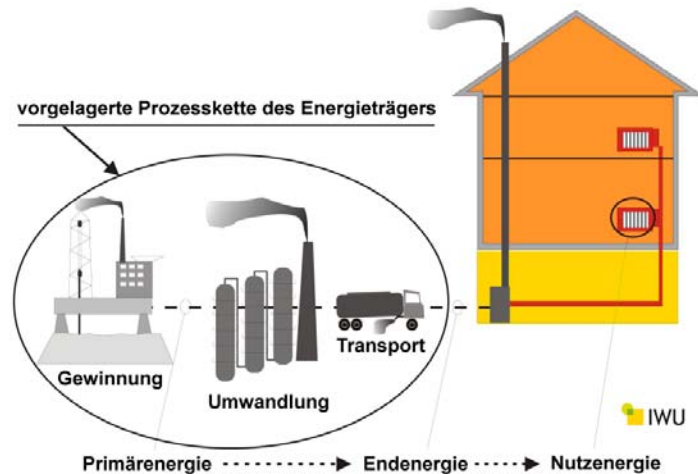


## Kumulierter Energieaufwand und CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren verschiedener Energieträger und –versorgungen

Bei der Berechnung der Umweltwirkungen von unterschiedlichen Energieträgern für die Wärmeversorgung von Gebäuden ist es wichtig, die Verluste zu kennen, die während der Gewinnung und Weiterverarbeitung in der vorgelagerten Kette auftreten (siehe Abbildung 1).

Diese Verluste sind im kumulierten Energieaufwand (KEA) bzw. kumulierten Energieverbrauch (KEV) zusammengefasst, der der besseren Vergleichbarkeit unterschiedlicher Energieträger dient. Der KEA beinhaltet alle energetischen Aufwendungen bei Herstellung, Nutzung und Entsorgung von Produkten oder Dienstleistungen und ist somit umfassender als der früher verwendete Primärenergieaufwand. KEA und KEV unterscheiden sich nur hinsichtlich der energetischen Berücksichtigung



**Abbildung 1: Der Weg von der Primärenergie zur Nutzenergie**

der verwendeten Baumaterialien und Produkte (KEV z. B. ohne Energieinhalt für Bauholz) und der Entsorgung (KEV ohne Entsorgung). Die Unterschiede beider Verfahren sind bei den hier dargestellten Energieversorgungsketten gering und liegen innerhalb der Grenze der Genauigkeit bei der Abbildung der Prozessketten. Im Folgenden wird nur der KEV-Wert verwendet.

Das Programm GEMIS dient der Bilanzierung solcher Prozessketten. Es weicht bei der Bestimmung des KEVs von der entsprechenden VDI-Richtlinie 4600 in zwei wichtigen Punkten ab:

- Es werden Teil-KEVs ausgegeben ( $KEV_{\text{nichterneuenerbar}}$ ,  $KEV_{\text{erneuerbar}}$ ,  $KEV_{\text{andere}}$ ,  $KEV_{\text{Summe}}$ ), die eine getrennte Betrachtung der fossilen / nicht regenerativen Anteile und der regenerativen Anteile des  $KEV_{\text{Summe}}$  erlauben.
- GEMIS rechnet mit der „100 %-Regelung“, d.h. bei der Gewinnung von fossilen Energieträgern und bei der Nutzung regenerativer Energien werden der Quelle (z.B. Wind) immer 100 % Primärenergie entnommen. Bei einer Berechnung gemäß VDI-Richtlinie 4600 würde den regenerativen Energieträgern ein Wirkungsgrad bei der Entnahme aus der Quelle (z.B. 25-30 % Wirkungsgrad bei Windkraftanlagen) zugewiesen, den fossilen Energieträgern jedoch ein Wirkungsgrad von 100 %, was zu einer Ungleichbehandlung führen würde. Die „100 %-Regelung“ greift jedoch ausschließlich auf der Ebene der Energiegewinnung.

