



Methodikfragen bei der Berechnung des Kumulierten Energieaufwands (KEA)

Arbeitspapier im Rahmen des UBA-F&E-Vorhabens Nr. 104 01 123:

**Erarbeitung von Basisdaten zum Energieaufwand und der Umweltbelastung
von energieintensiven Produkten und Dienstleistungen für Ökobilanzen und
Öko-Audits**

Uwe R. Fritsche/Wolfgang Jenseit/Christian Hochfeld

Öko-Institut (Institut für angewandte Ökologie e.V.)

Büro Darmstadt

Elisabethenstr. 55-57

D-64283 Darmstadt

Tel. 06151-8191-0

FAX 06151-8191-33

Geschäftsstelle Freiburg

Binzengrün 34 a

D-79114 Freiburg

Tel. 0761-45295-0

FAX 0761-475437

Büro Berlin

Novalisstr. 10

D-10115 Berlin

Tel. 030-280-486-80

FAX 030-280-486-88

Internet <http://www.oeko.de>

Darmstadt, Mai 1999

Inhaltsverzeichnis

Einführung	1
1 Aggregation zu „Gesamt“-KEA	2
Vorschlag: Generelle Disaggregation des KEA.....	3
2 Berechnung des KEA	5
Vorschlag: Klare Berechnungsvorschrift für den KEA.....	6
3 Abgrenzung des KEA gegenüber Stoffstrombilanzen	7
Vorschlag: Klare Abgrenzung KEA vs. Stoffstrom.....	7
4 Einbettung von KEA in Ökobilanzen nach ISO-Norm	8
Vorschlag: Klare Allokationsregeln für KEA.....	7
Referenzen	8
Anhang: Einfluß der KEA-Definitionen - Beispiel Holz	8

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Übersicht zu den Energieströmen in der Beispielrechnung.....	16
Tabelle 2 Ergebnisse der Szenarien für unterschiedliche KEA-Methodiken.....	16
Tabelle 3 Übersicht zu den KEA-Komponenten im Szenario VDI-netto.....	17

Abbildungsverzeichnis

Bild 1 Stoff- und Energieflüsse bei Holzprodukten.....	10
Bild 2 Stoff- und Energieflüsse bei Holzprodukten - VDI-klassisch.....	12
Bild 3 Stoff- und Energieflüsse von Holzprodukten - VDI-brutto.....	13
Bild 4 Stoff- und Energieflüsse von Holzprodukten - VDI-netto.....	14
Bild 5 Stoff- und Energieflüsse von Holzprodukten - VDI-neu (Summe).....	15
Bild 6 KEA-Ergebnisse nach den verschiedenen Bilanzierungsmethoden.....	17

Einführung

Der vorliegende Text faßt die Ergebnisse der Arbeiten zur methodischen Weiterentwicklung des **K**umulierten **E**nergie**a**ufwandes (**KEA**) im Rahmen des F&E-Vorhabens „*Erarbeitung von Basisdaten zum Energieaufwand und der Umweltbelastung von energieintensiven Produkten und Dienstleistungen für Ökobilanzen und Öko-Audits*“ des Umweltbundesamts zusammen.

Ziel dieses Papiers ist es, im Projekt entwickelte Vorschläge zur Modifikation der Methodik der VDI-Richtlinie 4600 zum KEA (VDI 1997) anhand von kurzen Einführungen und Begründungen vorzustellen.

Die Arbeiten greifen dabei die Vorbemerkung in der VDI-RL auf, nach der

„ [...] *nicht jedes Detail vorgeschrieben wird, so daß der methodischen Weiterentwicklung Möglichkeiten offengelassen werden*“. (zit. n. VDI 1997, S. 2)

Zuerst wird jeweils eine kurze Diskussion der wesentlichen Fragen gegeben und danach der Modifikationsvorschlag erläutert.

Im Anhang finden sich Beispielrechnungen, die anhand der Stoff- und Energieflüsse bei der Bereitstellung von Holzprodukten die vorgeschlagenen Methodikänderungen den Vorgaben der VDI-Richtlinie 4600 gegenüberstellen.

Die hier vorgestellten Modifizierungsvorschläge stellen eine klare und auf wenige Punkte konzentrierte Weiterentwicklung der VDI-RL 4600 dar, die im Zuge der Projektarbeiten auch mit interessierten Dritten (z.B. FfE, IFEU, RWTH, Uni Essen) diskutiert wurden.

Die in diesen Gesprächen gewonnenen Rückmeldungen wurden reflektiert, mit dem Auftraggeber diskutiert und in die vorliegende Formulierung der Vorschläge einbezogen.

Danksagung

Die Autoren danken den Projektkollegen T. Lützkendorf (BUW), H.-J. Ziesing (DIW), O. Eiermann (ifib), M. Patel (ISI) für Hinweise und Anregungen, die in dieses Papier eingingen.

Unser besonderer Dank gilt

W. Mauch, D. Köhler, C. Hutter, Forschungsstelle für Energiewirtschaft (FfE), München

H.-J. Wagner, Universität Essen - Institut für ökologisch verträgliche Energiewirtschaft

G. Reinhardt, Institut für Energie- und Umweltforschung (IFEU), Heidelberg

1 Aggregation zu „Gesamt“-KEA

Ein erstes grundlegendes Problem beim KEA ist die Addition der - wie auch immer - gefundenen Daten für verschiedene Primärenergien zu einem „Gesamt“-KEA. Zwar läßt die VDI-Richtlinie 4600 prinzipiell offen, ob nur ein „Gesamt“-KEA ausgewiesen wird oder eine Disaggregation erfolgt¹, jedoch wird *in der Praxis fast ausschließlich* der „Gesamt“-KEA verwendet.

Aus unserer Sicht ist dieses Vorgehen in mehrfacher Hinsicht problematisch:

- **Aussagekraft:** Durch die Addition der - je nach Anwendungsfall recht unterschiedlichen - Anteile verschiedener Primärenergiebedarfe wird die mögliche, aus diesem Indikator ableitbare Aussage zum Ressourcenaufwand *verwischt*.

Ziel des KEA aus Sicht des F&E-Vorhabens ist, einen möglichst einfach zu handhabenden „screening“-Indikator zu finden, der - soweit richtungssicher - eine grobe *Orientierung* zur insbesondere *ökologischen* Wirkung geben soll².

Da die jeweiligen Primärenergien aus Umweltsicht *grundverschiedene* Wirkungsaspekte aufweisen, geht durch die Addition wichtige *Trennschärfe* verloren („Verwischung“). Ein Anteil von z.B. Uran und Kohle zählt beim Gesamt-KEA gleich viel wie z.B. der Anteil Solarenergie, obwohl die jeweiligen Umweltwirkungen sehr unterschiedlich sind. Allein durch die Addition der Primärenergieanteile wird die Richtungssicherheit und damit die Aussagekraft des Indikators *grundsätzlich* in Frage gestellt.

Aus Sicht der Ressourcen spiegelt der Gesamt-KEA zudem *keine* Knappheiten wider, da in ihm kein verwertbarer *Ortsbezug* enthalten ist und auch erhebliche (und in Zukunft steigende) Anteile regenerativer und „rezyklierter“ Energie enthalten sein können, deren Knappheit einen grundlegend anderen Charakter hat.

Der fehlende Ortsbezug ist tendenziell bei geöffneten Märkten von nachrangiger Bedeutung, da zumindest mittelfristig die *eigentlichen* Knappheiten nicht in der Verfügbarkeit von Energieträgern (d.h. ihrer Menge) liegen, sondern ökonomischen Grenzen (d.h. ihren Kosten) und Grenzen bei den mit der Nutzung einhergehenden ökologischen Belastungen.

