

Anwendbarkeit des Kumulierten Energieaufwandes (KEA) als vereinfachten Umweltindikator

Wolfgang Walk

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

Tel.: 07247 82 8177

Email: wolfgang.walk@itc-zts.fzk.de

Der Kumulierte Energieaufwand (KEA) kann u.a. als vereinfachter Umweltindikator verstanden werden. Zur Etablierung dieser Größe haben zum einen die Standardisierung durch die VDI-Richtlinie 4600 beigetragen, zum anderen eine breite Datenbasis, beispielsweise durch die freie GEMIS-Datenbank. Die angenommene Aussagekraft des KEA beruht auf theoretischen Überlegungen. Von daher ist eine anwendungsbezogene Überprüfung von Interesse.

Eine übertragbare Aussage lässt sich nur aus einer Vielzahl von untersuchten Fällen ableiten. Zu diesem Zweck wurden mehr als 340 Module der Ökobilanz-Software Umberto 4.3 ausgewertet. Diese Module können Bausteine zur Erstellung einer Sachbilanz sein, sind selbst aber auch eigenständige Sachbilanzen verschiedenster Rohstoffe, Halb- und Endprodukte oder Dienstleistungen. Die KEA-Ergebnisse werden mit den Bewertungen eines weit verbreiteten single-score Ansatzes, dem Eco-Indicator 99 (EI99) verglichen. Zudem wird die CML-Methode herangezogen, um mögliche Zusammenhänge des KEAs mit einzelnen Wirkungskategorien aufzudecken.

Eine hohe Übereinstimmung der KEA-Ergebnisse mit den EI99-Resultaten in Bezug auf übereinstimmende Rangbildung ist feststellbar. Insofern kann der KEA i.A. als richtungssichere Wiedergabe allgemeiner Umweltrelevanz betrachtet werden. Bei näherer Betrachtung einzelner Wirkungskategorien zeigt sich, dass der KEA insbesondere Öko- und Humantoxizität sowohl beim EI99 als auch bei der CML-Methode schlecht abbildet. Das EI99-Gesamtergebnis wird jedoch von Wirkungskategorien bestimmt, die gute Korrelation zum KEA zeigen.

Zusammenfassend kann die Anwendung des KEA als vereinfachtes Bewertungssystem für den Vergleich von Verfahrenskombinationen bestätigt werden. Beschränkungen bestehen dahingehend, dass ähnliche Umweltstandards für den Vergleich vorausgesetzt werden. Kritisch sind Prozessen zu prüfen, wo außerordentliches Niveau an Toxizitäten und Ressourceneinsatz auftreten.



**Anwendbarkeit
des Kumulierten Energieaufwandes (KEA)
als vereinfachten Umweltindikator**

Wolfgang Walk



Übersicht

1. Der Kumulierte Energieaufwand KEA
2. Interpretationen
3. Vorgehensweise der Verifizierung
4. Ergebnisse
5. Schlussfolgerungen
6. Wie kompliziert soll Ökobilanzierung sein?



1 Der Kumulierte Energieaufwand (KEA)

Beschreibung

- kumuliert: Aufsummieren des Primärenergieeinsatzes (cradle-to-grave)
- Primärenergie: Energiegehalt der Rohstoffe in der Lagerstätte
Praktisch: Heizwerte, bei Wind- und Wasserkraft kinetische Energie und Lageenergie
- Rahmen: VDI-Richtlinie 4600

Vorteile

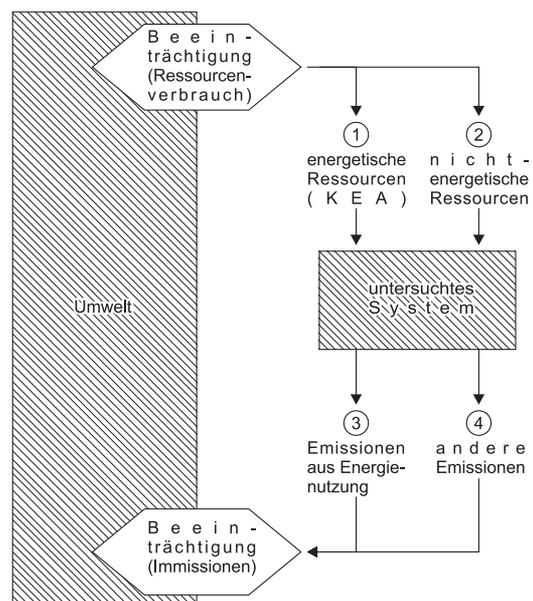
- unmittelbar aus Sachbilanz abgeleitet
- Input-Daten i.d.R. besser dokumentiert als Output-Daten
- single-score-indicator: klare Aussage



