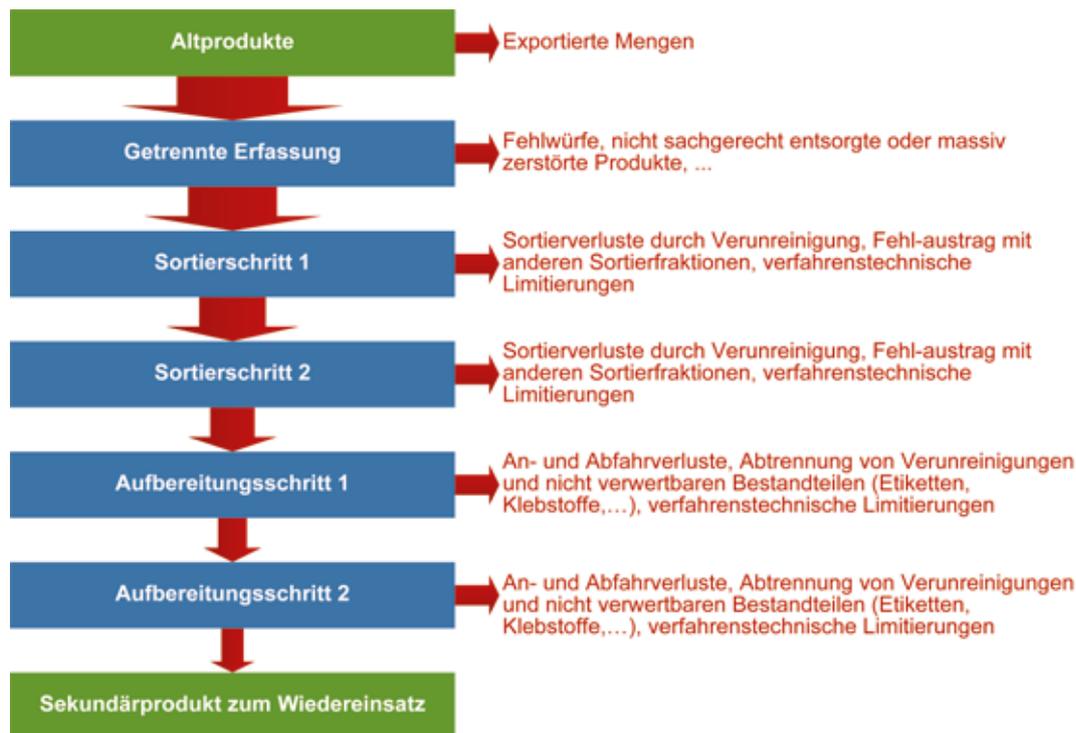


Abbildung 15: Schematische Darstellung der Verluste an potenziellem Sekundärprodukt entlang der Recyclingkette.

Nachdem so die Verluste in der Prozesskette abgeschätzt wurden, müssen ökobilanziell vor allem folgende Fragestellungen bedacht werden:

- > Was geschieht mit den Abfällen, wenn kein Recycling stattfindet?
- > Wie groß sind die Umweltbelastungen durch die Recycling-Verfahren bzw. die Recycling-Prozesskette?
- > Wie gut ist die Qualität der Recyclingprodukte bzw. was kann durch die Recyclingprodukte ersetzt werden?

Die Beantwortung dieser Fragen kann eine realistische Abschätzung unterstützen. Fundierte Aussagen zu den Umwelteffekten des Recyclings sind aber nur auf Basis sachgerecht durchgeführter Ökobilanzen möglich.

Recycling ist wichtig. Ein direkter wirksamer Stellhebel zur Umweltentlastung ist aber die Abfallvermeidung, etwa durch eine Konstruktion von Produkten, die den gleichen Zweck mit geringeren Mengen des verwendeten Werkstoffs erreichen.

Und schließlich muss, ähnlich wie bei Transporten und Verpackungen, auch hier festgestellt werden: Ein Produkt nicht zu kaufen ist ökologisch fast immer besser, als es zu recyceln.

## 7 Mehrweg – immer die beste Lösung!

### 7.1 Bauchgefühle

Niemand käme auf die Idee, ein Fahrrad zu kaufen, damit einige Kilometer zu fahren, es dann wegzufwerfen und für die nächste Fahrt ein neues zu kaufen. Das gilt auch für Stühle, Smartphones, Fenster und Kaffeemaschinen. Warum um alles in der Welt kaufen wir dann einen Becher, um daraus Kaffee zu trinken und werfen ihn nachher weg? Warum benutzen wir Getränkeflaschen, Pizzaschachteln, Windeln nur einmal? Es gibt kaum ein Einwegprodukt, das sich nicht durch Mehrweglösungen ersetzen ließe. Mehrwegprodukte werden sehr oft verwendet ehe sie entsorgt werden, und mit jedem Einsatz vermeiden sie die Herstellung eines Einwegproduktes. Einwegprodukte sind für den Nutzer vielleicht bequemer, ökologisch sind sie eine Katastrophe.

### 7.2 Genauer betrachtet

Mehrweglösungen gelten im Allgemeinen als die ökologisch bessere Option. Aber ist es immer so? Können nicht auch Einweglösungen besser sein als Mehrwegprodukte? Gehen wir im Folgenden einmal die Lebenswegabschnitte von Mehrwegprodukten durch und untersuchen die Frage, wo sie ökologisch Schwachstellen im Vergleich zu Einweglösungen haben könnten.

#### Das Produktdesign

- > Mehrwegsysteme sind viel länger im Einsatz als Einweglösungen, darum müssen sie robuster sein. In aller Regel sind Mehrwegartikel deshalb deutlich schwerer als Einweglösungen. Für sie wird also mehr Material eingesetzt. Ein Mehrwegprodukt aus gleichem Material, das dreimal so schwer ist wie das Einwegprodukt, muss also mindestens viermal eingesetzt werden, ehe es weniger Materialaufwand verursacht. Das ist meist problemlos zu erreichen, aber es beeinflusst die Ergebnisse der Ökobilanz.
- > Häufig werden für Mehrwegprodukte andere, robustere Werkstoffe eingesetzt als für Einwegprodukte. Das kann ökologisch positiv sein. Aufgrund der höheren Anforderungen können aber auch Werkstoffe verwendet werden, die einen größeren ökologischen Rucksack haben.

#### Der Produkteinsatz

- > Ein zentraler Faktor beim Einsatz von Mehrwegprodukten ist ihre Umlaufzahl, also die Zahl der Verwendungen, bevor sie entsorgt werden. Die Umlaufzahl hängt davon ab, für wie viele Benutzungs- und gegebenenfalls Reinigungszyklen das Mehrwegprodukt technisch ausgelegt ist. Diese theoretische Umlaufzahl wird aber in der Praxis oft durch andere Einflüsse reduziert. So können etwa Mehrwegprodukte verloren gehen oder sie können versehentlich und durch Fehlverwendung beschädigt werden. Der einzelne Nutzer mag sein Produkt behutsam behandeln. Für die Bewertung in der Ökobilanz muss aber das Schicksal aller Produkte in einem Mehrwegsystem berücksichtigt werden. Für den Vergleich mit der Einweglösung wird der Durchschnittsfall betrachtet. Nehmen wir etwa Mehrwegbecher an, die technisch zunächst für eine Umlaufzahl von 100 (= maximal 100 Verwendungen je Becher möglich) ausgelegt sind. Nehmen wir nun weiter an, in zwei Prozent der Verwendungen gehen Becher verloren, obwohl sie noch nutzbar wären, etwa indem sie versehentlich zerstört oder weggeworfen werden. Dann entfallen Verwendungen, die technisch noch möglich gewesen wären und die Becher erreichen dann rechnerisch im Durchschnitt eine Umlaufzahl von 43 Umläufen.
- > Dabei müssen auch Fälle berücksichtigt werden, in denen Mehrwegprodukte gar nicht oder nur wenige Male zum Einsatz kommen, weil sie in bester Absicht beschafft oder als Geschenk erhalten wurden und die Besitzer dann doch zu bequem waren, sie zu verwenden.

### Die Aufbereitung

> Die Reinigung von Mehrwegprodukten ist mit Umweltbelastungen verbunden. Diese sind meist dann besonders hoch, wenn sie nicht in großen Anlagen mit effizienten Prozessen gereinigt werden, sondern in der Spülmaschine oder von Hand zu Hause. Womöglich wird auch zu Hause vorgespült, bevor das Produkt sauber zur zentralen Reinigung gebracht wird. Zur Reinigung werden üblicherweise Reinigungsmittel verwendet, das Abwasser muss aufbereitet werden, und meist erfordert eine gute Reinigung erhöhte Temperaturen und damit Energieaufwand.

### Der Rücktransport

> Der Rücktransport des Mehrwegprodukts zur erneuten Verwendung ist mit Umweltbelastungen verbunden. Bei Kaffeebechern, die den Nutzern selbst gehören, ist das in der Regel kein Problem, weil sie ja zum Kaffee holen mitgenommen werden. Bei anderen Produkten kann das aber ein ökologisch wesentlicher Faktor sein. Wenn der Nutzer ein Mehrwegprodukt gar mit dem Pkw selbst zu einer Abgabestelle transportiert, zu der er sonst nicht fahren würde, kann der Transportaufwand erheblichen Einfluss haben.

> Wenn leere Mehrwegverpackungen nicht zusammengefaltet oder komprimiert werden können, nehmen sie ein relativ großes Transportvolumen in Anspruch.

> Bei Mehrwegprodukten mit großem spezifischem Gewicht bedingt das Gewicht vermehrte Transportemissionen. Dies kann sich etwa bei Glasverpackungen negativ auswirken.

### Das Recycling

> Hochwertige Recyclingkreisläufe mit hohen Rücklaufquoten können die Umwelteffekte von Einwegprodukten reduzieren und damit den Wettbewerb für Mehrwegprodukte verschärfen. Recyclingkreisläufe für Mehrwegprodukte sind wünschenswert, haben im ökologischen Einweg-Mehrweg-Vergleich aber weniger Einfluss: bei z. B. einer Umlaufzahl von 50 wird dem einzelnen Produkteinsatz nur 1/50 der im Mehrwegprodukt verwendeten Werkstoffmenge zugerechnet, und damit auch nur 1/50 des Recyclingeffekts.

Schauen wir uns einige konkrete Beispiele an. Abbildung 16 zeigt die Ergebnisse eines ökologischen Vergleichs von Einweg- und Mehrweg-Getränkebechern, der im Auftrag des Umweltbundesamtes ausgearbeitet wurde. Bei dem dargestellten PP-Mehrwegbecher handelt es sich um einen Pool-System-Becher, der zurückgegeben und vom Anbieter gespült wird. BYO stellt die Option dar, dass die Kunden ihre eigenen Mehrwegbecher nutzen, diese selbst spülen und wieder mitbringen.

