

**Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für
Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
FKZ: 201 41 129**

„Anwendung und Kommunikation des Kumulierten
Energieverbrauchs (KEV) als praktikabler
umweltbezogener Bewertungs- und
Entscheidungsindikator für Energieintensive Produkte
und Dienstleistungen“

Vergleich Waschmaschinen Kaltwasser vs. Kalt-/Warmwasseranschluß

Projektbearbeitung: Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V., München
Dipl.-Ing. Andreas Duschl

Zielsetzung: Vergleich des KEV¹ von Kalt/Warmwasserwaschmaschinen (WW) mit Standard-Kaltwassermaschinen (KW) unter verschiedenen Nutzungsbedingungen.

Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen für die Zielgruppen

Die primärenergetische Effizienz der Nutzung von beiden Gerätetypen hängt im Wesentlichen von drei Parametern ab:

- Anteil der Waschprogramme und -temperaturen am Nutzungsmix.
- KEV der Strombereitstellung
- KEV der Brauchwarmwasser-Bereitstellung im Gebäude

Betrachtet wurden verschiedene Wärmeversorgungsvarianten:

- moderne Öl-/Gaskesselanlagen (Die Ergebnisse waren nahezu deckungsgleich, so dass die beiden Techniken zusammengefasst wurden)
- Fernwärmeversorgung durch KWK-Anlagen
- thermische Solaranlage mit 60 % Deckungsgrad und Gas-Backupsystem

Dazu wurde noch der Wärmedämmstandard der Verteil-Leitungen variiert.

Untersucht wurden die in der Praxis relevanten Betriebsarten der Verteilungssysteme:

Bei Einfamilienhäusern (EFH): Stichelungen und Zirkulation mit Nachtabschaltung (8 Stunden)

Bei Mehrfamilienhäusern (MFH): Nur Zirkulationsbetriebe, einmal mit und einmal ohne die genannte Nachtabschaltung.

In den folgenden beiden Bildern kann man ablesen, dass sich die Ergebnisse zwischen EFH und MFH nicht wesentlich unterscheiden.

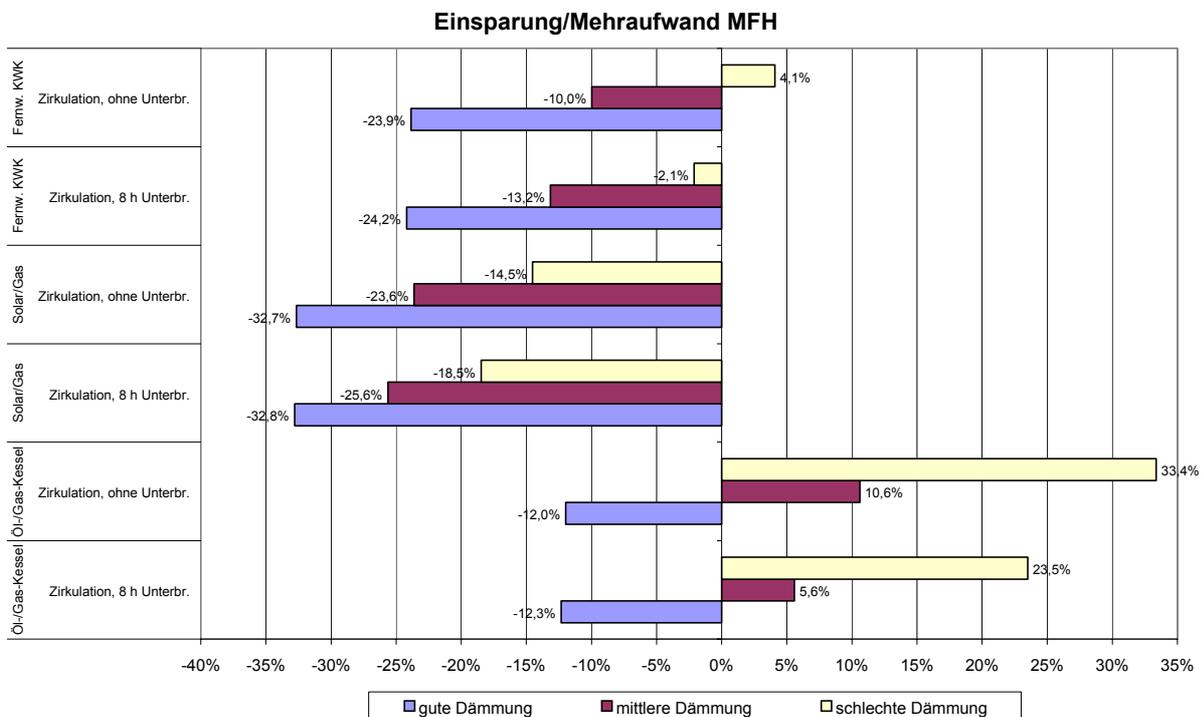
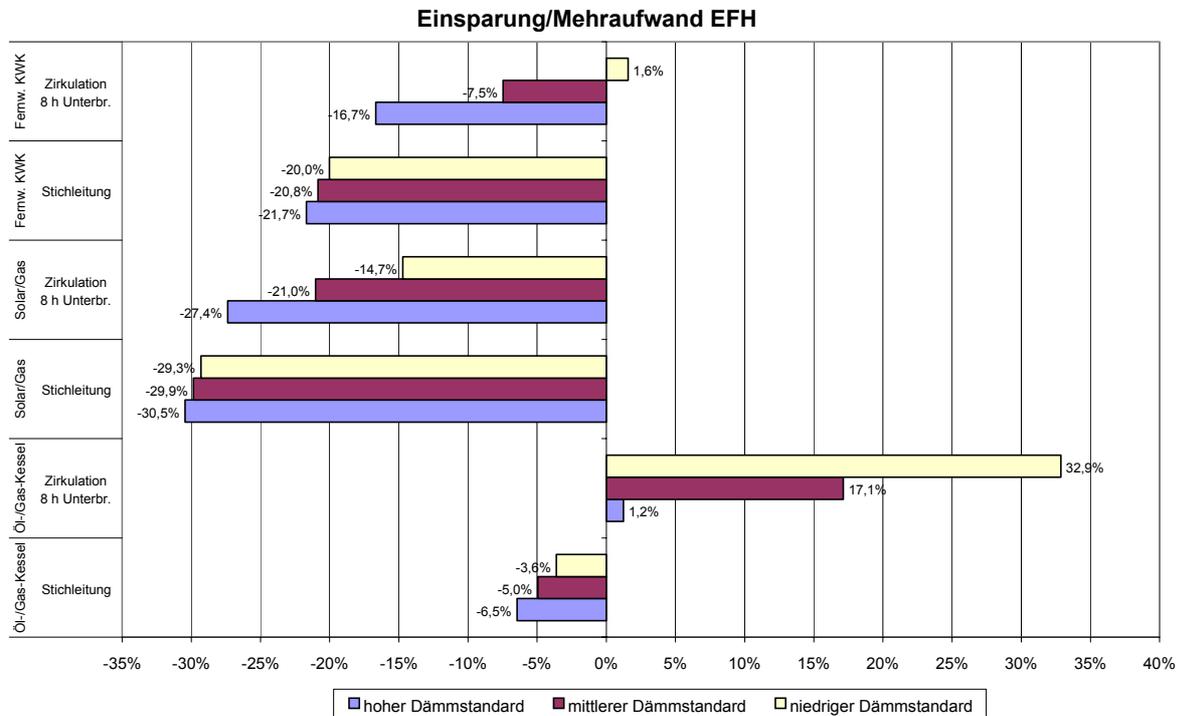
Bei ungünstigen Verhältnissen bei der Warmwasserbereitung (ineffiziente Energieumwandlung, schlechte Dämmung, lange Leitungen, durchlaufende Zirkulation, etc.) und bei hocheffizienter Strombereitstellung (z.B. bei Nutzung von regenerativer Stromerzeugung) die KW-Waschmaschine im Vorteil, da die Wärme primärenergetisch – also incl. aller Bereitstellungsverluste – günstiger aus Strom bereitgestellt werden kann als über das Warmwassernetz des Gebäudes.

¹ KEV: Kumulierter Energie-Verbrauch. Die Summe aller Primärenergien zur Herstellung und Nutzung eines Produkts oder einer Dienstleistung inklusiver aller Vorketten, jedoch *ohne* die *stofflich* genutzten Energieträger wie z.B. Holz für Bauzwecke oder Erdöl für Kunststoffe. Diese stofflichen Aufwendungen werden im KEV nicht verbucht, sondern ihre Masse ist in einer Rohstoffbilanz extra zu erfassen. Ebenso werden Aufwendungen zur Entsorgung nicht in den KEV einbezogen.

Der KEV unterscheidet sich damit vom kumulierten Energie-Aufwand (KEA) nach der VDI-Richtlinie 4600 vor allem darin, dass nur die Energiemengen einbezogen sind, die *energetisch genutzt* („verbraucht“) wurden. Der KEA rechnet dagegen auch die stofflich genutzten Energiemengen mit ein, da diese – ungeachtet ihrer energetischen oder stofflichen Nutzung – „aufgewendet“ werden müssen, und durch ihren Heizwert die gesamten Primärenergieaufwendungen erhöhen. Im KEA sind auch die Entsorgungsaufwände bzw. *Gutschriften für z.B. Energierückgewinnung* aus stofflich genutzten Energieträgern (Holz, Kunststoffe...) eingerechnet.

Je nach Warmwasserbereitungssystem und Qualität der Leitungsdämmung können entweder Primärenergie-Einsparungen oder –Mehraufwendungen von jeweils mehr als 30 % bezogen auf einen Kaltwasseranschluß entstehen.

Effizient für den WW-Anschluß sind vor allem Varianten mit einem hohen Anteil an regenerativer Wärmeerzeugung, z.B. eine schwerpunktmäßig solarthermisch versorgte Warmwasserbereitung oder aber auch eine biomassegefeuerte Anlage.



Beispiel "Personennahverkehr"

Projektbearbeitung: IFEU – Institut für Energie- und Umweltforschung
Heidelberg GmbH
Dr. Andreas Patyk

Zielsetzung: Demonstration der Anwendbarkeit des KEV im Verkehrssektor
Entscheidungshilfe für die Akteure des Personenverkehrs bei der Verkehrsmittelwahl (PKW, Bus, Straßenbahn, Fahrrad)

Definition des KEV:

Kumulierter Energie-Verbrauch. Die Summe aller Primärenergien zur Herstellung und Nutzung eines Produkts oder einer Dienstleistung inklusiver aller Vorketten, jedoch ohne die stofflich genutzten Energieträger wie z.B. Holz für Bauzwecke oder Erdöl für Kunststoffe. Diese stofflichen Aufwendungen werden im KEV nicht verbucht, sondern ihre Masse ist in einer Rohstoffbilanz extra zu erfassen. Ebenso werden Aufwendungen zur Entsorgung nicht in den KEV einbezogen.

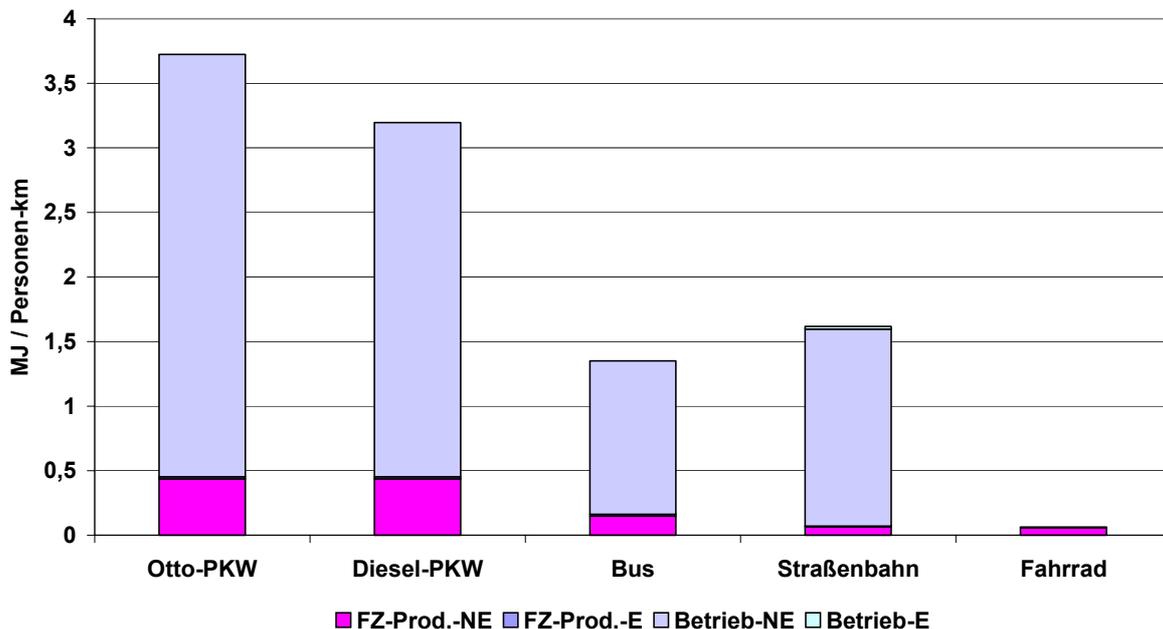
Der KEV unterscheidet sich damit vom **kumulierten Energie-Aufwand (KEA)** nach der VDI-Richtlinie 4600 vor allem darin, dass nur die Energiemengen einbezogen sind, die energetisch genutzt („verbraucht“) wurden. Der KEA rechnet dagegen auch die stofflich genutzten Energiemengen mit ein, da diese – ungeachtet ihrer energetischen oder stofflichen Nutzung – „aufgewendet“ werden müssen, und durch ihren Heizwert die gesamten Primärenergieaufwendungen erhöhen. Im KEA sind auch die Entsorgungsaufwände bzw. Gutschriften für z.B. Energierückgewinnung aus stofflich genutzten Energieträgern (Holz, Kunststoffe...) eingerechnet.

Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen für die Zielgruppen

Ergebnisse

- Die KEV der öffentlichen Verkehrsmittel sind etwa ein Drittel bis halb so groß wie die der PKW bei jeweils mittlerer Auslastung.
- Die Anteile der Fahrzeugbereitstellung liegen bei PKW und Bus um 13 %, bei der Straßenbahn bei etwa 4 %.
- Der bei weitem niedrigste KEV ist mit dem Fahrradfahren verbunden. Hier spielt allerdings auch die Nicht-Erfassung der menschlichen Arbeit eine Rolle. Der KEV des Fahrradfahrens besteht daher nur aus dem der Fahrradbereitstellung, der ungefähr dem der Straßenbahnbereitstellung entspricht.

KEV: 1 Personen-km im Nahverkehr – mittlere Auslastung



FZ-Prod.: FahrzeugProduktion; **Betrieb:** Nutzung (incl. Kraftstoff- bzw. Strombereitstellung)
E: erneuerbare Energie; **NE:** nicht erneuerbare Energie

Mittlere Auslastungen der motorisierten Verkehrsmittel: PKW 25%, Bus und Straßenbahn 20%.
 Fahrrad: nur FZ-Produktion

Schlussfolgerungen

Folgerungen für die Akteure des Personenverkehrs ergeben sich unmittelbar aus den Ergebnissen. Kommunen und ÖPNV-Unternehmen sollten ggf. (d.h. wenn Investitionsentscheidungen maßgeblich von Umweltaspekten abhängig gemacht werden) weitergehende Untersuchungen durchführen bzw. veranlassen, um optimale Einsatzfelder und -bedingungen für Bus- und Straßenbahn zu identifizieren. Grundsätzlich: Besonders zu beachten ist die Abhängigkeit der Ergebnisse von der Auslastung; z.B. liegt der KEV pro Personen-km für einen Diesel-PKW mit 50% Auslastung niedriger als für einen Bus mit 10%.

Der Vergleich von KEV und einigen Emissionen zeigt zum Teil weitgehende Entkopplung, d.h. unterschiedliche Reihenfolgen der Optionen für den KEV und die Emissionen. Für einen ersten Vergleich der Umweltwirkungen verschiedener Verkehrsmittel kann der KEV als Indikator herangezogen werden. Bei KEV-Differenzen von deutlich weniger als etwa 20% und/oder dem Fokus auf der Verbesserung der lokalen Umweltsituation sollten auch für Abschätzungen weitere Indikatoren betrachtet werden.

KEV als Entscheidungsparameter bei der nachhaltigen Sanierung von Wohngebäuden

Projektbearbeitung: **Öko-Institut** e.V., Büro Darmstadt
Uwe R. Fritsche

Zielsetzung: Vergleich des KEV bei der energetischen Sanierung von bestehenden Wohngebäuden durch Wärmedämmung sowie Einsatz eines Gas-BHKW mit der heutigen Situation.

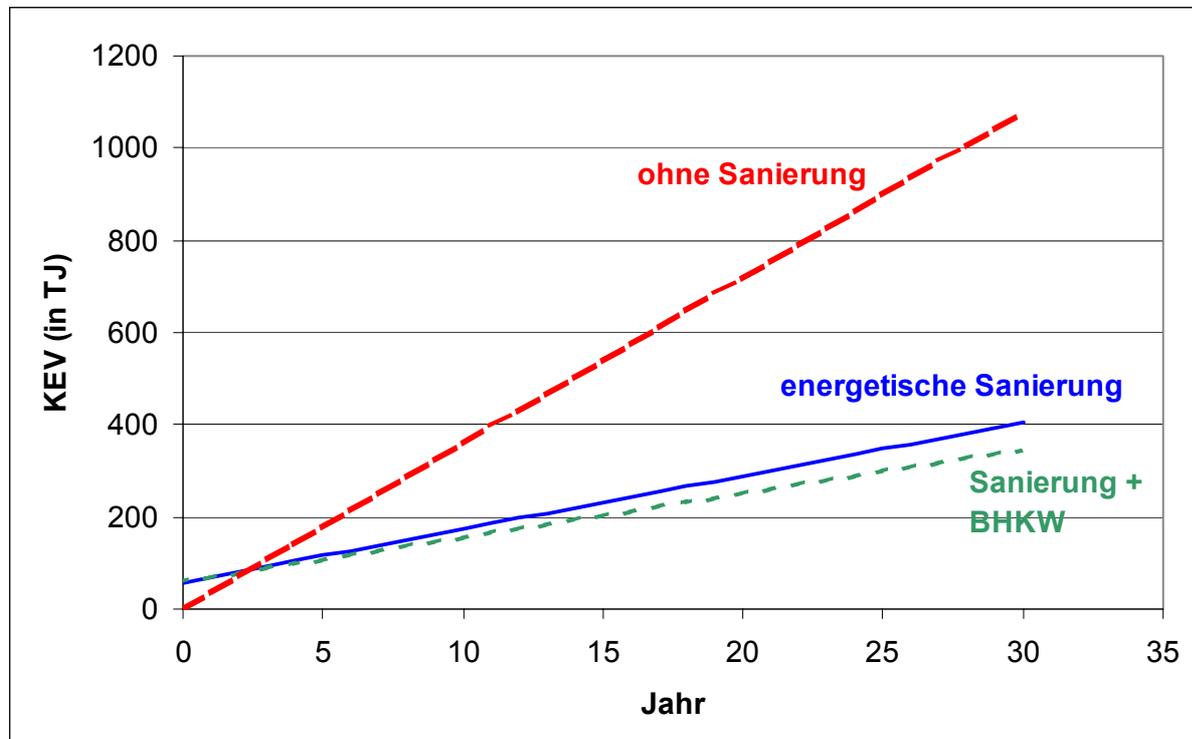
Definition:

KEV: Kumulierter Energie-Verbrauch. Die Summe aller Primärenergien zur Herstellung und Nutzung eines Produkts oder einer Dienstleistung inklusiver aller Vorketten, jedoch ohne die stofflich genutzten Energieträger wie z.B. Holz für Bauzwecke oder Erdöl für Kunststoffe. Diese stofflichen Aufwendungen werden im KEV nicht verbucht, sondern ihre Masse ist in einer Rohstoffbilanz extra zu erfassen. Ebenso werden Aufwendungen zur Entsorgung nicht in den KEV einbezogen.

Der KEV unterscheidet sich damit vom kumulierten Energie-Aufwand (KEA) nach der VDI-Richtlinie 4600 vor allem darin, dass nur die Energiemengen einbezogen sind, die energetisch genutzt („verbraucht“) wurden. Der KEA rechnet dagegen auch die stofflich genutzten Energiemengen mit ein, da diese – ungeachtet ihrer energetischen oder stofflichen Nutzung – gefördert bzw. bereitgestellt („aufgewendet“) werden müssen, und durch ihren Heizwert die gesamten Primärenergieaufwendungen erhöhen. Im KEA sind auch die Entsorgungsaufwände enthalten, wobei hier auch Gutschriften für z.B. Energierückgewinnung aus stofflich genutzten Energieträgern (Holz, Kunststoffe...) eingerechnet werden.

Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen für die Zielgruppen

Die energetische Sanierung von bestehenden Wohngebäuden durch Wärmedämmung amortisiert sich hinsichtlich des KEV gegenüber dem unsanierten Gebäude bereits nach weniger als 2 Jahren und spart im Betrachtungszeitraum von 30 Jahren über 60% des KEV der unsanierten Gebäude ein. Wird zusätzlich ein Gas-BHKW eingesetzt, erhöht sich die Einsparung nochmals um rd. 10%-Punkte.



Das bedeutet für den Endanwender, dass selbst bei extrem schlechter Qualität der KLSL mit nur 5 % der angegebenen Lebensdauer eine Geldersparnis zu erwarten ist. Würden alle bundesweit bestehenden Wohngebäude (ca. 300 Mio Stück) durch KLSL ersetzt, so könnte bei einer derzeitigen mittleren Leistung von 75 W (GL) bzw. 16 W (KLSL) und einer mittleren Betriebszeit von 700 h/a das Einsparpotenzial an Strom ca. 12,4 TWh/a betragen.

Vergleich verschiedener Hausmüll-Sammelsysteme

Projektbearbeitung: Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V., München
Dipl.-Ing. Andreas Duschl
Dr.-Ing. Wolfgang Mauch

Zielsetzung: Vergleich des KEV¹ von herkömmlicher Müllsammlung und getrenntem Sammeln von Müll, Biomüll und Wertstoffen mittels Hol- und Bringsystem

Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen für die Zielgruppen

Es wurden drei verschiedene Wege der Müllsammlung diskutiert:

- Die herkömmliche Müllsammlung
- getrenntes Sammeln von Müll, Biomüll und Wertstoffen im Holsystem
- getrenntes Sammeln von Müll, Biomüll und Wertstoffen im Bringsystem

Im Holsystem werden die Wertstoffe und die Reststoffe in Behältern (Zweitonnen- bzw. Dreitonnen-system) oder Säcken erfasst und direkt bei den Haushalten abgeholt.

Das Bringsystem umfasst zentral aufgestellte Sammelbehälter, die von den anliefernden Haushalten beschickt werden. Die Restmüllsammlung erfolgt analog zur herkömmlichen Müllsammlung.

Das Entsorgungssystem mit dem geringsten KEV ist die herkömmliche Müllentsorgung. Hier ist nicht berücksichtigt, daß eine Verwertung von Reststoffen nur durch erheblichen Sortieraufwand möglich ist. Dadurch wird dieser Vorteil wieder kompensiert. Eine Umstellung des Entsorgungssystems weg vom herkömmlichen Eintonnensystem rentiert sich energetisch also immer dann, wenn hohe Anteile des Mülls wiederverwertet werden sollen. Bei reiner Deponierung oder thermischen Verwertung (Verbrennung, Pyrolyse) ist das Eintonnensystem optimal.

¹ KEV: Kumulierter Energie-Verbrauch. Die Summe aller Primärenergien zur Herstellung und Nutzung eines Produkts oder einer Dienstleistung inklusiver aller Vorketten, jedoch *ohne* die *stofflich* genutzten Energieträger wie z.B. Holz für Bauzwecke oder Erdöl für Kunststoffe. Diese stofflichen Aufwendungen werden im KEV nicht verbucht, sondern ihre Masse ist in einer Rohstoffbilanz extra zu erfassen. Ebenso werden Aufwendungen zur Entsorgung nicht in den KEV einbezogen.

Der KEV unterscheidet sich damit vom kumulierten Energie-Aufwand (KEA) nach der VDI-Richtlinie 4600 vor allem darin, dass nur die Energiemengen einbezogen sind, die *energetisch genutzt* („verbraucht“) wurden. Der KEA rechnet dagegen auch die stofflich genutzten Energiemengen mit ein, da diese – ungeachtet ihrer energetischen oder stofflichen Nutzung – „aufgewendet“ werden müssen, und durch ihren Heizwert die gesamten Primärenergieaufwendungen erhöhen. Im KEA sind auch die Entsorgungsaufwände bzw. *Gutschriften für z.B. Energierückgewinnung* aus stofflich genutzten Energieträgern (Holz, Kunststoffe...) eingerechnet.

Hohe Wiederverwertungsanteile erfordern eine Entscheidung zwischen Hol- und Bringsystem. Grundsätzlich ist das Bringsystem dem Holsystem in energetischen Gesichtspunkten vorzuziehen. Dieser Vorteil wiegt um so schwerer, je sauberer sortiert die Wertstoffe im Bringsystem angeliefert werden. Je höher also die „Routine“ der Bürger ist, desto größer wird der Vorteil des Bringsystems hinsichtlich des Sortieraufwandes.

jeweils in MJ/t _{Müll}		Herkömmliche		Holsystem		Bringsystem	
		Stadt	Land	Stadt	Land	Stadt	Land
Anlieferung	KEV _H	-	-	-	-	11	19
	KEV _N	-	-	-	-	103	171
Sammelbehälter	KEV _H	45	45	170	170	73	80
Behälterentleerung	KEV _H	21	52	28	67	29	77
	KEV _N	139	324	275	417	180	370
Transport zur Sortieranlage	KEV _H	-	-	5		10	
	KEV _N	-	-	40		84	
Sortieranlage	KEV _H	-	-	50		7	
	KEV _N	-	-	349		58	
Transport zur Aufbereitung	KEV _H	-	-	2		2	
	KEV _N	-	-	42		42	
Aufbereitung	KEV _H	-	-	keine Daten verfügbar		keine Daten verfügbar	
	KEV _N	-	-	304		304	
Transport zur Verwertung	KEV _H	-	-	1		1	
	KEV _N	-	-	26		28	
Transport zur Entsorgung	KEV _H	-	-	1		0	
	KEV _N	-	-	23		5	
Entsorgung	KEV _H	161	161	74		105	
	KEV _N	1118	1118	725		725	
Schlacketransport zur Deponie	KEV _H	0	0	0		0	
	KEV _N	7	7	3		5	
Gesamt	KEV _H	227	258	331	385	238	301
	KEV _N	1264	1449	1745	1860	1534	1792

Der hohe Aufwand für die Anlieferung der Wertstoffe gerade in ländlichen Regionen verpflichtet Städtebauer und Landschaftsplaner zu sinnvoller Verteilung der möglichen Standorte von Sammelstellen. Durch Aufstellung von Sammelbehältern in der Nähe von Einkaufszentrum kann beispielsweise ein Mehraufwand für Anlieferung mittels PKW vermieden werden, weil die Fahrtzwecke „Einkauf“ und „Entsorgung“ kombiniert werden.

Vergleich Glühlampe / Kompaktleuchtstofflampe

Projektbearbeitung: Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V., München
Dipl.-Ing. Andreas Duschl

Zielsetzung: Vergleich des KEV¹ einer Standard-Glühlampe 100 W mit dem einer Kompaktleuchtstofflampe gleicher Lichtstärke mit 20 W Nennleistung.

Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen für die Zielgruppen

Unter Voraussetzung einer Benutzungsdauer von 1.000 Stunden bei einer Glühlampe (GL) und von 15.000 Stunden bei der Kompaktleuchtstofflampe (KLSL) wird ein Vergleichszeitraum von 15.000 Stunden gewählt. Dies entspricht einer Lebensdauer von 1 KLSL und 15 GL.

		Glühlampe	KLSL	15 Glühlampen
KEV _{Herstellung}	[GJ]	0,003	0,014	0,045
KEV _{Nutzung}	[GJ]	1,145	3,434	17,175
KEV_{Gesamt}	[GJ]	1,148	3,448	17,220

Bei beiden Lampentypen dominiert der KEV_{Nutzung} den KEV deutlich mit Anteilen von jeweils über 99 %.

Der KEV von 15 Glühlampen (17.2 GJ) ist um das 5-fache höher als der einer KLSL (3,4 GJ). Die KLSL amortisiert sich energetisch bereits nach ca. 15 Betriebsstunden.

¹ KEV: **K**umulierter **E**nergie-**V**erbrauch. Die Summe aller Primärenergien zur Herstellung und Nutzung eines Produkts oder einer Dienstleistung inklusiver aller Vorketten, jedoch *ohne* die *stofflich* genutzten Energieträger wie z.B. Holz für Bauzwecke oder Erdöl für Kunststoffe. Diese stofflichen Aufwendungen werden im KEV nicht verbucht, sondern ihre Masse ist in einer Rohstoffbilanz extra zu erfassen. Ebenso werden Aufwendungen zur Entsorgung nicht in den KEV einbezogen.

Der KEV unterscheidet sich damit vom **k**umulierten **E**nergie-**A**ufwand (**KEA**) nach der VDI-Richtlinie 4600 vor allem darin, dass nur die Energiemengen einbezogen sind, die *energetisch genutzt* („verbraucht“) wurden. Der KEA rechnet dagegen auch die stofflich genutzten Energiemengen mit ein, da diese – ungeachtet ihrer energetischen oder stofflichen Nutzung – „aufgewendet“ werden müssen, und durch ihren Heizwert die gesamten Primärenergieaufwendungen erhöhen. Im KEA sind auch die Entsorgungsaufwände bzw. *Gutschriften für z.B. Energierückgewinnung* aus stofflich genutzten Energieträgern (Holz, Kunststoffe...) eingerechnet.

Unter den gewählten Rahmenbedingungen (15.000 Stunden Lebensdauer, Strompreis 0,16 €/kWh, Kaufpreis KLSL 10 € und Kaufpreis GL 1 €) amortisiert sich die KLSL finanziell bereits nach ca. 800 Betriebsstunden. Das bedeutet für den Endanwender, dass selbst bei extrem schlechter Qualität der KLSL mit nur 5 % der angegebenen Lebensdauer eine Geldersparnis zu erwarten ist.

Würden alle jährlich bundesweit verkauften Glühlampen (ca. 300 Mio Stück) durch KLSL ersetzt, so könnte bei einer derzeitigen mittleren Leistung von 75 W (GL) bzw. 16 W (KLSL) und einer mittleren Betriebszeit von 700 h/a das Einsparpotenzial an Strom ca. 12,4 TWh/a betragen.

KEV als Entscheidungsparameter in der Solarsiedlung Koldenfeld

Projektbearbeitung: Ecofys, Köln
Dipl.-Ing. Thomas Boermans

Zielsetzung: Vergleich EnEV- und Passivhaus, Betrachtung der Energieversorgung, Untersuchung des Einflusses der Herstellungsphase

Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen für die Zielgruppen

Bisher ist es üblich, die energetische Bewertung eines Gebäudes lediglich nach dem Energieverbrauch während der Nutzungsphase auszurichten. Aufgrund des verbesserten Dämmstandards und damit sinkendem Heizenergiebedarfs von Neubauten gewinnt jedoch die zum Bau des Hauses benötigte Energie an Bedeutung und sollte somit im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtungsweise mit bilanziert werden. Unter anderem eignet sich der kumulierte Energieverbrauch KEV¹ als standardisierte Größe für die zusammenfassende Betrachtung und Bewertung der in Gebäuden befindlichen Materialien, Baustoffe und Komponenten in Form primärenergetisch bewerteter Prozessenergieverbräuche. Für den Haustyp Reihenmittelhaus der Solarsiedlung Koldenfeld wurden im Folgenden verschiedene Szenarien (EnEV-Haus massiv, Passivhaus massiv, Passivhaus Lebensräume) mit Hilfe des Parameters KEV untersucht, die neben der Betrachtung der Nutzungsphase die Wichtigkeit der Einbeziehung der Herstellungsphase in die energetische Betrachtung von Gebäuden darstellen und weiterhin gezielt Möglichkeiten zur energetischen Optimierung für die Herstellung beleuchten sollen.



¹ KEV: **K**umulierter **E**nergie-**V**erbrauch. Die Summe aller Primärenergien zur Herstellung und Nutzung eines Produkts oder einer Dienstleistung inklusiver aller Vorketten, jedoch *ohne* die *stofflich* genutzten Energieträger wie z.B. Holz für Bauzwecke oder Erdöl für Kunststoffe. Diese stofflichen Aufwendungen werden im KEV nicht verbucht, sondern ihre Masse ist in einer Rohstoffbilanz extra zu erfassen. Ebenso werden Aufwendungen zur Entsorgung nicht in den KEV einbezogen.

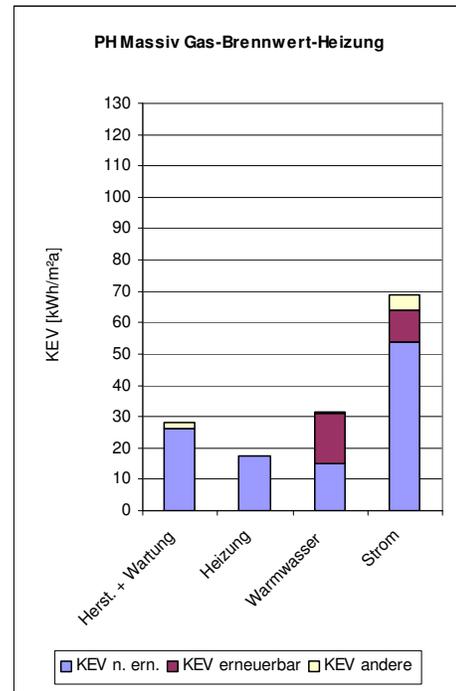
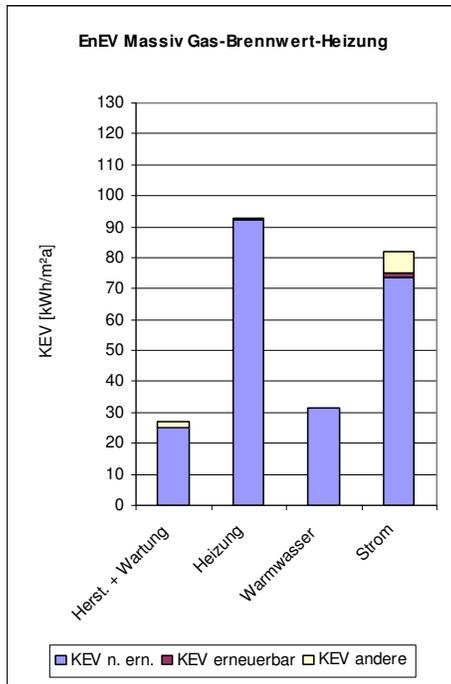
Der KEV unterscheidet sich damit vom **k**umulierten **E**nergie-**A**ufwand (**KEA**) nach der VDI-Richtlinie 4600 vor allem darin, dass nur die Energiemengen einbezogen sind, die *energetisch genutzt* („verbraucht“) wurden. Der KEA rechnet dagegen auch die stofflich genutzten Energiemengen mit ein, da diese – ungeachtet ihrer energetischen oder stofflichen Nutzung – gefördert bzw. bereitgestellt („aufgewendet“) werden müssen, und durch ihren Heizwert die gesamten Primärenergieaufwendungen erhöhen. Im KEA sind auch die Entsorgungsaufwände enthalten, wobei hier auch *Gutschriften für z.B. Energierückgewinnung* aus stofflich genutzten Energieträgern (Holz, Kunststoffe...) eingerechnet werden.

Betrachtete Varianten	EnEV Massiv	PH Massiv	PH Lebensräume
Bauweise	Massivbau, Ziegel-mauerwerk	Massivbau, Ziegel-mauerwerk	Holzständerbauweise
Keller	Keller, Beton	Keller, Beton	Keller, Beton
Heizwärmebedarf (nach EN832) bezo-gen auf reale Wohn-fläche	79 kWh/m ² a	15 kWh/m ² a	15 kWh/m ² a
Heizung und Warm-wasserbereitung	Gas-Brennwert Alternativ-betrachtung: Holz-Pellet-Heizung	Gas-Brennwert Alternativ-betrachtung: Stromheizung	Gas-Brennwert
Zusatz-System Warmwasser	-	Abdeckung von 60 % des Bedarfes durch Solarthermie	Abdeckung von 60 % des Bedarfes durch Solarthermie
Stromversorgung	Netz	Netz + Photovoltaik (Abdeckung 1/3 des Gesamtstrombedarfs)	Netz + Photovoltaik (Abdeckung 1/3 des Gesamtstrombedarfs)

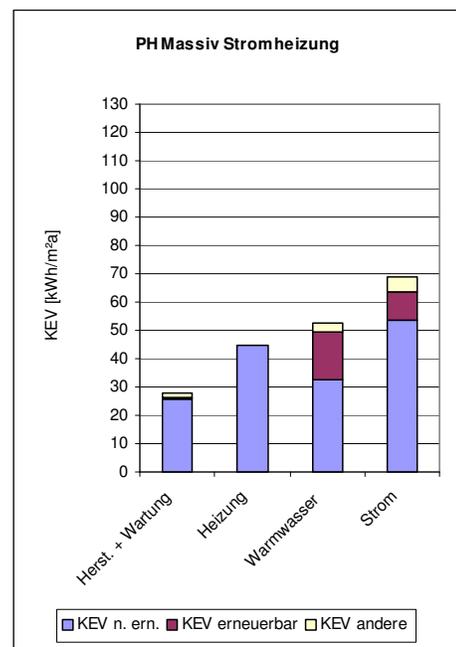
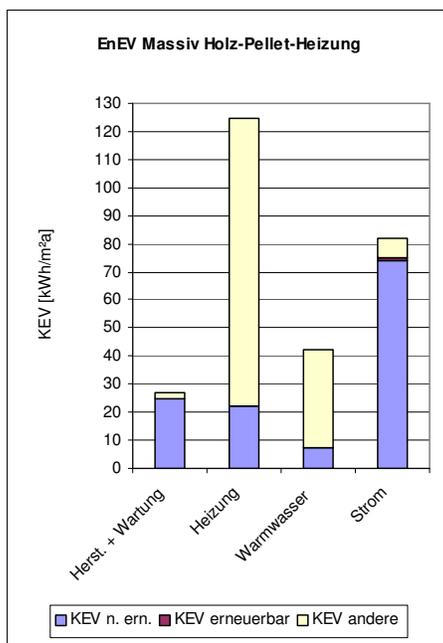
Das Projekt "50 Solarsiedlungen in Nordrhein-Westfalen" wurde in der Arbeitsgruppe "Bauen und Wohnen" der Landesinitiative Zukunftsenergien NRW entwickelt. Mehrere Landesministerien starteten im Frühjahr 1997 den Aufruf an die Kommunen zum Bau von 50 Solarsiedlungen. Das Leitprojekt der Landesinitiative Zukunftsenergien NRW soll die Möglichkeiten der Solarenergienutzung für die Wärme- und Stromversorgung von Gebäuden auf Siedlungsebene aufzeigen und dem solaren Bauen einen weiteren Impuls verleihen.

Ergebnisse

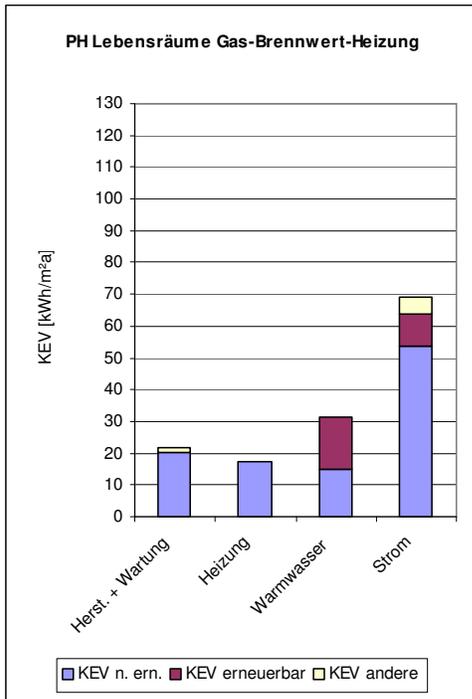
Bei der Gegenüberstellung des EnEV-Hauses und des Passivhauses (jeweils in Massivbauweise) zeigt der KEV über den Betrachtungszeitraum zunächst die großen Einsparungen des Passivhauses im Bereich des Heizenergieaufwandes durch die verbesserte Wärmedämmung. Die Betrachtung des regenerativen Anteils des KEV verdeutlicht auch auf KEV-Ebene die Vorteile des in der Solarsiedlung verwirklichten Einsatzes von PV und Solarthermie zur regenerativen Energieerzeugung.



