

## **Verknüpfung von Stoffstromanalyse und Ökobilanz am Beispiel eines Stoff- und Energiestrommodells für Deutschland**

**Andreas Uihlein**

Forschungszentrum Karlsruhe, Institut für technische Chemie - Zentralabteilung für technikbedingte Stoffströme

Tel.: 07242 81 8330

Email: [andreas.uihlein@itc-zts.fzk.de](mailto:andreas.uihlein@itc-zts.fzk.de)

Im Rahmen einer Untersuchung zum Kohlenstoffmanagement wurden Stoff- und Energieströme in Deutschland ermittelt und in einem Modell abgebildet. Das Hauptaugenmerk liegt auf der ganzheitlichen Modellierung konkurrierender Möglichkeiten der energetischen und stofflichen Nutzung von Kohlenstoffquellen zur Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland. Die Potenziale eines systematischen Kohlenstoffmanagements zur Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen innerhalb des Bilanzrahmens Deutschland sollen mit Hilfe dieses Modells analysiert und dargestellt werden. Zur Erfassung der Reduktionspotenziale von CO<sub>2</sub>-Emissionen durch gezieltes Kohlenstoffmanagement, d.h. durch die Steuerung und Optimierung von Kohlenstoffströmen, soll analysiert werden, wo Einflussmöglichkeiten auf die Kohlenstoffströme bzw. die Nutzung bestimmter Verfahren bestehen. Es soll untersucht werden, ob eine Lenkung von Kohlenstoffströmen verwirklicht werden kann, und welche Steuerungsmöglichkeiten hierfür zur Verfügung stehen oder entwickelt werden können.

Hierbei ist zu beachten, dass der Beitrag der Kohlendioxid-Emissionen an den gesamten Emissionen von Treibhausgasen in Deutschland knapp 90% ausmacht, die Beiträge anderer Treibhausgase wie z.B. CH<sub>4</sub> oder N<sub>2</sub>O aber nicht zu vernachlässigen sind. Insbesondere bei der Nutzung von Anbau-Biomasse zur stofflichen und energetischen Nutzung ist es unerlässlich, die Emissionen aller Treibhausgase zu erfassen. Eine Optimierung des Systems lediglich hinsichtlich der CO<sub>2</sub>-Emissionen kann somit eventuell zu erhöhten Emissionen der anderen Treibhausgase führen. Hinzu kommt, dass neben den Auswirkungen auf das Treibhausgaspotenzial auch die Auswirkungen der Optimierung auf andere Umweltwirkungskategorien (Verbrauch fossiler Ressourcen, Versauerung, Eutrophierung, usw.) zu beachten sind.

Um diese Auswirkungen berücksichtigen zu können, wird dem Stoff- und Energiestrom-Modell eine Ökobilanz-Wirkungsabschätzung hinzugefügt. Hierzu werden für alle im Modell abgebildeten Stoffströme und Energieflüsse die Umweltauswirkungen berechnet bzw. aus Literaturquellen entnommen, wobei als funktionelle Einheit jeweils 1 kg bzw. 1 TJ des Stoff- bzw. Energiestroms angenommen wird. Die Umweltauswirkungen werden dann mit den Stoff- und Energieströmen multipliziert.

Die Ergebnisse zeigen, dass eine Verknüpfung von Stoffstromanalyse und Ökobilanz bzw. Wirkungsabschätzung möglich, durch verschiedene Schwierigkeiten wie zum Beispiel unvollständige Datensätze oder unterschiedliche Systemgrenzen bzw. Systemdefinitionen nicht immer einfach ist. Es lassen sich aber durch die Verknüpfung von Stoffstromanalyse und Ökobilanz zusätzlich zu den Ergebnissen der Stoffstromanalyse - die sich im vorliegende Fall auf Kohlenstoffströme und CO<sub>2</sub>-Emissionen konzentriert - wertvolle Erkenntnisse bezüglich weiterer Umweltauswirkungen der betrachteten Stoffströme und Energieflüsse gewinnen.



# Verknüpfung von Stoffstromanalyse und Ökobilanz am Beispiel eines Stoff- und Energiestrommodells für Deutschland

Andreas Uihlein

1. Ökobilanz-Werkstatt des Netzwerks Lebenszyklusdaten  
15.-16. Juni 2005, Bad Urach



## → Einleitung

- Überblick über das Modell
- Problemstellung
- Ansatz und Ergebnisse
- Schlussfolgerungen



- **Die Treibhausgas-Emissionen in Deutschland sollen bis zum Jahr 2012 im Vergleich zu 1990 um 21% gemindert werden (Kyoto-Protokoll)**
- **Eine Senkung um 40% bis zum Jahr 2020 wird angestrebt (Koalitionsvertrag)**
- **Bis 2002 wurde eine Reduktion um 19% erreicht. Der überwiegende Anteil der Reduktionen (80%) wurde vor 1995 erzielt; die Minderungen fallen in den letzten Jahren geringer aus (2003: nur 0,6%)**



