

20. Diskussionsforum Ökobilanzen, 19. September 2003  
ETH Zürich / Session „Entsorgungsprozesse“

# Entsorgungsprozesse

Gabor Doka

Doka Ökobilanzen, Zürich



ecoinvent@doka.ch

Folie 1

“Ökoinventare von Entsorgungsprozessen” G. Doka, Sept. 2003



ecoinvent  
Zentrum

Schweizer  
Zentrum  
für  
Ökoinventare  
Eine gemeinsame  
Initiative des ETH-  
Bereichs  
und Schweizerischer  
Bundesämter

**ETH**



**EMPA**



Unter Mitarbeit von  
Gabor Doka



Doka Ökobilanzen

## Inhalt

- Einführung/Ziel
- Systeme
- Scope/Systemgrenzen
- Allokation (Beispiel KVA)
- Abfallspezifische Modellierung (Beispiel Deponien)
- Einige Resultate
- Mögliche künftige Arbeiten

Folie 2

“Ökoinventare von Entsorgungsprozessen” G. Doka, Sept. 2003



ecoinvent  
Zentrum

Schweizer  
Zentrum  
für  
Ökoinventare  
Eine gemeinsame  
Initiative des ETH-  
Bereichs  
und Schweizerischer  
Bundesämter

**ETH**



**EMPA**



Unter Mitarbeit von  
Gabor Doka



Doka Ökobilanzen

## ‘Life Cycle’ muss auch Entsorgung berücksichtigen

- Entsorgungsaspekte gehören genauso zum Lebenszyklus eines Produktes wie seine Herstellung.
- Aber eine direkte Bewertung von ‘kg entsorgtes Material’ ist zu grob: Vernachlässigt jegliche Differenzen der Abfall-Zusammensetzung
- Entsorgungsprozesse erzeugen selber Abfalloutputs, deren weiteres Downstream-Schicksal ebenfalls berücksichtigt werden muss.

### Ziele der vorliegenden Studie:

- *Abfallspezifische* Inventare, welche die Zusammensetzung berücksichtigen
- *Vollständige Bilanzierung* des Verbleibs aller Abprodukte
- Als Basis dienen bisherige Arbeiten an der ETH:  
Zimmermann *et al.* 1996, Hellweg 2000, Doka 2000

Folie 3

“Ökoinventare von Entsorgungsprozessen” G. Doka, Sept. 2003



## Scope

- Diese Inventare sollen die Inventare von Produktionsprozessen und Dienstleistungen in ecoinvent 2000 assistieren (**Hintergrundprozesse**)
- Dies ist *keine* Studie über Handlungsmöglichkeiten oder Strategien im Bereich Entsorgung, sondern soll **gegenwärtige Entsorgungsprozesse** möglichst vollständig inventarisieren.
- Es werden v.a. **Entsorgungsprozesse der Schweiz** bilanziert. Die entwickelten Modelle werden aber auch für ähnliche Prozesse im Ausland verwendet.
- Es werden **keine Recyclingprozesse** betrachtet.
- Excel-Tools für user zur Berechnung eigener Inventare sind Teil der ecoinvent v1.0 Dokumentation auf der CD-ROM (ca. Februar 2004)

Folie 4

“Ökoinventare von Entsorgungsprozessen” G. Doka, Sept. 2003



# Bilanzierte Systeme

- Kehrlichtverbrennungsanlage KVA/MSWI **Verbrennung (part II)**
  - Sonderabfall-Verbrennungsanlage SAVA/HWI **Verbrennung (part II)**
  - Reaktordeponie\* MSWLF (unbehandelter Kehrlicht) **Deponierung (part III)**  
\* in der CH für brennbaren Abfall seit 2000 verboten. Im Ausland gebräuchlich.
  - Schlacke-Kompartimente für KVA-Schlacken **Deponierung (part III)**
  - Reststoffdeponie RMLF (anorg. Abfälle) **Deponierung (part III)**
  - Inertstoffdeponie (inerte Bauabfälle + sauberer Aushub) **Deponierung (part III)**
  - Untertagedeponien UTD in Salzkavernen (ohne Nuklearabfall) **Deponierung (part III)**
  - Landspreading/Landfarming **(part III)**
  - Gemeinde-Abwasserreinigungsanlage ARA/WWTP **(part IV)**
  - Gebäudeabriss + -Entsorgungsoptionen inkl. Sortierung **(part V)**
- (Berichtteile)

eco nvent  
Zentrum

Schweizer  
Zentrum  
für  
Ökoinventare  
Eine gemeinsame  
Initiative des ETH-  
Bereichs  
und Schweizerischer  
Bundesämter

