

Untersuchung der Entstehung von Umweltauswirkungen in Energieumwandlungsprozessen

Lutz Meyer

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

Tel.: 07242 81 8178

Email: lutz.meyer@itc-zts.fzk.de

Mittels Ökobilanzierung lassen sich die Umweltwirkungspotenziale von Produkten und Prozessen unter Berücksichtigung des gesamten Lebensweges bestimmen. Für Energieumwandlungsprozesse bedeutet das, dass die Umweltwirkungspotenziale berechnet werden können, die z.B. mit der Erzeugung einer bestimmten Menge Elektrizität verbunden sind. Dabei werden einerseits die Umweltbelastungen berücksichtigt, die mit der Bereitstellung und dem Verbrauch des Brennstoffs verbunden sind und andererseits die Umweltbelastungen, die mit Herstellung, Bau, Abbau und Entsorgung der Anlage in Zusammenhang stehen.

Zur Identifizierung von ökologischen Schwachstellen und für eine Verbesserung eines Prozesses während der Verfahrensentwicklung wäre es sinnvoll, wenn man untersuchen könnte, wie die Umweltbelastungen im Prozess entstehen und welche Prozesskomponenten in welchem Maße für die Entstehung von Umweltbelastungen verantwortlich sind. Der Beitrag jeder Komponente zur anlagenseitigen (Herstellung, Bau, Abbau und Entsorgung) Umweltbelastung lässt sich direkt durch die Ökobilanz bestimmen. Im Gegensatz dazu ist es aber nicht ohne weiteres möglich den Anteil zu ermitteln, den eine Komponente an den Umweltbelastungen im Zusammenhang mit dem Brennstoffverbrauch hat. Wenn in einem Energieumwandlungsprozess eine Komponente für Ineffizienzen verantwortlich ist, so senken diese Ineffizienzen den Gesamtwirkungsgrad des Prozesses und erhöhen so den Brennstoffverbrauch. Dies ist am anschaulichsten bei Komponenten, bei denen eine Energieübertragung oder -umwandlung stattfindet wie z.B. bei Wärmeübertragern oder Turbinen. Eine sehr geeignete Größe zur Untersuchung der Ineffizienzen in Energieumwandlungsprozessen ist die Exergie.

Es soll ein neuer Ansatz präsentiert werden, bei dem Umweltwirkungspotentialen den Exergieströmen in einem Prozess zugeordnet werden. Auf diese Weise lässt sich erkennen, in welchem Ausmaß die verschiedenen Prozesskomponenten für die Entstehung von Umweltbelastungen verantwortlich sind und ob diese Umweltbelastungen anlagenseitig oder brennstoffseitig (bzw. durch thermodynamische Ineffizienzen) bedingt sind. Ausgangspunkt der Untersuchung ist eine Exergieanalyse des Prozesses. Die Umweltbelastungen bzw. Umweltwirkungspotenziale werden durch Ökobilanzierung des Prozesses ermittelt. Für die Wirkungsabschätzung werden Eco-Indicator 99 Punkte berechnet, welche dann den Exergieströmen zugeordnet werden.

Durch diese exergiebasierte ökologische Untersuchung von Energieumwandlungsprozessen ist die Untersuchung der Entstehung von Umweltauswirkungen in Energieumwandlungsprozessen möglich. Diese Methode stellt wertvolle Informationen für eine ökologische Verbesserung eines Prozesses zur Verfügung.

Untersuchung der Entstehung von Umweltauswirkungen in Energieumwandlungsprozessen

Wie kompliziert soll
Ökobilanzierung und
LCIA sein?

1. Ökobilanzwerkstatt des Netzwerkes
Lebenszyklusdaten

Bad Urach, Haus auf der Alb,
15. – 16. Juni 2005

Lutz Meyer

Forschungszentrum Karlsruhe
Institut für Technische Chemie
Zentralabteilung Technikbedingte Stoffströme

Gliederung

1. Wie kompliziert soll Ökobilanzierung sein ?
2. Methodische Grundidee
3. Exergieanalyse
4. ‚Thermoökologische‘ Analyse
5. Fazit

Gliederung

1. Wie kompliziert soll Ökobilanzierung sein ?
2. **Methodische Grundidee**
3. Exergieanalyse
4. ‚Thermoökologische‘ Analyse
5. Fazit

Grundidee

Ziel war eine methodische Weiterentwicklung zur Untersuchung von Umweltauswirkungen durch Energieumwandlungsprozesse

