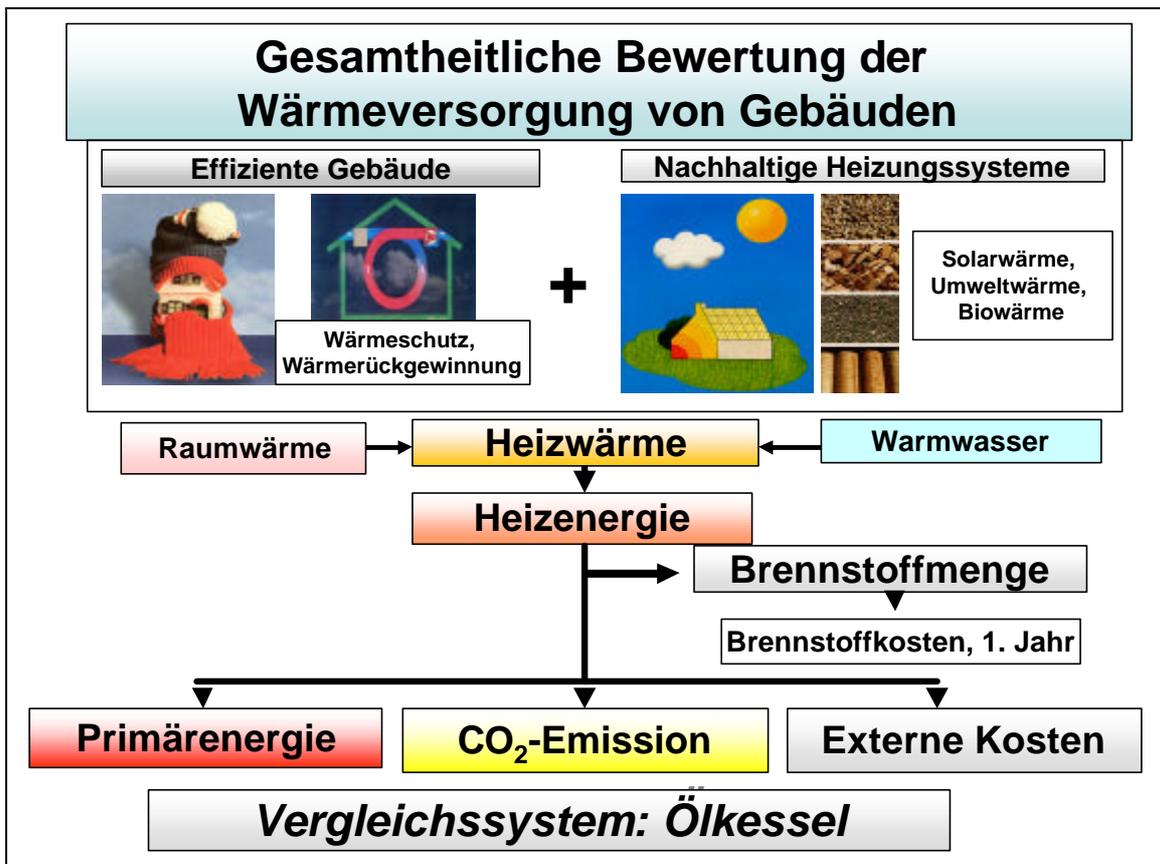


Bewertung der Wärmeversorgung von Gebäuden

Energetische, Wirtschaftliche und Umweltbezogene Kriterien



Gerhard Faninger

Januar 2009

IMPRESSUM:

Autor: Gerhard Faninger, Univ.-Prof., Dipl.-Ing. Dr.

Fakultät für Interdisziplinäre Forschung und Fortbildung, **IFF**,
Institut für Interventionsforschung und Kulturelle Nachhaltigkeit
Universität Klagenfurt

*Institute for Intervention Research and Cultural Sustainability
Faculty for Interdisciplinary Studies, IFF
Alps-Adriatic University of Klagenfurt*

Sterneckstrasse 15, A-9020 Klagenfurt

E-mail: gerhard.faninger@uni-klu.ac.at

AEE-INTEC - Institut für Nachhaltige Technologien
Mitglied des Vorstandes und des Wissenschaftlichen Beirates

A-8200 Gleisdorf, Feldgasse 19
<http://www.aee-intec.at>

Copyright ©: Gerhard Faninger, Januar 2009

INHALT

1.	Einführung	3
2.	Bewertungskriterien und Bewertungsschema	7
2.1	Energetische Bewertung	7
2.2	Wirtschaftliche Bewertung	12
2.3	Umweltbezogene Bewertung	23
3.	Heizungssysteme im Vergleich	34
4.	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	51

1. Einführung

Nach Energieeinsatz und CO₂-Emission zählt der Gebäudesektor zu dem wichtigsten Bereich für energieeffiziente Maßnahmen und für die Reduktion der energiebedingten und umweltrelevanten CO₂-Emissionen: Um 30% des Energieeinsatzes in Österreich entfallen auf Raumwärme und Warmwasser und die Wärmeversorgung von Gebäuden trägt mit etwa 17% zu den umweltrelevanten CO₂-Emissionen in Österreich bei; Abb. 1.1 bis Abb. 1.3.

Für den Gebäudebereich existieren markterprobte Techniken zur Steigerung der Energieeffizienz (Wärmedämmung der Gebäudehülle, energieeffiziente Heizungstechniken, stromsparende Haushaltsgeräte) und es bieten sich gute Voraussetzungen für den Einsatz erneuerbarer, lokal verfügbarer Energieträger zur Wärmeversorgung (über thermische Solaranlagen, biogene Heizungstechniken, Wärmepumpen mit Nutzbarmachung von Umweltwärme) und zur Stromversorgung (über solarelektrische Anlagen – Photovoltaikanlagen) an. Insbesondere im Gebäudebereich lässt sich das „Win-Win“-Prinzip optimal umsetzen: Vorteile für Hauseigentümer und Mieter, Beitrag zur Versorgungssicherheit, Beitrag zum Umweltschutz, Unterstützung der Energiepolitik bei der Umsetzung des *Kyoto-Zieles* und Vorteile für die österreichische Wirtschaft durch Schaffung neuer und zukunftssicherer Arbeitsplätze.

Mit Wärmeschutzmaßnahmen an der Gebäudehülle und mit effizienten Heizungstechniken mit Nutzung erneuerbarer Energieträger lässt sich der Brennstoffeinsatz für Raumwärme und Warmwasser gegenüber heute üblichen Gebäuden („Standard-Gebäude“ mit konventioneller Heizungstechnik) beträchtlich reduzieren: bis zu 80% Reduktion an Brennstoffen und CO₂-Emission. Aber auch im Bereich des Stromeinsatzes in einem Haushalt (Haushaltsgeräte und Beleuchtung) lassen sich mit markterprobten energieeffizienten Geräten Strom-Einsparungen von über 50% erreichen, und dies ohne Komfortverlust; Abb. 1.4.

Die zwei Säulen für „Nachhaltige“ Gebäude sind *Energieeffizientes Gebäude* und *Nachhaltiges Energiesystem*; Abb. 1.5 und Abb. 1.6.

Die Maßnahmen zur Reduktion des Energieeinsatzes und der damit verbundenen Verminderung umweltrelevanter Emissionen müssen überlegt und gezielt gesetzt werden. Grundsätzlich gilt, dass Gebäude und Wärmeversorgung als Einheit betrachtet werden müssen. Als Grundlage für eine Entscheidung in Planung, Ausführung und Betrieb müssen Kriterien für die Bewertung von energieeffizienten und umweltverträglichen Maßnahmen vorgegeben werden, in Verbindung mit einem transparenten Bewertungsschema.

