

# Einführung in Ökobilanzen

Vortrag an der internen Weiterbildung des AWEL,  
Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft,  
Abt. Abfallwirtschaft und Betriebe,  
15. März 2004



von Gabor Doka

Doka Ökobilanzen, Zürich  
awel@doka.ch



## Anwendungen Ökobilanzierung

- Ziel: Feststellen der gesamten Umweltbelastungen, die durch ein bestimmtes Produkt oder Dienstleistung verursacht wird.
- **Produkte-Ökobilanzen:** Vergleich von mehreren Produkten oder Dienstleistungen mit gleicher Funktion, um die am wenigsten belastende Option zu finden.
- **Produktoptimierung:** Analyse eines Produktes allein, um die wichtigsten Belastungsquellen zu finden (Dominanzanalyse)
- **Betriebs-Ökobilanzen:** Analyse einer Firma, um die wichtigsten Belastungsquellen zu finden (Betriebsoptimierung).



## Einführung Ökobilanzierung

- Ca. 20-jähriges Gebiet mit Ursprung in Energiebilanzen.
- Kein eindeutiges oder vorgeschriebenes Vorgehen, insbes. für Bewertungsmethoden.
- Internationale Arbeitsgruppen der *Society for Environmental Chemistry and Toxicology* SETAC und dem *United Nations Environmental Programme* UNEP
- Internationale Ökobilanz-Normen existieren seit 1997 innerhalb Umweltmanagement-Norm (ISO 14'040ff.)
- Prinzip Ganzheitlichkeit: Alle verursachten Prozesse werden bilanziert und nicht nur ein Ausschnitt: *Alle* ökologischen Stärken und Schwächen sollen klar werden → Lebenszyklusanalyse.
- Belastungen werden normalerweise zeitlich und räumlich nicht differenziert → relativ grobe Beurteilung, dafür breit.



## Motivation Ökobilanzierung

### Typische Fragestellung:

*"Ist eine Joghurtverpackung aus Glas mehr oder weniger umweltbelastend als eine aus Polystyrol?"*

### Populäre Schlagwort-Argumente hierzu (*keine* Ökobilanz):

Pro Glas	Pro Plastik
<ul style="list-style-type: none"><li>• Glas benötigt keine fossilen Ressourcen, sondern unknappe Mineralstoffe</li><li>• Glas ist 'natürlich' bzw. schadstoffarm</li><li>• Glas kann gut recycelt werden</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Bei der Entsorgung kann Energie gewonnen werden</li><li>• Plastik ist pro Packeinheit leichter und spart somit Transportenergie bei Distribution und Entsorgung</li></ul>

Wer hat nun 'recht'?

Welche Argumente sind (von der Umweltbelastung her) wie wichtig?

Was soll/muss beachtet werden?

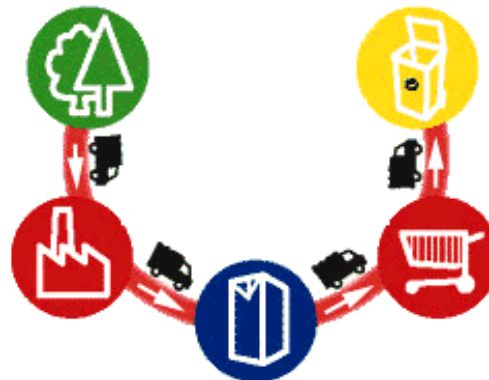


## Grundsätze Ökobilanzierung

Die genannten Schlagworte betreffen gewisse **Teil-Bereiche** wie Herstellung, Verwendung, Entsorgung. Für **eine faire, ganzheitliche Beurteilung** müssen alle diese Teilbereiche integral betrachtet werden:

In Ökobilanzen wird grundsätzlich der **gesamte Produkt-Lebenszyklus** betrachtet:

**Life-Cycle Assessment, LCA**  
Rohstoffe, Produktionsprozess, Gebrauch, Entsorgung, sowie alle dazu ursächlich benötigten Hilfsmittel und Zwischenschritte → **cradle-to-grave**