Neben der Verbesserung des Wärmestandards ist auch die Wahl des Systems für die Raumheizung und Warmwassererzeugung entscheidend. Der folgende Vergleich zeigt den KEV für das EnEV-Haus in Massivbauweise in einer Variante mit Holz-Pellet-Heizung statt Gas-Brennwert-Gerät, sowie das PH in Massivbauweise mit Stromheizung.



Es zeigt sich, dass ein mit Holzpellets beheiztes Haus nach EnEV sogar einen geringeren nicht regenerativen KEV für die Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser verursacht, als ein mit Strom beheiztes Passivhaus. Der Vorteil des niedrigeren Heizwärmebedarfs beim Passivhaus wird dabei durch die primärenergetisch ungünstige Beheizung mit Strom teilweise wieder aufgehoben. Als energetische Nutzung von Reststoffen, wird die thermische Nutzung der Holzpellets hierbei gemäß der GEMIS-Systematik in der Kategorie KEV-andere gebucht. Energieträger ist in diesem Fall der nachwachsende Rohstoff Holz.



Das Haus der Fa. Lebensräume hat mit dem Passivhausstandard, der Wärmeerzeugung mit Gas-Brennwerttechnik sowie dem Einsatz von Solarthermie für die Warmwasserbereitung und photovoltaischer Stromerzeugung bereits einen sehr guten Standard erreicht, der nebenstehend abgebildet ist.

Die Optimierungsschritte der verbesserten Dämmung zur Senkung des Heizenergiebedarfs sowie eine Optimierung der Energieversorgung lassen sich hierbei mit dem Parameter KEV gut darstellen.

Während nach Durchlaufen dieser Optimierungsschritte die Faktoren Raumheizung, Warmwasser und Strombedarf vom Nutzerverhalten abhängig sind, bietet sich für weitere energetische Verbesserungen nun die Erstellungsphase der Gebäude als weiterer in der Planung beeinflussbarer Bereich an. Über die primärenergetische Betrachtung der Nutzungsphase hinaus, kann hier der KEV, im Gegensatz zur Betrachtungsweise der EnEV, auch den Energieverbrauch bei der Herstellung der Gebäude abbilden.

Hier zeigt sich nun deutlich die unbedingte Notwendigkeit der Einbeziehung des KEV für die Herstellung der Gebäude in die Gesamtbetrachtung von energieeffizienten Gebäuden. Liegt der Anteil für die Erstellung im Falle des Massivhauses nach EnEV noch deutlich unter dem Anteil der Heizenergie, so kehren sich diese Verhältnisse im Falle eines Passivhauses sogar um. Nächste Schritte zur Optimierung sollten also an der Erstellungsphase ansetzen. Deutlich wird auch, dass der Mehraufwand für Dämmmaterialien und bessere Fenster vom EnEV Massivhaus zum Massiven Passivhaus nur sehr gering ausfällt, dagegen aber eine deutliche Energieeinsparung im Bereich der Heizwärme verursacht und somit auch ganzheitlich betrachtet eine sinnvolle Maßnahme darstellt. Zu sehen sind auch die Vorteile der Holzkonstruktion des Lebensräume-Typs gegenüber der in der Erstellung energieintensiveren Massivbauweise. Dies ist vor allem der Vermeidung der Werkstoffe Beton und Stahl und dem Einsatz des Werkstoffes Holz zuzuschreiben.

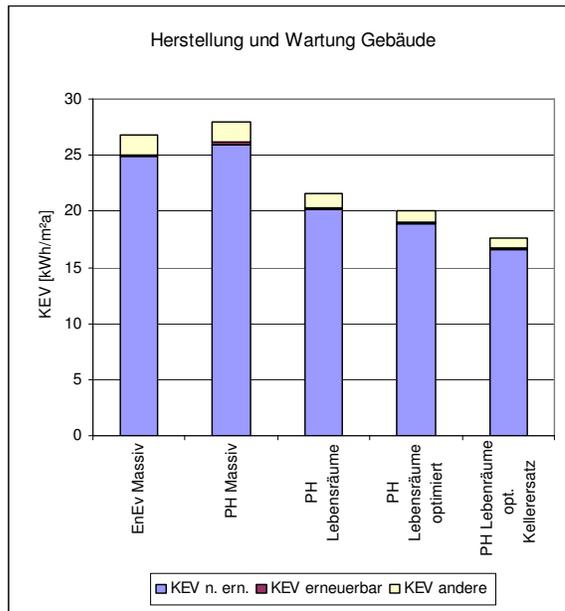
Optimierungspotential Gebäudehülle

Über die bereits festgestellte Verringerung des KEV für die Herstellung des Lebensräume Haustyps gegenüber der Variante Massivhaus hinaus, ergeben sich noch weitere Potentiale, die im weiteren dargestellt werden. Diese betreffen insbesondere den weiteren Ersatz von Beton und Stahl durch Holzkonstruktionen.

Die nachfolgende Graphik zeigt eine Einordnung des Lebensräume-Haustyps gegenüber einer Massivhausvariante als EnEV- und als Passivhaus.

Weiterhin dargestellt ist eine optimierte Version des Lebensräume Typs, bei der die bisher vorgesehenen Spannbeton-Hohldielen für die Konstruktion der Geschossdecken durch eine

Holzdecken-Konstruktion und die in Metallständerbauweise geplanten Innenwände durch eine Holzständerkonstruktion ersetzt wurden.



Eine weitere Variante zeigt, zusätzlich zu den genannten Optimierungsschritten für Zwischendecken und Innenwände, die Auswirkungen eines Ersatzes des Betonkellers durch einen ebenerdigen Kellerersatzraum aus Holz.

Es wird deutlich, dass es im Bereich des KEV für die Erstellung und Wartung der Gebäudehülle bedeutende Einsparungen erzielbar sind. Die Relevanz der Einsparpotentiale bei der Erstellung der Gebäude zeigt sich auch bei der Betrachtung der absoluten Zahlen. Im Vergleich zum dargestellten Passivhaus in Massivbauweise werden bei der Errichtung eines Lebensräume-Hauses bereits 35 MWh Primärenergie eingespart. Dies entspricht 17 Tonnen CO₂. Durch eine weitere Optimierung (Zwischendecken und Innenwände) könnten weitere 8 MWh bzw. 5 Tonnen CO₂ eingespart werden.

Zusammenfassung

- Ebenso wie die primärenergetische Bewertung der EnEV, zeigt der KEV die energetischen Optimierungspotentiale durch eine Verbesserung des Dämmstandards und Auswahl der Anlagentechnik. Zusätzlich zur Betrachtung der Nutzungsphase erlaubt der KEV die Bewertung der energiebedingten Umweltbelastungen der Erstellungsphase und ermöglicht somit eine ganzheitliche energetische Betrachtungsweise.
- Der KEV für die Erstellung der Gebäudehülle liegt beim jetzigen Standard nach EnEV in der Größenordnung des Heizenergiebedarfs während einer 50 jährigen Betrachtungsdauer. Der KEV für die Herstellung der Gebäude hat damit maßgeblichen Anteil am Gesamtenergiebedarf eines Gebäudes.
- Mit sinkendem Heizenergiebedarf (insbesondere beim Passivhaus) steigt die Bedeutung des KEV für die Gebäudehülle. Dieser wird damit zum effektiven Ansatzpunkt für weitere Energiesparmaßnahmen.
- Durch eine geschickte Wahl von Baumaterialien und Geometrie kann der KEV für die Gebäudehülle maßgeblich gesenkt werden.

Beispiel "Gütertransport"

Projektbearbeitung: IFEU – Institut für Energie- und Umweltforschung
Heidelberg GmbH
Dr. Andreas Patyk

Zielsetzung: Demonstration der Anwendbarkeit des KEV¹ im Transportsektor
Entscheidungshilfe für Nutzer und Anbieter von Gütertransportdienstleistungen bei der Transportmittelwahl (LKW, Container-LKW, Containerzug, Rollende Landstraße)

Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen für die Zielgruppen

In den Bahnoptionen werden für den eigentlichen Bahntransport jeweils die gleichen Weglänge wie für die reinen LKW-Optionen angenommen und zusätzlich LKW-Vor- und Nachläufe über je 40 km. Die Optionen sind nach der Weglänge der Haupttransportmittel benannt. Die Beispiele sind so gewählt, dass möglichst illustrative Ergebnisse resultieren; die sich besonders für das Kurzstrecken-Beispiel aufdrängende Frage der ökonomischen Machbarkeit wird hier außer acht gelassen. Transportiert wird 1 t.

¹ KEV: **K**umulierter **E**nergie-**V**erbrauch. Die Summe aller Primärenergien zur Herstellung und Nutzung eines Produkts oder einer Dienstleistung inklusiver aller Vorketten, jedoch *ohne* die *stofflich* genutzten Energieträger wie z.B. Holz für Bauzwecke oder Erdöl für Kunststoffe. Diese stofflichen Aufwendungen werden im KEV nicht verbucht, sondern ihre Masse ist in einer Rohstoffbilanz extra zu erfassen. Ebenso werden Aufwendungen zur Entsorgung nicht in den KEV einbezogen.

Der KEV unterscheidet sich damit vom **k**umulierten **E**nergie-**A**ufwand (**KEA**) nach der VDI-Richtlinie 4600 vor allem darin, dass nur die Energiemengen einbezogen sind, die *energetisch genutzt* („verbraucht“) wurden. Der KEA rechnet dagegen auch die stofflich genutzten Energiemengen mit ein, da diese – ungeachtet ihrer energetischen oder stofflichen Nutzung – „aufgewendet“ werden müssen, und durch ihren Heizwert die gesamten Primärenergieaufwendungen erhöhen. Im KEA sind auch die Entsorgungsaufwände bzw. *Gutschriften für z.B. Energie-rückgewinnung* aus stofflich genutzten Energieträgern (Holz, Kunststoffe...) eingerechnet.

Ergebnisse

- **100 km (Abb. 1):** Mit geringem Vorteil für den "Standard-LKW" (Kasten oder Plane) resultieren fast gleiche KEV für die LKW-Optionen und den Containerzug; die Rollende Landstraße schneidet ungünstiger ab.
- **800 km (Abb. 2):** Der Containerzug ist am günstigsten, gefolgt von der Rollenden Landstraße, mit einem etwa 25 % höheren KEV. Die beiden LKW-Optionen folgen in geringem Abstand.
- Die KEV der Fahrzeugbereitstellung sind sehr ähnlich; die Anteile an den KEV der gesamten Transportdienstleistung liegen bei etwa 15 bis 20 %.

Schlussfolgerungen

Mit zunehmender Transportweite werden die Bahnoptionen günstiger. Für weite Strecken kann zumindest die Option Containerzug als deutlich vorteilhaft betrachtet werden. Für konkrete Relationen sollten entsprechende Abschätzungen durchgeführt werden, die dann auch die realen Vor- und Nachlaufzeiten berücksichtigen.

Der Vergleich von KEV und einigen Emissionen zeigt bis etwa 400 km weitgehende Entkopplung, d.h. unterschiedliche Reihenfolgen der Optionen für den KEV und die Emissionen. Für einen ersten Vergleich der Umweltwirkungen verschiedener Verkehrsmittel kann der KEV als Indikator herangezogen werden. Bei KEV-Differenzen von deutlich weniger als etwa 20% und/oder dem Fokus auf der Verbesserung der lokalen und regionalen Umweltsituation sollten auch für Abschätzungen weitere Indikatoren betrachtet werden.

Abb. 1 KEV: Gütertransport über 100 km (1 t)

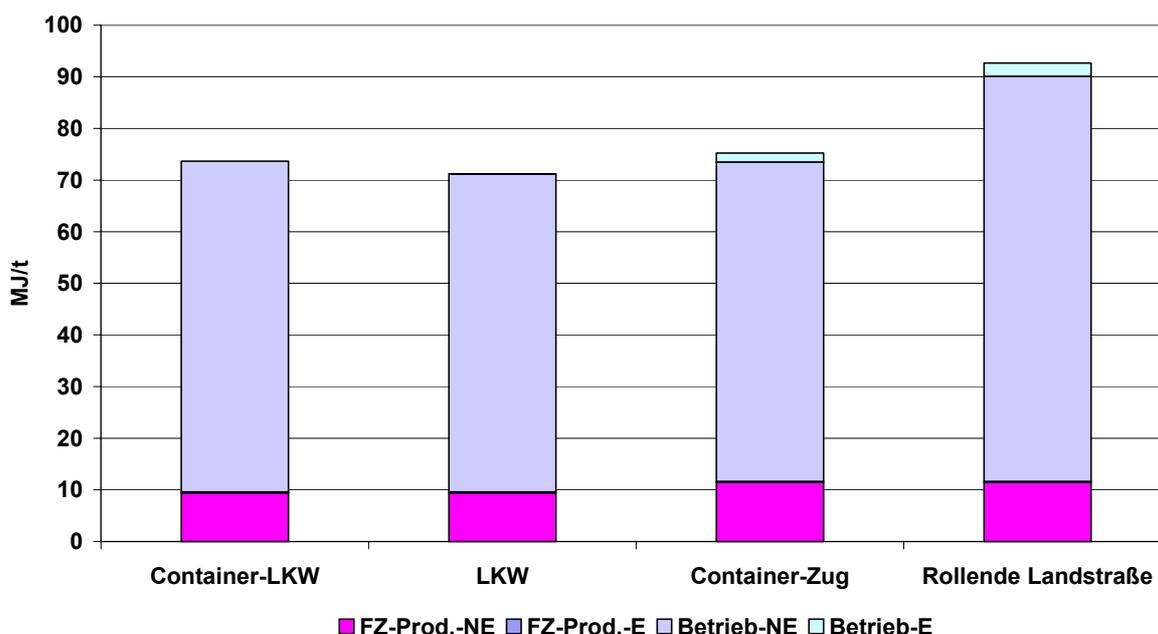
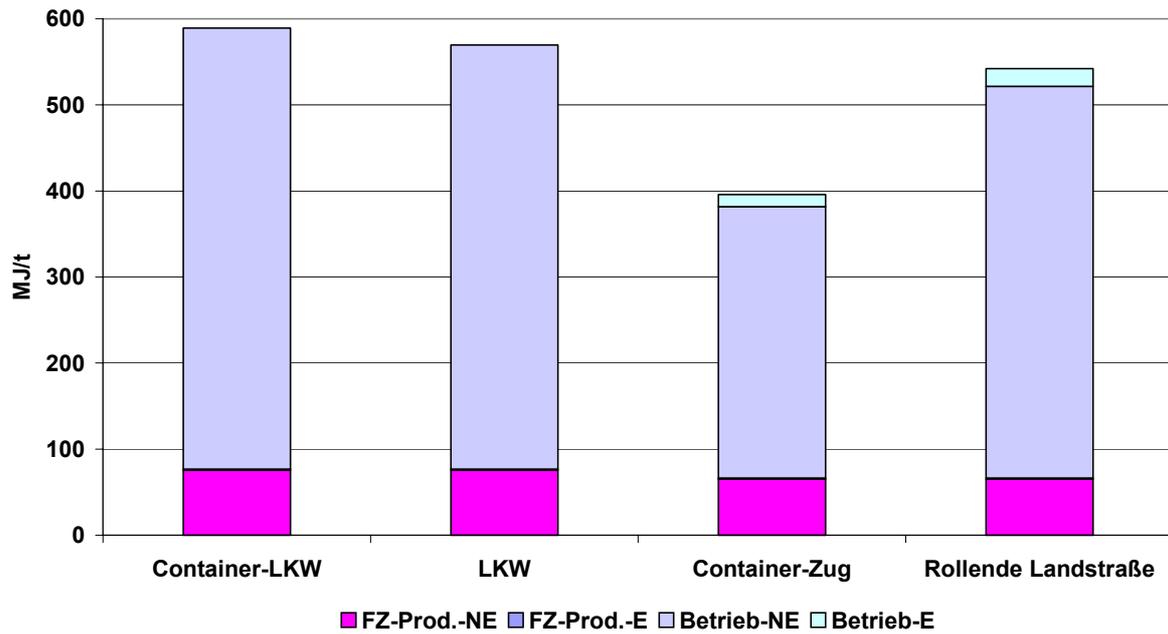


Abb. 2 KEV: Gütertransport über 800 km (1 t)



FZ-Prod.: Fahrzeugproduktion; Betrieb: Nutzung (incl. Kraftstoff- bzw. Strombereitstellung)
 E: erneuerbare Energie; NE: nicht erneuerbare Energie

Beispiel "Landwirtschaft / Nahrungsmittelproduktion: Produktion eines Brotes"

Projektbearbeitung: IFEU – Institut für Energie- und Umweltforschung
Heidelberg GmbH
Dr. Andreas Patyk

Zielsetzung: Demonstration der Anwendbarkeit des KEV in der Lebensmittelproduktion
Entscheidungshilfe für Konsumenten und Produzenten zu den Fragen:

- Öko- oder konventioneller Getreideanbau
- Industrie- oder Haushaltsmühle
- Brot aus der Fabrik, dem Bäckerladen oder Heimproduktion

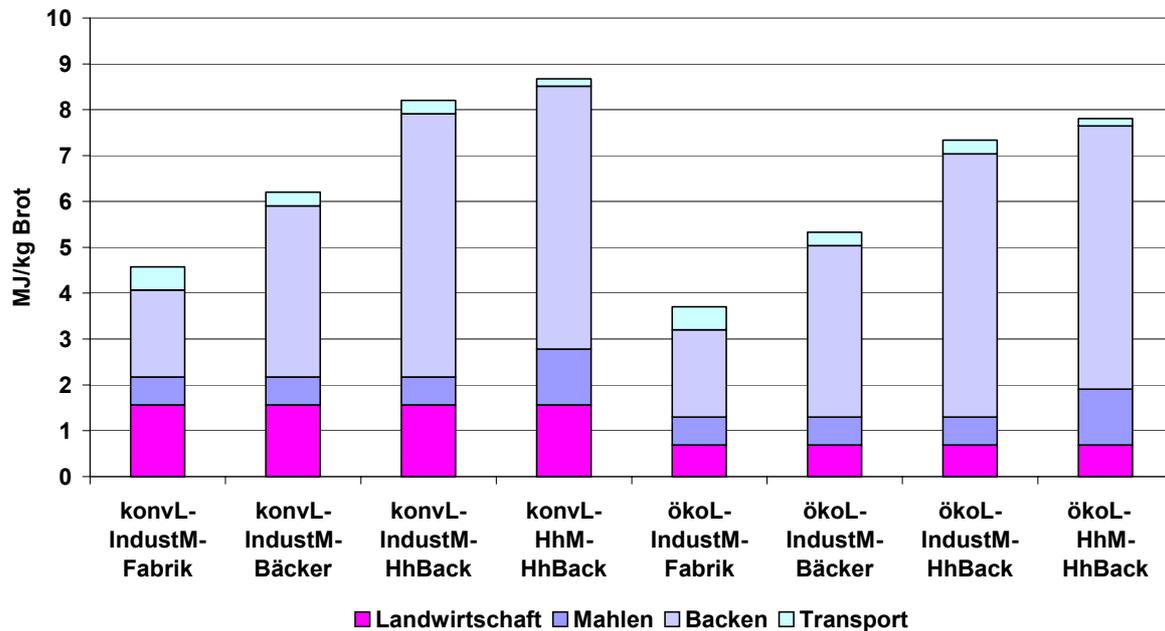
Definition des KEV:

Kumulierter Energie-Verbrauch. Die Summe aller Primärenergien zur Herstellung und Nutzung eines Produkts oder einer Dienstleistung inklusiver aller Vorketten, jedoch ohne die stofflich genutzten Energieträger wie z.B. Holz für Bauzwecke oder Erdöl für Kunststoffe. Diese stofflichen Aufwendungen werden im KEV nicht verbucht, sondern ihre Masse ist in einer Rohstoffbilanz extra zu erfassen. Ebenso werden Aufwendungen zur Entsorgung nicht in den KEV einbezogen.

Der KEV unterscheidet sich damit vom **kumulierten Energie-Aufwand (KEA)** nach der VDI-Richtlinie 4600 vor allem darin, dass nur die Energiemengen einbezogen sind, die energetisch genutzt („verbraucht“) wurden. Der KEA rechnet dagegen auch die stofflich genutzten Energiemengen mit ein, da diese – ungeachtet ihrer energetischen oder stofflichen Nutzung – „aufgewendet“ werden müssen, und durch ihren Heizwert die gesamten Primärenergieaufwendungen erhöhen. Im KEA sind auch die Entsorgungsaufwände bzw. Gutschriften für z.B. Energierückgewinnung aus stofflich genutzten Energieträgern (Holz, Kunststoffe...) eingerechnet.

Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen für die Zielgruppen

KEV: 1 kg Brot (ohne Transport von Getreide, Mehl, Brot durch Endverbraucher)



konvL: konventionelle Landwirtschaft; **ökoL:** ökologische Landwirtschaft
IndustM: Industriemühle; **HhM:** Haushaltsmühle
Fabrik: Brotfabrik; **Bäcker:** Handwerksbäckerei; **HhBack:** Haushaltsbackautomat

Ergebnisse

- Der niedrigste KEV resultiert für die Variante Ökoanbau-Industriemühle-Brotfabrik.
- Der Anteil des Backens liegt in allen Optionen über 50% des KEV.
- KEV des Backens sinkt erwartungsgemäß vom Haushaltsbackautomaten über die Handwerksbäckerei zur Brotfabrik.
- KEV des Ökoanbaus ist – vor allem durch den Verzicht auf den Einsatz von mineralischem Stickstoffdünger – deutlich geringer als der des konventionellen.
- Industrielle Prozesse (Mahlen und Backen) sind mit größeren Transportaufwendungen bis zur Ladentheke verbunden.
- Der KEV des Transports von Getreide, Mehl bzw. Brot von der Ladentheke nach Hause kann den KEV der gesamten Bereitstellung bis zur Ladentheke in allen Optionen um ein Mehrfaches übertreffen (siehe unten).

Schlussfolgerungen

Die überwiegend gesellschaftspolitisch als wünschenswerte betrachtete Förderung kleiner Betriebe (hier: Handwerk) steht hier im Konflikt mit der Tendenz des KEV. Die Wahl der Bezugsquelle von Brot setzt damit eine wertbezogene Entscheidung voraus, für die natürlich das gesellschaftliche Argument schwerer wiegen kann. Entsprechendes gilt für die Heimbäckerei, die nicht nur unter ökonomischen bzw. Ernährungs-, sondern z.B. auch Freizeit- und Hobbyaspekten zu betrachten ist. Produzenten-bezogen lässt sich ableiten, dass vor allem für das Bäckerhandwerk die Untersuchung und Erschließung der Potentiale betrieblicher

Energiesparmaßnahmen, z.B. im Rahmen eines Projektes wie "Bäcker/Konditoren und Umwelt" von Bäckerinnung, BUND und Stadtverwaltung Heidelberg, sinnvoll ist.

Ein durch die Mehrzahl der Verbraucher im jeweiligen Einzelfall fast beliebig beeinflussbarer Faktor ist der Transport von Getreide, Mehl bzw. Brot von der Ladentheke nach Hause. Durchschnittliche Verhältnisse sind allerdings kaum belastbar abschätzbar, weshalb diese Transporte nicht in die Abbildung mit aufgenommen sind. Zwei Beispiele sollen jedoch den Effekt der Verbraucherentscheidung bei der Wahl des Transportmittels illustrieren:

1. je 2 km hin und zurück mit dem PKW zum alleinigen Zweck 1 kg Brot zu erwerben
2. je 1 km hin und zurück mit dem Fahrrad zum Großeinkauf von 10 kg Lebensmitteln, davon 1 kg Brot, mit gewichtsbezogener Anrechnung

Für (1) ergibt sich ein KEV des Transports von 18,6 MJ/kg Brot, für (2) von 0,01 MJ/kg Brot. Der KEV des PKW-Transportes ist damit mehr als viermal so groß wie der der Bereitstellung von "Fabrikbrot aus konventionellem Getreide", der des Fahrradtransportes vernachlässigbar klein im Vergleich zu allen Produktionsvarianten. Damit ergibt sich, dass – auch bei weniger extremen Annahmen zur Einkaufsfahrt – die KEV-Differenzen zwischen Optionen, die sich nur in einem Schritt unterscheiden, etwa Fabrik-Bäckerladen (bei gleicher Getreide- und Mehlproduktion) leicht kompensiert werden können.

Der Vergleich von KEV und einigen Emissionen zeigt zum Teil Entkopplung, d.h. unterschiedliche Reihenfolgen der Optionen für den KEV und die Emissionen: Während für CO₂ eine sehr gute Korrelation zum KEV besteht, zeigen die Ergebnisse für z.B. NOX und Partikel andere Muster. Insofern ist die Eignung des KEV als alleiniger Indikator für umweltbezogene Grobabschätzungen in der Nahrungsmittelproduktion beschränkt. Er ist umso aussagekräftiger, je höher der Ressourcenschutz durch Einsparung fossiler Energieträger und die Minderung des Treibhauseffekts im Vergleich zu anderen Umweltaspekten bewertet werden.

KEV als Bewertungsindikator für nachhaltiges Bauen und Wohnen sowie für nachhaltigen Konsum

Projektbearbeitung: Öko-Institut e.V., Büro Darmstadt
Uwe R. Fritsche

Zielsetzung: Vergleich des KEV¹ von zwei Stadtteilen inklusive Aufwendungen für Verkehr und Konsumgüter

Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen für die Zielgruppen

Die Wirkungen von neuen Stadtteilen in Neuruppin und Freiburg wurden für alle Lebensbereiche erfasst:

- Errichtung bzw. Sanieren von Gebäuden und Infrastruktur, Heizen, Warmwasser und Strombedarf sowie Wasserversorgung
- Warenkonsum (Lebensmittel, Möbeln, Papier, Textilien), Abfall- sowie Abwasserentsorgung
- Personen- und Güterverkehr

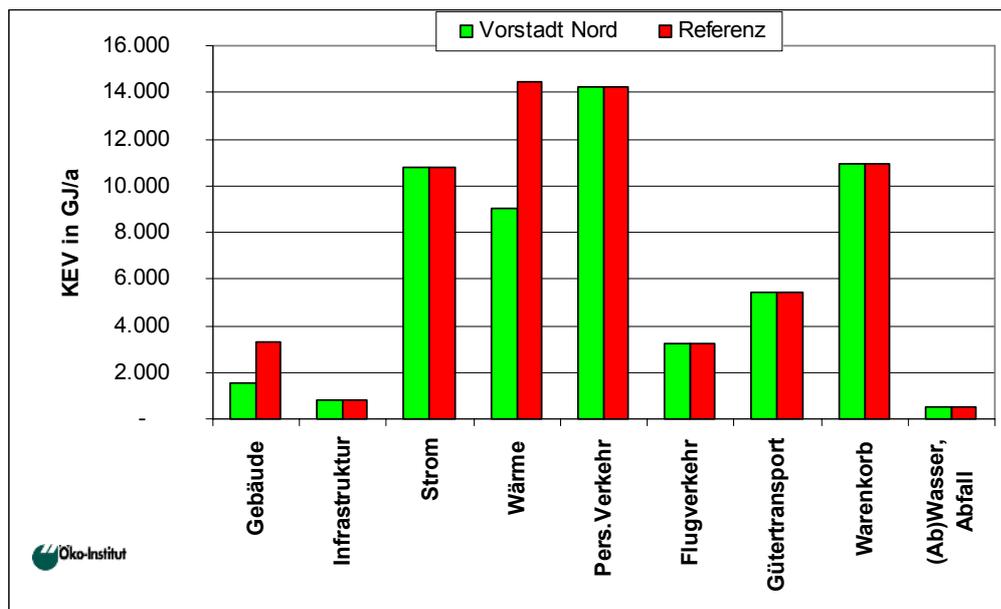
Die Analyse bildet die in den Stadtteilen getroffenen *Maßnahmen* (z.B. Wärmeschutz und Passivhäuser, Verkehrskonzept usw.) einzeln ab und bestimmt ihren Erfolg durch den Vergleich mit einem *Referenzstadtteil*, in dem keine Maßnahmen zur Nachhaltigkeit umgesetzt wurden. Bezugsgröße ist also jeweils der *gesamte Stadtteil*.

¹ Definition des KEV:

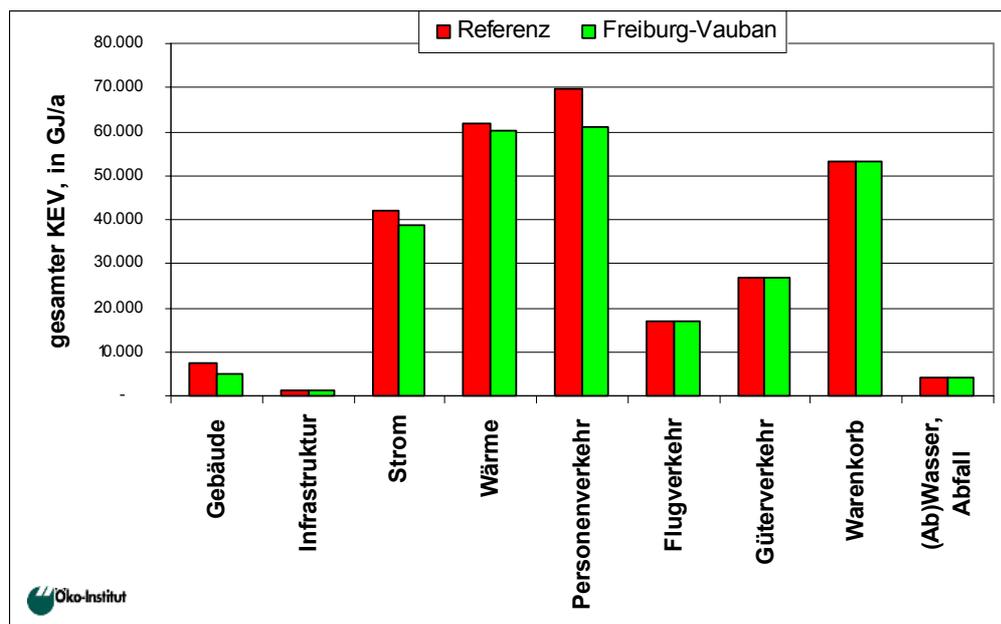
Kumulierter Energie-Verbrauch. Die Summe aller Primärenergien zur Herstellung und Nutzung eines Produkts oder einer Dienstleistung inklusiver aller Vorketten, jedoch ohne die stofflich genutzten Energieträger wie z.B. Holz für Bauzwecke oder Erdöl für Kunststoffe. Diese stofflichen Aufwendungen werden im KEV nicht verbucht, sondern ihre Masse ist in einer Rohstoffbilanz extra zu erfassen. Ebenso werden Aufwendungen zur Entsorgung nicht in den KEV einbezogen.

Der KEV unterscheidet sich damit vom kumulierten Energie-Aufwand (KEA) nach der VDI-Richtlinie 4600 vor allem darin, dass nur die Energiemengen einbezogen sind, die energetisch genutzt („verbraucht“) wurden. Der KEA rechnet dagegen auch die stofflich genutzten Energiemengen mit ein, da diese – ungeachtet ihrer energetischen oder stofflichen Nutzung – „aufgewendet“ werden müssen, und durch ihren Heizwert die gesamten Primärenergieaufwendungen erhöhen. Im KEA sind auch die Entsorgungsaufwände bzw. Gutschriften für z.B. Energierückgewinnung aus stofflich genutzten Energieträgern (Holz, Kunststoffe...) eingerechnet.

Ergebnisse: Stadtteil Vorstadt-Nord in Neuruppin



Ergebnisse: Stadtteil Vauban in Freiburg

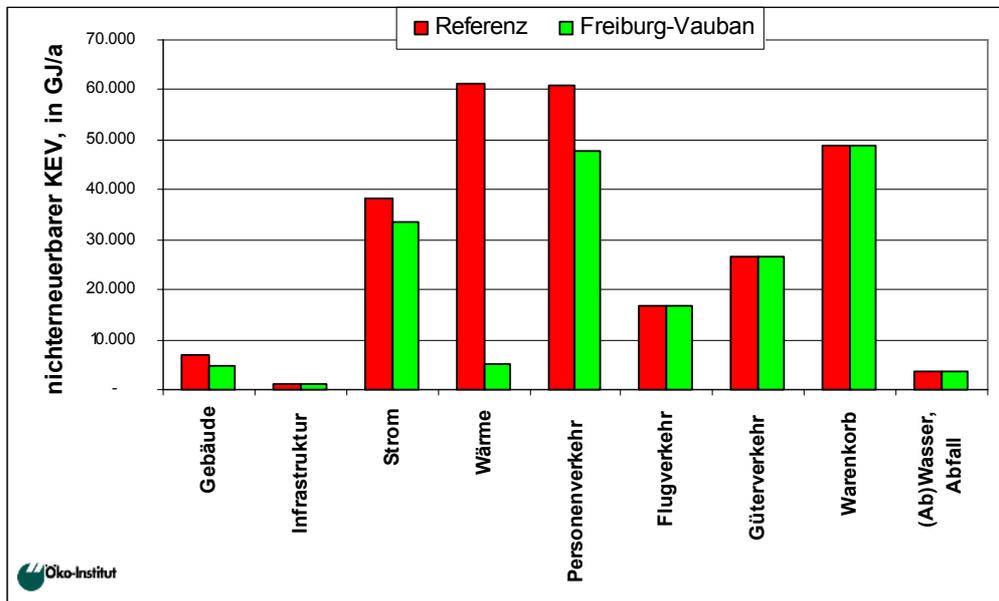


In beiden Stadtteilen spielen für den KEV die Herstellung der Gebäude sowie die Infrastruktur und die Entsorgung nur eine geringe Rolle, während die Energie (Strom und Wärme), der Verkehr (Personen- und Gütertransport) sowie auch der Warenkonsum

Darüber hinaus wurde am Beispiel der Wärmeversorgung in Freiburg-Vauban gezeigt, dass der KEV als Summe *aller* Primärenergien die durch Maßnahmen erzielbaren Wirkungen z.T. drastisch unterschätzt: Im Stadtteil Freiburg-Vauban erfolgt die Wärmeversorgung vor allem durch ein Holz-Heizkraftwerk sowie Solarkollektoren (für Warmwasser), deren KEV von *erneuerbarer* Energie dominiert wird - und ein hoher Anteil dieser

Energieträger ist ja erwünscht. Wird nur der *nichternewerbare* Anteil des KEV bilanziert, so zeigt sich das folgende Bild:

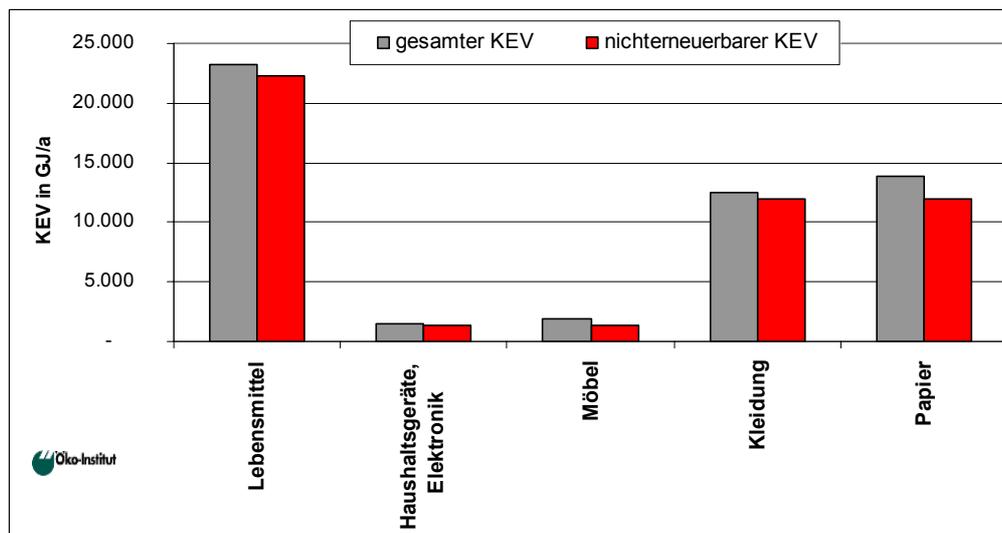
Ergebnisse: Stadtteil Vauban in Freiburg, nur nichterneuerbarer KEV-Anteil



Der nichterneuerbare KEV für die Wärme kann durch die Maßnahmen im Stadtteil gegenüber der Referenz um fast 90% reduziert werden - es ist also wichtig, bei der Bewertung von Maßnahmen nicht nur den gesamten KEV, sondern auch den nichterneuerbaren KEV explizit zu analysieren und auszuweisen.

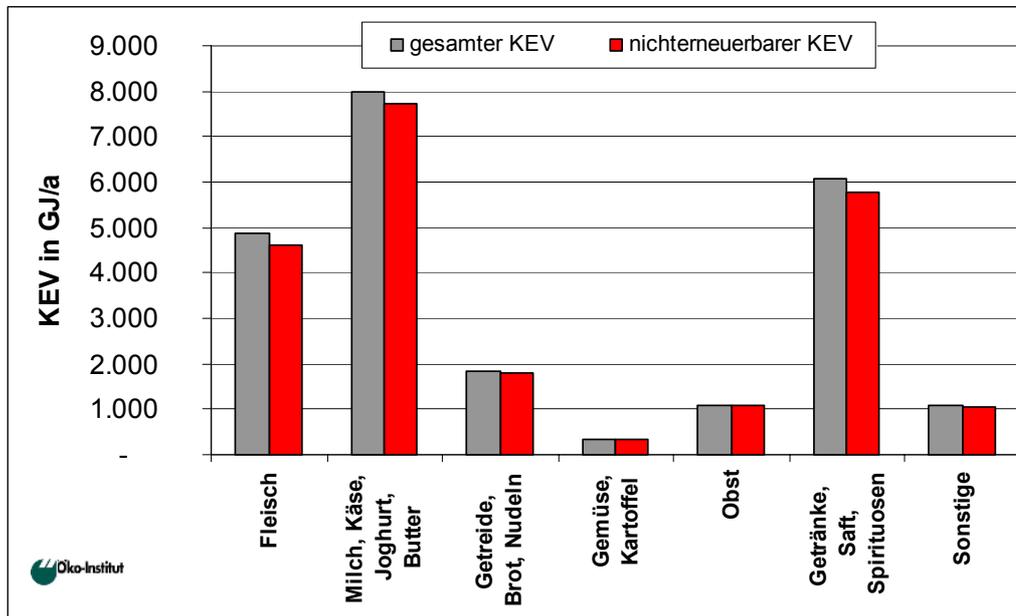
Die Ergebnisse belegen die hohe *Verursacherrelevanz des Warenkorbs*, dessen Bedeutung in der generellen Diskussion um Nachhaltigkeit oft unterschätzt wird. Beim Warenkonsum spielen vor allem Lebensmittel eine große Rolle:

Ergebnisse: KEV des Warenkorbs (Beispiel Freiburg-Vauban) – Rolle der Produkte



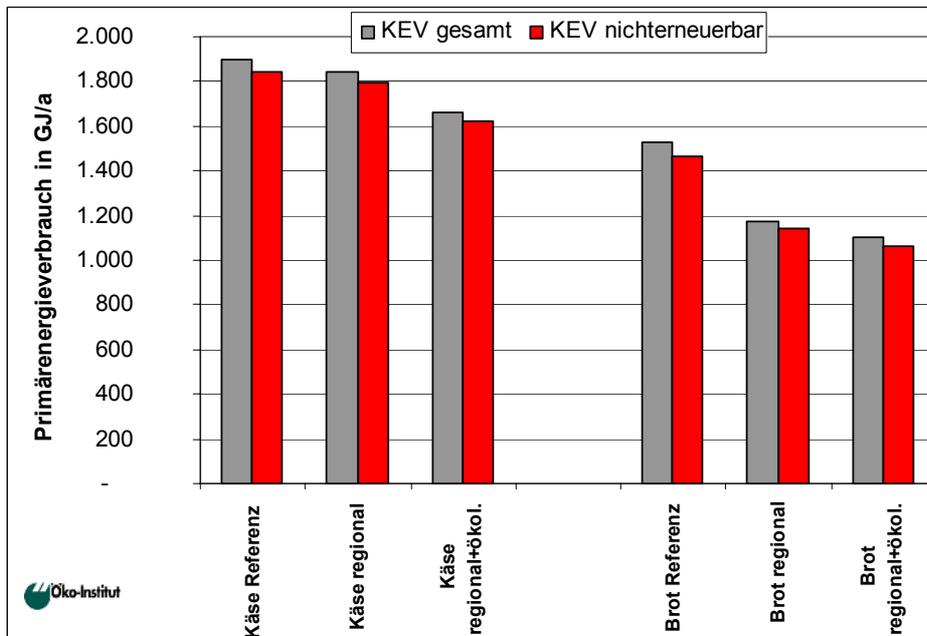
Im Forschungsprojekt wurde näher betrachtet, welche einzelnen Lebensmittel bzw. Lebensmittelgruppen das Ergebnis bestimmen. Dies zeigt das folgende Bild im Einzelnen.