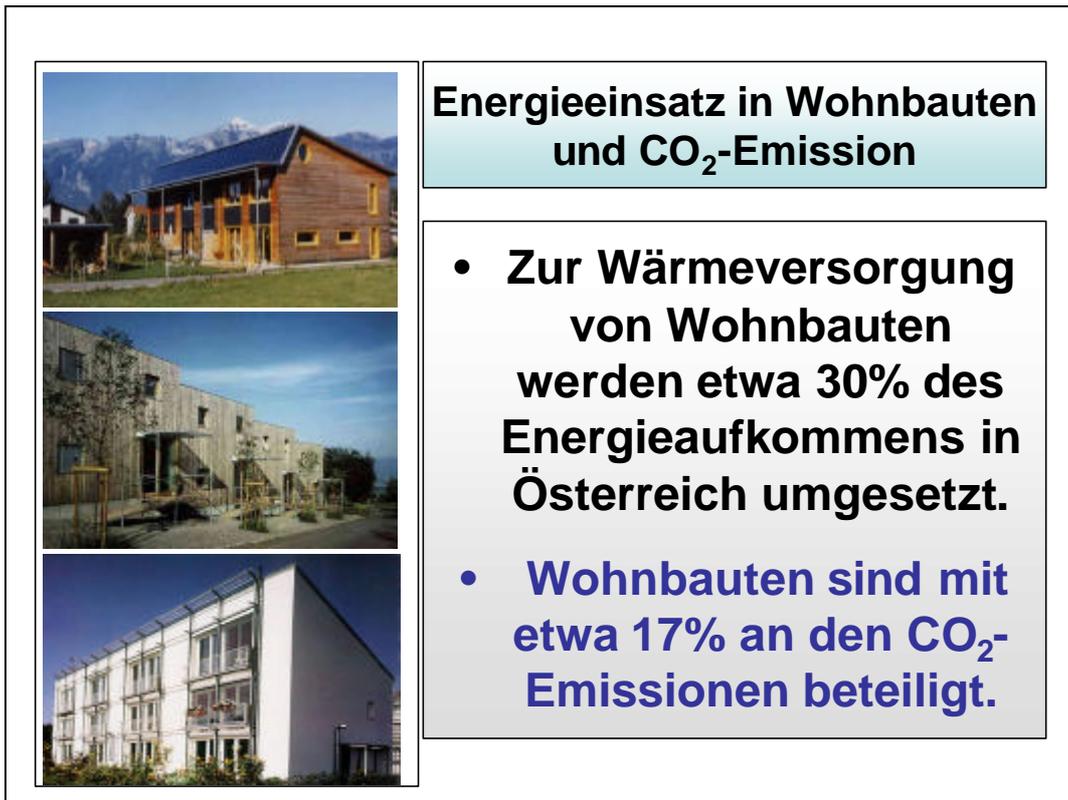


Abb. 1.1: Energieeinsatz in Wohnbauten und CO₂-Emission

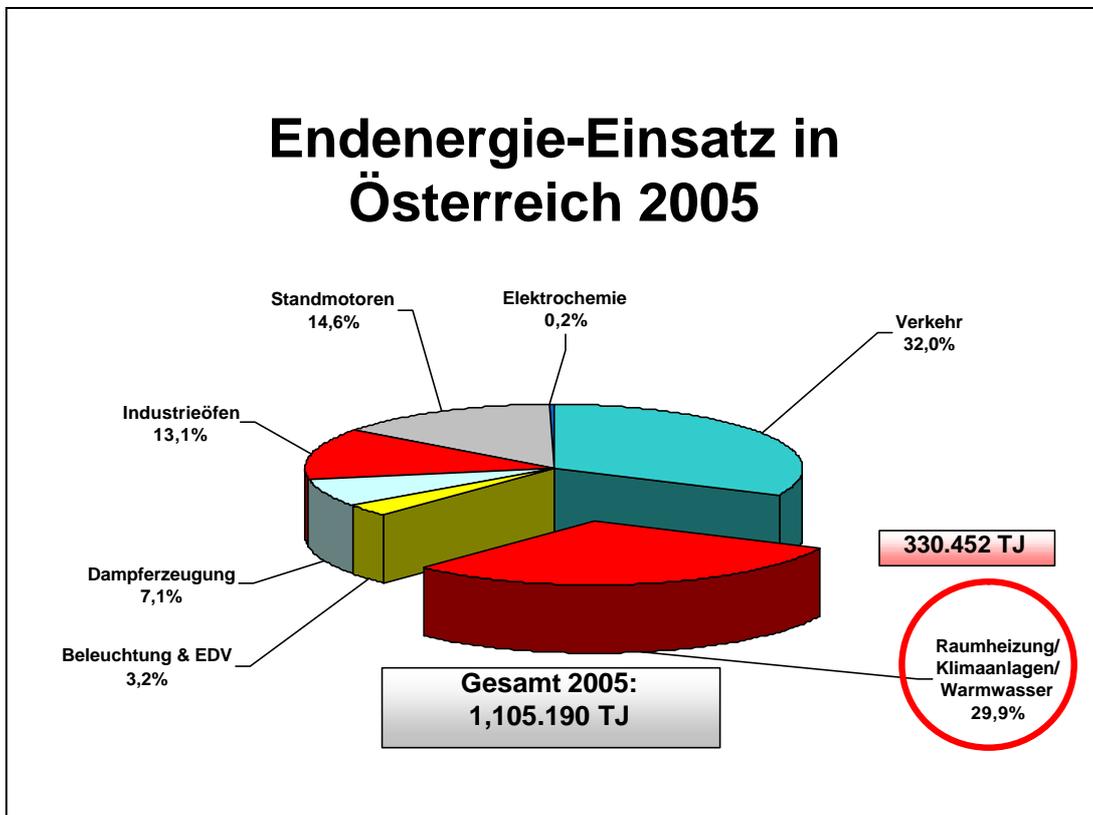
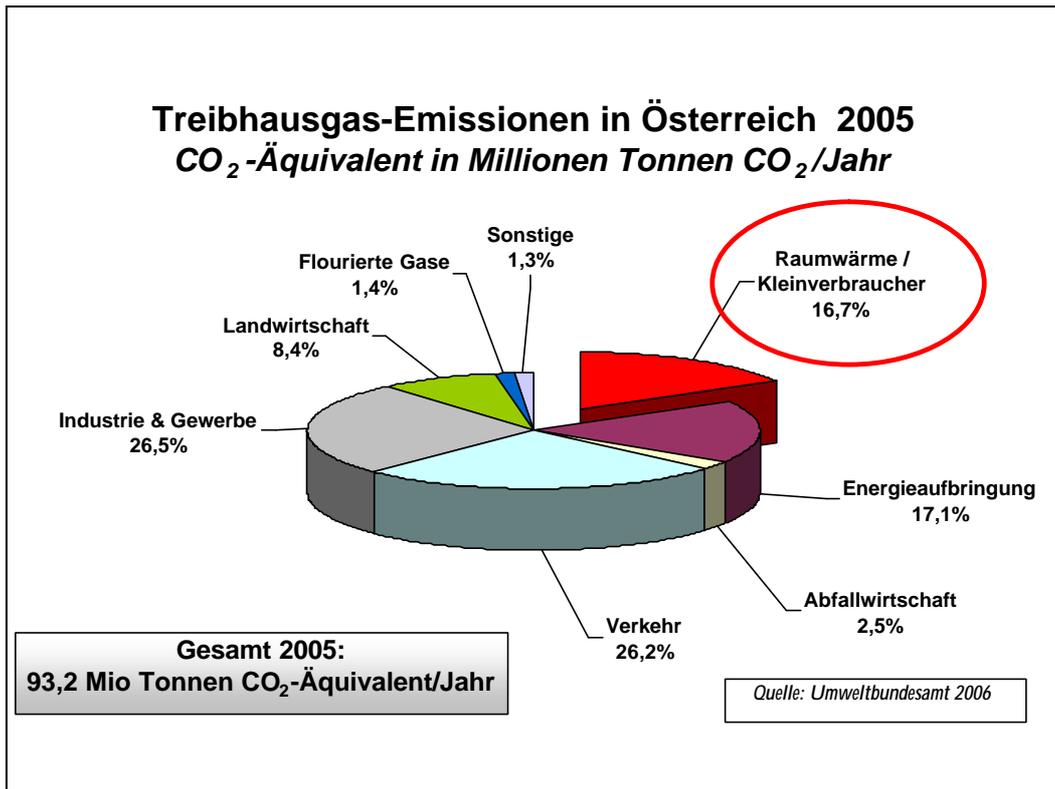


Abb. 1.2: Energieeinsatz in Österreich: Zuordnung nach Verbrauchersektoren



**Abb. 1.3: Treibhausgas-Emissionen in Österreich:
Zuordnung nach Verbrauchersektoren**

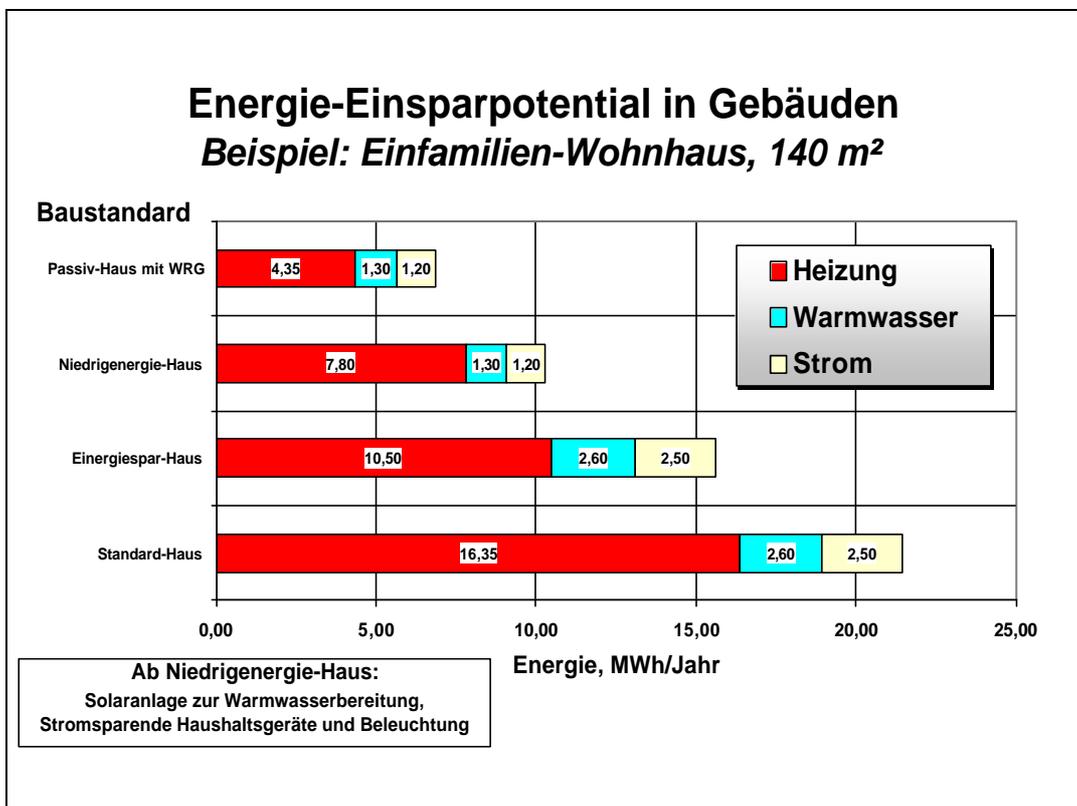


Abb. 1.4: Energie-Einsparpotential in Wohngebäuden

NACHHALTIGES BAUEN UND HEIZEN

Bauzustand und Wärmeschutz der Gebäudehülle

U-Werte in $W/(m^2, K)$

Gebäudeteil	Standard-Haus	Energiespar-Haus	Niedrigenergie-Haus	Passiv-Haus	Passiv-Haus +
Außenwand	< 0,40	< 0,25	< 0,20	< 0,15	< 0,11
Oberste Geschossdecke	< 0,25	< 0,20	< 0,15	< 0,10	< 0,10
Unterste Geschossdecke	< 0,50	< 0,30	< 0,20	< 0,13	< 0,10
Außenfenster (Glas und Rahmen)	< 1,80	< 1,30	< 1,10	< 0,70	< 0,70

Wärmedämmung der Außenwand	6-10 cm	10-15 cm	15-20 cm	> 30 cm	> 40 cm
----------------------------	---------	----------	----------	---------	---------

Abb. 1.5: Der Wärmeschutz der Gebäudehülle als Kriterium für „Energieeffiziente“ Gebäude

Nachhaltiges Bauen und Heizen



Effiziente Gebäude

Wärmeschutz,
Wärmerückgewinnung

Nachhaltige Heizungssysteme

Solarwärme, Umweltwärme, Biowärme

Abb. 1.6: „Nachhaltigen“ Wärmeversorgung von Gebäuden: Energieeffizientes Gebäude und „Nachhaltiges“ Heizungssystem

2. Bewertungskriterien und Bewertungsschema

Die Kenngrößen zur Bewertung der Wärmeversorgung von Gebäuden (inklusive Heizungssystem) beziehen sich auf Energetische, Wirtschaftliche und Umweltbezogene Kriterien; Abb. 2.1.