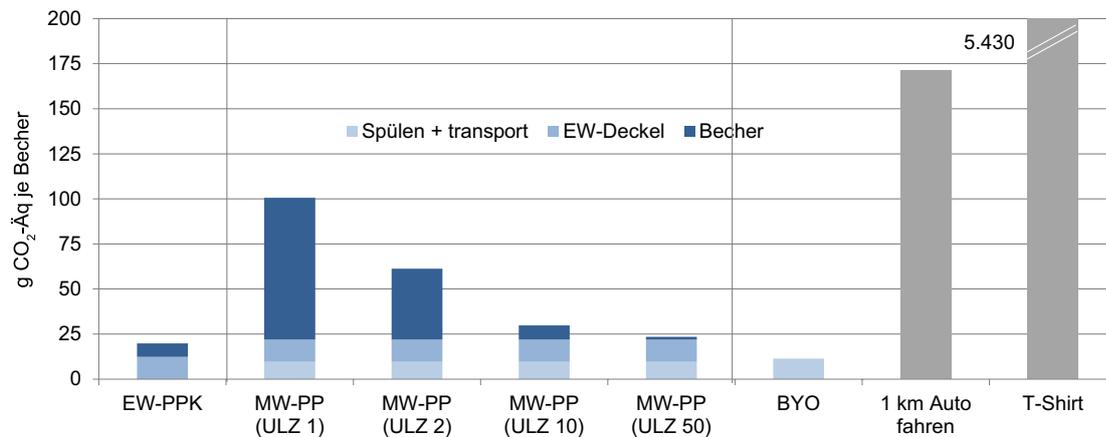


Abbildung 16: CO<sub>2</sub>-Rucksack von Einweggetränkebecher (EW-PPK aus Kartonage + PS-Deckel), Mehrweggetränkebecher (MW-PP aus Polypropylen + EW PS-Deckel) mit verschiedenen Umlaufzahlen (ULZ) und einem selbst mitgebrachten Becher (BYO „bring your own“). MW = Mehrweg, EW = Einweg, PPK: Papier, Pappe Kartonage, PP: Polypropylen, PS: Polystyrol. Quelle: UBA (2019) und eigene Berechnungen für Autofahren und T-Shirt (Herstellung und Distribution). CO<sub>2</sub>-Äq = CO<sub>2</sub>-Äquivalente.

Es zeigt sich, dass der untersuchte PP-Mehrwegbecher hohe Umlaufzahlen benötigt, um ökologisch konkurrenzfähig zum Einwegbecher aus beschichtetem Papier zu werden. Die ökologisch vorteilhafteste Alternative ist die Variante BYO bei der in der Studie hohe Umlaufzahlen angenommen und deshalb in der Ökobilanz nur der Spülvorgang berücksichtigt wurden. Bei größeren Umlaufzahlen dominieren zwei Aspekte die Ökobilanz: die angenommenen Einwegdeckel aus Polystyrol und das Spülen der Mehrwegbecher.

Mit Blick auf den Klimawandel ist es also gar nicht so einfach, den Einweg-Getränkebecher ökologisch zu übertreffen. Es sind viele Varianten denkbar, etwa mit anderen Transportentfernungen oder anderen Deckellösungen. Deutlich wird in jedem Falle, dass die Unterschiede nicht sehr groß sind. Zur besseren Einordnung der ökologischen Bewertungen haben wir zusätzlich die Treibhausgasemissionen von einem Kilometer Autofahrt und die Herstellung und Distribution eines T-Shirts dargestellt. Eines wird damit offensichtlich: Das viel diskutierte Mehrwegthema Kaffeebecher hat zumindest mit Blick auf den Klimawandel nur geringe ökologische Effekte.

Ein anderes viel diskutiertes Thema sind Getränkeflaschen. Abbildung 17 zeigt die Treibhausgasbilanz von Einweg-Bierflaschen und Mehrweglösungen aus Glas mit unterschiedlichen Umlaufzahlen.

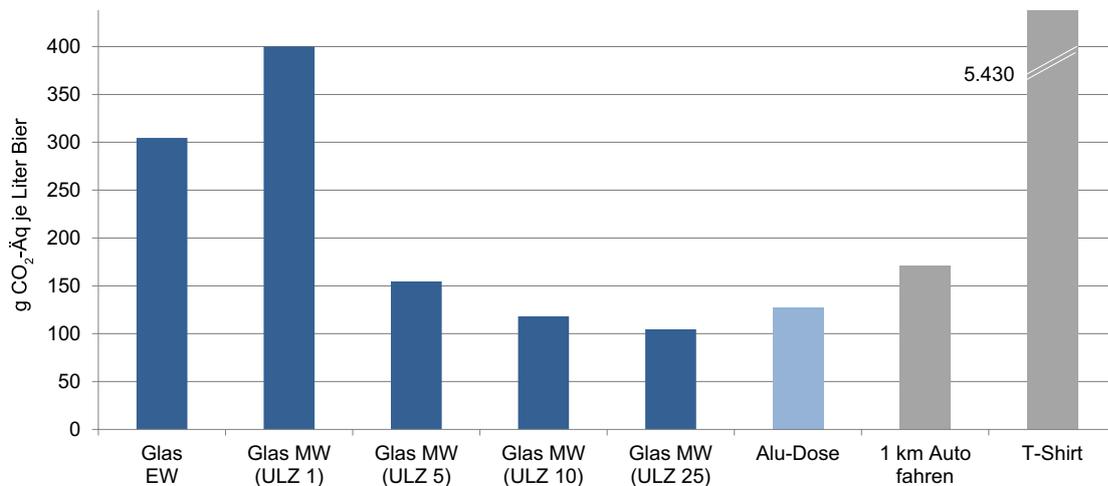


Abbildung 17: CO<sub>2</sub>-Rucksack von Dose, Einweg- und Mehrweg-Glasflasche für Bier mit verschiedenen Umlaufzahlen (ULZ). MW = Mehrweg, EW = Einweg, Al = Aluminium. Quelle: BCME (2010) und eigene Berechnungen für Autofahren und T-Shirt (Herstellung und Distribution). Transportentfernung vom Abfüller zum Verlaufsart; alle Verpackungen regionale Distribution: 1. Distributionsstufe 100 km; 2. Distributionsstufe 50 km. CO<sub>2</sub>-Äq = CO<sub>2</sub>-Äquivalente.

Wie zu Beginn des Textes erläutert, führt der ausschließliche Blick auf die Treibhausgasemissionen nicht zu belastbaren ökologischen Vergleichen. In der Studie, die Abbildung 17 zugrunde liegt, wurden insgesamt 15 Umweltwirkungen betrachtet (vergleiche BCME (2010)), die teils deutlich abweichende Ergebnisse liefern. So sind Aluminium-Dose und Mehrweg-Glasflasche mit einer Umlaufzahl von 25 Verwendungen die Verpackungsalternativen mit den geringsten Verbräuchen an fossilen Ressourcen. Hingegen ist die Aluminium-Dose die schlechteste Lösung in der Wirkungskategorie Sommersmog. Dieses Beispiel zeigt, dass die unterschiedlichen Einzelergebnisse einer detaillierten Interpretation der einzelnen Wirkungskategorien hinsichtlich ihrer Relevanz bedürfen. So ist Frage zu beantworten, wie bedeutsam der absolute Beitrag des bewerteten Produkts zum Klimawandel ist. Außerdem ist es für die Analyse wichtig, welche Bedeutung man den verschiedenen Umweltwirkungen untereinander zumisst. Einen Hinweis auf die unterschiedliche Relevanz der Umweltwirkungen, wie z. B. Klimawandel und Sommersmog gibt die in Tabelle 1 dargestellte Gewichtung der Europäischen Union.

Und auch die Annahmen hinter der Ökobilanz sind wichtig. Betrachtet man eine überregionale Distribution der Verpackungssysteme mit höheren Transportentfernungen, eröffnet sich mit zunehmenden Transportdistanzen ein ganz neuer Ergebnisraum mit weiteren relevanten Erkenntnissen.

In unserem Beispiel ist die Mehrwegflasche schon bei kleinen Umlaufzahlen besser als die Einwegflasche. Beim Vergleich können die Distanzen für den Rücktransport der leeren Mehrwegflaschen eine wesentliche Rolle spielen. Bei Bieren von regionalen Brauereien ist Mehrweg sehr klar im Vorteil. Werden die Transportdistanzen wesentlich größer, können Einwegflaschen ähnliche Werte erreichen wie die Mehrweg-Glasflasche. Auch der vermehrte Einsatz von brauereispezifisch gestalteten, sogenannten Individualflaschen kann dabei eine Rolle spielen, denn diese Flaschen haben im Mittel deutlich größere Transportdistanzen als die Standard-Mehrwegflaschen, die zu nächstgelegenen Brauerei gebracht werden, die diese Flaschen einsetzt. Die ökologisch beste Lösung sind Standard-Bierflaschen von Brauereien aus der Region. Auch hier zeigt der Vergleich mit Autofahrten und Streaming im WLAN aber wieder den eher geringen ökologischen Effekt.

Dass der Vergleich von Einweg- und Mehrweglösungen auch in gänzlich anderen Bereichen ein Thema ist, zeigt Abbildung 18. Dargestellt sind Ergebnisse einer Ökobilanz zu Staubtüchern und Staubwedeln.

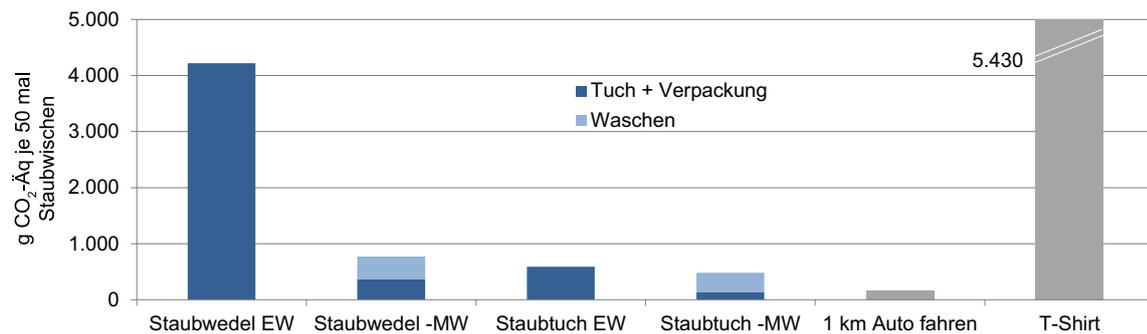


Abbildung 18: CO<sub>2</sub>-Rucksack von Staubwedeln und Staubtüchern in Ein- bzw. Mehrwegausführung. MW = Mehrweg, EW = Einweg. Quelle: Stiftung Warentest (2021) und eigene Berechnungen für Autofahren und T-Shirt (Herstellung und Distribution). CO<sub>2</sub>-Äq = CO<sub>2</sub>-Äquivalente.