- **Transparenz:** Durch eine Aggregation aller Primärenergien wird die für eine Bewertungskategorie wichtige *Durchsichtigkeit* des Ergebnisses für die adressierten Entscheider verringert und ein Plausibilitäts-Check erschwert.

Aus dem KEA idealiter ableitbare Aussagen z.B. zur *Optimierung* werden durch die fehlende Trennschärfe (s.o.) erschwert, weil z.B. die verstärkte Nutzung regenerativer Energien und Rohstoffe erwünscht ist, aber durch ihren nach VDI-RL 4600 „hohen“ KEA wenig attraktiv erscheint.

¹ In der VDI-RL 4600 (VDI 1997) steht unter „Vorbemerkung“ (S.2 sowie auf S.11): „Der Kumulierte Energieaufwand kann jedoch je nach Aufgabenstellung entweder aggregiert oder disaggregiert nach Primärenergieträgern ausgewiesen werden“

² Der Begriff „screening LCA“ wird im KEA-Arbeitspapier zu Allokationsfragen (Hochfeld/Jenseit 1998) erläutert.

Vorschlag: Generelle Disaggregation des KEA

Aus der oben dargestellten Kritik ergibt sich unmittelbar der erste methodische Vorschlag zur Modifizierung des KEA:

Anstelle des *alleinigen* Gesamtwertes sollten *stets zusätzlich* zum Gesamt-KEA auch einzelne Teilmengen bestimmt werden, die jeweils *getrennt auszuweisen* sind.

Als Teilmengen (KEA-Komponenten) werden aufgrund der ökologischen Wirkungen vorgeschlagen:

- **KEA_{nichtererneuerbar}** = Summe der fossilen und nuklearen Primärenergien
- **KEA_{erneuerbar}** = Summe der regenerativen Energien
- **KEA_{andere}** = Summe energetisch genutzter Reststoffe
- **KEA_{Summe}** = Summe aller Komponenten.

Die Komponente KEA_{andere} ist aus der traditionellen Sicht des KEA als Ressourcenindikator nicht erforderlich, da Reststoffe keine primären Ressourcen darstellen. Die Komponente dient jedoch zur Erfassung energetisch relevanter Umwelteffekte (z.B. NO_x-Emissionen) und macht KEA_{Summe} damit richtungssicherer (vgl. Arbeitspapier mit Beispielrechnungen). Weiterhin dient KEA_{andere} auch als Kontrolle zum Vergleich mit Rechnungen, die andere Systemgrenzen und KEA-Definitionen verwenden (siehe z.B. den Anhang).

Zur Begründung

Eine generelle „Inflation“ des KEA bis hin zu den jeweiligen Einzelprimärenergien erscheint angesichts der Zielsetzung, einen möglichst einfachen Indikator zu erhalten, nicht sinnvoll.

Als unmittelbar einsichtig kann die Aggregation aller *Regenerativen* gelten, da ihnen *per Definition* die Erneuerbarkeit gemein ist und sie auch in Umwelthinsicht vergleichsweise wenig direkte Belastungen an Luftschadstoffen und Treibhausgasen aufweisen³.

Bei den *fossilen und nuklearen* Primärenergien ist dagegen ein Zusammenzählen auf den ersten Blick wenig hilfreich, da hier sowohl innerhalb der Fossilen große Unterschiede bei der Umweltwirkung bestehen, aber auch die nuklearen Umweltwirkungen sich grundlegend von denen der anderen Energien unterscheiden.

Dennoch wird vorgeschlagen, *beide Primärenergien zu addieren*:

Für die Bundesrepublik ist die Zukunft der Atomenergie - zumindest politisch - weitgehend entschieden, hier ist ein KEA somit kein wichtiger Indikator mehr⁴.

³ Dennoch bestehen z.T. beträchtliche Umweltrisiken z.B. bei größeren Wasserkraftwerken sowie der Biomasse und der Geothermie. Bei Windenergie und Wasserkraft sind die Umweltwirkungen stark vom Standort abhängig.

⁴ Selbst wenn dies nicht so wäre oder sich die politische Mehrheitsmeinung wieder ändert, ist der KEA als solcher aus Sicht des Verfassers kein sinnvoller Indikator zur Bewertung nuklearer Optionen. Diese Auffassung wird von einem der befragten KEA-Experten nicht geteilt, alle anderen stimmten dem Vorschlag zu.

Uran wird, soweit absehbar, über Leichtwasser-Reaktorlinien ohne Wiederaufarbeitung genutzt werden, womit sich die Ressourcenfrage auch ohne Berücksichtigung der Klima- oder Risiko-probleme stellt. Die Nichterneuerbarkeit ist damit aus KEA-Sicht das wesentliche Attribut nuklearer Energie.

Erdöl und Erdgas sowie Stein- und Braunkohle sind wiederum untereinander sehr verschieden, und auch ihre Reichweiten sind - nach heutigem Wissen - um mehr als eine Größenordnung unterschiedlich. Unter Umweltgesichtspunkten jedoch ist *diese* Knappheit jedoch irrelevant, da die CO₂-Problematik *wesentlich früher* eine Reduktion der fossilen Energieeinsätze erfordert. Bei Zeithorizonten für - aus Klimasicht - signifikante Reduktionen des fossilen Energieeinsatzes von 2010-2030 in Industriestaaten können die fossilen Energien in einer ähnlichen Zeitperspektive als „knapp“ angesehen werden wie nukleare.

Die Addition der fossilen Energien mit einer „nuklearen Restgröße“ erscheint daher als vertretbarer, pragmatischer Kompromiß⁵.

Die „anderen“ KEA-Anteile - insbesondere Abwärme - sollten als eigene Komponente herausgestellt werden, um Doppelzählungen zu vermeiden bzw. Auslassungen zu verhindern. Dies ist insbesondere wichtig, wenn - wie unter 2. vorgeschlagen - bei energetisch genutzten *Reststoffen* aus stofflich genutzten Ressourcen (energetisches Recycling) keine Verbuchung unter Primärenergien erfolgt, sondern sie in der KEA-Komponente „andere“ geführt werden⁶.

KEA-Anwender können bei dieser methodischen Vorgabe stets *selbst* entscheiden, ob und inwieweit sie am „Gesamt“-KEA interessiert sind oder nur auf einzelne der vorgeschlagenen KEA-Komponenten abstellen wollen.

Auch die *weitere Disaggregation*, z.B. in die einzelnen fossilen Energien getrennt von Uran, oder bei der Komponente KEA_{erneuerbar}, hinsichtlich Biomasse oder Wasserkraft, sollte aufgrund der Datentransparenz stets für Anwender möglich sein (bei Verwendung von EDV-Werkzeugen ist der Aufwand hierfür gering)⁷.

Damit wird auch die Berechnung der „Grauen Energie“ aus KEA möglich⁸.

⁵ Bei den meisten KEA-Anwendungen werden die nuklearen Anteile nur im Bereich einiger Prozentpunkte liegen und nicht „trennscharf“ sein, da es i.d.R. nicht um die Frage geht, ob nukleare Energie eingesetzt wird oder nicht. Die Addition dieses nuklearen Restglieds zum Anteil fossiler Energien ändert somit wenig an der Aussagekraft von KEA-orientierten Vergleichen.