2 Interpretationen

2.1 KEA als Ressourcenindikator

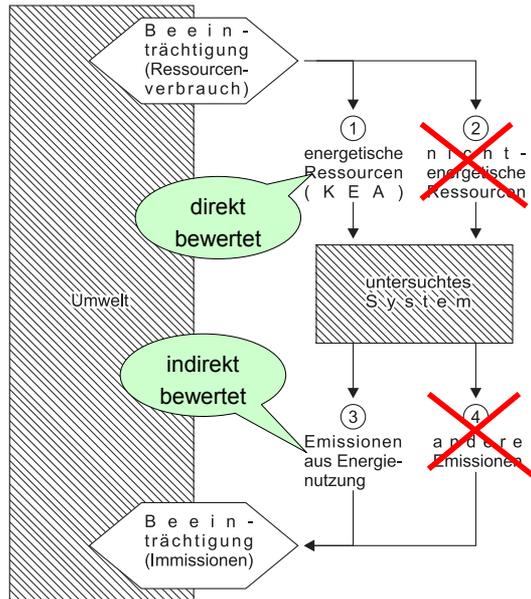
- KEA als Indikator für Nutzung energetischer Ressourcen
- nur ein Indikator (1) von vielen
- andere Umweltwirkungen (2) (3) (4) werden separat betrachtet
- Disaggregation: erneuerbare und nicht erneuerbare Energieträger
- Anwendung: KEA als Bestandteil der Umweltbelastungspunkte und der Ökoeffizienzmethode



2 Interpretationen

2.2 Deterministische Sichtweise

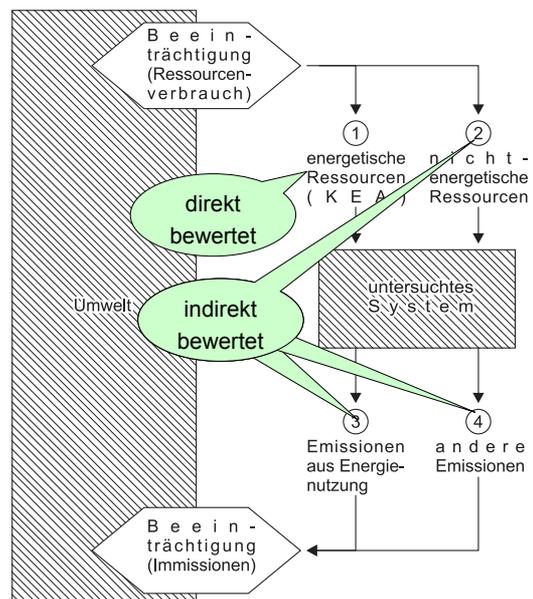
- KEA bildet direkt die Nutzung energetischer Ressourcen ab (1) zudem indirekt die damit verbundenen Emissionen (3)
- andere Umweltwirkungen werden vernachlässigt, da im Einzelfall nicht signifikant (2) (4)
- möglichst weitgehende Disaggregation
- Anwendung: Einzelstudie des Öko-Instituts Bewertung von Ein- und Mehrfamilienhäuser.



2 Interpretationen

2.3 KEA als Leitindikator

- KEA spiegelt Umweltwirkung allgemein wider
- keine explizite Wirkungs-Ursache-Beziehung
- Idee: Umweltwirkung aufgrund von physikalischen und chemischen Umsetzungen > Umsetzungen benötigen Energie.
- keine Disaggregation: single score indicator
- Anwendung: z.B. Verfahrensvergleiche der Abfallwirtschaft





3 Vorgehensweise der Verifizierung

3.1 Formulierung der Fragen

- A Hat der KEA eine umweltbezogene Aussagekraft?
> generelle Eignung des KEA als Umweltindikator
- B Welche Wirkungskategorien werden durch den KEA schlecht repräsentiert?
> Anwendungsbeschränkung des KEA für die Fälle, wo schlecht repräsentierte Wirkungskategorien bedeutend sind
- C Lassen sich Gruppen von Modulen identifizieren, die schlecht durch den KEA Repräsentiert werden?
> Anwendungsbeschränkung des KEA z.B. für bestimmte Industrie-sektoren