1. Verknüpfung von Exergieanalyse und Ökobilanz
 2. Verwendung des Ansatzes der Exergoökonomischen Analyse zur Verknüpfung der Methoden
- Exergoökonomische Analyse ist exergiebasierte Kostenanalyse von Energieumwandlungsprozessen auf Komponentenebene → Ziel: Senkung der Kosten
 - ‚Thermoökologische‘ Analyse ist exergiebasierte Umweltanalyse von Energieumwandlungsprozessen auf Komponentenebene → Ziel: Senkung der Umweltauswirkungen

„exergy is the only rational basis for assigning costs in energy conversion processes“ (Bejan, Tsatsaronis, Moran 1996)

„Thermoökologische“ Analyse – Grundgedanken

- Exergiebasierte Umweltanalyse von Energieumwandlungsprozessen auf Komponentenebene → Ziel: **Verminderung der Gesamtumweltbelastung**
- Unterscheidung von zwei Quellen von Umweltbelastungen: Brennstoffseite und Infrastruktur-/Anlagenseite
- Analyse des Zusammenhangs zwischen thermodynamischen Ineffizienzen und Entstehung von Umweltbelastungen
- Steigerung der Effizienz einer Komponenten kann zu höheren Umweltbelastungen durch die Komponente führen



Nicht jede Effizienzsteigerung führt zu niedrigeren Gesamtumweltbelastungen!

Beispiel: Aluminiumauto (Studie des Wuppertal Instituts)

Effizienzsteigerung: Verringerung des Benzinverbrauchs dadurch Verringerung von Umweltbelastungen

Mittel: Einsatz von Aluminium statt Stahl zur Gewichtsreduzierung

Auswirkungen: Höherer Energieverbrauch und weitere höhere Umweltbelastungen bei der Aluminiumherstellung

Ergebnis: Beim Vergleich mit einem gleichwertigen Stahlauto sind die Alternativen nach folgenden Fahrleistungen gleichwertig:

nach etwa 150.000 km bei Betrachtung des Energieverbrauchs

erst nach ca. 530.000 km, wenn weitere Umweltauswirkungen betrachtet werden



Effizienzsteigerungen können zu höheren Umweltbelastungen führen!

Gliederung

1. Wie kompliziert soll Ökobilanzierung sein ?
2. Methodische Grundidee
3. Exergieanalyse
4. ‚Thermoökologische‘ Analyse
5. Fazit

Exergieanalyse – Was ist Exergie?

- Exergie ist eine thermodynamische/ energetische Größe, die den Zustand eines Systems beschreibt. Einheit: J, W, ...
- Exergie ist der Anteil der Energie, der als Arbeit nutzbar ist
- Exergie spiegelt den Nutzen, den Wert, die Qualität der Energie wieder
- Energie kann nicht vernichtet oder zerstört werden → Energieerhaltung, 1. Hauptsatz der Thermodynamik
- Exergie kann vernichtet und zerstört werden → Exergievernichtung steht im Zusammenhang mit der Entropiezunahme, 2. Hauptsatz

Exergie ist eigentlich das, was man umgangssprachlich als Energie bezeichnet. Wenn von:

-Energieverbrauch, Energieverlust

-Energiesparen

die Rede ist, meint man eigentlich die Exergie!

Exergieanalyse – Vorgehensweise

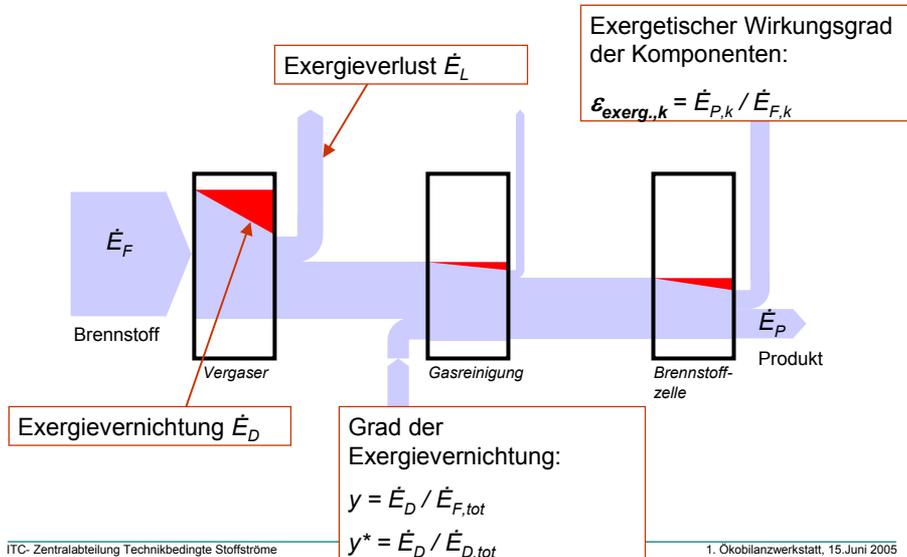
1. Bestimmung der Exergie aller Stoff- und Energieströme im Prozess
2. Bestimmung des Exergieverlusts und der Exergievernichtung des Prozesses und der einzelnen Komponenten
3. Berechnung der exergetischen Kennzahlen: Exergetischer Wirkungsgrad, Grad der Exergievernichtung (exergy destruction ratio)