Neben dem kumulierten Energieaufwand gibt es jedoch eine Reihe weiterer Indikationen, um die Umweltauswirkungen eines Energieträgers zu untersuchen. Unter diesen sind insbesondere die Treibhausgasemissionen (THG) – ausgedrückt als Kohlendioxid-Äquivalent ( $CO_2_{\text{äqui}}$ ) – als Bewertungsgröße zum Vergleich von unterschiedlichen Energieträgern geeignet, da weltweit die Treibhausgas-Emissionen deutlich vermindert werden müssen.

Zur Berechnung der beschriebenen Kennwerte wurde das Programm Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS) des Öko-Instituts bzw. IINAS in der Version 5.0 verwendet. Soweit möglich, wurden Standardprozesse aus GEMIS für die Berechnungen eingesetzt. Grundsätzlich wurde bei der Bilanzierung immer die gesamte Prozesskette von der Gewinnung des Energieträgers bis zu dessen Lieferung ins Gebäude berücksichtigt, auch der Materialeinsatz im Gebäude für die Umwandlungsanlage (z. B. Heizkessel) ist enthalten. Bei der Erstellung einer Ökobilanz eines Gebäudes ist dies ggf. zu berücksichtigen, damit der Materialeinsatz nicht doppelt eingeht. Der Unterschied der Ergebnisse mit und ohne Materialeinsatz im Gebäude ist jedoch meist gering. Nie berücksichtigt sind die Umwandlungsverluste im Gebäude (Aufwandszahl) und der Hilfsenergieeinsatz (z. B. Strom für Pumpen), da die dargestellten Kennzahlen für Bilanzierungsansätze wie den Energiepass Heizung-Warmwasser [IWU 1997] oder das „Bewertungsschema für die Wärmeversorgung von Niedrigenergiehäusern“ [IWU 2005] gedacht sind, in denen Anlagenaufwandszahl und Hilfsstromeinsatz detaillierter berücksichtigt werden können und sollen.

Während bei früheren Berechnungen mit unterschiedlichen Programmversionen von GEMIS durch das IWU die zugrundeliegenden Prozessketten nicht verändert wurden, sind in der aktuellen Dokumentation alle Prozessketten – soweit in GEMIS vorliegend – auf aktuelle Prozessketten mit dem Bezugsjahr 2015 umgestellt worden. Damit konnte die Entwicklung auch innerhalb der Prozesskette besser berücksichtigt werden. Insbesondere bei Strom aus Photovoltaik wurden die Ansätze in GEMIS aktualisiert (neuere Produktionsverfahren mit geringerem Materialeinsatz), so dass sich hier die Ergebnisse verändert haben. Die Kennwerte für den bundesdeutschen Strom-Mix und PV-Strom sind unverändert aus GEMIS übernommen und enthalten keinerlei Modellannahmen durch das IWU.

Die folgende Tabelle zeigt die mit GEMIS 5.0 (Stand September 2019) ermittelten KEV-Werte für 8 Brennstoffe, den Strommix für Deutschland, unterschiedliche photovoltaische elektrische Energieerzeuger, Fernwärmemix, ein exemplarisches Nahwärmenetz sowie solarthermische Wärmeherzeugung.

Bei den Brennstoffen ist der KEV immer bis zur Übergabe des Endenergieträgers im Haus, aber *ohne Hilfsenergien* im Haus angegeben. Die Bezugsgröße ist der Heizwert  $H_U$ . Dies muss bei der Bilanzierung von Gebäuden berücksichtigt werden. Der Strom-KEV ist „frei Steckdose“ gerechnet. Bei der Rubrik  $KEV_{\text{regenerativ}}$  wurden zur Vereinfachung die Anteile  $KEV_{\text{regenerativ}}$  und  $KEV_{\text{andere}}$  zusammengefasst, da letzterer sekundäre Ressourcen berücksichtigt, die Restholz für die Energieträger Holzhackschnitzel, Holz-Pellets und Brennholz sowie Müll bei der Stromerzeugung beinhalten. Wenn die die Summe aus nicht regenerativen und regenerativen Anteil von dem Gesamt-KEA abweicht, entsteht dies durch die Rundung auf zwei Nachkommastellen.