- **Bei weiterhin geringen Reduktionen könnte das Minderungsziel von 21% verfehlt werden**
- **Angesichts der Schwierigkeiten bei der Erfüllung der aktuellen Reduktionsziele – vor allem aber hinsichtlich der zukünftigen – sind weitere Anstrengungen nötig**
- **Ansatzpunkte zur Erweiterung der vorhandenen Klimaschutzmaßnahmen müssen entwickelt werden**



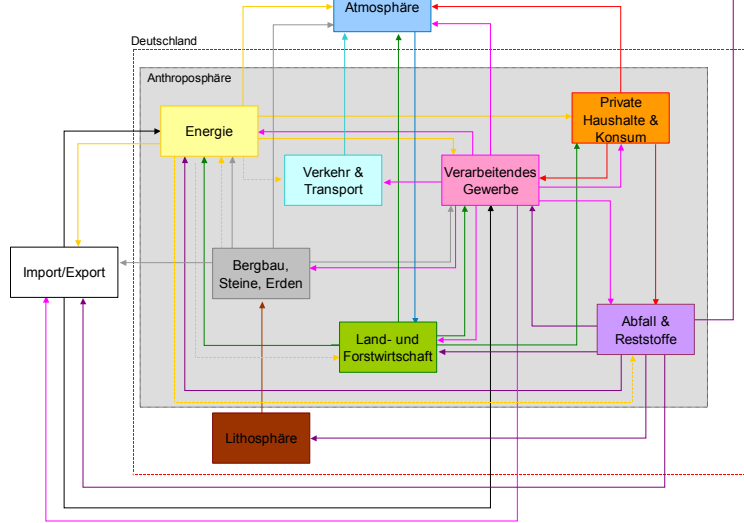
- **Ganzheitliche Modellierung konkurrierender Möglichkeiten der energetischen und stofflichen Nutzung von Kohlenstoffquellen**
- **Bestimmung der Potenziale des systematischen Kohlenstoffmanagements zur Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland**



- Einleitung
- **Überblick über das Modell**
- **Problemstellung**
- **Ansatz und Ergebnisse**
- **Schlussfolgerungen**

Forschungszentrum Karlsruhe  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

ITC Zentralabteilung Technikbedingte Stoffströme



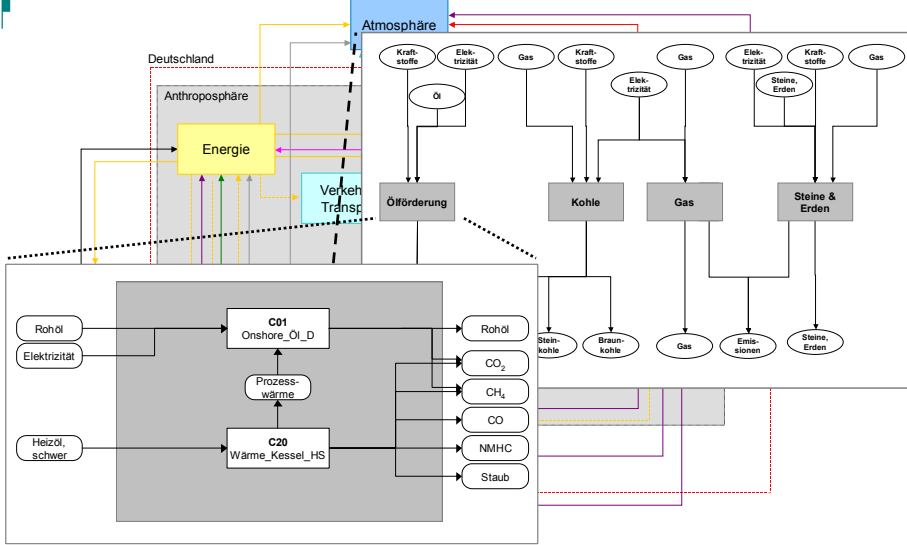
Forschungszentrum Karlsruhe  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

ITC Zentralabteilung Technikbedingte Stoffströme

	Subkategorie	Stoffstrom
Energieträger	<b>Öl</b>	Rohöl
	<b>Steinkohle</b>	Steinkohle
		Steinkohlenkoks
		Steinkohlenbriketts
	<b>Braunkohle</b>	Braunkohle
		Braunkohlenkoks
		Braunkohlenbriketts
		Staub- und Wirbelschichtkohle
	<b>Gas</b>	Erd- und Erdölgas
		Gruben- und Klärgas
		Raffinerie- und Kokereigas
		Flüssiggas
	<b>Kraftstoffe</b>	RME
		Flugturbinenkraftstoff
		Flugbenzin
....		
<b>Wärme</b>	Raumwärme	
	Prozesswärme	
	Fernwärme	

Forschungszentrum Karlsruhe  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