⁶ Ein Rechenbeispiel hierzu - dargestellt am Stoff- und Energiefluß von Holz - gibt der Anhang zu diesem Papier.

⁷ Dies entspricht der in der KEA-RL 4600 angebotenen Option, die Primärenergien disaggregiert auszuweisen (vgl. VDI 1997, S. 11). Auch die befragten Experten halten es in Übereinstimmung mit den Autoren für wichtig, neben den genannten Aggregationen stets auch die einzelnen Primärenergieträger disaggregiert anzugeben. Die im KEA-Projekt entwickelte Datenbank unter GEMIS gibt sowohl die KEA-Teilsummen wie auch die disaggregierten Ressourcen (Primärenergien) als Ergebnis von Bilanzierungen aus.

⁸ Das in der Schweiz entwickelte Konzept der „Grauen Energie“ umfaßt die Summe von fossilen und nuklearen Energieträgern sowie Wasserkraft. Andere Regenerative (Biomasse, Erdwärme, Solarenergie, Wind) sowie Abfälle bleiben dabei unberücksichtigt.

2 Berechnung des KEA

Der KEA berechnet sich aus der Summe der bei allen beteiligten Aktivitäten (Prozessen) erfolgenden Energieumsätze, wobei direkte und indirekte⁹ Energienachfragen gleichwertig berücksichtigt werden. Die Energieumsätze können durch Kennzahlen (Nutzungsgrade, Hilfsenergie- und Materialbedarfe) beschrieben werden oder lassen sich aus direkten Messungen ermitteln.

Bei der Bestimmung des **Primärenergieaufwands** (als Maß für die Ressourcenbeanspruchung) aus den gesamten nachgefragten Energiemengen sollte nach Möglichkeit eine einheitliche Systemgrenze gewählt werden. Die Vorschriften zur Berechnung des KEA nach VDI-RL 4600 geben für diese sehr wichtige Stufe jedoch *kein einheitliches* Konzept vor, sondern bieten *verschiedene* Definitionen von Nutzungsgraden für Ressourcen an, die je nach Anwendung unterschiedlich ausgefüllt werden können.

Dies gilt insbesondere für die Bestimmung des Primärenergiebedarfs bei **Regenerativen** sowie bei nuklearen Energieträgern; bei Abwärme ist dagegen keine klare Formulierung enthalten.

Aus Sicht der Verfasser führt dies zu folgenden Kritikpunkten:

- **Vergleichbarkeit:** Je nach gewählter Definition der Ressourcen-Nutzungsgrade (für Primärenergien bzw. Rohstoffe) können *Unterschiede bis zu einer Größenordnung* entstehen, die eine Vergleichbarkeit von KEA-Ergebnissen praktisch unmöglich machen. Im Einzelfall mag es - mit einigem Aufwand und dann auch nur rechnergestützt - möglich sein, verschiedene Definitionen dieser Nutzungsgrade nachzuvollziehen und in einander umzurechnen. Spätestens bei Daten aus dem internationalen Raum zu Energie-Vorketten, die im Zuge der Öffnung der Märkte immer wichtiger werden, ist jedoch eine weitgehend „beliebige“ Definition dieser Nutzungsgrade extrem anwenderfeindlich.
- **Kompatibilität:** Bei der wichtiger werdenden *Datenfortschreibung* muß sich die KEA-Methodik an Formate und Definitionen halten, die im nationalen und internationalen Kontext der Energiestatistik vorliegen. Durch bestehende Regelungen der VDI-RL 4600 ist eine direkte Kompatibilität zur deutschen Energiebilanz (AGEB) und der IEA/OECD- sowie EU-Statistik *nicht* gegeben (vgl. DIW 1999).
- **Methodenfreiheit:** Die KEA-RL erlaubt richtigerweise, die Berechnung auf Basis von Prozeßketten oder Input-Output-Rechnungen (I/O-Tabellen) durchzuführen. Da letztere sich aus statistischen Daten ableiten, gilt die oben unter „Kompatibilität“ dargestellte Problematik als fundamentale Einschränkung: Wer I/O-Tabellen benutzt, legt sich damit *implizit* auf die dort verwendeten Definitionen für die Umrechnungsfaktoren fest und hat somit *keine Wahlfreiheit* mehr - es *muß* die „100 %“-Regel für die Primärenergieumrechnung gelten, weil dies bei der Erstellung der Statistiken so angenommen wurde (vgl. DIW 1999).

⁹ z.B. aus der Herstellung einer Anlage

Vorschlag: Klare Berechnungsvorschrift für KEA

Als zweiter Vorschlag zur KEA-Methodik ergibt sich damit, im Unterschied zu den „offenen“ Vorschriften zur Berechnung des KEA nach VDI-RL 4600 Zukunft mit einem *festen definitiven* „Nutzungsgrad“ für Ressourcen (Primärenergien bzw. Rohstoffe) *von 100%* zu rechnen. Für Importstrom wird entweder der KEA des entsprechenden Exportlandes verwendet oder, wenn nicht bekannt, der Strommix der nächsthöheren Lieferregion.

Zur Begründung

Die heutigen Vorgaben der VDI-RL 4600 stellen eine einseitige Diskriminierung der Regenerativen dar, die sich insbesondere unter der Perspektive eines erwünschten künftig signifikant wachsenden Anteils dieser Energien nicht aufrechterhalten läßt. Auch bei der Uranförderung sowie der Extraktion fossiler Energien gibt es mehr oder weniger große „Lagerverluste“ (ungenutzte Ressourcen), die in der jetzigen KEA-Methodik **zu recht nicht** erfaßt werden.

Die technisch aus Sicht einzelner Prozesse begründeten Nutzungsgrade (z.B. verschiedene für Wasserkraft: Fallhöhe) stellen keine sinnvolle Information für die KEA-Anwender (Entscheider) dar, sondern irritieren eher - ebenso bei Wind- und Solarenergie.

Mit der vorgeschlagenen definitiven Festlegung wird die Datenkompatibilität zu Energiestatistiken in Deutschland (AGEB) sowie international (IEA/OECD, UN) hergestellt und so auch die Wahlfreiheit zwischen Prozeßkette und I/O-Tabellen wieder ermöglicht.

Die vorgeschlagene „100%“-Regel **betrifft ausschließlich** die Prozeßstufe der Energiegewinnung, also die Umwandlung von Ressourcen in nutzbare Energieträger, d.h.:

- Anbau bzw. Verwertung von Biomasse,
- Förderung von Erdgas, Kohle, Öl und Uran sowie
- Erstnutzung von Erdwärme, Sonnenenergie, Wind- und Wasserkraft.

Auch bei der vorgeschlagenen „100%“-Regelung für die Primärenergiegewinnung werden die Materialvorleistungen zur Anlagenherstellung (z.B. Beton, Stahl) sowie Aufwendungen von Stoffen und Energie für den Anlagenbetrieb (z.B. Schmiermittel, Hilfsstrom) explizit berücksichtigt, müssen also **zusätzlich** in die KEA-Berechnung eingehen.

Bei allen anderen Prozeßstufen werden weiterhin die realen Nutzungsgrade berücksichtigt.

In der im Projekt erstellten KEA-Funktionalität für die GEMIS 4.0 (Demo-Version) läßt sich die „100%“-Berechnungsvorschrift für Primärenergien abschalten, also mit spezifischen Ressourcennutzungsgraden rechnen. Damit kann im GEMIS-Programm die Sensitivität der Ergebnisse einer KEA-Bilanz in bezug auf die hier vorgeschlagene neue Regel ermittelt werden (siehe dazu die Beispielrechnungen im Anhang dieses Arbeitspapiers).