ETH

EPFL

FED

EMPA

EAWAG

FAL

Unter Mitarbeit von  
Gabor Doka

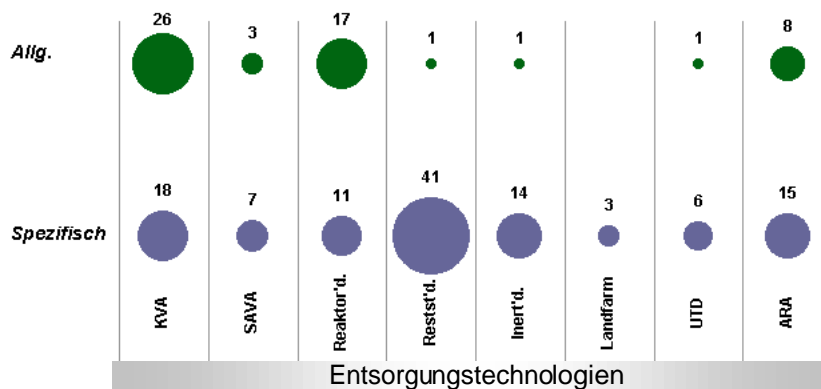
Doka Ökobilanzen

Folie 5

“Ökoinventare von Entsorgungsprozessen” G. Doka, Sept. 2003

# Anzahl Abfälle

- Allgemeine Abfälle (z.B. Verpackungen) und
- Abfälle aus spezifischen Produktionsprozessen (z.B. Abfälle der Automobilherstellung)



eco nvent  
Zentrum

Schweizer  
Zentrum  
für  
Ökoinventare  
Eine gemeinsame  
Initiative des ETH-  
Bereichs  
und Schweizerischer  
Bundesämter

ETH

EPFL

FED

EMPA

EAWAG

FAL

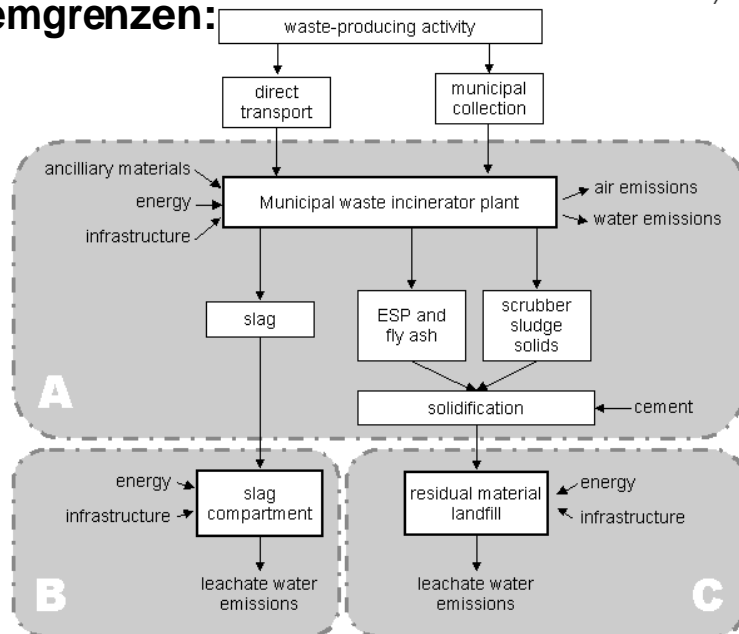
Unter Mitarbeit von  
Gabor Doka

Doka Ökobilanzen

Folie 6

“Ökoinventare von Entsorgungsprozessen” G. Doka, Sept. 2003

## Systemgrenzen: KVA



Folie 7

“Ökoinventare von Entsorgungsprozessen” G. Doka, Sept. 2003

eco nvent  
Zentrum

Schweizer  
Zentrum  
für  
Ökoinventare  
Eine gemeinsame  
Initiative des ETH-  
Bereichs  
und Schweizerischer  
Bundesämter