ITC Zentralabteilung Technikbedingte Stoffströme



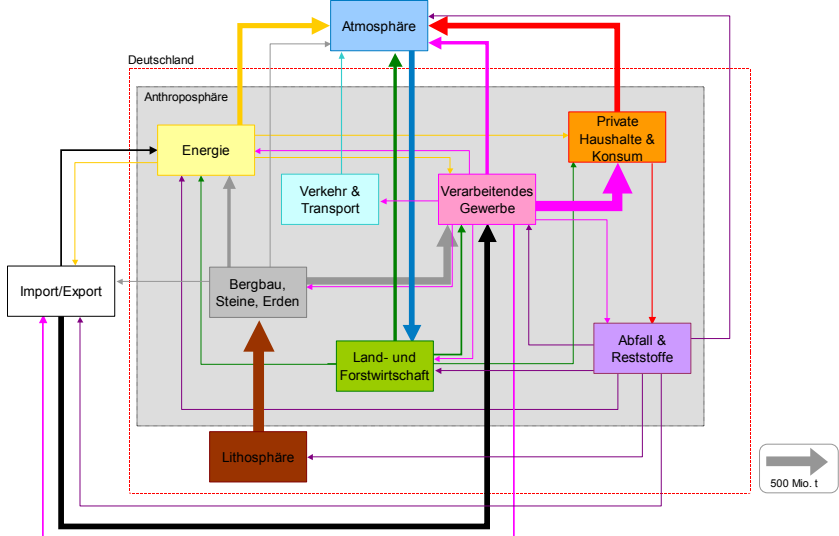
Überblick über das Modell

1. Ökobilanz-Werkstatt des Netzwerks Lebenszyklusdaten, 15.-16. Juni 2005, Bad Urach

9

Forschungszentrum Karlsruhe  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

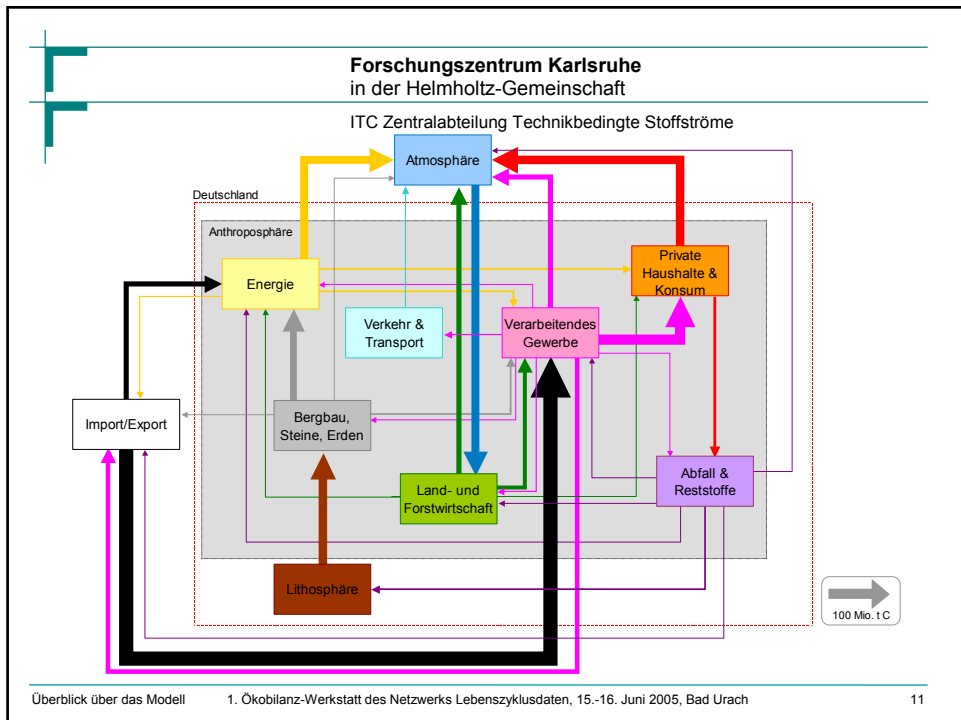
ITC Zentralabteilung Technikbedingte Stoffströme



Überblick über das Modell

1. Ökobilanz-Werkstatt des Netzwerks Lebenszyklusdaten, 15.-16. Juni 2005, Bad Urach

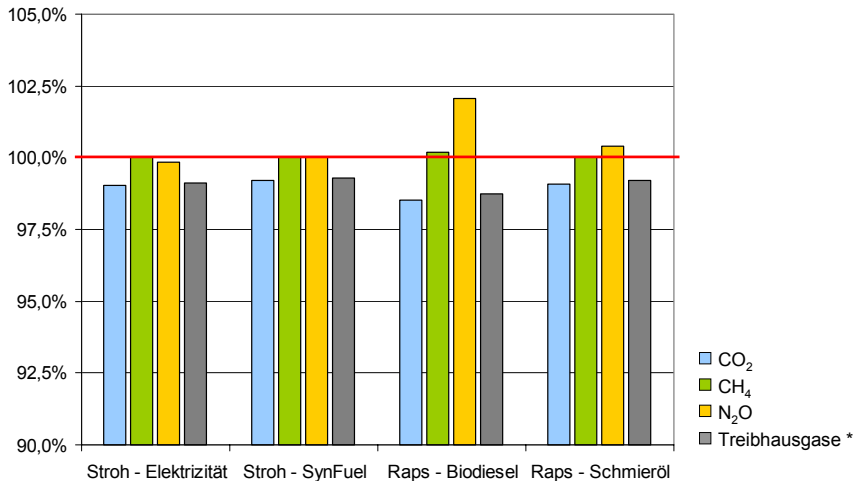
10



- Forschungszentrum Karlsruhe**  
in der Helmholtz-Gemeinschaft
- ITC Zentralabteilung Technikbedingte Stoffströme
- Einleitung
  - Überblick über das Modell
  - **Problemstellung**
  - Ansatz und Ergebnisse
  - Schlussfolgerungen
1. Ökobilanz-Werkstatt des Netzwerks Lebenszyklusdaten, 15.-16. Juni 2005, Bad Urach 12