3 Abgrenzung des KEA gegenüber Stoffstrombilanzen

Der dritte Fragenkomplex zu den methodischen Vorgaben der heutigen VDI-RL 4600 ist die fehlende klare Abgrenzung zwischen Energie - und Stoffbilanzen. Die KEA-RL sieht hier vor, *alle* energetisch relevanten Prozeßschritte mit zu bilanzieren, ungeachtet ihrer Bedeutung. So muß nach der VDI-RL etwa der „Energieinhalt“ von Aluminium, Chlor und Schwefel formal mitbilanziert werden, da diese Stoffe bei ihrer chemischen Umsetzung entsprechende Reaktionsenthalpien aufweisen. Damit werden diese Stoffe implizit als „Brennstoffe“ definiert und finden entsprechend Eingang in den Gesamt-KEA.

Weiterhin werden bei Energieträgern, die *nicht* energetisch genutzt werden, nach der VDI-RL ebenfalls Energieinhalte über Heizwerte berücksichtigt, und zwar auch dann, wenn die Stoffe **nicht** als Brennstoffe eingesetzt werden (z.B. Erdgas für Dünger, Erdöl für Kunststoffe, Holz für Möbel).

Dies ist formal *dann* richtig, *wenn* - wie in der VDI-RL vorgesehen - auch eine entsprechende (und transparente) *Gutschrift* bei der energetischen Nutzung von Abfällen berücksichtigt wird, also am Ende des Lebenszyklusses von Produkten, die aus „Brennstoffen“ hergestellt wurden, deren Heizwerte wieder dem System zur Verfügung gestellt werden.

In der Praxis ist es jedoch *wenig aussichtsreich*, für die sehr unterschiedlichen Produktgruppen jeweils komplette Lebenszyklen mit differenzierten Daten zur Entsorgung und den dann anzurechnenden Gutschriften anzunehmen.

Grund hierfür ist das prinzipiell offene System der Entsorgung, bei dem eine Vielzahl von Produkten stark gemischt und aus *verschiedenen Zeithorizonten* in sehr *verschiedene Entsorgungspfade* übergeben werden - und sich diese über die Zeit ändern (z.B. Deponie, thermische Behandlung, stoffliches Recycling). Die **tatsächliche Entkopplung** der Nutzungs- und Entsorgungsphase von Produkten spricht daher gegen eine „starre“ Festlegung zur Berücksichtigung der Entsorgung, wie sie die VDI-RL über die Heizwert-Gutschrift vorsieht.

Vorschlag: Klare Abgrenzung KEA vs. Stoffstrom

Um den KEA als einfachen und transparenten Indikator mit klarem Energiebezug aufzuwerten, wird daher als dritte Änderung vorgeschlagen, **ausschließlich die Energieanteile** mitzubilanzieren, die sich direkt aus dem **energetisch genutzten** Energieinhalt von Brennstoffen bzw. Primärenergien ergeben. Damit werden alle Bezüge zum Heizwert von stofflich genutzten potentiellen Energieträgern sowie die Reaktionsenthalpien von Stoffen aus dem KEA **eindeutig ausgeklammert**.

Wichtig ist, daß damit nicht etwa Hilfsenergien, Transportaufwendungen oder der Energieaufwand bei den Materialvorleistungen zum Bau und Betrieb betroffen sind, sondern nur vergleichsweise schwer zu handhabende indirekte Beiträge aus der „stofflichen“ Nutzung von Energieträgern bzw. energetische Aspekte von Stoffen abgeschnitten werden.

Dies trägt zur Klarheit und „Trennschärfe“ des Indikators bei und erleichtert zudem die methodisch „saubere“ Entkopplung der Entsorgungsfrage vom KEA.

Die Bedeutung dieses Vorschlags wird im Anhang für den KEA am Beispiel des Holzes erläutert.

4 Einbettung von KEA in Ökobilanzen nach ISO-Norm

Die mögliche Einbettung des KEA als Indikator in Ökobilanzen wurde schon in einem eigenen Arbeitspapier (Hochfeld/Jenseit 1998) angesprochen, wobei insbesondere die Allokationsfragen problematisch sind. Die bisherigen Vorgaben der VDI-RL 4600 sind nicht ausreichend, um der neuen ISO-Norm für Ökobilanzen (EN ISO 14041) zu entsprechen.

Vorschlag: Klare Allokationsregeln für KEA

Entsprechend dem vorgelegten Arbeitspapier (Hochfeld/Jenseit 1998) soll die KEA-Methodik insoweit modifiziert werden, daß

- eine Allokation nach Möglichkeit durch *geeignete Systemgrenzen vermieden* wird, und
- soweit dies nicht gelingt, entweder die Allokation nach der *Substitutionsmethode* transparent dargestellt oder
- die Allokation per physikalisch/chemischer oder ökonomischer Parameter erfolgt.

Soweit sich die Allokation nicht vermeiden läßt, gibt ISO vor, die Ergebnisrelevanz anhand verschiedener Allokationsmethoden aufzuzeigen. Dies kann - bei entsprechender Disaggregation der KEA-Berechnungsgrundlagen - generell erfolgen, ohne das hierzu methodische Neuerungen erforderlich sind.

Soweit KEA im Zuge von simplified LCA (siehe Hochfeld/Jenseit 1998) als Indikator verwendet wird, erscheint dieser Schritt aus heutiger Sicht nicht in jedem Fall erforderlich.

In einer künftigen Fassung der KEA-RL sollte daher die formale Kompatibilität mit der ISO 14041 hergestellt werden. Bis dahin ist es erforderlich, die o.g. Allokationsregeln in der Praxis einzuhalten, um eine Anwendung des KEA im Rahmen von Ökobilanzen sicherzustellen.

Referenzen

- DIW (Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung) 1999: Hinweise zu den energiebilanzbezogenen Fragen im Rahmen des KEA-Projekts für das Umweltbundesamt, H.-J. Ziesing, Arbeitspapier für das Öko-Institut, Berlin
- EN ISO 14041: Umweltmanagement Ökobilanz - Festlegung des Ziels und des Untersuchungsrahmens sowie Sachbilanz, Deutsche Fassung prEN ISO 14041
- Hochfeld/Jenseit 1998: Allokation in Ökobilanzen und bei der Berechnung des Kumulierten Energieaufwandes (KEA), Arbeitspapier des Öko-Instituts, Darmstadt
- VDI 1997: Kumulierter Energieaufwand - Begriffe, Definitionen, Berechnungsmethoden, Düsseldorf

Anhang: Einfluß der KEA-Definitionen - Beispiel Holz

Holzprodukte haben für den Bausektor eine hohe Relevanz. Sie werden traditionell für den Dachstuhl, für den Innenausbau (Spanplatte) und zunehmend wieder für die Grundkonstruktion (Rahmenbauweise) verwendet. In diesem Anhang soll die Anwendung der unterschiedlichen KEA-Systematiken (*Szenarien*) für das Produkt Holz in verschiedenen Verarbeitungstiefen untersucht werden. Als Holzprodukte werden betrachtet:

- Fichtenstamm ab Wald: der geschlagene Fichtenstamm, bereit zum Abtransport aus dem Wald ohne weitere Bearbeitung.
- Fichtenstamm frei Sägewerk: Fichtenstamm ab Wald inclusive Transport
- Schnittholz - feucht: Schnittholz aus Fichtenstämmen mit einer Feuchte von $u=40\%$.
- Schnittholz-getrocknet: Schnittholz-feucht technisch getrocknet auf eine Feuchte $u=15\%$.
- BSH: Brettschichtholz aus Fichte mit einer Feuchte von 15%.
- Sperrholz: aus Fichte hergestelltes Sperrholz (verleimte Schäl furniere).
- Spanplatte: aus Resthölzern und Industrieholz hergestellte Spanplatte

Die Daten sind im Gemis-Datensatz „KEA“ aufgeführt.