ETH

EPFL

FED

EMPA

EAWAG

FAL

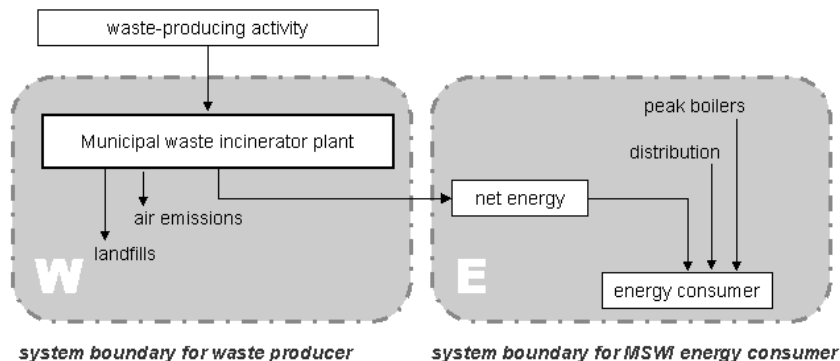
Unter Mitarbeit von  
Gabor Doka



Doka Ökobilanzen

## Allokation Energie: Beispiel KVA

- Energieproduktion macht nur einen kleinen Teil der Einkünfte aus
- Alle Emissionen der KVA werden auf die Funktion ‚Abfallentsorgung‘ alloziert
- Der *Konsument* von KVA-Energie erhält eine sehr saubere Energie



Folie 8

“Ökoinventare von Entsorgungsprozessen” G. Doka, Sept. 2003

eco nvent  
Zentrum

Schweizer  
Zentrum  
für  
Ökoinventare  
Eine gemeinsame  
Initiative des ETH-  
Bereichs  
und Schweizerischer  
Bundesämter

ETH

EPFL

FED

EMPA

EAWAG

FAL

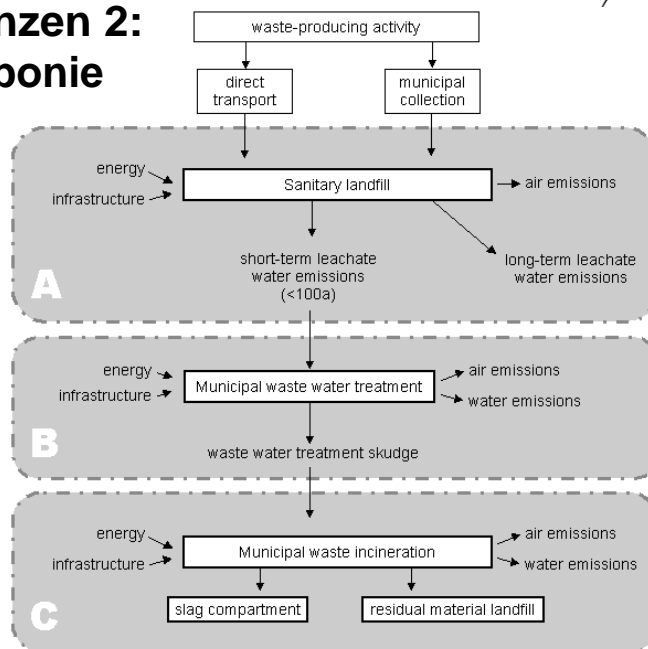
Unter Mitarbeit von  
Gabor Doka



Doka Ökobilanzen

## Systemgrenzen 2: Reaktordeponie

Die Berechnung der gesamten Reaktordeponie-Emissionen benötigt 5 verschiedene Entsorgungs-Modelle



Folie 9

“Ökoinventare von Entsorgungsprozessen” G. Doka, Sept. 2003

eco invent  
Zentrum

Schweizer Zentrum für Ökoinventare  
Eine gemeinsame Initiative des ETH-Bereichs und Schweizerischer Bundesämter

ETH

EPFL

FED

EMPA

EAWAG

FAL

Unter Mitarbeit von Gabor Doka

Doka Ökobilanzen

## Systemgrenzen 3: Bauabfälle

Inventare der Bauabfallentsorgung umfassen auch den **Abbruch des Gebäudes**

Abbruchenergie und Emissionen (PM) werden bilanziert.