- **CO<sub>2</sub> macht 90% der Treibhausgasemissionen in Deutschland aus**
- **Andere Treibhausgase (z.B. CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O) sind nicht zu vernachlässigen**
- **Optimierung hinsichtlich CO<sub>2</sub> kann zu erhöhten Emissionen anderer Treibhausgase führen**
- **CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O sind deshalb im Modell enthalten**



\* Treibhausgase: Kohlendioxid, Methan und Distickstoffoxid (Bezug: CO<sub>2</sub>-Äquivalente)





- **Neben dem Treibhauseffekt sollen weitere Umweltauswirkungen erfasst werden (z.B. Ozonabbau, Versauerung, Eutrophierung)**
- **Diese Zusatzinformationen sollen möglichst einfach in das Modell integriert werden können**



- Einleitung
- Überblick über das Modell
- Problemstellung
- **Ansatz und Ergebnisse**
- **Schlussfolgerungen**



## Verknüpfung des Modells mit einer Ökobilanz-Wirkungsabschätzung

- **Materialstrom [kg] oder Energiefluss [TJ] in Modell enthalten**
- **EcoIndicator99 [Pts/kg, Pts/TJ] aus Literaturquellen**
- **Multiplikation ergibt Umweltauswirkungen von Materialstrom bzw. Energiefluss**



- **Aussagen über Umweltschädlichkeit der Stoffströme und Energieflüsse (wo treten die größten Umweltauswirkungen auf?)**
- **Bei Optimierung hinsichtlich CO<sub>2</sub>-Emission: evtl. gegensätzliche Effekte in anderen Wirkungskategorien.**
- **Gewählte Methode ist einfach; schneller als Erfassung weiterer Emissionsfaktoren (oft nicht vorhanden) und Berechnung von Umweltauswirkungen**



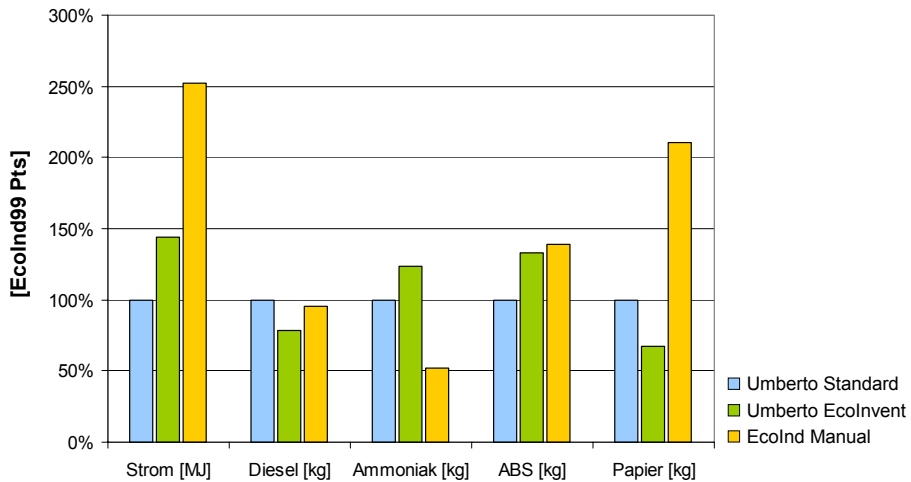
## Schwierigkeiten und Probleme

1. **Auswahl der Literaturquelle(-n)?**
2. **Auswahl der Prozesse bzw. Materialien?**
3. **Aufwand**



## 1. Auswahl der Literaturquelle(-n)?

- **EcoIndicator Manual**  
(ca. 170 einzelne Werte/Produkte)
- **Berechnung über Umberto & Umberto Standard Database**  
(ca. 1200 Prozesse)
- **Berechnung über Umberto & EcoInvent Database**  
(>2.500 Prozesse)



## 1. Auswahl der Literaturquelle(-n)?

- Die Ecolndicator99-Werte der Literaturquellen unterscheiden sich zum Teil deutlich
- Alle Ecolndicator99-Werte sollten aus einer Literaturquelle entnommen werden
- Es wurde die Berechnung über **Umberto & EcoInvent Database** gewählt