Ergebnisse: KEV des Lebensmittelkonsums, Beispiel Stadtteil Freiburg-Vauban



Durch die Regionalisierung der Produktion und ökologische Landwirtschaft kann – bei gleicher Nachfrage – der Energieaufwand deutlich gesenkt werden – hier sind also wichtige Ansatzpunkte für künftiges Handeln in Richtung Nachhaltigkeit.

Ergebnisse: Wirkung der Regionalisierung bzw. Ökologisierung bei Lebensmitteln für den Stadtteil Freiburg-Vauban



UBA KEV 2

**Anwendung und Kommunikation des
Kumulierten Energieverbrauchs (KEV) als
praktikabler umweltbezogener Bewertungs-
und Entscheidungsindikator für
energieintensive Produkte und Dienstleistungen**

UBA KEV 2

**Anwendung und Kommunikation des Kumulierten
Energieverbrauchs (KEV) als praktikabler
umweltbezogener Bewertungs- und
Entscheidungsindikator für
energieintensive Produkte und Dienstleistungen**

Auftraggeber:	Umweltbundesamt
FfE-Auftragsnummer:	060.4
Bearbeiter/in:	A. Duschl W. Mauch (FfE / Projektleitung) T. Boermans (ecofys) U. Fritsche (ökoinstitut) A. Patyk (ifeu)
Fertigstellung:	August 2003

Impressum:

Endbericht
der Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V.
(FfE)
in Zusammenarbeit mit ecofys GmbH, ifeu, TU
Karlsruhe und dem öko-Institut

zum Projekt:

UBA KEV 2

Anwendung und Kommunikation des
Kumulierten Energieverbrauchs (KEV) als
praktikabler umweltbezogener Bewertungs- und
Entscheidungsindikator für
energieintensive Produkte und Dienstleistungen

Auftraggeber:

Umweltbundesamt

Kontakt:

Am Blütenanger 71
80995 München
Tel.: +49 (0) 89 158121-0
Fax: +49 (0) 89 158121-10
E-Mail: info@ffe.de
Internet: www.ffe.de

Wissenschaftlicher Leiter:

Prof. Dr.-Ing. U. Wagner

Geschäftsführer:

Dr.-Ing. W. Mauch

Inhalt

1	Einleitung	1
2	Methodische Vereinbarungen.....	1
3	Beispielanwendungen.....	2
3.1	Gebäudesanierung, Bauen/Wohnen/Konsumieren (öko-Institut).....	3
3.2	Vergleich Glühlampe / Kompaktleuchtstofflampe (FfE)	17
3.3	Vergleich von Waschmaschinen mit / ohne Warmwasseranschluss (FfE).....	21
3.4	Diskussion von verschiedenen Wegen der Hausmüllentsorgung (FfE)	27
3.5	KEV als Entscheidungsparameter in Solarsiedlungen (Ecofys).....	31
3.6	Landwirtschaft (ifeu).....	59
3.7	Verkehr (ifeu).....	63
4	Abbildungsverzeichnis.....	73
5	Tabellenverzeichnis.....	76

Technische Dokumentation zu den Beispielanwendungen

1 Einleitung

Das Ergebnis des Projektes soll nach einhelliger Meinung der Projektbeteiligten kein klassischer wissenschaftlicher Bericht sein, sondern – dem Geist des Projektes entsprechend – eine Sammlung von Veröffentlichungen und Medienvorschlägen zum Thema. Dadurch wird der KEV einer breiten Öffentlichkeit vermittelt, und die im Projekt investierte Arbeitskraft wird zielführend ausgerichtet.

Ergänzend hierzu fasst der folgende Kurzbericht die Projektergebnisse.

2 Methodische Vereinbarungen

Der kumulierte Energie-Verbrauch (**KEV**) wurde im Projekt wie folgt definiert:

Der KEV umfasst die Summe aller Primärenergien, die zur Herstellung und Nutzung eines Produkts oder einer Dienstleistung inklusiver aller Vorketten genutzt werden, jedoch *ohne* die *stofflich* genutzten Energieträger wie z.B. Holz für Bauzwecke oder Erdöl für Kunststoffe. Diese stofflichen Aufwendungen werden im KEV nicht verbucht, sondern ihre Masse ist in einer Rohstoffbilanz extra zu erfassen. Ebenso werden Aufwendungen zur Entsorgung nicht in den KEV einbezogen.

Der KEV unterscheidet sich damit vom kumulierten Energie-Aufwand (**KEA**) nach der VDI-Richtlinie 4600 vor allem darin, dass nur die Energiemengen einbezogen sind, die *energetisch genutzt* („verbraucht“) wurden. Der KEA rechnet dagegen auch die stofflich genutzten Energiemengen mit ein, da diese – ungeachtet ihrer energetischen oder stofflichen Nutzung – gefördert bzw. bereitgestellt („aufgewendet“) werden müssen, und durch ihren Heizwert die gesamten Primärenergieaufwendungen erhöhen. Im KEA sind auch die Entsorgungsaufwände enthalten, wobei hier auch *Gutschriften für z.B. Energierückgewinnung* aus stofflich genutzten Energieträgern (Holz, Kunststoffe...) eingerechnet werden.

Somit ist der KEV ein grobes Maß für die energiebedingte Umweltbelastung von Produkten und Dienstleistungen. Der KEA dagegen dient als Maß für die Inanspruchnahme von Ressourcen/Energieinhalten für Produkte und Dienstleistungen. Fragen zum Technikvergleich bei gegebenem knappem Primärenergieangebot sind demzufolge mit dem KEA zu klären.

Materialien zum methodischen Vorgehen bei der KEV-Bildung wurden auch in einem Vorgänger-Projekt dieser Studie entwickelt.

Weiterführende Informationen zum KEV/KEA sind im Internet zu finden, unter anderem unter <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-daten/daten/baum/> sowie auf den Internet-Seiten der beteiligten Projektpartner.

3 Beispielanwendungen

Die folgenden Berichtsteile wurden durch die jeweiligen Bearbeiter der Beispielanwendungen verfasst.

Die Ergebnisse basieren auf unterschiedlichen Studien. Dabei kann es aufgrund unterschiedlicher Randbedingungen der Untersuchungen bei gleichen Waren oder Dienstleistungen zu variierenden Ergebnissen kommen.

3.1 Praxisbeispiele zur Anwendung des KEV im Bereich „Bauen und Wohnen“ (Öko-Institut)

3.1.1 KEV als Entscheidungsparameter bei der nachhaltigen Sanierung von Wohngebäuden

Gebäude sind ein Schwerpunkt des Energiebedarfs in Deutschland - insbesondere ihre Nutzung als Wohngebäude erfordert im heutigen Bestand einen erheblicher Energieeinsatz zur Raumwärmebereitstellung.

Im Rahmen des bmbf-geförderten Verbundforschungsprojekts *Nachhaltiges Sanieren im Bestand* wurden zusammen mit dem Praxispartner Wohnungsgesellschaft Nassauische Heimstätte drei bestehende Siedlungen mit insgesamt rund 800 Wohnungen als Modellsfälle ausgewählt, die als Geschosswohnungsbau der 50er und 60er Jahre dringenden Sanierungsbedarf aufwiesen. Es wurden integrierte nachhaltige Lösungen entwickelt, wobei der KEV neben Treibhausgasen und Säurebildnern als wichtiger Indikator im Bereich Ökologie angewendet wurde (vgl. ISOE/IÖW/ÖKO 2002).

Diese Maßnahmen wurden im Management des Wohnungsunternehmens intensiv diskutiert, die Planung und Vorbereitung für die ersten Bauabschnitte wurden abgeschlossen und die Modernisierung der Wohnungen begonnen. Ende 2003 werden alle baulichen Sanierungsmaßnahmen in den Siedlungen abgeschlossen sein. Dieses Praxisbeispiel zeigt, wie KEV für strategische Entscheidungen von Unternehmen im Kontext von Ökonomie und Sozialem als ein wichtiger „Ökologiefaktor“ eingesetzt werden kann.

Ergebnisse

Auf Basis eines integrierten Maßnahmenbündels zur Sanierung erfolgten im Projekt Wirkungsabschätzung hinsichtlich der sozialen, ökologischen und ökonomischen Wirkungen. Sie dienten der interdisziplinären Kommunikation im Projektverbund sowie der Kommunikation mit dem Praxispartner und sollte innerhalb eines iterativen Diskurses die allseitige Akzeptanz bzw. Verträglichkeit des Maßnahmenbündels absichern.

Da die technisch-baulichen sowie konzeptionellen Anforderungen der Mieter/innen und des Vermieters grundsätzlich durch das Maßnahmenbündel abgedeckt werden, konnte die Wirkungsabschätzung auf die ökologische Abschätzung und die Kostenbetrachtung abstellen.

Für die ökologische Wirkungsabschätzung wurde die Methode der ökologischen Bilanzierung (Stoffstromanalyse bzw. Ökobilanz) angewandt. Aufgrund der Erfahrungen im Bereich „Bauen und Wohnen“ wurden als relevante Umweltindikatoren der Kumulierte Energie-Verbrauch (KEV), die Treibhausgase und das Versauerungspotenzial der Luftschadstoffe benannt. Der eingeschränkte Satz an Indikatoren erlaubte auch eine flexible und transparente Diskussion der vielen Varianten.

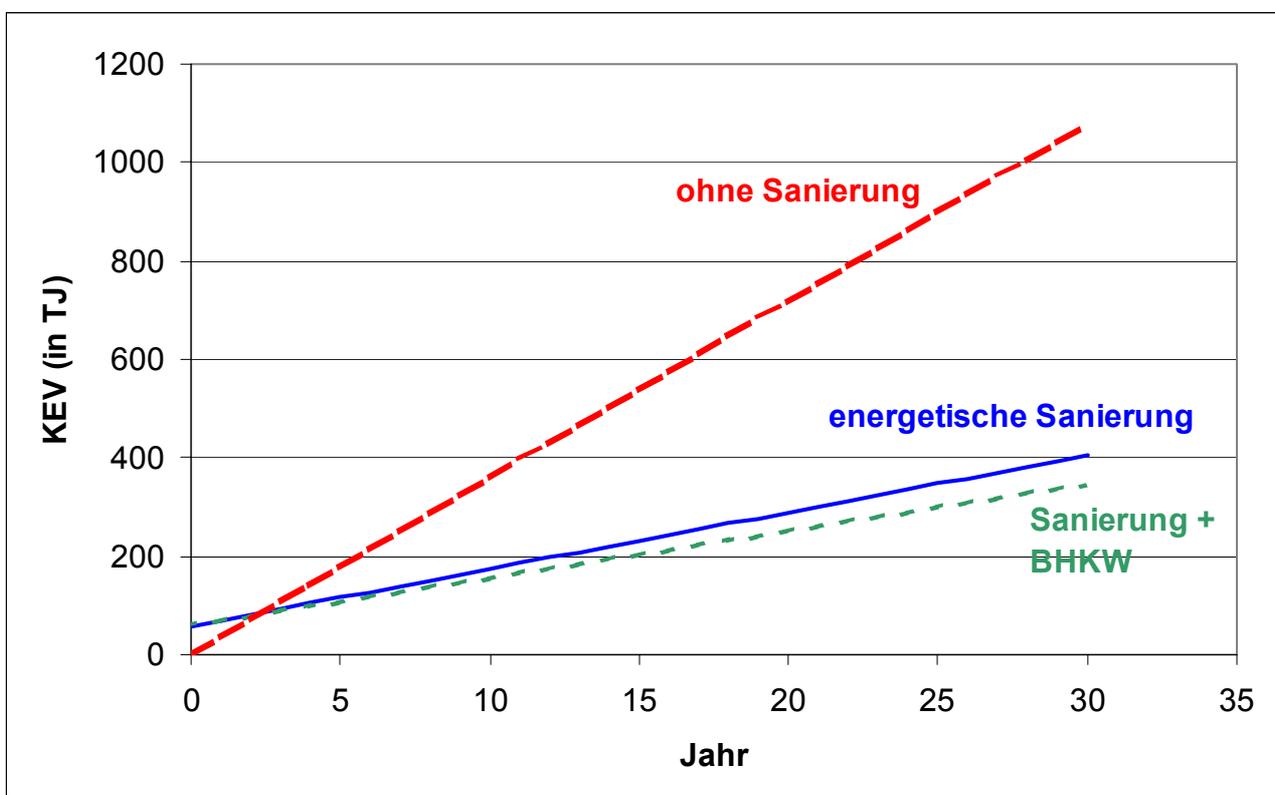
Für die geplanten baulichen Maßnahmen wurde der KEV für die gesamte Siedlung bilanziert. Es zeigt sich, dass die energetische Sanierungsmaßnahmen einen Anteil von ca. 50 % an den Gesamtaufwendungen aufweisen. Boden- und Elektrosanierung tragen weitere 20 % bei.

Zur Beurteilung des Maßnahmenbündels müssen jedoch die Einsparungen für Heizung und Warmwasser mitbetrachtet werden. Daher ist in die Berechnung neben dem Bauaufwand auch der Aufwand für den Betrieb, d.h. für Heizung und Warmwasser, einbezogen worden. Die Darstellung erfolgt als Zeitreihen für:

- Fortschreibung der “Ist”-Situation: “ohne Sanierung”
- Umsetzung des Maßnahmenbündels: „energetische Sanierung“
- Umsetzung des Maßnahmenbündels inkl. Nahwärme aus Kraft-Wärme-Kopplung auf Basis Erdgas: “Sanierung + BHKW”

Das Ergebnis zeigt das folgende Bild.

Bild 1 KEV zur energetischen Sanierung der Hans-Böckler-Siedlung (baulicher Aufwand und Betrieb)



Quelle: ISOE/IÖR/ÖKO (2001)

Die Zeitreihen wurden über einen Zeitraum von 30 Jahren, also einem typischen Sanierungszyklus geführt. In der Variante “ohne Sanierung” wurde der KEV auf Basis der bisherigen Verbrauchswerte und dem jetzigen Heizungsbestand bilanziert.

Es ergibt sich ein linear ansteigender kumulierter Verbrauch über den Zeitraum.

Durch die Umsetzung des Maßnahmenbündels wird Energie zur baulichen Ausstattung (Wärmedämmung, Heizungsanlage etc.) aufgewandt, die in den ersten drei Jahren zu einem höherem KEV führt als im Fall ohne Sanierung. In den folgenden Jahren ist der KEV aufgrund der Wirkung der Wärmedämmung und der Heizungssanierung jedoch deutlich geringer und der Anstieg deutlich flacher als in der Variante “ohne Sanierung”.

Über einen Zeitraum von 30 Jahren beträgt der Gesamtenergieverbrauch (gemessen als KEV) für die Variante mit Umsetzung des Maßnahmenbündels nur ca. 37 % gegenüber der Variante „ohne Sanierung“. Anders ausgedrückt: Die erzielte Einsparung entspricht knapp einer Verringerung des KEV um Faktor 3.

Diese deutliche Reduktion setzt sich aus den Einsparungen für den Raumwärmebedarf und der erhöhten Effizienz der Heizungs- und Warmwasserbereitung sowie der Umstellung auf Gas zusammen. Eine weitere Erhöhung der Effizienz und damit eine weitere Reduktion des KEV kann durch ein BHKW erzielt werden.

In der Bewertung stellte sich – auch unter Einbeziehung der Kosten – das Maßnahmenbündel „energetische Sanierung“ als das günstigste heraus. Dieses Projektergebnis wurde vom Praxispartner mittlerweile auch in die Umsetzung gebracht.

3.1.2 KEV als Bewertungsindikator für nachhaltiges Bauen und Wohnen sowie für nachhaltigen Konsum

Stadtteile, die nach den Wünschen künftiger BewohnerInnen, nach ökologischen Kriterien und mit Blick auf die Nutzung regionaler Rohstoffe geplant sind, versprechen wichtige Beiträge zur nachhaltigen Entwicklung. Lokales Engagement im Stadtteil bietet auch wichtige Ansatzpunkte für ein regional orientiertes Wirtschaften.

Das BMBF-geförderte Projekt *„Nachhaltige Stadtteile auf innerstädtischen Konversionsflächen: Stoffstromanalyse als Bewertungsinstrument“*¹ untersuchte zwei Beispielstadtteile, die sehr verschiedene Schritte zur Nachhaltigkeit umsetzten:

- in Freiburg (Breisgau) das Gebiet der ehemaligen Vauban-Kaserne und
- in Neuruppin (Brandenburg) die Vorstadt-Nord.

Beide Stadtteile wurden auf innerstädtischen militärischen Konversionsflächen errichtet. In Freiburg-Vauban wurde der größte Teil der Kasernengebäude durch Neubauten ersetzt, während in der Neuruppiner Vorstadt-Nord die Sanierung der Militärgebäude im Mittelpunkt stand.

Die Ziele des Modellprojekts waren, ökologische und ökonomische Wirkungen der Stadtteile insgesamt – insbesondere auch auf die Region - zu ermitteln, das Zusammenwirken der Akteure und sozialen Aspekte der Nachhaltigkeit zu untersuchen und die Ergebnisse mit den Praxispartnern vor Ort zu diskutieren.

Neben einer umfassenden Analyse der Stoffströme beim Bauen und im Verkehr wurde *auch der Warenkonsum* analysiert. Dabei wurden auch Effekte einer möglichen *Regionalisierung* der betrachteten Stoffströme ermittelt.

Um zu untersuchen, welche Wirkungen von den neuen Stadtteilen ausgehen, wurden praktisch alle Lebensbereiche (und damit relevante *Bedürfnisfelder*) erfasst:

- Errichtung von Gebäuden und Infrastruktur, Heizen, Warmwasser und Strombedarf sowie Wasserversorgung (*Wohnen*)

¹ Forschungspartner des Öko-Instituts im Projekt waren *complan* (Gesellschaft für Kommunalberatung, Planung und Standortentwicklung) und *IPU* (Initiative Psychologie im Umweltschutz e.V.), Praxispartner in den Stadtteilen die *Gesellschaft für Konversion im Ruppiner Land mbH* (Neuruppin) und das *Forum Vauban e.V.* (Freiburg). Zwischen- und Endbericht, weitere Informationen, Materialien und Pressereaktionen sind im Internet verfügbar unter www.oeko.de/service/cities/.

- Konsum von Lebensmitteln, Möbeln, Papier, Textilien, Abfall- sowie Abwasserentsorgung (*Leben*)
- Personen- und Güterverkehr (*Mobilität*)

Eine methodische Besonderheit liegt im Einsatz der *Stoffstromanalyse* – sie ermittelt, welche Stoffströme und Umweltbelastungen durch die Nachfrage nach Produkten und Dienstleistungen in den Stadtteilen ausgelöst werden. Die Analyse erfolgt über *Prozessketten*, in denen alle Verteilungs- und Herstellungsaufwendungen bis zur Quelle (Ressourcenentnahme) zurückverfolgt werden².

Damit können sowohl die lokalen Effekte – etwa des Verkehrs oder des Heizens – wie auch regionale und globale Wirkungen (z.B. beim Erdgasimport oder bei der Verwendung von Bauholz aus Indonesien) differenziert ermittelt werden.

Die Stoffstromanalyse bildet die in den Stadtteilen getroffenen *Maßnahmen* (Wärmeschutz und Passivhäuser, Verkehrskonzept usw.) einzeln ab und bestimmt ihren Erfolg durch den Vergleich mit einem hypothetischen *Referenzstadtteil*, in dem keine besonderen Maßnahmen zur Nachhaltigkeit umgesetzt wurden. Bezugsgröße ist also jeweils der *gesamte Stadtteil*.

Als Ergebnis können die erreichten Effekte (Erfolge) im Hinblick auf relevante Umweltindikatoren und auf die Kosten sehr genau quantifiziert werden, und es lassen sich auch Szenarien über künftige Maßnahmen erstellen und bewerten.

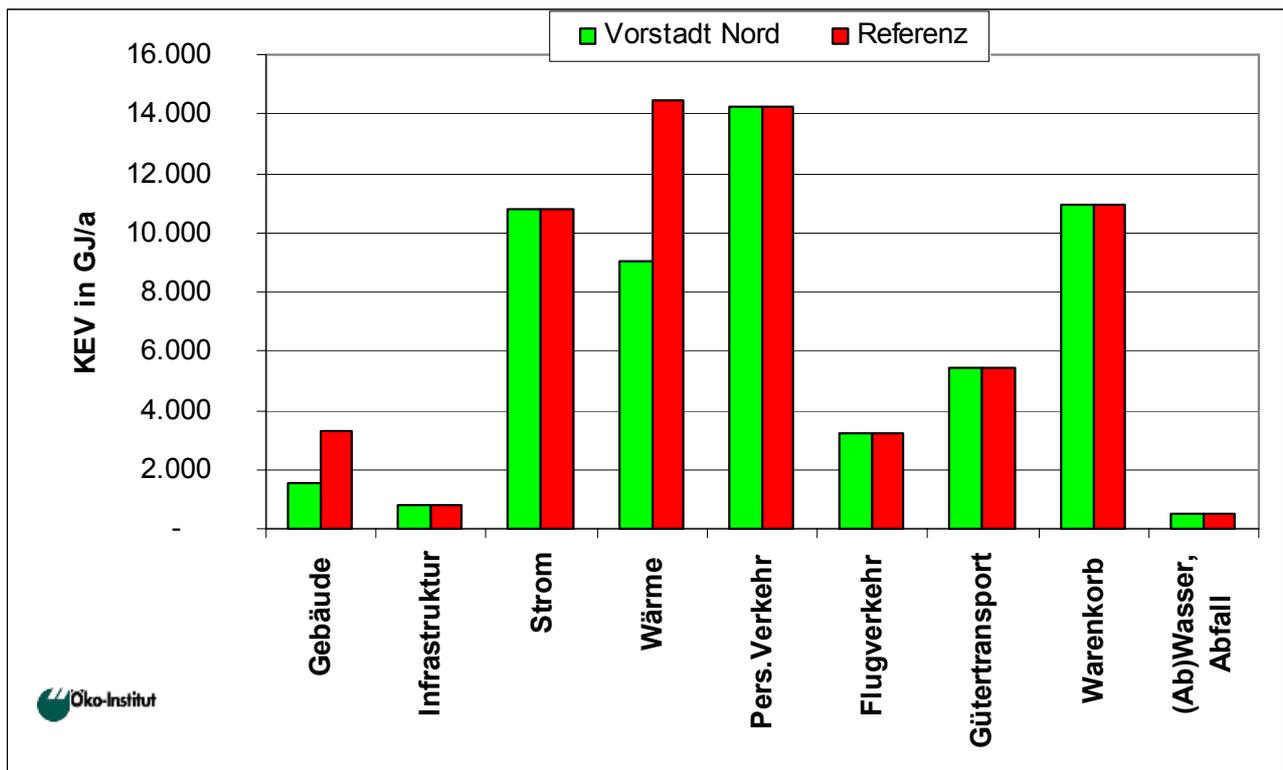
Ergebnisse

Der KEV wurde – in Verbindung mit CO₂- und SO₂-Äquivalenten - als Indikator zur Bewertung der lokalen Maßnahmen in den Stadtteilen eingesetzt, mit den Praxispartnern des Projekts diskutiert und öffentlich bei Veranstaltungen in den Stadtteilen vorgestellt.

Aus der Vielzahl von Projektergebnissen – neben dem KEV auch Daten zu Luftschadstoffen, Reststoffen, Rohstoffbilanz und Kosten – zeigen die folgenden Bilder den kumulierten Energieverbrauch in den Stadtteilen Neuruppin-Vorstadt Nord und Freiburg-Vauban auf.

² Vgl. zur Stoffstromanalyse näher ÖKO 1996 + 1999.

Bild 2 KEV-Ergebnisse für den Stadtteil Neuruppin-Vorstadt Nord im Vergleich zum Referenz-Stadtteil, differenziert nach Verursachergruppen



Quelle: ÖKO (2002)

Im Stadtteil Neuruppin-Vorstadt Nord wurden als Maßnahmen nur die *Sanierung* der vorhandenen Militärgebäude statt Neubau und der Einsatz von Nahwärme aus einem Erdgas-BHKW (anstelle von Gas-Zentralheizungen) untersucht – in den Bereichen Infrastruktur, Strom, Verkehr und Warenkorb sowie Ver-/Entsorgung wurden in diesem Stadtteil keine lokalen Minderungsmaßnahmen durchgeführt. Bei der Sanierung der Gebäude wird ein Niedrigenergie-Standard eingehalten, bei den im Referenz-Stadtteil angesetzten Neubauten wird dies ebenfalls unterstellt.

Wie das Bild zeigt, führt die *Erhaltung und Sanierung* der Gebäude zu Einsparungen von rund 37% gegenüber ihres Abrisses und Neubaus von Mehrfamilienhäusern, die im Referenz-Stadtteil stattfinden würden.

Die Nahwärmeversorgung mit einem Gas-BHKW führt gegenüber der Referenz (Erdgas-Zentralheizungen für die Neubauten) zu Einsparungen von rund 54%.

Bezogen auf den Kumulierten Energie-Verbrauch des gesamten Stadtteils (alle Bereiche) führen diese Maßnahmen zusammen zu einer Einsparung von knapp 20%.

Im Stadtteil Freiburg-Vauban wurden dagegen deutlich mehr Maßnahmen ergriffen:

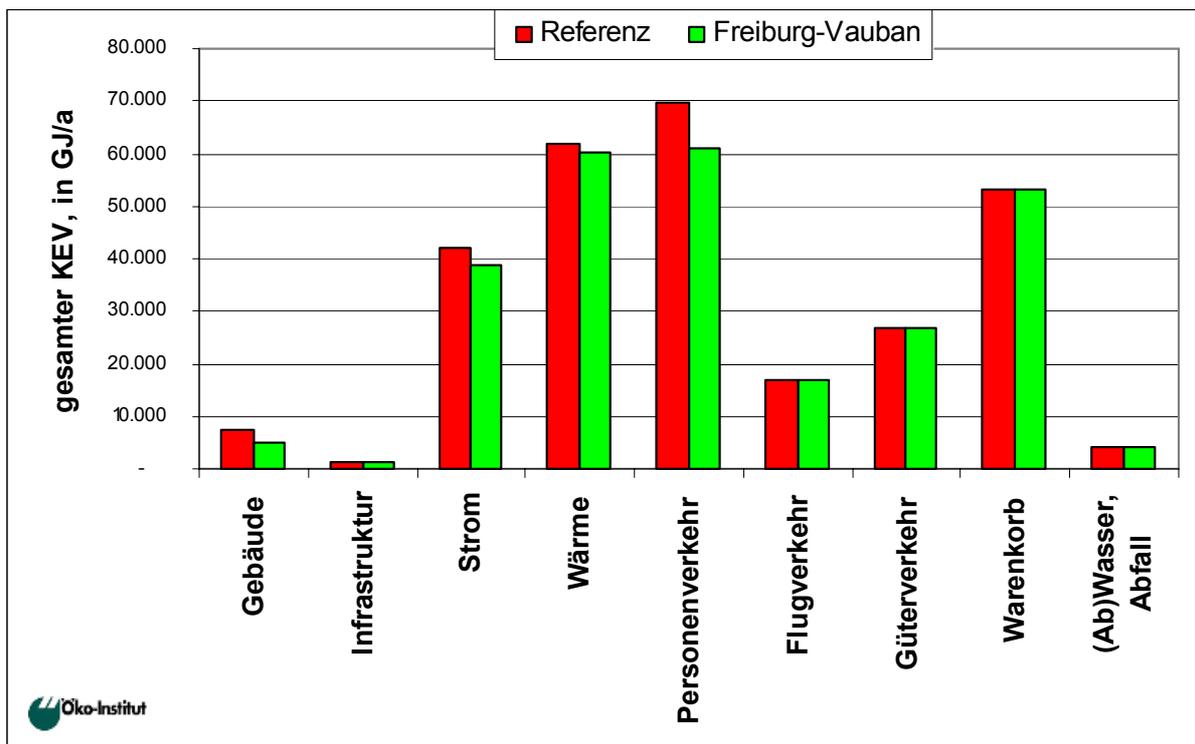
Im Stoffstrombereich *Gebäude* wurden die Maßnahmen „Renovierung ehemaliger Kasernengebäude statt Neubau“ sowie „verstärkter Einsatz von Holz beim Wohnungsneubau“ ergriffen, während im Bereich *Strom* besonders energiesparende Haushaltsgeräte gefördert und Photovoltaik-Anlagen auf Gebäudedächern errichtet wurden.

Im Bereich *Wärme* wurde ein höherer Energiestandard bei Neubauten im Vergleich zum Bundesdurchschnitt (generell Niedrigenergie-Standard, zusätzliche 10% Passivhäuser), die Nutzung von Solarwärme zur Warmwassererzeugung sowie Nahwärme aus einem Holz-BHKW umgesetzt.

Im Bereich *Verkehr* haben auto- und stellplatzfreie Haushalte, die im Rahmen des Verkehrskonzepts realisiert wurden, Auswirkungen auf den lokalen Personenverkehr, da weniger Pkw genutzt und so der modal split positiv verändert wird – bis zu 50% der Wege im Stadtteil werden dadurch zu Fuß bzw. per Fahrrad erledigt.

Die Auswirkung dieser Maßnahmen gegenüber dem Referenzstadtteil zeigt das folgende Bild.

Bild 3 KEV-Ergebnisse zum Stadtteil Freiburg-Vauban im Vergleich zum Referenz-Stadtteil, differenziert nach Verursachergruppen

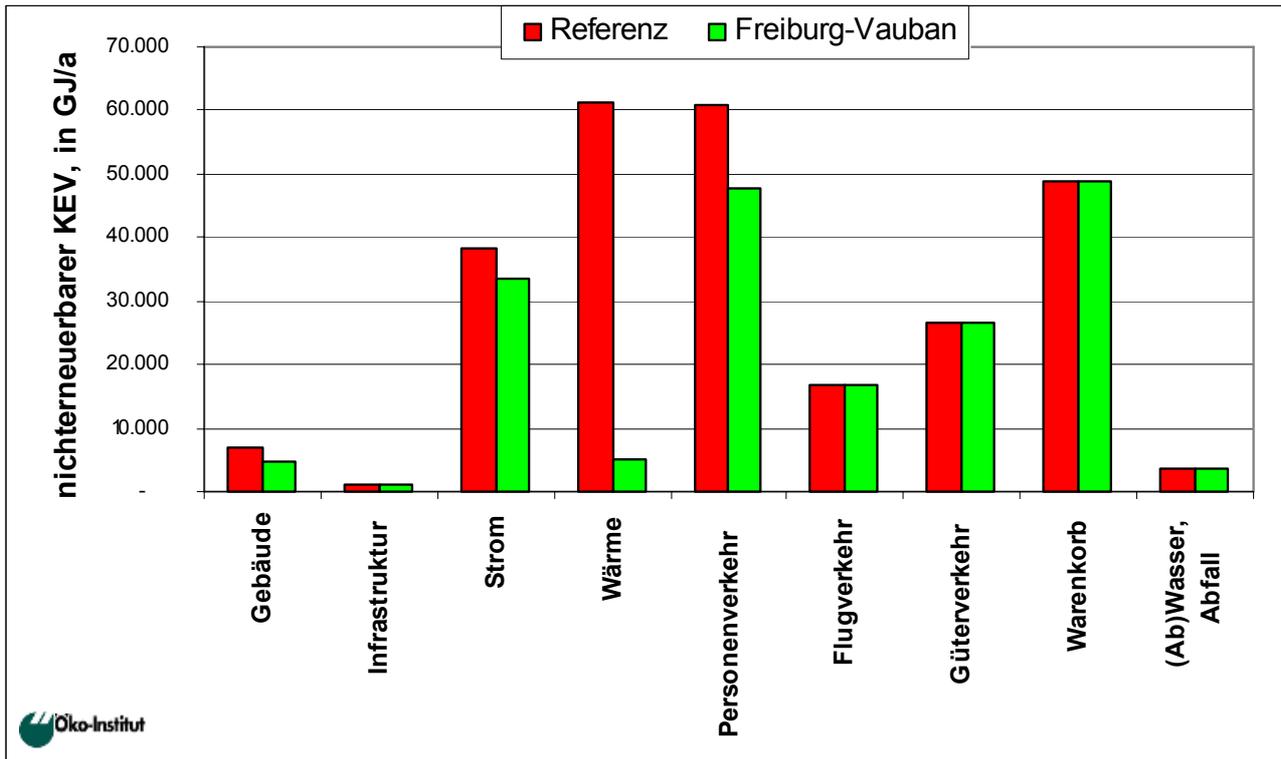


Quelle: ÖKO (2002)

Beim *gesamten* kumulierten Energie-Verbrauch konnte durch die Maßnahmen im Stadtteil Freiburg-Vauban eine Einsparung bei der Herstellung und Errichtung der Gebäude, bei Strom und Wärme sowie beim Personenverkehr erzielt werden, die insgesamt gegenüber dem Referenzstadtteil rund 6% beträgt.

Das Ergebnis „KEV“ stellt in der Summe jedoch *nur einen Teil* der bei Primärenergie notwendigen Analyse dar – im folgenden Bild soll daher der nichterneuerbare KEV dargestellt werden, bei dem der jeweilige Anteil der *erneuerbaren* Energien abgezogen wurde.

Bild 4 Ergebnisse zum Stadtteil Freiburg-Vauban, nichterneuerbarer KEV-Anteil



Quelle: ÖKO (2002)

Offenkundig konnten beim Bau der Gebäude, beim Strom- und vor allem Wärmebedarf sowie beim Personenverkehr beachtlich *höhere* Einsparungen an *nichterneuerbarer* Primärenergie erzielt werden als beim KEV insgesamt, während beim Güter- und Flugverkehr sowie beim Warenkorb, der Infrastruktur und der Ver-/Entsorgung aufgrund fehlender lokaler Maßnahmen keine Minderung möglich war³. Die gesamte Einsparung gegenüber dem Referenzstadtteil beträgt beim *nichterneuerbaren* KEV rund 29%, also gut das *fünffache* der Einsparung beim gesamten KEV.

Die absolut und relativ größte Einsparung beim nichterneuerbaren KEV bringt ein kleines Heizkraftwerk, das regionales Restholz aus der Forst- und Holzwirtschaft einsetzt – durch diese Maßnahme wird zusammen mit Solarwärme bei der Warmwassererzeugung und Niedrigenergie- sowie Passivhaus-Standards beim Wärmebedarf der Gebäude gegenüber der Wärmeversorgung im Referenzstadtteil über 90% des nichterneuerbaren Primärenergieverbrauchs eingespart. Dieses Maßnahmenbündel macht rund $\frac{3}{4}$ der gesamten Einsparung aus.

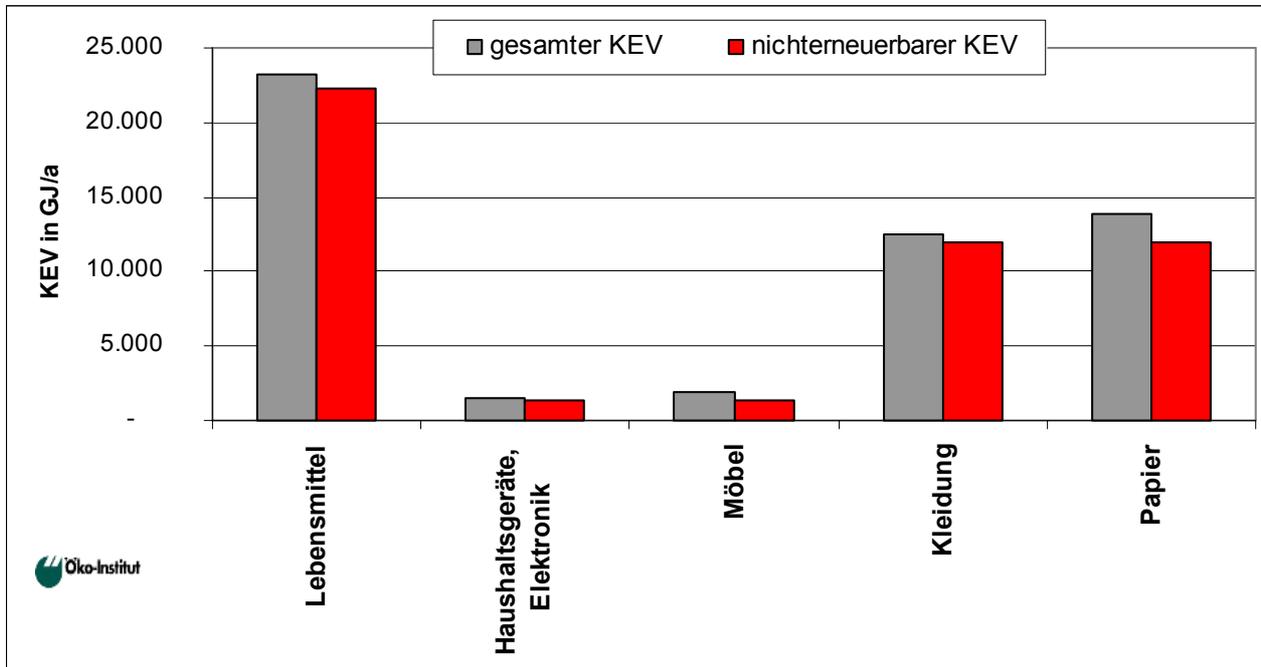
Es ist also wichtig, bei der Bewertung von Maßnahmen nicht nur den gesamten KEV, sondern auch den nichterneuerbaren KEV explizit zu analysieren und auszuweisen.

Die o.g. Ergebnisse zeigen die großen Beiträge durch den *Warenkorb* – dies ist der Konsum von Lebensmitteln, Textilien, Möbeln usw. Hier haben die Stadtteile noch keine Maßnahmen ergriffen, wollen sich aber künftig dieser Herausforderung stellen.

³ Das gilt im übrigen nicht nur in Bezug auf den nichterneuerbaren KEV-Anteil, sondern – hier nicht gezeigt – auch bei den Treibhausgasen und den Kosten (vgl. dazu näher ÖKO 2002).

Die Analyse ergab zudem, dass im Warenkorb der im Stadtteil konsumierten Produkte die *Lebensmittel* und der Kleidungs- sowie Papierbedarf besonders relevant sind, wie das folgende Bild aufzeigt.

Bild 5 KEV durch den Warenkorb (Beispiel Freiburg-Vauban) – Rolle der Produkte



Quelle: ÖKO (2002), eigene Berechnungen

Das obige Bild zeigt sehr deutlich, dass beim Warenkorb der Unterschied zwischen dem KEV insgesamt und nichterneuerbarem KEV-Anteil relativ gering ist. Dieses Ergebnis beruht auf der hier verwendeten Definition des kumulierten Energie-Verbrauchs (KEV), bei dem *stofflich* genutzte Energieträger nicht mit im KEV bilanziert werden.