Drei Optionen der Entsorgung werden unterschieden:

1. Direkte Verwertung (Recycling ohne Aufarbeitung)
2. Entsorgung via Sortieranlage (teilweise Recycling wenn möglich)
3. Direkte Entsorgung ohne stoffliche Verwertung (z.B. Brennbares)  
→ anwendbar je nach Konstruktion/lokaler Situation

Feinfraktion aus Sortieranlage wird bisher deponiert (hier Reaktordeponie)

Folie 10

“Ökoinventare von Entsorgungsprozessen” G. Doka, Sept. 2003

eco invent  
Zentrum

Schweizer Zentrum für Ökoinventare  
Eine gemeinsame Initiative des ETH-Bereichs und Schweizerischer Bundesämter

ETH

EPFL

FED

EMPA

EAWAG

FAL

Unter Mitarbeit von Gabor Doka

Doka Ökobilanzen

## Konzept abfallspezifische Bilanzierung

- *Abfallspezifische* Emissionen:  
von der Abfallzusammensetzung abhängig
- *Prozessspezifische* Belastungen:  
von der Abfallzusammensetzung unabhängig
- Verhalten chemischer Elemente durch sog. Transferkoeffizienten dargestellt (keine Verbindungen).
- Der *abfallspezifische* Output einer Entsorgungstechnologie (Emission oder Abprodukt) wird modelliert durch  
**Output = Abfallzusammensetzung mal Transferkoeffizienten**  
durchgehend für 41 chemische Elemente (bisher 8 bis 23).
- D.h. wenn ein Abfall z.B. kein Blei enthält wird auch keine direkte Blei-Emission verbucht.

Folie 11

“Ökoinventare von Entsorgungsprozessen” G. Doka, Sept. 2003



## Zusammensetzungen & Entsorgungsmethode

- Abfallzusammensetzungen aus Literatur-Recherchen oder Herstellerangaben
- Oft Erfassungslücken für 41 Inhaltsstoffe (Elemente)
- Entsorgungsmethode nach Hersteller-Angaben oder aufgrund der Materialeigenschaften  
„Deponierung“ → oft als Reststoffdeponie  
„Ablagerung“ → Deponie? Zwischenlager? Untertagedeponie?
- Im Ausland sind auch Entsorgungsprozesse möglich, die in der CH verboten sind (Landfarming, Brennbares in Reaktordeponie)

Folie 12

“Ökoinventare von Entsorgungsprozessen” G. Doka, Sept. 2003



## Abfallspezifisches Deponiemodell

- Das Deponiemodell besteht im wesentlichen aus den Transferkoeffizienten für verschiedene chemische Elemente
- Bisher wurden **Kurzzeit-Labortests** zur Abschätzung der Auswaschung aus Deponien herangezogen (Zimmermann et al. 1996, Hellweg 2000, Doka 2000)
- Das Prinzip der „begrenzen Auswaschung“ widerspricht Erkenntnissen aus der Deponieforschung, welche langfristig eine grundsätzliche **Verwitterbarkeit aller Phasen** findet (z.B. Annette Johnson EAWAG; Peter Lechner & Thomas Sabbas, BOKU Wien)
- Neu werden die Deponiemodelle in ecoinvent **auf real gemessenen Deponieemissionen** basiert.

Folie 13

“Ökoinventare von Entsorgungsprozessen” G. Doka, Sept. 2003



ecoinvent  
Zentrum

Schweizer  
Zentrum  
für  
Ökoinventare  
Eine gemeinsame  
Initiative des ETH-  
Bereichs  
und Schweizerischer  
Bundesämter

