

# Zug um Zug zur Ökobilanz

Die Studie für den FLIRT (Fast Light Innovative Regional Train) beschreibt das ökologische Profil eines Personenzuges: Betrachtet werden die Umweltauswirkungen, welche aus der Gewinnung der Baumaterialien, aus den industriellen Prozessen, aus der Nutzung und Instandhaltung sowie aus der Verschrottung und Abfallbeseitigung resultieren. Die Emissionen von Treibhausgasen werden anschliessend mit Daten von anderen Zugtypen verglichen.

VON ANNINA GASCHEN

In der Regel handelt es sich bei einer Ökobilanz um eine sehr aufwendige Arbeit. Die umfangreichen Datenmengen verlangen nach einer klaren Strukturierung. Die Prozesse einer Ökobilanz unterliegen den ISO-Standards: Nach ISO 14040 und 14044 muss eine Ökobilanz in vier Schritten ausgeführt werden (Abb. 1):

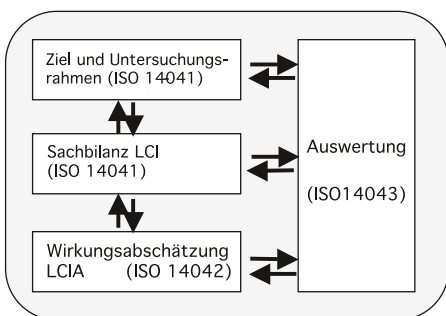


Abb. 1: ISO-Schema für eine Ökobilanz (nach Empa).

- ☛ Definition von Zielen und Systemgrenzen
- ☛ Erstellen der Sachbilanz (Life Cycle Inventory, LCI)
- ☛ Wirkungsabschätzung (Life Cycle Impact Assessment, LCIA)
- ☛ Interpretation der Umweltgefährdung (Dominanz- und Sensitivitätsanalysen, Monetarisierung)

Aus Abbildung 2 und den nachfolgenden Erklärungen zur Sachbilanz sind die Systemgrenzen ersichtlich. Die Lebensspanne des Regionalzu-

ges wurde in sechs Lebenszyklusphasen eingeteilt und für jede einzelne Phase wurden individuelle Sach- und Wirkungsabschätzungen erstellt. Die Resultate wurden auf die Einheit der Transportleistung des Zuges, Personenkilometer (pkm) bezogen.

Mit der Erstellung der Sachbilanz beginnt der quantitative Teil. Dafür wurden die Wechselwirkungen des Systems mit seiner Umwelt als Inputs (Materialien, Energie) und Outputs (Emissionen, Abfälle) erfasst.

- ☛ Phase 1: Emissionen aus der Gewinnung der Rohmaterialien aus primären und sekundären Ressourcen (z.B. Erzabbau).
- ☛ Phase 2: a) Emissionen aus der Fertigung von Bauteilen (Unterteilern des Erbauers). b) Emissionen aus dem Transport dieser Bauteile zum Produktionsstandort

des Erbauers. In b) wurden nur die fünf grössten (schwersten) Bauteile berücksichtigt.

- ☛ Phase 3: Emissionen aus der Fabrikation der Eisenbahnwaggons sowie aus dem Transfer an den Einsatzort (Oslo).
- ☛ Phase 4: Emissionen aus dem Betrieb und dem Unterhalt der Personenzüge während der gesamten Lebensdauer.
- ☛ Phase 5: Emissionsgutschriften aus dem Recycling der Rohstoffe.
- ☛ Phase 6: Emissionen aus dem Transport, der Verarbeitung und der Verbrennung der Rohstoffe.

## Datenquelle

Die Daten für die Sachbilanz für jede Lebenszyklusphase stammen aus unterschiedlichen Informationsquellen (Abb. 3). Dabei sind die umfassenden Angaben der Hersteller (Ma-