Die in den Nahrungsmitteln enthaltene Energie ist Biomasse (aus Anbau, Tierfütterung usw.), die zu Ernährungszwecken genutzt wird – hier als „stofflich“ verbucht.

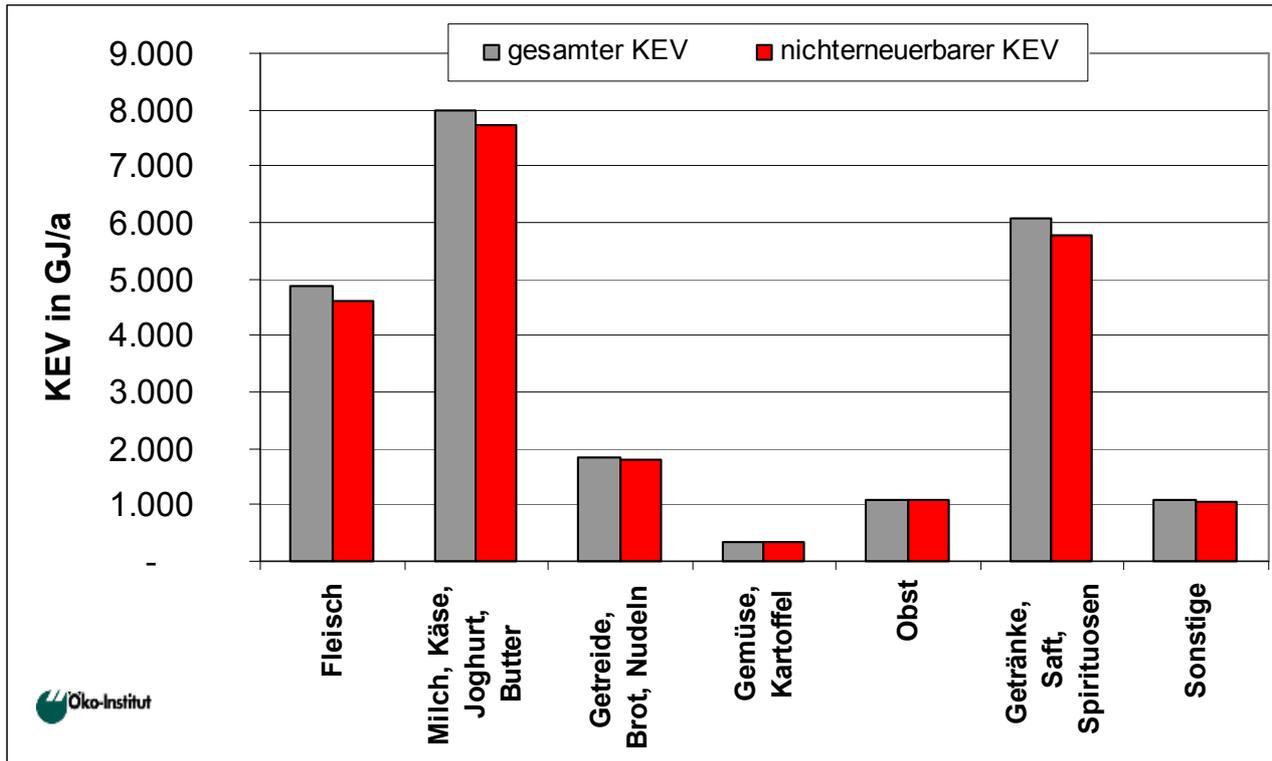
Im hier dargestellten KEV sind daher nur die technischen Energieaufwendungen für Anbau, Ernte, Verarbeitung und Transport enthalten, *nicht* die Biomasse-Energie (also die „Kalorien“) der Nahrungsmittel selbst.

Wie sieht es aber bei den Lebensmitteln aus ?

Im Forschungsprojekt wurde näher betrachtet, welche einzelnen Lebensmittel bzw. Lebensmittelgruppen das Ergebnis bestimmen.

Dies zeigt das folgende Bild im Einzelnen.

Bild 6 Primärenergieverbrauch durch Lebensmittel, Beispiel Stadtteil Freiburg-Vauban



Quelle: ÖKO (2002), eigene Berechnungen

Bezogen auf den gesamten Nahrungsmittelverbrauch *im Stadtteil Freiburg-Vauban* haben Milchprodukte den höchsten Primärenergieverbrauch, gefolgt von Getränken und Spirituosen sowie Fleisch.

Der Verzehr von Getreideprodukten, Obst und Sonstige (Pflanzenöle und -fette, Zucker) ist demgegenüber wenig aufwändig, und Gemüse + Kartoffel verursachen den geringsten Primärenergiebedarf, jeweils bezogen auf die statistischen Mengen des Jahresverbrauchs im Stadtteil.

Die im Stadtteil verbrauchten Mengen allein an Milch und ihren Verarbeitungsprodukten ergeben zusammen etwa 8 TJ Primärenergieverbrauch pro Jahr – und dies ist mehr als der jährliche KEV für die Herstellung *aller Gebäude* im Stadtteil.

Diese Ergebnisse fanden großes Interesse bei der Präsentation und Diskussion in den Stadtteilen, zumal sie in sehr ähnlicher Form und Rangfolge auch für die Emissionen von Luftschadstoffen und Treibhausgasen gelten.

Die unerwartet große Bedeutung der Lebensmittel führte im Projekt auch zu der Frage, wie die Umweltbelastung „ohne Hungern“ verringert werden könnte. Ansatzpunkte könnten im Bereich der Lebensmittel – neben Änderungen der Ernährungsgewohnheiten – die Ökologisierung der Landwirtschaft und die Regionalisierung der Produktion darstellen.

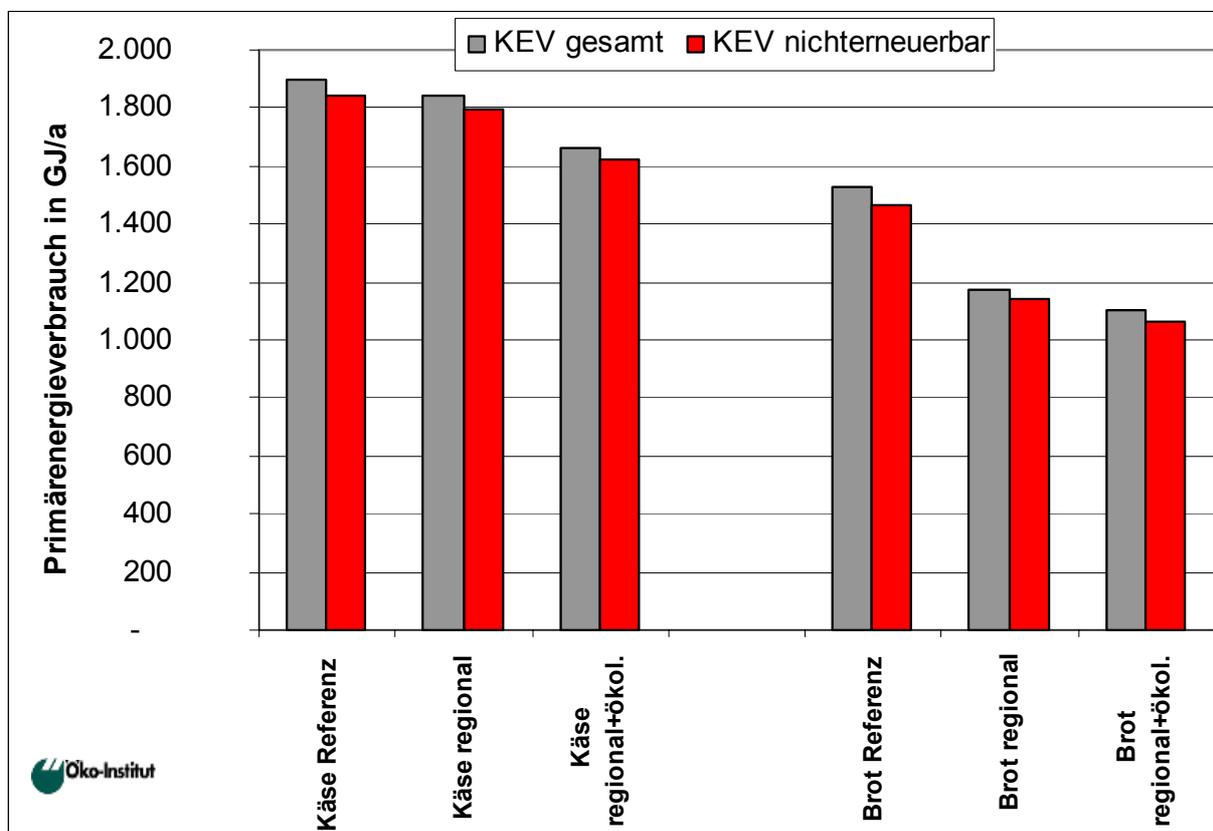
Während die weitgehende Veränderung der Ernährungsgewohnheiten (Nachfragereduktion tierischer Produkte) eine radikalen Änderung der Lebensweise erfordert und daher zum nur aufwändig beeinflussbaren Thema der „Suffizienz“ gehört, sind *Art und Ort* der Erzeugung und Verteilung auch ohne tiefgreifende Änderung des Konsumverhaltens nachhaltiger gestaltbar.

Das Projekt untersuchte daher exemplarisch, welche Effekte eine *Regionalisierung* bei Nahrungsmitteln (Milch, Käse, Brot) sowie Baustoffproduktion (Kalksandstein, Holz) für den Stadtteil Freiburg-Vauban hätte.

Hierzu wurden *Szenarien zur Regionalisierung* entwickelt, in denen die Nachfrage im Stadtteil als Referenz einmal „wie üblich“ (Bundesmix inkl. Importe) gedeckt wird und andererseits durch das Angebot regional erzeugter Produkte. Ergänzend wurde für die Lebensmittel auch analysiert, welchen Effekt die *ökologische Erzeugung zusätzlich* zur Regionalisierung hat.

Dabei zeigte sich, dass die Regionalisierung nur den untersuchten Lebensmitteln eine – wenn z.T. auch nur geringe – Einsparung beim KEV bringt, während eine mit der Regionalisierung *gekoppelte Ökologisierung* der Agrarproduktion stets deutliche Einsparungen bringt:

Bild 7 Beispiele zur Wirkung von Regionalisierung bzw. Ökologisierung bei Lebensmitteln für den Stadtteil Freiburg-Vauban

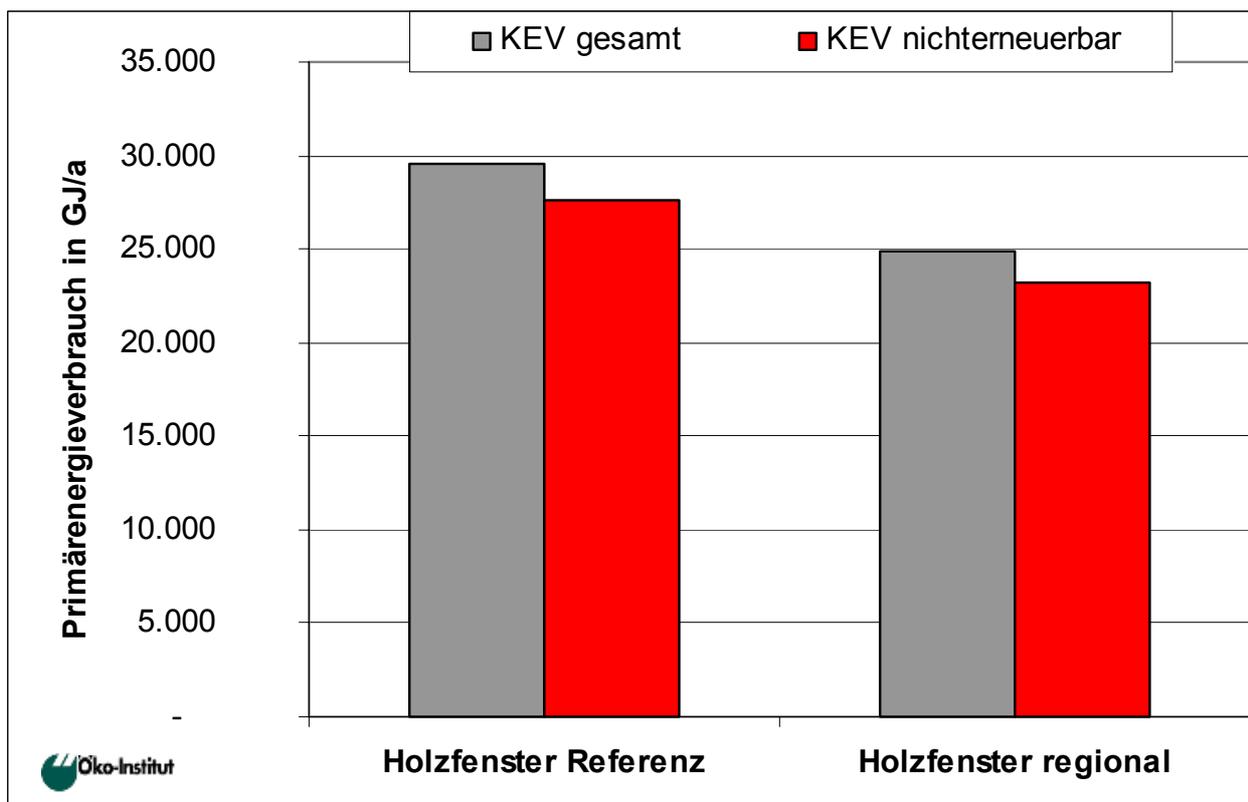


Quelle: ÖKO (2002), eigene Berechnungen

Neben Lebensmitteln können auch *regionale Baustoffe* eine wichtige Rolle für nachhaltiges regionales Wirtschaften auf Stadtteilebene spielen.

Das untersuchte Beispiel „Holzfenster“ zeigt, dass die Regionalisierung der Baustoffherstellung eine relativ große Einsparung an KEV bewirken könnte, da hierbei die regionale Forstwirtschaft Importe von Holz aus z.B. Indonesien und den USA ersetzt und so u.a. Transporte substituiert (vgl. Bild unten).

Bild 8 Beispiel zur Wirkung der Regionalisierung bei der Baustoffherstellung (Holzfenster) für den Stadtteil Freiburg-Vauban



Quelle: ÖKO (2002), eigene Berechnungen

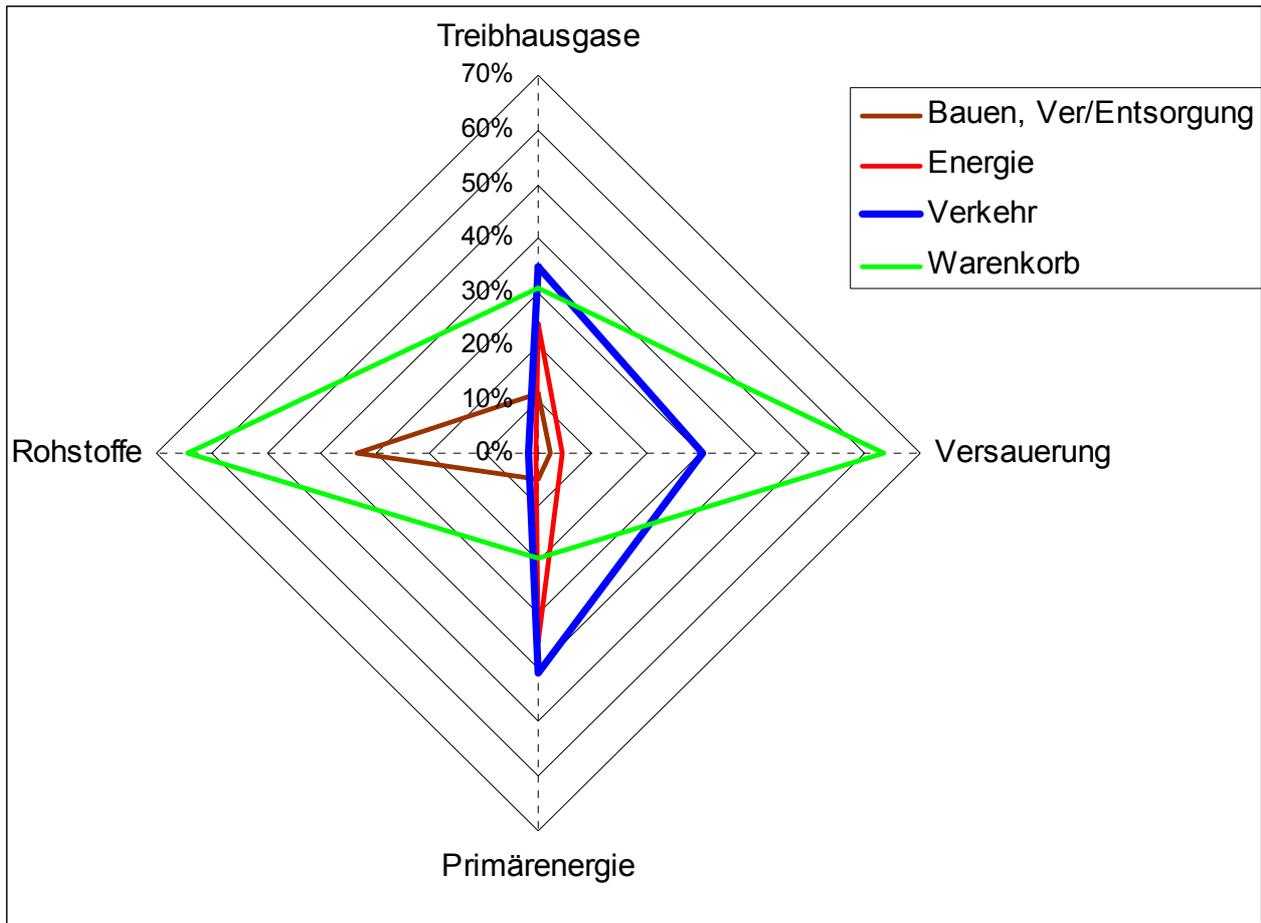
Schlussfolgerungen

Der KEV bietet einen ersten „Schnellüberblick“ (Grobcheck) zur Umweltbilanz auch bei komplexeren Fragestellungen und der Bewertung von Maßnahmen zur Nachhaltigkeit in den Bereichen Bauen und Wohnen.

Die Relevanz der verschiedenen Verursacherbereiche für die Gesamtheit aller Umwelteffekte der Stadtteile zeigen die folgenden Netzbilder als Übersicht.

In der Darstellung sind die *prozentualen Anteile* der Bereiche Bauen (Gebäude, Infrastruktur, Wasser/Abfall), Energie (Strom, Wärme), Verkehr und Warenkorb an den betrachteten Umweltproblemfeldern (Treibhausgase, Versauerung, KEV, Rohstoffe ohne Wasser) aufgeführt.

Bild 9 *Anteile der Verursacher an ausgewählten Umwelteffekten für das Gesamt-Szenario Neuruppin-Vorstadt Nord (inkl. Maßnahmen)*

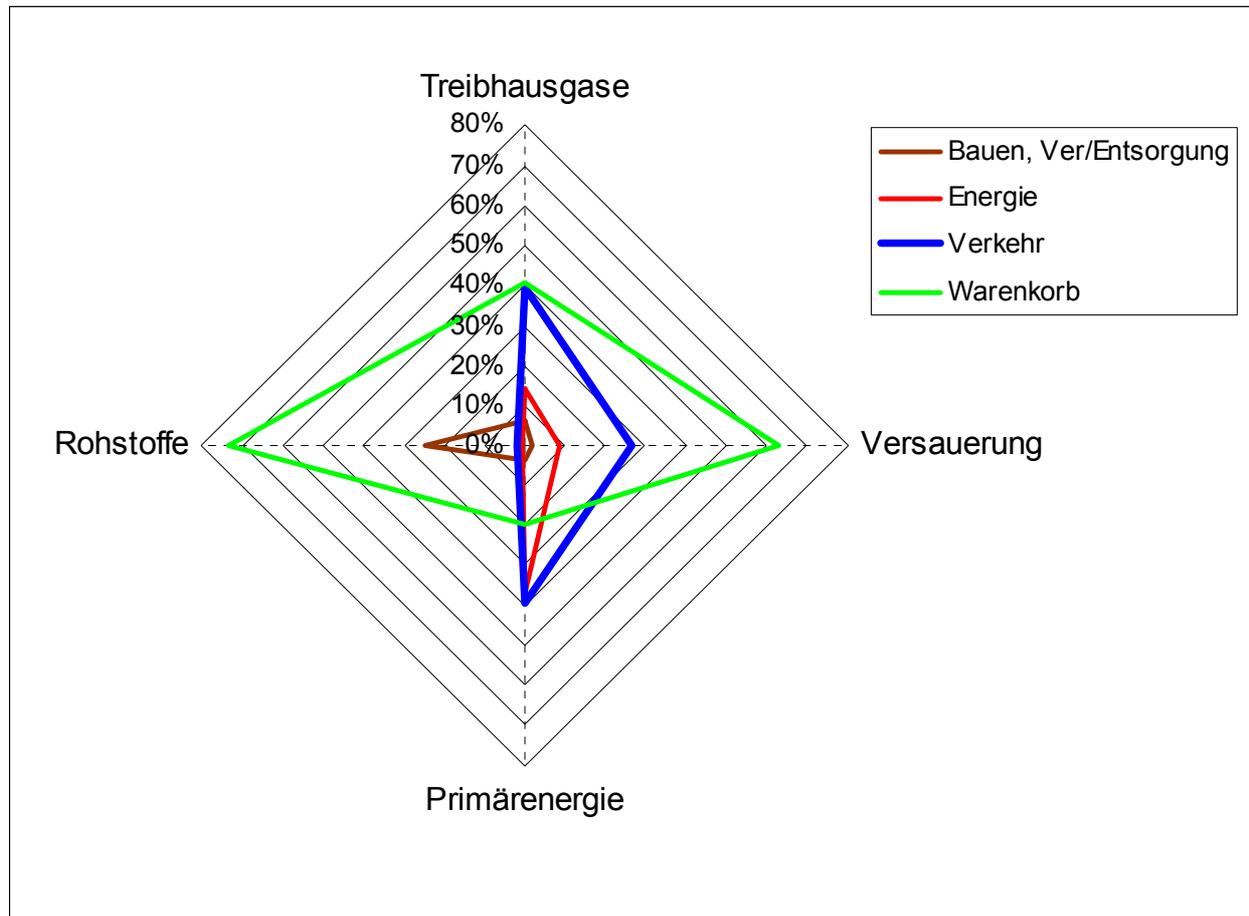


Quelle: ÖKO (2002)

Bei den Treibhausgasen (CO₂-Äquivalente) verursacht der Verkehr den höchsten Anteil, gefolgt vom Warenkorb und der Energie. Die Versauerung (SO₂-Äquivalent-Emissionen) wird vor allem durch den Warenkorb verursacht, gefolgt vom Verkehr. Bei den Rohstoffen (ohne Wasser) dominiert ebenfalls der Warenkorb, gefolgt vom Bauen. Beim Primärenergiebedarf führt der Verkehr, gefolgt von der Energie und dem Warenkorb.

Die entsprechende Übersicht für Freiburg-Vauban gibt die folgende Grafik (Bild 10).

Bild 10 Anteile der Verursacher an ausgewählten Umwelteffekten für das Gesamt-Szenario Freiburg-Vauban (inkl. Maßnahmen)



Quelle: ÖKO (2002)

Der Vergleich der beiden Netzbilder für die Stadtteile zeigt sehr klar die *fast gleiche Struktur der Verursacherrelevanz*, obwohl die beiden Stadtteile in ihrer Ausstattung und den jeweils umgesetzten Maßnahmen sehr unterschiedlich sind.

Diese Zusammenfassung belegt deutlich die hohe *Verursacherrelevanz des Warenkorbs* – ein Bereich, in dem die Stadtteile bislang keine Maßnahmen ergriffen haben und dessen Bedeutung in der generellen Diskussion um Nachhaltigkeit oft unterschätzt wird.

Die Analysen zeigten außerdem, dass die hoch aggregierten Indikatoren „Primärenergiebedarf“ und „Rohstoffe“ die Wirksamkeit von Maßnahmen z.T. *unterschätzen*. Über die Stoffstromanalyse liegen jedoch differenziertere Detaildaten vor, die den geographischen Aspekt („heimische Anteile“) und den Aspekt der Erneuerbarkeit bzw. Nichterneuerbarkeit von Ressourcen ausweisen.

Unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit sollte daher als Ergänzung stets eine Analyse

- der heimischen Anteile von Primärenergien und Rohstoffen sowie
- der Anteile an erneuerbaren Primärenergien und an nichterneuerbaren Rohstoffen

erfolgen.

3.1.3 Zielgruppe und Medien

Zielgruppen für die o.g. Anwendungsbeispiele sind Wohnungsbauträger (Management), Architekten, kommunale Entscheidungsträger sowie die Energie- und Verbraucherberatung. Ergänzend können auch die Raum- u. Regionalplanung sowie Landesbehörden Adressaten sein.

Für die Praxisbeispiele gibt es schon Darstellungen im Internet und z.T. Broschüren, so dass z.B. jeweils ein Flyer (2-seitiges Infoblatt) sinnvoll wären. Auf der KEV-website sollten links zu den web-Ressourcen der Praxisbeispiele gesetzt werden.

3.1.4 Literatur zu den Beispielen des Öko-Instituts

ISOE (Institut für sozial-ökologische Forschung)/IÖW (Institut für ökologische Wirtschaftsforschung)/ÖKO (Öko-Institut – Institut für angewandte Ökologie e.V.) 2001: Nachhaltiges Sanieren im Bestand - integrierte Dienstleistungen für zukunftsfähige Wohnstile, M. Buchert et al., Endbericht zum Verbundvorhaben Förderkennzeichen: FKZ 07 BAU 01/9, gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung im Förderschwerpunkt „Modellprojekte für nachhaltiges Wirtschaften - Innovation durch Umweltvorsorge“, Frankfurt/Berlin/Darmstadt

ÖKO (Öko-Institut – Institut für angewandte Ökologie e.V.) 1996: Stoffwechsel, Broschüre des Öko-Instituts, Freiburg

ÖKO (Öko-Institut – Institut für angewandte Ökologie e.V.) 1999: Stoffflussbezogene Bausteine für ein nationales Konzept der nachhaltigen Entwicklung: Fallbeispiel Bauen und Wohnen, U. Fritsche et al., Reihe UBA-Texte 47/99, Berlin

ÖKO (Öko-Institut – Institut für angewandte Ökologie e.V.) 2002: Nachhaltige Stadtteile auf innerstädtischen Konversionsflächen – Stoffstromanalyse als Bewertungsinstrument, U. Fritsche et al., Endbericht zum Verbundvorhaben (siehe www.oeko.de/service/cities/)

3.2 Vergleich Glühlampe / Kompaktleuchtstofflampe (FfE)

Die verwendeten Zahlen basieren auf einer im Jahr 1990 an der Forschungsstelle für Energiewirtschaft in Zusammenarbeit mit der OSRAM GmbH, München erstellten Diplomarbeit /FfE 1990/.

Die Werte wurden in enger Kooperation mit der Firma OSRAM im Rahmen zweier Studienarbeiten im Jahr 2002 aktualisiert, und auf die leistungsstärkeren Lampen von 100 W bei der Glühlampe bzw. 20 W bei der Kompaktleuchtstofflampe geändert, da diese Leistungsstufen auf absehbare Zeit den Markt dominieren.

3.2.1 Ergebnisse

Die Lebensdauer einer neuen Kompaktleuchtstofflampe (KLSL) hat sich gegenüber der Studie von 1990 von 6.000-8.000 Betriebsstunden auf 12.000-15.000 Betriebsstunden erhöht. Eine Entwicklung bis auf ca. 20.000 Stunden wird prognostiziert. In dieser Studie wird die Lebensdauer einer KLSL mit 15.000 Stunden angesetzt. Die Netto-Gesamtmasse der Lampe ist von 118 g auf 90 g gesunken. Dies ist durch eine Optimierung der verbauten Stoffe und eine kompaktere Bauform des integrierten Vorschaltgerätes bedingt.

Bei der Glühlampe (GL) hat sich weder an der Gesamtmasse, noch an Zusammensetzung der Materialien fundamentales geändert. Eine wichtige Neuerung ist der Verzicht auf verbleite Gläser in allen Bauteilen. Die Lebensdauer wird weiterhin mit 1.000 Betriebsstunden angegeben. Eine Verbesserung der Lebensdauer ist nicht zu erwarten.

Um den Aufwand für die Dienstleistung „Beleuchtung“, die durch die beiden Lampentypen erbracht wird, vergleichbar zu machen, muss eine gemeinsame Basis hergestellt werden. Es wird also der Aufwand über eine KLSL-Lebensdauer betrachtet, entsprechend 15 GL-Lebensdauern oder 15.000 Stunden Brenndauer.

Tabelle 3.2-1: Kumulierter Energieverbrauch der untersuchten Lampen im Vergleich

		Glühlampe	KLSL	15 Glühlampen
KEV _{Herstellung}	[GJ]	0,003	0,014	0,045
KEV _{Nutzung}	[GJ]	1,145	3,434	17,175
KEV_{Gesamt}	[GJ]	1,148	3,448	17,220

Bei beiden Lampentypen dominiert der KEV_{Nutzung} den KEV deutlich mit Anteilen von jeweils über 99 %.

KEV und Teilgrößen im Vergleich

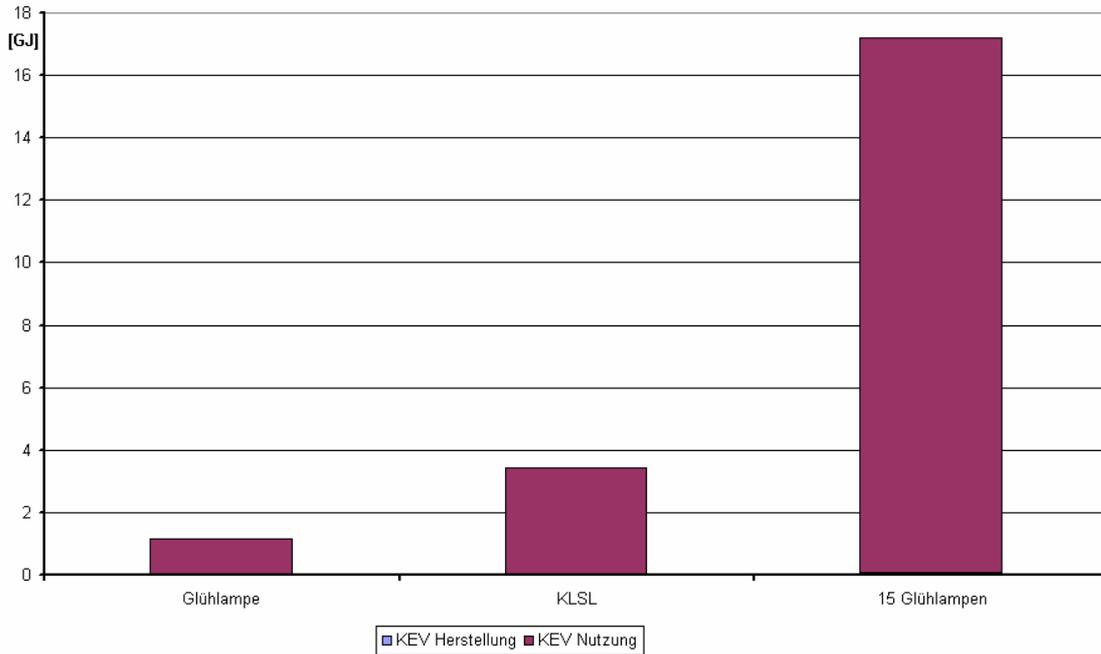


Abbildung 3.2-1 KEV der untersuchten Lampen im Vergleich

Der KEV von 15 Glühlampen (17.2 GJ) ist um das 5-fache höher als der einer KLSL (3,4 GJ). Die KLSL amortisiert sich energetisch bereits nach ca. 15 Betriebsstunden.

Vergleich KEV Glühlampe/Kompaktleuchtstofflampe

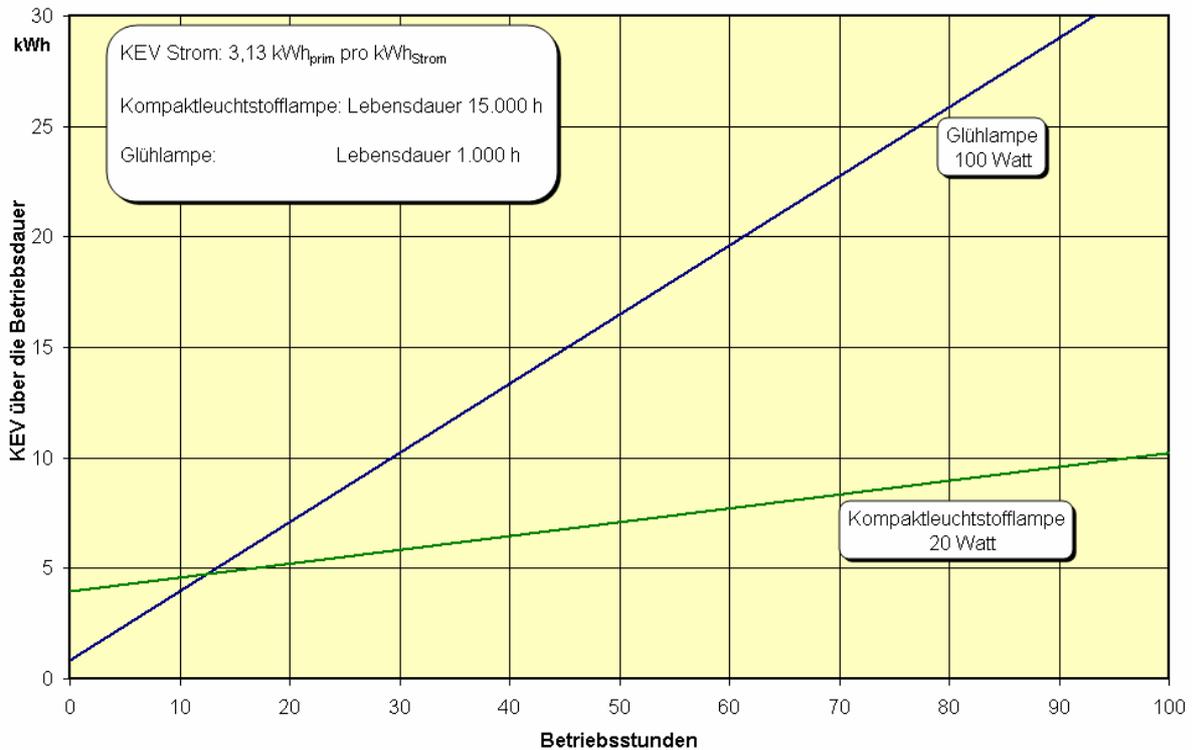


Abbildung 3.2-2 Entwicklung des KEV der Lampen über der Betriebsdauer

Unter den gewählten Rahmenbedingungen (15 Jahre Lebensdauer, Strompreis 0,16 €/kWh, Kaufpreis KLSL 10 € und Kaufpreis GL 1 €) amortisiert sich die KLSL finanziell bereits nach ca. 800 Betriebsstunden. Das bedeutet für den Endanwender, dass selbst bei extrem schlechter Qualität der KLSL mit nur 10 % der angegebenen Lebensdauer eine Geldersparnis zu erwarten ist.

Eine Variation von Lampenpreisen verändert das Ergebnis nur marginal. Bei den zu erwartenden eher steigenden Strompreisen steigt der Vorteil der KLSL sogar noch deutlich an.

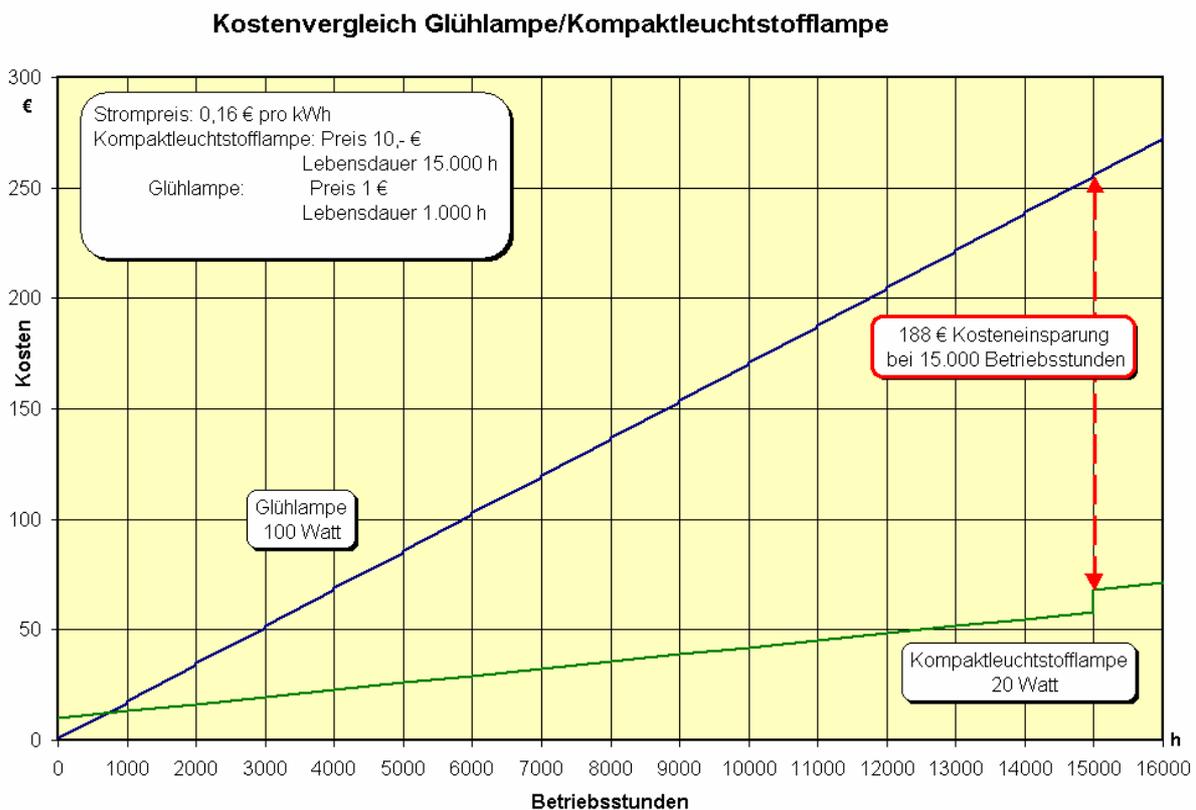


Abbildung 3.2-3 Kumulierte Kosten für die Lampen über der Betriebsdauer

Würden alle jährlich bundesweit verkauften Glühlampen (ca. 300 Mio Stück) durch KLSL ersetzt, so könnte bei einer derzeitigen mittleren Leistung von 75 W (GL) bzw. 16 W (KLSL) und einer mittleren Betriebszeit von 700 h/a der jährliche Stromverbrauch um ca. 12,4 TWh/a verringert werden.

3.2.2 Vorschlag für medientechnische Umsetzung

Da dieses Beispiel eine sehr breite Bevölkerungsschicht ansprechen und interessieren kann, ist eine Publikation in populärwissenschaftlichen oder nichtwissenschaftlichen Blättern vorzusehen. Für diesen Zweck sollte eine Presseinformation erstellt werden, mit der den zuständigen Redakteuren das Thema nahegebracht wird.

Ergänzend sollten Fachveröffentlichungen sowie eine Information von Interessensverbänden wie z.B. der Stiftung Warentest, der HEA oder von Agenda 21-Arbeitsgremien erfolgen.

Zu Gunsten einer solchen breit angelegten Presseoffensive sollte auf die Erstellung eines Flyers oder einer Broschüre verzichtet werden.