ETH

EPFL

EMPA

EAWAG

FAL

Unter Mitarbeit von  
Gabor Doka

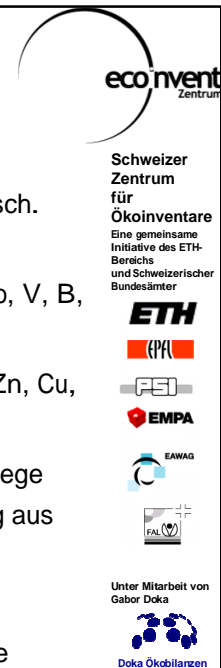
Doka Ökobilanzen

## Abfallspezifisches Deponiemodell 2

- Die zu erwartenden Entwicklungen des Deponiekörpers werden berücksichtigt:
- Karbonatpuffer und pH-Entwicklung beeinflusst Löslichkeit versch. Phasen und Elemente
- Oxianionen sind bei hohem pH gut auswaschbar (z.B. Cr, As, Mo, V, B, W, Se, Sb)
- Andere Metalle sind bei tiefem (saurem) pH gut auswaschbar (Zn, Cu, Pb, Cd, Hg, etc.)
- Niederschlag, Versickerungsrate und bevorzugte Sickerwasserwege beeinflussen die Verwitterungsgeschwindigkeit und den Austrag aus der Deponie.
- Rück-Fällungen innerhalb der Deponie werden berücksichtigt
- In Reaktordeponien: unterschiedliche Abbaubarkeit der Abfälle

Folie 14

“Ökoinventare von Entsorgungsprozessen” G. Doka, Sept. 2003



ecoinvent  
Zentrum

Schweizer  
Zentrum  
für  
Ökoinventare  
Eine gemeinsame  
Initiative des ETH-  
Bereichs  
und Schweizerischer  
Bundesämter

ETH

EPFL

EMPA

EAWAG

FAL

Unter Mitarbeit von  
Gabor Doka

Doka Ökobilanzen

## Abfallspezifisches Deponiemodell 3

Die so berechneten Deponie-Emissionen werden im Inventar unterteilt in:

- **Kurzfristige Emissionen 0 bis 100 Jahre** nach der Abfallplazierung (ST = short-term)
- **Langfristige Emissionen über 100 Jahre** nach der Abfallplazierung (LT = long-term)

Das Modell simuliert die Emissionen **bis zur nächsten Eiszeit** (geschätzte 60'000 Jahre) als **Mittelwert**.

Als **Maximalwert** der Unsicherheitsabschätzung wird eine **vollständige Verwitterung** angenommen (ausser Chromit).

Pro Memoria: In Ökoinventaren werden Emissionen ausgewiesen **unabhängig vom Ort, Zeitpunkt oder Konzentration** (ISO 14'042)

Folie 15

“Ökoinventare von Entsorgungsprozessen” G. Doka, Sept. 2003

eco invent  
Zentrum

Schweizer  
Zentrum  
für  
Ökoinventare  
Eine gemeinsame  
Initiative des ETH-  
Bereichs  
und Schweizerischer  
Bundesämter

ETH

EPFL

FED

EMPA

EAWAG

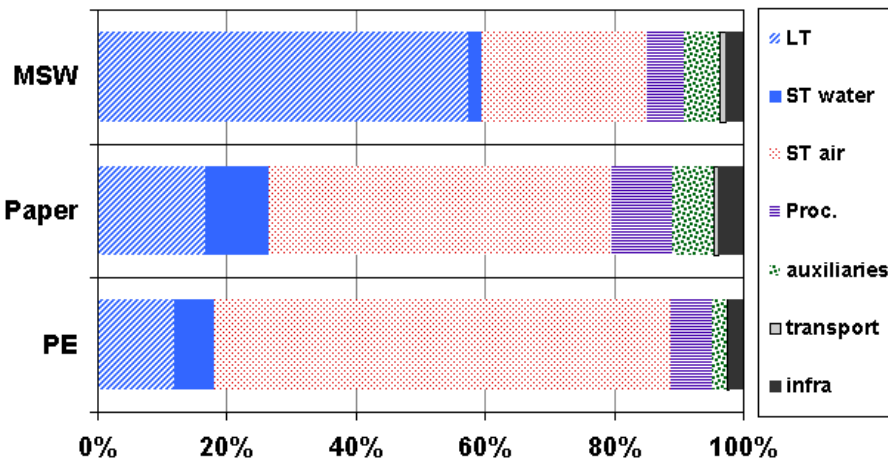
FAL

Unter Mitarbeit von  
Gabor Doka

Doka Ökobilanzen

## Resultat: Beitragsanalyse KVA

- Verbrennung in KVA von Kehricht, Papier, oder Polyethylen (Beiträge aufgrund Bewertung mit Ecoindicator'99 HA)



Folie 16

“Ökoinventare von Entsorgungsprozessen” G. Doka, Sept. 2003

eco invent  
Zentrum

Schweizer  
Zentrum  
für  
Ökoinventare  
Eine gemeinsame  
Initiative des ETH-  
Bereichs  
und Schweizerischer  
Bundesämter

