

ISOTEG-Teilprojekt KEA

**Ermittlung des Kumulierten Energieaufwandes
(KEA) von Komponenten und Techniken in
ISOTEG**

ISOTEG-Teilprojekt KEA

Ermittlung des Kumulierten Energieaufwandes (KEA) von Komponenten und Techniken in ISOTEG

Auftraggeber:	Bayerische Forschungsstiftung
FfE-Auftragsnummer:	065.2KEA
Bearbeiter/in:	Christina Hutter (Projektleiterin) Christine Wedler
Fertigstellung:	August 2002

Impressum:

Kurzbericht
der Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V.
(FfE)
in Zusammenarbeit mit:

Robert Bosch GmbH

zum Projekt:

ISOTEG-Teilprojekt KEA

Ermittlung des Kumulierten Energieaufwandes
(KEA) von Komponenten und Techniken in
ISOTEG

Auftraggeber:

Bayerische Forschungsstiftung

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

Einleitung

Durch den Einsatz von innovativen Komponenten bei der energetischen Gebäudesanierung verspricht man sich in verstärktem Maße Heizenergieeinsparungen. Dabei darf nicht vernachlässigt werden, dass die Herstellung solcher Komponenten vielfach mit einem im Vergleich zu konventionellen Systemen höheren Stoff- und Energieaufwand verbunden ist. Bei einem Vergleich der verschiedenen Komponenten und Systeme ist daher eine ganzheitliche energetische Betrachtung erforderlich.

Bei diesem Teilprojekt wurde für die im Rahmen des Verbundprojektes ISOTEG entwickelten Komponenten, wie Luftkollektor, Transparente Wärmedämmung (TWD), Schaltbare Wärmedämmung (SWD), Fassadenkollektor sowie konventionelle Sanierungsmaßnahmen (z. B. Dämmung der Gebäudehülle, Austausch von Wärmeerzeugungssystemen) der Kumulierte Energieaufwand (KEA) ermittelt. Bei der Ermittlung des KEA werden neben der Nutzungsphase eines Produktes die Herstellung und die Entsorgung der einzelnen Komponenten berücksichtigt. Basierend auf den Daten des KEA lassen sich auch energiebedingte Emissionen, wie z. B. CO₂, NO_x, SO₂ und flüchtige Kohlenwasserstoffe (VOC), einschließlich der Emissionen für Herstellung und Entsorgung bestimmen.

Definitionen und Rahmenbedingungen

Die Ermittlung des KEA erfolgte entsprechend den Vorgaben der VDI-Richtlinie 4600 „Kumulierter Energieaufwand – Begriffe, Definitionen, Berechnungsmethoden“. Der Herstellungsprozess für die Komponenten der wärmetechnischen Sanierung der Gebäude (Wärmedämmung, innovative Komponenten, Heiztechnik) wurde bis zur Rohstoffebene zurückverfolgt. Durch die primärenergetische Bewertung dieser Prozessketten ergeben sich der KEA der Herstellung (KEA_H) sowie die bei der Herstellung emittierten energiebedingten Emissionen. Da die nachfolgend beschriebenen Sanierungsmaßnahmen alle für die gleichen Mustergebäude bilanziert wurden und es nur um einen Vergleich der einzelnen Komponenten bzw. Systeme untereinander geht, wurde der KEA_H für die Erstellung des Gebäudes nicht in die Betrachtung mit einbezogen.

Aus der primärenergetischen Bewertung des Brennstoff- und Hilfsenergiebedarfs zur Deckung der Wärmeversorgung sowie des Energieaufwandes zur Instandhaltung ergeben sich der KEA für die Nutzungsphase (KEA_N) und die daraus resultierenden Emissionen. Die durchgeführten Sanierungsmaßnahmen führen zu einer Reduzierung des Energiebedarfs und damit zu einer Reduktion des KEA_N im Vergleich mit einem unsanierten Gebäude.

Aus den für die Entsorgung erforderlichen Energieaufwendungen (ohne Gebäude) ergeben sich der KEA der Entsorgung (KEA_E) sowie die bei der Entsorgung emittierten energiebedingten Emissionen. Als Entsorgungsszenario wurde ein kontrollierter Rückbau der Anlagen und Komponenten zugrunde gelegt, bei dem, die verwendeten Komponenten und Materialien so weit möglich, einem Recycling zugeführt werden. Durch Gutschriften für die Weiter- bzw. Wiederverwertung kann der KEA_E auch negativ werden.

Die Auslegung der Systeme und Komponenten für die Sanierungsmaßnahmen sowie die Energieeinsparungen hängen stark vom jeweiligen Gebäude ab. Für die weiteren Betrachtun-

gen wurden deshalb zwei für Altbauten repräsentative Mustergebäude definiert – ein freistehendes Einfamilienhaus (EFH) und ein Mehrfamilienreihenhaus (MFH). Hierbei wurde auf Daten des Forschungsprojektes IKARUS /IKA00/ zurückgegriffen.

Die wichtigsten bauphysikalischen Daten der beiden Gebäude sind in **Tabelle 1** zusammengestellt.