Anwendung der KEA-Systematik auf Holz

Holz wird sowohl als klassischer Brennstoff (*Energieträger*) als auch als *Baustoff* genutzt. Holz kann daher sowohl stofflich als auch energetisch aufgeführt werden. In der Energiestatistik wird Holz nur aufgeführt, wenn er als Energieträger eingesetzt wird.

Eine Bilanzierung wie beim Kunststoff, dessen Herstellung aus Erdölprodukten unter den NEV¹⁰ fällt, wird für Holz nicht durchgeführt.

Parallel dazu wird auch Holz in KEA-Bilanzierungen derzeit anders dargestellt als Kunststoff. Während der KEA von Kunststoffen traditionell den Heizwert von Kunststoffen¹¹ enthält, wird bei Holz zwischen dem KEA^{12,13} der eingesetzten Energieträger und dem potentiellen Energiegehalt der Holzprodukte unterschieden.

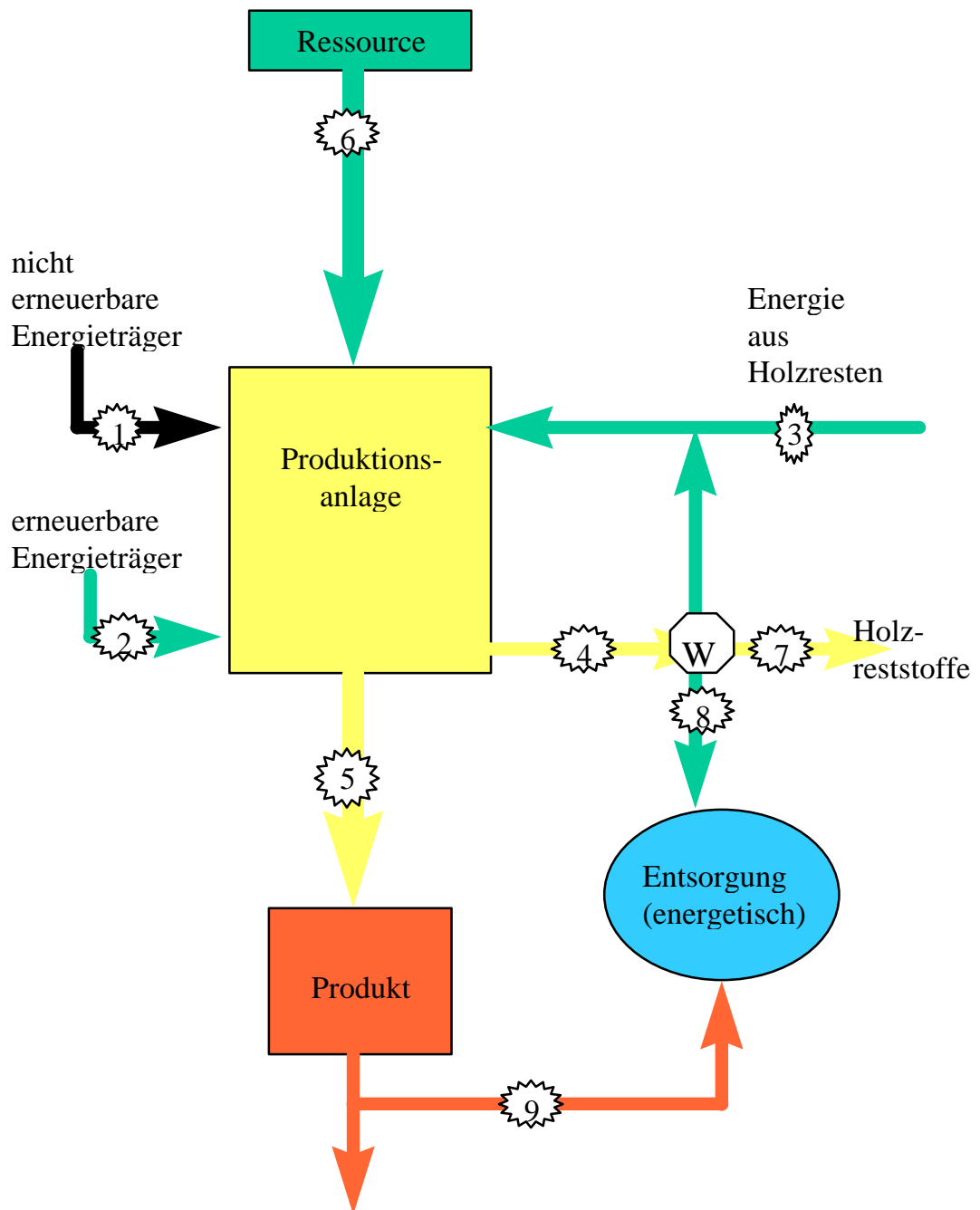
¹⁰ NEV = Nichtenergetischer Verbrauch


¹¹ vgl. Nicklers/Kindler 1979

¹² vgl Hasch 1998: Deutsche Gesellschaft für Holzforschung, Hamburg

¹³ vgl. Öko-Inventare - ETH Zürich 1996; stoffliche Bilanzierung „Holz im Wald“.

Bild 1 Stoff- und Energieflüsse bei Holzprodukten



 Stoffstromweiche:
alternative Stoff-
bilanzierung möglich

An dieser Stelle soll nur die Anwendung von Holz als langlebiges Bauprodukt diskutiert werden. Die allgemeine Prozeßkette für Holzprodukte ist in der obigen Graphik zu sehen:

In der Graphik ist die Produktion von Holzprodukten mit den wichtigsten Stoff- und Energieströmen aufgeführt. Als „Produktionsanlage“ soll hier die Summe aller Prozessschritte gelten, die zur Herstellung der Produkte notwendig sind. Im allgemeinen umfassen die Herstellungsschritte die Aufforstung und Pflege des Holzbestandes, die Ernte, Transport und Verarbeitung.

Es werden folgende Ströme betrachtet:

1: nichterneuerbare Energieträger: Hierunter werden alle nichterneuerbaren Energieträger (fossil, nuklear) gefaßt, die während der Herstellungsschritte aufgewendet werden müssen (Diesel in Forstmaschinen + Transport, Wärme- und Stromerzeugung inkl. Vorketten)

2: erneuerbare Energieträger: Dieser Energiestrom umfaßt Energieträger wie Wasserkraft, Biomasse (primär) und andere, die zur Strom- und Wärmeerzeugung dienen.

3: Energie aus Holzresten: Typisch für die Holzindustrie ist der Anfall großer Mengen an Holzresten, die zur Wärmeerzeugung eingesetzt werden. Dieser existierende Energiestrom wird vom primären Biomasseinsatz unterschieden und als „KEA-andere“ im Szenario KEA-neu bilanziert (siehe unten).

4: Holzreste: Bei der Fabrikation fallen Holzreste an, die unterschiedlich in die Bilanz eingestellt werden können. Sie können als Abfall-Stoffstrom 7 nichtenergetisch oder über die Energieflüsse 3 und 8 energetisch bilanziert werden.