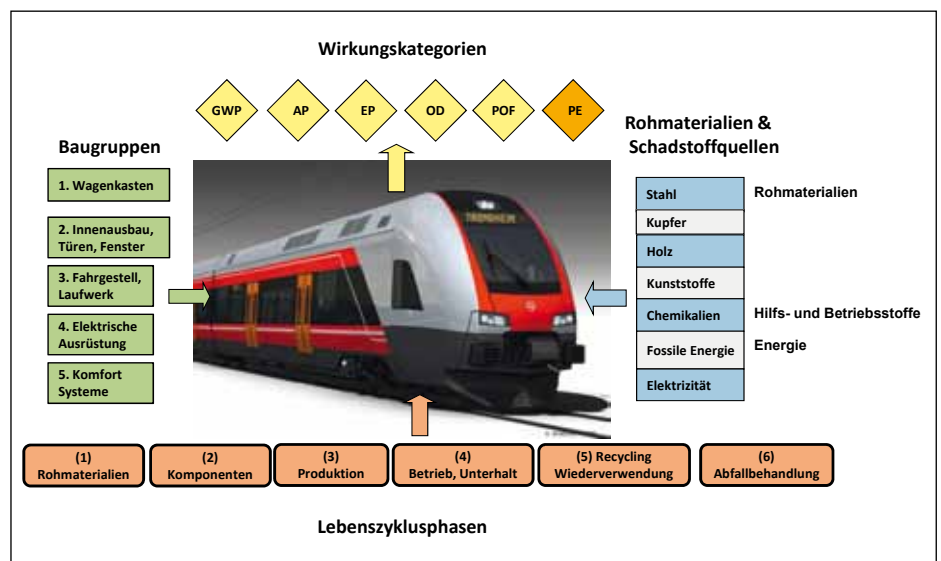


Abb. 2: Struktur der Ökobilanz: Aus den Sachbilanzen der sechs Lebenszyklusphasen wurden Umweltauswirkungen in sechs Wirkungskategorien berechnet. Die Einteilung der Rohmaterialien erfolgte in 11 Materialgruppen und fünf Baugruppen. In der Sachbilanz wurden nicht nur die Baumaterialien erfasst, sondern auch die Hilfs- und Betriebsstoffe und die verbrauchte Energie.

## Annina Gaschen

Dr. phil. nat. Chemikerin, Projektleiterin Ökobilanzen, Neosys AG, Gerlafingen.

Abkürzung	Begriff	Bedeutung der Wirkungskategorie	Typische Schadstoffe	Masseinheit
PE	Primary energy	Primärenergie; Energieinhalt von Energieträgern, die noch keiner energetischen Umwandlung unterworfen, evtl. aber aufbereitet wurden. Hierzu zählt z.B. (aufbereitetes) Rohöl.	PE ist ein Mass zur Quantifizierung der Ressourcennutzung.	MJ eq.
GWP	Global warming potential	Der zusätzliche, vom Menschen verursachte (anthropogene) Treibhauseffekt. Dieser wird durch die Emissionen klimawirksamer Spurengase bzw. deren Vorläufersubstanzen verursacht.	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, SF <sub>6</sub> , halogenierte Kohlenwasserstoffe (z.B. FCKW)	kg CO <sub>2</sub> eq.
AP	Acidification potential	Versauerung; Die Versauerung von Böden und Gewässern wird durch die Immission säurebildender Gase verursacht, die durch trockene oder nasse Deposition (saurer Regen) in Böden und Gewässer eingetragen werden.	SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> , HCl	kg SO <sub>2</sub> eq.
EP	Eutrophication potential	Eutrophierung; Darunter versteht man den übermäßigen Eintrag von Nährstoffen in Böden und Gewässer (nitrat- und phosphathaltige Abwässer, Landwirtschaft).	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> und weitere P-Verbindungen, NO <sub>x</sub> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> und weitere N-Verbindungen	kg NO <sub>x</sub> eq.
OD	Ozone depletion potential	Ozonabbau in der Stratosphäre; Zum Ozonabbau tragen Stoffe bei, welche entweder direkt in der Stratosphäre freigesetzt werden (Luftfahrt) oder aufgrund ihrer hohen Persistenz aus bodennahen Luftschichten aufsteigen.	Halogenierte Kohlenwasserstoffe, N <sub>2</sub> O, SF <sub>6</sub>	kg CFC-11 eq.
POF	Potential of photo-oxidant formation	Potential, Photooxidantien zu bilden. Photooxidantien sind reaktive Oxidationsmittel, die unter Einfluss von Sonnenlicht entstehen "Photosmog". Unter ihren Reaktionsprodukten finden sich viele umwelt- und gesundheitsgefährdende Stoffe.	flüchtige organische Kohlenwasserstoffe	kg ethene eq.

Tabelle 1: Abkürzungen und Erklärungen zu den hier verwendeten Wirkungskategorien.

teriallisten der gebauten Fahrzeuge, Energie-, Rohstoff- und Abfallbilanzen des Produktionsstandortes) von entscheidender Bedeutung. Vom Betreiber der Fahrzeuge sind Angaben zum Betrieb notwendig (geplante Auslastung, Fahrleistung, Energiequellen). Für die Phasen 5 (Wiederverwendung, Recycling) und 6 (Abfallbehandlung), welche erst nach Ende der Lebensdauer des Zuges (d.h. nach etwa 25 Jahren) erfolgen, und wo somit die klare Situation noch nicht bekannt

ist, basieren die Daten für die Art der Verarbeitungsprozesse auf Annahmen. So wurden als konservativer Ansatz für die Abfallverbrennungstechnik in 25 Jahren Daten von Schweizer Kehrriktverbrennungsanlagen verwendet, welche dem aktuellen Stand der Technik entsprechen. Entsprechend wurde die konservative Annahme getroffen, dass zwar alle Metalle zu 80% rezykliert werden, jedoch auf Basis von Material- und nicht von Produktrecycling.