2.1 Die Energetische Bewertung der Wärmeversorgung

Die Energetische Bewertung der Wärmeversorgung von Gebäuden bezieht sich auf Heizwärmebedarf, Heizenergiebedarf und Brennstoffeinsatz; Abb. 2.2.

Heizwärmebedarf

Der Heizwärmebedarf bezieht sich auf das Gebäude und ergibt sich aus den Wärmeverlusten durch Transmission und Lüftung, abzüglich der solaren Wärmegewinne über transparente Gebäude-Fassaden (Fenster, Wintergarten u.a.) und interne Wärmequellen (Haushaltsgeräte, Beleuchtung und Personen).

Der durchschnittliche Heizwärmebedarf für ein Einfamilien-Wohnhaus mit etwa 140 m² Wohnnutzfläche wird nach vorliegenden Betriebsdaten zwischen 12.000 und 15.000 kWh/Jahr geschätzt. Nach den Berechnungen gemäß „Gebäudeausweis“ ergibt sich für Wohnhäuser in Niedrigenergie-Bauweise (für den Neubau heute charakteristisch) ein spezifischer Heizwärmebedarf von 50 kWh/(m², Jahr), entsprechend etwa 7.000 kWh/Jahr für eine Wohnhaus mit 140 m². Der aus Praxisdaten abgeleitete meist höhere Heizwärmebedarf ist darin begründet, dass die Raumtemperatur häufig nicht auf die genormte Grenztemperatur von 20°C begrenzt wird, sondern Raumtemperaturen um bis zu 23°C üblich sind.

Den vorliegenden Berechnungen wurde ein Wert von 12.000 kWh/Jahr (Einfamilien-Wohnhaus mit 140 m² beheizter Wohnraumfläche) zugrunde gelegt.

Der aktuelle Heizwärmebedarf wird über den heute genormten „Gebäudeausweis“ ermittelt bzw. den Berechnungen zugrunde gelegt.

Heizenergiebedarf

Der Heizenergiebedarf – zur Abdeckung des Heizwärmebedarfes - wird aus dem Heizwärmebedarf über den Nutzungsgrad des Heizungssystems abgeleitet.

Der **Wirkungsgrad bzw. Nutzungsgrad des Heizkessels** wird einerseits von der Technologie (Niedertemperatur- und Brennwert-Kessel) und andererseits vom Einsatz (Raumheizung alleine oder in Verbindung mit Warmwasserbereitung) bestimmt. Auch die Heizungsauslegung (mit und ohne Puffer-Speicher) sowie die Betriebsweise (Ein- und Ausschaltzeiten, Temperaturabsenkung, Regelung und Steuerung) sind von Bedeutung. Bei kleineren Leistungen und häufigeren Ein- und Ausschalt-Zyklen wird die erreichbare Effizienz des Heizkessels, insbesondere der Brennwert-Technik nicht erreicht bzw. ausgeschöpft.

Der Wirkungsgrad bzw. Nutzungsgrad von Heizkesseln außerhalb der Heizsaison zur ausschließlichen Warmwasserbereitung wird aufgrund des geringen Leistungsbedarfes geringer im Vergleich zur Heizsaison ausfallen. Erfahrungsgemäß werden mit Heizkesseln außerhalb der Heizsaison nur Nutzungsgrade um 40% erreicht. In den Berechnungen wird für

die Warmwasserbereitung außerhalb der Heizsaison von 60% Nutzungsgrad für Öl- und Pelletskessel und von 75% für Gaskessel (Gasthermen) ausgegangen.

Der **Nutzungsgrad von Wärmepumpen-Heizungen** wird über die Arbeitszahl - bzw. als Mittelwert für das Jahr über die Jahresarbeitszahl - der Wärmepumpe charakterisiert. Die Jahres-Arbeitszahlen (JAZ) von Wärmepumpen-Heizungssystemen werden von der Systemauslegung, der Wärmequellenanlage und der Auslegungstemperatur der Heizwärmeverteilung bestimmt. Auch die Betriebsweise inklusive Steuerungs- und Regelungskonzept sowie die eingestellte Raumtemperatur sind von Bedeutung. In Niedrigenergie-Gebäuden mit Niedertemperatur- Wärmeverteilung (z.B. Auslegungstemperatur unter 40°C) sind mit modernen Wärmepumpen-Heizungen Jahresarbeitszahlen über 4 erreichbar. Die Arbeitszahlen von Brauchwasser-Wärmepumpen (getrennt von der Heizungsanlage) werden mit 3 angesetzt, sowohl als Jahresarbeitszahl als auch für die Periode außerhalb der Heizsaison (Mai bis September).

In den Berechnungen wird eine Jahresarbeitszahl JAZ von 4,5 für Heizung und 4,0 für Heizung und Warmwasser angenommen.

Die geringeren Nutzungsgrade von Heizkesseln außerhalb der Heizsaison legen nahe, für die Warmwasserbereitung in den Sommermonaten – insbesondere beim Vorhandensein einer Solaranlage - auf fossile und biogene Energieträger zu verzichten, und die Warmwasserbereitung bzw. Nacherwärmung bei Solaranlagen über elektrischen Strom (Elektro-Heizpatrone) vorzunehmen.

Der **Wirkungsgrad bzw. Nutzungsgrad einer Elektro-Heizpatrone** wird mit 98% angesetzt.

Thermische Solaranlagen werden heute vorrangig getrennt von der Heizung zur Warmwasserbereitung eingesetzt. Mit einer auf den Warmwasserbedarf abgestimmten Solaranlage (Kollektorfläche und Speichervolumen) lassen sich in Einfamilien-Wohngebäuden (Haushalte) im österreichischen Durchschnitt um 70% bis 75% des Jahres-Warmwasserbedarfes abdecken (z.B. 8 m² Kollektorfläche, 500 Liter Warmwasserspeicher). Außerhalb der Heizsaison (Mai bis September) liegt der Solaranteil über 85%, auch bedingt durch das größere Speichervolumen (4-facher Tagesbedarf) und das Erreichen einer Wassertemperatur im Speicher von 80°C an sonnigen Tagen.

Solaranlagen, welche mit dem Heizungssystem gekoppelt sind, weisen aufgrund der anderen Systemtechnik (höhere Einspeisetemperaturen) geringere Nutzungsgrade und damit auch geringere Solaranteile bei der ganzjährigen Warmwasserbereitung auf: Jahres-Solaranteil um 50% im Vergleich zu einer von der Heizung getrennten Solaranlage zur Warmwasserbereitung mit 70% bis 75%.

Aus energetischen Gründen wird deshalb empfohlen, die Warmwasserbereitung mit einer von der Heizung getrennten Solaranlage vorzunehmen. Eine Ausnahme wäre eine solar-unterstützte Heizung in einem hoch wärmegeprägten Wohnhaus und Verwendung eines Schichtspeichers mit stratifizierter Wärmeverteilung; *Solar-Kombisystem*.

Die Einbindung einer solarthermischen Anlage in das Heizungssystem ist nur in hoch wärmegeprägten Gebäuden mit Niedertemperaturheizung (Auslegungstemperatur < 35°C) sinnvoll. In diesem Falle kann ein Solaranteil um 40% bei Raumwärme und Warmwasser erreicht werden: **Solar-Optimiertes Gebäude**. Eine für ein Einfamilien-Wohngebäude

typische Solaranlage hat eine Kollektorfläche von 15 m² bis 25 m² und einen Wasserspeicher von 1.500 Liter bis 2.000 Liter.

Warmwasserbedarf für einen Haushalt

Typisch für einen Haushalt ist ein Warmwasserbedarf von 120 bis 140 Liter/Tag (50°C), zusätzlich 30% Wärmeverluste im Speicher und Rohrleitungen. Der Heizwärmebedarf für Warmwasser in einem Haushalt wird nach Erfahrungswerten mit 3.000 kWh/Jahr angesetzt.

Die Annahmen zur Energetischen Bewertung der Wärmeversorgung von Gebäuden werden in Abb. 2.3 ausgewiesen.

Stromeinsatz in Haushalten

Der Stromeinsatz in Haushalten bezieht sich einerseits auf den Hilfsstrom zum Antrieb der Heizungsanlage und andererseits für Haushaltsgeräte sowie TV, Radio, PC und Beleuchtung.