Tabelle 1: *Kenndaten der Mustergebäude*

Kenndaten	Einfamilienhaus	Mehrfamilienhaus
Wohnfläche	102 m ²	665 m ²
Personen pro Gebäude	4	22
A/V-Verhältnis	0,9	0,5
Jahresheizwärmebedarf vor Sanierung	281 kWh/m ² a	153 kWh/m ² a
Jahresheizwärmebedarf nach Sanierung	102 kWh/m ² a	80 kWh/m ² a

Die Sanierung der Mustergebäude wurde entsprechend den Vorgaben in der WSchV'95 durchgeführt. Zur Erzielung der vorgegebenen u-Werte war eine Wärmedämmung der Außenwand, des Daches und der Kellerdecke sowie ein kompletter Fensteraustausch gegen Fenster mit Wärmeschutzverglasung erforderlich. Gemäß WSchV'95 wäre für die Sanierung der Fassade eine Dämmschichtdicke von 6 cm ausreichend. Aus technischen Gründen, d.h. wegen der Einbettung der Komponenten (SWD, TWD und Fassadenkollektor) in das Wärmedämmverbundsystem, musste eine Dämmstärke von 8 cm gewählt werden.

Die Daten für die im Rahmen von ISOTEG entwickelten Komponenten stammen aus Angaben der Hersteller bzw. Entwickler.¹

¹ Der als Untersuchungsgegenstand ebenfalls ausgewählte Latentwärmespeicher zur Wasserdurchlauferhitzung des gleichnamigen ISOTEG-Teilprojektes konnte nicht bilanziert werden, da von den Entwicklern noch keine Aussagen über die Nutzungsphase getroffen werden konnten.

Systeme zur Deckung des Wärmebedarfs

Um einen ganzheitlichen energetischen Vergleich dezentraler und zentraler Wärmeerzeugungssysteme durchführen zu können, wurde als weitere Rahmenbedingung zugrunde gelegt, dass vor der Sanierung im Altbau ein dezentrales System installiert war. Bei der Ermittlung des KEA für die Herstellung wurden bei den zentralen Systemen daher auch das neu zu installierende Wärmeverteilungs- und -übertragungssystem (z. B. Rohrleitungen, Radiatoren, etc.) sowie evtl. neu zu installierende Energiespeicher (z. B. Öltank) berücksichtigt. **Tabelle 2** gibt eine Übersicht über die untersuchten Systeme zur Wärmeerzeugung und -verteilung.

Tabelle 2: Übersicht über die untersuchten Varianten für die Wärmeerzeugung und -verteilung

Variante	Wärmeerzeuger Heizung	Betriebsweise	Wärmeabgabesystem	Wärmeerzeuger Warmwasser
Wärmeerzeugervariante 1	Elektro-Speicherheizgeräte	dezentral	identisch mit Wärmeerzeuger	Elektrischer Durchlauferhitzer
Wärmeerzeugervariante 2	Gastherme	dezentral (MFH) /zentral (EFH)	Konvektoren	Gastherme im Durchlauf
Wärmeerzeugervariante 3	Gas-Brennwertkessel	zentral	Konvektoren ¹⁾	Heizkessel mit WW-Speicher
Wärmeerzeugervariante 4	Öl-Niedertemperaturkessel	zentral	Konvektoren	Heizkessel mit WW-Speicher
Wärmeerzeugervariante 5 ²⁾	Elektrowärmepumpe mit Erdwärmesonde	zentral	Fußbodenheizung	Elektrischer Durchlauferhitzer
Wärmeerzeugervariante 6	Biomasse-Kessel	zentral	Konvektoren	Heizkessel mit WW-Speicher

¹⁾ geeignet für Vorlauftemperaturen von 45 °C,

²⁾ nur für das EFH untersucht

Bei der Bilanzierung des Herstellungsaufwandes wurde für jede der o. g. Varianten ein repräsentatives Gerät ausgewählt und mit Hilfe der Projektpartner bzw. über eigene Recherchen ein Massen- und Materialgerüst der einzelnen Fertigungsteile erstellt.

Brennstofflogistik, Installationsmaßnahmen, Wärmeverteilungs- und Wärmeabgabesysteme unterscheiden sich für die verschiedenen Varianten z. T. erheblich. Damit verbunden sind unterschiedlich hohe Aufwendungen bei der Herstellung. Aus diesem Grund mussten für die Herstellungsphase nicht nur die jeweiligen Wärmeerzeuger, sondern alle Komponenten der Heizungsanlagen bilanziert werden.

Mit Hilfe von Messergebnissen aus dem ISOTEG-Teilprojekt „Energieverbrauch und Emissionen von zentralen Wärmeerzeugern“ wurde der Energieverbrauch der Systeme für die Raumheizung sowie für die Warmwasserbereitstellung anhand definierter Lastgangkurven bzw. Warmwasserzapfprofile berechnet. Ausnahmen hierzu bilden die Wärmepumpe und der Biomasse-Kessel. Für die Wärmepumpe wurden eigene Messungen der FfE verwendet. Die Werte zum Biomasse-Kessel basieren auf den Ergebnissen der im Rahmen des ISOTEG-Teilprojektes „Einsatz von Biomassefeuerung im Gebäudebestand“ untersuchten Hackschnitzelfeuerung. Nach der Nutzungsphase, die für einen Zeitraum von 20 Jahren betrachtet wird, schließt sich die Entsorgung der Systeme an. Nachfolgend werden KEA und energiebedingte

Emissionen für die einzelnen Varianten am Beispiel des Einfamilienhauses dargestellt (vgl. **Abbildung 1** bis **Abbildung 3**).