3 Vorgehensweise der Verifizierung

3.2 Vergleichsmaßstab und Datenbasis

- Datenbasis: 345 Module aus Umberto 4.3
als Ergebnisse von Ökobilanzen unterschiedlicher Prozessketten
- Referenz-Bewertungsverfahren:
 - Eco-Indicator 99 für Fragestellung A und C
 - CML-Methode für Fragestellung B



3 Vorgehensweise der Verifizierung

3.3 Spearman Korrelation

- Anspruch beim Vergleich von Prozessketten: gleiche Präferenz der Alternativen unabhängig vom Bewertungssystem
- diese Richtungssicherheit zeigt sich in übereinstimmender Rangordnung
- Spearman Rangkorrelation als Maß der Übereinstimmung zwischen (Fragestellung A)
- ... und als Maß der Übereinstimmung zwischen KEA und einzelnen Wirkungskategorie-Ergebnissen (Fragestellung B)

Spearman Rangkorrelation

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p}) \cdot (q_i - \bar{q})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (q_i - \bar{q})^2}}$$

- p_i Rang des i-ten Moduls gemäß erstem Bewertungssystem
 q_i Rang des i-ten Moduls gemäß zweitem Bewertungssystem



3 Vorgehensweise der Verifizierung

3.4 Paarvergleich und Sigifikanztest

Korrelationsfaktor als Kenngröße ist nicht auf einzelne Module anwendbar, darum anderes Vorgehen für Fragestellung C:

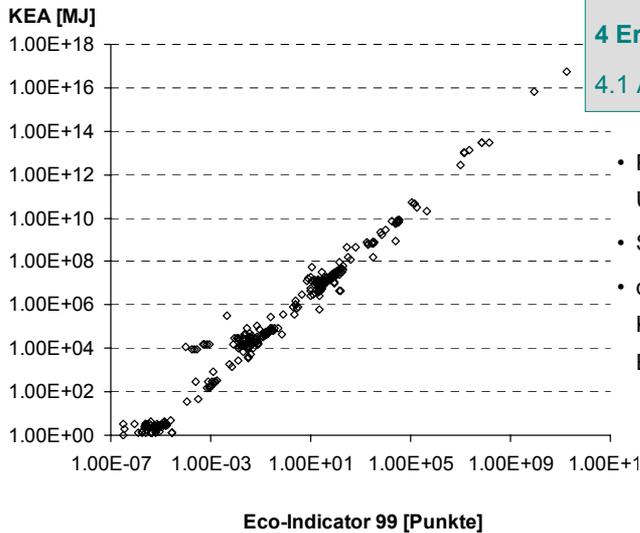
1. paarweiser Vergleich jedes Modul mit jedem
2. Bestimmung des Anteils gleichsinniger Bewertung durch den KEA und Eco-Indicator
3. Signifikanztests
 - χ^2 -Test (Besetzung von Werteklassen)
 - Kolmogorov-Smirnov-Test (Gestalt der Verteilung)

Untersuchte Gruppen:

- Industriesektoren (z.B. Düngemittelherstellung, Transport, ...)
- Stellung der Module in der Wertschöpfungskette (Rohstoffextraktion, verschiedene Zwischenprodukte bis zu Endprodukten)