5: Stoffstrom des Produktes: Das Gewicht des Produktes wird angegeben als sein Holzinhalt in Holz, atro¹⁴.

6: Stoffstrom Ressource Holz: Je nach Bilanzierung wird die Entnahme der Ressource Holz als „Holzentnahme aus dem Wald“ bilanziert, d.h. Bestandteile des Stoffstromes, die im Wald verbleiben (Rinde, Schwachholz), werden nicht in die Bilanz eingestellt.

7: Holzreststoffe: Holzreststoffe fallen bei allen zerspanenden Produktionsmethoden an und betragen ca. 40-70% des Inputs. Da Holzreststoffe sowohl energetisch als auch stofflich (Rindenmulch, Bodenverbesserer, etc.) genutzt werden können, wird dieser Abfallstrom als Stoffstrom verbucht.

8: Entsorgung Holzreststoffe: Sollen Holzreststoffe nicht nur als Abfälle verbucht, sondern mit ihrem Energiegehalt bilanziert werden, kann alternativ zum Stofffluß 7 dieser Energiestrom eingesetzt werden.

9: Entsorgung Produkt: Nach der Gebrauchsphase wird das Produkt entsorgt. Hier wird eine energetische Nutzung unterstellt.

Zur Modellierung der Stoffströme werden folgende Vereinfachungen angewendet:

- **Umrechnung Stofffluß - Energiefluß (Ströme 6,8,9):** Die Umrechnung der Stoffflüsse Holz auf Energieflüsse erfolgt mit einem Umrechnungsfaktor von 19,6MJ/kg-atro. Die Holzfeuchte wird vernachlässigt (Fehler je nach Feuchte ca. 20%).
- **Entsorgungsprozesse (Ströme 8 und 9):** Für Entsorgungsprozesse wird die Herstellung von Prozeßwärme unterstellt. Die Gutschrift erfolgt auf Basis des Heizwertes (Holz atro).

Aus dem obigen Stoff- und Energieflußschema können Stoff- und Energieströme nach Kriterien ausgewählt und zu **Szenarien** zusammengestellt werden, in denen die verschiedenen Optionen zur Definition von KEA zusammengefaßt werden.

Weiterhin kann das Ergebnis der Szenarien unterschiedlich aufbereitet und dargestellt werden.

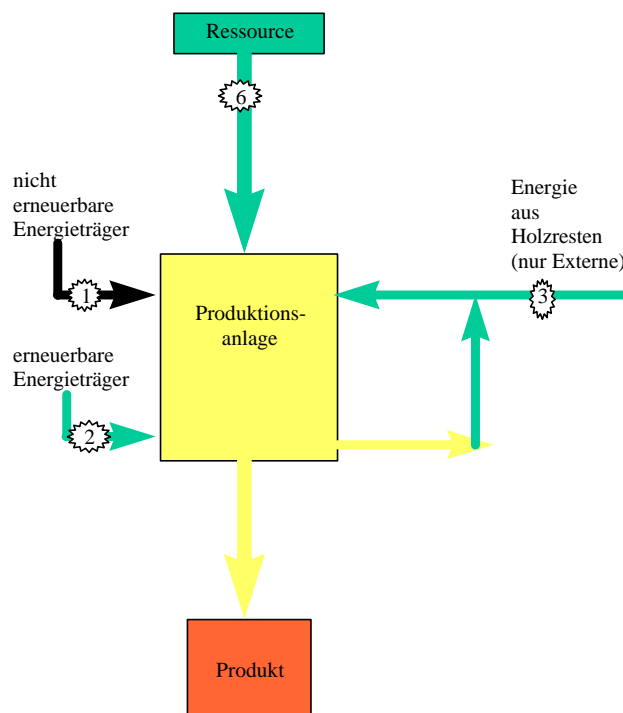
¹⁴ Holz atro: Holz nimmt in unterschiedlichem Maße Feuchte auf, eine Gewichtsangabe beinhaltet daher immer die Feuchte. Vereinfachend kann der Holzinhalt auch mit der Feuchte $u=0\%$; d.h. als absolut trockenes Holz angegeben werden. Vernachlässigt man die Volumenänderung des Holzes bei unterschiedlicher Feuchte, so hat 1 m^3 Fichtenholz ein Gewicht von 430 kg atro.

Für die Szenarien soll dabei gelten:

- Jedes Szenario stellt eine bestimmte KEA-Sichtweise dar und ist weder richtig noch falsch
- Um die Sachverhalte vereinfacht darstellen zu können, sind die Szenarien, die Entsorgungsprozesse beinhalten, verkürzt worden: Statt den Bilanzraum so zu erweitern, daß alle Kopplprodukte „brutto“ erfaßt werden¹⁵ (z.B. 1 kg Holz plus x MJ nutzbare Wärme aus Entsorgungsprozessen), wird der Nutzen der Entsorgungsprozesse *über Gutschriften* in das Gesamtergebnis einbezogen.

Aus der Tabelle weiter unten und den nachfolgenden Einzelgrafiken ist die Einbeziehung der verschiedenen Energieströme ersichtlich:

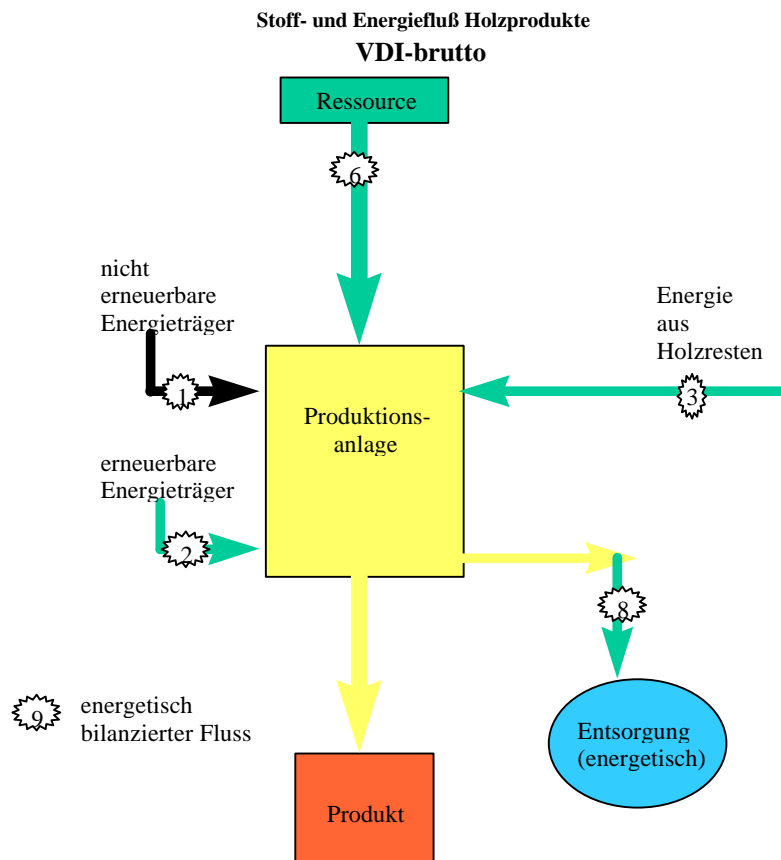
Bild 2 Stoff- und Energieflüsse bei Holzprodukten - VDI-klassisch



- **VDI-klassisch:** Hier wird, wie in allen Szenarien, die zur Bereitstellung von Prozeßwärme benötigten Energieträger bilanziert. Sie werden über die Energieflüsse 1 und 2 abgebildet. Zusätzlich wird der Input Holzressource (6) energetisch bilanziert (stoffgebundener Energieinhalt VDI-4600 Kap.-1.2.2) mit dem Umrechnungsfaktoren auf Basis Holz-atro. Auf eine Einbeziehung der Holzreststoffe bzw. deren Entsorgung wird verzichtet. Die interne Nutzung der Holzreststoffe wird über die nicht numerierten Flüsse in der Graphik abgebildet. Sie sollen Bestandteil der internen Flüsse in der Produktionsanlage sein. Werden zusätzliche externe Holzreststoffe eingesetzt, um den Energiebedarf der Produktionsanlage zu decken, wird der Energiefluß 3 bilanziert.