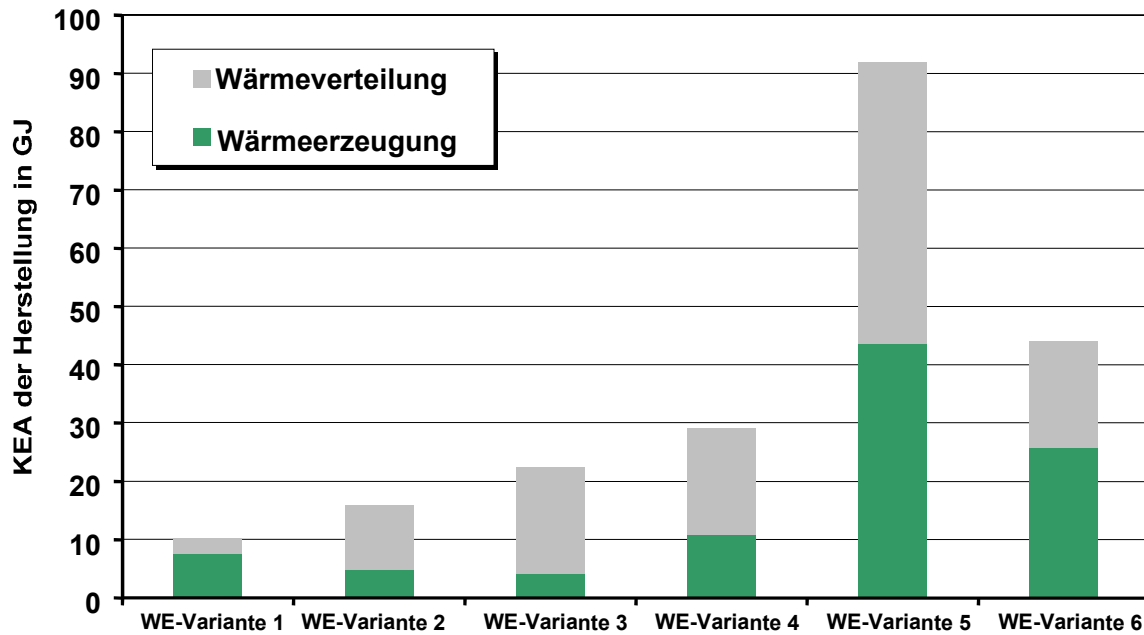


Abbildung 1: KEA_H für die untersuchten Varianten im Einfamilienhaus

Der KEA_H ist in den primärenergetischen Aufwand für die Wärmeerzeugung sowie die Wärmeverteilung aufgegliedert. Der KEA_H der Wärmepumpenanlage (WE-Variante 5) ist zum einen wegen der energieintensiven Bohrung für die Installation der Erdsonden zum anderen aufgrund des aufwendigen Wärmeverteilungssystems der Fußbodenheizung sehr hoch. Den geringsten Energieaufwand für die Herstellung hat die WE-Variante 1, das dezentrale elektrische System.

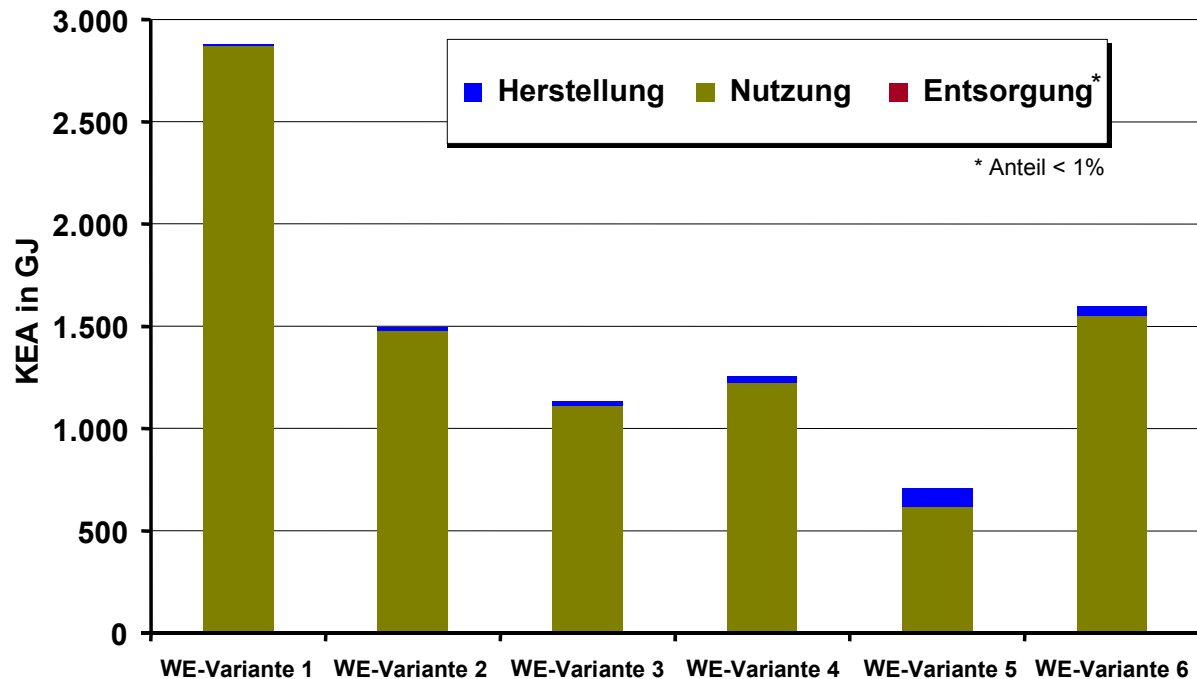


Abbildung 2: KEA für die Herstellung, Nutzung und Entsorgung (untersuchte Varianten im Einfamilienhaus)

Der gesamte KEA wird durch die Nutzungsphase geprägt (siehe Abbildung 2). Die Entsorgungsphase spielt beim Gesamt-KEA eine so geringe Rolle, dass sie im Diagramm nicht mehr zu erkennen ist. Dies steht v.a. damit im Zusammenhang, dass den energetischen Aufwendungen bei der Entsorgung Gutschriften für eine stoffliche oder thermische Verwertung gegenüberstehen. Am besten schneidet bei der ganzheitlichen energetischen Bewertung das System mit Wärmepumpe ab (WE-Variante 5). Dieses System ist um rund 40 % besser als das nächstbeste System, der Gas-BW-Kessel (WE-Variante 3). Danach folgen die Varianten Öl-NT-Kessel (WE-Variante 4), Gastherme (WE-Variante 2) und Biomasse-Kessel (WE-Variante 6). Mit 2.880 GJ liegt der gesamte KEA des dezentralen elektrischen Systems am höchsten, obwohl dieses System den geringsten Herstellungsaufwand aufweist.