3.2.3 Literatur

/FfE 1990/ Ebersperger: Kumulierter spezifischer Energieverbrauch von Glühlampe und Kompaktleuchtstofflampe, Forschungsstelle für Energiewirtschaft; München, 1990

/IfE 1993/ Mauch: Kumulierter Energieaufwand für Güter und Dienstleistungen; Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Kraftwerkstechnik der TU München, 1993

/IEI 1994/ InfElInfo – Elektrizitätsanwendungen in der Praxis, INFEL – Informationsstelle für Elektrizitätsanwendungen; Zürich Nr. 3, 09/1994

3.3 Vergleich von Waschmaschinen mit / ohne Warmwasseranschluss (FfE)

Es werden folgende Geräte miteinander verglichen:

- Waschmaschinen mit ausschließlich Kaltwasseranschluss (KW-Gerät)
- Waschmaschinen mit Kalt- und Warmwasseranschluss (WW-Gerät)

Nicht betrachtet wurden Warmwasservorschaltgeräte zur externen Temperaturregelung des Wasserzulaufs.

Die primärenergetische Effizienz der Nutzung von beiden Gerätetypen hängt im Wesentlichen von drei Parametern ab:

- Anteil der verschiedenen Waschprogramme und -temperaturen am Nutzungsmix.
- KEV der Strombereitstellung
- KEV der Brauchwarmwasser-Bereitstellung im Gebäude

Daher ist es erforderlich, neben der Betrachtung der Geräte auch noch die entsprechenden Vorketten für die o.g. Bereitstellungen zu untersuchen.

Da die Kaltwasser-Waschmaschine das Waschwasser mit Strom heizt, profitiert diese stark von Verbesserungen beim spezifischen KEV der Strombereitstellung. Der Einsatz einer Warmwasserwaschmaschine gewinnt durch hocheffiziente Wärmebereitstellung (Art und Qualität des Brennstoffes, hochwertige Anlagentechnik, kurze Rohre, gute Dämmung des Verteilungsnetzes, Nutzung regenerativer Energiequellen).

3.3.1 Datenbasis

Das Thema „Waschmaschinen-Vergleich“ wurde an der der Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (FfE) bereits in mehreren Studien eingehend untersucht. /IfE 1990/, /FfE 1995/ und veröffentlicht /IEI 1994/.

Die im Folgenden dargestellten Ergebnisse zur Herstellung basieren überwiegend auf /FfE 1995/.

Ein aktueller Nutzungsmix der Waschmaschinen (Anteile einzelner Waschprogramme, Waschgänge pro Jahr) wurde im Rahmen einer laufenden Untersuchung im Rahmen des Verbundforschungsprojektes IKARUS für die Stützjahre 1995, 2000 und 2005 ermittelt bzw. prognostiziert /IKA 2002/.

Die KEV-Werte für die Waschmittel wurden der aktuellen Studie /AISE 2001/ entnommen.

Werte für die Gebäude und die Wärmeerzeuger wurden der aktuellen ISOTEG-Studie entnommen, die gemeinsam von der FfE und dem Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik der TU München durchgeführt wurde. Im Rahmen dieser Studie wurden von 15 Gebäuden verschiedener Bau- und Altersklassen in mehrwöchigen Messungen Wärmelastgänge und Zapfprofile ermittelt. In einem zweiten Schritt wurden verschiedene Wärmeerzeuger unter „real-life“-Bedingungen für die genannten Zapfprofile auf Ihre Effizienz getestet. Dazu wurde ein eigens konzipierter und errichteter Prüfstand verwendet. /ISO 2002/, /ISO 2002-2/.

Für die vorliegende Untersuchung wurden folgende Erzeugungssysteme untersucht:

- moderne Öl-/Gaskesselanlagen (Die Ergebnisse waren nahezu deckungsgleich, so dass die beiden Techniken zusammengefasst wurden)
- Fernwärmeversorgung durch KWK-Anlagen
- thermische Solaranlage mit 60 % Deckungsgrad und Gas-Backupsystem

Untersucht wurden die in der Praxis relevanten Betriebsarten der Verteilungssysteme:

Bei Einfamilienhäusern: Stichleitungen und Zirkulation mit Nachtabstaltung (8 Stunden)

Bei Mehrfamilienhäusern: Nur Zirkulationsbetriebe, einmal mit und einmal ohne die genannte Nachtabstaltung.

Eine Rückwirkung der erhöhten Warmwasserzapfmenge durch den Betrieb der Warmwasserwaschmaschine wird nicht betrachtet. Der Aufwand für einen Liter Warmwasser wird mit dem durchschnittlichen Aufwand für die Warmwasserbereitstellung aus /ISO 2002/ abgeschätzt. Unterschiedliche Konfigurationen des Waschmaschinenanschlusses (z.B. verschiedene Leitungslängen, etc.) werden nicht detailliert betrachtet.

3.3.2 Ergebnisse

Tabelle 3.2-1 zeigt die Ergebnisse der Untersuchung von Geräten in Ein- und Mehrfamilienhäusern (EFH/MFH) unter Verwendung unterschiedlicher Systeme zur Brauchwarmwasser-Erzeugung.

Bei Betrachtung von durchschnittlich gedämmten Gebäuden mit einer modernen Öl- oder Gaskesselanlage ergibt sich weder bei EFH noch bei MFH eine klare Präferenz für Kalt- oder Warmwasseranschluss. Der Warmwasseranschluss ist überall dort im Vorteil, wo die Warmwassererzeugung regenerativ erfolgt und die Verluste der Warmwasserverteilung gering sind. Letzteres kann durch eine kurze Anbindung an den Warmwasserbereiter, durch hohe Dämmstärken der Rohrleitungen und durch selektiven Betrieb einer Zirkulation bewirkt werden.

Tabelle 3.3-1: *KEV der untersuchten Maschinen im Vergleich bei Anwendung in Ein- und Mehrfamilienhäusern mit mittlerem Rohrdämmstandard*

alle Werte in GJ/12 a	EFH, KW	EFH, WW Öl-/Gas-Kessel	EFH, WW Fernw. KWK	EFH, WW Solar/Gas	MFH, KW	MFH, WW Öl-/Gas-Kessel	MFH, WW Fernw. KWK	MFH, WW Solar/Gas
KEV Herstellung	4,04	4,04	4,04	4,04	4,04	4,04	4,04	4,04
KEV Nutzung	40,14	39,43	37,14	35,85	40,14	40,94	38,25	36,45
Frischwasser	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
Strom	14,37	7,69	7,69	7,69	14,37	7,69	7,69	7,69
Wärme	0,00	5,96	3,68	2,38	0,00	7,48	4,78	2,99
Waschmittel	23,98	23,98	23,98	23,98	23,98	23,98	23,98	23,98
Abwasser	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24
KEV Gesamt	44,18	43,47	41,18	39,89	44,18	44,98	42,29	40,49

Wie aus **Abbildung 3.3-1** und **Abbildung 3.3-2** ersichtlich ist, ist bei ungünstigen Verhältnissen bei der Warmwasserbereitung (ineffiziente Energiewandlung, schlechte Dämmung, lange Leitungen, durchlaufende Zirkulation, etc.) und bei hocheffizienter Strombereitstellung (z.B. bei Nutzung von regenerativer Stromerzeugung) die KW-Waschmaschine im Vorteil, da die Wärme primärenergetisch – also incl. aller Bereitstellungsverluste – günstiger aus Strom bereitgestellt werden kann als über das Warmwassernetz des Gebäudes.

Effizient für den WW-Anschluß sind vor allem Varianten mit einem hohen Anteil an regenerativer Wärmeerzeugung, z.B. eine schwerpunktmäßig solarthermisch versorgte Warmwasserbereitung oder aber auch eine biomassegefeuerte Anlage.

Je nach Warmwasserbereitungssystem und Qualität der Leitungsdämmung können entweder Primärenergie-Einsparungen oder –Mehraufwendungen von jeweils mehr als 30 % bezogen auf einen Kaltwasseranschluß entstehen.

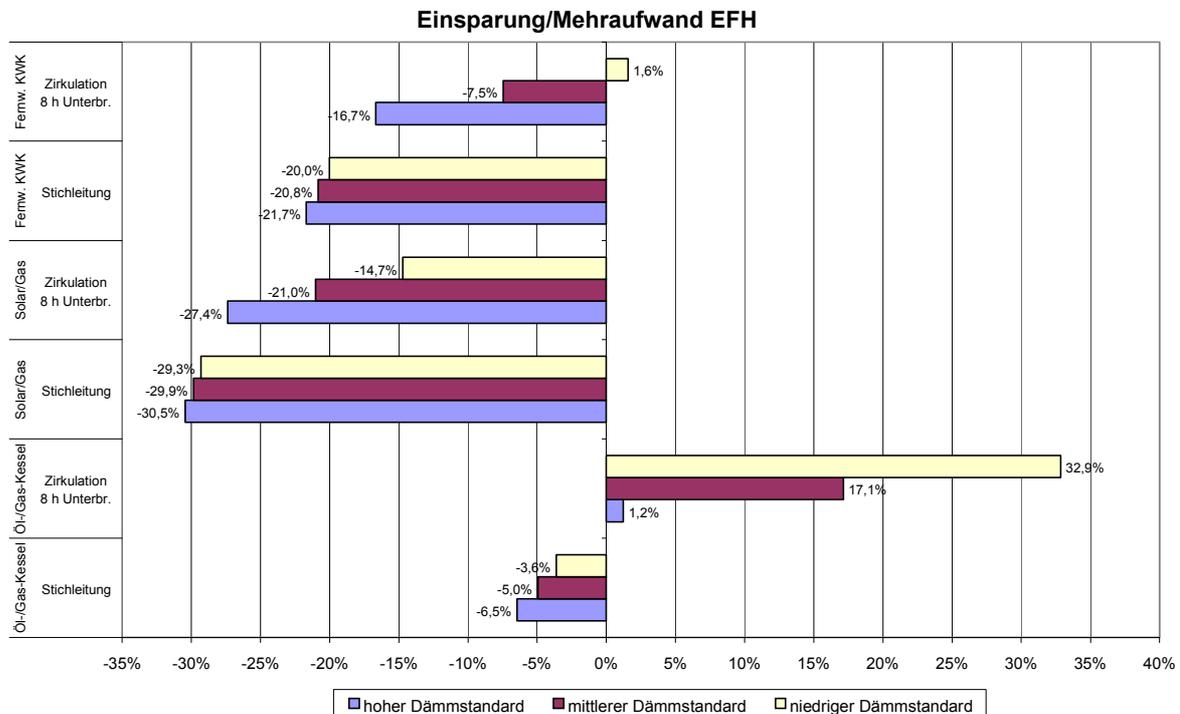


Abbildung 3.3-1 *Energieeinsparung/-mehrerverbrauch im Verhältnis zu einem Kaltwassergerät bei verschiedenen Heizsystemen im Einfamilienhaus*

Hierbei unterscheiden sich die Ergebnisse zwischen Ein- und Mehrfamilienhäusern nicht wesentlich. Bei gleicher Betriebsweise (Zirkulation mit 8 Stunden Nachtunterbrechung) schneiden die Warmwassermaschinen im Mehrfamilienhaus marginal besser ab.

Dies mag aufgrund der im Mehrfamilienhaus größeren Leitungslängen unerwartet sein. Die Auslastung der Leitungen ist allerdings in Mehrfamilienhäusern höher, so dass der Nutzenergieanteil größer ist, respektive die spezifischen Verluste sinken. Zusätzlich sinken die spezifischen Verluste von Rohren mit dem Querschnitt, der bei den MFH teilweise erheblich größer ist als bei EFH.

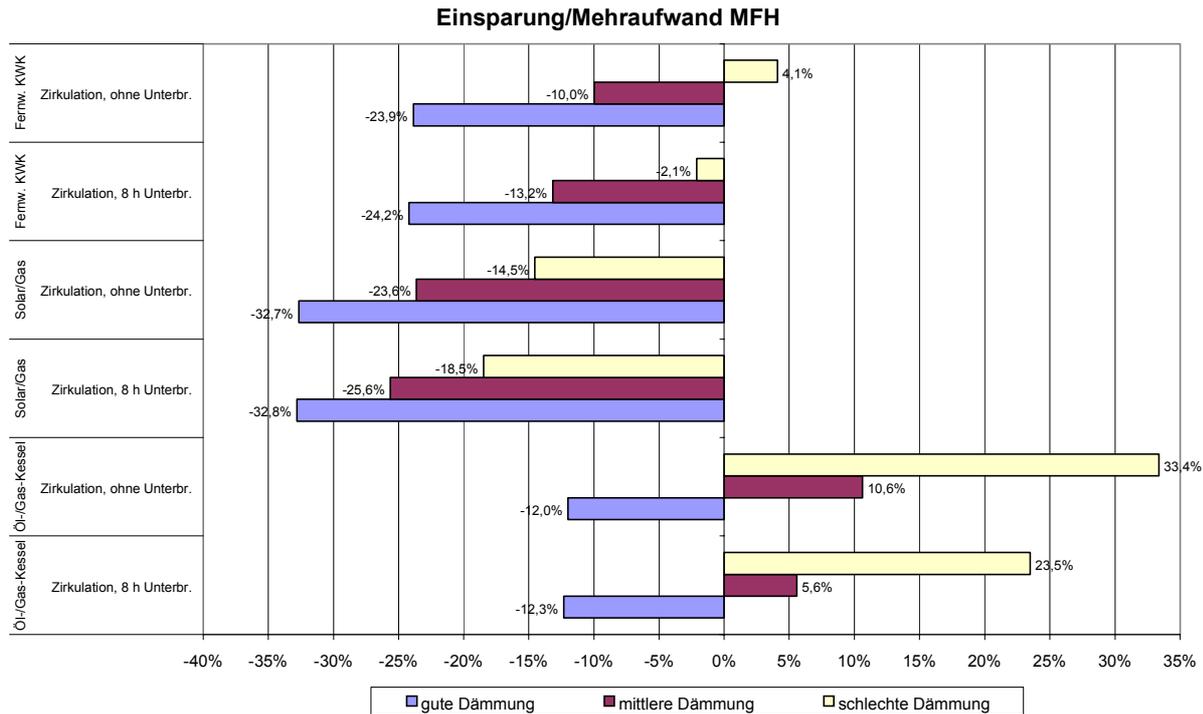


Abbildung 3.3-2 *Energieeinsparung/-mehrverbrauch im Verhältnis zu einem Kaltwassergerät bei verschiedenen Heizsystemen im Mehrfamilienhaus*

3.3.3 Vorschlag für medientechnische Umsetzung

Es empfiehlt sich die Erstellung eines Flyers, in dem die Ergebnisse dargestellt werden. Dieser Flyer könnte über Verbände den Neukäufern von Waschmaschinen zur Verfügung gestellt werden.

Auch das Sanitärhandwerk könnte eingebunden werden. Die Zielgruppe wären dann (zukünftige) Hausbesitzer, die in naher Zukunft Maßnahmen an ihrem Warmwassernetz ergreifen wollen, und somit einen Warmwasseranschluß für Waschmaschinen kostengünstig umsetzen können.

Ergänzend sollten Veröffentlichungen vor allem auch in Zeitschriften für Heimwerker oder in Periodika von Bausparkassen lanciert werden.

3.3.4 Literaturverzeichnis

- /fFE 1995/ Bottesch: Energetisches Betriebsverhalten von Waschmaschinen bei Anschluß an Warmwassersysteme; Forschungsstelle für Energiewirtschaft; München, 1995
- /IfE 1990/ Holm: Kumulierter Energieverbrauch einer Waschmaschine; Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Kraftwerkstechnik der TU München, 1995
- /IEI 1994/ InfEInfo – Elektrizitätsanwendungen in der Praxis, INFEL – Informationsstelle für Elektrizitätsanwendungen; Zürich Nr. 3, 09/1994
- /IKA 2002/ Duschl, Lilleike: IKARUS – Instrumente für KlimAgasRedUktionsStrategien TP8: Querschnittstechniken / Information und Kommunikation, Rege-

lung und Steuerung; Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V.; München, noch unveröffentlicht. (Veröffentlichung 2003)

/ISO 2002/ Mühlbacher, Carter, Geiger: Verbundprojekt ISOTEG - Bericht Warmwasserbereitung – Vergleich zentraler und dezentraler Warmwasserversorgung; Forschungsstelle für Energiewirtschaft in Zusammenarbeit mit dem Institut für Energiewirtschaft der TU München, 2002

/ISO 2002-2/ Mühlbacher, Arndt, Schwärzer, Geiger: Verbundprojekt ISOTEG - Bericht Wärmeerzeuger für die Raumheizung und die Warmwasserbereitung; Forschungsstelle für Energiewirtschaft in Zusammenarbeit mit dem Institut für Energiewirtschaft der TU München, 2002

3.4 Diskussion von verschiedenen Wegen der Hausmüllentsorgung (FfE)

Die Ergebnisse stammen zu wesentlichen Teilen aus der Dissertation von Dr. W. Mauch, die im Jahr 1993 am Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Kraftwerkstechnik der TU München erstellt wurde. /IfE 1993/, sowie aus der EU-Studie „Ökologie der Stoffströme“, die an der FfE im Jahr 1994 erstellt wurde /FfE 1994/.

Es wurden drei verschiedene Wege der Müllsammlung diskutiert:

- Die herkömmliche Müllsammlung
- getrenntes Sammeln von Müll, Biomüll und Wertstoffen im Holsystem
- getrenntes Sammeln von Müll, Biomüll und Wertstoffen im Bringsystem

Im Holsystem werden die Wertstoffe und die Reststoffe in Behältern (Zweitonnen- bzw. Dreitonnen-system) oder Säcken erfasst und direkt bei den Haushalten abgeholt.

Das Bringsystem umfasst zentral aufgestellte Sammelbehälter, die von den anliefernden Haushalten beschickt werden. Die Restmüllsammlung erfolgt analog zur herkömmlichen Müllsammlung.

Der (Rest-)Müll wird entsprechend den kommunalen Möglichkeiten entsorgt durch

- Deponierung
- Verbrennung und Deponierung der Schlacke
- eine Kombination aus Kompostierung, Verbrennung und Deponierung

Es wurden detaillierte Untersuchungen zu den einzelnen Schritten der Sammlung und Entsorgung sowie sämtlicher wichtigen Vorketten absolviert.

3.4.1 Ergebnisse

Der Vergleich der drei Sammel-Varianten ergibt folgende Bild:

Tabelle 3.4-1: *Unterschiede beim KEV von untersuchten Müllsammelsystemen abhängig von der Verdichtung der Besiedelung*

jeweils in MJ/t _{Müll}		Herkömmliche		Holsystem		Bringsystem	
		Stadt	Land	Stadt	Land	Stadt	Land
Anlieferung	KEV _H	-	-	-	-	11	19
	KEV _N	-	-	-	-	103	171
Sammelbehälter	KEV _H	45	45	170	170	73	80
Behälterentleerung	KEV _H	21	52	28	67	29	77
	KEV _N	139	324	275	417	180	370
Transport zur	KEV _H	-	-	5		10	
Sortieranlage	KEV _N	-	-	40		84	
Sortieranlage	KEV _H	-	-	50		7	
	KEV _N	-	-	349		58	
Transport zur	KEV _H	-	-	2		2	
Aufbereitung	KEV _N	-	-	42		42	
Aufbereitung	KEV _H	-	-	keine Daten verfügbar		keine Daten verfügbar	
	KEV _N	-	-	304		304	
Transport zur	KEV _H	-	-	1		1	
Verwertung	KEV _N	-	-	26		28	
Transport zur	KEV _H	-	-	1		0	
	Entsorgung	KEV _N	-	23		5	
Entsorgung	KEV _H	161	161	74		105	
	KEV _N	1118	1118	725		725	
Schlacketransport zur Deponie	KEV _H	0	0	0		0	
	KEV _N	7	7	3		5	
Gesamt	KEV _H	227	258	331	385	238	301
	KEV _N	1264	1449	1745	1860	1534	1792

Wie man sieht, schwanken die Aufwendungen für die verschiedenen Sammel-Systeme erheblich, wenn man unterschiedliche Rahmenbedingungen zugrunde legt. Deutlich wirken sich die größeren Fahrwege auf dem Land aus. Durch die geringere Dichte der Containerstandorte müssen zum Teil mehr als doppelt so hohe Aufwendungen in die Transport-Posten investiert werden wie in urbaner Umgebung. Durch die geringere Auslastung der Container auf dem Land beim Bringsystem liegen die Aufwendungen für Sammelbehälter und deren Entleerung um 86 % höher als in der Stadt.

Der energetische Mehraufwand beim Holsystem resultiert mehrheitlich aus der Sortierung der Wertstoffe. Dagegen entsteht beim Bringsystem ein hoher mittlerer Aufwand für die Anlieferung des Mülls zu den Sammelstellen. Bei oben stehender Aufstellung wurde im Falle des Bring-Systems davon ausgegangen, dass ein Mix von Verkehrsmitteln zum Antransport der Wertstoffe an die Sammelstellen versendet wird. Aus den Ergebnissen des ifeu zu deren Beispielanwendung „Personennahverkehr“ lässt sich ermes-

sen, welcher Spielraum bei dieser Sammelvariante herrscht, abhängig davon ob der Antransport per Fahrrad oder – als alleiniger Fahrtzweck – per PKW/Kleinbus erfolgt.

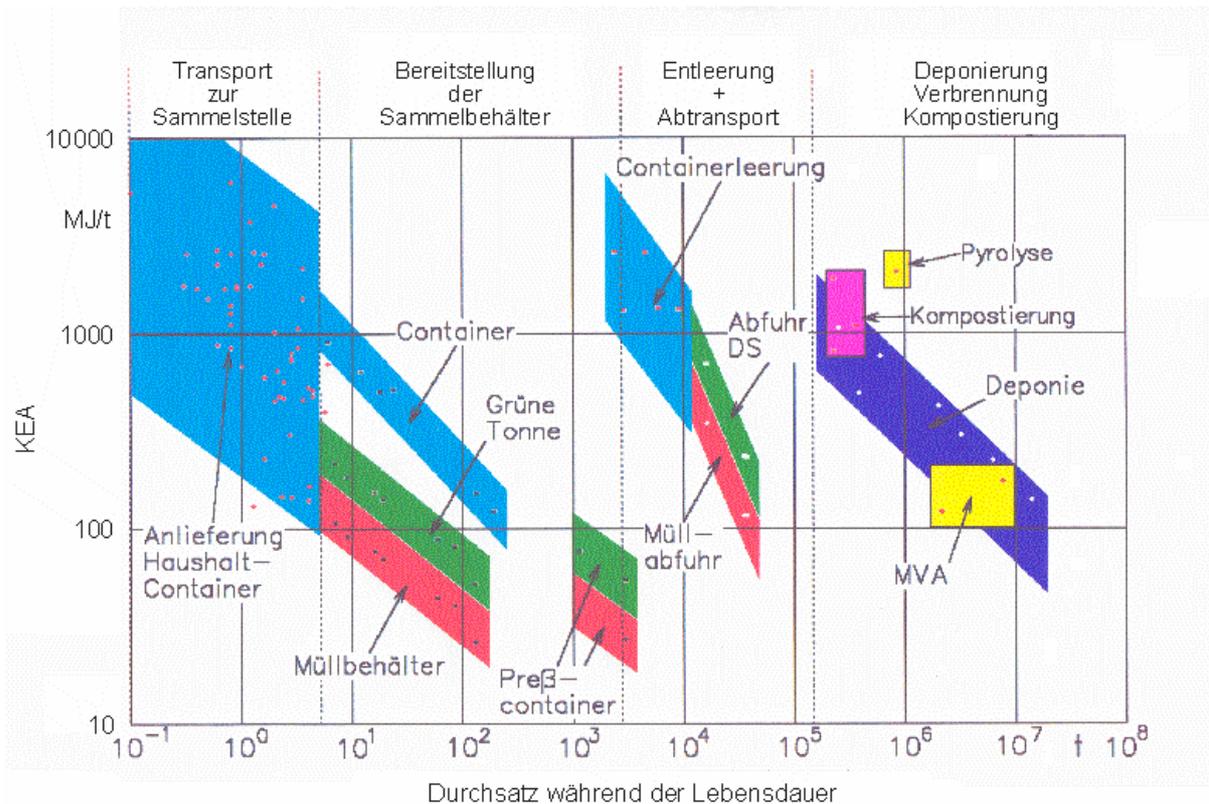


Abbildung 3.4-1 KEV einzelner Teile von Entsorgungspfaden abhängig vom Durchsatz während der Lebensdauer

Die Grafik macht deutlich, welche Bandbreiten in den Aufwendungen innerhalb der einzelnen Posten der Entsorgungswege bestehen. Zum Teil differiert der spezifische Aufwand für eine Massnahme oder eine Bereitstellungsdienstleistung um mehrere Größenordnungen.

Das Entsorgungssystem mit dem geringsten KEV ist die herkömmliche Müllentsorgung. Hier ist nicht berücksichtigt, daß eine Verwertung von Reststoffen nur durch erheblichen Sortieraufwand möglich ist. Dadurch wird dieser Vorteil wieder kompensiert. Eine Umstellung des Entsorgungssystems weg vom herkömmlichen Eintonnensystem rentiert sich energetisch also immer dann, wenn hohe Anteile des Mülls wiederverwertet werden sollen. Bei reiner Deponierung oder thermischen Verwertung (Verbrennung, Pyrolyse) ist das Eintonnensystem optimal.

Hohe Wiederverwertungsanteile erfordern eine Entscheidung zwischen Hol- und Bringsystem. Grundsätzlich ist das Bringsystem dem Holsystem in energetischen Gesichtspunkten vorzuziehen. Dieser Vorteil wiegt um so schwerer, je sauberer sortiert die Wertstoffe im Bringsystem angeliefert werden. Je höher also die „Routine“ der Bürger ist, desto größer wird der Vorteil des Bringsystems hinsichtlich des Sortieraufwandes.

Der hohe Aufwand für die Anlieferung der Wertstoffe gerade in ländlichen Regionen verpflichtet Städtebauer und Landschaftsplaner zu sinnvoller Verteilung der möglichen Standorte von Sammelstellen. Durch Aufstellung von Sammelbehältern in der Nähe von Einkaufszentrum kann beispielsweise ein Mehraufwand für Anlieferung mittels PKW vermieden werden, weil die Fahrtzwecke „Einkauf“ und „Entsorgung“ kombiniert werden.

3.4.2 Vorschlag für medientechnische Umsetzung

Info für Entscheidungsträger im Entsorgungsbereich, wie Stadtwerke und Gemeinden, sowie Multiplikatoren wie z.B. Agenda 21-Arbeitskreise durch eine Kurzbroschüre (2 Doppelseiten DIN A4), unterstützt durch Veröffentlichungen in einschlägigen Fachblättern zur Abfallwirtschaft.

3.4.3 Literaturverzeichnis

- /FfE 1994/ Mauch, Schwaiger: Ökologie der Stoffströme – Studie im Rahmen des THERMIE-Programms für die Kommission der Europäischen Gemeinschaften / Generaldirektion Energie; Forschungsstelle für Energiewirtschaft; München, 1994
- /IfE 1993/ Mauch: Kumulierter Energieaufwand für Güter und Dienstleistungen; Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Kraftwerkstechnik der TU München, 1993

3.3 KEV ALS ENTSCHEIDUNGSPARAMETER IN DER SOLARSIEDLUNG KOLDENFELD

3.3.1 EINLEITUNG

Die Untersuchung „KEV - als Entscheidungsparameter in Solarsiedlungen“ erfolgte im Rahmen des F&E-Vorhabens

„Anwendung und Kommunikation des kumulierten Energieverbrauchs (KEV) als praktikabler Entscheidungsindikator für nachhaltige Produkte und Dienstleistungen hinsichtlich Reduzierung des Ressource- und Energieverbrauchs“ (FKZ 201 41 129) des Umweltbundesamtes (UBA).

Das Projekt des UBA verfolgte das generelle Ziel, den kumulierten Energieverbrauch (KEV) als praktikables Entscheidungsinstrument bei energierelevanten Fragen darzustellen und seine breite Anwendung zu unterstützen. Dazu sollte die Anwendung des KEV in anschaulichen Beispielen demonstriert werden.

In einer Arbeitsgemeinschaft bestehend aus den Partnern

- FFE (Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V.)
- Ifeu (Institut für Energie- und Umweltforschung GmbH)
- Öko-Institut (Institut für angewandte Ökologie e.V.)
- Ecofys GmbH (Köln)
- Prof. Lützkendorf, Universität Karlsruhe

wurden verschiedene KEV-Beispiele aus den Bereichen Bauen und Wohnen, Landwirtschaft, Verkehr, Haushaltsgeräte, und Energietechnologie dargestellt.

Die Ecofys GmbH war hierbei mit dem Thema „KEV als Entscheidungsparameter bei Solarsiedlungen“ betraut. Ausgangslage, Vorgehensweise und Ergebnisse der Untersuchung einer Solarsiedlung sind hierbei im Folgenden dargestellt. Ergänzt werden die Ausführungen durch Vorschläge für die Verbreitung der Ergebnisse im Bezug auf identifizierte Zielgruppen und eine Projektskizze als Ausblick auf mögliche Schritte zur Entwicklung eines auf die Zielgruppen zugeschnittenen KEV-Werkzeugs für den Gebäudesektor.

4 KEV UND GEBÄUDE

Bisher ist es üblich, die energetische Bewertung eines Gebäudes lediglich nach dem Energieverbrauch während der Nutzungsphase auszurichten. Aufgrund des verbesserten Dämmstandards und damit sinkendem Heizenergiebedarfs von Neubauten gewinnt jedoch die zum Bau des Hauses benötigte Energie an Bedeutung und sollte somit im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtungsweise mit bilanziert werden. Unter anderem eignet sich der kumulierte Energieverbrauch KEV* als standardisierte Größe für die zusammenfassende Betrachtung und Bewertung der in Gebäuden befindlichen Materialien, Baustoffe und Komponenten in Form primärenergetisch bewerteter Prozessenergieverbräuche.

Im Rahmen dieser Studie wurde anhand des Fallbeispiels „Solarsiedlung Koldenfeld“ die Aussagefähigkeit des Parameters KEV überprüft und seine Verwendung als praktikabler Entscheidungsindikator untersucht. Zielgruppe für die Verbreitung der gewonnenen Erkenntnisse sind Architekten, Bauträger und Vertreter von Städten und Gemeinden als für den Bausektor maßgebliche Akteure sowie der die Nachfrage erzeugende Endverbraucher.

Für den Haustyp Reihenmittelhaus der Solarsiedlung Koldenfeld wurden im Folgenden verschiedene Szenarien (EnEV-Haus massiv, Passivhaus massiv, Passivhaus Lebensräume) mit Hilfe des Parameters KEV untersucht, die neben der Betrachtung der Nutzungsphase die Wichtigkeit der Einbeziehung der Herstellungsphase in die energetische Betrachtung von Gebäuden darstellen und weiterhin gezielt Möglichkeiten zur energetischen Optimierung der Herstellung beleuchten sollen.

Die Berechnungen wurden mit dem vom Ökoinstitut entwickelten Programm GEMIS durchgeführt.

Neben dem Parameter KEV (unterteilt in KEV_{nicht erneuerbar}, KEV_{erneuerbar} und KEV_{andere}) wurden auch die durch den Energieverbrauch verursachten CO₂-Emissionen berechnet und ausgewiesen.

Das Projekt "50 Solarsiedlungen in Nordrhein-Westfalen" wurde in der Arbeitsgruppe "Bauen und Wohnen" der Landesinitiative Zukunftsenergien NRW entwickelt. Mehrere Landesministerien starteten im Frühjahr 1997 den Aufruf an die Kommunen zum Bau von 50 Solarsiedlungen. Das Leitprojekt der Landesinitiative Zukunftsenergien NRW soll die Möglichkeiten der Solarenergienutzung für die Wärme- und Stromversorgung von Gebäuden auf Siedlungsebene aufzeigen und dem solaren Bauen einen weiteren Impuls verleihen.

* Der KEV ist eine Teilgröße des „Kumulierten Energieaufwands“ (KEA) gemäß VDI Richtlinie 4600. Er umfasst alle primärenergetisch bewerteten Prozessenergieverbräuche, die sich aus dem Strom-, Brennstoff und Wärmeverbrauch und deren Bereitstellung ergeben, nicht aber die enthaltenen stoffgebundenen Energien (Heizwerte) des Materials. Die Gewinnung von Energieträgern wird verlustfrei bewertet. Aufwendungen und Gutschriften aufgrund der Entsorgung von Produkten werden ausgeklammert.

5 KEV-UNTERSUCHUNG DER SOLARSIEDLUNG KOLDENFELD

5.1 DIE SOLARSIEDLUNG KOLDENFELD

Die Solarsiedlung am "Koldenfeld" entsteht in Dorsten-Holsterhausen. Es werden vier unterschiedliche Haustypen als Passivhäuser errichtet:

- Doppelhaus mit Pultdach
- Reihenhaus mit Satteldach
- Reihenhaus als Split-Level Haus mit Pultdach
- Freistehendes Einfamilienhaus

Die Häuser werden innerhalb eines mit der Stadt Dorsten verabschiedeten Gestaltungsrahmens auf die Bedürfnisse und die Wünsche der Bewohner zugeschnitten.

- 32 Wohneinheiten
- Heizwärmebedarf 15 kWh/m²a, Erzeugung durch Gas-Brennwert-Gerät
- 1,5 kWpeak PV-Anlage pro Wohneinheit, Abdeckung von ca. 1/3 des Strombedarfs. Zugrundegelegt wurde hierbei der Haushaltsstrombedarf eines durchschnittlichen Haushalts. Der erzeugte regenerative Strom wird ins Netz eingespeist.
- Solarthermieanlage zur Abdeckung von ca. 60% des Warmwasserbedarfs. Restabdeckung über Gas-Brennwertgerät



Abbildung 1: untersuchter Haustyp Reihenmittelhaus (rechts)

5.2 VORGEHENSWEISE UND BERECHNUNG

Um den Einfluss der in der Solarsiedlung vorgesehenen Passivhaus-Konzeption in Kombination mit der geforderten solaren Erzeugung von Warmwasser und Strom darzustellen und aus Sicht des KEV einzuordnen, wurden in der Untersuchung zunächst ein Passivhaus mit solarer Erzeugung von Warmwasser und Strom sowie ein Haus nach den Vorgaben der EnEV, jeweils in Massivbauweise, gegenübergestellt. Die Gebäudegeometrien entsprechen hierbei dem Entwurf der Fa. Lebensräume für ein Reihenmittelhaus.

Ein weiterer Vergleich zwischen einem mit Holzpellets beheizten Haus nach EnEV und einem mit Strom beheizten Passivhaus zeigt den Einfluss der Wahl des Heizsystems.

Als dritter Schritt wurde die Erstellungsphase des in Holzbauweise errichteten Passivhauses der Fa. Lebensräume mit den Varianten EnEV-Haus und Passivhaus, jeweils in Massivbauweise, verglichen. Der Aufbau der Gebäudehülle entspricht im Falle des Lebensräume-Typs der vorliegenden Baubeschreibung, der Massivbau wurde mit einem Wandaufbau aus Backstein, sowie Zwischendecken und Dach aus Betonfertigteilen angenommen. Für die Varianten „Passivhaus“ und „EnEV“ des Massivbaus, wurden hierbei die jeweils erforderlichen Dämmstärken und Fenstertypen angesetzt. Anschließend werden Möglichkeiten für eine energetische Optimierung der Erstellungsphase dargestellt.

Die Berechnung der zum Einsatz gelangten Materialmengen erfolgte durch einen flächenspezifischen Ansatz, bei dem der Schichtaufbau der funktionalen Flächen (Kellerdecke, Außenwände, Zwischendecken etc.) sowie die zugehörigen Geometrien (Fläche in m^2) bestimmt werden und daraus der Materialaufwand in m^3 und, über die Dichte der Materialien, als Masse in Tonnen berechnet wird. Die nicht funktionalen Flächen zuzuordnenden Materialien (Treppen sowie technische Gebäudeausrüstung) wurden getrennt erfasst. Die technischen Anlagen zur Energieerzeugung wurden bei der Energiebereitstellung mit berücksichtigt. Der individuelle Innenausbau (Einrichtung, Bodenbeläge etc.) ist unabhängig von den verglichenen Gebäudekonzepten, führt je nach Ausführung zu unterschiedlichen „Serviceleistungen“ und wurde daher nicht berücksichtigt.

Der Heizwärmebedarf ergibt sich aus dem für den Passivhausstandard vorgegebenen Wert von $15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ bzw. den Vorgaben der EnEV für die vorliegende Geometrie. Der Energiebedarf für Warmwasser ist ebenfalls der EnEV entnommen. Im Falle des Passivhauses werden 60% des Warmwasserbedarfes durch Solarkollektoren, sowie 1/3 des Stromverbrauches durch eine Photovoltaikanlage bereitgestellt.

Tabelle 1: Übersicht der untersuchten Gebäudetypen

	EnEV Massiv	PH Massiv	PH Lebensräume
Bauweise	Massivbau, Ziegelmauerwerk	Massivbau, Ziegelmauerwerk	Holzständerbauweise
Keller	Keller, Beton	Keller, Beton	Keller, Beton
Heizwärmebedarf (nach EN832) bezogen auf reale Wohnfläche	79 kWh/m ² a	15 kWh/m ² a	15 kWh/m ² a
Heizung und Warmwasser- bereitung	Gas-Brennwert Alternativbetrachtung: Holz-Pellet-Heizung	Gas-Brennwert Alternativbetrachtung: Stromheizung	Gas-Brennwert
Zusatz-System Warmwasser	-	Abdeckung von 60 % des Bedarfes durch Solarthermie	Abdeckung von 60 % des Bedarfes durch Solarthermie
Stromversorgung	Netz	Netz + Photovoltaik (Abdeckung 1/3 des Gesamtstrombedarfs)	Netz + Photovoltaik (Abdeckung 1/3 des Gesamtstrombedarfs)

Mithilfe der in GEMIS verfügbaren Primärenergie- und Emissionsfaktoren für die Bereitstellung von Materialien und Nutzenergie wurden anschließend die Ergebnisse für den KEV sowie die damit verbundenen CO₂-Emissionen berechnet. Der Verbrauch für Erstellung und Wartung der Energieerzeugungsanlagen ist hierbei in den Faktoren für die entsprechende Form der Energiebereitstellung enthalten.

Die Ausweisung der Ergebnisse erfolgt für den KEV in kWh/m² realer Wohnfläche und Jahr und für die CO₂-Emissionen in kg/m² realer Wohnfläche und Jahr. Dabei wird eine Betrachtungsdauer von 50 Jahren zugrunde gelegt.

5.3 ERGEBNISSE

Bei der Gegenüberstellung des EnEV-Hauses und des Passivhauses (jeweils in Massivbauweise) zeigt der KEV über den Betrachtungszeitraum zunächst die großen Einsparungen des Passivhauses im Bereich des Heizenergieaufwandes durch die verbesserte Wärmedämmung.

Die Betrachtung des regenerativen Anteils des KEV verdeutlicht auch auf KEV-Ebene die Vorteile des in der Solarsiedlung verwirklichteten Einsatzes von PV und Solarthermie zur regenerativen Energieerzeugung.