¹⁵ siehe VDI 4600; GEMIS-Bruttobilanzierung; Nutzenkorbbkonzept DSD-Ökobilanz „Kunststoffe“.

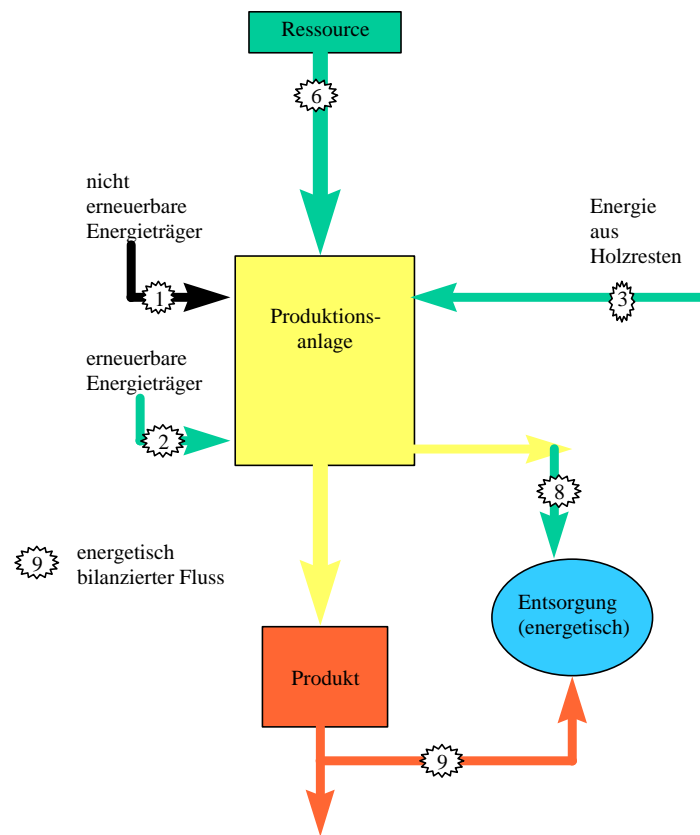
Bild 3 Stoff- und Energieflüsse von Holzprodukten - VDI-brutto



- **VDI-brutto:** Diese Bilanzierung umfaßt die energetische Bilanzierung aller Holzströme ohne der Entsorgung des Produktes. Holzreststoffe verlassen den Bilanzraum und *müssen* daher energetisch bewertet werden (VDI-4600/Kap.-2.2.4) unabhängig davon ob sie energetisch oder stofflich rezykliert werden. Das Szenario VDI-brutto umfaßt damit das Szenario VDI-klassisch **plus** energetische Bilanzierung der nicht intern genutzten Holzreststoffe.

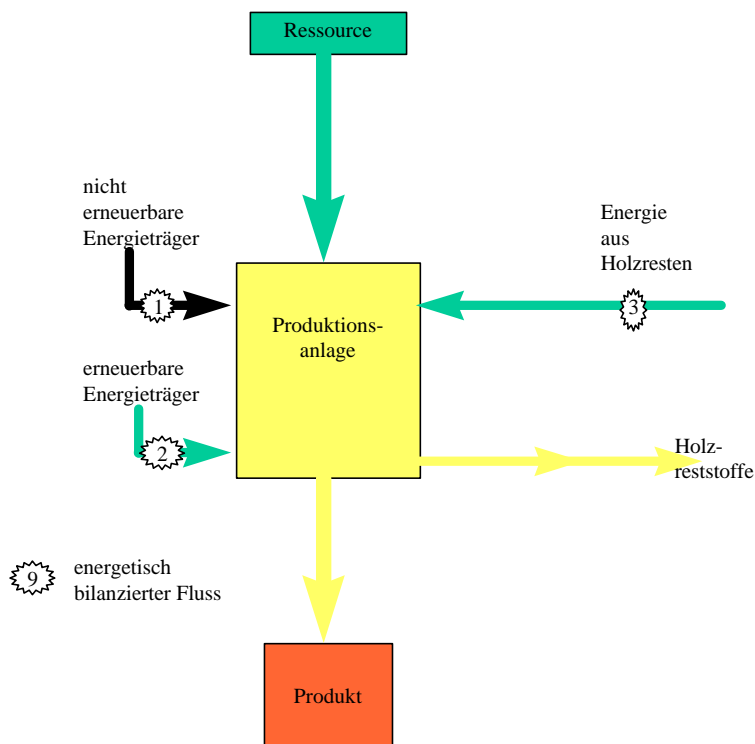
Aufgrund der vereinfachten Bilanzierungsvorschriften (siehe oben) werden die Energieflüsse 3 und 8 jeweils auf Basis des Heizwertes von Holz-atro bilanziert. Der intern genutzte Energiefluß aus Holzresten muß daher nicht extra bilanziert werden, sondern ist in der Summe 3&8 (Gutschrift 8 plus Energieeinsatz 3) implizit enthalten.

Bild 4 Stoff- und Energieflüsse von Holzprodukten - VDI-netto



- VDI-netto:** Entsprechend dem Methodenvorschlag (VDI-4600, Kap.2.2.4) *kann* einem Produkt, das verwertet wird, der Heizwert gutgeschrieben werden. Aufgrund der rechtlichen Lage zur Abfallbehandlung ist bei einem Produkt mit nennenswerten Heizwert von einer energetischen Entsorgung oder einem stofflichen Recycling auszugehen. In beiden Fällen ist daher der Heizwert des Produktes für die nicht weiter spezifizierte Entsorgung in die Bilanz eingestellt worden. Die Bilanzierung entspricht damit der energetischen Bewertung des Stromes 8. Das Szenario VDI-netto umfaßt damit das Szenario VDI-brutto **plus** Einstellung des Energieflusses 9 in die Bilanz, d.h. einer Gutschrift aus der energetischen Verwertung des Produktes.

Bild 5 Stoff- und Energieflüsse von Holzprodukten - VDI-neu (Summe)



- KEA-neu:** In diesem Szenario werden nur die Energieströme 1, 2 und 3 bilanziert. Die Energieströme 1 und 2 sind die genutzten Primärenergieträger, die zur Produktion notwendig sind. Der Energiefluß 3 bilanziert die eingesetzten Holzreste, die aus internen oder externen Quellen stammen können. Praktisch gibt der Energiefluß 3 die intern verwerteten Holzreststoffe an. Die Holzreststoffe werden in diesem Szenario stofflich ausgebucht und anschließend wieder als Energieträger teilweise eingesetzt. Das Ergebnis wird getrennt nach nicht-erneuerbaren (Fluß 1), erneuerbaren (2) und anderen Energieträgern (3) ausgewiesen.