Hilfsstrom für Heizungsanlagen betrifft den Antrieb der Umwälzpumpen im Heizungssystem sowie für Regelung und Steuerung. Für Heizungssysteme mit Warmwasserheizung wird der Einsatz an Hilfsstrom vergleichbar sein. Bei Luft-Heizungen (Passiv-Häuser) kommt allerdings der im Vergleich zu Warmwasser-Heizungen höhere Strombedarf für die Luftumwälzung hinzu - insbesondere bei kontrollierter Wohnraumlüftung auch außerhalb der Heizsaison. Bei solarthermischen Anlagen ist der Strom für den Antrieb der Umwälzpumpe im Kollektorkreis und bei externen Wärmetauschern auch der Umwälzpumpe im Speichersystem zu beachten: Erfahrungswerte zwischen 80 kWh/Jahr bis 150 kWh/Jahr. Der Strombedarf für die Regelung von Wärmepumpen ist in der Arbeitszahl der Wärmepumpe berücksichtigt.

Eine detaillierte Energiebilanzierung sollte den Hilfsstrom zum Betrieb der Heizungsanlage einbeziehen.

Mit modernen und energie-effizienten Haushaltsgeräten sowie mit Energiesparlampen lassen sich im Vergleich zu älteren Produkten Stromeinsparungen in einem Haushalt um mehr als 50% erzielen.

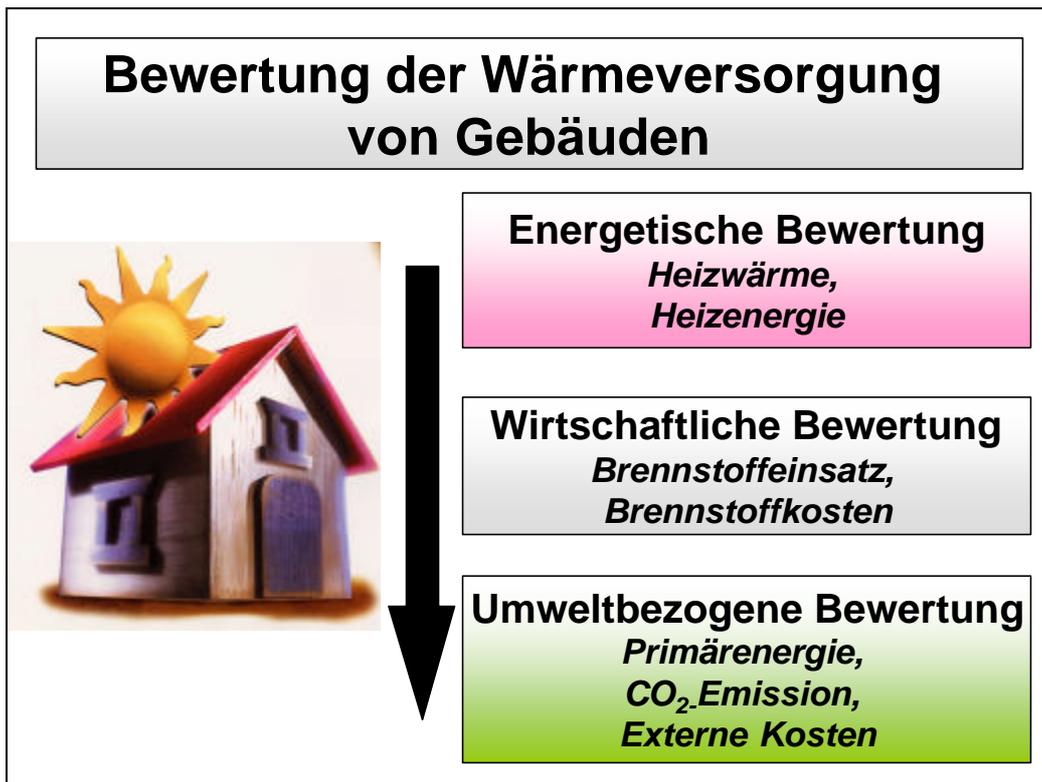


Abb. 2.1: Kenngrößen zur Bewertung der Wärmeversorgung



Abb. 2.2: Energetische Bewertung der Wärmeversorgung

Energetische und Umweltbezogene Bewertung der Wärmeversorgung von Gebäuden



Einfamilien-Wohnhaus

140 m² beheizte Wohnfläche

Heizwärmebedarf:

Raumwärme: 12.000 kWh/(m², Jahr)

Warmwasser: 3.000 kWh/(m², Jahr)

Heizungssystem:

Jahres-Nutzungsgrad, %/Jahr

Jahres-Arbeitszahl WP (JAZ)

Heizung und Warmwasser

- Ölkessel: 85%/Jahr
- Gaskessel: 90%/Jahr
- Pelletskessel: 75%
- Wärmepumpe (JAZ): 4
- Solaranlage:

75% Jahres-Solaranteil bei Warmwasser

Vergleichssystem: Ölkessel

ENERGETISCHE BEWERTUNG DER WARMEVERSOEGUNG VON GEBAUDEN			
Annahmen zum Heizungssystem			
Beispiel: Einfamilien-Wohngebäude			
Heizungssystem			
Wärmeerzeuger	Jahres-Nutzungsgrad, %/Jahr		
	Heizung	Heizung & Warmwasser	Warmwasser, getrennt
Ölkessel, modern *	90%	85%	60%
Gaskessel, modern **	95%	90%	75%
Pelletskessel	80%	75%	60%
Jahres-Arbeitszahl			
Wärmepumpe ***	3,8 - 4,5	3,5 - 4,0	2,8 - 3,0
Jahres-Solaranteil, %/Jahr			
Solarthermische Anlage ****	30% (RH)	40% (RH & WW)	75% (WW)
Anmerkungen			
Ölkessel * und Gaskessel **			
Niedertemperatur- und Brennwert-Kessel			
Wärmepumpe ***			
Erdreich- oder Grundwasser-Wärmepumpe in Niedrigenergie-Gebäude mit Niedertemperatur-Heizung: Auslegungstemperatur < 35°C			
Solarthermische Anlage ****			
Einsatz in Niedrigenergie-Gebäude mit Niedertemperatur-Heizung: Auslegungstemperatur < 35°C			
Kombiniert mit Raumheizung: 15 m ² bis 25 m ² Kollektorfläche, 1.500 bis 2.000 Liter Wasserspeicher			
Nur Warmwasserbereitung: 6 m ² bis 8 m ² Kollektorfläche, 300 bis 500 Liter Wasserspeicher			

Abb. 2.3: Annahmen zur Energetische Bewertung der Wärmeversorgung

2.2 Die Wirtschaftliche Bewertung der Wärmeversorgung

Die Wirtschaftliche Bewertung der Wärmeversorgung von Gebäuden kann nach betriebswirtschaftlichen Kriterien und nach volkswirtschaftlichen Kriterien erfolgen; Abb. 2.4 und Abb. 2.5. Bei der betriebswirtschaftlichen Bewertung werden Aspekte des Umweltschutzes, der Versorgungssicherheit, der Risiken, der Wertschöpfung, der Nachhaltigkeit etc. nicht berücksichtigt. Eine volkswirtschaftliche Bewertung führt zu einer gesamtheitlichen Bewertung von Energiesystemen. Diese hat zu berücksichtigen: Kosten/Nutzen-Verhältnis, Volkswirtschaftliche Kriterien (*Umwelt, Nachhaltigkeit, Import, Wertschöpfung etc.*), Versorgungssicherheit (*Verfügbarkeit, Preisentwicklung*), Risiken (*Betriebssicherheit, Gefahrenpotential etc.*), Lebensqualität (*Komfort, Umwelt, Unabhängigkeit etc.*).

Die Wirtschaftlichkeitsrechnung ist eine Vergleichsmethode: Es werden zwei oder mehrere Energiesysteme unter vergleichbaren Randbedingungen und betriebswirtschaftlichen Kriterien miteinander verglichen. Da die Randbedingungen mit Vor- und Nachteilen verschiedener Energiesysteme nicht gleich sind, kann eine wirtschaftliche Bewertung keine eindeutige Aussage treffen. Die wirtschaftliche Bewertung ist nur eine von mehreren Auswahlkriterien.

In der Praxis ist die betriebswirtschaftliche Bewertung von Energiesystemen für den Investor bzw. Betreiber von größerem Interesse, die volkswirtschaftliche Bewertung dient als Entscheidungsgrundlage für energiepolitische Entscheidungen bzw. Maßnahmen.

Als Rechenmethoden stehen zur Verfügung: *Statische Methoden* (ohne Berücksichtigung von zeitabhängigen Kostenfaktoren: nur Kapitalkosten, Energiekosten und Betriebskosten im 1. Jahr) und *Dynamische Methoden* (mit Berücksichtigung zeitabhängiger Kostenfaktoren).

Anfallende Kosten beziehen sich auf Planungskosten, Errichtungskosten (abzüglich Förderungen und zuzüglich Bankzinsen), jährliche Betriebskosten (Brennstoffkosten & sonstige im Betrieb anfallende Kosten), Wartungs- und Erneuerungskosten, Abbruch- und Entsorgungskosten.

Zeitabhängige Kostenfaktoren beziehen sich auf die Finanzierungskosten der Investitionen (*Fremd- und Eigenfinanzierung, realer Diskontsatz*), die Entwicklung der Energiekosten, der Inflationsrate, der Betriebskosten, und der Reparatur- und Erneuerungskosten, jeweils bezogen auf den Betrachtungszeitraum.

Von besonderem Einfluss auf die Wirtschaftlichkeitsrechnung sind einerseits die angenommene Lebensdauer für Komponenten und Systeme der Heizungsanlage und andererseits der Betrachtungszeitraum (Abschreibungszeit).

Mit der statischen Methode wird die Amortisationsdauer des im Betrieb kostengünstigeren Energiesystems, mit jedoch höheren Investitionskosten ermittelt. Die dynamische Methode führt zu den mittleren jährlichen Gesamtkosten (über den Betrachtungszeitraum), zu Annuitäten und zu den Barwerten der Gesamtkosten.

Für die betriebswirtschaftliche Vergleichsrechnung von Energiesystemen nach der Dynamischen Amortisationsmethode steht ÖNORM M 7140 zu Verfügung.