## 2. Auswahl der Prozesse bzw. Materialien?

- **Verschiedene „Stufen“ in Prozesskette**
- **Benzin, bleifrei, ab Raffinerie (RER)**  
Raffinerieprozess exkl. Bereitstellung von Prozesswärme, inkl. Abwasserbehandlung, prozessbedingte Emissionen und direkte Einleitungen in Gewässer: 208,62 mPts/kg
- **Benzin, bleifrei, ab Regionallager (RER)**  
Vorkette + Transport von Produkt ab Raffinerie zum Verbraucher. Betrieb von Lagertanks und Tankstellen. Emissionen durch Verdunstung: 211,23 mPts/kg



## 2. Auswahl der Prozesse bzw. Materialien?

- **Importe bzw. Import-Mix**
- **Rohöl, Produktion RME, ab Ferntransport (RER)**  
Förderung und Transport von Rohöl zu Raffinerie in Europa inkl. Emissionen durch Handling und Verdunstung: 170,61 mPts/kg
- **Rohöl, ab Produktion onshore (RME)**  
Förderung von Rohöl inkl. Nutzung von Energie, Infrastruktur und Emissionen: 158,33 mPts/kg
- **Rohöl, ab Produktion offshore (GB)**  
Förderung von Rohöl inkl. Nutzung von Energie, Infrastruktur und Emissionen, Transport per Pipeline zur Küste: 156,97 mPts/kg



## 2. Auswahl der Prozesse bzw. Materialien?

- **Mehrere Materialien in Datenbank**
- **Raffineriegas, ab Raffinerie (RER)**  
Raffinerieprozess exkl. Bereitstellung von Prozesswärme, inkl. Abwasserbehandlung, prozessbedingte Emissionen und direkte Einleitungen in Gewässer: 201,11 mPts/kg
- **Koksofengas, ab Werk (DE)**  
Förderung von Rohöl inkl. Nutzung von Energie, Infrastruktur und Emissionen: 76,62 mPts/kg



## 2. Auswahl der Prozesse bzw. Materialien?

- **Kein vorhandener Prozess**
- **Flüssiggas**  
Wurde wie Raffinerie- und Kokereigas angenommen
- **Gruben- und Klärgas**  
Wurde wie Raffinerie- und Kokereigas angenommen
- **Waldrestholz**  
Wurde wie Schwachholz angenommen



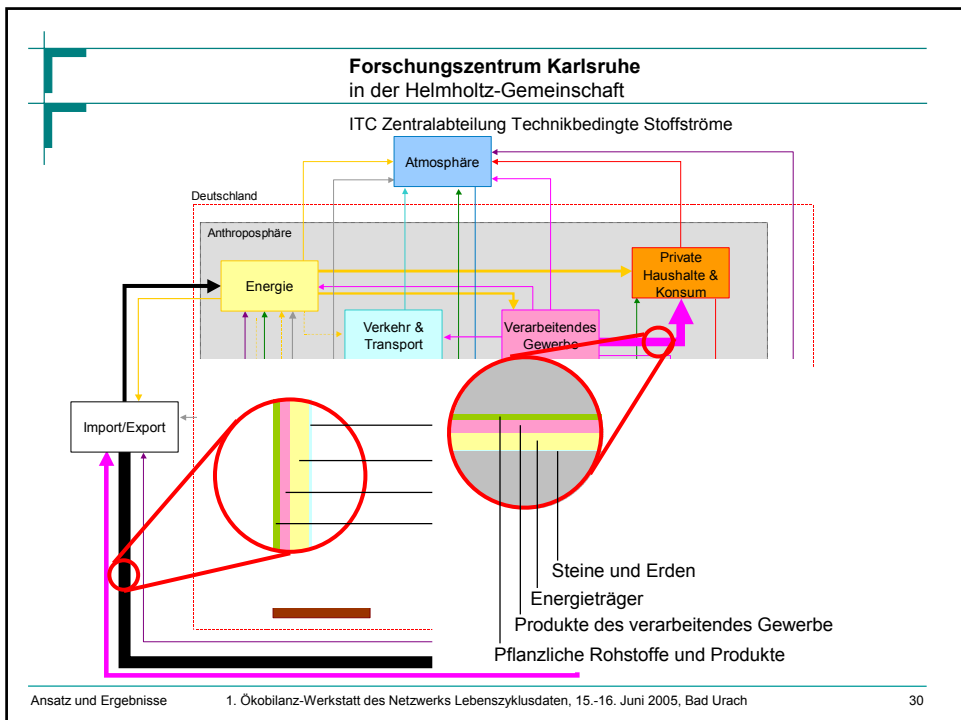
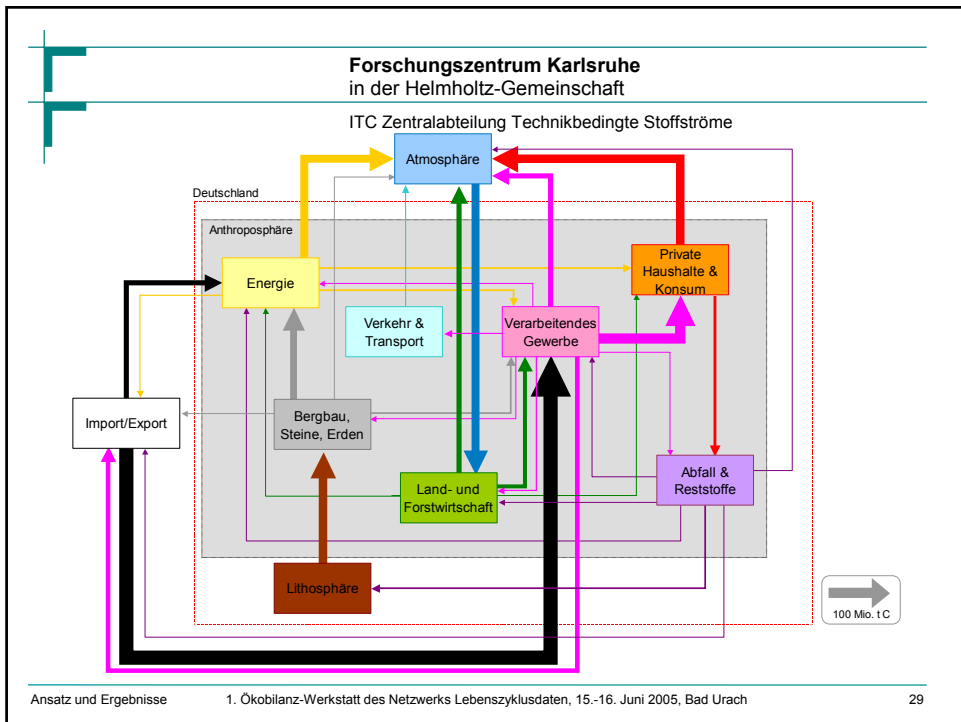
## 2. Auswahl der Prozesse bzw. Materialien?