Aus diesen Daten wurde das Gesamtökoinventar (totaler Ressourcenverbrauch und Materialverbrauch, gesamte Emissionen), zusammengestellt.

Die Wirkungsabschätzungen wurden für die Wirkungskategorien GWP, AP, EP, OD und POF (Erläuterungen siehe Tabelle 1) anhand der CML-Methodologie [1] berechnet, für PE anhand der Methode des «cumulative energy demand, CED» [2]. Die entsprechenden LCIA-Daten für die Materialien und Prozesse stammen aus der Ecoinvent-Datenbank [3]. Die Umweltauswirkungen wurden für jede

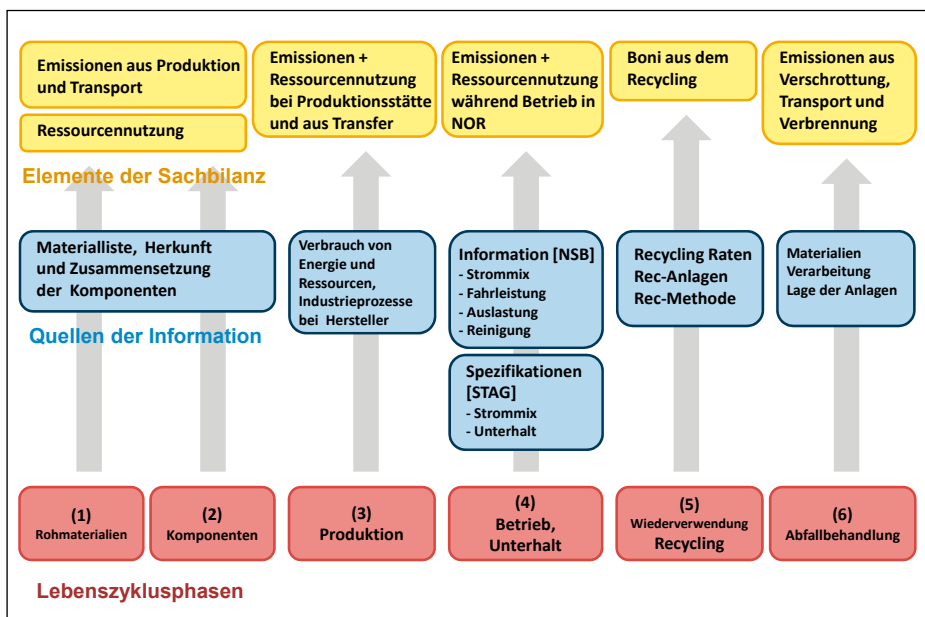


Abb. 3: Übersicht über die Lebenszyklusphasen, die Datenquellen für die Sachbilanz und die Elemente der Sachbilanz.

## Der FLIRT

Der FLIRT (Fast Light Innovative Regional Train) wird von der Schweizer Firma Stadler Rail AG in Bussnang im Auftrag der Norwegischen Staatsbahnen NSB gebaut und soll ab dem Jahr 2011 in der Region um Oslo zum Einsatz kommen. Eine Ökobilanz soll die Lieferung begleiten. Mit Hilfe der Ergebnisse aus der Bilanzierung können kritische Prozesse identifiziert und Verbesserungspotenziale aufgezeigt werden. In einer solchen Ökobilanz (Life Cycle Analysis, LCA, auch Ecobalance oder Cradle-to-Grave-Analysis genannt) werden ausgewählte Wechselwirkungen des Produktes mit der Umwelt während seiner gesamten Lebensspanne erfasst und anschliessend hinsichtlich ihrer Umweltrelevanz bewertet.