Mit Blick auf die Treibhausgasbilanz ist der untersuchte Mehrweg-Staubwedel sehr klar im Vorteil gegenüber dem Einwegprodukt. Beim Vergleich von Staubtüchern ist ebenfalls die Mehrweglösung im Vorteil. Der Unterschied ist allerdings wesentlich geringer und die große Bedeutung des Waschvorgangs für das Mehrwegprodukt wird deutlich.

### 7.3 Was folgt daraus?

Mehrwegsysteme können ökologisch sehr viel besser sein als Einwegalternativen. Dies ist aber durchaus nicht immer der Fall. Wenn ein Mehrwegsystem ökologisch besser ist, dann entspricht der Vorteil für jeden Einsatz des Produktes nicht den Umweltlasten, die vermieden werden, weil ein Einwegprodukt nicht hergestellt werden musste – der tatsächliche ökologische Vorteil ist meist geringer. Bei der Bewertung von Mehrweglösungen sollten vor allem folgende Faktoren berücksichtigt werden, die in der öffentlichen Diskussion oft zu kurz kommen:

- > Der Materialaufwand für Mehrwegprodukte ist meist größer.
- > Wenn eine Aufbereitung (z. B. Reinigung) des Mehrwegproduktes erforderlich ist, kann der Aufwand erheblich sein.
- > Der Rückholtransport kann großen Einfluss haben. Dies gilt insbesondere für weite Transportstrecken und für Transporte mit dem Privat-Pkw, selbst wenn diese nur über kurze Strecken erfolgen.
- > Die tatsächliche Umlaufzahl kann sehr wichtig sein. Hier müssen insbesondere auch Schwund und Beschädigung berücksichtigt werden (s. Abbildung 19).

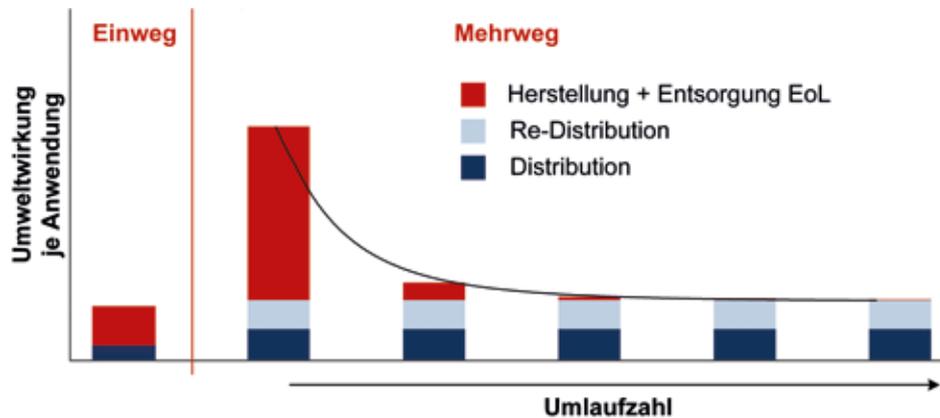


Abbildung 19: Prinzipdarstellung – Einfluss der Umlaufzahl auf den Vergleich von Einweg- und Mehrwegprodukten. Dargestellt ist ein Mehrwegprodukt mit im Vergleich zum Einwegprodukt wesentlichem größerem materialbedingtem Umwelteffekt. Quelle: VDW (2021).

Mit jeder Steigerung der Umlaufzahl des Mehrwegproduktes sinkt der Anteil der Umwelteffekte pro Einsatz. Dieser Effekt spielt vor allem bei kleineren Umlaufzahlen eine wesentliche Rolle. Bei größeren Umlaufzahlen hat eine weitere Steigerung keinen nennenswerten Effekt mehr.

Die Bewertung, ob Ein- oder Mehrweglösungen die ökobilanziell bessere Verpackungsalternative sind, ist pauschal nicht möglich. Sie muss stets für den konkreten Anwendungsfall anhand der Materialarten, Materialgewichte, Transportentfernungen, Umlaufzahlen und der Rückgabelogistik bewertet werden. Je nach Untersuchungsgegenstand können weitere Faktoren hinzukommen.

## 8 Ökobilanzen? – Damit kann man alles beweisen!

### 8.1 Bauchgefühle

Ökobilanzen werden verwendet, um ökologisch bessere Lösungen zu finden: Einwegwindeln oder waschbare Stoffwindeln, Kunststofftüte oder Papiertüte, das eine oder das andere Papierhandtuch. In der öffentlichen Debatte über ökologische Streitfragen argumentieren meist alle Beteiligten mit Ergebnissen von Ökobilanzen. Jede Seite zieht ihre Argumente aus solchen Studien. Dabei entsteht der Eindruck, dass die Ergebnisse sehr widersprüchlich sind.

Jede Ökobilanz hat ein anderes Ergebnis. Es kommt offenbar doch nur darauf an, wer den Auftrag für die Studie erteilt. Am Ende kommt immer das heraus, was für den Auftraggeber gut ist. Mit Ökobilanzen kann man alles beweisen!

### 8.2 Genauer betrachtet

Gewiss gibt es Ökobilanzen, deren Ergebnisse nicht zueinander passen, und es gibt Untersuchungen, denen anzumerken ist, dass sie nicht ergebnisoffen erarbeitet wurden.

Häufig lösen sich vermeintliche Widersprüche zwischen unterschiedlichen Studien aber auf, wenn man sich die Bilanzen genauer anschaut. Mitunter werden Ergebnisse von Untersuchungen zu unterschiedlichen Fragestellungen vermischt. So ist es unstrittig und ökobilanziell klar belegbar, dass große Frachtschiffe erhebliche Schadstoffausstöße verursachen. Für das einzelne, mit solchen Schiffen transportierte Produkt kann das aber völlig unerheblich sein, weil andere Faktoren für die Bewertung wesentlich wichtiger sind.

Wichtig ist auch die Frage, was in einer Ökobilanz verglichen wird, was also die sogenannte funktionelle Einheit ist. In einer Studie können unterschiedliche Papierhandtücher untersucht werden. Dann wird das dünnere und kleinere Tuch die bessere Ökobilanz haben. Es mag Gründe für eine solche Betrachtung geben, etwa wenn das Ziel gerade nicht ist, die Produkte zu vergleichen, sondern den ökologischen Rucksack der von einem Unternehmen produzierten Produkte zu ermitteln. Geht es aber um den ökologischen Vergleich der Papierhandtücher, dann ist es erforderlich, Händeabtrocknungsvorgänge zu vergleichen. Dann spielt nämlich auch eine Rolle, wie viele Tücher für einen Vorgang benötigt werden, etwa weil ein dünneres Tuch nicht so viel Wasser aufnimmt oder weil es von der Faltung der Tücher abhängt, wie gut sie sich einzeln aus den Spendern entnehmen lassen. So können zwei Studien zu einem Thema zu völlig anderen Ergebnissen führen, weil sie eben nicht die gleiche Fragestellung untersuchen.

Nicht selten rühren Missverständnisse auch daher, dass Ökobilanzen zu konkreten Einzelfällen mit Durchschnittsbetrachtungen verglichen werden. bifa und andere Institute haben sich z. B. in vielen Ökobilanzen mit der Vergärung und Kompostierung kommunaler Bioabfälle befasst. Nun ist die technische Ausstattung der Vergärungs- und Kompostierungsanlagen ebenso unterschiedlich, wie die Situation der Bioabfallfänger vor Ort, etwa in städtischen oder dünn besiedelten ländlichen Regionen. Für das Ergebnis der Ökobilanz ist es daher entscheidend, ob mit Durchschnittswerten gearbeitet oder zum Beispiel eine technisch vorzüglich ausgestattete, konkrete Verwertungsanlage bei günstigen Besiedlungsstrukturen analysiert wird.

Wie wichtig das regionale Umfeld sein kann, für das eine Ökobilanz durchgeführt wird, illustriert Abbildung 20. In einer Studie im Auftrag von Fujitsu hat bifa den gesamten Lebenszyklus eines Computers untersucht und unter anderem die Frage beantwortet, wie es die CO<sub>2</sub>-Bilanz beeinflusst, wenn der Computer in unterschiedlichen Ländern eingesetzt wird.

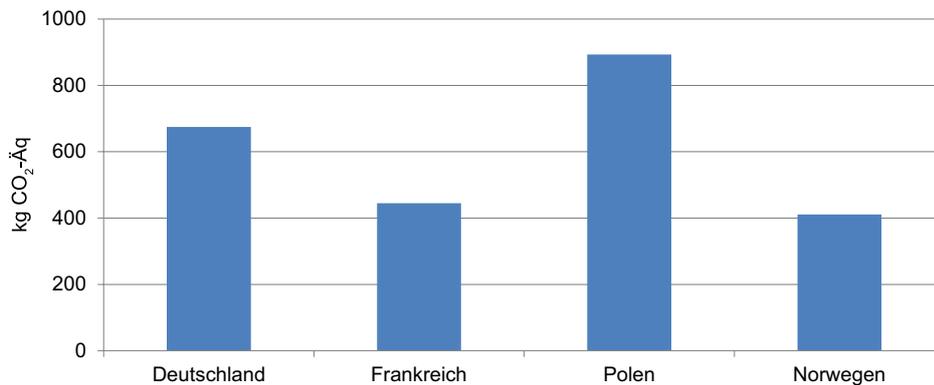


Abbildung 20: Treibhausgas-Bilanz eines ESPRIMO P9010 Computers (ganzer Lebenszyklus) bei Einsatz in Ländern mit unterschiedlichem Energiemix. CO<sub>2</sub>-Äq = CO<sub>2</sub>-Äquivalente. Quelle: eigene Darstellung nach Fujitsu (2021).

Der beim Einsatz des Computers verbrauchte Strom wird in diesen Ländern auf unterschiedliche Weise erzeugt: in Norwegen zum sehr großen Teil aus Wasserkraft, in Frankreich mit hohem Anteil von Atomstrom, in Polen überwiegend in Kohlekraftwerken und in Deutschland mit unserem nationalen Strommix. Der CO<sub>2</sub>-Rucksack der schlechtesten Variante ist doppelt so groß wie der der besten und in dieser Ökobilanz ausschlaggebend für das Gesamtergebnis.

Die Ursachen solcher Unterschiede in Ökobilanzen können tief in den Details der Untersuchungen verborgen sein. So kann es sein, dass ein scheinbar nebensächlicher Aspekt, wie z. B. ein sehr energieaufwändiger Verarbeitungsprozess, zu dem in den Bilanzen unterschiedliche Annahmen getroffen wurden, große Bedeutung für das Ergebnis hat. Gute Ökobilanzen legen die wesentlichen Einflussfaktoren und Annahmen offen.