Die Relationen bei den CO₂-Emissionen korrespondieren mit den Ergebnissen des KEA, wobei die Gassysteme wegen der geringeren spezifischen Emissionen im Vergleich zum Heizöl besser abschneiden. Eine Ausnahme bildet der Biomasse Kessel (WE-Variante 6), der mit Abstand die geringsten Kohlendioxid-Emissionen aufweist. Dies ist auf die CO₂-Neutralität der Verbrennung der Hackschnitzel zurückzuführen.

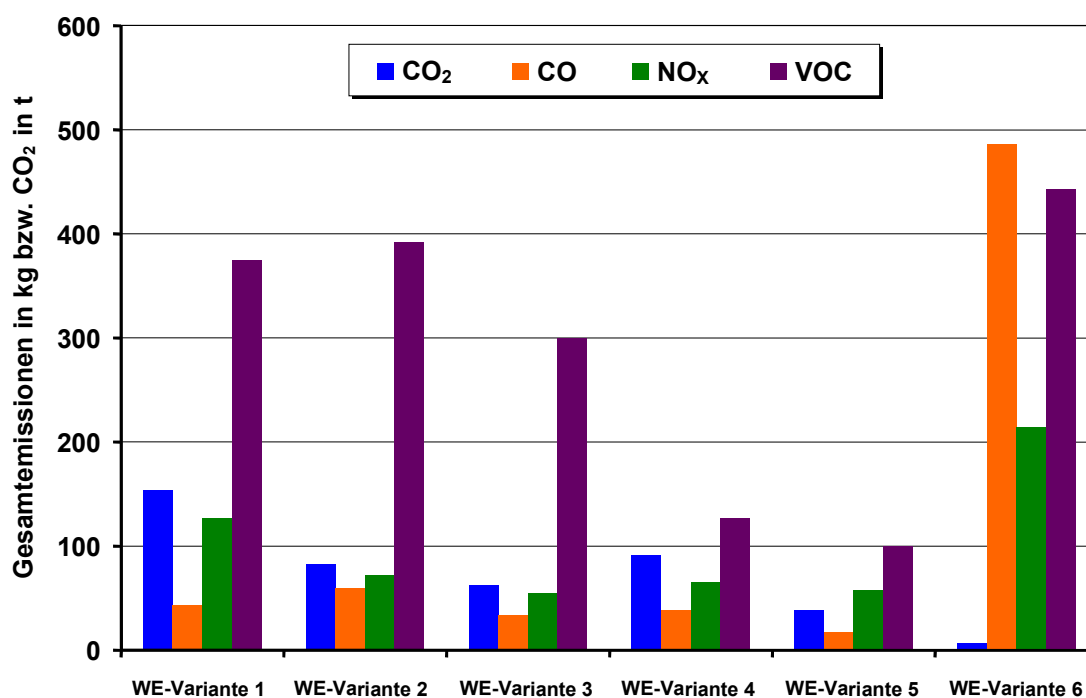


Abbildung 3: Energiebedingte Emissionen für die Herstellung, Nutzung und Entsorgung (untersuchte Varianten im Einfamilienhaus für einen Heizwärmebedarf von 10.513 kWh/a)

Bei den anderen betrachteten Emissionen schneidet der Biomassekessel sehr schlecht ab, insbesondere die CO-Emissionen liegen bei einem Vielfachen der anderen Varianten. Die niedrigsten CO-Emissionen weist die WE-Variante 5 (Wärmepumpe), die geringsten NO_x-Emissionen die WE-Variante 3 (Gas-BW-Kessel) auf. Für die Ergebnisse der VOC-Emissionen (flüchtige organische Verbindungen) bei den WE-Varianten 1 bis 5 sind die vorgelagerten Emissionen der Brennstoff- bzw. Strombereitstellung (z. B. Methanemissionen bei der Erdgasgewinnung) dominierend.

Die Ergebnisse für das Mehrfamilienhaus können in diesem Kurzbericht nur exemplarisch am Beispiel des gesamten KEA (vgl. **Abbildung 4**) dargestellt werden.