ETH

EPFL

FED

EMPA

EAWAG

FAL

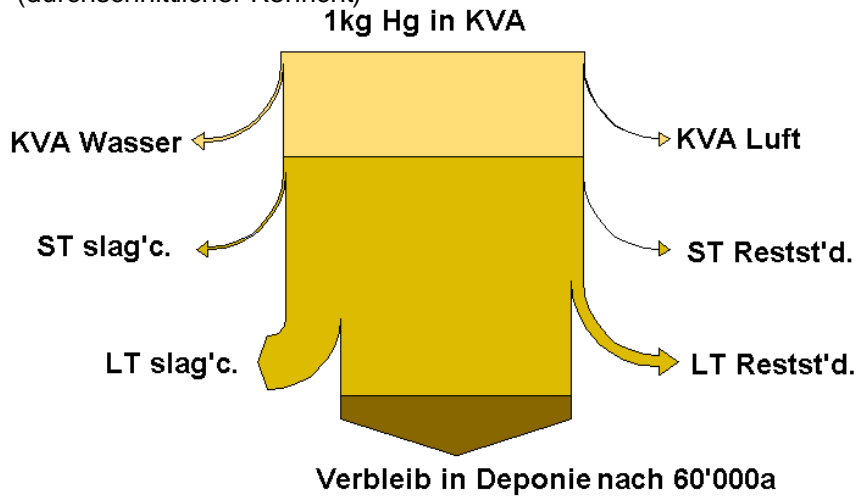
Unter Mitarbeit von  
Gabor Doka

Doka Ökobilanzen



## Resultat: Sankeydiagramm

Verteilung von 1kg Quecksilber nach Kehrlichtverbrennung  
(durchschnittlicher Kehrlicht)



Folie 17

“Ökoinventare von Entsorgungsprozessen” G. Doka, Sept. 2003

eco invent  
Zentrum

Schweizer  
Zentrum  
für  
Ökoinventare  
Eine gemeinsame  
Initiative des ETH-  
Bereichs  
und Schweizerischer  
Bundesämter

ETH

EPFL

FED

EMPA

EAWAG

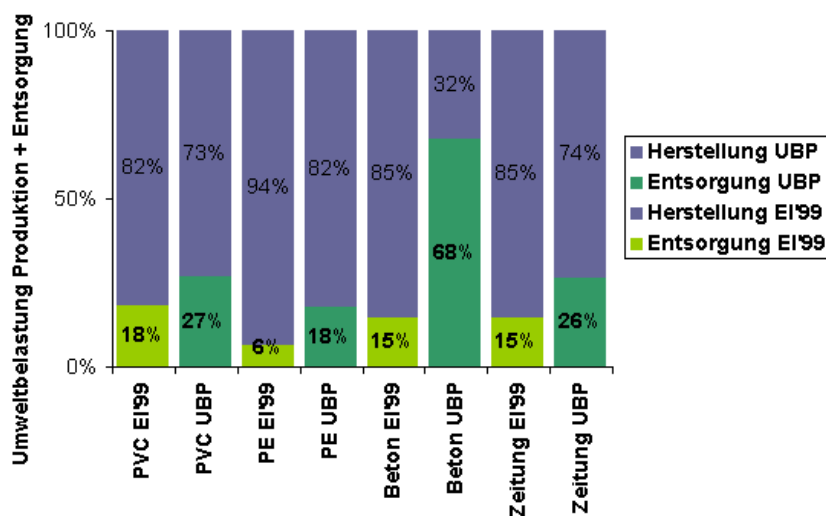
FAL

Unter Mitarbeit von  
Gabor Doka

Doka Ökobilanzen

## Relevanz der Entsorgung im LC

- Beitrag der Entsorgung zur Lebenszyklusbelastung (EI'99 HA und UB'97)



Folie 18

“Ökoinventare von Entsorgungsprozessen” G. Doka, Sept. 2003

eco invent  
Zentrum

Schweizer  
Zentrum  
für  
Ökoinventare  
Eine gemeinsame  
Initiative des ETH-  
Bereichs  
und Schweizerischer  
Bundesämter