Ökobilanzierung ist leider kein geschützter Begriff, so dass man Arbeiten unterschiedlicher Qualität findet, die von den Autoren als Ökobilanz bezeichnet werden. Die gute fachliche Praxis zur Erstellung von Ökobilanzen ist in den DIN EN ISO Normen 14040 und 14044 beschrieben. Dort werden die Vorgehensweise und die Anforderungen an die Ausarbeitung einer hochwertigen Bilanz festgelegt. Leider bleiben dort aber auch relevante methodische Weichenstellungen offen und werden den Durchführenden bewusst zur Entscheidung überlassen. Dies kann trotz „korrekter“ Bilanzierung auf Basis ähnlicher Daten zu abweichenden Ergebnissen und Interpretationen führen. Um bei wettbewerbsrelevanten Ökobilanzen die Produkte verschiedener Hersteller belastbar vergleichen zu können, schreiben die Normen im Sinne eine „Gütesiegels“ eine externe unabhängige Prüfung im Rahmen eines Critical Review vor.

Wenn es um viel diskutierte Themen geht, entbrennen immer wieder heftige Diskussionen über Ökobilanzen, obwohl diese nur sehr geringe Unterschiede zwischen den zu vergleichenden Alternativen aufweisen. Dabei wird leicht übersehen, dass kleine Abweichungen zwar zu scheinbar anderer Rangfolge führen, tatsächlich die beiden Alternativen aber nahezu gleichwertig sind. Es ist etwa so, als würden zwei Gewichte mit je einem Kilogramm Masse auf eine empfindliche Balkenwaage gelegt und auf ein Gewicht setzt sich eine Fliege.

Natürlich kommen auch in Ökobilanzen Fehler vor. Grobe Fehler sind in Studien erfahrener Anbieter allerdings selten. Und gewiss kommt es auch vor, dass Ökobilanzergebnisse bewusst gefälscht werden. Nach unserer Erfahrung kommt das in sachgerecht aufgebauten und dokumentierten Ökobilanzen so gut wie nie vor, aber schwarze Schafe gibt es überall. Erfahrene Anbieter hüten sich schon deshalb vor Trickserien und Fälschungen, weil Verlässlichkeit und Unabhängigkeit grundlegend für ihren Geschäftserfolg sind.

Was häufig anzutreffen ist, sind handwerklich schlecht gemachte Ökobilanzen, in denen Anbieter mit wenig Erfahrung ohne bösen Willen falsche Ergebnisse produzieren. Oft werden in ökologischen Diskus-

sionen auch Arbeiten zitiert, die den Namen Ökobilanz gar nicht verdienen, weil hier nur jemand schnell ein paar Zahlen vergleicht, ohne genau hinzuschauen.

Vor allem aber ist es wichtig, die Diskussion über Ökobilanzen nicht mit den Ökobilanzen selbst zu verwechseln, denn Diskussionsteilnehmer greifen gerne die für ihre Position günstigen Aspekte heraus. Wenn zwei Produkte verglichen werden, dann sind die Ergebnisse selten für eines der Produkte in allen Wirkungskategorien besser. So kann es sein, dass Variante A in fast allen Wirkungskategorien besser ist als B, nur ist z. B. die Bewertung der Feinstaubemissionen bei B besser. Dann heben interessierte Akteure möglicherweise diese eine Wirkungskategorie hervor und sagen „B ist ökologisch besser, denn A verursacht mehr Feinstaubemissionen“. Damit ist dann ein Ergebnis der Ökobilanz richtig wiedergegeben, aber eben nur eines von vielen.

### 8.3 Was folgt daraus?

Wenn Sie den Eindruck haben, es lägen Ökobilanzen mit widersprüchlichen Ergebnissen vor, dann kann Ihnen die Prüfung folgender Fragen zu mehr Klarheit verhelfen:

- > Handelt es sich in beiden Fällen um Ökobilanzen, also nicht nur um einfache Abschätzungen isolierter Zahlenwerte?
- > Wurden in den Bilanzen tatsächlich die gleichen Produkte, Verpackungen oder Prozesse untersucht?
- > Werden in den Bilanzen die gleichen Lebenswegabschnitte untersucht (Herstellung, Gebrauch und Entsorgung nach Gebrauch)?
- > Wurden die gleichen funktionelle Einheiten<sup>8</sup> verwendet?
- > Haben die Bilanzen vergleichbaren regionalen Bezug, z. B. mit Blick auf den Anteil fossiler Energien im Strommix?
- > Sind die Ökobilanzen noch aktuell?

Wenn Sie eine der Fragen mit nein beantworten, dann sind Ergebnisse dieser Untersuchungen nicht oder allenfalls eingeschränkt vergleichbar.

Wenn Sie alle Fragen mit ja beantworten, dann prüfen Sie Folgendes:

- > Sind die Unterschiede in den Ergebnissen prozentual sehr gering?
- > Kommen tatsächlich die Ökobilanzen zu unterschiedlichen Ergebnissen oder werden in der öffentlichen Diskussion nur unterschiedliche Teilaspekte herausgegriffen?

In den meisten Fällen werden Sie mit diesen Fragen feststellen, dass entweder die Ergebnisse dieser Ökobilanzen nicht vergleichbar, oder aber die Unterschiede unerheblich sind.

---

<sup>8</sup> Die funktionelle Einheit ist die Bezugsgröße für die Gegenüberstellung der betrachteten Produkte u.ä.

Abbildung 21 stellt noch einmal in der Übersicht dar, mit welchen Fragen Sie die Vergleichbarkeit von Ökobilanzen prüfen können.

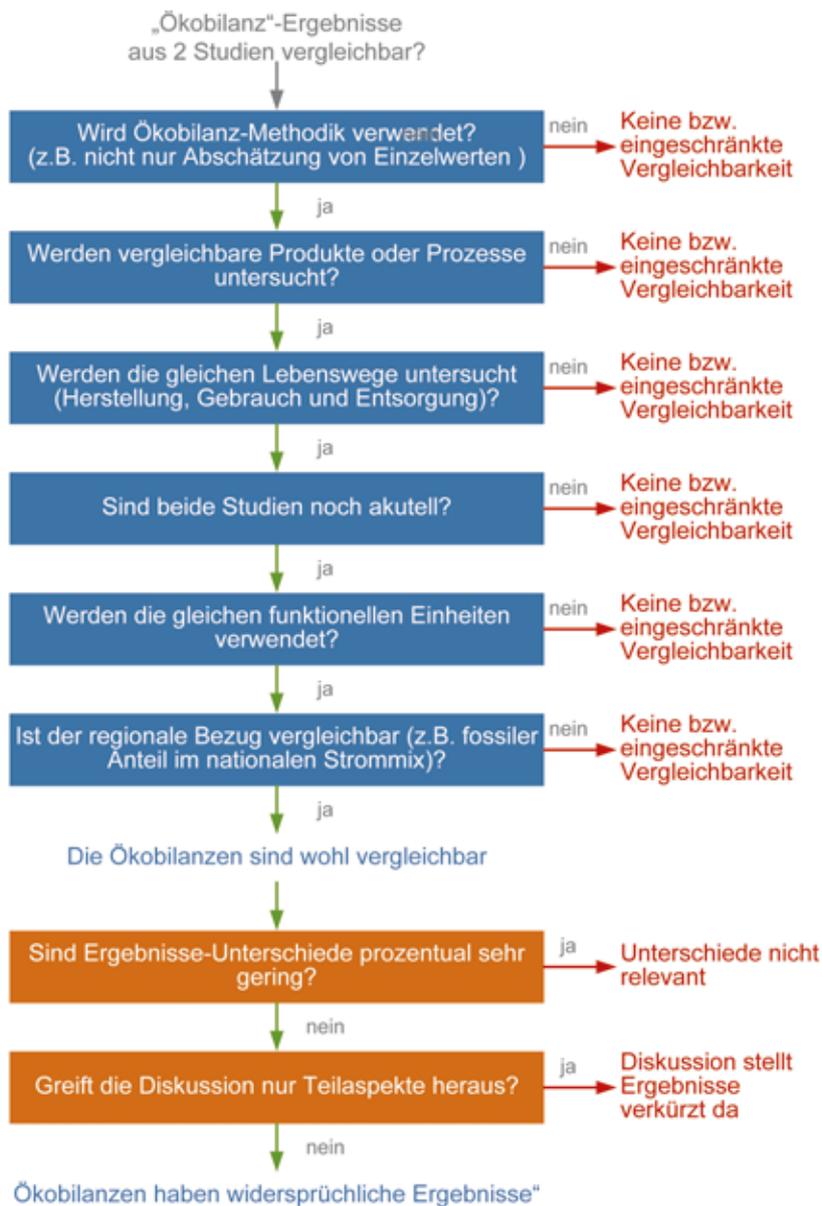


Abbildung 21: Analyse zur Vergleichbarkeit von Ergebnissen aus unterschiedlichen Ökobilanzen.

## 9 Einmal schlecht – immer schlecht!

### 9.1 Bauchgefühle

Auseinandersetzungen zum ökologischen Vergleich von Produkten oder Verfahren sind oft unübersichtlich und kompliziert. Wer sich nur am Rande damit auseinandersetzt, hört irgendwann von einer Ökobilanz mit einem klaren Ergebnis und speichert es ab: Zu diesem Thema gab es mal eine Ökobilanz, das ist schlecht für die Umwelt. Vor einigen Jahren ist das ausführlich untersucht worden. Darüber muss man sich jetzt wirklich keine Gedanken mehr machen! Wie kann es sein, dass Dinge, die eine schlechte Ökobilanz haben und zu denen bessere Alternativen verfügbar sind, immer noch in Gebrauch sind? Das sollte verboten werden.

### 9.2 Genauer betrachtet

Was einmal richtig ist, muss nicht immer richtig bleiben. Auch die Ergebnisse von Ökobilanzen veralten. Produkte können besser werden, etwa durch materialsparendes Design von Verpackungen oder durch Senkung des Energieverbrauchs von Elektrogeräten. Die Umlaufzahlen von Mehrwegprodukten können zunehmen. Herstellungsprozesse können durch verbesserte Abluft oder Abwasserreinigung emissionsärmer gestaltet werden. Aber auch bei gänzlich unveränderten Produkten kann sich die ökobilanzielle Bewertung erheblich ändern. Nämlich dann, wenn sich das Umfeld verändert. Noch Anfang der 2000er Jahre wurden in Deutschland nicht-mineralische Abfälle wie Kunststoff, Papier oder Bioabfall deponiert. Heute wird ein erheblicher Teil der Abfälle stofflich recycelt oder der Kompostierung und Vergärung zugeführt. Was übrig bleibt, wird verbrannt. Bei der Verbrennung wird Strom erzeugt und Abwärme genutzt. Das führt bei Produkten, die nach Gebrauch früher auf Deponien entsorgt wurden und dort womöglich hoch-klimawirkschädliches Methan erzeugten, zu deutlichen Verbesserungen in der Ökobilanz.

Ein aktueller, ökologisch sehr wirkmächtiger Trend ist der zunehmende Ausbau erneuerbarer Energien. Heute ist der Verbrauch von elektrischer Energie, von Energie zur Wärmeerzeugung oder auch der Transport mit Lkw und anderen Fahrzeugen meist mit der Verbrennung von Kohle, Öl oder Gas und somit der Emission von Treibhausgasen verbunden. Der Einfluss dieses Effekts auf die Ergebnisse vieler Ökobilanzen ist sehr groß.