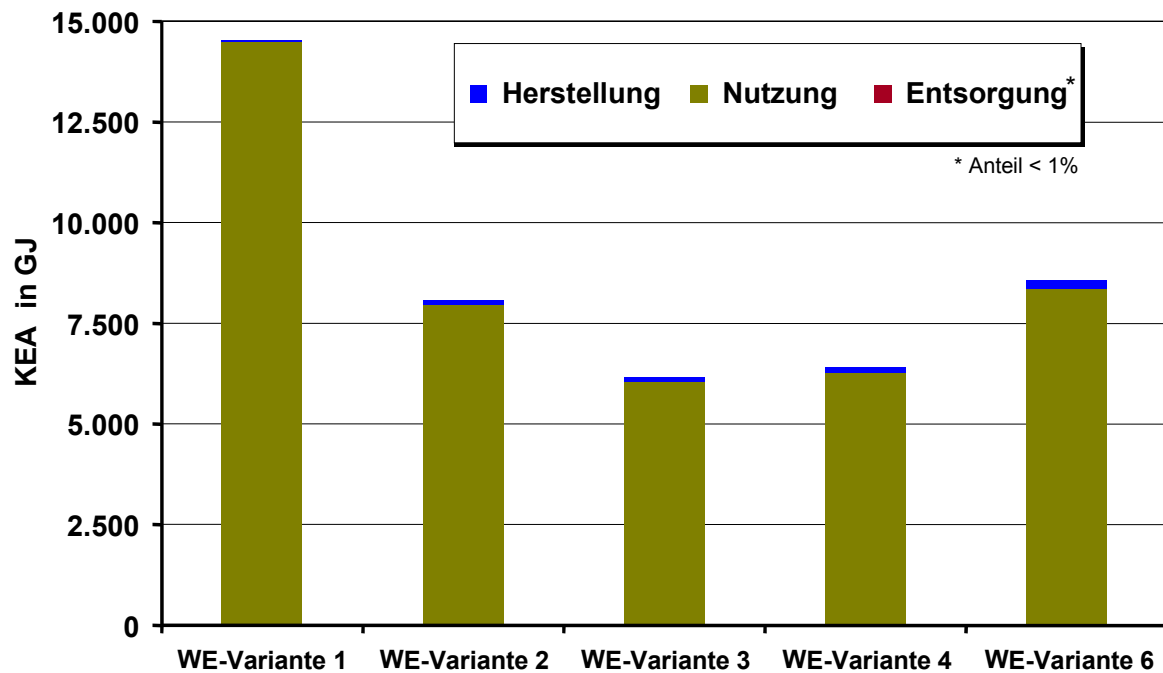


Abbildung 4: KEA für die Herstellung, Nutzung und Entsorgung (untersuchten Varianten im Mehrfamilienhaus)

Obwohl es beim Mehrfamilienhaus im Vergleich zum EFH leichte Verschiebungen beim KEA_H gibt (z. B. liegt das zentrale System mit Gaskessel günstiger als das dezentrale System mit Gasthermen), lassen sich die Aussagen für den gesamten KEA sowie die Emissionen qualitativ auch auf das Mehrfamilienhaus übertragen.

Komponenten zur Minimierung des Energiebedarfs

Die Dämmstoffvielfalt hat sich in den letzten Jahren deutlich erhöht. In diesem ISOTEG-Teilprojekt wurden daher neben den gebräuchlichen Wärmedämmstoffen, wie Mineralwolle und expandiertes Polystyrol (EPS) auch Zelluloseflocken untersucht.

Der nachfolgende energetische Vergleich umfasst die Sanierungsmaßnahmen, wie sie in **Tabelle 3** spezifiziert sind.

Tabelle 3: *Untersuchte Sanierungsmaßnahmen*

Sanierungsvarianten	Außenwände ¹⁾	Kellerdecke ¹⁾	Dach ¹⁾	Fenster ²⁾	innovative Komponente
Sanierungsvariante 1	Mineralwolle	Mineralwolle	Mineralwolle	WS-Verglasung	-
Sanierungsvariante 2	EPS	EPS	EPS	WS-Verglasung	-
Sanierungsvariante 3	Zellulose	Zellulose	Zellulose	WS-Verglasung	-
Sanierungsvariante 4	Mineralwolle	Mineralwolle	Mineralwolle	WS-Verglasung	Luftkollektor ³⁾
Sanierungsvariante 5	Mineralwolle	Mineralwolle	Mineralwolle	WS-Verglasung	SWD ⁴⁾
Sanierungsvariante 6	Mineralwolle	Mineralwolle	Mineralwolle	WS-Verglasung	TWD-Glas ⁵⁾
Sanierungsvariante 7	Mineralwolle	Mineralwolle	Mineralwolle	WS-Verglasung	TWD-WW ⁶⁾

¹⁾ Dämmstärke 8 cm, $\lambda = 0,04 \text{ W/mK}$, ²⁾ u-Wert von Wärmeschutzverglasung und Rahmen = $1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$

³⁾ Fassadenluftkollektor (Teilprojekt 2.1.2.3), ⁴⁾ Solarenergienutzung mit schaltbarer Wärmedämmung (Teilprojekt 2.1.2.2),

⁵⁾ Transparente Wärmedämmung auf Glasbasis (Teilprojekt 2.1.2.1)

⁶⁾ Modularer Fassadenkollektor zur Warmwasserbereitung (Teilprojekt 2.1.2.4)

Im Gegensatz zu opaken Wärmedämmungen werden bei den sog. innovativen Komponenten zusätzlich zur Reduktion der Transmissionswärmeverluste noch Energiegewinne erzielt. Die solaren Gewinne beim modularen Fassadenkollektor (TWD-WW) können zur Heizwärmeerzeugung und zur Warmwasserbereitung genutzt werden.

Im Rahmen dieses Kurzberichtes werden die Ergebnisse exemplarisch für das Mehrfamilienhaus vorgestellt.

In **Abbildung 5** ist der KEA_H für die unterschiedlichen Sanierungsvarianten des Mehrfamilienhauses dargestellt. Durch den geringen Herstellungsaufwand der Zelluloseflocken fällt der KEA_H vergleichsweise niedrig aus. Die Sanierungsvarianten 4 bis 7 (Varianten mit innovativen ISOTEG-Komponenten) werden jeweils in ein Wärmedämmverbundsystem (WDVS) aus Mineralwolle eingebettet. Der KEA_H für diese Sanierungsvarianten liegt deutlich höher als der KEA_H der konventionellen Varianten (Sanierungsvarianten 1 bis 3). Er setzt sich aus dem KEA_H der Fenster, dem KEA_H des WDVS aus Mineralwolle, vermindert um den Flächenanteil der innovativen Komponenten und dem KEA_H der innovativen Komponenten zusammen.