Mit kalkulatorischen (fiktiven) Energiepreis-Zuschlägen werden die Umweltschäden in der Wirtschaftlichkeitsrechnung berücksichtigt und ermöglichen damit einen Vergleich von Heizungssystemen auch nach umweltbezogenen Kriterien. Damit werden die energieintensiven und die Umwelt belastenden Energieversorgungssysteme unrentabler, während Energiesparmassnahmen und der Einsatz erneuerbarer Energiequellen einen rechnerischen Bonus erhalten.

Vorgehensweise bei der wirtschaftlichen Bewertung

Die Wirtschaftliche Bewertung bezieht sich zunächst auf den aus dem Heizenergie-Einsatz abgeleiteten Brennstoff-Einsatz (über den Heizwert des eingesetzten Brennstoffes) und in weiterer Folge auf die Brennstoff-Kosten für das erste Betriebsjahr (über die aktuellen Kosten des eingesetzten Brennstoffes); Abb. 2.6 und Abb. 2.7.

Die Brennstoffpreise im Beispiel (Abb. 2.7) beziehen sich auf durchschnittliche Marktpreise in Österreich im August 2008. Da insbesondere in den letzten Jahren die Brennstoffpreise großen zeitlichen Schwankungen unterworfen waren, sind bei wirtschaftlichen Betrachtungen die jeweils an Standort aktuellen Preise einzuholen. Auch bei den Investitionskosten – einschließlich Installation und Inbetriebnahme – ist von aktuellen Angeboten auszugehen. Die Effizienz einer Heizungsanlage wird wesentlich von der Planung des Heizungssystems, inklusive Regelungs- und Steuerungsstrategie bestimmt. Bei der Auswahl des Heizungssystems sollte deshalb darauf geachtet werden, inklusive Vorsehen eines Pufferspeichers zur Unterstützung eines weitgehend kontinuierlichen Betriebes („*Energiemanagement*“).

Jährliche Wartungs- und Erneuerungskosten können die Betriebskosten wesentlich mitbestimmen und sollten deshalb nicht vernachlässigt werden. Erneuerungskosten lassen sich aus den Investitionskosten in Verbindung mit der angenommenen Lebensdauererwartung von Komponenten und Systemen eines Heizungssystems auf Jahreskosten umrechnen. Damit setzen sich die jährlichen Betriebskosten einer Heizungsanlage aus den Jahres-Brennstoffkosten und den Jahres-Investitionskosten zusammen. Tafel 2.1b illustriert die Jahreskosten am Beispiel „Nachhaltiger“ Heizungssysteme für einen dezentralen Einsatz: Pelletskessel und Solaranlage (nur zur Warmwasserbereitung oder auch zur Unterstützung der Raumheizung – *Solar Kombisystem*), Wärmepumpe für Heizung und Warmwasser, Heizungs- und Brauchwasser-Wärmepumpe sowie Wärmepumpe für Heizung in Kombination mit einer Solaranlage zur Warmwasserbereitung. Diese Heizungssysteme weisen im Allgemeinen vergleichbare Jahreskosten auf und liegen unter den Jahreskosten von Ölkesselanlagen. Beispielsweise weisen Wärmepumpen in Verbindung mit Solaranlagen zur Warmwasserbereitung höhere Investitionskosten als Wärmepumpen für Heizung und Warmwasser auf, erhöhen jedoch die Lebensdauererwartung vom Wärmepumpen-Aggregat und kompensieren damit die Mehrkosten für die Solaranlage: Die Jahreskosten sind vergleichbar und der Beitrag „Erneuerbare“ Energie (Umweltwärme und Solarwärme) ist höher.

Für eine erste Abschätzung der Wirtschaftlichkeit von Energiespar-Maßnahmen und Heizungssystemen werden die für das erste Betriebsjahr abgeleiteten Heizkosten (meist nur Brennstoffkosten) mit den Investitionskosten in Relation gesetzt. Ermittelt wird der Zeitraum zur Abdeckung höherer Investitionskosten (abzüglich möglicher Förderungen) durch geringere Jahres-Betriebskosten: Amortisationsdauer. Im privaten Bereich werden im Allgemeinen etwa 10 Jahre zum Erwirtschaften von Mehrausgaben akzeptiert. Als Vergleichssystem wird meist eine Ölheizung herangezogen: *Öl-Äquivalent*. Die aktuellen

Marktdaten im Bereich Pellets- und Wärmepumpen-Heizungen sowie Solarthermischen Anlagen bestätigen, dass sich diese Erwartungen am Markt bereits erfüllen.

In Tafel 2.1 (a bis e) werden Beispiele für die Abschätzung der Wirtschaftlichkeit von Heizungssystemen illustriert. Verglichen werden Pelletskessel und Wärmepumpe mit einem Ölkessel sowie eine Solaranlage zur Warmwasserbereitung mit einem Elektroboiler. Die der Bewertung zugrunde gelegten Brennstoff-/Stromkosten setzen sich nicht nur aus dem Arbeitspreis (Verbrauch) zusammen, sondern enthalten auch Zuschläge und Abgaben sowie die Mehrwertsteuer. Die Tarife sind nicht einheitlich und variieren bei den Stromanbietern. Auch die Brennstoffkosten für Heizöl und Pellets waren in den letzten Monaten großen Preisschwankungen unterworfen. Es lohnt sich deshalb, die aktuellen Marktpreise für Energieträger zusammen mit der Preisentwicklung zu beobachten. Auch bei den Investitionskosten können keine einheitlichen Preise angegeben werden. Diese hängen von dem Objekt und von der Systemauslegung mit unterschiedlicher Strategie (für Regelung, Speicherung, Raumheizung mit oder ohne Warmwasserbereitung) ab. Bei Vorliegen eines verbindlichen Angebotes ermöglicht das Bewertungsmodell eine wirtschaftliche Bewertung der in Betracht gezogenen Heizungssysteme auf der Grundlage der aktuellen Brennstoff-/Strom-Preise vorzunehmen. Änderungen in der Preisentwicklung der in Betracht gezogenen Energieträger können im Rahmen einer Variantenanalyse zur Risikoabschätzung herangezogen werden.

Für die Wirtschaftlichkeit von Pelletskessel, Wärmepumpen und Solaranlagen sind auch finanzielle Förderungen durch die Öffentliche Hand (z.B. im Rahmen der Wohnbauförderung über die Bundesländer) von Bedeutung. In den Beispielen werden auch Förderungen angenommen.

Tafel 2.2 illustriert den Strombedarf für Wärmepumpen zur Heizung und Warmwasserbereitung im Vergleich zu einem Ölkessel für Heizung und einem Elektroboiler für die Warmwasserbereitung. Mit dem Einsatz einer Wärmepumpe muss der Strombedarf in einem Haushalt nicht zwangsläufig steigen, wenn damit die Warmwasserbereitung über einen Elektroboiler vermieden und andererseits auch der Strombedarf für Haushaltsgeräte mit dem Einsatz effizienter Geräte reduziert wird.

Die Kosten von Energiesystemen

Anfallende Kosten:

- Planungs- und Errichtungskosten
(abzüglich Förderungen und zuzüglich Bankzinsen),
- Jährliche Betriebskosten
(Brennstoffkosten & sonstige im Betrieb anfallende Kosten),
- Wartungs- und Erneuerungskosten,
- Abbruch- und Entsorgungskosten.

Zeitabhängige Kostenfaktoren:

- Kapitalkosten (realer Diskontsatz),
- Entwicklung der Energiekosten,
- Entwicklung der Inflationsrate,
- Entwicklung der Betriebskosten,
- Entwicklung der Reparatur- und Erneuerungskosten.

Jeweils bezogen auf den Betrachtungszeitraum.

Abb. 2.4: Anfallende und Zeitabhängige Kosten zur Wirtschaftlichen Bewertung

Methoden zur Wirtschaftlichen Bewertung

Statische Methoden:

Amortisationsdauer

*(im Betrieb kostengünstigeres Energiesystem,
mit jedoch höheren Investitionskosten)*

Dynamische Methoden:

- Amortisationsdauer,
- Mittlere jährliche Gesamtkosten
(über den Betrachtungszeitraum),
- Annuitäten,
- Barwerte der Gesamtkosten.

Abb. 2.5: Methoden zur Wirtschaftlichen Bewertung



Abb. 2.6: Schema zur Wirtschaftlichen Bewertung

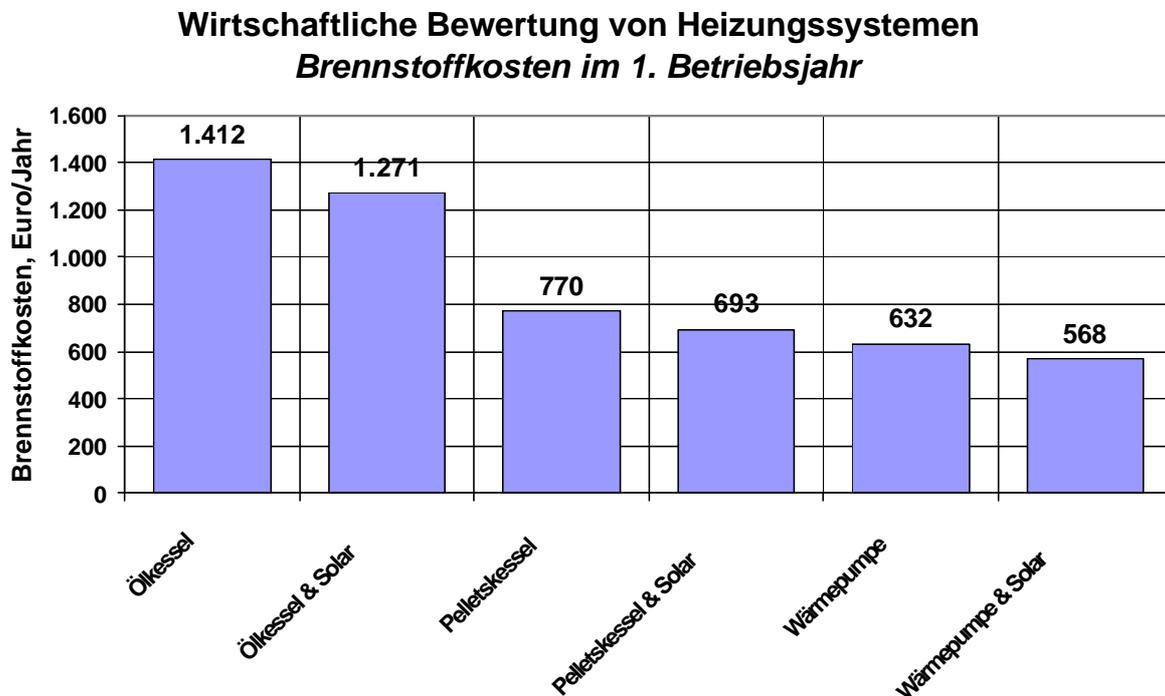


Abb. 2.7: Ergebnisse der Wirtschaftlichen Bewertung (Beispiel)