Der Klimawandel macht einen immer schnelleren Ausbau erneuerbarer Energien erforderlich. Was bedeutet das für die Ergebnisse von Ökobilanzen? Nehmen wir eine Situation an, der wir uns hoffentlich in absehbarer Zeit weitgehend angenähert haben. Nehmen wir an, wir leben in einer Welt, in der zur Erzeugung von Strom und Wärme sowie als Antriebsmittel für Transporte zu 100 % erneuerbare Energien eingesetzt werden. Was ändert sich in diesem Szenario für die Ergebnisse der Ökobilanzierung?

- > Die Wirkungskategorie Treibhausgasemissionen würde erheblich an Bedeutung verlieren. Vermutlich erlebt dagegen die heute etwas in Vergessenheit geratene Größe des kumulierten Energiebedarfs, also des gesamten Energiebedarfs aus Quellen aller Art, eine Renaissance.
- > Andere Wirkungskategorien, etwa Wasserknappheit oder Landnutzung, werden viel stärker in den Vordergrund rücken.
- > Der Energieverbrauch von z. B. Produktionsprozessen wird für viele Umweltwirkungen stark an Bedeutung verlieren.
- > Der ökologische Rucksack benötigter Werkstoffe, deren Herstellung oder Verarbeitung energieintensiv ist (z. B. Aluminium oder Papier), wird kleiner werden.
- > Die Bedeutung von Transporten nimmt durch den Ausbau der Elektromobilität erheblich ab. Dies dürfte sich zum Beispiel zugunsten von Mehrweglösungen auswirken.

- > Die Bedeutung der in energieverbrauchenden Produkten (z. B. Elektrogeräte und Pkw) eingebauten Werkstoffe wird wachsen, die des Energieverbrauchs im Rahmen ihrer Nutzung stark abnehmen.
- > Die Herstellung energieintensiver Produkte, wie z. B. Papier oder Aluminium, wird nahezu vollständig aus erneuerbaren Quellen erfolgen, da auch die Energieversorgung der Fabriken keine fossilen Brennstoffe mehr benötigen.
- > CO<sub>2</sub>-Gutschriften aus der Verbrennung von Abfällen (z. B. in Hausmüllverbrennungsanlagen) werden weitgehend bedeutungslos, weil Strom oder Abwärme, die bei solchen Prozessen gewonnen werden, nicht mehr Strom oder Wärme aus Kohle, Heizöl oder Erdgas ersetzen. Dafür treten andere Effekte in den Vordergrund: Treibhausgasemissionen aus der Verbrennung z. B. von Kunststoffen, die Schadstoffbeseitigung oder die Rückgewinnung von Metallen aus der Schlacke.
- > Der ökologische Nutzen des Recyclings wird im Vergleich zur Abfallverbrennung wachsen, weil bei der Verbrennung erzeugte Energie keine Energie aus fossilen Brennstoffen mehr ersetzt.
- > Verfahren, wie z. B. die Elektrolyse zur Herstellung von Wasserstoff, die heute aufgrund ihres hohen Energieverbrauchs aus Klimasicht nachteilig sind, werden attraktiv.

Noch stärker wären die Auswirkungen eines Szenarios, in dem auch Treibhausgasemissionen, die nicht aus der Erzeugung von Nutzenergie herrühren, weitgehend vermieden werden. In dem also etwa auch bei der Zementherstellung oder der Müllverbrennung nahezu keine CO<sub>2</sub>-Emissionen mehr entstehen, weil das freigesetzte CO<sub>2</sub> aufgefangen und verwertet oder fixiert wird.

Der Einfluss eines sich zeitlich ändernden Erzeugungsmix für Strom ist in Abbildung 22 am Beispiel der Treibhausgas-Emissionen eines Elektro-Pkw veranschaulicht. Der wachsende Anteil von Strom aus erneuerbaren Energien reduziert die Treibhausgas-Emissionen aus dem Betrieb ganz erheblich. Im Grenzfall der klimaneutralen Stromerzeugung, die für Deutschland bis 2045 realisiert werden soll, bleiben nur die näherungsweise als unverändert angenommenen Emissionen aus der Herstellung der Pkw und ihrer Entsorgung. Insgesamt könnte sich die Treibhausgas -Belastung damit im Vergleich zum Jahr 2016 nahezu halbieren.

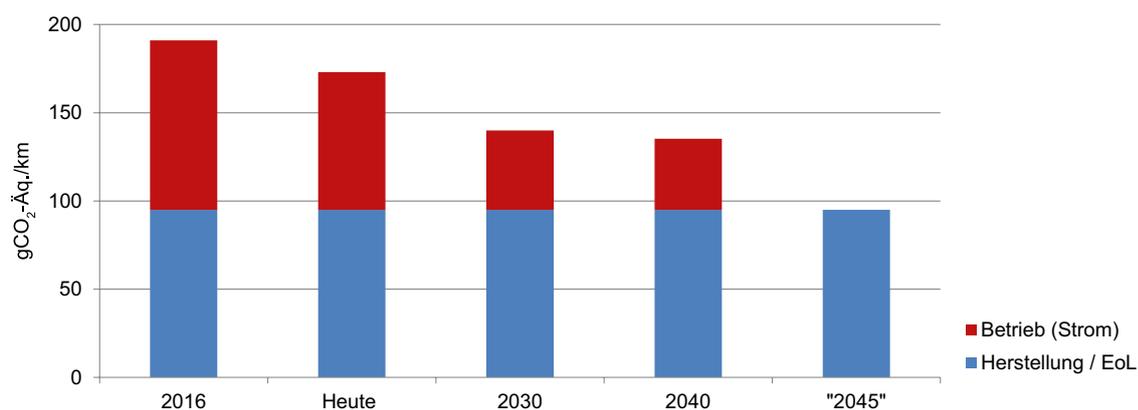


Abbildung 22: Treibhausgas-Bilanz eines Elektro-Pkw in Abhängigkeit von zunehmend klimaneutralem Strommix. Annahme: Herstellung und End of Life (EoL) unverändert. Quelle: Agora (2019) und eigene Berechnungen. THG: Treibhausgas. CO<sub>2</sub>-Äq = CO<sub>2</sub>-Äquivalente.

Der Einsatz von Fahrzeugen, die vollständig mit Strom aus erneuerbaren Energien betrieben werden, wirkt sich nicht nur positiv auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus. Es werden auch andere durch Verbrennungsmotoren verursachte Emissionen in die Luft wie Stickoxide und Feinstaub vermieden. Eine ganzheitliche Ökobilanz sollte aber auch berücksichtigen, dass für Elektrofahrzeuge andere Rohstoffe erforderlich sind. So werden für die Batterien Lithium, aber auch relevante Mengen an Kobalt und Nickel benötigt. Dafür entfallen große Mengen an Stahl und anderen Werkstoffen, die für Verbrennungsmotoren und ihre Peripherie erforderlich sind.

Außerdem sei angemerkt, dass die Bewertung nur dann gilt, wenn der – durch den vermehrten Umstieg auf E-Fahrzeuge – zusätzlich entstehende Strombedarf durch regenerative Quellen gedeckt werden kann und hierzu keine fossilen Kraftwerke erforderlich sind.

### 9.3 Was folgt daraus?

Ökobilanzergebnisse sind immer nur Momentaufnahmen. Wir sollten sie weniger als Urteile betrachten, sondern eher als Aufgabe. Produkte und Prozesse mit schlechter Ökobilanz können besser werden. Auch die Bewertungskriterien der Ökobilanz können sich verändern. Versauerung oder Ozonschichtabbau waren früher für den Umweltschutz sehr zentrale Themen. Sie sind immer noch wichtig, aber heute steht der Klimawandel im Vordergrund.

In einer Welt der erneuerbaren Energien werden andere Umweltwirkungen in den Fokus rücken. So könnten etwa Wasserknappheit oder Flächennutzung zentrale Umweltwirkungskategorien werden oder Prozesse werden verstärkt am Verbrauch klimaschonend erzeugter, aber nur begrenzt verfügbarer Energie, bewertet.

Ein weiterer Faktor, der zu Änderungen in der Bewertung führen kann, ist die Verbesserung der Ökobilanzmethodik. So ist denkbar, dass zunehmendes Verständnis von Biodiversität und Ökosystemen in Verbindung mit neuen und leistungsfähigen IT-Systemen es künftig ermöglichen, Biodiversitätseffekte halbwegs belastbar zu quantifizieren, so dass diese wichtige Wirkungskategorie auch methodisch endlich handhabbar wird. Gleiches ist für toxikologische Effekte vorstellbar.

Behalten Sie vor dem geschilderten Hintergrund Folgendes im Blick:

- > Die Produktionsweisen von Materialien und besonders Energien ändern sich heute rasch. Ergebnisse aus Ökobilanzen haben deshalb ein immanentes Verfallsdatum und die ökologische Bewertung von Produkten und Verfahren können sich im zeitlichen Verlauf ändern. Ergebnisse von Ökobilanzen, die bereits einige Jahre alt sind, sollten nur mit Vorsicht für die Beantwortung der Fragen von heute herangezogen werden.
- > Vergleichen Sie nicht unmittelbar die Ergebnisse von Produkten oder Verfahren aus verschiedenen Ökobilanz-Studien, deren Datengrundlagen zeitlich weit auseinander liegen.
- > Seien Sie vorsichtig, wenn Ihnen Produkte aus ökologischer Sicht bereits heute mit dem Versprechen auf eine künftig klimaneutrale Erzeugung von Energie schmackhaft gemacht werden. Batteriebetriebene Fahrzeuge brauchen grünen Strom: Gleiches gilt für die Erzeugung von grünem Wasserstoff und viele weitere Produktionsprozesse. Was auf Produktebene gut klingt, muss auch auf Ebene des Gesamtsystems realisiert werden können.

## 10 Ökobilanzen – die ganze Wahrheit!

### 10.1 Bauchgefühle

Wohl jeder nimmt vor allem solche Argumente wahr, die ihm wichtige Perspektiven betreffen. Menschen, die vor allem an Kosteneffizienz interessiert sind, dürften meist ein stärkeres Sensorium für Kostenfaktoren und Wirtschaftlichkeitsargumente haben. Anderes, etwa Umweltfragen, geraten dabei leicht ins Hintertreffen. Auch sehr stark an Umweltfragen interessierte Menschen haben ihre blinden Flecken. Hier ist mitunter die Neigung groß, ökologische Gesichtspunkte über alles zu stellen:

Zu dieser Frage gibt es fundierte Ökobilanzen, die ganz klar sagen, welche Lösung die bessere ist. Damit steht fest, was geschehen muss. Unser Ziel muss nachhaltiges Wirtschaften sein. Was eine schlechte Ökobilanz hat, ist nicht nachhaltig. Es ist ganz einfach: Die Alternativen mit der schlechteren Ökobilanz müssen so schnell wie möglich verschwinden.