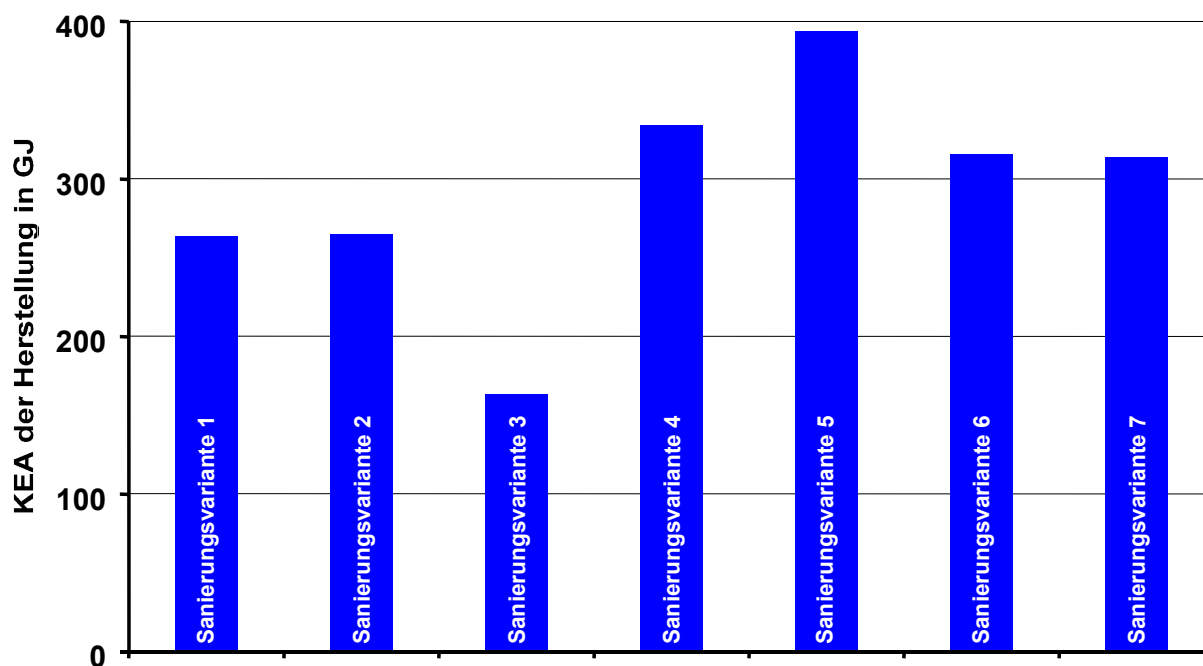


Abbildung 5: KEA_H für die unterschiedlichen Sanierungsvarianten im MFH

In **Abbildung 6** ist der KEA_H für die Sanierungsvarianten mit innovativen Komponenten detaillierter dargestellt. Daraus wird ersichtlich, welchen Anteil am KEA_H das WDVS, der Fensteraustausch sowie die innovativen Komponenten haben. Das SWD-System weist gegenüber den übrigen Systemen den höchsten Anteil am gesamten KEA_H auf, da dieses System mit 78 m² über die größte Auslegungsfläche verfügt.

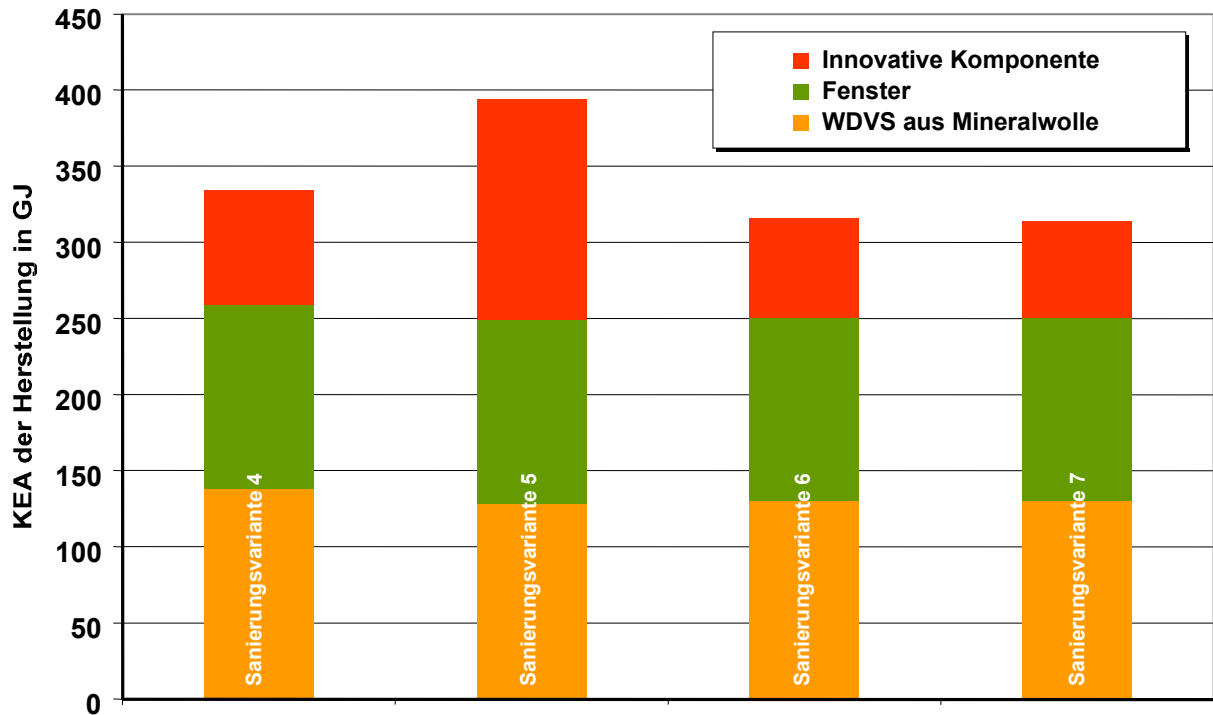


Abbildung 6: Aufteilung des KEA_H für die Sanierungsvarianten mit innovativen Komponenten im MFH