**Tafel 2.1: Wirtschaftliche Bewertung von Heizungssystemen
Raumheizung und Warmwasserbereitung
Ölkessel, Pelletskessel, Wärmepumpe und Solaranlage zur Warmwasserbereitung
Schätzwerte!**

a) Brennstoffkosten

Brennstoffkosten für Ölkessel, Erdreich-Wärmepumpe und Pelletskessel			
Beispiel: Heizungsanlage für Raumheizung und Warmwasserbereitung			
Einfamilien-Wohngebäude, 140 m² beheizte Wohnfläche (Niedrigenergie-Baustandard)			
Solaranlage zur Warmwasserbereitung: 8 m² Kollektorfläche, 500 Liter Wasserspeicher			
Schätzwerte Januar 2009			
Beispiel: Einfamilien-Wohngebäude, 140 m² beheizte Wohnfläche			
Heizwärmebedarf, kWh/Jahr	Heizung und Warmwasser		15.000
Jahres-Nutzungsgrad, % bzw. JAZ	Ölkessel	Pelletskessel	Wärmepumpe
Heizung & Warmwasser	85	75	3,8
Brennstoff / Strom			
Heizwert	Heizöl	Pellets	Strom
kWh/Mengeneinheit	kWh/Liter	kWh/kg	kWh/kWh
	10,0	4,7	1,0
Brennstoffkosten	Cent/Liter	Cent/kg	Cent/kWh
Euro/Mengeneinheit	80,0	19,3	16,0
Heizungssystem	Heizenergie	Brennstoffmenge	Brennstoffkosten
	kWh/Jahr	Mengeneinheit/Jahr	Euro/Jahr
Ölkessel	17.647	1.765	1.412
Ölkessel & Solar	15.882	1.588	1.271
Pelletskessel	18.750	3.989	770
Pelletskessel & Solar	16.875	3.590	693
Wärmepumpe	3.947	3.947	632
Wärmepumpe & Solar	3.553	3.553	568

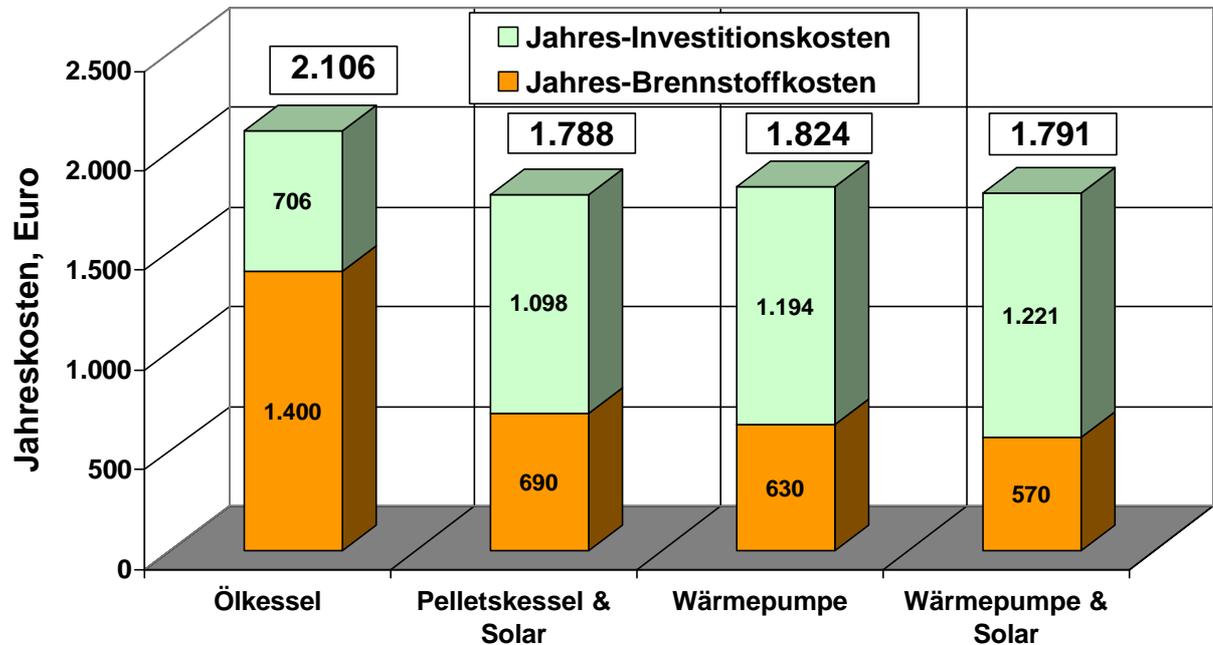
b) Investitionskosten

Investitionskosten für Ölkessel, Erdreich-Wärmepumpe, Pelletskessel und Solaranlage zur Warmwasserbereitung							
Beispiel: Heizungsanlage für Raumheizung und Warmwasserbereitung							
Einfamilien-Wohngebäude, 140 m² beheizte Wohnfläche (Niedrigenergie-Baustandard)							
Solaranlage zur Warmwasserbereitung: 8 m² Kollektorfläche, 500 Liter Wasserspeicher							
Anlagenkomponenten, Nutzungsdauer, Kosten							
Schätzwerte August 2008							
Ölkessel				Erdreich-Wärmepumpe			
Anlagenkomponenten	Nutzungsdauer Jahre	Investition Euro	Jahreskosten Euro	Anlagenkomponenten	Nutzungsdauer Jahre	Investition Euro	Jahreskosten Euro
Bauliches (Fang)	30	1.300	43	Erdreich-Wärmetauscher	30	5.230	174
Ölkesselleinheit	15	3.660	244	Kompressor, Kältekreis	10	1.300	130
Öllagerung	30	2.500	83	Pufferspeicher/Warmwasserspeicher	15	2.300	153
Warmwasser-Speicher	15	1.500	100	Sole/Wasser-Wärmepumpe	15	4.350	290
Zubehör	10	270	27	Zubehör	10	1.610	161
Installation, Montage	15	1.360	91	Installation, Montage	15	1.300	87
		10.590	588			16.090	995
20% Mehrwertsteuer		2.118	118	20% Mehrwertsteuer		3.218	199
GESAMT		12.708	706	GESAMT		19.308	1.194
Pelletskessel & Solaranlage				Erdreich-Wärmepumpe & Solaranlage (WW)			
Anlagenkomponenten	Nutzungsdauer Jahre	Investition Euro	Jahreskosten Euro	Anlagenkomponenten	Nutzungsdauer Jahre	Investition Euro	Jahreskosten Euro
Bauliches (Fang)	30	1.300	43	Erdreich-Wärmetauscher	30	5.230	174
Pelletskesselleinheit	15	5.500	367	Kompressor, Kältekreis	15	1.300	87
Pelletslagerung	30	2.500	83	Pufferspeicher/Warmwasserspeicher	15	2.300	153
Warmwasser-Speicher	15	1.500	100	Sole/Wasser-Wärmepumpe	20	4.350	218
Zubehör	10	270	27	Zubehör	10	1.610	161
Kollektor-Set	25	2.700	108				
Zusatzmaterial	10	400	40	Installation, Montage	20	1.300	65
Installation, Montage	15	2.200	147	Solaranlage	25	4.000	160
		16.370	915	Summe		20.090	1.018
20% Mehrwertsteuer		3.274	183	20% Mehrwertsteuer		4.018	204
GESAMT		19.644	1.098	GESAMT		24.108	1.221

Heizungssysteme im wirtschaftlichen Vergleich

Einfamilien-Wohngebäude

Heizwärme: 12.000 kWh/Jahr, Warmwasser: 3.000 kWh/Jahr



Heizungssysteme im Wirtschaftlichen Vergleich

**c) Vergleich Ölkessel mit Pelletskessel
Mit und ohne Förderung**

Wirtschaftlicher Vergleich von Heizungssystemen	
Beispiel: Einfamilien-Wohngebäude, 140 m² beheizte Wohnfläche	
Heizwärmebedarf (Heizung und Warmwasser), kWh/Jahr	15.000
Statische Berechnung (ohne jährliche Preissteigerungsraten, Wartungs- und Erneuerungskosten)	
Investitionskosten, inklusive Installation, EURO (€)	
Ölkessel, neu	Pelletskessel
12.700	16.000
Landesförderung, €	
Mehrkosten Pelletskessel, €	3.300
Brennstoffkosten, €/Jahr	
1.412	770
Jahreskosten-Einsparung mit Pelletskessel, €/Jahr	642
Amortisationszeit für Pelletskessel, Jahre	5,14
Annahmen:	
Heizöl-Preis: 80,0 Cent/Liter Heizöl	
Pellets-Preis: 19,3 Cent/kg Pellets	