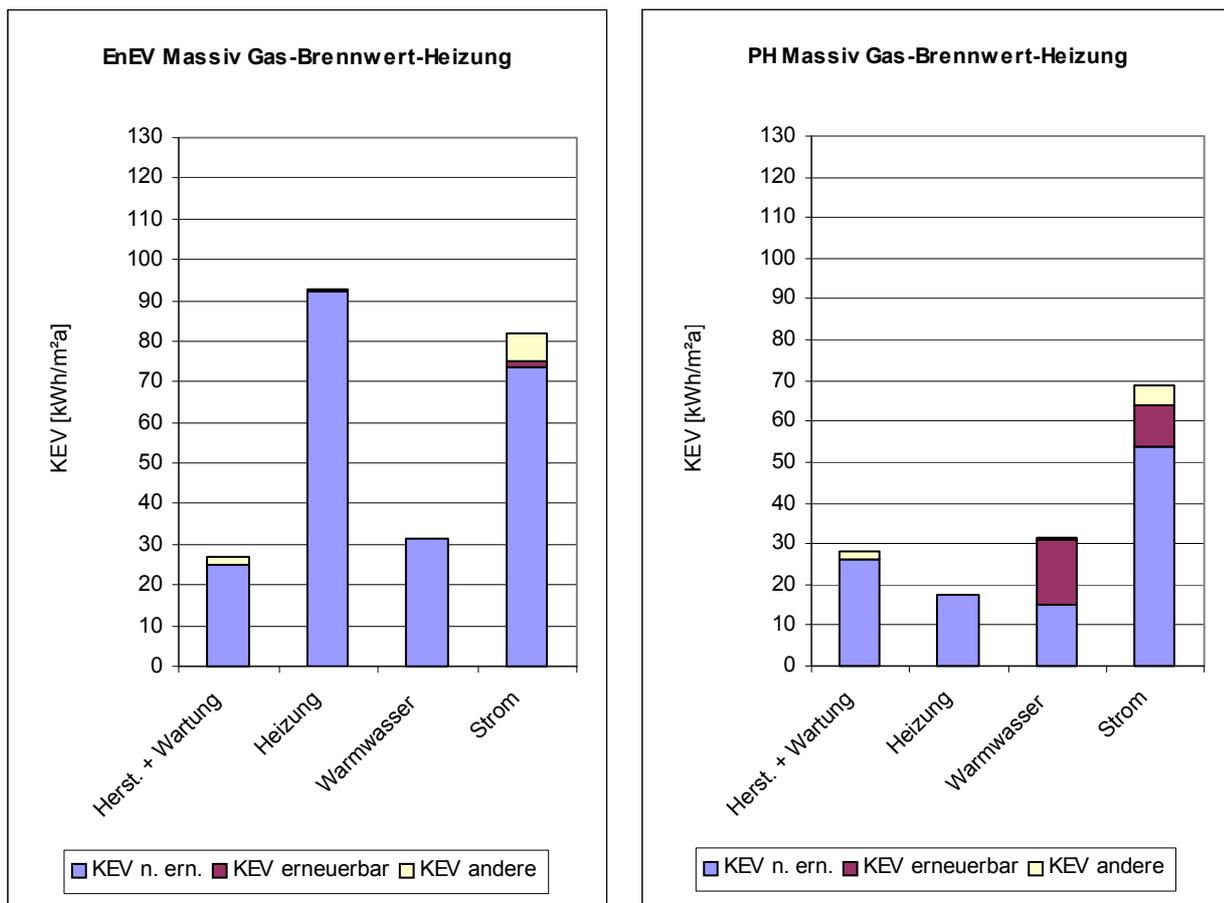


Abbildung 2: KEV, Vergleich ENEV- und Passivhaus

Die Darstellung der durch den Energieverbrauch verursachten CO₂-Emissionen spiegelt den nicht regenerativen Anteil des KEV wider. Die CO₂-intensiven Prozesse zur Herstellung der Baumaterialien führen dabei zu einer stärkeren Bedeutung der Erstellungsphase der Gebäude.

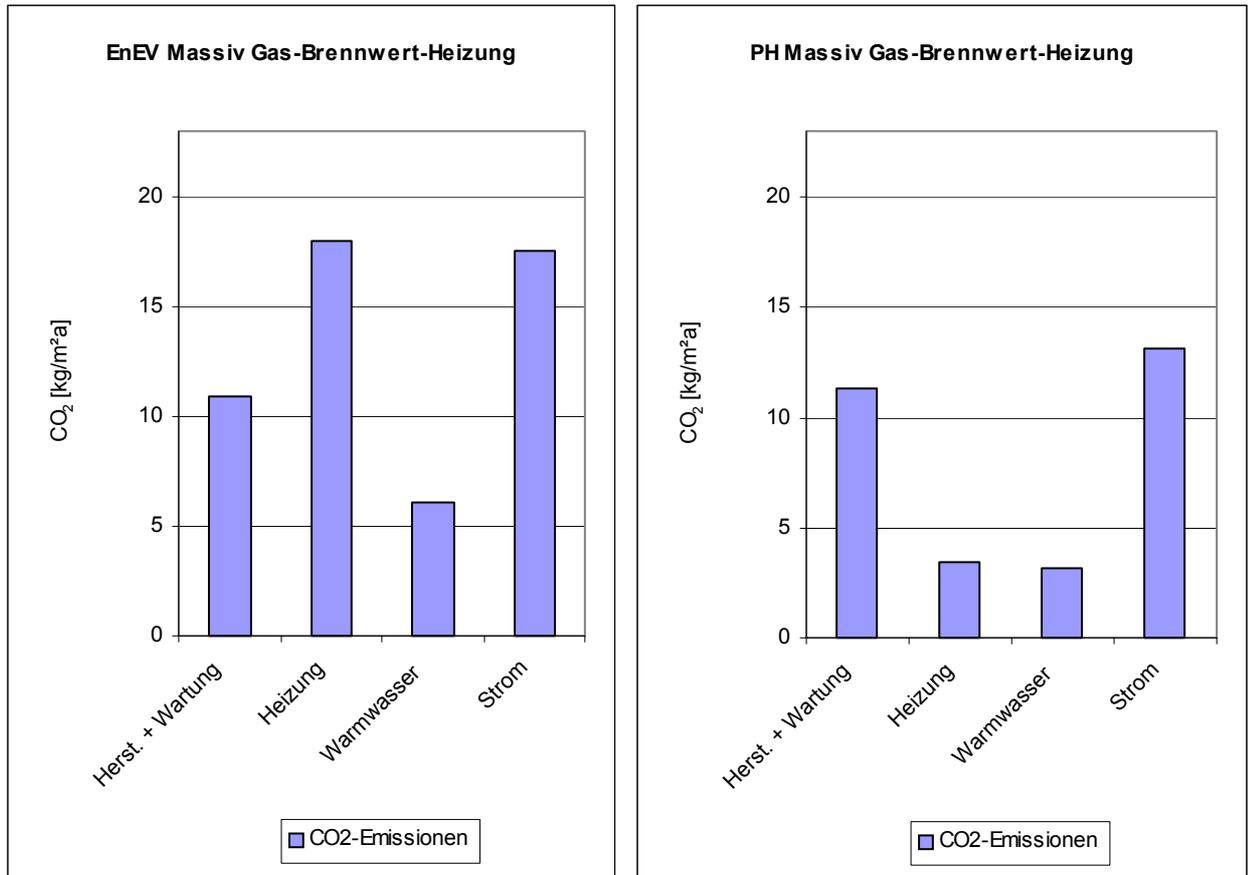


Abbildung 3: CO₂-Emissionen, Vergleich ENEV- und Passivhaus

Neben der Verbesserung des Wärmestandards ist auch die Wahl des Systems für die Raumheizung und Warmwassererzeugung entscheidend. Der folgende Vergleich zeigt den KEV für das EnEv-Haus in Massivbauweise in einer Variante mit Holz-Pellet-Heizung statt Gas-Brennwert-Gerät, sowie das PH in Massivbauweise mit Stromheizung.

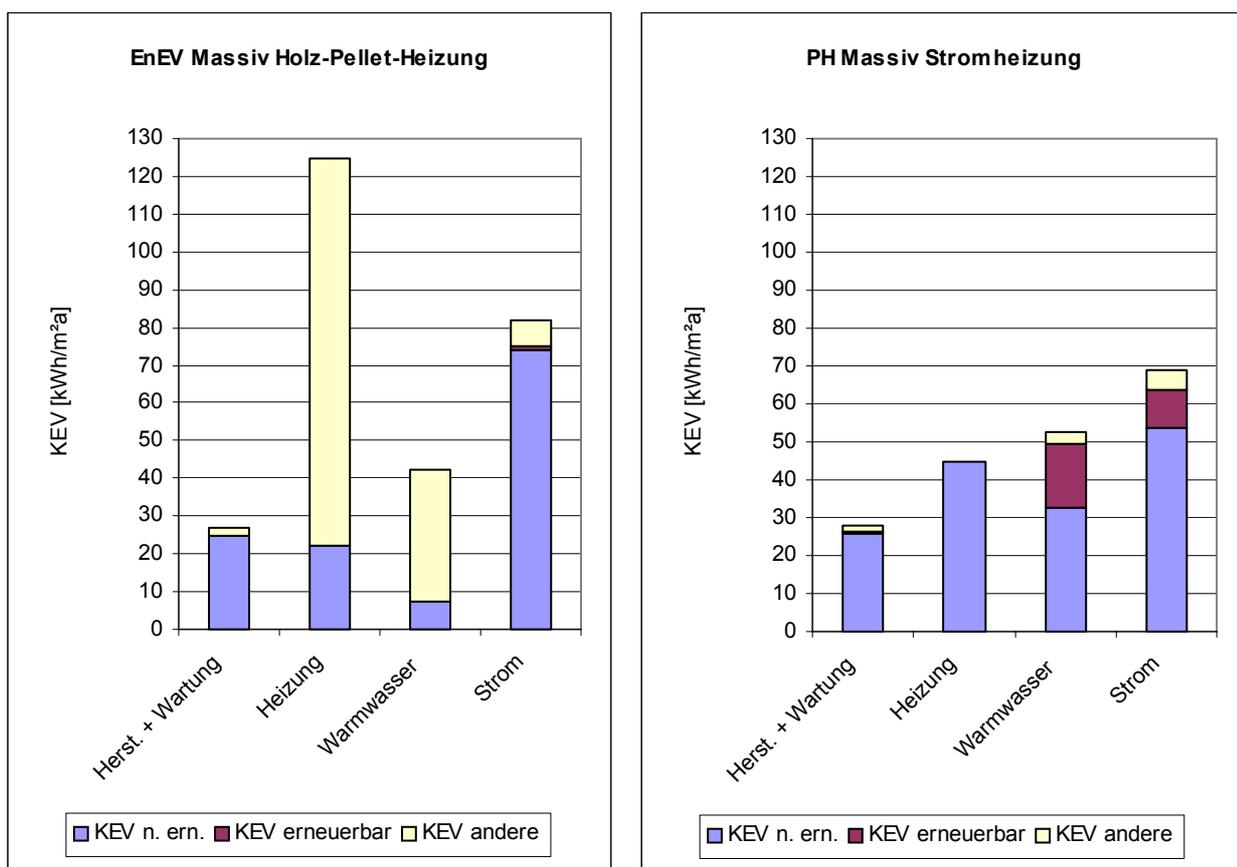


Abbildung 4: KEV, Vergleich EnEV-Haus mit Holzpellets und Passivhaus mit Strom beheizt

Es zeigt sich, dass ein mit Holzpellets beheiztes Haus nach EnEV sogar einen geringeren nicht regenerativen KEV für die Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser verursacht, als ein mit Strom beheiztes Passivhaus.

Der Vorteil des niedrigeren Heizwärmebedarfs beim Passivhaus wird dabei durch die primärenergetisch ungünstige Beheizung mit Strom teilweise wieder aufgehoben.

Als energetische Nutzung von Reststoffen, wird die thermische Nutzung der Holzpellets hierbei gemäß der GEMIS-Systematik in der Kategorie KEV-andere gebucht. Energieträger ist in diesem Fall der nachwachsende Rohstoff Holz.

Noch deutlicher wird der Unterschied bei der Betrachtung der entsprechenden CO₂-Emissionen.

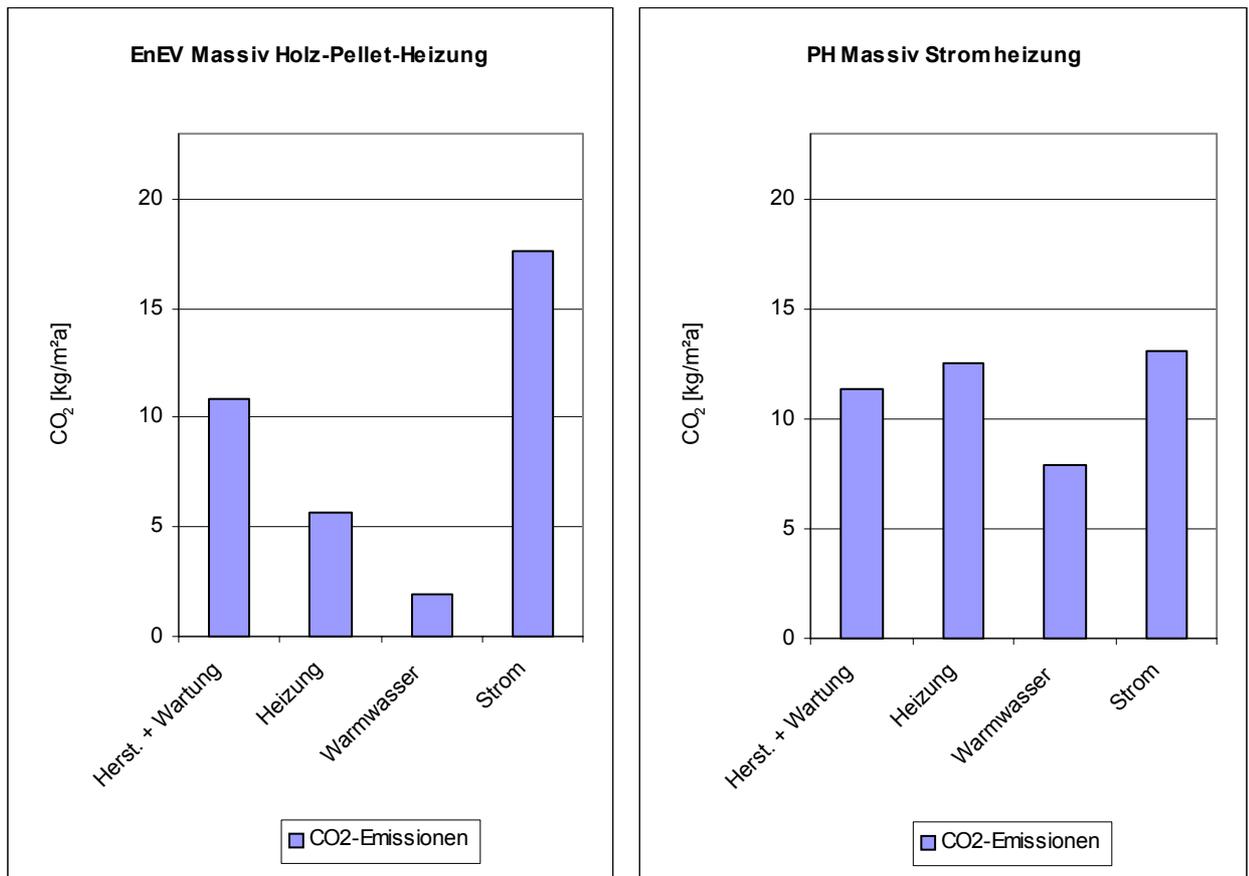


Abbildung 5: CO₂-Emissionen, Vergleich EnEV-Haus regenerativ und Passivhaus mit Strom beheizt

Das Haus der Fa. Lebensräume hat mit dem Passivhausstandard, der Wärmeerzeugung mit Gas-Brennwerttechnik sowie dem Einsatz von Solarthermie für die Warmwasserbereitung und photovoltaischer Stromerzeugung bereits einen sehr guten Standard erreicht, der im Folgenden abgebildet ist.

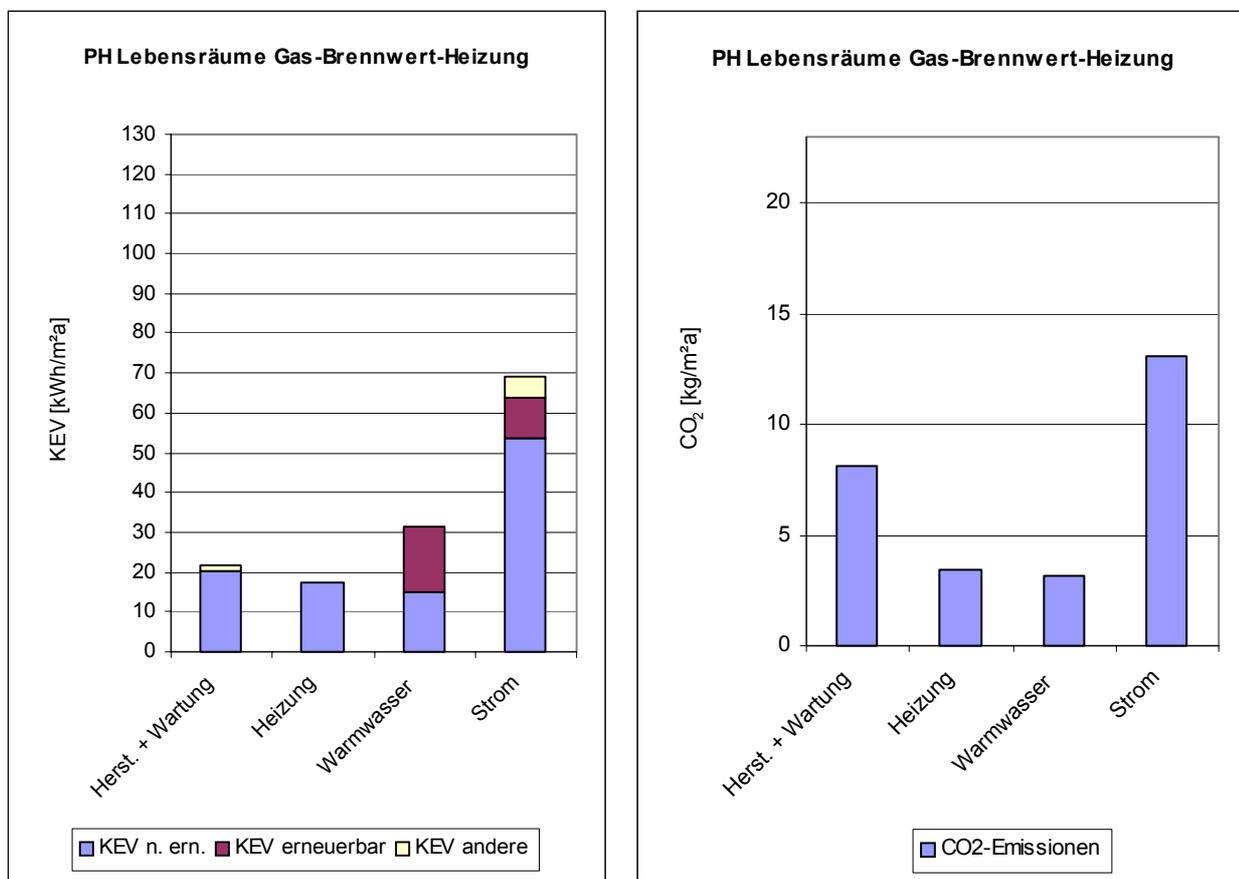


Abbildung 6: KEV und CO₂-Emissionen PH Lebensräume

Die Optimierungsschritte der verbesserten Dämmung zur Senkung des Heizenergiebedarfs sowie eine Optimierung der Energieversorgung lassen sich hierbei mit dem Parameter KEV gut abbilden.

Während nach Durchlaufen dieser Optimierungsschritte die Faktoren Raumheizung, Warmwasser und Strombedarf vom Nutzerverhalten abhängig sind, bietet sich für weitere energetische Verbesserungen nun die Erstellungsphase der Gebäude als weiterer in der Planung beeinflussbarer Bereich an. Über die primärenergetische Betrachtung der Nutzungsphase hinaus, kann hier der KEV, im Gegensatz zur Betrachtungsweise der EnEV, auch den Energieverbrauch bei der Herstellung der Gebäude abbilden.

Da bei der Optimierung der Erstellungsphase der Aufbau der Hülle (Geometrie, Materialien, Wandaufbau) und die erforderliche Heizwärme in direktem Bezug zueinander stehen, werden im Weiteren besonders diese beiden Parameter betrachtet. Gegenübergestellt werden ein Massivhaus nach EnEV und im Passivhaus-Standard, sowie das Passivhaus der Fa. Lebensräume.

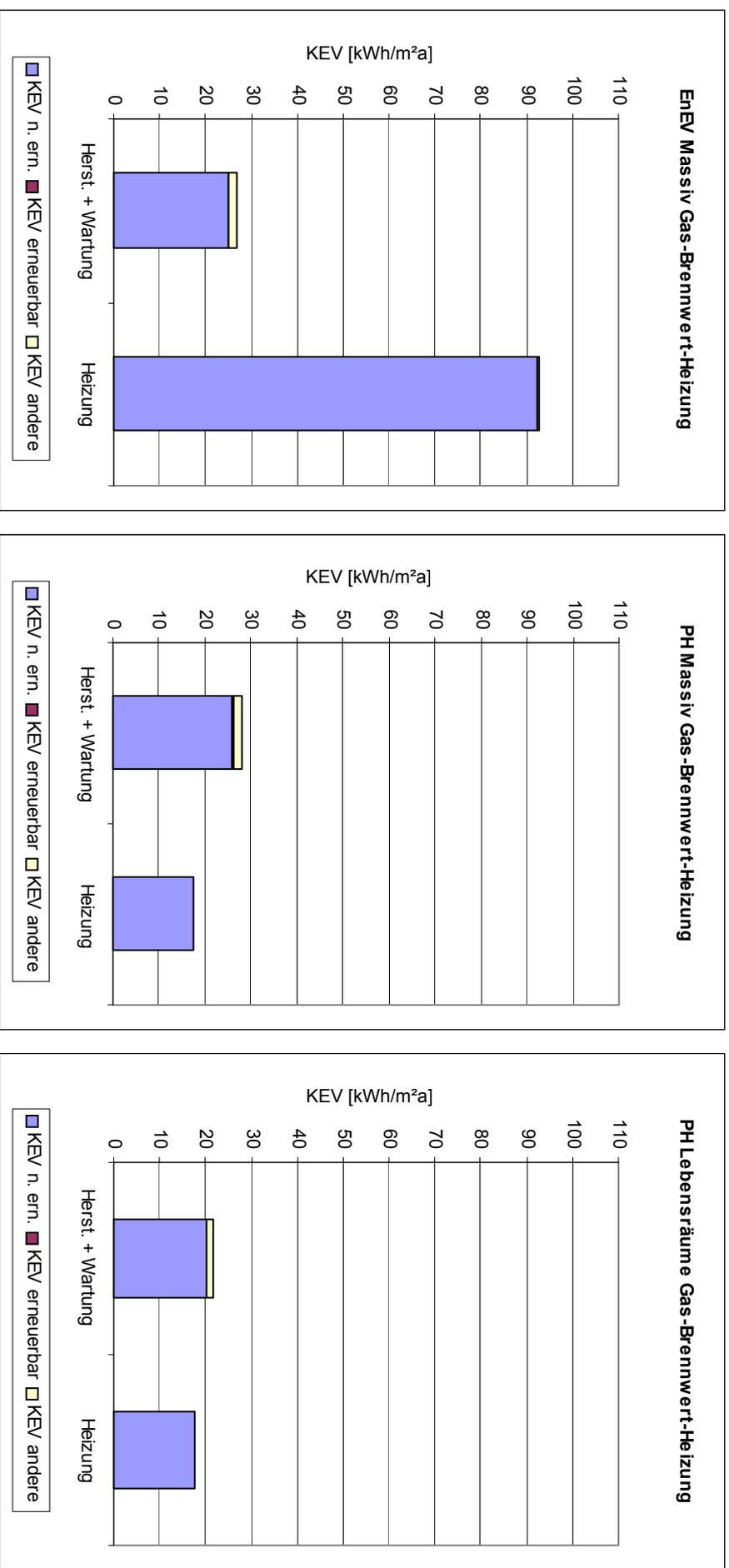


Abbildung 7: KEV [kWh/m²a] für Herstellung und Beheizung

Hier zeigt sich nun deutlich die unbedingte Notwendigkeit der Einbeziehung des KEV für die Herstellung der Gebäude in die Gesamtbetrachtung von energieeffizienten Gebäuden. Liegt der Anteil für die Erstellung im Falle des Massivhauses nach EnEV noch deutlich unter dem Anteil der Heizenergie, so kehren sich diese Verhältnisse im Falle eines Passivhauses sogar um. Nächste Schritte zur Optimierung sollten also an der Erstellungsphase ansetzen. Deutlich wird auch, dass der Mehraufwand für Dämmmaterialien und bessere Fenster vom EnEV Massivhaus zum Massiven Passivhaus nur sehr gering ausfällt, dagegen aber eine deutliche Energieeinsparung im Bereich der Heizwärme verursacht und somit auch ganzheitlich betrachtet eine sinnvolle Maßnahme darstellt.

Zu sehen sind auch die Vorteile der Holzkonstruktion des Lebensräume-Typs gegenüber der in der Erstellung energieintensiveren Massivbauweise. Dies ist vor allem der Vermeidung der Werkstoffe Beton und Stahl und dem Einsatz des Werkstoffes Holz zuzuschreiben.

Die Darstellung der durch den Energieverbrauch verursachten CO₂-Emissionen zeigt ein noch deutlicheres Bild.

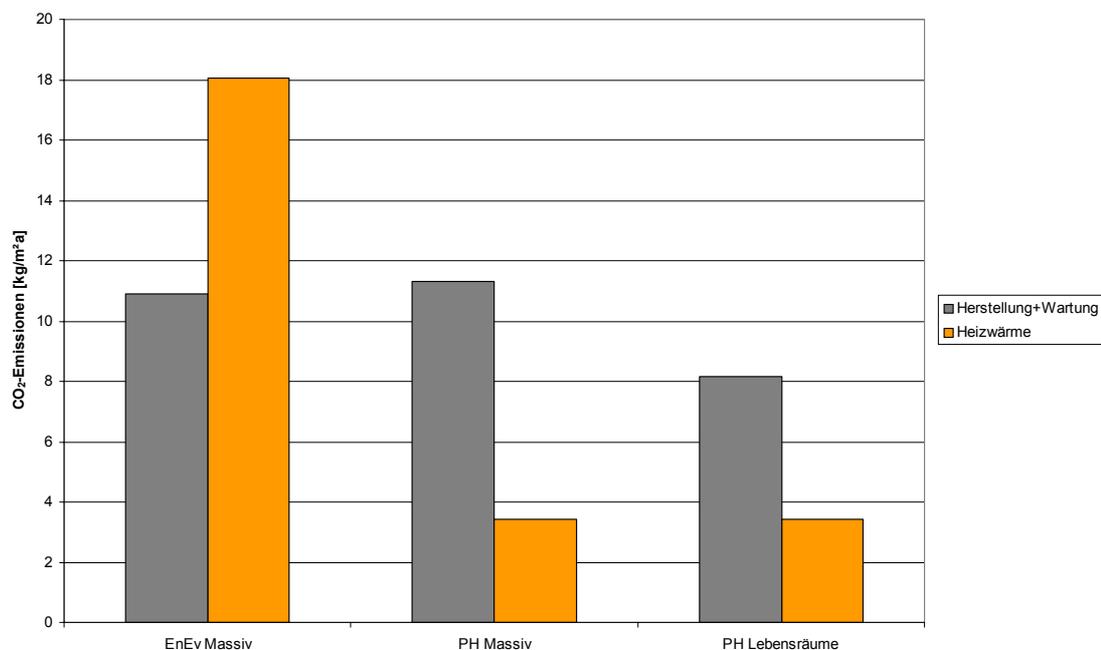


Abbildung 8: CO₂-Emissionen für Herstellung und Beheizung

5.4 OPTIMIERUNGSPOTENTIAL GEBÄUDEHÜLLE

Über die bereits festgestellte Verringerung des KEV für die Herstellung des Lebensräume Haustyps gegenüber der Variante Massivhaus hinaus, ergeben sich noch weitere Potentiale, die im weiteren dargestellt werden. Diese betreffen insbesondere den weiteren Ersatz von Beton und Stahl durch Holzkonstruktionen.

Zunächst untersucht wurde die Konstruktion der Geschossdecken. Die bisher vorgesehenen Spannbeton-Hohldielen wurden mit einer Holzdecken-Konstruktion verglichen.

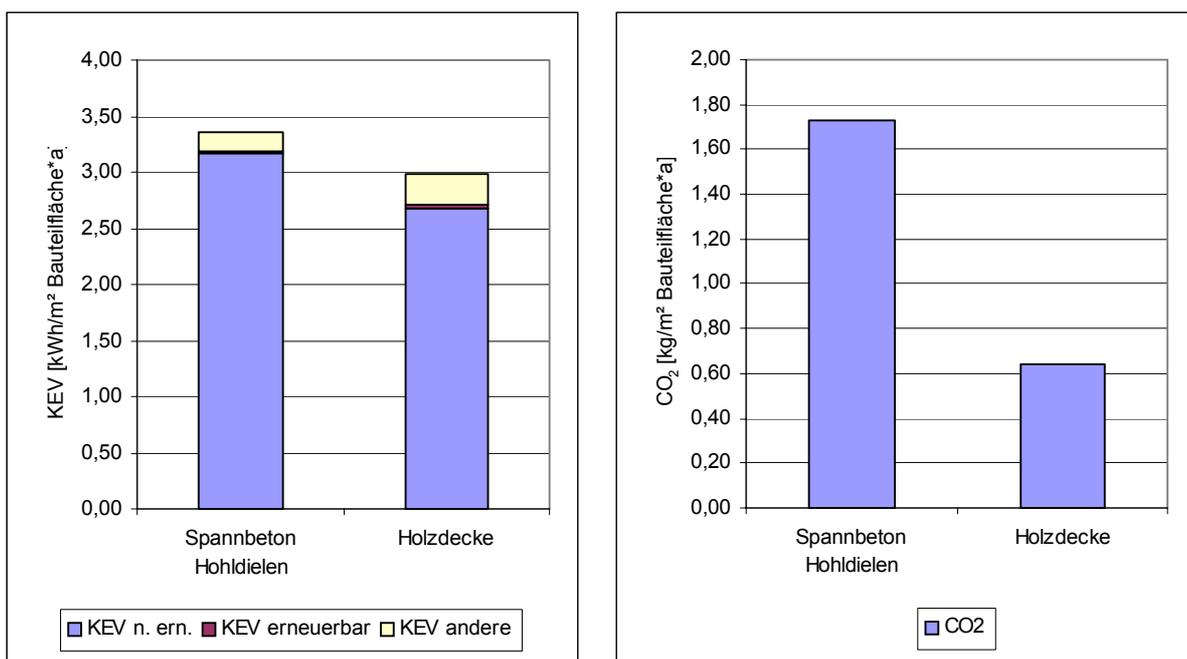


Abbildung 9: Vergleich Zwischendecken

Der Vergleich der Varianten zeigt deutliche Vorteile für die Holzdecken-Konstruktion. Die errechneten Werte sind hier auf einen m² Deckenfläche bezogen. Die geringen Anteile KEV-erneuerbar stammen hierbei aus den Vorketten der Materialherstellung.

Eine weitere Möglichkeiten zur Optimierung bietet die Konstruktion der Innenwände in Holzständer- statt Metallständerbauweise:

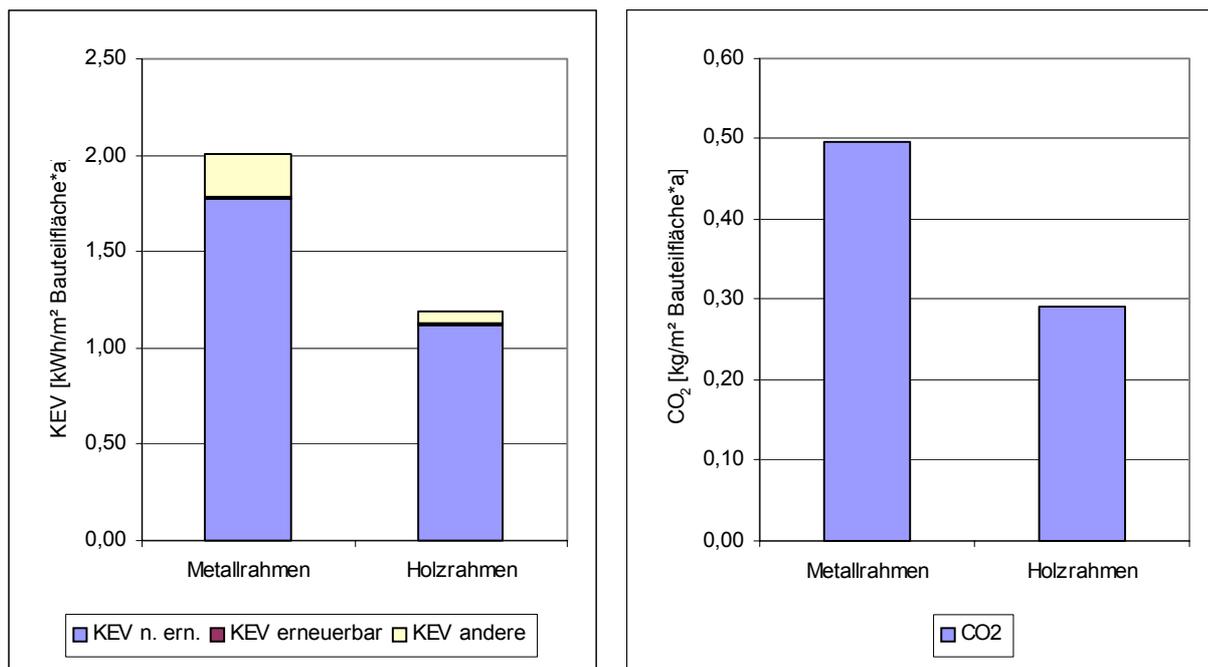


Abbildung 10: Vergleich Innenwände

Auch hier schneidet die Holzkonstruktion gegenüber der Metallrahmenkonstruktion deutlich besser ab. Die errechneten Werte beziehen sich hierbei auf einen m² Wandfläche.

Eine weitere Möglichkeit der Optimierung besteht aus dem Verzicht auf einen (Beton-)Keller und Ersatz durch einen entsprechenden Stauraum am Haus. Dazu wurde der Aufwand für die Erstellung des Kellers mit der Variante eines ebenerdigen Kellerersatzraumes aus Holz verglichen.

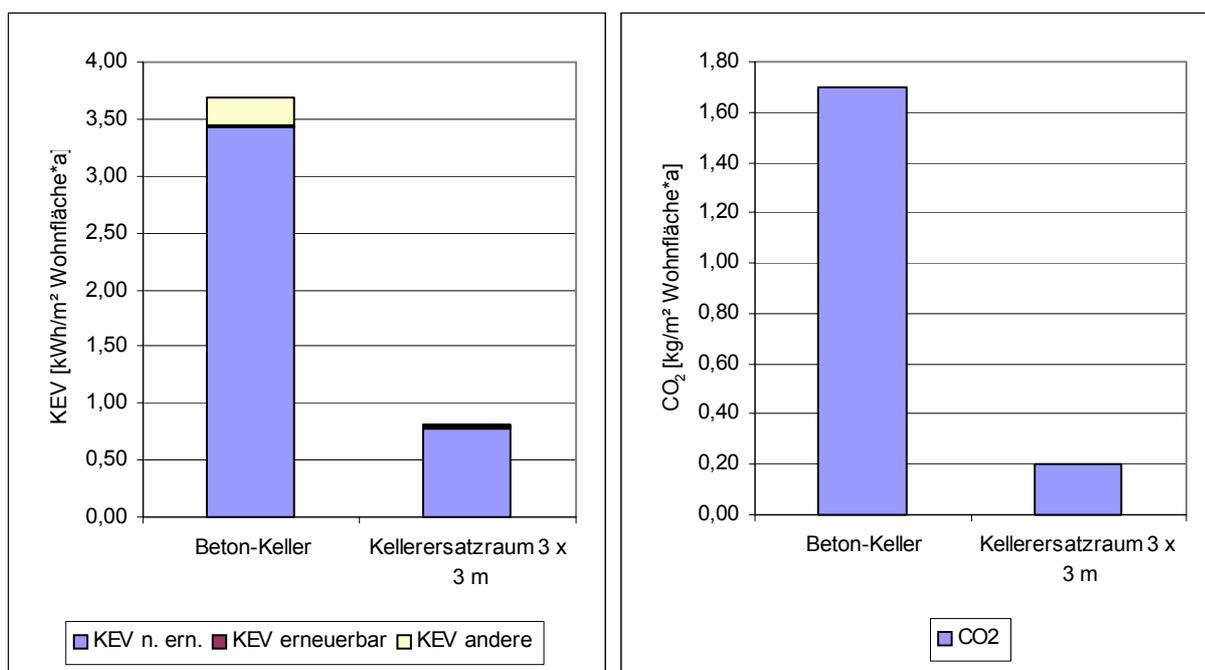


Abbildung 11: Vergleich Keller / Kellerersatzraum

Hier muss allerdings gesagt werden, dass sich durch diese Variante die Nutzungsmöglichkeit des Hauses und der verfügbare Gartenraum verändern und sich die Ergebnisse somit auf unterschiedliche „Serviceleistungen“ beziehen. Hierbei ist der Kellerersatzraum sowohl von der Nutzungsart (Kühlung, Lagerung, Zugänglichkeit etc.) anders zu bewerten. Zudem wurde bei den Berechnungen der Kellerersatzraum kleiner dimensioniert als der dafür wegfallende Kellerraum, da ein Anbau in Kellerraumgröße die Gartenfläche zu stark einschränken würde und in der Baupraxis daher stets kleiner dimensioniert wird. Ein direkter Vergleich dieser Varianten macht daher nur unter Berücksichtigung der Kundenwünsche Sinn.

Die Einordnung des Lebensräume-Haustyps sowie die verschiedenen Optimierungs-Möglichkeiten sind in den folgenden Darstellungen im Überblick dargestellt.

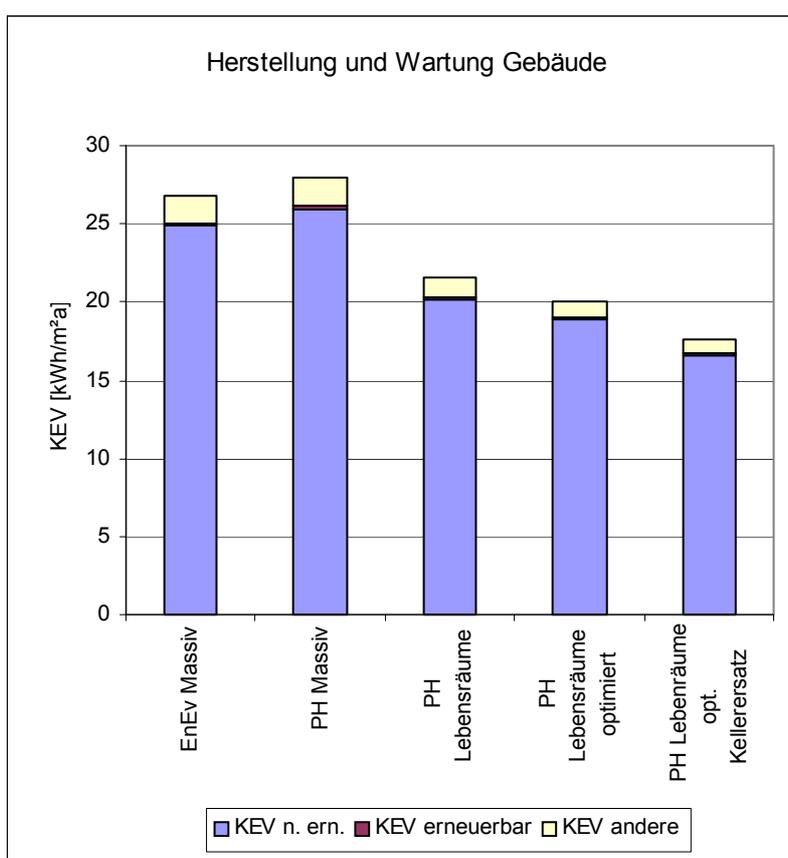


Abbildung 12: KEV für die Herstellung und Wartung der Gebäude

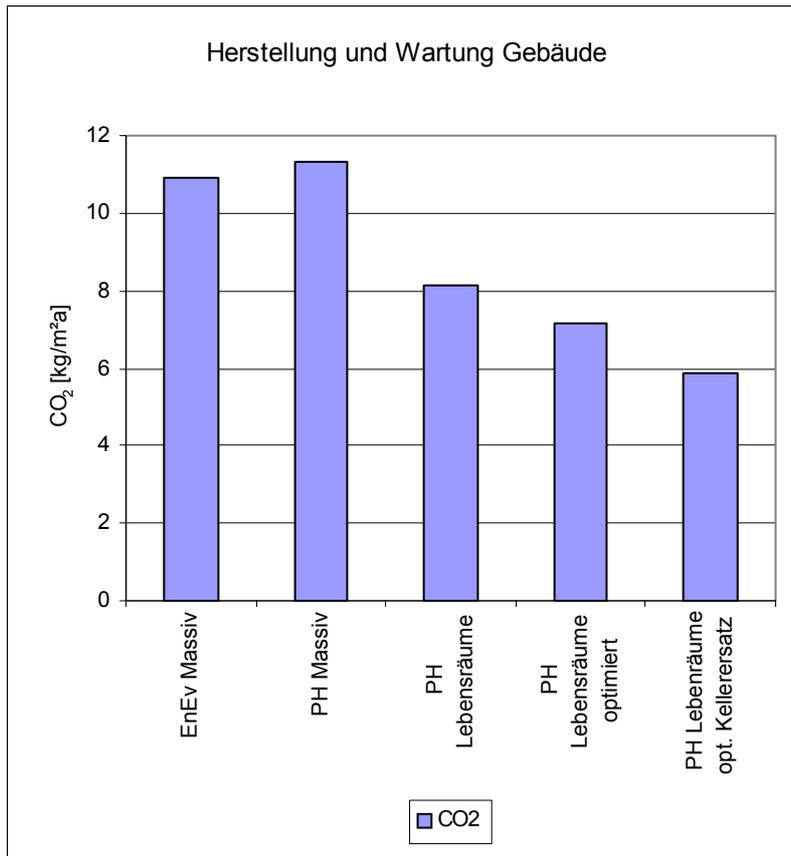


Abbildung 13: CO₂-Emissionen für Herstellung und Wartung der Gebäude

Die Relevanz der Einsparpotentiale bei der Erstellung der Gebäude zeigt sich auch bei der Betrachtung der absoluten Zahlen. Im Vergleich zum dargestellten Passivhaus in Massivbauweise werden bei der Errichtung eines Lebensräume-Hauses bereits 35 MWh Primärenergie eingespart. Dies entspricht 17 Tonnen CO₂. Durch eine weitere Optimierung (Zwischendecken und Innenwände) könnten weitere 8 MWh bzw. 5 Tonnen CO₂ eingespart werden.