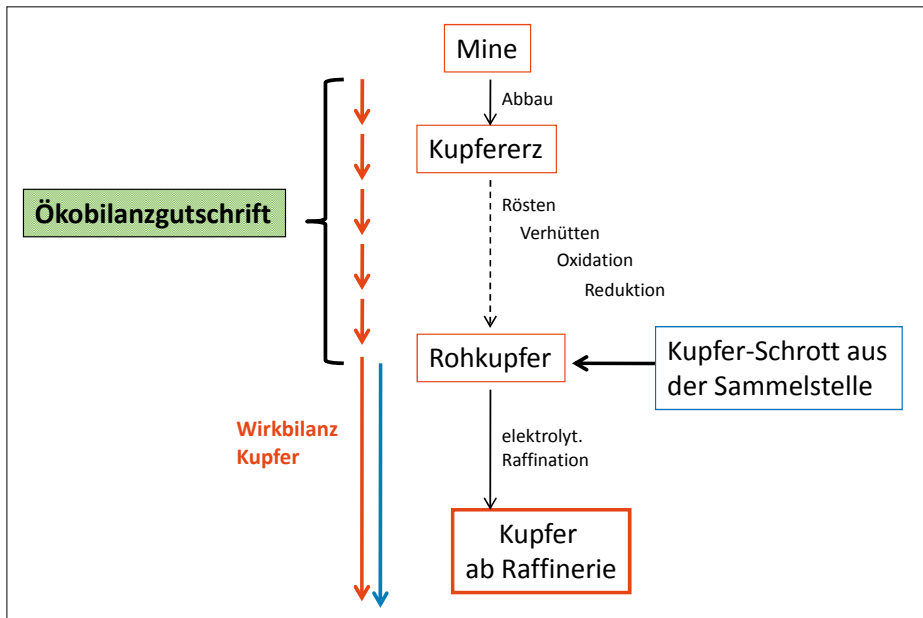


Abb. 4: Quantifizierung der Ökobilanzgutschriften für das Recycling von Metallen, hier am Beispiel von Kupfer dargestellt.

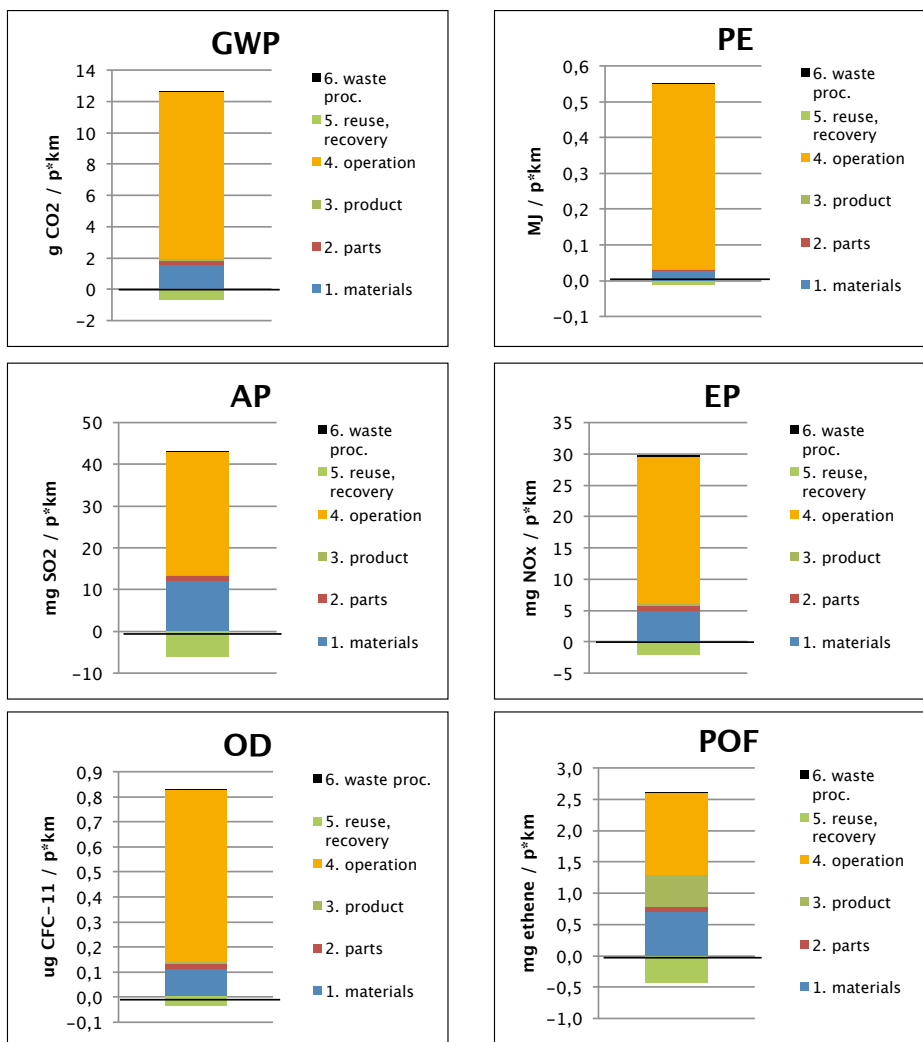


Abb. 5: Übersicht der Resultate: Die Beiträge der einzelnen Lebenszyklusphasen in den sechs Wirkungskategorien. Es gilt zu beachten dass die Beiträge der Phase «reuse, recovery» negativ sind und von der Säulenhöhe abgezogen werden müssen, um die Netto-Auswirkungen zu erhalten.

der sechs Wirkungskategorien individuell berechnet. Diese Wirkungskategorien können als unterschiedliche «Währungen» versinnbildlicht werden, so dass verschiedene Arten von

Schäden auf die Umwelt berechnet werden können. Beispielsweise kann durch die Kategorie GWP (kg CO<sub>2</sub> eq.) der Beitrag auf die Klimaerwärmung quantifiziert werden, oder durch

die Kategorie POF (kg ethene eq.) der Beitrag zur Bildung von Sommersmog. Die Kategorie PE beschreibt keine Umweltschäden wie die anderen fünf Kategorien, sondern beschreibt den Verbrauch von Primärenergie.