ETH

EPFL

FED

EMPA

EAWAG

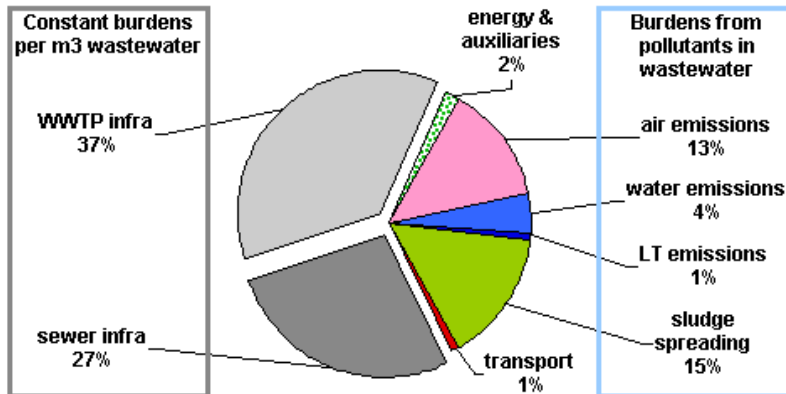
FAL

Unter Mitarbeit von  
Gabor Doka

Doka Ökobilanzen

## Resultat: Beitragsanalyse ARA

- Behandlung von 1m<sup>3</sup> durchschnittlichem Abwasser in einer ARA der Grössenklasse 3 (Beiträge aufgrund Bewertung mit Ecoindicator'99 HA)



Folie 19

“Ökoinventare von Entsorgungsprozessen” G. Doka, Sept. 2003

eco invent  
Zentrum

Schweizer  
Zentrum  
für  
Ökoinventare  
Eine gemeinsame  
Initiative des ETH-  
Bereichs  
und Schweizerischer  
Bundesämter

ETH

EPFL

FED

EMPA

EAWAG

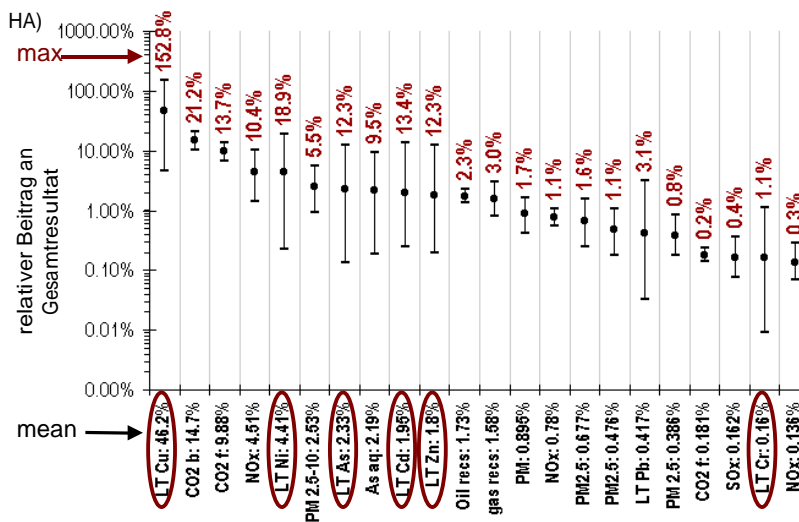
FAL

Unter Mitarbeit von  
Gabor Doka

Doka Ökobilanzen

## Resultat Unsicherheiten

Bewertete Exchanges und deren Unsicherheit für durchschnittlichen Kehrriecht in KVA nach absteigender Dominanz (Bewertung mit Ecoindicator'99



Folie 20

“Ökoinventare von Entsorgungsprozessen” G. Doka, Sept. 2003

eco invent  
Zentrum

Schweizer  
Zentrum  
für  
Ökoinventare  
Eine gemeinsame  
Initiative des ETH-  
Bereichs  
und Schweizerischer  
Bundesämter