### 10.2 Genauer betrachtet

Nein, leider ist es nicht so einfach. Nachhaltigkeit ist mehr als Ökologie. Es gibt auch soziale und ökonomische Kriterien der Nachhaltigkeit. Zudem müssen betriebs-, wirtschaftliche Größen in Entscheidungen berücksichtigt werden.

Wenn eine Alternative, etwa die Herstellung eines Produktes aus anderen Werkstoffen, ökologisch besser ist, müssen bei Entscheidungen immer auch die Kosten berücksichtigt werden. bifa-Ökobilanzen werden daher häufig um eine betriebswirtschaftliche Ebene erweitert. Die sogenannte Ökoeffizienzanalyse stellt Umwelteffekte, also die Ergebnisse eines ökobilanziellen Vergleichs, den Kosten gegenüber. Wenn geringe ökologische Verbesserungen mit hohen Kosten verbunden sind, kann es sinnvoller sein, ökoeffizientere Lösungen mit einem besseren Kosten-Nutzen-Verhältnis zu wählen.

Die Analyse der Kosten erfolgt meist aus einer einzelwirtschaftlichen Perspektive. Für die Ermittlung der einzelwirtschaftlichen Kosten kann auf betriebliche Daten bzw. Erfahrungswerte zurückgegriffen werden. Die weitergehende Erfassung und Bewertung von externen Umweltkosten, also Kosten, die der Gemeinschaft entstehen, ist hingegen wesentlich komplexer. Für die Ökoeffizienzanalyse werden außerdem die Ergebnisse für alle betrachteten Umweltwirkungen über Normierung und Gewichtung ihre Bedeutung zu einer einzigen ökologischen Kennzahl zusammengefasst.

Abbildung 23 erläutert die Lesart einer typischen zusammenfassenden Ergebnisdarstellung zur Ökoeffizienzanalyse, des Ökoeffizienz-Portfolios. Die Achsen zur Ökologie (Umweltbelastung) und zu den Kosten sind so aufgetragen, dass Szenarien mit niedriger Ökoeffizienz (hohe Umweltlast und hohe Kosten) im Quadranten unten links und Szenarien mit hoher Ökoeffizienz (niedrige Umweltlast und niedrige Kosten) im Quadranten oben rechts positioniert sind.

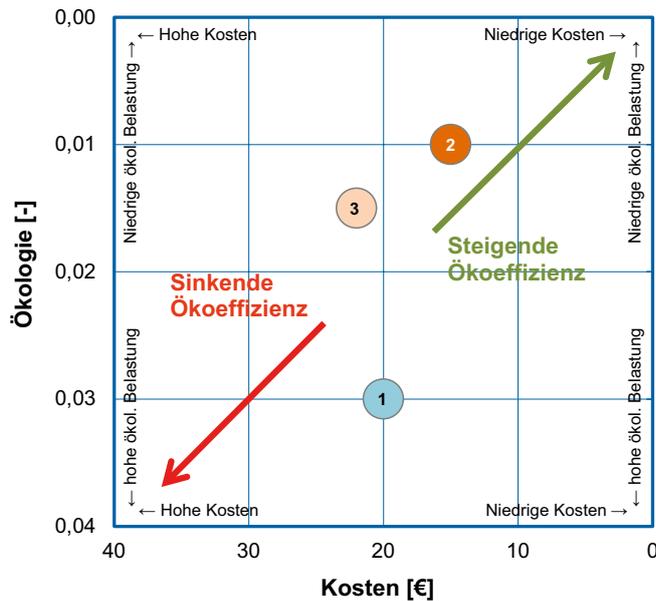


Abbildung 23: Prinzip der Darstellung im Ökoeffizienz-Portfolio.

Das Ökoeffizienzportfolio ist eine anschauliche und managementgängige Darstellung der ökologischen und ökonomischen Bewertung von Produkten oder Prozessen. Es ermöglicht einen schnellen und fundierten Vergleich, der insbesondere dann hilfreich ist, wenn viele Alternativen miteinander verglichen werden sollen. Dies kann etwa der Fall sein, wenn es darum geht, zahlreiche Ideen zur Verbesserung der Ökobilanz eines Produktes gegenüberzustellen.

Die endgültige Bewertung nimmt das Portfolio dem Entscheider jedoch nicht ab. Die Frage, wie Ökologie und Ökonomie gegeneinander gewichtet werden, und damit letztlich, wieviel er bereit ist, für eine niedrigere Umweltbelastung zu bezahlen, muss er selbst beantworten. Wie stark werden Ökologie und Ökonomie gegeneinander gewichtet, und damit oft verbunden die Frage, wieviel sind wir bereit für eine Verbesserung der Umwelt zu bezahlen?

Schwieriger ist es mit den sozialen Folgen verschiedener Alternativen, etwa den Auswirkungen von Rohstoffabbau oder Fertigungsprozessen auf Lebenschancen und Lebensqualität der Arbeitnehmer und der übrigen Bevölkerung vor Ort. Es gibt seit einigen Jahren intensivere Bemühungen um die Entwicklung einer „Social LCA“, die ähnlich wie die Ökobilanz für Umwelteffekte einen Vergleich sozialer Effekte von verschiedenen Alternativen ermöglicht. Die Methodik und vor allem die benötigten Datensammlungen sind heute noch Gegenstand der Forschung, aber auch hier wird die Entwicklung weiter gehen und die praktische Anwendung möglich werden. Ratsam ist eine Bewertung der sozialen Auswirkungen von Produkten und Prozessen auf den Menschen und die Gesellschaft zu vielen Fragenstellungen. Eine Methode wird von der UNEP / SETAC Life Cycle Initiative „Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products“ beschrieben. Orientiert am Vorgehen der ISO 14040 werden die Stakeholder identifiziert, die am Produkt oder Prozess Anteil haben oder die davon beeinflusst werden. Während die klassische Ökobilanz zur Bewertung auf Stoff- und Energieflüsse zurückgreift, benötigt die „Social LCA“ Werte dazu, welche sozialen und sozioökonomischen Wirkungen Produkte und Prozesse entfalten, z. B. mit Blick auf Menschenrechte, Arbeitsbedingungen, Gesundheit und Sicherheit. Die wohl wichtigste Hürde für die Anwendung der „Social LCA“ in der Praxis liegt heute in der mangelnden Verfügbarkeit entsprechender „sozialer“ Dateninventare.

Die Ökobilanz ermöglicht also weder eine Bewertung sozialer noch wirtschaftlicher Faktoren. Hierfür müssen andere Methoden eingesetzt werden, wie etwa die betriebswirtschaftliche Rechnung, die dann in der Ökoeffizienzanalyse neben die ökologische Bewertung gestellt werden kann.

Aber nicht nur das: Auch ökologische Effekte erfasst die Ökobilanz nicht vollständig. Für viele Umweltwirkungskategorien wie Klimawandel, Versauerung, Ozonabbau etc. gibt es gute und allgemein anerkannte Methoden in der Ökobilanzierung. Für andere Umweltwirkungskategorien, wie z. B. den Flächenverbrauch, gibt es Ansätze, mit denen sich arbeiten lässt, die aber noch nicht gänzlich befriedigen. Leider gibt es aber auch wichtige Umweltwirkungen, die ökobilanziell noch nicht gut abbildbar sind:

- > **Toxikologische Wirkungen:** Viele Schadstoffe, die ein Prozess in die Umwelt emittiert, haben toxische Wirkungen auf den Menschen oder die Umwelt. Die Bewertung gesundheitsgefährdender Wirkungen lässt sich im Rahmen der Ökobilanz bisher nur schwer durchführen. Die in der Ökobilanz ermittelten Emissionen einer Substanz allein reichen nicht aus, um deren toxische Wirkung zu beschreiben. Neben den Emissionen ist außerdem relevant, wie sich der Stoff in der Umwelt verteilt, ob und wie ein potenziell Geschädigter der Substanz ausgesetzt ist. In Ökobilanzen wird heute trotz der damit verbundenen großen Einschränkungen als Orientierung immer wieder die USEtox-Methode (für ausführliche Information siehe [www.usetox.org](http://www.usetox.org)) angewendet. Die für diese Methode erforderlichen Angaben sind allerdings längst nicht für alle chemischen Substanzen vorhanden und teils mit hohen Unsicherheiten verbunden. In der Praxis fällt es daher schwer, Prozesse und Produkte hinsichtlich toxikologischer Aspekte umfassend und fair zu bewerten.
- > **Biodiversität:** Die biologische Vielfalt unserer Umwelt ist eine natürliche Ressource, die ebenso wie z. B. Luft, Wasser oder Boden ein relevantes Schutzgut darstellt. Trotz vielfältiger Bemühungen existiert heute kein anerkannter Wirkungsindikator, der die Auswirkungen auf die Biodiversität in Ökobilanzen fundiert und praktikabel einsetzbar beschreibt. Die Herausforderung liegt zu einem darin, die Vielzahl der – zudem noch lange nicht vollständig verstandenen – Einzelwirkungen und Wirkmechanismen, die auf die Biodiversität Einfluss nehmen, in einem Modell abzubilden. Zum anderen wird die biologische Vielfalt in der Regel anhand konkreter Flächen bewertet. Der Bezug auf eine konkrete Umgebungssituation ist allerdings nicht die Sichtweise der Ökobilanz.

Auch bei der Interpretation bereits gut handhabbarer Umweltwirkungskategorien ist es wichtig, einige Grenzen zu berücksichtigen:

- > Ökobilanzen sind in aller Regel Momentaufnahmen (s. auch Kapitel 9). Sie bilden immer nur ab, was heute der Fall ist. Die zeitliche Perspektive in die Zukunft fehlt, sofern nicht detaillierte Szenarien (wie z. B. ein angenommener Strommix 2050) berechnet werden.
- > Hinter Ökobilanzen stehen Konventionen, also methodische Vereinbarungen, die auch anders gehandhabt werden könnten. So werden die mit menschlicher Arbeitszeit verbundenen Umwelteffekte etwa für Wohnung und Ernährung der Arbeitnehmer in Ökobilanzen nicht berücksichtigt.
- > Auch Zusammenhänge an den Grenzen zur Ökonomie könnten unterschiedlich gehandhabt werden. Dies betrifft etwa die Frage, wie in der Ökobilanz berücksichtigt wird, ob für ein erzeugtes Rezyklat hinreichend Nachfrage besteht.
- > Und schließlich sind auch völlig andere Denkmodelle möglich. Nehmen wir eine fiktive Ökobilanz, die das Original-Gemälde eines namhaften Künstlers mit der Reproduktion irgendeines tausendfach vervielfältigten Kunstwerks vergleicht. Nach heutiger Konvention würde der Vergleich deutlich zugunsten der Reproduktion ausfallen, die wesentlich weniger aufwändig in der Herstellung ist (Heizung im Atelier, Leinwand statt Papier, dicker Farbauftrag, etc.). Wenn aber berücksichtigt würde, dass der Käufer des Original-Gemäldes die investierten 2.000 Euro dann nicht mehr für andere Zwecke ausgeben und so weitere Umweltbelastungen verursachen kann, dann bekäme die ökologische Bewertung eine ganz neue, derzeit nicht relevante Perspektive. Tatsächlich gibt es mit der „Consequential LCA“ bereits Ansätze, mit denen auch solche Zusammenhänge ökobilanziell erfasst werden könnten. In der Praxis spielt das aber noch keine wesentliche Rolle.