zudem Einzelfallbetrachtung auffälliger Module





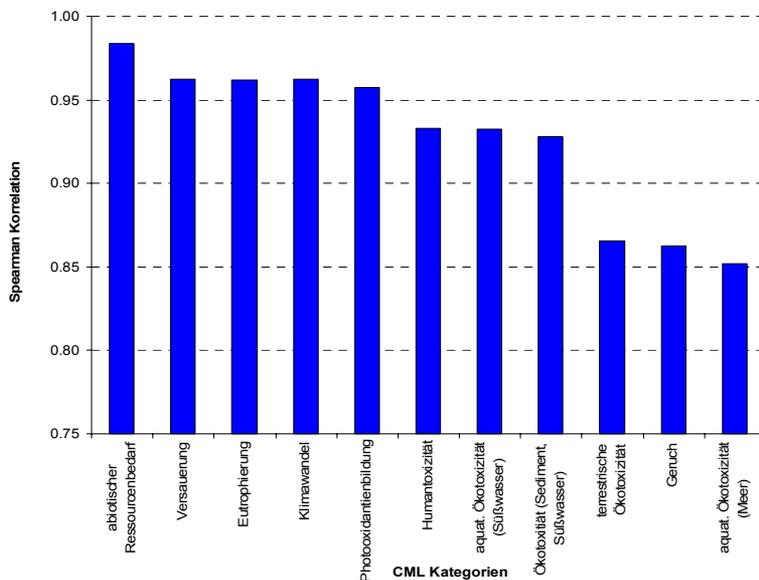
4 Ergebnisse

4.1 Allgemeine Aussagekraft des KEA

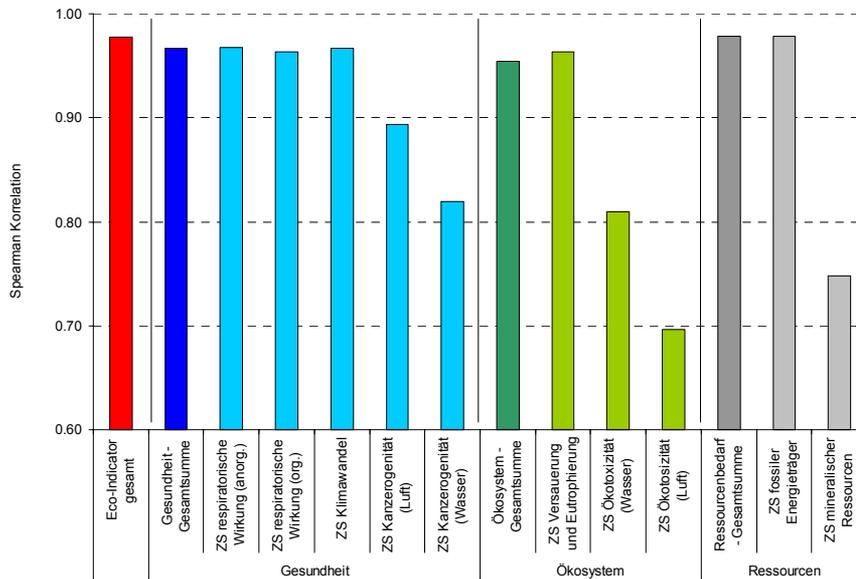
- Plot von 345 Modulen aus der Umberto-Datenbank
- Spearman Korrelation $>0,977$
- d.h. hohe Richtungssicherheit des KEA im Vergleich mit Eco-Indicator99 Ergebnissen



4.2 Ergebnisse: Korrelation CML-Kategorien



4.3 Ergebnisse: Korrelation nach Eco-Indicator Zwischensummen



15. Juni 2005

1. Ökobilanzwerkstatt des Netzwerkes Lebenszyklusdaten



Forschungszentrum Karlsruhe
in der Helmholtz-Gemeinschaft

4 Ergebnisse

4.4 Paarvergleich und Einzelfallbetrachtung

- Keine signifikante Bedeutung der Stellung in der Wertschöpfungskette
- „Naturmaterialien“ zeigen schlechte Korrelation, z.B. Bereitstellung von Holz und Baumwolle
- Einzelfallbetrachtung bestätigt bisherige Ergebnisse: Abweichter weisen wesentliche Flüsse besonderer Toxizität auf oder stammen aus der Gruppe der „Naturmaterialien“.

15. Juni 2005

1. Ökobilanzwerkstatt des Netzwerkes Lebenszyklusdaten





6 Interpretation

Für Verfahrensvergleiche ist der KEA i.d.R. als vereinfachter
Bewertungsindikator anwendbar

- sofern keine außergewöhnliche Toxizität auftritt
- nicht für Prozesse zur Bereitstellung von „Naturmaterialien“
- wenn technische Maßnahmen Umweltwirkung kompensieren
(in Europa i.d.R. wegen Umweltstandards gegeben)



7 Wie kompliziert soll Ökobilanzierung sein?

- Wie kompliziert soll Ökobilanzierung (Erstellung) sein?
> *So einfach wie möglich.*
- Wie kompliziert sollen Ökobilanzen (Ergebnisse und deren Darstellung) sein?
> *Detaillierungsgrad abhängig vom Zweck*
- Meine Dissertation:
 - Zweck: Verfahrensvergleich im Entsorgungsbereich als Entscheidungsunterstützung
 - Anspruch: Anordnung der Entsorgungsalternativen auf einer Skala (single score)
 - Notwendigkeit vereinfachter Ökobilanzierung durch Vielzahl von Prozessen und schlechter Datenlage
> darum KEA als eine mögliche Vereinfachung in diesem Fall interessant