- **Unterschiedliche EcoIndicator99-Werte für „verschiedene Stufen in der Nutzung“**
- **Unterschiedliche EcoIndicator99-Werte bei Importen bzw. Import-Mix**
- **Zuordnung bei mehreren Prozessen bzw. Materialien**
- **Einige Prozesse bzw. Materialien in Datenbank nicht vorhanden**



## 3. Aufwand

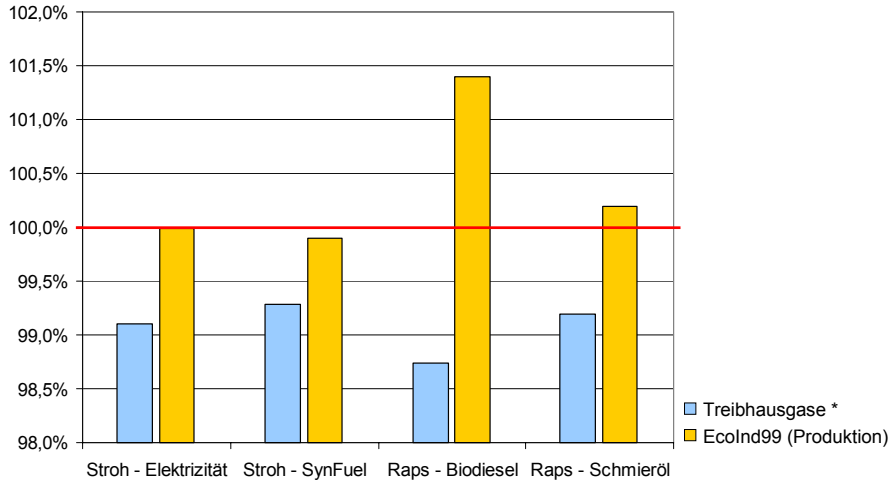
- **Berechnung der EcoIndicator99-Werte über Umberto & Ecolnvent Database dauert relativ lange**
- **Durchschnittlicher Zeitaufwand: 5 Minuten pro Stoffstrom (230 Stoffströme = knapp 3 Tage)**
- **Implementierung in Modell anschließend schnell durchzuführen**





Forschungszentrum Karlsruhe  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

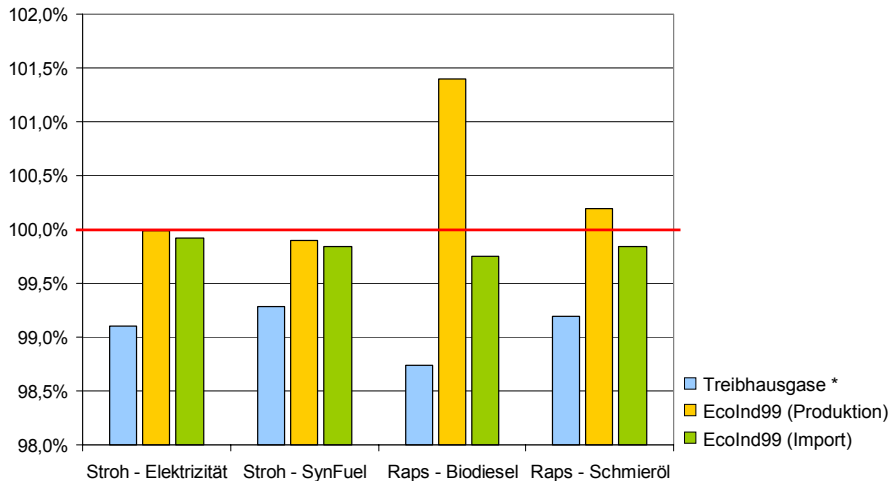
ITC Zentralabteilung Technikbedingte Stoffströme