## Praktisches Vorgehen

- Für den ganzen Lebenszyklus wird für jeden notwendigen Teilprozess der Ressourcen-Verbrauch und Schadstoff-Ausstoss quantitativ festgestellt (Sachbilanz, **Ökoinventar**, Life Cycle Inventory LCI)
- Indirekt benötigte Produkte, Produktionshilfsmittel und Dienstleistungen (Energie, Transport etc.) werden anteilmässig berücksichtigt.
- Alle Umwelt-Einwirkungen werden unabhängig von Emissionsort oder -zeit zusammengezählt → **kumuliertes Inventar**
- **Standard-Datenbanken** erleichtern die Bilanzierung
- Aktuell ca. 200 Luft-, 150 Wasser-, 50 Bodenschadstoffe & 150 Ressourcen in der Standard-Datenbank ecoinvent 2000 (!)
- Nächstes Problem: **Wie lässt sich aus der unüberblickbaren Menge von Einzelschadstoffen eine Antwort zur ursprünglichen Frage finden?**



## Auszug kumuliertes Inventar 1kg PS

polystyrene, high impact, HIPS, at plant						HIPS
						RER
Name	Unit	Ecocat	Ecosubcat	kg		
Zeile 1	Acetaldehyde	kg	air	high population density		4.11E-11
Zeile 3	Acetic acid	kg	air	high population density		2.59E-10
Zeile 4	Acetic acid	kg	air	unspecified		1.82E-10
Zeile 5	Acetone	kg	air	high population density		4.04E-11
Zeile 6	Acetone	kg	air	low population density		1.31E-11
Zeile 7	Acrolein	kg	air	high population density		1.04E-12
	.....					
Zeile 66	Carbon dioxide, fossil	kg	air	high population density		2.74
Zeile 107	Dinitrogen monoxide	kg	air	high population density		1.56E-07
Zeile 248	Nitrogen oxides	kg	air	high population density		0.0116
	.....					
Zeile 546	Zinc 9%, Lead 5%, in sulfide, in ground	kg	resource	in ground		0.0000193
	.....					
Zeile 661	Zinc	kg	soil	unspecified		6.27E-10
Zeile 660	Zinc	kg	soil	industrial		4.28E-11
Zeile 659	Zinc	kg	soil	agricultural		3.6E-11
	.....					
Zeile 689	Arsenic, ion	kg	water	ground-		4.09E-11
Zeile 690	Arsenic, ion	kg	water	ground-, long-term		1.14E-09
Zeile 691	Arsenic, ion	kg	water	ocean		1.04E-12
Zeile 692	Arsenic, ion	kg	water	river		1.47E-07
Zeile 693	Arsenic, ion	kg	water	unspecified		5.66E-10
	.....					
Zeile 1028	Zirconium-95	kBq	water	river		5.81E-11
Zeile 1029	t-Butyl methyl ether	kg	water	ocean		8.01E-12
Zeile 1030	t-Butyl methyl ether	kg	water	river		3.31E-14



## Schadstoff-Bewertung

**Problem:** Mehrere hundert Schadstoff-Einträge im Inventar jeder Produkt-Option (PS oder Glas), Trade-off Effekte. **Wie lässt sich die Umweltbelastung feststellen?**

**Einfache Lösung:** Festhalten an einem 'Leitschadstoff', der als 'wichtigster' postuliert wird (z.B. CO<sub>2</sub> oder fossile Energieressourcen)

- **Nachteil:** Übersehen von Belastungen (z.B. die CO<sub>2</sub>-ärmste Option emittiert u.U. besonders viele Schwermetalle...)

**Komplexere Lösung:** Feststellen der Schädlichkeit möglichst vieler Schadstoffe *relativ zueinander* (impact assessment, LCIA)

- **1. Stufe:** Schädlichkeit eines Schadstoffes bzgl. einer bestimmten Schadenskategorie (z.B. Treibhauseffekt, Versauerung etc.)
- **2. Stufe** (optional): Gewichtung der Schadenskategorien relativ zueinander.