Die Auswertung der Wirkungsbilanz erfolgte, wo sinnvoll, auch anhand der fünf Baugruppen, wie sie im Eisenbahnbau üblich sind (Abb. 2). Durch Herstellung dieses Bezuges können die Resultate später einfacher interpretiert werden und die Verbesserungsmaßnahmen lassen sich gezielter einsetzen.

Im Gegensatz zu allen anderen Phasen resultieren aus der Phase «Wiederverwendung/Recycling» Ökobilanzgutschriften: Diese sind umso höher, je höher der Anteil an wiederverwertetem Material ist.

Der Quantifizierung dieser Gutschriften liegt die Annahme zu Grunde, dass das rezyklierte Material an einer bestimmten Stelle in die Wertschöpfungskette für dieses Material zurückgeführt wird. Die Umweltbelastung der Wertschöpfungskette «oberhalb» dieser Stelle wird dann eingespart und daher dem Recycling gutgeschrieben. Die Abbildung 4 illustriert dies am Beispiel von Kupfer.

### Resultate der Ökobilanz

Die Ökobilanz zeigt, dass die Umweltwirkungen pro Personenkilometer (pkm) des FLIRT vergleichbar oder leicht besser sind als die Belastungen von vergleichbaren Personenzügen. Das Treibhausgaspotenzial von 12 g CO<sub>2</sub> eq./pkm ist vergleichbar mit den Treibhausgasemissionen von Fernverkehrs- und Nahverkehrszügen der SBB (8,3 g bzw. 15,3 CO<sub>2</sub> eq./pkm [3]).

Abbildung 5 zeigt eine Übersicht der Resultate: Die Beiträge der einzelnen Lebenszyklusphasen in den sechs Wirkungskategorien. Die Lebenszyklusphase, welche die Gesamtemissionen des FLIRT dominiert, ist der Betrieb des Fahrzeuges in Norwegen. Dabei ist der Verbrauch an elektrischer Energie während der Fahrt der massgebende Faktor und die Emissionen werden direkt durch den verwendeten Elektrizitätsmix beeinflusst. Das obengenannte Resultat von 12 g CO<sub>2</sub> eq./pkm bezieht sich auf den Nordel-Mix und kann je nach Zusammensetzung der Elektrizität nach unten oder oben variieren (32,2 g CO<sub>2</sub> eq./pkm für einen europäischen Verbrauchermix, 2,3 g CO<sub>2</sub> eq./pkm für reine Wasserkraft).

Die Tabelle 2 zeigt alle dominanten Prozesse, welche die Ökobilanz beeinflussen. Die Optimierungsvorschläge umfassen deshalb unter anderem Massnahmen, welche zu einer Reduk-

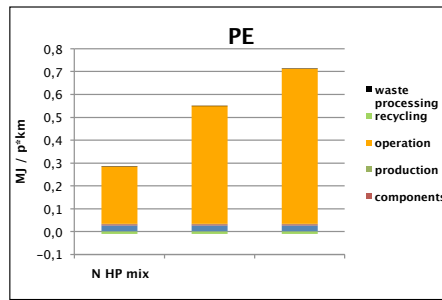
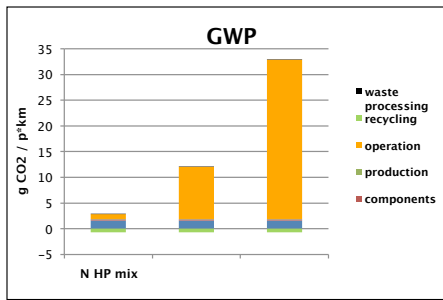


Abb. 6: Einfluss der Variation des Elektrizitätsmixes auf die Wirkungskategorien GWP und PE. Die Lebenszyklusphase «Betrieb und Unterhalt» dominiert die Umweltauswirkungen, und zwar umso mehr, je emissionsintensiver der verwendete Elektrizitätsmix ist.