Die Szenarien „VDI-klassisch“, „VDI-brutto“ und „VDI-netto“ sind der VDI-Richtlinie 4600 nachempfunden. Ein konkretes Beispiel zu Holzprodukten fehlt leider in der Beispielsammlung zu VDI 4600. Die Richtlinie enthält „kann“-Bestimmungen, sodaß die ersten drei Szenarien verschiedene Versionen der VDI-RL abbilden.

Auf eine Detaillierung des KEA nach VDI 4600 hinsichtlich $KEA_{Herstellung}$, $KEA_{Nutzung}$, $KEA_{Entsorgung}$ sowie eine Differenzierung hinsichtlich Prozeßenergieaufwand und nichtenergetischem Aufwand wird verzichtet.

Eine entsprechende Differenzierung mit 6 Kenngrößen würde den Rahmen eines einfachen Indikators sprengen. Die Szenarien „KEA-neu“ bilden die in diesem Arbeitspapier vorgestellte modifizierte KEA-Methodik ab.

Alle Ergebnisse können aus dem GEMIS-Datensatz „KEA“ entnommen werden, der auf der KEA-CDROM sowie auf den KEA-Internetseiten verfügbar ist.

Die folgende Tabelle zeigt die in die Bilanz einbezogenen Energieströme:

Tabelle 1 Übersicht zu den Energieströmen in der Beispielrechnung differenziert nach verschiedenen KEA-Methodiken

Energiefluß-Nr:	1	2	3	6	8	9
Energiefluß-Name	nicht-erneuerbar	erneuerbar	Energie aus Holzreststoffen	Holzressource - energetisch	Verwertung Reststoffe	Verwertung Produkt
Stamm frei Wald	127	3	0	8.428	0	8.428
Stamm frei Sägewerk	144	3	0	8.428	0	8.428
Schnittholz-feucht	575	29	13	14.048	5.620	8.428
Schnittholz-getrock	1.255	47	879	14.052	5.624	8.428
BSH-Fichte	3.584	130	2.138	20.069	11.641	8.428
Sperrholz	9.748	272	6.220	19.111	10.683	8.428
Spanplatte	3.832	100	2.405	17.640	9.212	8.428
Einbezogene Energieströme:						
VDI-klassisch	x	x	(x) ¹	x		
VDI-brutto	x	x	x	x	x(minus)	
VDI-netto	X	x	x	x	x(minus)	x(minus)
KEA-neu - Summe	x	x	x			
-nichterneuerbar	x					
-erneuerbar		x				
-andere			x			

[Alle Energieangaben in MJ]; ¹: nur wenn Fluß 3 > Fluß 8

Ergebnisse der KEA Bilanzierung

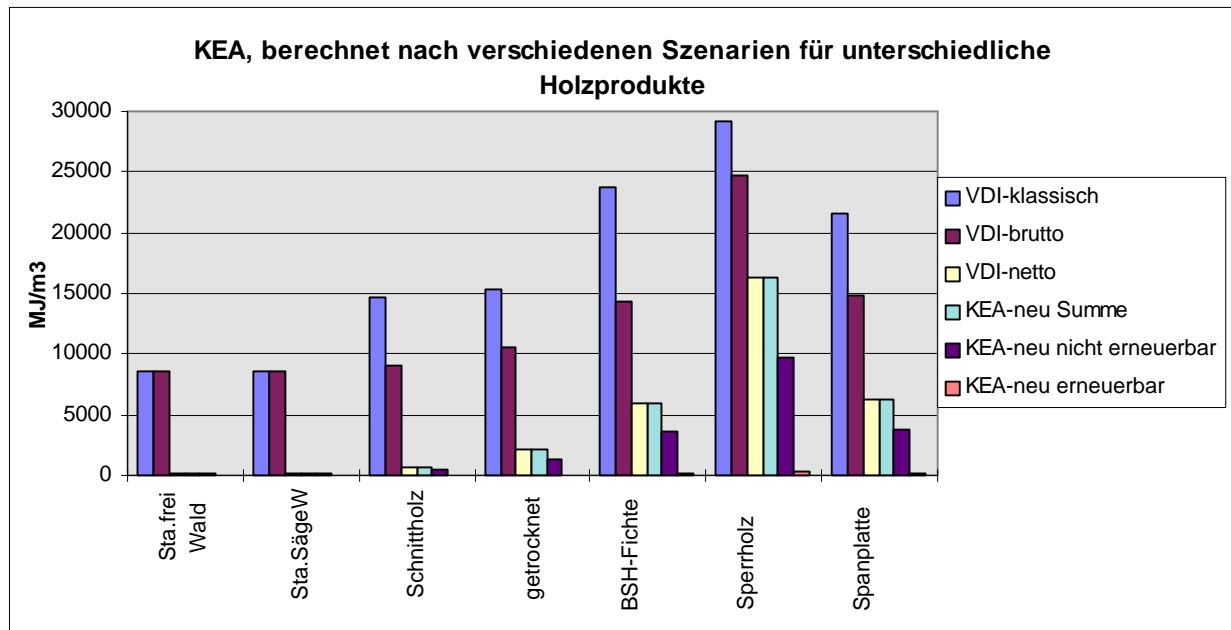
Das Ergebnis der Szenarien ist in der nachfolgenden Tabelle dargestellt. Entsprechend der einbezogenen Energieflüsse ist das Ergebnis sehr unterschiedlich:

Tabelle 2 Ergebnisse der Szenarien für unterschiedliche KEA-Methodiken

Szenario	VDI-klassisch	VDI-brutto	VDI-netto	KEA-neu Summe	KEA-neu nichterneuerbar	KEA-neu erneuerbar	KEA-neu andere
Stamm frei Wald	8558	8558	130	130	127	3	0
Stamm Sägewerk	8574	8574	146	146	144	3	0
Schnittholz	14651	9044	616	616	575	29	13
getrocknet	15355	10609	2181	2181	1255	47	879
BSH-Fichte	23784	14280	5852	5852	3584	130	2138
Sperrholz	29131	24668	16240	16240	9748	272	6220
Spanplatte	21572	14766	6338	6338	3832	100	2405

[Angaben in MJ pro m³ geliefertes Holzprodukt]

Bild 6 KEA-Ergebnisse nach den verschiedenen Bilanzierungsmethoden



Die Szenarien VDI-klassisch und VDI-brutto werden durch die Einbeziehung der Holzressource als Energieträger geprägt. Die scheinbare Übereinstimmung zwischen den Szenarien VDI-netto und KEA-neu (Summe) liegt an der einfachen Ermittlung des Heizwertes der Holzreststoffe und des Produktes. Festzuhalten bleibt die große Differenz im Ergebnis.

In der nachfolgenden Tabelle ist das Ergebnis des Szenarios „VDI-netto“ für Brettschichtholz-Fichte (BSH-Fichte) einmal als KEA-Summe dargestellt und zum anderen mit der im Projekt vorgeschlagenen Differenzierung zwischen nichterneuerbar, erneuerbar und andere.

Tabelle 3 Übersicht zu den KEA-Komponenten im Szenario VDI-netto

Szenario	VDI-netto			
	Summe	fossil+nuklear	erneuerbar	andere
bilanzierte Energieflüsse (Nr.)	1+2+3+6-8-9	1	2+6	3-8-9
BSH-Fichte [MJ/m³]	5852	3584	20199	-17931

Die Bilanzierungsvorschrift ist anhand der bilanzierten Energieflüsse erkennbar. Es wird deutlich, dass die differenzierte Aufstellung nach dem „KEA-neu“-Vorschlag interessante und zum Verständnis des Ergebnis notwendige Informationen enthält.