### 10.3 Was folgt daraus?

Ökobilanzen bewerten viele wichtige Umweltwirkungen fundiert, differenziert und reproduzierbar.

Allerdings bieten auch Ökobilanzen keine vollständige Bewertung von Umwelteffekten. Für Bereiche wie toxikologische Wirkungen und Biodiversität gibt es noch keine befriedigenden Methoden, und es ist durchaus möglich, dass weitere, neue Umweltwirkungen erkannt werden, für die erst eine ökobilanzielle Analysemethodik entwickelt werden muss. Auch die Ökobilanzmethodik bedarf der kontinuierlichen Weiterentwicklung.

Wichtig ist, nicht zu vergessen, welchem Ziel Ökobilanzen dienen. Sie dienen der ökologischen Bewertung. Soziale, wirtschaftliche, politische oder ethische Faktoren haben ebenfalls große Bedeutung. Sie müssen auf andere Weise bewertet werden. Ausschließlich ökologisch betrachtet, ist zu Fuß gehen die beste Art, um von München nach Hamburg zu kommen, kleine Zelte sind besser als Wohnungen oder gar Häuser, und eine geringe Lebenserwartung ist besser als ein langes Konsumenten-Leben.

Die Ökobilanz hat Grenzen. Das gilt aber für jede Bewertungsmethode. Auch die betriebswirtschaftliche Unternehmensbilanz bildet nicht das gesamte Geschehen ab und sie baut ebenfalls auf vielfältige Konventionen auf, die durchaus anders gestaltet werden könnten. Dass die Ökobilanz eine Methode ist, die Schwächen hat und ständig weiterentwickelt werden muss, ist richtig, das gilt aber für alle komplexeren Bewertungsmethoden.

Die Ökobilanz ist eine starke Methode. Es gibt kein besseres, universell einsetzbares Werkzeug zur ökologischen Bewertung.

## 11 Fazit

Die Ökobilanz ist ein wertvolles Werkzeug, und sie wird immer besser. Ihr Hauptnutzen ist ein zweifacher: Sie hilft, umweltbezogen bessere Alternativen zu identifizieren, und sie gibt wertvolle Hinweise, wie alle Alternativen ökologisch noch besser werden können.

Der schnellen Einschätzung aus dem Bauch heraus ist die Ökobilanz weit überlegen. Wir hoffen, das mit diesem Text deutlich gemacht zu haben, und wir hoffen, dass dieser Text ein wenig zum Nachdenken anregt.

Nicht alle Umweltthemen, die intensiv in der Öffentlichkeit diskutiert werden, haben auch eine große ökologische Bedeutung. Verpackungen sind ökologisch viel weniger wichtig als die verpackten Produkte, und die Unterschiede in der ökologischen Bewertung von Verpackungsalternativen sind häufig nur gering. Die Bedeutung von Gütertransporten über weite Strecken wird überschätzt und die von Transporten mit Pkw unterschätzt. Recycling kann immer nur einen Teil der mit der Herstellung eines Produktes verbundenen Umweltbelastungen vermeiden, und dieser Teil ist mitunter eher klein. Mehrwegsysteme sind nicht immer die beste Lösung, und oft sind die Unterschiede in der ökologischen Bewertung von Einweg- und Mehrweglösungen eher gering.

Das bedeutet jedoch nicht, dass wir uns um diese Dinge nicht kümmern sollten. Auch in Feldern mit – je nach Betrachtungsraum – geringerer ökologischer Bedeutung sollte an Verbesserungen gearbeitet werden. Die Entwicklung ökologisch besserer Verpackungen ist eine wichtige Aufgabe. Transportsysteme müssen weiter optimiert werden, weil sie in ihrer Gesamtheit erheblich zur Umweltbelastung beitragen. Recycling ist ein wichtiger ökologischer Stellhebel und muss weiter vorangetrieben werden. Mehrwegsysteme sind oft besser als Einweglösungen und ihre weitere Verbesserung ist erforderlich.

Wir plädieren dafür, alle diese Bemühungen fortzusetzen. Im Kampf um den Schwarzen Umweltpeter sollten wir aber zwei Dinge nicht vergessen: Den größten Nutzen für die Umwelt haben oft Alternativen, die unbequem sind, und es ist nicht immer einfach, das Bessere zu erkennen.

Die Ökobilanz ist das beste verfügbare Werkzeug zur ökologischen Bewertung. Gute und fundierte Ökobilanzen sind nachvollziehbar. Sie stellen Ergebnisse differenziert dar und folgen den Standards der guten ökobilanziellen Praxis. Bei der Gegenüberstellung von Ökobilanz-Ergebnissen sollte man allerdings genau hinschauen. Die Versuchung, Äpfel mit Birnen zu vergleichen, ist groß. Zudem sollte bedacht werden, dass sich Produkte und Prozesse sowie ihr Umfeld ändern und mit ihnen auch die ökologische Bewertung. Was heute die bessere Lösung ist, kann morgen die schlechtere sein.

Wie jedes Werkzeug, hat auch die Ökobilanz ihre Grenzen. Wir hoffen, es ist uns gelungen, deutlich zu machen, warum sie dennoch ein gutes und leistungsfähiges Werkzeug ist, und wir hoffen, dass wir Ihnen mit unseren Erläuterungen und Hinweisen zum Umgang mit Ökobilanzen und ökologischer Bewertung ein wenig weiterhelfen konnten.

Übrigens: Wenn sie eine Ökobilanz benötigen, ist bifa mit mehr als fünfundzwanzig Jahre Erfahrung immer eine gute Wahl.

Die Ausarbeitung dieses bifa-Textes war nur möglich durch großzügige Unterstützung des Fördervereins der bifa Umweltinstitut GmbH, vf bifa e. V. Wir bedanken uns herzlich für die finanzielle Unterstützung und für die begleitende kritische Diskussion.

## Literatur

- Agora (2019): Agora Verkehrswende (2019): Klimabilanz von Elektroautos. Einflussfaktoren und Verbesserungspotenzial. Erstveröffentlichung: April 2019. Zweite Auflage: Mai 2019. 22-2019-DE
- BCME (2010): Martine Krüger et al.: Ökobilanzielle Untersuchung verschiedener Verpackungssysteme für Bier. Institut für Energie- und Umweltforschung gGmbH im Auftrag der Beverage Can Makers Europe (BCME). Heidelberg 2010.
- Bisinella et al. (2018): Valentina Bisinella, Paola Federica Albizzati, Thomas Fruergaard Astrup, Anders Damgaard: Life Cycle Assessment of grocery carrier bags. Environmental Project no. 1985. Danish Environmental Protection Agency February 2018
- BMU (2019): Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) Pressemitteilung Video-Streaming: Art der Datenübertragung entscheidend für Klimabilanz. Download unter (19.07.2021): <https://www.bmu.de/pressemitteilung/video-streaming-art-der-datenuebertragung-entscheidend-fuer-klimabilanz/>
- Bookhagen, et al. (2020): B. Bookhagen et al.: Metallic resources in smartphones. August 2020. Resources Policy 68. DOI: 10.1016/j.resourpol.2020.101750
- Conversio (2020): Stoffstrombild Kunststoffe in Deutschland 2019; Kurzfassung der Conversio-Studie, <https://www.vci.de/ergaenzende-downloads/kurzfassung-stoffstrombild-kunststoffe-2019.pdf>
- CRC Handbook (2016-2017): Abundance of elements in the earth's crust and in the sea, CRC Handbook of Chemistry and Physics, 97th edition (2016–2017), p. 14-17
- DIN (2006) Deutsches Institut für Normung DIN e. V.: DIN EN ISO 14044 – Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen. Beuth Verlag, Berlin 2006
- DIN (2009) Deutsches Institut für Normung DIN e. V.: DIN EN ISO 14040 – Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen. Beuth Verlag, Berlin 2009
- Ercan, et al. (2016): Mine Ercan, et al. Life Cycle Assessment of a Smartphone. 4<sup>th</sup> International Conference on ICT for Sustainability (ICT4S 2016). DOI: 10.2991/ict4s-16.2016.15
- European Commission (2018) Product Environmental Footprint Category Rules Guidance – Version 6.3. [http://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/pdf/PEFCR\\_guidance\\_v6.3.pdf](http://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/pdf/PEFCR_guidance_v6.3.pdf) (08.05.2018)
- FRoStA (2009): FALLSTUDIE Tagliatelle Wildlachs. Dokumentation Stand 7. September 2009. Aktualisierter Datenstand. Fallstudie erstellt im Rahmen des PCF Pilot Projektes Deutschland. Gefördert durch das Land Bremen
- Fujitsu (2021): Product Life Cycle Assessment. Product LCA FUJITSU ESPRIMO P9010. Download (31.01.2022) unter: <https://www.fujitsu.com/global/documents/about/environment/Life%20cycle%20analyses%20of%20Fujitsu%20Desktop%20ESPRIMO%20P9010%20June%202021.pdf>
- JRC (2018): Serenella Sala et al.: Development of a weighting approach for the Environmental Footprint. European Union 2018
- Kauertz et al. (2008): Benedikt Kauertz, Frank Wellenreuther, Stefanie Busch, Martina Krüger, Andreas Detzel. Ökobilanz der Glas- und PET-Mehrwegflaschen der GDB im Vergleich zu PET-Einwegflaschen. Im Auftrag der Genossenschaft Deutscher Brunnen eG. Heidelberg 2008.
- Kauertz et al. (2018): Benedikt Kauertz, Carola Bick, Samuel Schlecht, Mirjam Busch, Stefanie Markwardt und Frank Wellenreuther: FKN Ökobilanz 2018. Ökobilanzieller Vergleich von Getränkeverbundkartons mit PET-Einweg- und Glas-Mehrwegflaschen in den Getränkesegmenten Saft / Nektar, H-Milch und Frischmilch. Abschlussbericht nach kritischer Prüfung. Heidelberg 2018.
- Kreibe et al. (2020): ILESA – Edel- und Sondermetallhaltige Abfälle intelligent lenken: Bündelung, Zwischenlagerung, Rückgewinnungsgrad; Abschlussbericht; UBA Texte 178/2020; Hrsg.: Umweltbundesamt; <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/ilesa-edel-sondermetallhaltige-abfallstroeme>
- Kristensen (2011): Life cycle assessment of milk at farm gate. Vortrag EAAP 2011 Stavanger Norway. Session 7. Download unter: [http://www.solidairy.eu/wp-content/uploads/S07\\_kristensen.pdf](http://www.solidairy.eu/wp-content/uploads/S07_kristensen.pdf) (01.06.2021)