Ergebnisse nutzbar für:



- Aufdecken der thermodynamisch relevanten Komponenten
- Thermodynamische Beurteilung der Komponenten
- Ableiten von Verbesserungsoptionen
- Bewertung Effizienz des Gesamtprozesses

Exergieanalyse – Exergetische Kennzahlen



Gliederung

1. Wie kompliziert soll Ökobilanzierung sein ?
2. Methodische Grundidee
3. Exergieanalyse
4. ‚Thermoökologische‘ Analyse
5. Fazit

‚Thermoökologische‘ Analyse – Vorgehensweise

1. Exergieanalyse
2. Ökologische Analyse → Ökobilanz
3. Belastung der Exergieströme mit Umweltbelastungen
4. Berechnung von ‚thermoökologischen‘ Kennzahlen
5. ‚Thermoökologische‘ Bewertung

Ergebnisse nutzbar für die Beantwortung der Fragen:

Wo entstehen Umweltbelastungen im Prozess?



Was sind die Gründe für ihre Entstehung?

Wo muss die Verbesserung ansetzen?

Welche Effizienzsteigerung lohnt sich ökologisch?



Ziel: Verminderung der gesamten Umweltauswirkungen des Prozesses

Erfassung der Umweltbelastungen

Anforderungen:

- möglichst weitgehende Erfassung und Bewertung möglicher Umweltauswirkungen
- methodischer Ansatz macht einen eindimensionalen Indikator für Umweltbelastungen notwendig

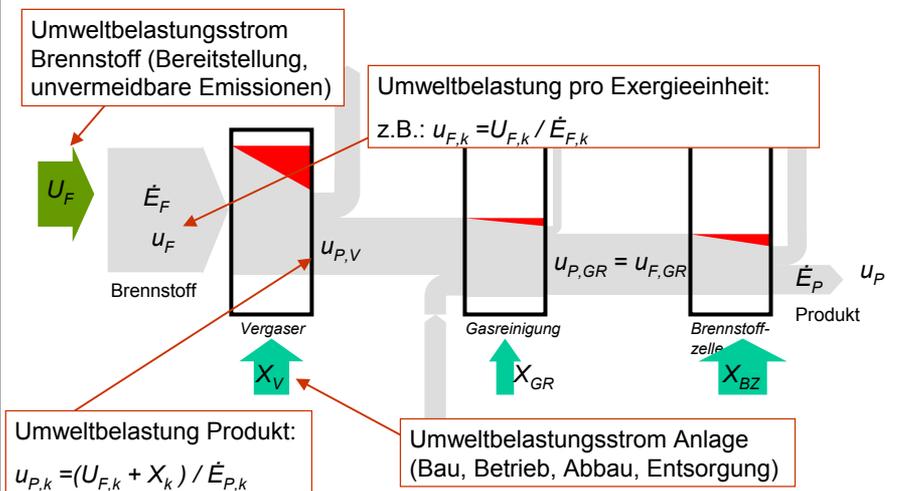


Ökobilanz und Eco Indicator 99

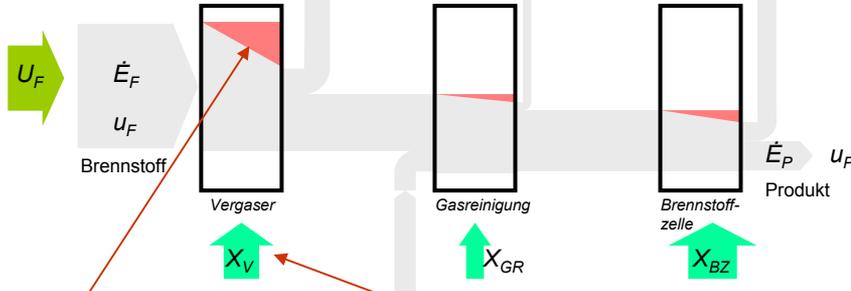
- Eindimensionalität
- für den Einsatz in der Verfahrensentwicklung konzipiert