**Eine Bewertung erfolgt implizit oder explizit & lässt sich nicht vermeiden!**



## Bewertung – Charakterisierung

### 1. Stufe: Klassifizierung/Charakterisierung

Schadstoffe werden zu den damit assoziierten Schadenskategorien zugeordnet (klassifiziert) und zusammengezählt. Unterschiedliche Schädlichkeit wird dabei mit Gewichtungsfaktoren berücksichtigt (= Charakterisierungsfaktoren).

z.B. 'Global Warming Potentials' für Treibhausgase in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten:  
CO<sub>2</sub>: 1 , CH<sub>4</sub>: 31 , N<sub>2</sub>O: 270 etc.

Es gibt verschiedene Vorgehensweisen solche Charakterisierungsfaktoren zu berechnen. Diese stützen sich aber weitgehend auf naturwissenschaftliche, 'objektive' Informationen.

Ein Schadstoff kann auch in mehr als einer Schadenskategorie wirksam sein. z.B. erzeugt CH<sub>4</sub> auch Sommer-Ozon.



## Bewertung – Schadenskategorien

Schadenskategorien, die in heutigen Ökobilanzen häufig berücksichtigt werden:

Treibhauseffekt	Karzinogene	Versauerung
Ozonzerstörung	Schwermetalle	Überdüngung
Energie Ressourcen	Sommer-Ozon	Wintersmog

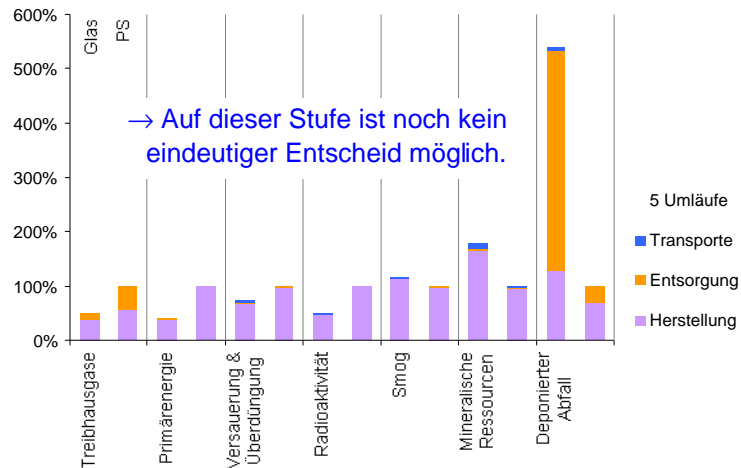
Schadenskategorien, die seltener berücksichtigt werden (aber auch wichtig sein können)

Radioaktivität	Lärm	Flächenversiegelung
Mineralische Ressourcen	Gestank	direkte Flächenzerstörung
Wasser-Ressourcen		Erosion



## Zwischenresultat Charakterisierung

Zufälliger Auszug einiger Charakterisierungs-Resultate Glas vs. PS:  
In gewissen Kategorien ist Glas besser, in anderen PS, aber nicht in allen.



Doka Ökobilanzen, Zürich

Belastung PS ≙ 100%. Grobbilanz zur Illustration von LCA-Prinzipien. Bitte nicht weiterverwenden. 11

## Bewertung – Aggregation

### 2. Stufe: Aggregation (optional)

In einem weiteren Schritt können die Resultate der Charakterisierung weiter komprimiert und zu einer einzigen 'Umweltbelastungszahl' vollaggregiert werden.

Auch hier gibt es verschiedene Vorgehensweisen. Man ist sich einig, dass eine Vollaggregation **nicht ohne subjektive Werturteile** über die betroffenen **Schutzgüter** möglich ist (z.B. *"Wie schlimm sind Schäden an einer Pflanzenart im Vergleich mit vermehrten Asthmaanfällen beim Menschen?"*).

'Subjektiv' heisst aber nicht 'beliebig' und es gibt auch hier **strukturierte Ansätze**, welche Erkenntnisse aus der Soziologie beziehen.