5.5 ZUSAMMENFASSUNG

Die Hauptergebnisse der Untersuchung sind nachfolgend noch einmal kompakt dargestellt:

Zusammenfassung

- Ebenso wie die primärenergetische Bewertung der EnEV, zeigt der KEV die energetischen Optimierungspotentiale durch eine Verbesserung des Dämmstandards und Auswahl der Anlagentechnik. Zusätzlich zur Betrachtung der Nutzungsphase erlaubt der KEV die Bewertung der energiebedingten Umweltbelastungen der Erstellungsphase und ermöglicht somit eine ganzheitliche energetische Betrachtungsweise.
- Der KEV für die Erstellung der Gebäudehülle liegt beim jetzigen Standard nach EnEV in der Größenordnung des Heizenergiebedarfs während einer 50 jährigen Betrachtungsdauer. Der KEV für die Herstellung der Gebäude hat damit maßgeblichen Anteil am Gesamtenergiebedarf eines Gebäudes.
- Mit sinkendem Heizenergiebedarf (insbesondere beim Passivhaus) steigt die Bedeutung des KEV für die Gebäudehülle. Dieser wird damit zum effektiven Ansatzpunkt für weitere Energiesparmaßnahmen.
- Durch eine geschickte Wahl von Baumaterialien und Geometrie kann der KEV für die Gebäudehülle maßgeblich gesenkt werden.

Im weiteren sind einige generelle Empfehlungen zur KEV optimierten Bauweise dargestellt, die sich bei der vorliegenden Untersuchung sowie aus einer gemeinsam mit der Universität Essen, Fachgruppe Ökologisch verträgliche Energiewirtschaft (ÖvE) (seit Mitte 2002 Ruhruniversität Bochum, Lehrstuhl für Energiesysteme und Energiewirtschaft (LEE)), im Auftrag der AG-Solar NRW erstellten Studie (Ökologische Bewertung im Gebäudebereich) ergaben.

Hinweise für Planer

- Der Schwerpunkt der Energieverbräuche wird für die Gebäudehülle benötigt. Daher führen kompakte Baukörper im Allgemeinen nicht nur zu einem geringeren Heizenergiebedarf sondern auch zu einer Reduzierung des KEV Herstellung.
- Im Fall eines Massivhauses sollten nach Möglichkeit Steine verwendet werden, die nur bei geringen Temperaturen gebrannt werden müssen. Dies sind überwiegend Steine wie Kalksandsteine oder Hochlochtonziegel. Ziegelsteine oder Klinker benötigen wesentlich mehr Herstellungsenergie. Bei der Herstellung von Porenbetonsteinen ist ebenfalls ein hoher Energieeinsatz für die Herstellung notwendig.
- Als Zement sollte Hochofenzement gewählt werden, der den bei der Stahlerzeugung als Koppelprodukt anfallenden Hüttensand enthält. Dieser Zement benötigt nur ca. 40 % der Herstellungsenergie von Portlandzement.
- Der Einsatz von Stahlbeton sollte minimiert werden, da hier gleichzeitig zwei energieintensive Materialien benötigt werden: Zement und Stahl. Bei der Stahlarmierung sollte der vom Statiker angegebene Wert eingehalten werden, und nicht mehr Armierung eingebaut werden, um beispielsweise die Festigkeit weiter zu steigern.
- Bei Holzbauten kann durch Verwendung von Vollholz der geringste Energieeinsatz erreicht werden. Der Einsatz von Sperrholz oder Spanplatten erhöht den energetischen Aufwand.
- Die Dämmung des Gebäudes sollte mit Blick auf die Emissionen für Heizungszwecke möglichst gut sein. Hier zeigt sich, auch unter Berücksichtigung des KEV der Dämmmaterialien, ein positiver energetischer Effekt. Eine logische Obergrenze für die Wahl der Dämmstärke bildet hierbei der Passivhausstandard. Eine weitergehende Dämmung führt zu lediglich marginaler Verringerung der Transmissionsverluste und führt zu bautechnisch schwieriger zu handhabenden Wandstärken. Betrachtet man die Palette der verfügbaren Dämmmaterialien, zeigen sich Vorteile auf Seiten der ökologischen Dämmstoffe wie Zellulosedämmung.
- Weiter sollte beim Bau von Häusern der Einsatz von Aluminium, zum Beispiel bei Fensterbänken oder Fensterrahmen, minimiert werden. Die Produktion von Aluminium ist sehr energieintensiv.
- Bei Fenstern ist der Energieverbrauch für die Edelgasfüllung zwischen den Scheiben ein energetisch wichtiger Faktor. Eine Füllung mit Krypton verbessert den Dämmeffekt, erhöht allerdings auch den Energieaufwand erheblich. Über der Lebenszeit stellt sich allerdings auch hier immer ein positiver Effekt zugunsten der Füllung ein.
- Die geeignete Wahl der Materialien lässt sich auch durch den gezielten Ersatz von energieintensiven funktionalen Gebäudeteilen erreichen. Zum Beispiel kann ein Keller, der den Einsatz von Stahlbeton erfordert, durch einen außenliegenden Ersatzraum in Leichtbauweise ersetzt werden. Ein Carport könnte vielleicht die Funktion einer massiven Betongarage übernehmen.
- Durch die Wahl von haltbaren Bauelementen kann eine große Energieeinsparung während der Nutzung erzielt werden. Meistens ist eine robustere Ausführung der Elemente nur geringfügig teurer, führt aber zu einer Verlängerung der Nutzungszeit und damit zu einer besseren Bilanz über die Lebenszeit des Gebäudes.

6 ZIELGRUPPEN UND VERBREITUNGSWEGE

Für die Verbreitung der Ergebnisse im Rahmen des UBA-Projektes, sind nachfolgend die identifizierten Zielgruppen und mögliche Verbreitungswege dargestellt.

Zielgruppe	Aspekt	Verbreitungswege
Architekten/Planer	Berücksichtigung als Qualitätsmerkmal	Internet, Fachartikel, Tagungsvortrag
Wohnungsbau-Gesellschaften	Berücksichtigung als Marketinginstrument	Internet, Fachartikel (Fachzeitschriften Wohnungswirtschaft)
Vertreter von Städten und Gemeinden	Berücksichtigung bei der Stadtplanung	Internet, Fachartikel (Fachzeitschriften Kommunalpolitik)
Nutzer/Bewohner	Nachfrage des KEV als Qualitätsmerkmal	Internet, Tagespresse

7 AUSBLICK: HILFSMITTEL FÜR ARCHITEKTEN UND PLANER

Nach der Sensibilisierung von Zielgruppen ist es notwendig, für die tatsächliche Verankerung des KEV bei der Planung, Entwicklung und Realisierung von Produkten und Dienstleistungen auch geeignete Instrumente zur Verfügung zu stellen. Für den Sektor Bauen und Wohnen wird nachfolgend eine entsprechende Projektskizze als Ausblick auf mögliche weitere Schritte zur Entwicklung eines auf die Zielgruppen zugeschnittenen KEV-Werkzeugs vorgestellt und erläutert.

Projektskizze:

KEV - Leitfaden für Architekten

Hintergrund

Die Aussagekraft und praktische Anwendbarkeit des Indikators KEV für energierelevante Fragestellungen ist in verschiedenen Studien und Beispielanwendungen belegt (u. a.: UBA: „KEV 1“).

Nach der zielgerichteten Verbreitung des Indikators KEV und der Erhöhung seiner Akzeptanz durch anschaulich aufbereitete Beispielanwendungen (UBA Projekt „KEV 2“) scheint es wichtig, für einzelne Zielgruppen passende Instrumente zur Verfügung zu stellen, um diesen möglich zu machen, Entscheidungen in ihrem Bereich selbst mit einer einfach zu handhabenden, aber dennoch richtungssicheren KEV-Abschätzung unterstützen zu können.

Insbesondere der Bereich Bauen und Wohnen hat einen großen Anteil am „Gesamt-KEV“ der in unserer Gesellschaft existierenden Produkte und Dienstleistungen. Zudem bieten sich hier nachweislich große Einsparpotentiale, die durch die Anwendung des KEV-Parameters erschlossen werden können. Gerade hier ist es daher wichtig, geeignete Instrumente zu entwickeln, die, zugeschnitten auf die Bedürfnisse der Zielgruppe der Planer und Architekten, die Anwendung des KEV möglich machen und unterstützen.

Problemstellung: Zielgruppe Planer/Architekten

Für Planer und Architekten kann der KEV bei der Planung von Gebäudehülle (Geometrie, Dämmstärke, Materialien, Wandaufbau) und Energieversorgung / Energieeffizienz (Heizung, Warmwasser, Strom, Lüftung) wichtige Hinweise für eine ganzheitlich optimierte Planung geben.

Eine rasche Überprüfung, Optimierung und Darstellung Ihrer Planungen hinsichtlich des KEV ist jedoch mit den derzeit verfügbaren Instrumenten schwer durchführbar, da vorliegende Werte für „Ihren“ Gebäudetyp zu pauschal sind, oder Einzelwerte über aufwendige Massenermittlungen und Hochrechnung erfolgen müssen.

Es existieren zwar bereits Software-Lösungen (z. B. LEGOE), die neben einer Vielzahl weiterer Parameter eine Berechnung des KEA einschließen, allerdings bedeuten diese für den Planer eine erhebliche Einarbeitungszeit und sind zudem mit Lizenzkosten verbunden. Bestehende Bauteilkataloge (z.B. SIA-Dokumentation D0123 „Hochbaukonstruktionen nach ökologischen Gesichtspunkten“) basieren, in diesem Fall, auf schweizer Daten und nehmen nicht Bezug auf die EnEV. Diese Faktoren können für die anvisierte Zielgruppe der Architekten und Planer eine Hemmschwelle bei der Nutzung des KEV als Entscheidungsparameter darstellen.

KEV-Planungsleitfaden

Sinnvoll für Planer wäre ein kompakter, und z. B. gegen eine Schutzgebühr erhältlicher Leitfaden, der eine rasche Übersicht über planerische Lösungen und den damit verbundenen KEV gibt, eine direkte Zusammenstellung des Gesamt-KEV erlaubt und durch praktische Tipps eine KEV-optimierte Bauweise fördert.

Ein solcher Leitfaden sollte für die verschiedenen funktionalen Bauteile (Außenwand, Zwischendecken, Dach, Kellerdecke etc.) vorberechnete Varianten enthalten. Varianten sollten für gängige Konstruktionsweisen der Bauteile (Holrahmenbauweise, Massivbau in verschiedenen Materialien, verschiedene Dämmstoffe) sowie für verschiedene gängige Dämmstandards (unter Einbeziehung der neuen EnEV) gebildet und die zugehörigen KEV-Werte und CO₂-Emissionen pro m² Bauteilfläche ausgewiesen werden. Funktionale Einheiten und ihre Fläche sind für Planer und Architekten leichter erfassbar und in Bezug zu setzen, als die Ermittlung von Materialien in kg oder m³, und eignen sich daher für einen einfachen und raschen Vergleich von Optionen.

Um in einem weiteren Schritt auch den Gesamt-KEV eines Hauses berechnen und ausweisen zu können, sollten über den Bauteilkatalog hinaus gängige Energieversorgungsvarianten (inkl. Holzpellet-Heizung, Solarthermie, PV) und deren KEV- und CO₂-Faktoren in Anlehnung an die EnEV beschrieben werden. Der KEV der Nutzungsphase kann dann auf Basis von verfügbaren Planungswerten (Heizwärme) berechnet werden. Für Warmwasser- und Strombedarf, für die ggf. noch keine Planungswerte vorliegen, sollten zur Berechnung Richtwerte, abhängig von z. B. Bewohnerzahl und Einrichtungsstandard, genannt werden

Somit wäre mit den Geometrien des Gebäudes als einzig zwingend zu ermittelnde Eingangsgrößen, eine KEV-Berechnung und Optimierung von Varianten rasch und einfach möglich.

8 ANHANG

- Erfassung der Material- und Energiedaten
- Verwendete KEV- und CO₂-Faktoren

Erstellung Massiv EnEV	Dichte [kg/m ³]	Volumen [m ³]	Masse [kg]
Aluminiumblech	2700	0,008	21
Armierungsstahl	7900	0,542	4283
Außenputz	1800	0,460	828
Baustahl	7900	0,084	664
Beton	2400	62,767	150642
Bitumendichtungsbahn	1000	3,717	3717
Bodenaushub	1800	196	352800
Bretter/Latten/Stiele	450	1,000	450
Gipsputz	1000	2,165	2165
Glaswolle Dämmung	32	4,312	138
Hartfaserplatte	1400	0,073	103
Kalksandstein (verdichtet)	2000	21,348	42696
Polyethylen (PE)	1000	0,227	227
Polystyrol exp. (EPS)	20	29,752	595
Polyvinylchlorid (PVC)	1000	0,000	0
Zementestrich	2200	8,721	19186
Ziegel Mauerwerk	1400	8,051	11271
Fenster	Fläche [m ²]	Quelle	Masse [kg]
Fenster PVC Standard	18,30	8	739

Erstellung Massiv PH	Dichte [kg/m ³]	Volumen [m ³]	Masse [kg]
Aluminiumblech	2700	0,008	21
Armierungsstahl	7900	0,542	4283
Außenputz	1800	0,460	828
Baustahl	7900	0,089	704
Beton	2400	62,767	150642
Bitumendichtungsbahn	1000	3,717	3717
Bodenaushub	1800	196	352800
Bretter/Latten/Stiele	450	1,000	450
Gipsputz	1000	2,165	2165
Glaswolle Dämmung	32	4,312	138
Hartfaserplatte	1400	0,073	103
Kalksandstein (verdichtet)	2000	21,348	42696
Polyethylen (PE)	1000	0,227	227
Polystyrol exp. (EPS)	20	54,684	1094
Polyvinylchlorid (PVC)	1000	0,000	0
Zementestrich	2200	8,721	19186
Ziegel Mauerwerk	1400	8,051	11271
Fenster	Fläche [m ²]	Quelle	Masse [kg]
Fenster PVC hochgedämmt	18,30	8	922

Erstellung Lebensräume PH	Dichte [kg/m³]	Volumen [m³]	Masse [kg]
Aluminiumblech	2700	0,008	21
Armierungsstahl	7900	0,294	2319
Außenputz	1800	0,402	724
Baustahl	7900	0,238	1879
Beton	2400	42,211	101306
Bodenaushub	1800	196,000	352800
Bretter/Latten/Stiele	450	1,473	663
Cellulose	30	48,712	1461
Fermacell	1000	3,199	3199
Hartfaserplatte	1400	0,073	103
Holzweichfaserplatte	284	3,891	1105
Innenputz	1400	0,656	918
Kalksandstein (verdichtet)	2000	21,348	42696
OSB/TJI-Träger	660	2,975	1963
Polyethylen (PE)	1000	0,276	276
Polystyrol exp. (EPS)	20	19,772	395
Zementestrich	2200	5,879	12934
Fenster	Fläche [m²]	Quelle	Masse [kg]
Fenster Holz Hochgedämmt	18,30	8	754

Erstellung Lebensräume PH optimiert	Dichte [kg/m³]	Volumen [m³]	Masse [kg]
Aluminiumblech	2700	0,000	0
Armierungsstahl	7900	0,239	1887
Außenputz	1800	0,402	724
Baustahl	7900	0,087	690
Beton	2400	33,117	79482
Bodenaushub	1800	196,000	352800
Bretter/Latten/Stiele	450	9,148	4117
Cellulose	30	49,364	1481
Fermacell	1000	6,601	6601
Hartfaserplatte	1400	1,751	2452
Holzweichfaserplatte	284	5,014	1424
Innenputz	1400	0,656	918
Kalksandstein (verdichtet)	2000	21,348	42696
OSB/TJI-Träger	660	2,975	1963
Polyethylen (PE)	1000	0,201	201
Polystyrol exp. (EPS)	20	18,600	372
Zementestrich	2200	2,948	6486
Fenster	Fläche [m²]	Quelle	Masse [kg]
Fenster Holz Hochgedämmt	18,30	8	754

Erstellung Lebensräume PH optimiert ohne Keller	Dichte [kg/m ³]	Volumen [m ³]	Masse [kg]
Aluminiumblech	2700	0,000	0
Armierungsstahl	7900	0,097	764
Außenputz	1800	0,402	724
Baustahl	7900	0,087	690
Beton	2400	18,226	43741
Bodenaushub	1800	196,000	352800
Bretter/Latten/Stiele	450	9,363	4213
Cellulose	30	62,798	1884
Fermacell	1000	7,051	7051
Hartfaserplatte	1400	1,751	2452
Holzweichfaserplatte	284	6,759	1920
Innenputz	1400	0,656	918
Kalksandstein (verdichtet)	2000	21,348	42696
OSB/TJI-Träger	660	3,930	2594
Polyethylen (PE)	1000	0,201	201
Polystyrol exp. (EPS)	20	17,321	346
Zementestrich	2200	2,948	6486
Fenster	Fläche [m ²]	Quelle	Masse [kg]
Fenster Holz Hochgedämmt	18,30	8	754

Baustoff/Modul	GEMIS Prozesse		KEV-nichterneuerbar		KEV-erneuerbar		KEV-andere		KEV-Summe		CO2 g/kg
			KWh/kg	KWh/kg	KWh/kg	KWh/kg	KWh/kg	KWh/kg	KWh/kg		
Aluminiumblech	Metall\AluKonstruktion		1,12E+02	6,14E+00	7,56E+00	1,26E+02	2,94E+04			2,94E+04	
Arnierungsstahl	Metall\Stahl-D-WarmWalz		5,50E+00	3,72E-02	8,85E-01	6,42E+00	1,58E+03			1,58E+03	
Außenputz	Steine-Erden\Putz-KHP		1,29E+00	1,15E-02	6,29E-02	1,37E+00	6,08E+02			6,08E+02	
Beton B25	Steine-Erden\Beton-B25		2,67E-01	1,38E-03	6,88E-03	2,75E-01	1,71E+02			1,71E+02	
Bitumendichtungsbahn	Chem-Org\Bitumendichtungsbahn		2,60E+00	1,37E-02	4,52E-02	2,65E+00	9,87E+02			9,87E+02	
Bodenaushub	Xtra-Abbau\Sand-D		2,53E-02	1,35E-04	6,60E-04	2,61E-02	6,61E+00			6,61E+00	
Bretter /Latten	HolzWirtschaft\Schmittholz-mix-Trok-Fichte		4,63E-01	4,95E-03	2,27E-01	6,95E-01	1,16E+02			1,16E+02	
Cellulosedämmung	Papier-Pappe\Altpapier-EU-mix		1,37E-01	6,14E-03	1,80E-03	1,45E-01	3,51E+01			3,51E+01	
Fenster Holz hochgedämmt	Bauelement-Fenster-Holz-gedämmt		5,74E+00	1,12E-01	3,49E-01	6,20E+00	1,62E+03			1,62E+03	
Fenster Holz standard	Bauelement-Fenster-Holz-stand		6,53E+00	1,46E-01	4,39E-01	7,11E+00	1,79E+03			1,79E+03	
Fenster PVC hochgedämmt	Bauelement-Fenster-PVC-gedämmt		5,11E+00	5,70E-02	2,85E-01	5,45E+00	1,63E+03			1,63E+03	
Fenster PVC standard	Bauelement-Fenster-PVC-stand		5,56E+00	6,97E-02	3,39E-01	5,97E+00	1,77E+03			1,77E+03	
Gipsplatte	Steine-Erden\Gipsplatte		8,99E-01	6,14E-03	3,06E-02	9,35E-01	2,34E+02			2,34E+02	
Gipsputz	Steine-Erden\Gips		1,78E-01	1,97E-03	1,00E-02	1,90E-01	4,42E+01			4,42E+01	
Glaswolle Dämmung	Steine-Erden\Glaswolle		9,61E+00	1,18E-01	8,35E-02	9,82E+00	2,15E+03			2,15E+03	
Harthaserplatte	HolzWirtschaft\Harthaserplatte		3,05E+00	2,30E-02	1,17E-01	3,19E+00	7,29E+02			7,29E+02	
Kalksandstein	Steine-Erden\Kalksandstein		3,23E-01	1,06E-03	4,98E-03	3,29E-01	1,42E+02			1,42E+02	
PE-Folie	Kunststoff\Damptrense_PE		6,70E+00	7,43E-02	4,98E-03	7,13E+00	3,07E+03			3,07E+03	
Polystyrol expandiert	Kunststoff\EPS		8,52E+00	6,05E-02	3,40E-01	8,92E+00	3,74E+03			3,74E+03	
Polyvinylchlorid (PVC)	Chem-Org\PVC-mix-D		6,64E+00	7,81E-02	2,63E-01	6,98E+00	2,29E+03			2,29E+03	
Steinwolle Dämmung	Steine-Erden\Steinwolle		3,25E+00	1,75E-02	5,28E-01	4,06E+00	9,68E+02			9,68E+02	
Weichfaserplatte	HolzWirtschaft\Weichfaserplatte		3,52E+00	2,31E-02	1,17E-01	3,39E+00	7,34E+02			7,34E+02	
Zementestrich	Steine-Erden\Zementestrich		2,88E-01	1,51E-03	7,55E-03	2,97E-01	1,84E+02			1,84E+02	
Ziegel Mauer	Steine-Erden\Ziegel-Mauer		5,60E-01	2,38E-03	1,89E-01	7,52E-01	1,92E+02			1,92E+02	
Transport											
Transport Aushub/Materialien	Lkw-D-n. Anh.-AO-mittel		KWh/1000 tkm	KWh/1000 tkm	KWh/1000 tkm	KWh/1000 tkm	KWh/1000 tkm	g/1000 tkm			
	Energie		3,92E+02	3,87E-01	3,38E+00	3,96E+02	1,06E+05				
			KWh/MWh	KWh/MWh	KWh/MWh	KWh/MWh	g/MWh				
Heizung Brennvwert Gas	Gas-Heizung-Brennvwert-D		1,17E+03	1,08E+00	4,36E+00	1,17E+03	2,28E+05				
Holz-Pellet-Heizung	Holz-Pellet-Heizung-D		2,81E+02	2,71E+00	1,29E+03	1,57E+03	7,13E+04				
El-Heizung	El-Heizung-D-mix		2,97E+03	1,39E+00	6,09E+00	2,98E+03	8,34E+05				
Solar Kollektor WW	SolarKollektor-Flach		1,59E+02	1,01E+03	9,45E+00	1,17E+03	4,51E+04				
Strom Netz	Netz-el-D-lokal-HH/KV		2,68E+03	4,85E+01	2,53E+02	2,98E+03	6,39E+05				
Solarstrom	Solar-PV-multi-Rahmen+Rack-D		4,94E+02	1,01E+03	5,26E+01	1,56E+03	1,50E+05				
WW Strom	el-Warmwasser-D-dezentral (mix)		2,82E+03	5,11E+01	2,67E+02	3,14E+03	6,73E+05				

3.6 Beispiel "Landwirtschaft / Nahrungsmittelproduktion: Produktion eines Brotes"

3.6.1 Ergebnisse

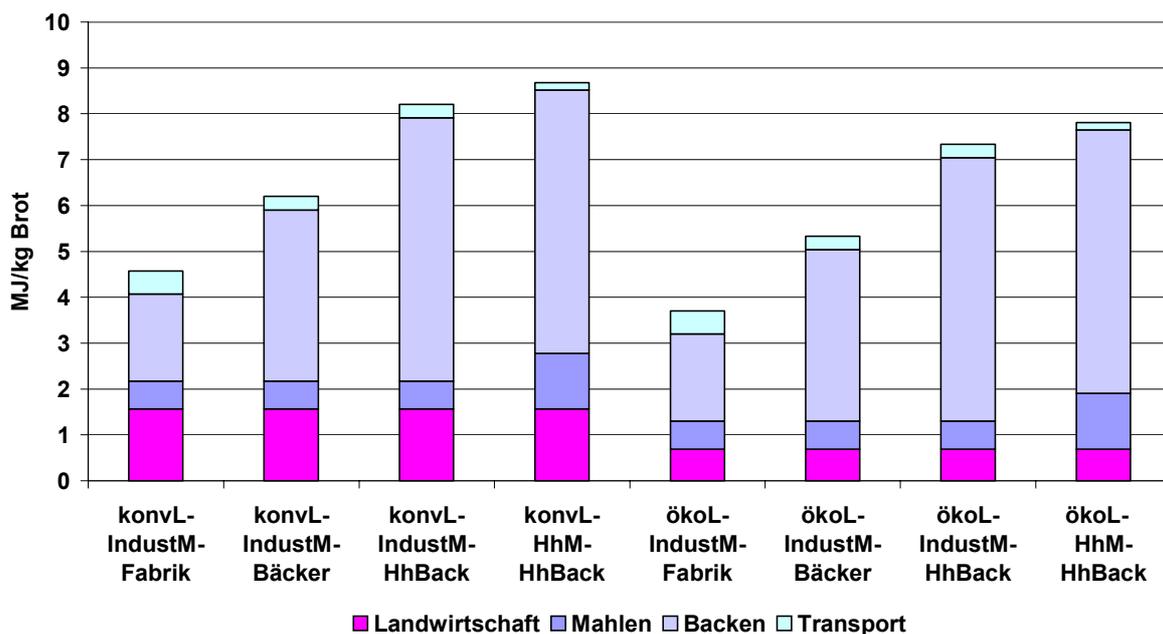
Übersicht: Prozessstufen und Optionen

Die in der Graphik verwendeten Abkürzungen sind in eckigen Klammern angegeben.

- Öko- und konventioneller Anbau [A] von Weizen (Anbau bis Ernte) [ökoL, konvL]
- Mehlproduktion [M] in Industriemühle und Haushaltsmühle [IndustM, HhM]
- Brotproduktion [B] in Großbäckerei, "Bäckerladen" und Haushaltsbackautomat [Fabrik, Bäcker, HhBack]
- Transporte [T] von Getreide, Mehl und Brot

Bezug: 1 kg Brot

Ergebnisdokumentation und -diskussion



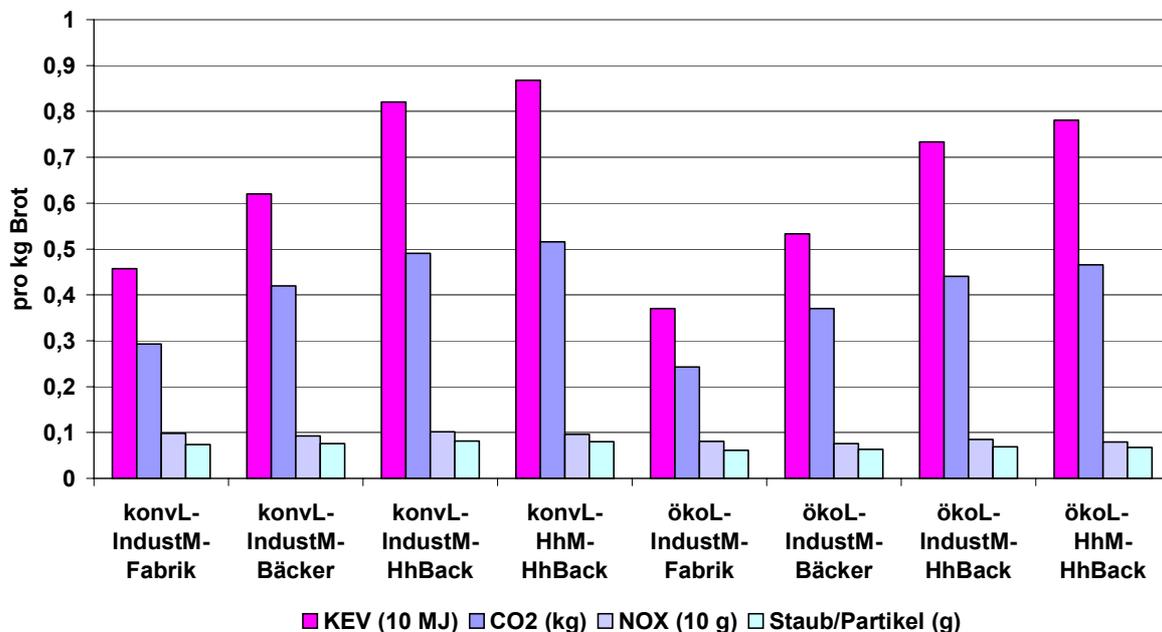
konvL: konventionelle Landwirtschaft; ökoL: ökologische Landwirtschaft
 IndustM: Industriemühle; HhM: Haushaltsmühle
 Fabrik: Brotfabrik; Bäcker: Handwerksbäckerei; HhBack: Haushaltsbackautomat

Abb. 3.6-1

KEV: Brot (ohne Transport von Getreide, Mehl bzw. Brot durch Endverbraucher)

Die wesentlichen Ergebnisse des Vergleichs der acht Varianten der Brotproduktion bzw. Bereitstellung lassen sich folgendermaßen zusammenfassen (**Abb. 3.6-1**):

- Der niedrigste KEV resultiert für die Variante Ökoanbau-Industriemühle-Brotfabrik.
- Der Anteil des Backens liegt in allen Optionen über 50% des KEV.
- KEV des Backens sinkt erwartungsgemäß vom Haushaltsbackautomaten über die Handwerksbäckerei zur Brotfabrik.
- KEV des Ökoanbaus ist – vor allem durch den Verzicht auf den Einsatz von mineralischem Stickstoffdünger – deutlich geringer als der des konventionellen.
- Für Anbau und Mahlen (je zwei Optionen) ergeben sich unterschiedliche Rangfolgen der Anteile.
- Industrielle Prozesse (Mahlen und Backen) sind mit größeren Transportaufwendungen verbunden.
- Der Anteil der erneuerbaren Energien am KEV der gesamten Produktion bzw. Bereitstellung liegt zwischen 0,5 und 1,3 %; bei den einzelnen Prozessen liegt das Maximum mit 1,4 % beim ausschließlich mit Stromverbrauch verbundenen Mahlen.



konvL: konventionelle Landwirtschaft; ökoL: ökologische Landwirtschaft
IndustM: Industriemühle; HhM: Haushaltsmühle
Fabrik: Brotfabrik; Bäcker: Handwerksbäckerei; HhBack: Haushaltsbackautomat

Abb. 3.6-2 KEV und Emissionen: Brot

Die überwiegend gesellschaftspolitisch als wünschenswerte betrachtete Förderung kleiner Betriebe (hier: Handwerk) steht hier im Konflikt mit der Tendenz des KEV. Die Wahl der Bezugsquelle von Brot setzt damit eine wertbezogene Entscheidung voraus, für die natürlich das gesellschaftliche Argument schwerer wiegen kann. Entsprechendes gilt für die Heimbäckerei, die nicht nur unter ökonomischen bzw. Ernährungs-, sondern z.B. auch Freizeit- und Hobbyaspekten zu betrachten ist. Produzenten-bezogen lässt sich ableiten, dass vor allem für das Bäckerhandwerk die Untersuchung und Erschließung der Potentiale betrieblicher

Energiesparmaßnahmen, z.B. im Rahmen eines Projektes wie "Bäcker/Konditoren und Umwelt" von Bäckerinnung, BUND und Stadtverwaltung Heidelberg [Heidelberg 2003], sinnvoll ist.

Ein Vergleich des KEV mit den Emission von drei Stoffen zeigt erwartungsgemäß eine sehr gute Korrelation der CO₂-Emissionen, während die NOX- und Partikel-Emissionen entkoppelt sind (**Abb. 3.6-2**). Insofern ist die Eignung des KEV als alleiniger Indikator für umweltbezogene Grobabschätzungen in der Nahrungsmittelproduktion beschränkt. Er ist umso aussagekräftiger, je höher der Ressourcenschutz durch Einsparung fossiler Energieträger und die Minderung des Treibhauseffekts im Vergleich zu anderen Umweltaspekten bewertet werden.

Der Transport von Getreide, Mehl bzw. Brot durch den Endverbraucher (Einzelhandel bzw. Bäckerei - Wohnung) wird hier nicht systematisch, sondern lediglich beispielhaft erfasst. Anteile verschiedener Transportarten (mit PKW, ÖPNV, Fahrrad, zu Fuß), Transportlängen und weitere Transportzwecke (z.B. Brotkauf auf dem Weg von der Arbeit oder Großeinkauf verschiedener Lebensmittel) können nicht belastbar abgeschätzt werden. Bei gemischten Transportzwecken stellt sich die Frage, welcher Anteil am Aufwand dem Brot zugeteilt wird. Um zumindest die Bandbreite abzuschätzen, werden zwei Beispiele betrachtet (jeweils Fabrikbrot aus konventionellem Getreide):

1. je 2 km hin und zurück mit dem PKW zum alleinigen Zweck 1 kg Brot zu erwerben
2. je 1 km hin und zurück mit dem Fahrrad zum Großeinkauf von 10 kg Lebensmitteln, davon 1 kg Brot, mit massenbezogener Allokation

Für (1) ergibt sich ein KEV des Transports von 18,6 MJ/kg Brot, für (2) von 0,01 MJ/kg Brot. Der KEV des PKW-Transportes ist mehr als viermal so groß wie der der Brotbereitstellung, der des Fahrradtransportes vernachlässigbar klein im Vergleich zu allen Produktionsvarianten. Damit ergibt sich, dass – auch bei weniger extremen Annahmen zur Einkaufsfahrt – die KEV-Differenzen zwischen Optionen, die sich nur in einem Schritt unterscheiden, etwa Fabrik-Bäckerladen (bei gleicher Getreide- und Mehlproduktion) leicht kompensiert werden können.

Für den zunehmend intensiver diskutierten Flächenverbrauch resultiert als Folge des niedrigeren Ertrags ein Nachteil für den Ökoanbau mit 1,7 m²/kg Brot im Vergleich zum konventionellen mit 1,1 m²/kg Brot.

3.6.2 Technische Dokumentation

Übersicht: Prozessstufen und Optionen

- Öko- und konventioneller Anbau von Weizen (Anbau bis Ernte)
- Mehlproduktion in Industriemühle und Haushaltmühle
- Brotproduktion in Großbäckerei, "Bäckerladen" und Haushaltsbackautomat
- Transporte von Getreide, Mehl und Brot

Bezug: 1 kg Brot

Weizenanbau

Der Anbau umfasst die Arbeitsschritte Pflügen, Saatbettbereitung und Saat, Dünger- und Pflanzenschutzmittel(PSM)-Ausbringungen (nur konventionell), die Ernte und den Transport bis zum Hof. Der ökologische Anbau unterscheidet sich vom konventionellen durch den Verzicht auf Düngemittel und PSM sowie durch geringere Erträge pro Hektar. Hauptenergieträger ist Dieselkraftstoff zum Betrieb der Landmaschinen.

Quellen, Details: Düngemittelproduktion [Patyk & Reinhardt 1997], maschinelle Feldarbeit [Borken et al. 1999], Betriebsmittel [FAT 1997] und [IFEU et al. 2001], Dieselpreispromille [IFEU-DGMK 2003]

Mehlproduktion

Industrie- und Haushaltsmühlen werden mit elektrischer Energie unterschiedlicher Spannungsebenen betrieben (Mittel- bzw. Niederspannung). Es wird nicht zwischen konventionellem und Öko-Getreide bzw. Mehl unterschieden. Zur Betriebsmittelbereitstellung werden Abschätzungen durchgeführt, die Scale-Effekte und unterschiedliche Nutzungsintensitäten von Haushalts- und Industriemühlen berücksichtigen.

Quellen, Details: Energieverbrauch Industriemühle [Gemis 2002], Energieverbrauch Haushaltsmühle diese Studie, Betriebsmittel diese Studie, Strombereitstellung [Borken et al. 1999] und Aktualisierungen

Brotproduktion

Industrie- und Handwerksbacköfen werden mit Strom, Erdöl oder Erdgas, Haushaltsbackmaschinen mit Strom betrieben. In dieser Studie wird für gewerbliche Backöfen der Energieträger-Mix nach [Gemis 2002] angesetzt. Zur Betriebsmittelbereitstellung werden Abschätzungen durchgeführt, die Scale-Effekte und unterschiedliche Nutzungsintensitäten von Haushaltsbackmaschinen, Handwerks- und Fabrikbacköfen berücksichtigen.

Quellen, Details: Energieverbrauch des Backens [Gemis 2002], Betriebsmittel diese Studie, Energiebereitstellung [Borken et al. 1999], [IFEU-DGMK 2003] und Aktualisierungen

Transport

Für die Transporte von Getreide (Hof - Mühle bzw. Einzelhandel), Mehl (Mühle - Industrie- bzw. Handwerksbäckerei bzw. Einzelhandel) und Brot (Industriebäckerei - Einzelhandel) werden Standard-Transporte mit 22 t-LKWs (hin voll, rück leer) angesetzt. Der Transport von Getreide, Mehl bzw. Brot durch den Endverbraucher (Einzelhandel bzw. Bäckerei - Wohnung) wird nicht systematisch erfasst, sondern lediglich beispielhaft diskutiert.

Quellen, Details: Dieserverbrauch LKW [Borken et al. 1999] und [IFEU-UBA 2002], Dieselpreispromille [IFEU-DGMK 2003], Betriebsmittel [IFEU et al. 2001]

3.7 Verkehr (ifeu)

3.7.1 Beispiel "Personennahverkehr" - Ergebnisse

Erfasst werden Fahrbetrieb und Energiebereitstellung sowie die Herstellung der Fahrzeuge; die Infrastruktur (Straßen und Trassen) wird aufgrund der unsicheren Datenbasis und der erheblichen Allokationsprobleme nicht berücksichtigt.