Eco Indicator 99 – ein „unkompliziertes“ LCIA-Ergebnis, aber nicht unumstritten

Zuordnung Umweltbelastungsströme zu Exergieströmen



„Thermoökologische“ Kennzahlen – Summe der Umweltbelastung



Umweltbelastung Exergievernichtung:
 $U_{D,k} = u_{F,k} * \dot{E}_{D,k}$

Umweltbelastung Anlage

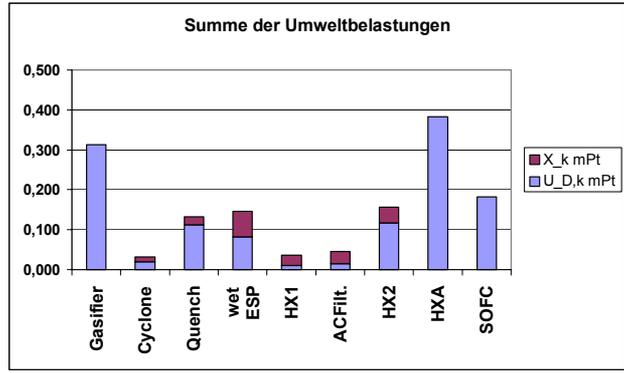
Summe der Umweltbelastung der Komponente:
 $U_{k,tot} = U_{D,k} + X_k$

„Thermoökologische“ Analyse – Relevanz der Komponenten

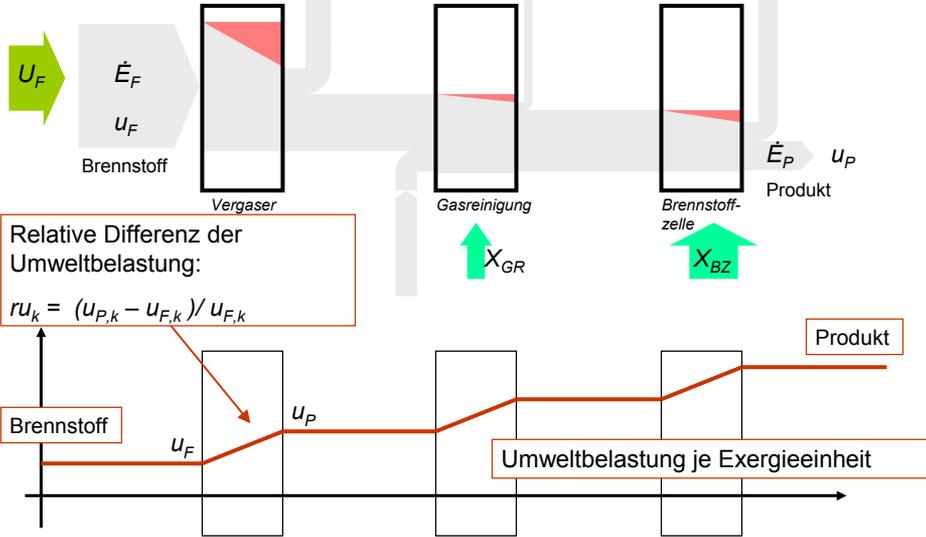
Vergleich der Summen der Umweltbelastung ermöglicht, die relevanten Komponenten zu identifizieren.

Betrachtung von zwei Quellen von Umweltbelastung:

- durch Exergievernichtung verursacht: $U_{D,k}$
- durch die Anlage (Herstellung, Bau, etc.) verursacht: X_k



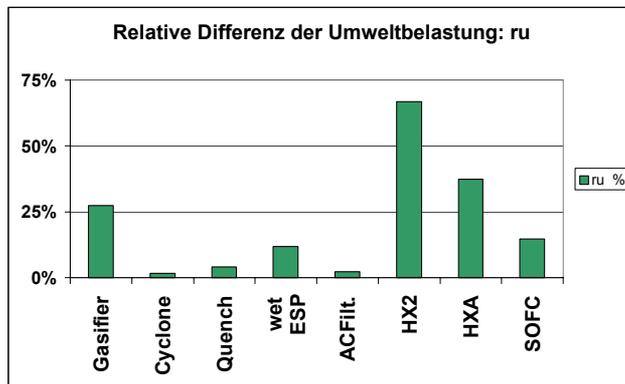
„Thermoökologische“ Kennzahlen – Relative Differenz: ru