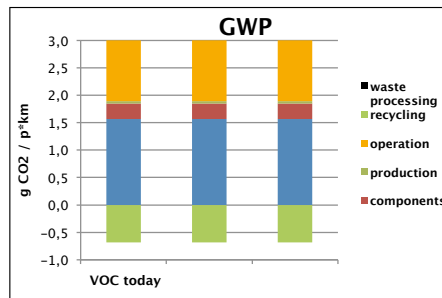
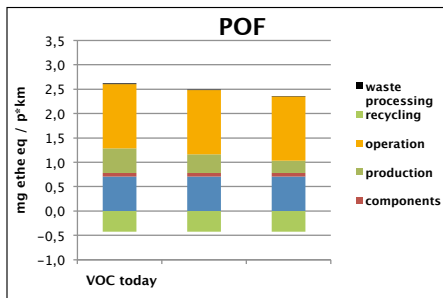


Abb. 7: Einfluss der Verwendung von lösemittelhaltigen Lacken und Farben auf die Wirkungskategorien POF und GWP. Die Lebenszyklusphase «Produktion» gewinnt in der Kategorie POF an Gewicht, und zwar umso mehr, je mehr lösemittelhaltige Farben und Lacke zum Einsatz kommen. Diese Schadstoffe haben keinen Einfluss auf den Treibhauseffekt, wie aus der Figur rechts ersichtlich wird. (Die y-Achse der Figur rechts ist abgeschnitten: Um die Gesamtlänge der Datenbalken darzustellen, muss auf den Wert 15 skaliert werden.)

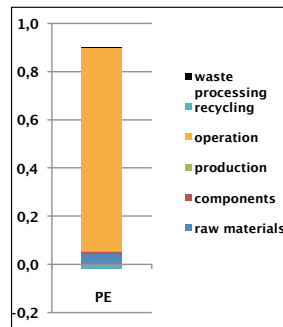
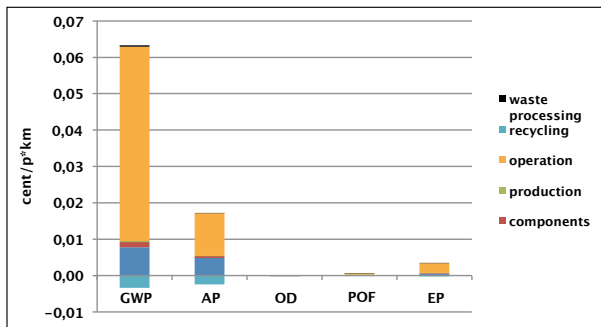


Abb. 8: Monetarisierung der Wirkungsabschätzung: Unsere Gesellschaft ist bereit, für Energie zehnmal mehr zu bezahlen (Abb. rechts) als für Minderungsmaßnahmen von Umweltschäden (Abb. links).

tion der Umweltauswirkungen und zu einer besseren Umweltperformance führen. Die vorgeschlagenen Optimierungsmassnahmen müssen auf ihr Potenzial geprüft werden, insbesondere weil nicht alle Parameter durch die Betreiber des Zuges oder die Erbauer beeinflusst werden können.

Relevante Beiträge in den Kategorien GWP, AP und POF resultieren aus der Gewinnung der Metalle Aluminium, Stahl und Kupfer aus den Erzen. Die meisten Ökobilanzgutschriften sind in den Kategorien AP, EP und POF zu verzeichnen. Dies ist insbesondere auf die Rückgewinnung von Kupfer aus den elektronischen Bauteilen zurückzuführen, denn der Prozess der Kupfergewinnung verursacht insbesondere hohe SO<sub>2</sub>-Emissionen, welche durch das Recycling vermieden werden können.

## Sensitivitätsanalyse: Der Strommix zählt

Bei der Sensitivitätsanalyse wird untersucht, ob es Parameter gibt, welche kritisch sind, weil ihr Unsicherheitsfaktor in den Annahmen einen nicht zu vernachlässigenden Effekt auf das Resultat der Ökobilanzstudie hat. Solche kritischen Parameter wurden gefunden. Die Beeinflussung der Resultate soll anhand zweier Beispiele illustriert werden.

Die Emissionsfaktoren verschiedener möglicher Elektrizitätsverbraucher für die Phase «Betrieb und Unterhalt» betragen wie folgt:

- i) Norwegische Wasserkraft: 11,1 g CO<sub>2</sub>/kWh
- ii) Nordel: 167,6 g CO<sub>2</sub>/kWh
- iii) Europäischer Elektrizitätsmix (EU 27): 494,5 g CO<sub>2</sub>/kWh

Wird der Zug mit einem sauberen Elektrizitätsmix betrieben (Wasserkraft), so sind die resultierenden Umweltwirkungen gesamthaft relativ gering im Gegensatz zu einem durchschnittlichen Verbrauchermix in Europa. Die Dominanz der Phase «Betrieb/Unterhalt» nimmt zudem ab, wenn das Fahrzeug mit einem emissionsarmen Strommix betrieben wird, wodurch die Phase «Rohmaterialien» an Bedeutung gewinnt. Der verwendete Elektrizitätsmix hat einen sehr starken Einfluss auf die Wirkungskategorie GWP (Abb. 6, links) und einen etwas schwächeren, aber immer noch deutlichen Einfluss auf die Wirkungskategorie PE (Abb. 6, rechts).