- Metal Packaging Europe (2019): Life Cycle Assessment of Aluminium Beverage Cans in Europe. EXECUTIVE SUMMARY July 2019. Download unter (24.06.2021): [https://www.metalpackagingeurope.org/sites/default/files/2020-01/20190723\\_Metal%20Packaging%20Europe\\_Alu%20Bev%20Cans%20LCA\\_Executive%20Summary.pdf](https://www.metalpackagingeurope.org/sites/default/files/2020-01/20190723_Metal%20Packaging%20Europe_Alu%20Bev%20Cans%20LCA_Executive%20Summary.pdf)
- Reinhardt, et al. (2009): Guido Reinhardt, Sven Gärtner, Julia Münch, Sebastian Häfele. Ökologische Optimierung erzeugter Lebensmittel: Energie- und Klimagasbilanz. Heidelberg 2009.
- Stiftung Warentest (2021): Staubwedel und Mikrofasertücher im Test. Heft 04/2021
- UBA (2019): Benedikt Kauertz, et al.: Untersuchung der ökologischen Bedeutung von Einweggetränkebechern im Außer-Haus-Verzehr und mögliche Maßnahmen zur Verringerung des Verbrauchs. Institut für Energie- und Umweltforschung gGmbH, Institut für ökologische Wirtschaftsforschung GmbH, Gesellschaft für Verpackungsmarktforschung mbH, Klimaschutz+ Stiftung im Auftrag des Umweltbundesamtes. Forschungskennzahl 3717 34 339 0. Erschienen als UBA-Text 29/2029.
- UBA (2020): Dirk Jepsen, et al.: Kunststoffe in der Umwelt – Erarbeitung einer Systematik für erste Schätzungen zum Verbleib von Abfällen und anderen Produkten aus Kunststoffen in verschiedenen Umweltmedien. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Forschungskennzahl 3716 34 326 0. Erschienen als UBA-Text 198/2020.
- UBA (2020a): Siegfried Kreibe, et al.: ILESA – Edel- und sondermetallhaltige Abfallströme intelligent lenken: Bündelung, Zwischenlagerung, Rückgewinnungsgrad. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Forschungskennzahl 3716 33 316 0. Erschienen als UBA-Text 178/2020.
- Umweltbundesamt (2018): Entwicklung des Verpackungsaufkommens. Download unter (19.07.2021): <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/verwertung-entsorgung-ausgewaehlter-abfallarten/verpackungsabfaelle#verpackungen-uberall>
- VDW (2021): Verband der Wellpappen-Industrie e.V.: Pressemitteilung Neue Analyse zur Treibhausgas-Bilanz von Wellpappen- und Mehrweg-Verpackungen. Download unter (01.02.2022): <https://www.wellpappen-industrie.de/presse/pressemitteilungen/2021-12-02-neue-analyse-zur-treibhausgas-bilanz-von-wellpappen--und-mehrweg-verpackungen-141.html>
- VR (2011): Verkehrs-Rundschau. Spezial 2011: CO<sub>2</sub>-Berechnung. Verlag Heinrich Vogel. Springer Fachmedien München GmbH. München 2011.

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Verbrauch von Kunststoffen in Deutschland 2019. Quelle: Conversio 2020 und eigene Berechnungen (KS = Kunststoff).	5
Abbildung 2:	Kunststoffeinträge in die Umwelt. Quelle: UBA (2020).	5
Abbildung 3:	CO <sub>2</sub> -Rucksack von Tüten und Tragetaschen (ohne Mehrfachgebrauch und Entsorgung). Quelle: Bisinella et al. (2018). CO <sub>2</sub> -Äq = CO <sub>2</sub> -Äquivalente.	6
Abbildung 4:	Zusammensetzung des CO <sub>2</sub> -Rucksacks eines Sony Z5 Smartphone ohne seine Nutzung. Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis Ercan, et al. (2016). CO <sub>2</sub> -Äq = CO <sub>2</sub> -Äquivalente.	7
Abbildung 5:	Ressourcenverbrauch eines Smartphones. Quelle: Eigene Berechnungen. ADP: Abiotic Depletion Potential. Sb: Antimon.	8
Abbildung 6:	CO <sub>2</sub> -Rucksack verschiedener Materialien. PE: Polyethylen. Quellen: Umweltprofile aus der ecoinvent-Datenbank und cordis (2019) für Zement.	9
Abbildung 7:	Ökologisches Profil der Herstellung typischer Verpackungsmaterialien für ausgewählte Umweltwirkungen. Angabe in Prozent vom jeweiligen Maximalwert. Bezug jeweils 1 kg Material. Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis der Umweltprofile aus der ecoinvent-Datenbank.	10
Abbildung 8:	Gewicht und CO <sub>2</sub> -Rucksacke Joghurtverkaufsverpackungen (500 Füllgewicht). Quelle: Eigene Berechnungen auf Basis der Materialien ohne Becherherstellung, Mehrweggebrauch, Logistik und Entsorgung. CO <sub>2</sub> -Äq = CO <sub>2</sub> -Äquivalente.	11
Abbildung 9:	CO <sub>2</sub> -Rucksack verschiedener Produkt-Verpackungs-Systeme. KS = Kunststoff, Vp = Verpackung; Quellen: Eigene Arbeiten, Kristensen (2011), FRoSTA (2009) und Fujitsu (2021)	12
Abbildung 10:	Gewicht bzw. CO <sub>2</sub> -Rucksack verschiedener Verpackungs-Systeme und Aktivitäten bzw. Produkte des täglichen Lebens im Vergleich. Quellen: Kauertz et al. (2018), Kauertz et al. (2008), Metal Packaging Europe (2019), BMU (2019), VDW (2021), Bisinella et al. (2018) und eigene Berechnungen für Joghurtbecher, Autofahren und T-Shirt. CO <sub>2</sub> -Äq = CO <sub>2</sub> -Äquivalente.	13
Abbildung 11:	Treibhausgas-Bilanz für den Anbau und Vertrieb für 1 kg Winteräpfel aus Südtirol und Neuseeland (NZL). Quelle: Reinhardt et al. (2009) und eigene Berechnungen. CO <sub>2</sub> -Äq = CO <sub>2</sub> -Äquivalente.	15
Abbildung 12:	CO <sub>2</sub> -Emissionen für verschiedene Transportmittel. Quelle: VR (2011).	16
Abbildung 13:	Exemplarische Darstellung des Verlusts an ökologischem Nutzen entlang des Recyclingpfads am fiktiven Beispiel eines brennbaren Abfalls.	20
Abbildung 14:	Exemplarische Darstellung des ökologischen Nutzens von Recycling und Materialeinsparung im Vergleich.	20
Abbildung 15:	Schematische Darstellung der Verluste an potenziellem Sekundärprodukt entlang der Recyclingkette.	21
Abbildung 16:	CO <sub>2</sub> -Rucksack von Einweggetränkebecher (EW-PPK aus Kartonage + PS-Deckel), Mehrweggetränkebecher (MW-PP aus Polypropylen + EW PS-Deckel) mit verschiedenen Umlaufzahlen (ULZ) und einem selbst mitgebrachten Becher (BYO „bring your own“). MW = Mehrweg, EW = Einweg, PPK: Papier, Pappe Kartonage, PP: Polypropylen, PS: Polystyrol. Quelle: UBA (2019) und eigene Berechnungen für Autofahren und T-Shirt (Herstellung und Distribution). CO <sub>2</sub> -Äq = CO <sub>2</sub> -Äquivalente.	24
Abbildung 17:	CO <sub>2</sub> -Rucksack von Dose, Einweg- und Mehrweg-Glasflasche für Bier mit verschiedenen Umlaufzahlen (ULZ). MW = Mehrweg, EW = Einweg, Al = Aluminium. Quelle: BCME (2010) und eigene Berechnungen für Autofahren und T-Shirt (Herstellung und Distribution). Transportentfernung vom Abfüller zum Verkaufsort; alle Verpackungen regionale Distribution: 1. Distributionsstufe 100 km; 2. Distributionsstufe 50 km. CO <sub>2</sub> -Äq = CO <sub>2</sub> -Äquivalente.	25

Abbildung 18:	CO <sub>2</sub> -Rucksack von Staubwedeln und Staubtüchern in Ein- bzw. Mehrwegausführung. MW = Mehrweg, EW = Einweg. Quelle: Stiftung Warentest (2021) und eigene Berechnungen für Autofahren und T-Shirt (Herstellung und Distribution). CO <sub>2</sub> -Äq = CO <sub>2</sub> -Äquivalente.	26
Abbildung 19:	Prinzipdarstellung – Einfluss der Umlaufzahl auf den Vergleich von Einweg- und Mehrwegprodukten. Dargestellt ist ein Mehrwegprodukt mit im Vergleich zum Einwegprodukt wesentlichem größerem materialbedingtem Umwelteffekt. Quelle: VDW (2021).	27
Abbildung 20:	Treibhausgas-Bilanz eines ESPRIMO P9010 Computers (ganzer Lebenszyklus) bei Einsatz in Ländern mit unterschiedlichem Energiemix. CO <sub>2</sub> -Äq = CO <sub>2</sub> -Äquivalente. Quelle: eigene Darstellung nach Fujitsu (2021).	29
Abbildung 21:	Analyse zur Vergleichbarkeit von Ergebnissen aus unterschiedlichen Ökobilanzen.	31
Abbildung 22:	Treibhausgas-Bilanz eines Elektro-Pkw in Abhängigkeit von zunehmend klimaneutralem Strommix. Annahme: Herstellung und End of Life (EoL) unverändert. Quelle: Agora (2019) und eigene Berechnungen. THG: Treibhausgas. CO <sub>2</sub> -Äq = CO <sub>2</sub> -Äquivalente.	33
Abbildung 23:	Prinzip der Darstellung im Ökoeffizienz-Portfolio.	36

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Wirkungskategorien und empfohlene Gewichtungsfaktoren ohne toxizitätsbezogene Wirkungskategorien, empfohlen von der Europäischen Kommission im Rahmen der „Environmental Footprint“ Initiative. Quelle: JRC (2018).	3
Tabelle 2:	CO <sub>2</sub> -Emissionen aus einem Transport der max. Nutzlast über 1.000 km für verschiedene Transportmittel. Quelle: VR (2011) und eigene Schätzung für Pkw.	15
Tabelle 3:	Recycling von Neodym und Dysprosium aus Neodym-Eisen-Bor-Magneten. Konservative und sehr optimistische Einschätzung der Ausbeuten; nach: Kreibe et al. (2020).	18







**bifa Umweltinstitut GmbH**  
Am Mittleren Moos 46  
86167 Augsburg

Tel. +49 821 7000-0  
Fax. +49 821 7000-100  
E-Mail: [marketing@bifa.de](mailto:marketing@bifa.de)  
[www.bifa.de](http://www.bifa.de)