Doka Ökobilanzen, Zürich

12

## Beispiele Bewertungsmethoden

- **Methode der ökologischen Knappheit UBP'97** (auch 'BUWAL-Methode', eco-scarcity)
- **Eco-indicator'99 EI'99** (Pré Consultants et al., Niederlande)
- **CML'01** (Centrum voor Milieukunde Leiden, Dänemark)
- **Environmental Priority Strategy EPS** (Bengt Steen, Schweden)
- **Impact'02** (EPFL, Lausanne)

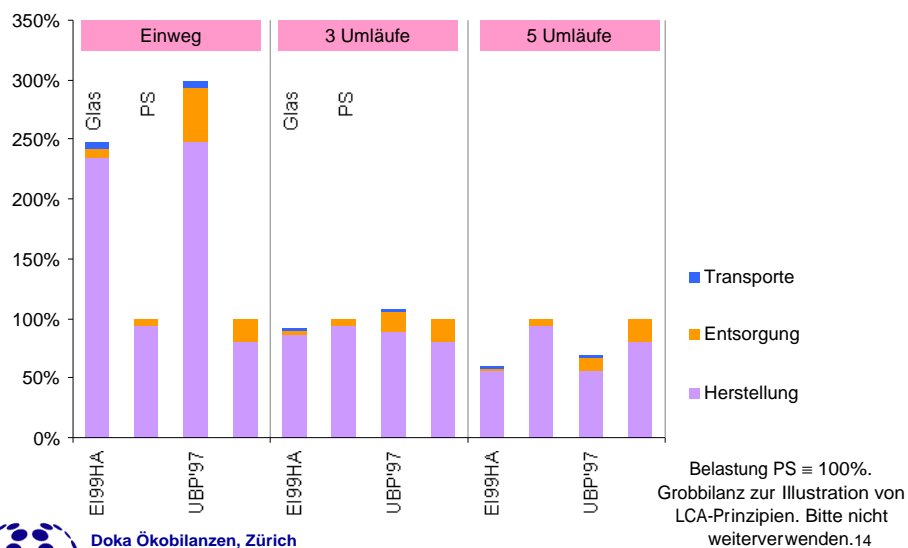
Methoden werden **laufend weiterentwickelt** und tragen daher oft Jahreszahlen als 'Versionsnummern'.

Es gibt keine 'empfohlenen' Methoden. Es gibt aber Unterschiede im Umfang der Methoden. Um Wahrnehmungslücken zu vermeiden sind möglichst **umfassende Methoden** zu bevorzugen, z.B. EI'99 oder CML'01. Die Anwendung **mehrerer Methoden parallel** erhöht die Richtungssicherheit.



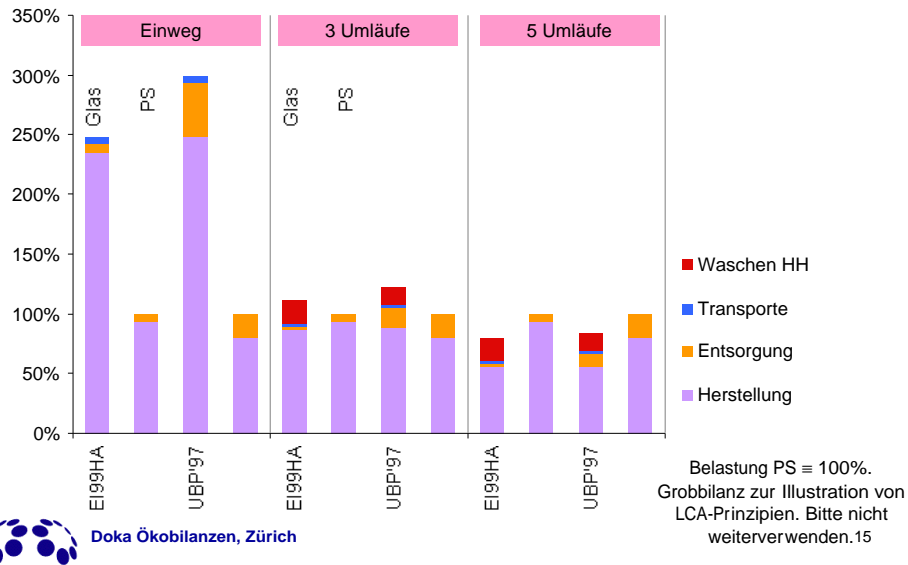
## Resultate Vollaggregation

Bei verschiedenen Glas-Umlauffraten



## Resultate Vollaggregation

plus Glas zuhause mit laufendem Warmwasser auswaschen



## Funktionale Einheit

Die verglichenen Optionen sollen weitgehend austauschbar sein bzw. von den involvierten Akteuren als gleichwertig akzeptiert werden.