Abbildung 7 zeigt den KEA für die Herstellung, Nutzung und Entsorgung der verschiedenen Sanierungsvarianten für das Mehrfamilienhaus. Allerdings ist der KEA für die Entsorgung wegen seines geringen Anteils (1 bis 2 %) am gesamten KEA nicht erkennbar. Der zur Berechnung des KEA der Nutzungsphase erforderliche Jahresnutzungsgrad eines Zentralheizungssystems mit einem erdgasbefeuerten Heizkessel (Baujahr 1985) wurde im ISOTEG-Teilprojekt „Energieverbrauch und Emissionen von zentralen Wärmeerzeugern“ ermittelt².

² Jahresnutzungsgrad Altanlage unsaniertes Gebäude = 58,9 %
 Jahresnutzungsgrad Altanlage saniertes Gebäude = 55,4 %

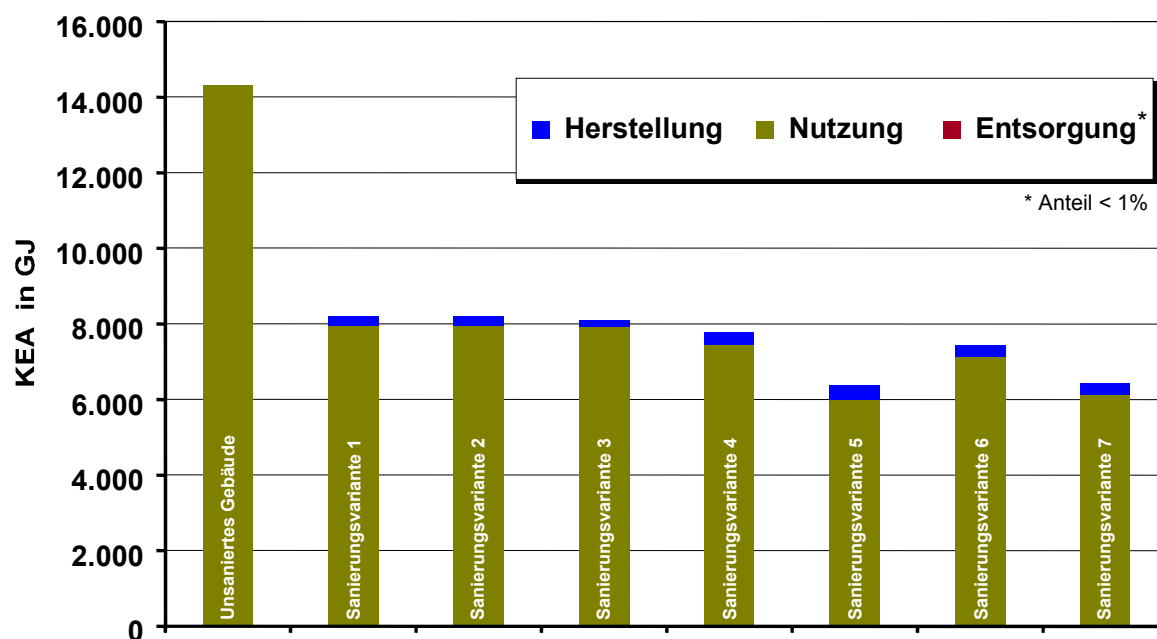


Abbildung 7: KEA verschiedener Sanierungsvarianten für das Mehrfamilienhaus (Herstellung, Nutzung und Entsorgung)

Alle untersuchten Sanierungsvarianten weisen wegen der deutlichen Reduzierung des Heizenergieverbrauchs einen deutlich geringeren Gesamt-KEA als das unsanierte Gebäude auf. Durch den Einbau innovativer Komponenten bei der Sanierung (Sanierungsvarianten 4 bis 7) kann der KEA in allen Fällen weiter gesenkt werden. Am besten schneiden die Sanierungsvarianten 5 und 7 mit SWD bzw. TWD-WW ab.

Aus den Werten zum KEA der einzelnen Sanierungsvarianten konnten die energiebedingten Emissionen, wie sie in **Abbildung 8** dargestellt sind, ermittelt werden. Der Anteil der CO₂-Emissionen der Herstellung beträgt 6 bis 8 % an den Gesamt-CO₂-Emissionen.