In der [DIN V 4701-10:2003-08] und der [DIN V 18599-1] sind Primärenergiefaktoren für verschiedene Energieträger angegeben, die teilweise durch den Herausgeber der Normen gesetzt wurden. Hier bietet die folgende Tabelle differenzierte Werte, die den aktuellen Stand der Bilanzierung mit GEMIS widerspiegeln. Zusätzlich sind in der Tabelle auch die zugehörigen Emissionen an Treibhausgasen ausgewiesen, die auf  $CO_2$ -Äquivalente umgerechnet sind (Bezugszeit sind 100 Jahre).

Kumulierter Energieverbrauch verschiedener Energieträger und Energieversorgungen					
Ergebnisse berechnet mit GEMIS Version 5.0 (September 2019)					
Energieart	Prozeß <sup>1)</sup>	Kumulierter Energieverbrauch [kWh <sub>Prim</sub> /kWh <sub>End</sub> ]			Treibhausgase CO <sub>2</sub> -Äquivalent [g/kWh <sub>End</sub> ]
		Gesamt	nicht regenerativer Anteil	regenerativer Anteil <sup>3)</sup>	
Brennstoffe <sup>2)</sup>	Heizöl EL	1.15	1.15	0.01	310
	Erdgas H	1.11	1.10	0.00	231
	Flüssiggas	1.09	1.08	0.01	295
	Steinkohle	1.06	1.06	0.00	438
	Braunkohle	1.20	1.19	0.01	446
	Holz hackschnitzel	1.05	0.03	1.01	15
	Brennholz	1.01	0.01	1.00	13
	Holz-Pellets	1.08	0.06	1.02	17
Fernwärme Mix	Deutschland (gemäß Gemis)	1.14	0.80	0.33	243
Nahwärme Mix	Beispielnetz mit 74 WE	0.98	0.98	0.00	221
Solarwärme am Gebäude	Flachkollektor	1.09	0.07	1.02	24
	Vakuumröhrenkollektor	1.12	0.10	1.03	34
Strom	Strom-mix 2018	2.40	1.71	0.69	505
	PV-Strom (amorph)	1.15	0.14	1.01	43
	PV-Strom (monokristallin)	1.24	0.20	1.03	60
	PV-Strom (multikristallin)	1.16	0.13	1.03	40
	Wind (Park Mittelwert 2015)	1.03	0.02	1.00	10

<sup>1)</sup> Vorgelagerte Kette für Endenergie bis Übergabe im Gebäude, inkl. Materialaufwand für Wärme-/Stromerzeuger und ohne Hilfsenergie im Haus

<sup>2)</sup> Bezugsgröße: unterer Heizwert H<sub>u</sub>

<sup>3)</sup> Der regenerative Anteil beinhaltet auch sekundäre Ressourcen, z. B. Restholz und Müll

IWU, 26.02.2020

Institut Wohnen und Umwelt

Marc Großklos

### Literatur

[DIN V 4701-10] DIN V 4701-10: Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen - Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung, Beuth Verlag, 2003

[DIN V 18599-1] Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 1: Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger, Beuth Verlag, Ausgaben: 12-2011, 10-2016 bzw. 09-2018

[GEMIS] Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme (GEMIS), Version 5.0, IINAS, Darmstadt, 2019

[IWU 1997] Energiepass Heizung/Warmwasser, Institut Wohnen und Umwelt, Darmstadt, 1997

[IWU 2005] Diefenbach, N.; Loga, T.; Born, R.: Wärmeversorgung für Niedrigenergiehäuser - Erfahrungen und Perspektiven, Untersuchung im Auftrag des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung, 101 S., Darmstadt: IWU, 2005