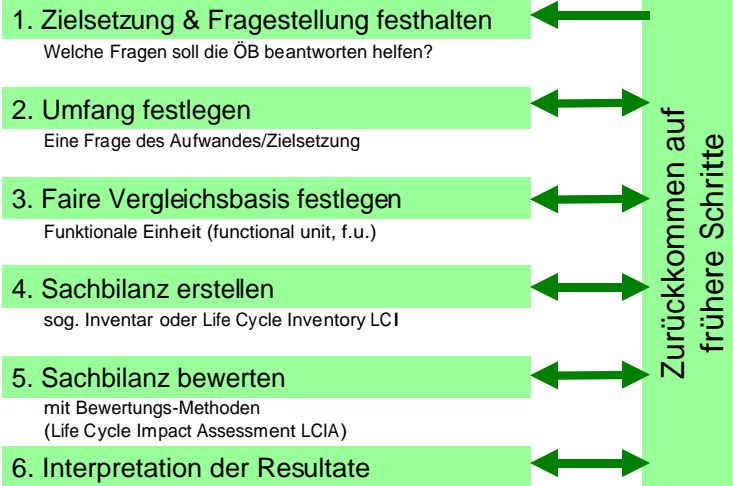
Es ist z.B. kaum gleichwertig eine 2dl Packung mit einer 5dl Packung zu vergleichen. Faire Vergleichsbasis z.B. für Konsumenten '1.8 Deziliter verpacktes Joghurt'.

Die faire Vergleichsbasis oder funktionale Einheit (*functional unit*) richtet sich nach der genauen Fragestellung der Ökobilanz.

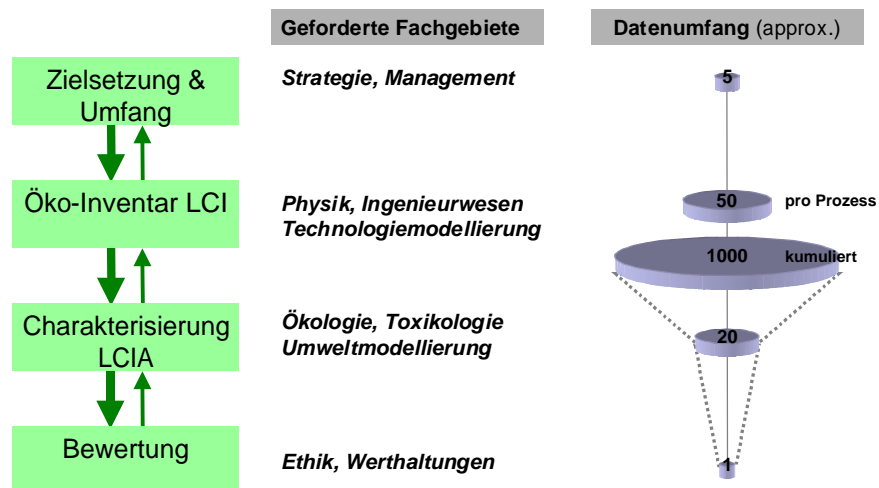
Manchmal kann es problematisch sein eine geeignete funktionale Einheit zu finden, z.B. verschiedene Nahrungsmittel vergleichen:

- nach Kilogramm (Händler?)
- nach Kalorien (Konsument?)
- nach Hektar benötigter Ackerfläche (Agronom?)
- nach Handelswert (Händler? Agronom?)