ETH

EPFL

FED

EMPA

EAWAG

FAL

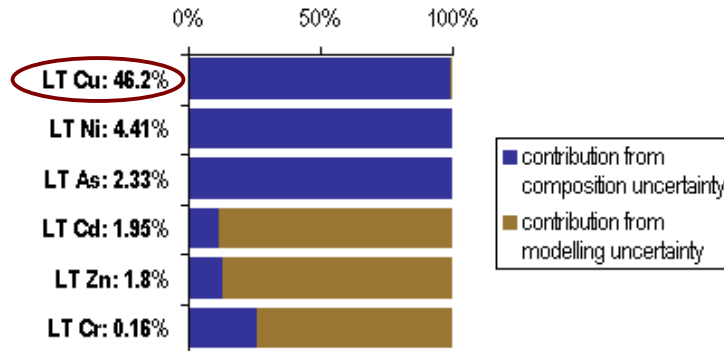
Unter Mitarbeit von  
Gabor Doka

Doka Ökobilanzen

## Resultat Unsicherheiten 2

Woher kommen die Unsicherheiten?

1. Variabilitäten in der Abfallzusammensetzung
2. Variabilitäten in der Modellierung (KVA und Deponien)



Folie 21

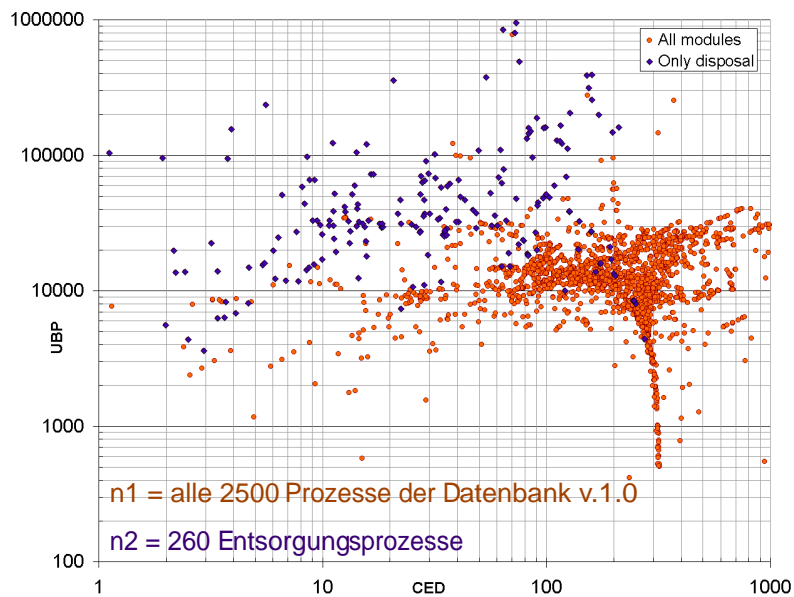
“Ökoinventare von Entsorgungsprozessen” G. Doka, Sept. 2003



## Resultat: Korrelation CED vs. UBP

Korrelieren Primärenergieaufwand CED und Umweltbelastung UBP?

**Die Antwort ist Nein**



Folie 22

“Ökoinventare von Entsorgungsprozessen” G. Doka, Sept. 2003

## Schlussfolgerungen

- Entsorgung ist ein relevanter Teil von LCA
- Abfallspezifische Modellierung der Entsorgung ist komplex
- ecoinvent-user-Tools für abfallspezifische Modellierung verfügbar
- Entsorgungstechnologien und -wege von Produktions-Abfällen sollten genauso recherchiert werden wie Produktionstechnologien
- Bewertungshaltungen sind entscheidend (LT) und können Kontroversen auslösen



Unter Mitarbeit von  
Gabor Doka  
Doka Ökobilanzen

Folie 23

“Ökoinventare von Entsorgungsprozessen” G. Doka, Sept. 2003

## Mögliche künftige Arbeiten

- Modelle für tailings und acid rock drainage
- Konzeptionelle und methodische Angleichung der Deponie-Modelle an LCIA-Modelle für Schadstoffausbreitung resp. -rückhalt im Boden
- Aussereruropäische Entsorgungsverhältnisse
- Modelle für chemische Verbindungen nicht nur Elemente
- Vollständigere und repräsentativere Abfallzusammensetzungen

**Danke für Ihre Aufmerksamkeit**

Kontakt: [doka@ecoinvent.ch](mailto:doka@ecoinvent.ch)

oder [ecoinvent@doka.ch](mailto:ecoinvent@doka.ch)



Unter Mitarbeit von  
Gabor Doka  
Doka Ökobilanzen

Folie 24

“Ökoinventare von Entsorgungsprozessen” G. Doka, Sept. 2003