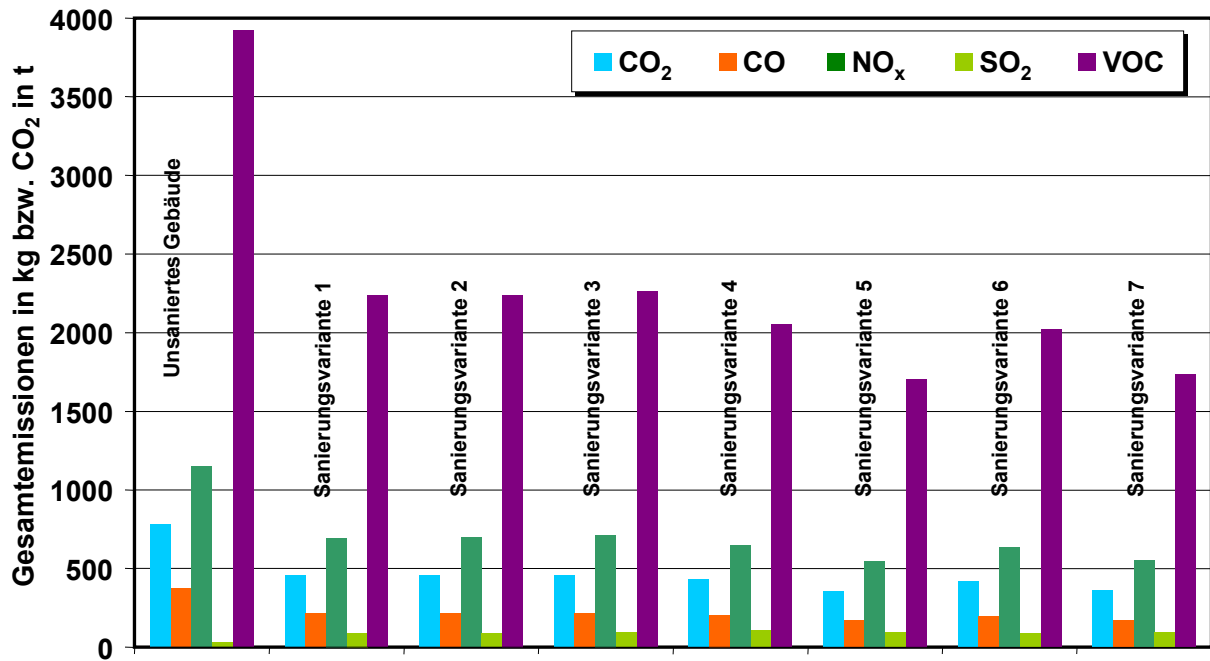


Abbildung 8: Energiebedingte Emissionen der Sanierungsvarianten für das Mehrfamilienhaus

Abbildung 9 zeigt die durch den Einbau der innovativen Komponenten verursachten Mehrkosten im Vergleich zur Sanierungsvariante 1 (WDVS mit Mineralwolle). Der Luftkollektor liegt mit über 500 € / m² Systemkosten am höchsten.

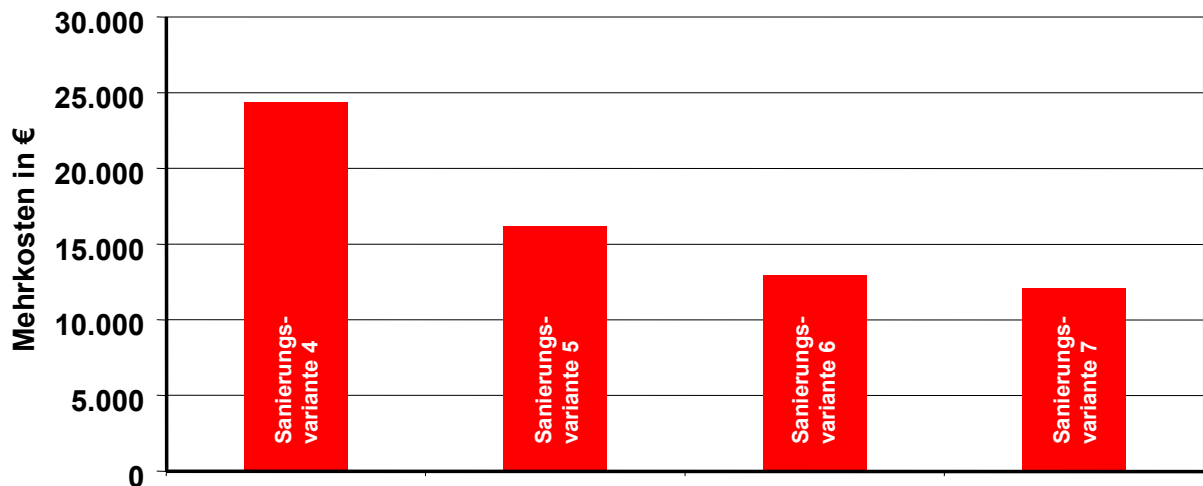


Abbildung 9: Mehrkosten der innovativen Komponenten gegenüber der Sanierung mit Mineralwolle für das MFH

Die Ergebnisse für das Einfamilienhaus sind qualitativ weitestgehend identisch mit den dargestellten Ergebnissen für das Mehrfamilienhaus.

Kooperation mit den Industriepartnern

Die Robert Bosch GmbH hat die Material- und Massenbilanzen zur Ermittlung des KEA_H für die untersuchten Gasthermen, Gas- und Ölkesseln geliefert. Zusätzlich wurde eine Gastherme zur Untersuchung der Nutzungsphase zur Verfügung gestellt.

Die Kulmbacher Klimagas Geräte-Werk GmbH ermittelte die Material- und Massenbilanzen zur dezentralen elektrischen Variante (Speicherheizungen, elektrischer Durchlauferhitzer).

Zusätzlich sei dem ZAE gedankt, das Daten zu den in ISOTEG neu entwickelten Komponenten zur Verfügung gestellt hat.

Literatur

- /COR 99/ Corradini, R.; Hutter, C.; Köhler, D.: FfE, München: *Ganzheitliche Bilanzierung von Grund- und Halbzeugen - Teil 1: Allgemeiner Teil*, München 1999
- /IKA 00/ Ikarus-Datenbank, Instrumente für Klimagasreduktionsstrategien, Version 3.0, Fachinformationszentrum Karlsruhe, 2000