# Ablauf Überblick

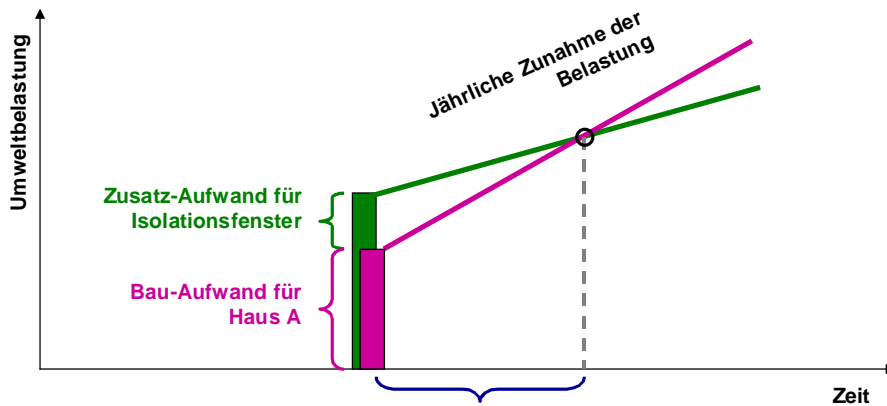


# Überblick Elemente der Ökobilanz



# Ökologische Rückzahldauer

Variante A: Haus konventionell  
 Variante B: Haus mit Isolationsfenstern

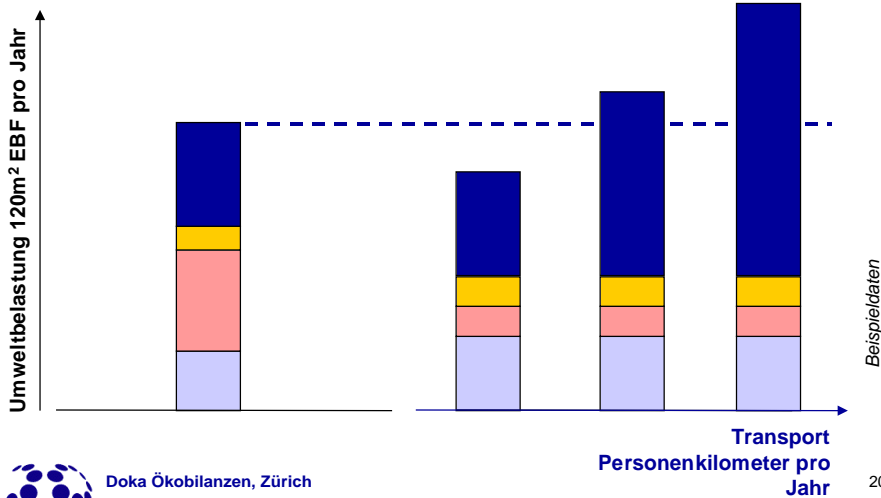


Doka Ökobilanzen, Zürich

Beispieldaten 19

# Sensitivitätsanalyse

Variante A: Haus konventionell  
 Variante B: Niedrigenergie-Haus im Grünen



Doka Ökobilanzen, Zürich

Beispieldaten

20

## Kritischer Blick auf Ökobilanzen

- LCA ist kein geschützter Begriff; daher grosse Qualitätsunterschiede
- Fairer Vergleich: Wurden alle relevanten Aspekte betrachtet?
- Wird transparent dokumentiert, was gemacht wurde?
- Durch Umfang auch beträchtliche Unsicherheiten; daher kleine Resultatunterscheide nicht überinterpretieren
- LCA ist kein Allheilmittel: Für gewisse Fragestellungen sind andere Mittel besser geeignet (z.B. UVP)
- LCA findet die am wenigsten belastende Option: Z.Z. werden aber oft Fortschritte auf der Produkteebene durch Mehrkonsum kompensiert.
- LCA operiert oft mit Branchen-Durchschnitten; Unterschiede zwischen einzelnen Branchen- Konkurrenten können aber relevant sein.
- Vorsicht vor Überinterpretation: Eine Ökobilanz ist i.A. nur für die betrachteten Optionen gültig und muss nicht für verwandte Optionen gelten.