Die Lebenszyklusphase «Produktion» dominiert die Umweltauswirkungen

## Literatur

- [1] Jeroen B. Guinée et al., LCA – an operational guide to the ISO standards, Centre of Env. Sci., University of Leiden (CML), Netherlands, May 2001
- [2] Mark A. J. Huijbregts, Stefanie Hellweg, Rolf Frischknecht, Harrie W. M. Hendriks, Konrad Hungerbühler and A. Jan Hendriks, Cumulative Energy Demand As Predictor for the Environmental Burden of Commodity Production, Environ. Sci. Technol., 2010, 44 (6), pp 2189–2196
- [3] The ecoinvent database, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, www.ecoinvent.ch
- [4] Harmelen, A.K. van, Ligthart, T.N., Leeuwen, S.M.H. van, Korenromp, R.H.J., Gijlswijk, R.N. van, 2004, Toxicity has its price. Shadow prices for eco and other toxicity and exhaustion of abiotic raw materials within DuboCalc.
- [5] Struckl, W.M., Miltner, T., Gunsellmann, W., Umweltgerechte Schienenfahrzeugentwicklung am Beispiel der Metro Oslo. Environmentally related railway design as exemplified by the Metro Oslo, ZEVrail 132 (2008) Tagungsband SFT Graz 2008
- [6] Struckl, W., Wimmer, W., Green Line – strategies for environmentally improved railway vehicles, in: Advances in Life Cycle Engineering for Sustainable Manufacturing Businesses, proceedings of the 14th CIRP Conference on Life Cycle Engineering, Waseda University, Tokyo, Japan, June 11th–13th, 2007, ISBN 978-1-84628-934-7
- [7] Rozycki, Chr., Koesler, H. and Schwarz, H., Ecology Profile of the German High-speed Rail Passenger Transport System, ICE, Int J LCA 8 (2) 83-91 (2003)

Dominanter Prozess	Phase	Betroffene Wirkungskategorien	(ungefährer) Beitrag zu Gesamtwirkung	Einflussfaktor
Strom-mix für Betrieb (Zugenergie)	4: Betrieb	Alle	30 - 80%	Auswahl der Stromproduktion.
Metallherstellung	1: Materialien	AP, EP, POF	10%	Gewicht des Fahrzeuges. Verwendung von primärem oder sekundärem Kupfer.
Energieverwendung für Heizen/Kühlen	4: Betrieb	Alle	5 - 15%	Auswahl der Stromproduktion. Isolation der Waggons.
Recyclingrate der Metalle	5: Recycling	AP, EP, POF	5%	Recyclingraten von Aluminium, Stahl und Kupfer.
Lackieren, Grundieren	3: Produktion	POF	25%	Verwendung VOC-haltiger Lösemittel und Umgang damit.
Einbau von Elektronik	1: Materialien 2: Komponenten	AP, EP, OD, POF	5 - 10%	Recyclingraten von elektronischen Bauteilen.

**Tabelle 2: Prozesse, welche die Umweltauswirkungen dominieren, und ihre Einflussfaktoren, aufgelistet nach Relevanz.**

gen in der Kategorie POF, und zwar umso mehr, je mehr lösemittelhaltige Farben und Lacke in der Produktionsstätte des Fahrzeuges zum Einsatz kommen, welche Ausgangsstoffe für smogbildende Reaktionsprodukte freisetzen können (Abb. 7, links). Es ist möglich die VOC-Emissionen zu reduzieren, indem diese Farben und Lacke durch solche auf Wasserbasis ersetzt werden. Die VOC beeinflussen die Bildung von Sommersmog, sie haben jedoch keinen Einfluss auf den Treibhauseffekt (Abb. 7, rechts).

### **LCA: Nicht Äpfel mit Birnen vergleichen**

Beim Vergleich von Ökobilanzen gilt es zu berücksichtigen, dass in den verschiedenen Studien die Systemgrenzen unterschiedlich gewählt sein können, nicht die gleichen Prozesse integriert sind und eventuell nicht alle Transportvorgänge berücksichtigt worden sind. Abweichende Zahlenwerte sind mehrheitlich durch unterschiedliche Wahl der Systemgrenzen und der getroffenen Annahmen erklärbar.

Andere existierende Ökobilanzen von europäischen Personenzügen, z.B. von der Metro Oslo (2,7 g CO<sub>2</sub> eq/pkm [5,6]) oder vom ICE in Deutschland (69,4 g CO<sub>2</sub> eq/pkm [7]) müssen erst auf vergleichbare Systemgrenzen und Annahmen gebracht werden, bevor ein fairer Vergleich mit den Ergebnissen des FLIRT möglich wird.