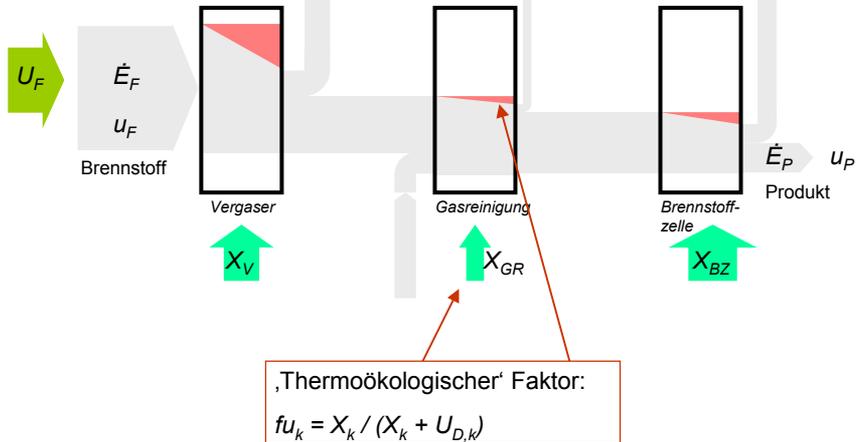
„Thermoökologische“ Analyse – Relative Differenz

Die relative Differenz der Umweltbelastung gibt Hinweise auf das Verbesserungspotential der Komponenten.

Der Anstieg der Umweltbelastung wird ins Verhältnis zur Umweltbelastung des Input-Stroms gesetzt.



„Thermoökologische“ Kennzahlen – „Thermoökologischer“ Faktor



„Thermoökologische“ Analyse – „Thermoökologischer“ Faktor fu

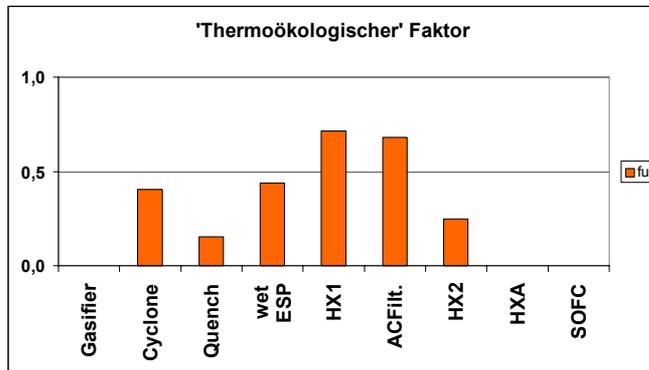
Der „Thermoökologische“ Faktor fu gibt an, wo bei der Verbesserung von Komponenten angesetzt werden sollte.

fu nahe 1:

Umweltbelastung kann anlagenseitig vermindert werden

fu nahe 0:

Umweltbelastung kann durch Steigerung der Effizienz verringert werden



„Thermoökologische“ Bewertung und Optimierung

Für die „thermoökologische“ Bewertung werden die „thermoökologischen“ Kennzahlen benutzt, sie dient als Grundlage für die Verbesserung.

1. **Summe der Umweltbelastung** durch Komponenten
→ Aufdecken/Auswahl der relevanten Komponenten
2. **Relative Differenz der Umweltbelastung**
→ Aufdecken der (relevanten) Komponenten mit dem größten Verbesserungspotential
3. **„Thermoökologischer“ Faktor**
→ Was sind die Gründe für die Umweltbelastung, wo muss eine Verbesserung ansetzen?
4. Umsetzung der Verbesserung bzw. „thermoökologische“ Analyse der Verbesserung
→ **Lohnt sich die Verbesserung ökologisch?**

Gliederung

1. Wie kompliziert soll Ökobilanzierung sein ?
2. Methodische Grundidee
3. Exergieanalyse
4. „Thermoökologische“ Analyse
5. **Fazit**

Fazit – Wie kompliziert soll Ökobilanz und LCIA sein?

- ein unkompliziertes Ergebnis der Wirkungsabschätzung ist für Verfahrensentwicklung wünschenswert
- größerer Nutzen, z.B. Einsatz in ‚thermoökologischer‘ Methode
- Nutzung, Einsatz und Interpretation durch fachfremde Personen möglich
- eine unkomplizierte Durchführung der Ökobilanz wäre auch wünschenswert, ist aber wahrscheinlich nicht möglich, da Erfassung Umweltauswirkungen kompliziert
- ein unkompliziertes LCIA-Ergebnis vertuscht, dass Umweltauswirkungen kompliziert sind



Möglichkeiten
eines einfachen
LCIA-
Ergebnisses:

Vielen Dank für
Ihre
Aufmerksamkeit