Wirtschaftlicher Vergleich von Heizungssystemen	
Beispiel: Einfamilien-Wohngebäude, 140 m² beheizte Wohnfläche	
Heizwärmebedarf (Heizung und Warmwasser), kWh/Jahr	15.000
Statische Berechnung (ohne jährliche Preissteigerungsraten, Wartungs- und Erneuerungskosten)	
Investitionskosten, inklusive Installation, EURO (€)	
Ölkessel, neu	Pelletskessel
12.700	16.000
Landesförderung, €	2.000
Mehrkosten Pelletskessel, €	1.300
Brennstoffkosten, €/Jahr	
1.412	770
Jahreskosten-Einsparung mit Pelletskessel, €/Jahr	642
Amortisationszeit für Pelletskessel, Jahre	2,02
Annahmen:	
Heizöl-Preis: 80,0 Cent/Liter Heizöl	
Pellets-Preis: 19,3 Cent/kg Pellets	

**d) Vergleich Ölkessel mit Wärmepumpe
Mit und ohne Förderung**

Wirtschaftlicher Vergleich von Heizungssystemen	
Beispiel: Einfamilien-Wohngebäude, 140 m² beheizte Wohnfläche	
Heizwärmebedarf (Heizung und Warmwasser), kWh/Jahr	15.000
Statische Berechnung (ohne jährliche Preissteigerungsraten, Wartungs- und Erneuerungskosten)	
Investitionskosten, inklusive Installation, EURO (€)	
Ölkessel, neu	Erdreich-Wärmepumpe
12.700	19.000
Landesförderung, €(Land & E-Wirtschaft)	
Mehrkosten Wärmepumpe, €	6.300
Brennstoffkosten, €/Jahr	
1.412	632
Jahreskosten-Einsparung mit Wärmepumpe, €/Jahr	780
Amortisationszeit für Wärmepumpe, Jahre	8,08
Annahmen:	
Heizöl-Preis: 80,0 Cent/Liter Heizöl	
Strom-Preis: 16 Cent/kWh	

Wirtschaftlicher Vergleich von Heizungssystemen	
Beispiel: Einfamilien-Wohngebäude, 140 m² beheizte Wohnfläche	
Heizwärmebedarf (Heizung und Warmwasser), kWh/Jahr	15.000
Statische Berechnung (ohne jährliche Preissteigerungsraten, Wartungs- und Erneuerungskosten)	
Investitionskosten, inklusive Installation, EURO (€)	
Ölkessel, neu	Erdreich-Wärmepumpe
12.700	19.000
Landesförderung, €(Land & E-Wirtschaft)	2.000
Mehrkosten Wärmepumpe, €	4.300
Brennstoffkosten, €/Jahr	
1.412	632
Jahreskosten-Einsparung mit Wärmepumpe, €/Jahr	780
Amortisationszeit für Wärmepumpe, Jahre	5,51
Annahmen:	
Heizöl-Preis: 80,0 Cent/Liter Heizöl	
Strom-Preis: 16 Cent/kWh	

e) Vergleich Elektro-Boiler mit Solaranlage zur Warmwasserbereitung
Mit und ohne Förderung

Wirtschaftlicher Vergleich von Heizungssystemen	
Beispiel: Haushalt	
Warmwasserbedarf, kWh/Jahr	3.000
Amortisation einer Solaranlage zur Warmwasserbereitung	
Statische Berechnung (ohne jährliche Preissteigerungsraten, Wartungs- und Erneuerungskosten)	
Vergleich Elektro-Boiler mit Solaranlage	
Investitionskosten, inklusive Installation, EURO (€)	
Elektro-Boiler	Solaranlage
1.400	6.700
Landesförderung, €	
Mehrkosten Solaranlage, €	5.300
Brennstoffkosten, €/Jahr	
490	120
Jahreskosten-Einsparung mit Solaranlage, €/Jahr	370
Amortisationszeit für Solaranlage, Jahre	14,33
Annahmen:	
Strom-Preis: 16 Cent/kWh	
Jahres-Solaranteil: 75%	

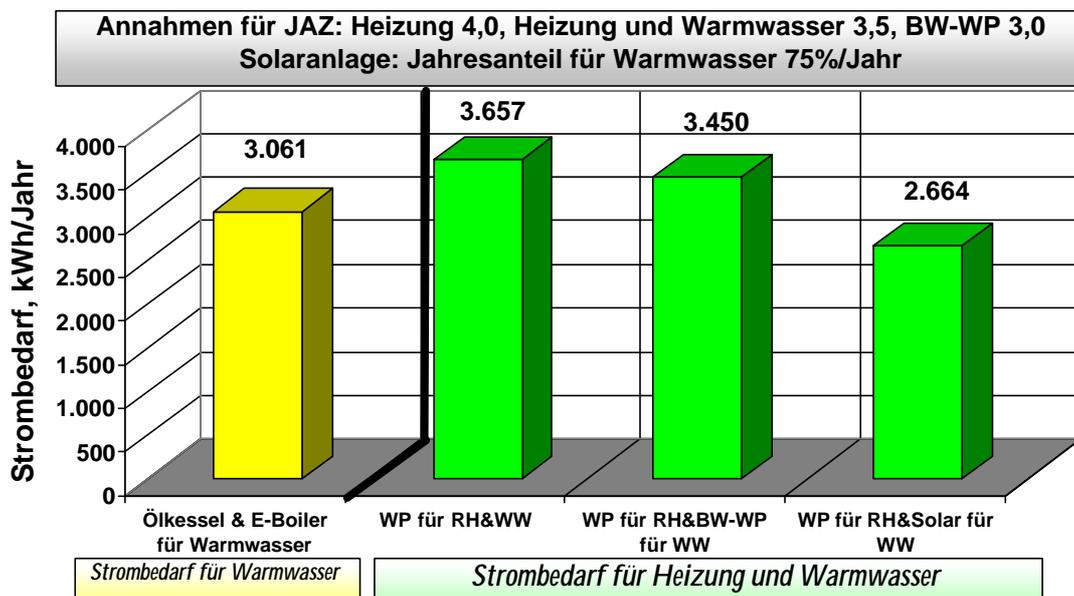
Wirtschaftlicher Vergleich von Heizungssystemen	
Beispiel: Haushalt	
Warmwasserbedarf, kWh/Jahr	3.000
Amortisation einer Solaranlage zur Warmwasserbereitung	
Statische Berechnung (ohne jährliche Preissteigerungsraten, Wartungs- und Erneuerungskosten)	
Vergleich Elektro-Boiler mit Solaranlage	
Investitionskosten, inklusive Installation, EURO (€)	
Elektro-Boiler	Solaranlage
1.400	6.700
Landesförderung, €	1.500
Mehrkosten Solaranlage, €	3.800
Brennstoffkosten, €/Jahr	
490	120
Jahreskosten-Einsparung mit Solaranlage, €/Jahr	370
Amortisationszeit für Solaranlage, Jahre	10,28
Annahmen:	
Strom-Preis: 16 Cent/kWh	
Jahres-Solaranteil: 75%	

Tafel 2.2: Strombedarf für Wärmepumpen-Systeme für Heizung und Warmwasser in einem Niedrigenergie-Wohnhaus und Vergleich mit einem Ölkessel für Heizung und Elektroboiler für Warmwasser

Wärmepumpen-Systeme für Gebäude			
Beispiel: Einfamilien-Wohngebäude, 140 m² Wohnnutzfläche			
Niedrigenergiehaus-Standard			
Heizwärmebedarf, kWh/Jahr		9.800	
Warmwasserbedarf, kWh/Jahr		3.000	
Vergleichsgebäude (Ölkessel & E-Boiler für Warmwasser)		Wärmepumpe für Heizung & Warmwasser	
Ölkessel	Jahresnutzungsgrad = 85%	Jahresarbeitszahl (Heizung & Warmwasser)	3,5
Elektro-Warmwasserboiler	Jahresnutzungsgrad = 98%		
Haushaltsgeräte & Beleuchtung		Haushaltsgeräte & Beleuchtung	Effiziente Geräte
Heizenergiebedarf/Brennstoffbedarf		Heizenergiebedarf/Brennstoffbedarf	
Liter Öl/Jahr	1.153	Liter Öl/Jahr	0
Warmwasserbedarf		Heizung und Warmwasser	
Strombedarf, kWh/Jahr	3.061	Strombedarf, kWh/Jahr	3.657
Haushaltsgeräte & Beleuchtung		Haushaltsgeräte & Beleuchtung	
Strombedarf, kWh/Jahr	2.800	Strombedarf, kWh/Jahr	1.500
GESAMT		GESAMT	
Liter Heizöl/Jahr	1.153	Liter Heizöl/Jahr	0
Strombedarf, kWh/Jahr	7.014	Strombedarf, kWh/Jahr	5.157

Wärmepumpe für Heizung & Brauchwasser-Wärmepumpe		Wärmepumpe für Heizung & Solaranlage für Warmwasser	
Jahresarbeitszahl Heizung	4	Jahresarbeitszahl Heizung	4
Jahresarbeitszahl Warmwasser	3	Jahresarbeitszahl Warmwasser (für 25% des Jahres WW-Bedarfes)	3,5
Solaranlage	Keine	Solaranlage für Warmwasser, Jahres-Solaranteil	75%/Jahr
Haushaltsgeräte & Beleuchtung	Effiziente Geräte	Haushaltsgeräte & Beleuchtung	Effiziente Geräte
Heizenergiebedarf/Brennstoffbedarf		Heizenergiebedarf/Brennstoffbedarf	
Liter Öl/Jahr	0	Liter Öl/Jahr	0
Heizung und Warmwasser		Heizung und Warmwasser	
Strombedarf, kWh/Jahr	3.450	Strombedarf, kWh/Jahr	2.664
Haushaltsgeräte & Beleuchtung		Haushaltsgeräte & Beleuchtung	
Strombedarf, kWh/Jahr	1.500	Strombedarf, kWh/Jahr	1.500
GESAMT		GESAMT	
Liter Heizöl/Jahr	0	Liter Heizöl/Jahr	0
Strombedarf, kWh/Jahr	4.950	Strombedarf, kWh/Jahr	4.164

Wärmepumpen-Systeme für Heizung und Warmwasser
 Einfamilien-Wohngebäude (Niedrigenergie-Bauweise)
 Heizwärme: 9.800 kWh/Jahr, Warmwasser: 3.000 kWh/Jahr



2.3 Bewertung der „Nachhaltigkeit“ der Wärmeversorgung

Eine gesamtheitliche Bewertung von Heizungsanlagen bezieht sich vorrangig auf die Effizienz des Heizungssystems und auf den Einsatz von Energieträgern mit geringen/fehlenden klimarelevanten Emissionen bei Erzeugung und Nutzung. Neben den Energetischen und Wirtschaftlichen Kriterien sind für die Bewertung der „Nachhaltigkeit“ der Wärmeversorgung von Gebäuden auch die Umweltbezogenen Kriterien von Bedeutung; Abb. 2.8. Die Umweltbezogene Bewertung bezieht sich auf die aus der Heizenergie abgeleiteten Primärenergie und der energiebedingten, umweltrelevanten CO₂-Emission, jeweils bezogen auf die gesamte Energiekette von Aufbringung, über Transport und Verarbeitung bis zum Einsatz. Aus der CO₂-Emission werden die damit verbundenen Umweltkosten als „Externe Kosten“ abgeleitet.