### **Intakte Umwelt hat ihren Preis**

Um die gesamten Umweltwirkung aus dem Bau, Betrieb und der Verschrottung des Personenzuges rasch und einfach darstellen zu können, ist es notwendig, die Resultate über die sechs Wirkungskategorien zu aggregieren. So ist es möglich, die Umweltauswirkungen mit einem einzigen Indikator zu quantifizieren, in unserem Fall in Euro.

Eine von Harmelen et al. [4] aus den Niederlanden publizierte Methode der «shadow prices» definiert die maxima-

len von einer Regierung akzeptierten Kosten für die Massnahmen zur Minderung von Umweltschäden.

Es werden die von ihm vorgeschlagenen Geldwerte verwendet, unter der Annahme, dass die wirtschaftlichen Bedingungen in Norwegen und in der Schweiz denen in den Niederlanden ähnlich sind. Nach seinem Modell ist die holländische Bevölkerung bereit, für die Minderung der Umweltschäden, welche durch die Freisetzung von z.B. 1 kg fossilem CO<sub>2</sub> verursacht worden sind, maximal 5 Cent auszugeben:

- GWP: 0,05 € / kg CO<sub>2</sub> eq
- AP: 4 € / kg SO<sub>2</sub> eq
- EP: 1,16 € / kg NO<sub>x</sub> eq
- OD: 30 € / kg CFC-11 eq
- POF: 2 € / kg ethene eq

Zusätzlich zu seiner Methode wird ein Gewichtungsfaktor für PE definiert. Dieser wird anhand der Tax-Free-Preise der Energiekosten und dem Energieverbrauchsmix in der Schweiz (Benzin/Diesel : HEL : Gas : Strom = 0,25 : 0,35 : 0,18 : 0,22) berechnet:

$$PE: 0,059 \text{ € / kWh} = 0,0163 \text{ € / MJ}$$

Aus Abbildung 8 wird ersichtlich, dass die Wirkungskategorie «Treibhauspotenzial» die Kostenaufstellung dominiert. Dies reflektiert den starken Fokus der aktuellen Umweltpolitik auf den Klimaschutz respektive auf die Reduktion der globalen Erwärmung. Weit weniger Geldmittel fliessen in die Vermeidung von Umweltschäden, welche durch Versauerung und Eutrophierung der Gewässer verursacht werden, während für die Schadensbegrenzung durch Sommersmog und den Abbau der Ozonschicht praktisch keine Geldmittel zur Verfügung stehen. Die Auswirkungen der Klimaerwärmung sind durch die Zunahme von extremen Wetterereignissen bereits am eigenen Leib spürbar. Die Auswirkungen der Ozonschichtzerstörung und der Zunahme aggressiver Photooxidantien werden wohl noch nicht im vergleichbaren Ausmass als Bedrohung wahrgenommen.

Zur Methode der Shadow Prices ist zu bemerken, dass der Preis für die Umweltbelastung, die aus der Produktion, Verwendung und Entsorgung eines Produktes entsteht, nicht objektiv bestimmt werden kann. Van Harmelen setzt ihn gleich mit den Kosten, die die Gesellschaft bereit ist für eine intakte Umwelt und Gesundheit zu bezahlen. Diese Bereitschaft wird aber stark von der Situation und der momentanen Befindlichkeit beeinflusst. Je bedrohender der Schaden empfunden wird, desto höher ist der Preis, den man bereit ist, für die Vermeidung dieses Schadens zu bezahlen. Dieser Preis ist von Land zu Land verschieden und zudem abhängig von der Situation und dem Zeitpunkt.

### **Fazit**

Die folgenden Massnahmen haben hinsichtlich der Umweltperformance des FLIRT ein beachtliches Potenzial:

- ☛ Die Wahl eines sauberen Elektrizitätsmixes für den Betrieb der Fahrzeuge. Hier hat der Betreiber die Möglichkeit, seinen Handlungsspielraum zu nutzen.
- ☛ Eine hohe Recyclingrate der Metalle: Diese kann ebenfalls durch den Betreiber beeinflusst werden, und zwar durch die sorgfältige Planung und Durchführung der Verschrottung des Fahrzeuges am Ende seiner Lebensdauer.
- ☛ Die sorgfältige Wahl von Farben und Lacken auf Wasserbasis durch den Erbauer kann die VOC-Emissionen erheblich reduzieren.

Die Ergebnisse dieser Ökobilanzstudie tragen nun dazu bei, das Design, die Herstellungsprozesse, den Betrieb und die Verschrottung der Fahrzeuge kontinuierlich zu optimieren. In vielen Fällen gehen dabei Umweltperformance und Wirtschaftlichkeit Hand in Hand. Davon profitieren die Hersteller, die Betreiber und die Kunden dieser Fahrzeuge. ●