Übersicht: Optionen

Personennahverkehr mit

- PKW
- Bus
- Straßenbahn
- Fahrrad

in typischen aktuellen Spezifikationen mit Voll- und mittlere Auslastung; Bezug: Pers.-km

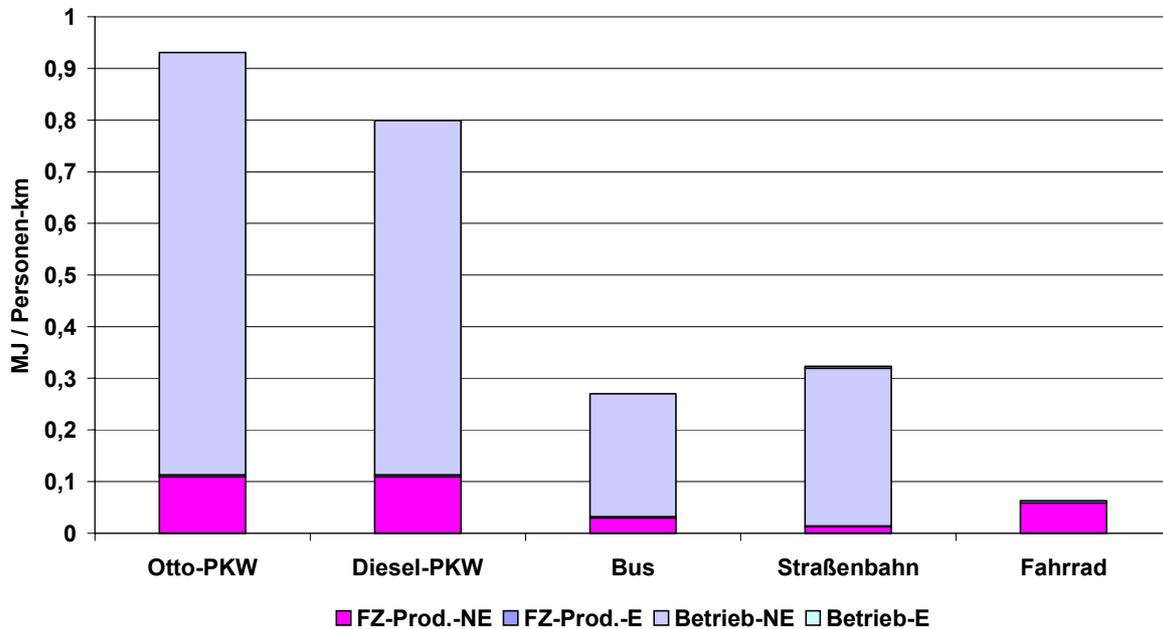
Ergebnisdokumentation und -diskussion

Für alle motorisierten Verkehrsmittel werden sehr ähnliche mittlere Auslastungen angesetzt (PKW 25%, Bus und Straßenbahn 20%). Damit sind trivialerweise die Relationen der KEV der motorisierten Verkehrsmittel untereinander für Voll- (100 %) und mittlere Auslastung sehr ähnlich (**Abb. 3.7-1**, **Abb. 3.7-2**). Lediglich die Differenzen aller motorisierten Verkehrsmittel zum Fahrrad sind bei mittlerer Auslastung deutlich größer. Die KEV der öffentlichen Verkehrsmittel sind etwa ein Drittel bis halb so groß wie die der PKW. Die Anteile der Fahrzeugbereitstellung liegen bei PKW und Bus um 13 %, bei der Straßenbahn bei etwa 4 %. Da die menschliche Arbeit zum Fahrrad Antrieb nicht bewertet wird, besteht der KEV des Fahrradfahrens nur aus dem der Fahrradbereitstellung.

Folgerungen für die Akteure des Personenverkehrs ergeben sich unmittelbar aus den Ergebnissen. Kommunen und ÖPNV-Unternehmen sollten ggf. (d.h. wenn Investitionsentscheidungen maßgeblich von Umweltaspekten abhängig gemacht werden) weitergehende Untersuchungen durchführen bzw. veranlassen, um optimale Einsatzfelder und -bedingungen für Bus- und Straßenbahn zu identifizieren. Grundsätzlich: Besonders zu beachten ist die Abhängigkeit der Ergebnisse von der Auslastung; z.B. liegt der KEV pro Personen-km für einen Diesel-PKW mit 50% Auslastung niedriger als für einen Bus mit 10%.

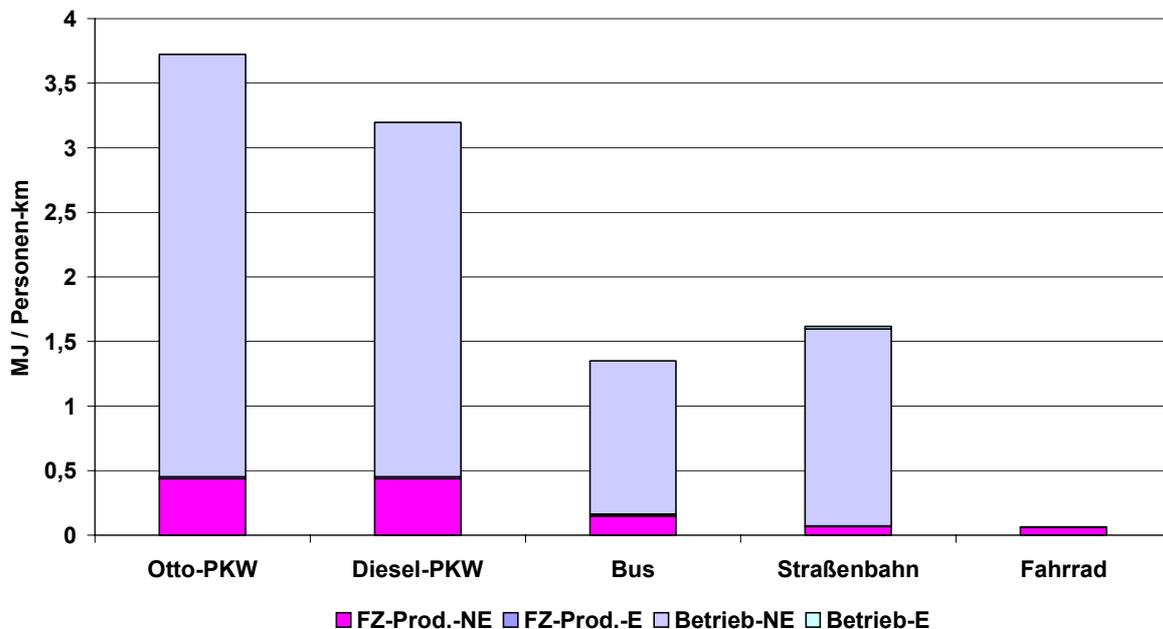
Der Vergleich von KEV und einigen Emissionen zeigt zum Teil weitgehende Entkopplung. Während für CO₂ nur Bus und Straßenbahn eine andere Reihenfolge zeigen als beim KEV, sind für NOX- und Partikel-Emissionen unterschiedliche Reihenfolge eher typisch (**Abb. 3.7-3**, **Abb. 3.7-4**). Ursachen sind die unterschiedlichen Emissionsmuster von Otto- und Dieselmotoren bzw. Kraftstoff- und Strombereitstellung. Für einen ersten Vergleich der Umweltwirkungen verschiedener Verkehrsmittel kann der KEV damit als Indikator herangezogen werden. Bei KEV-Differenzen von deutlich weniger als etwa 20% und/oder dem Fokus auf der Verbesserung der lokalen Umweltsituation sollten auch für Abschätzungen weitere Indikatoren betrachtet werden.

Ein internet-basiertes Tool für den Personenfernverkehr, das ähnliche Größen wie die hier diskutierten liefert – allerdings unter Ausschluss der Fahrzeugproduktion – findet sich als UmweltMobilCheck unter <http://reiseauskunft.bahn.de>; Bericht (Konzept und Datenquellen): [IFEU 2002]; Software: HACON/Hannover.



FZ-Prod.: FahrzeugProduktion; **Betrieb:** Nutzung (incl. Kraftstoff- bzw. Strombereitstellung)
E: erneuerbare Energie; **NE:** nicht erneuerbare Energie

Abb. 3.7-1 KEV: Personennahverkehr – 100% Auslastung



FZ-Prod.: FahrzeugProduktion; **Betrieb:** Nutzung (incl. Kraftstoff- bzw. Strombereitstellung)
E: erneuerbare Energie; **NE:** nicht erneuerbare Energie

Abb. 3.7-2 KEV: Personennahverkehr – mittlere Auslastung

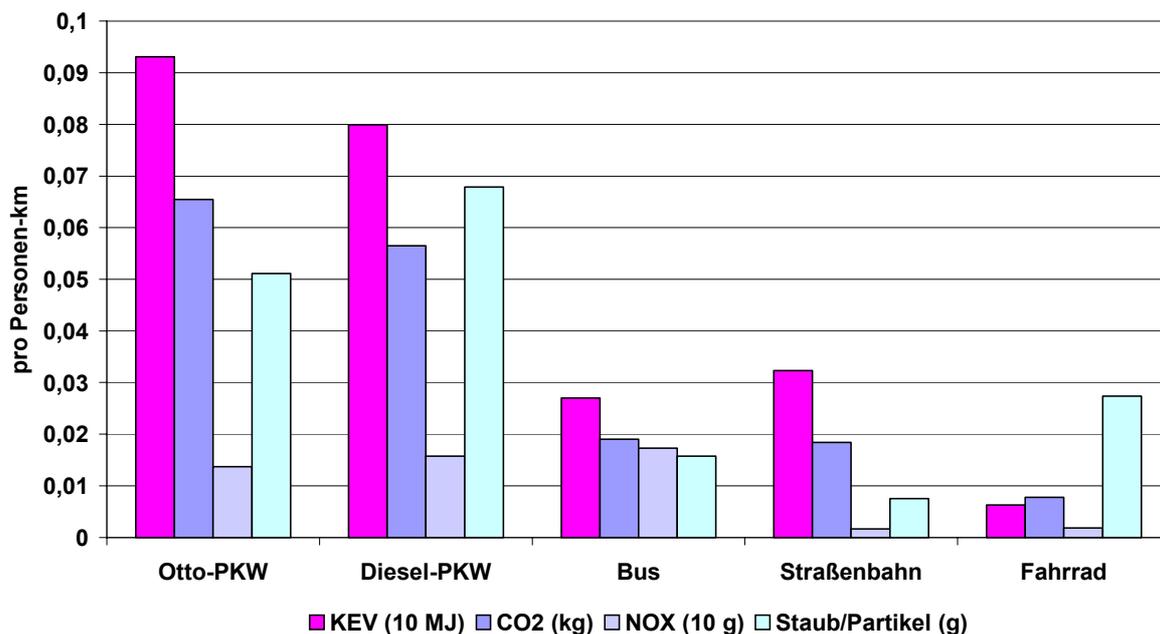


Abb. 3.7-3 KEV und Emissionen: Personennahverkehr – 100% Auslastung

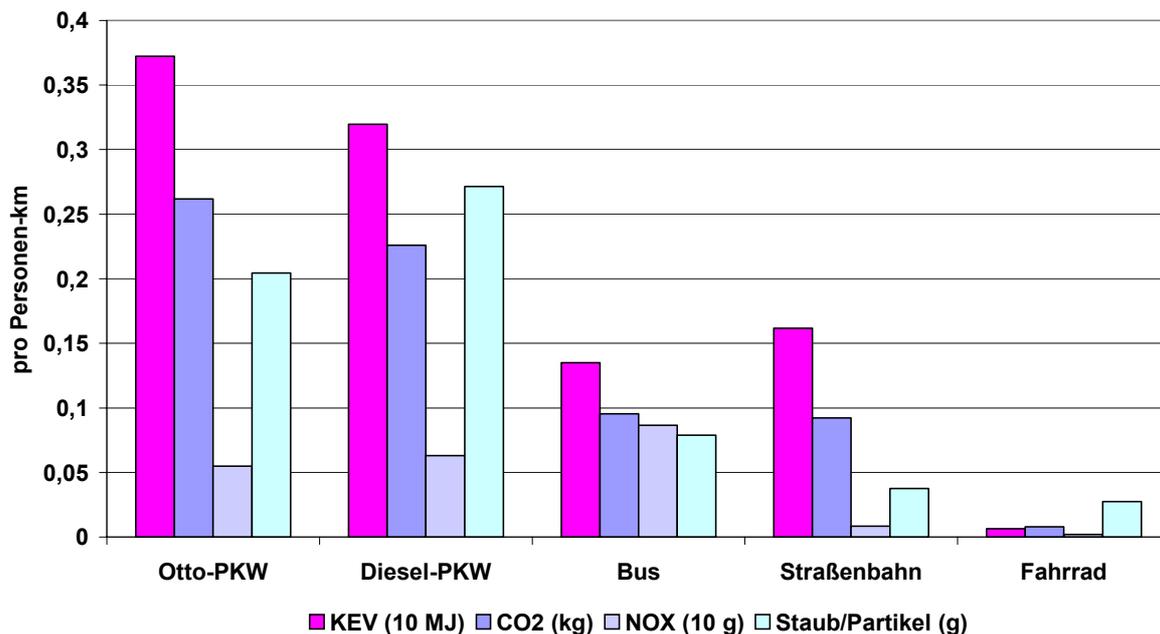


Abb. 3.7-4 KEV und Emissionen: Personennahverkehr – mittlere Auslastung

3.7.2 Technische Dokumentation

Erfasst werden Fahrbetrieb und Energiebereitstellung sowie die Herstellung der Fahrzeuge; die Infrastruktur (Straßen und Trassen) wird aufgrund der unsicheren Datenbasis und der erheblichen Allokationsprobleme nicht berücksichtigt.

Übersicht: Optionen

Personennahverkehr mit

- PKW
- Bus
- Straßenbahn
- Fahrrad

in typischen aktuellen Spezifikationen mit Voll- und mittlere Auslastung; Bezug: Pers.-km

Erläuterungen

Für die spezifischen Verbräuche der PKW werden die mittleren Innerortsverbräuche in Deutschland 2000 nach TREMOD angesetzt; für Bus und Straßenbahn werden Schätzwerte aus den Verbräuchen realer Flotten abgeleitet. Die mittleren Auslastungen wurden im Rahmen der unten zitierten Studien aus zahlreichen Einzelerhebungen abgeschätzt.

Beispiel-Transportaufgaben werden nicht betrachtet, da sich keine belastbaren Annahmen zu typischen Weglänge-Relationen zwischen den einzelnen Transportmitteln machen lassen.

Quellen, Details: PKW-Verbrauch [IFEU-UBA], Bus- und Straßenbahn-Verbrauch [IFEU-VCD-UBA 2001], mittlere Auslastungen [IFEU-VCD-UBA 2001], Energieträgerbereitstellung [Borken et al. 1999], [IFEU-DGMK 2003] und Aktualisierungen, Fahrzeugbereitstellung [INFRAS 1999], diese Studie

3.7.3 Literatur

- Borken et al. 1999 Borken, J., Patyk, A., Reinhardt, G.A.: Basisdaten für ökologische Bilanzierungen: Einsatz von Nutzfahrzeugen in Gütertransport, Landwirtschaft und Bergbau. Verlag Vieweg, Braunschweig/Wiesbaden 1999
- FAT 1997 Gaillard, G., Crettaz, P., Hausheer, J.: Umweltinventar der landwirtschaftlichen Inputs. FAT-Schriftenreihe Nr. 46, Tänikon/CH 1997
- Gemis 2002 Fritsche, U. R. et al.: Gesamt-Emissions-Modell Integrierter Systeme (Gemis) Version 4.1, 2002
- Heidelberg 2003 Bäckerinnung, BUND, Stadtverwaltung Heidelberg: Projekt "Bäcker/Konditoren und Umwelt". Heidelberg, laufend
- Patyk & Reinhardt 1997 Patyk, A., Reinhardt, G. A.: Düngemittel – Energie- und Stoffstrombilanzen. Verlag Vieweg, Braunschweig/Wiesbaden 1997

3.7.4 Beispiel "Gütertransport" - Ergebnisse

Erfasst werden Fahrbetrieb und Energiebereitstellung sowie die Herstellung der Fahrzeuge; die Infrastruktur (Straßen und Trassen) wird aufgrund der unsicheren Datenbasis und der erheblichen Allokationsprobleme nicht berücksichtigt.

Übersicht: Optionen

Gütertransport mit

- LKW (Kastenaufbau bzw. Pritsche und Plane)
- Container-LKW
- Containerzug incl. LKW-Vor- und Nachlauf
- LKW auf Zug ("Rollende Landstraße") incl. Vor- und Nachlauf auf der Straße

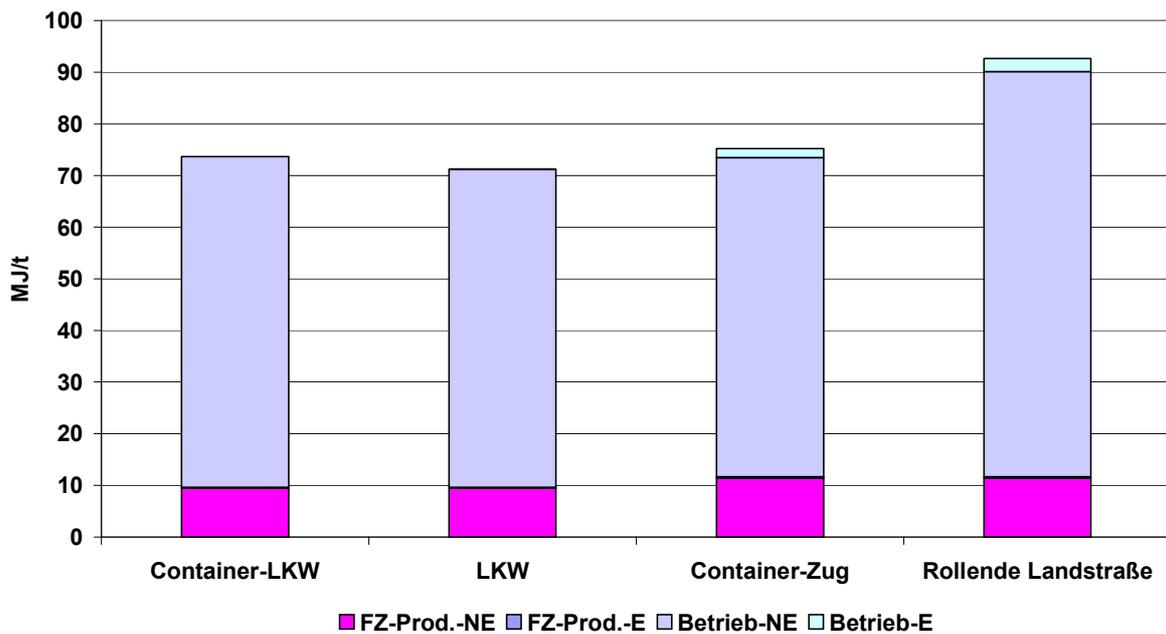
in typischen aktuellen Spezifikationen über verschiedene Distanzen, Bezug: 1 t, X km

Ergebnisdokumentation und -diskussion

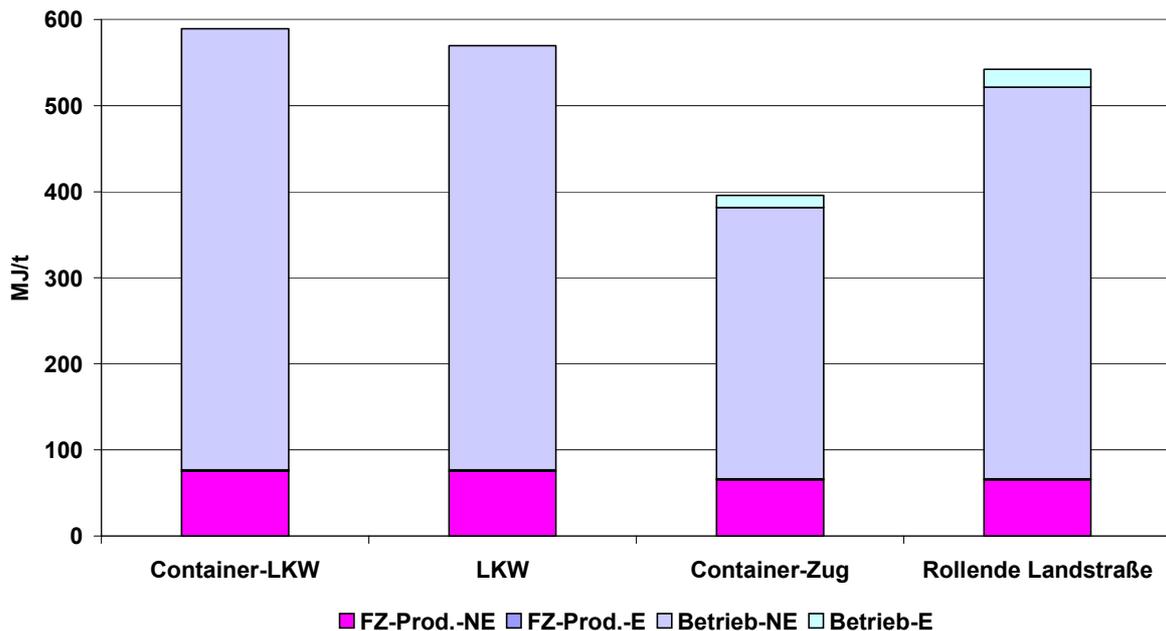
In den Beispielen wird für den eigentlichen Bahntransport die gleiche Weglänge wie für die reinen LKW-Optionen angenommen. Zusätzlich werden für die Bahn-Optionen LKW-Vor- und Nachläufe über je 40 km angenommen. Die Optionen sind nach der Weglänge der Haupttransportmittel benannt. Die Beispiele sind so gewählt, dass möglichst illustrative Ergebnisse resultieren; die sich besonders für das Kurzstrecken-Beispiel aufdrängende Frage der ökonomischen Machbarkeit wird hier außer acht gelassen. In Graphiken dokumentiert werden die Beispiele "100 km" und "800 km" (**Abb. 3.7-5**, **Abb. 3.7-6**). Im Text wird zusätzlich auf weitere Berechnungen Bezug genommen.

Für das *Beispiel "100 km"* ergeben, sich mit geringem Vorteil für den Standard-LKW (d.h. Kastenaufbau oder Pritsche und Plane; im Folgenden: LKW), fast gleiche KEV für die LKW-Optionen und den Containerzug; die Rollende Landstraße schneidet ungünstiger ab. Die absehbar zeitlich und ökonomisch aufwendigen Bahn-Optionen zeigen damit auch für den ökologischen Parameter KEV keine Vorteile. Für das *Beispiel "800 km"* ist der Containerzug am günstigsten, gefolgt von der Rollenden Landstraße, mit einem etwa 25 % höheren KEV. Die beiden LKW-Optionen folgen in geringem Abstand. *Verlauf der KEV-Relationen* (ausgehend von "100 km", siehe oben): Weg > 110 km: Containerzug < Container-LKW; > 120 km: Containerzug < LKW; > 310 km: Rollende Landstraße < Container-LKW; 420 km: Rollende Landstraße < LKW. Der Vorteil der Rollenden Landstraße gegenüber den LKW-Optionen ist allerdings auch bei 800 km noch relativ gering. Die KEV der Fahrzeugbereitstellung sind sehr ähnlich; die Anteile an den KEV der gesamten Transportdienstleistung liegen bei etwa 15 bis 20 %.

Zusammenfassend ergibt sich, dass mit zunehmender Transportweite die Bahnoptionen günstiger werden. Für weite Strecken kann zumindest die Option Containerzug als deutlich vorteilhaft betrachtet werden. Für konkrete Relationen sollten entsprechende Abschätzungen durchgeführt werden, die dann auch die realen Vor- und Nachlaufängen berücksichtigen.



FZ-Prod.: Fahrzeugproduktion; Betrieb: Nutzung (incl. Kraftstoff- bzw. Strombereitstellung)
 E: erneuerbare Energie; NE: nicht erneuerbare Energie
Abb. 3.7-5 KEV: Gütertransport über 100 km



FZ-Prod.: Fahrzeugproduktion; Betrieb: Nutzung (incl. Kraftstoff- bzw. Strombereitstellung)
 E: erneuerbare Energie; NE: nicht erneuerbare Energie
Abb. 3.7-6 KEV: Gütertransport über 800 km

Im Beispiel "100 km" sind die Emissionen praktisch vollständig vom KEV entkoppelt; ab etwa 400 km zeigen die Emissionen dagegen eine sehr gute Korrelation (**Abb. 3.7-7, Abb. 3.7-8**). Ursache der Entkopplung sind die unterschiedlichen Emissionsmuster von Dieselmotoren bzw. Strombereitstellung. Für einen ersten Vergleich der Umweltwirkungen verschiedener Verkehrsmittel kann der KEV als Indikator herangezogen werden. Bei KEV-Differenzen von

deutlich weniger als etwa 20% und/oder dem Fokus auf der Verbesserung der lokalen und regionalen Umweltsituation sollten auch für Abschätzungen weitere Indikatoren betrachtet werden.

Ein internet-basiertes Tool (EcoTransIT), das ähnliche Größen wie die hier diskutierten liefert – allerdings unter Ausschluss der Fahrzeugproduktion – wird derzeit im Auftrag der DB und weiterer europäischer Bahnunternehmen entwickelt; Bericht (Konzept und Datenquellen): IFEU Heidelberg; Software HACON/Hannover.

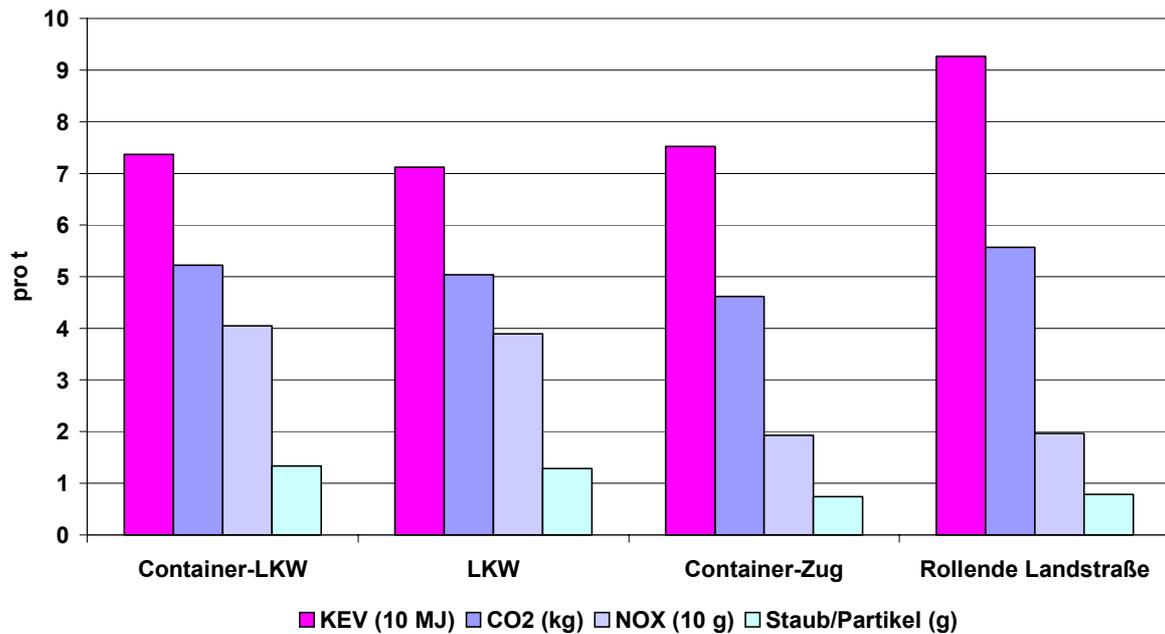


Abb. 3.7-7 KEV und Emissionen: Gütertransport über 100 km

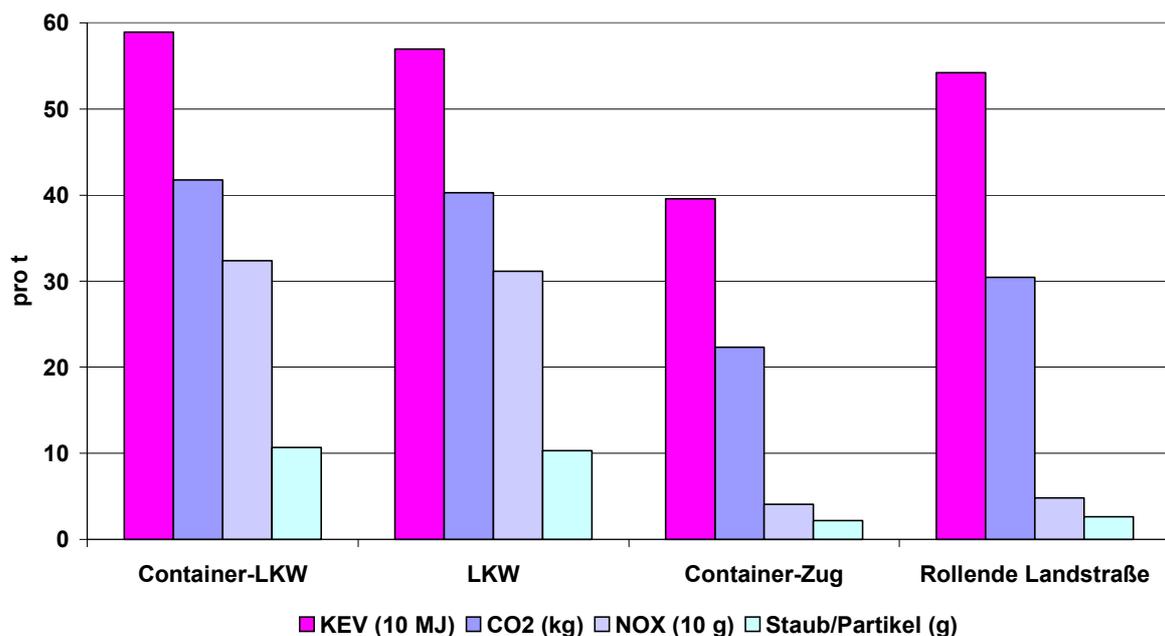


Abb. 3.7-8 KEV und Emissionen: Gütertransport über 800 km

3.7.5 Technische Dokumentation

Erfasst werden Fahrbetrieb und Energiebereitstellung sowie die Herstellung der Fahrzeuge; die Infrastruktur (Straßen und Trassen) wird aufgrund der unsicheren Datenbasis und der erheblichen Allokationsprobleme nicht berücksichtigt.

Übersicht: Optionen

Gütertransport mit

- LKW (Kastenaufbau bzw. Pritsche und Plane)
- Container-LKW
- Containerzug incl. LKW-Vor- und Nachlauf
- LKW auf Zug ("rollende Landstraße") incl. Vor- und Nachlauf auf der Straße

in typischen aktuellen Spezifikationen über verschiedene Distanzen, Bezug: 1 t, X km

Erläuterungen

Für die spezifischen Verbräuche der LKW werden Schätzwerte angesetzt, deren Basis sowohl umfangreiche, sehr stark strukturierte Datenbestände (TREMOT) als auch Einzelerhebungen und Stichproben umfassen. Der Verbrauch der LKW entspricht dem von Lastzügen mit 40 t Zulässigem Gesamtgewicht aktueller Bauart. Die Werte für die Bahn wurden aus den Gesamtverbräuchen europäischer Bahngesellschaften abgeschätzt.

In den Beispiel-Transportaufgaben werden die Weglängen für die Haupttransportmittel und die LKW-Vor- und Nachlaufängen so gewählt, dass die Ergebnisse möglichst illustrativ sind. Angaben zu mittleren Umweglängen bei Kombination verschiedener Transportmittel liegen nicht vor. Die Beispiele sind daher nicht als typisch oder repräsentativ zu betrachten.

Quellen, Details: Dieserverbrauch LKW [IFEU-IRU-BGL 2001] und [IFEU-UBA 2002], Stromverbrauch Bahn [IFEU-IRU-BGL 2001] und [IFEU-UBA 2002], Energieträgerbereitstellung [Borken et al. 1999], [IFEU-DGMK 2003] und Aktualisierungen, Fahrzeugbereitstellung [IFEU et al. 2001]

3.7.6 Literatur

Borken et al. 1999 Borken, J., Patyk, A., Reinhardt, G.A.: Basisdaten für ökologische Bilanzierungen: Einsatz von Nutzfahrzeugen in Gütertransport, Landwirtschaft und Bergbau. Verlag Vieweg, Braunschweig/Wiesbaden 1999

Gemis 2002 Fritsche, U. R. et al.: Gesamt-Emissions-Modell Integrierter Systeme (Gemis) Version 4.1, 2002

IFEU-DB-WWF 2002 Knörr, W. (IFEU): Wissenschaftlicher Grundlagenbericht zum UmweltMobilCheck. Im Auftrag der Deutschen Bahn und der Umweltstiftung WWF Deutschland, Heidelberg 2002

IFEU-DGMK 2003 Patyk, A. (IFEU): Sachbilanz Mineralölprodukte. Im Auftrag der Deutschen Wissenschaftlichen Gesellschaft für Erdöl, Erdgas und Kohle (DGMK), gefördert durch den Mineralölwirtschaftsverband, Hamburg (Abschluss bevorstehend)

- IFEU et al. 2001 Reinhardt, G.A., Jungk, N., Korsuize, G., Patyk, A. (IFEU/D, Koordinator) et al. (BLT/A, CLM/NL, CRES/GR, CTI/I, FAT/CH, INRA/F, TUD/DK): Bioenergy for Europe: Which ones fit best? – A comparative Analysis for the Community. FAIR CT 98 3832,
- IFEU-IRU-BGL 2001 Knörr, W. et al. (IFEU): Comparative Analysis of Energy Consumption and CO₂-Emissions of Road Transport and Combined Transport Road/Rail. Im Auftrag von IRU – International Road Union, Genf und BGL – Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung, Frankfurt 2001 (Langfassung Englisch über IRU, Deutsch über BGL; Kurzfassung Homepage des IFEU)
- IFEU-UBA 2002 Knörr, W., Höpfner, U., Lambrecht, U., Nagel, H.-J., Patyk, A. (IFEU): Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoffemissionen aus dem motorisierten Verkehr in Deutschland 1960 bis 2020. Entwicklung der Software TREMOD, Datenaufbereitung und Berechnungen im Auftrag des Umweltbundesamtes. Dokumentation: Berlin 2002
- IFEU-VCD-UBA Lambrecht, U. et al. (IFEU): Strategie zur Berücksichtigung fahrzeugbezogener Umweltstandards bei der wettbewerblichen Vergabe von ÖPNV-Leistungen. Mit VCD (Hauptauftragnehmer) im Auftrag des Umweltbundesamtes; Veröffentlicht in: VCD: Bus, Bahn und Pkw im Umweltvergleich – Der ÖPNV im Wettbewerb. Bonn/Berlin 2001
- INFRAS 1999 Maibach, M., Peter, D., Seiler, B. (INFRAS): Ökoinventar Transport. Gefördert vom Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung, Zürich/CH 1999

4 Abbildungsverzeichnis

Kapitel 3.1: Öko-Institut / Praxisbeispiele des Öko-Instituts

- Bild 1: KEV zur energetischen Sanierung der Hans-Böckler-Siedlung (baulicher Aufwand und Betrieb)
- Bild 2: KEV-Ergebnisse für den Stadtteil Neuruppin-Vorstadt Nord im Vergleich zum Referenz-Stadtteil, differenziert nach Verursachergruppen
- Bild 3: KEV-Ergebnisse zum Stadtteil Freiburg-Vauban im Vergleich zum Referenz-Stadtteil, differenziert nach Verursachergruppen
- Bild 4: Ergebnisse zum Stadtteil Freiburg-Vauban, nichterneuerbarer KEV-Anteil
- Bild 5: KEV durch den Warenkorb (Beispiel Freiburg-Vauban) – Rolle der Produkte
- Bild 6: Primärenergieverbrauch durch Lebensmittel, Beispiel Stadtteil Freiburg-Vauban
- Bild 7: Beispiele zur Wirkung von Regionalisierung bzw. Ökologisierung bei Lebensmitteln für den Stadtteil Freiburg-Vauban
- Bild 8: Beispiel zur Wirkung der Regionalisierung bei der Baustoffherstellung (Holzfenster) für den Stadtteil Freiburg-Vauban
- Bild 9: Anteile der Verursacher an ausgewählten Umwelteffekten für das Gesamt-Szenario Neuruppin-Vorstadt Nord (inkl. Maßnahmen)
- Bild 10: Anteile der Verursacher an ausgewählten Umwelteffekten für das Gesamt-Szenario Freiburg-Vauban (inkl. Maßnahmen)

Kapitel 3.2: FfE / Vergleich Glühlampe/Kompaktleuchtstofflampe

- Abbildung 3.2-1: KEV der untersuchten Lampen im Vergleich
- Abbildung 3.2-2: Entwicklung des KEV der Lampen über der Betriebsdauer
- Abbildung 3.2-3: Kumulierte Kosten für die Lampen über der Betriebsdauer

Kapitel 3.3: FfE / Vergleich von Waschmaschinen mit/ohne Warmwasseranschluss

Abbildung 3.3-1: Energieeinsparung/-mehrverbrauch im Verhältnis zu einem Kaltwassergerät bei unterschiedlichen Heizsystemen im Einfamilienhaus

Abbildung 3.3-2: Energieeinsparung/-mehrverbrauch im Verhältnis zu einem Kaltwassergerät bei unterschiedlichen Heizsystemen im Mehrfamilienhaus

Kapitel 3.4: FfE / Diskussion von verschiedenen Wegen der Hausmüllentsorgung

Abbildung 3.4-1: KEV einzelner Teile von Entsorgungspfaden abhängig vom Durchsatz während der Lebensdauer

Kapitel 3.5: Ecofys / Solarsiedlung Koldenfeld

Abbildung 1: untersuchter Haustyp Reihenmittelhaus (rechts)

Abbildung 2: KEV, Vergleich ENEV- und Passivhaus

Abbildung 3: CO₂-Emissionen, Vergleich ENEV- und Passivhaus

Abbildung 4: KEV, Vergleich ENEV-Haus mit Holzpellets und Passivhaus mit Strom beheizt

Abbildung 5: CO₂-Emissionen, Vergleich ENEV-Haus regenerativ und Passivhaus mit Strom beheizt

Abbildung 6: KEV und CO₂-Emissionen PH Lebensräume

Abbildung 7: KEV [kWh/m²a] für Herstellung und Beheizung

Abbildung 8: CO₂-Emissionen für Herstellung und Beheizung

Abbildung 9: Vergleich Zwischendecken

Abbildung 10: Vergleich Innenwände

Abbildung 11: Vergleich Keller / Kellerersatzraum

Abbildung 12: KEV für die Herstellung und Wartung der Gebäude

Abbildung 13: CO₂-Emissionen für Herstellung und Wartung der Gebäude

Kapitel 3.6: ifeu / „Landwirtschaft / Nahrungsmittelproduktion: Produktion eines Brotes“

Abb. 3.6-1 KEV: Brot (ohne Transport von Getreide, Mehl bzw. Brot durch Endverbraucher)

Abb. 3.6-2 KEV und Emissionen: Brot

Kapitel 3.7: ifeu / Verkehr

Abb. 3.7-1 KEV: Personennahverkehr – 100% Auslastung

Abb. 3.7-2 KEV: Personennahverkehr – mittlere Auslastung

Abb. 3.7-3 KEV und Emissionen: Personennahverkehr – 100% Auslastung

Abb. 3.7-4 KEV und Emissionen: Personennahverkehr – mittlere Auslastung

Abb. 3.7-5 KEV: Gütertransport über 100 km

Abb. 3.7-6 KEV: Gütertransport über 800 km

Abb. 3.7-7 KEV und Emissionen: Gütertransport über 100 km

Abb. 3.7-8 KEV und Emissionen: Gütertransport über 800 km

5 Tabellenverzeichnis

Kapitel 3.2:	FfE / Vergleich Glühlampe/Kompaktleuchtstofflampe
Tabelle 3.2-1	Kumulierter Energieverbrauch der untersuchten Lampen im Vergleich
Kapitel 3.3:	FfE / Vergleich von Waschmaschinen mit/ohne Warmwasseranschluss
Tabelle 3.3-1	KEV der untersuchten Maschinen im Vergleich bei Anwendung in Ein- und Mehrfamilienhäusern mit mittlerem Rohrdämmstandard
Kapitel 3.4:	FfE / Diskussion von verschiedenen Wegen der Hausmüllentsorgung
Tabelle 3.4-1	Unterschiede beim KEV von untersuchten Müllsammelsystemen abhängig von der Verdichtung der Besiedelung