\* Treibhausgase: Kohlendioxid, Methan und Distickstoffoxid (Bezug: CO<sub>2</sub>-Äquivalente)

Forschungszentrum Karlsruhe  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

ITC Zentralabteilung Technikbedingte Stoffströme



\* Treibhausgase: Kohlendioxid, Methan und Distickstoffoxid (Bezug: CO<sub>2</sub>-Äquivalente)

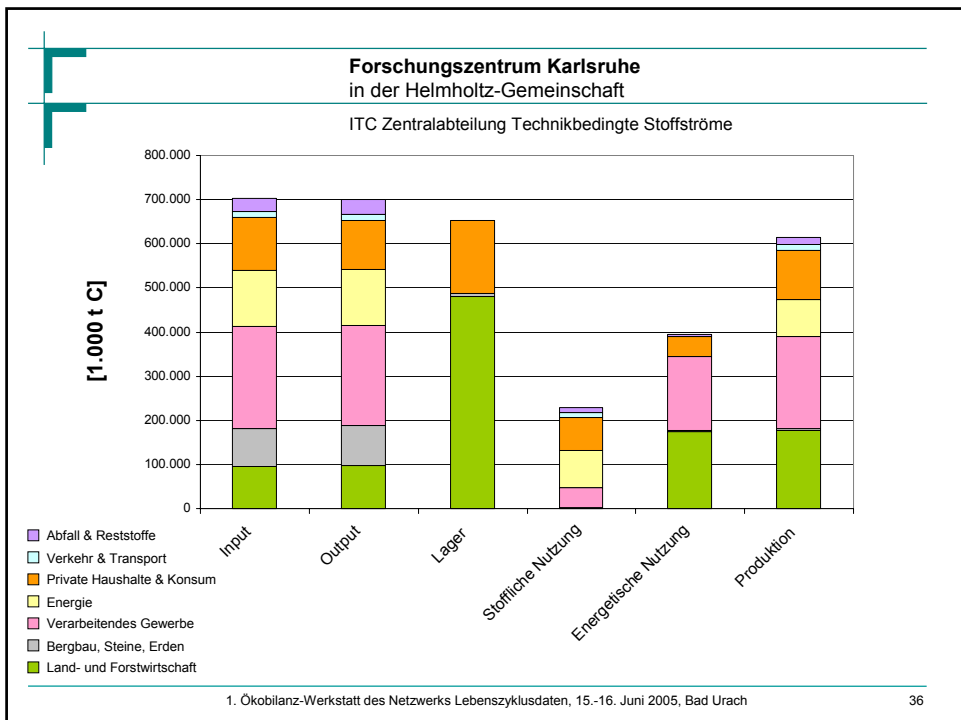
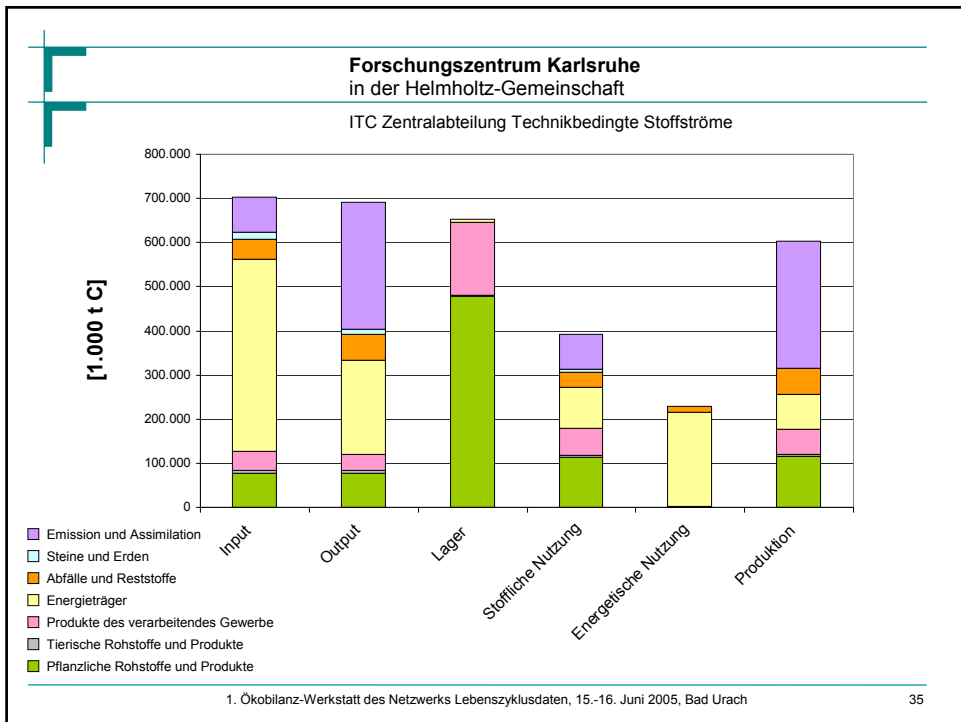


- Einleitung
- Überblick über das Modell
- Problemstellung
- Ansatz und Ergebnisse
- **Schlussfolgerungen**



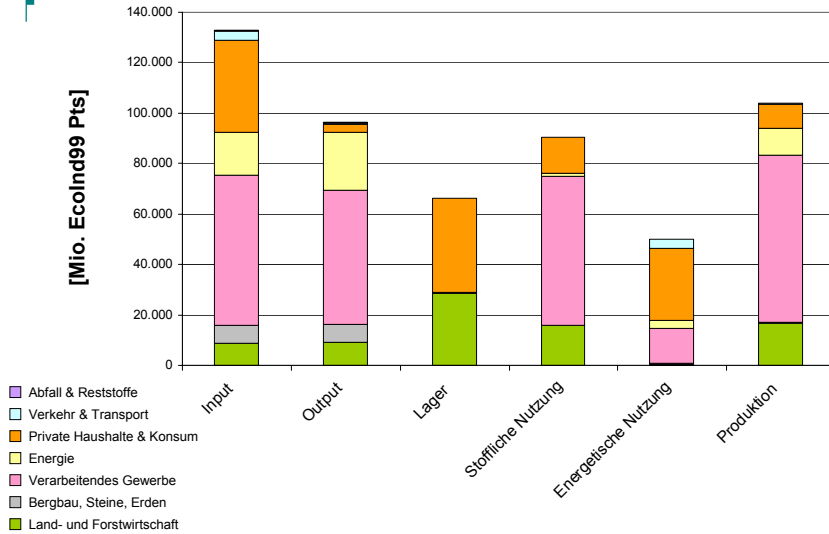
## **Verknüpfung von Stoffstromanalyse mit Ökobilanz-Wirkungsabschätzung**

- **ist möglich**
- **ist nicht immer einfach**
- **kann wertvolle Zusatzinformationen liefern**



Forschungszentrum Karlsruhe  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

ITC Zentralabteilung Technikbedingte Stoffströme

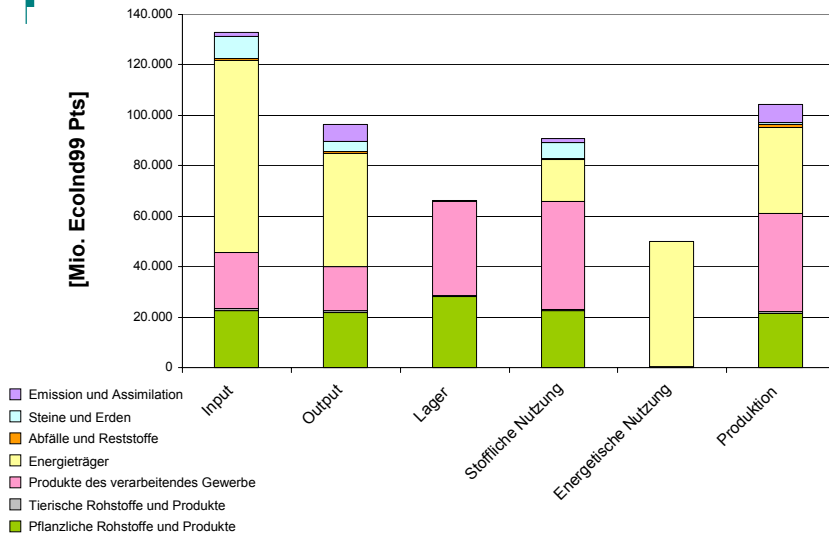


1. Ökobilanz-Werkstatt des Netzwerks Lebenszyklusdaten, 15.-16. Juni 2005, Bad Urach

37

Forschungszentrum Karlsruhe  
in der Helmholtz-Gemeinschaft

ITC Zentralabteilung Technikbedingte Stoffströme



1. Ökobilanz-Werkstatt des Netzwerks Lebenszyklusdaten, 15.-16. Juni 2005, Bad Urach

38



## 2. Auswahl der Prozesse bzw. Materialien?

- **Verschiedene „Stufen“ in Prozesskette**
- **Strom, Hochspannung, ab Netz (D)**  
Übertragung von Strom (Hochspannung) inkl. Verluste und direkte Luftemissionen (Versorgungsmix): 14,59 mPts/MJ
- **Strom, Hochspannung, Produktion, ab Netz (D)**  
Übertragung von Strom (Hochspannung) inkl. Verluste und direkte Luftemissionen (Erzeugungsmix): 14,83 mPts/MJ
- **Strom, Niederspannung, ab Netz (D)**  
Umwandlung Mittel- auf Niederspannung, Übertragung von Strom (Niederspannung) inkl. Verluste und direkte Luftemissionen (Versorgungsmix): 18,55 mPts/MJ