Die Energetische und Umweltbezogene Bewertung von Brennstoffen für die Heizkessel und von Strom für die Wärmepumpe erfolgt mit dem *Primärenergie-Faktor PEF* (Verhältnis von Primärenergie (kWh_{primär}) zu Endenergie (kWh_{end}), dem *CO₂-Faktor* (Umweltrelevante CO₂-Äquivalent-Emission in g CO₂/kWh_{end}) und mit dem *Faktor für Externe Kosten* (Euro/kWh_{end}); Abb. 2.9 bis Abb. 2.11.

Primärenergie-Faktor, PEF

Der Primärenergie-Faktor - Konversionsfaktor (-) - ist das Verhältnis von Primärenergie (kWh_{primär}) zu Endenergie (kWh_{end}).

Mit der Ableitung des Primärenergie-Einsatzes aus der Heizenergie (Endenergie) soll der Energieaufwand für die Bereitstellung des Energieträgers Berücksichtigung finden. Dazu zählen der Energieeinsatz in der Vorkette des Energieträgers, wie Förderung, Verarbeitung und Transport. Die Systemgrenzen sind derzeit nicht vorgegeben, sodass es verschiedene Ansätze zur Ermittlung der Umrechnungsfaktoren in der Literatur gibt. Ausgangspunkt für die Ableitung der Primärenergie-Faktoren, PEF, ist die Ermittlung des „*Kumulierten Energieverbrauches, KEV*“ für einen Energieträger. Ermittelt wird der Energieeinsatz in den „Vorketten“ des Energieträgers zur Bereitstellung von 1 kWh Brennstoff bzw. Strom aus Kraftwerken.

In internationalen Forschungsprojekten (z.B. Internationale Energieagentur, Forschungsprogramm „Solar Heating and Cooling“) werden die von GEMIS ausgewiesenen Umrechnungsfaktoren verwendet. GEMIS ist ein im Jahre 1987 entwickeltes und in den laufenden Jahren immer adaptiertes Rechenmodell zur Ableitung von Primärenergie- und CO₂-Faktoren für Energieträger. GEMIS bedeutet *Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme*. GEMIS berücksichtigt nicht nur den Energieaufwand von Aufbringung bis Einsatz, sondern auch die Erneuerbarkeit der Energieträger; Tafel 2.3.

Bei fossilen Energieträgern ist auch das Förderland von Bedeutung: Transportweg, Verluste beim Transport.

Die Kenndaten für die PE- und CO₂-Faktoren für Strom werden aus den Anteilen der Energieträger bei der Stromerzeugung abgeleitet. Tafel 2.4 enthält die für Deutschland derzeit gültigen Umrechnungswerte. Die Anteile der Energieträger am UCTE-Strommix (2007) und die Kenndaten zur CO₂-Emission sind Tafel 2.5 und Tafel 2.6 zu entnehmen. Tafel 2.7 enthält die Anteile der Energieträger bei der Stromaufbringung in Österreich (2005) und in Tafel 2.8 werden die Bewertungsfaktoren für den Stromeinsatz in Österreich angeführt.

CO₂-Faktor: Umweltrelevante CO₂-Äquivalent-Emission: g CO₂/kWh_{end}

Wie bei der Ermittlung des Primärenergie-Faktors PEF werden die CO₂-Äquivalent-Emissionen in den Vorketten des Energieträgers berücksichtigt.

Die Ableitung der energiebedingten und umweltrelevanten CO₂-Emission wird aus dem Heizenergie/Brennstoff-Einsatz abgeleitet; Abb. 2.10.

In den vorliegenden Berechnungen werden die Werte nach GEMIS verwendet; Tafel 2.3.

Aussagekraft der PE- und CO₂-Faktoren

Festzuhalten ist, dass die zur Bewertung der „Nachhaltigkeit“ der Wärmeversorgung sowie des Stromeinsatzes ausgewiesenen Umrechnungsfaktoren (z.B. GEMIS-Werte in Tafel 2.3) aufgrund nicht genau definierter Systemgrenzen keine absolute Aussagekraft aufweisen. Bei den Berechnungen sind deshalb die der Bewertung zugrunde gelegten Faktoren auszuweisen.

Bei der Ableitung der Umrechnungsfaktoren ergeben sich definitionsgemäß Probleme bzw. Unterschiede bei der Bewertung Erneuerbarer Energieträger. Die folgenden Beispiele dokumentieren die sich aus verschiedenen Ansätzen abgeleiteten Ergebnisse.

Ein Solarkollektor erzeugt Wärme, nach KEV ergibt dann $1 \text{ kWh}_{\text{primär}} = 1 \text{ kWh}_{\text{th}}$ (PEF = 1). Bei Berücksichtigung eines Umwandlungsgrades von 60% wird ein Wert von $1,67 \text{ kWh}_{\text{primär}}$ pro kWh_{th} ermittelt. Im GEMIS Modell wird der PE-Faktor für die Solarwärme mit „0“ festgelegt. Dies bedeutet, dass Solarwärme bei der Energiebilanzierung keine Berücksichtigung findet.

Eine Kurzumtriebsanlage erzeugt Biomasse, nach KEV ergibt dann $1 \text{ kWh}_{\text{primär}} = 1 \text{ kWh}_{\text{Bio}}$. Wird der Erzeugung von Biomasse ein "Umwandlungsgrad" von 4% (Solarenergie zu Biomasse-Heizwert bei Photosynthese) zugrunde gelegt, dann würde sich ein Wert von $25 \text{ kWh}_{\text{primär}}$ pro kWh_{Bio} ermitteln. Diese Berechnung müsste dann aber auch für fossile Energieträger gelten, wobei die „Erneuerbarkeit“ unberücksichtigt bleibt. In GEMIS wird für Pellets ein PEF von $0,14 \text{ kWh}_{\text{primär}}/\text{kWh}_{\text{end}}$ angesetzt, mit Berücksichtigung des Energieeinsatzes für Verarbeitung und Transport (aus der Region).

Ein Wasserkraftwerk erzeugt Strom, nach KEV ergibt $1 \text{ kWh}_{\text{primär}} = 1 \text{ kWh}_{\text{el}}$. Bei Berücksichtigung eines Umwandlungsgrades von 80% ergibt sich der Wert von $1,25 \text{ kWh}_{\text{primär}}$ pro kWh_{el} . Bei GEMIS und auch bei der Stromkennzeichnung nach UCTE wird Wasserkraft mit „0“ angesetzt, die Stromerzeugung mit Wasserkraft verursacht damit keine Brennstoffe und damit auch keine CO₂-Emission.

In den vorliegenden Berechnungen werden die Werte nach GEMIS verwendet; Tafel 2.3. Für die Bewertung des Stromes werden die für Österreich derzeit aktuellen Daten der Stromaufbringung nach der „Stromkennzeichnung“ sowie zum Vergleich auch für den Europäischen Strom-Mix UTCE zugrunde gelegt; Tafel 2.8.

Externe Kosten: Bezogen auf Endenergie kWh_{end}

Externe Kosten sind Kosten, die nicht vom Verursacher (Produzent, Käufer bzw. Nutzer), sondern von der Allgemeinheit (d.h. aus den Steuer- bzw. Abgabeneinnahmen der öffentlichen Hand) getragen werden müssen. Verursacht werden diese Kosten durch Schäden, die durch Herstellung, Nutzung und Entsorgung von Produkten entstehen. Als Maßzahlen für den Beitrag von Produkten / Dienstleistungen zu den genannten Umwelteffekten werden die so genannten Ökopotenziale herangezogen. Die erforderlichen Ökopotenziale sind sowohl in Bezug auf Definition als auch Berechnungsmethodik internationaler Stand der Technik, die entsprechenden Datenbanken werden laufend erweitert und aktualisiert. Die hier verwendeten Datensätze stammen aus der Aktualisierung 2001 der *Ökologischen Baustoffdatenbank des Österreichischen Instituts für Baubiologie und Bauökologie (ibo)*.

(Quelle: Externe Kosten im Hochbau: Adensam Heidi, Bruck Manfred, Geissler Susanne, Fellner Maria, 2002. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit, Wien. <http://www.iswb.at/ecobuilding/bmwa/externekosten.htm>).

Die Ableitung der Externen Kosten für Brennstoffe erfolgt aus der Heizenergie des Brennstoff-Einsatzes; Abb. 2.11.

Die in den Berechnungen verwendeten Externen Kosten für Brennstoffe und Strom sind in Tafel 2.9 ausgewiesen.

Mit „Externen Kosten“ kann eine *Betriebswirtschaftliche* Bewertung in eine *Volkswirtschaftliche* Bewertung übergeführt werden.

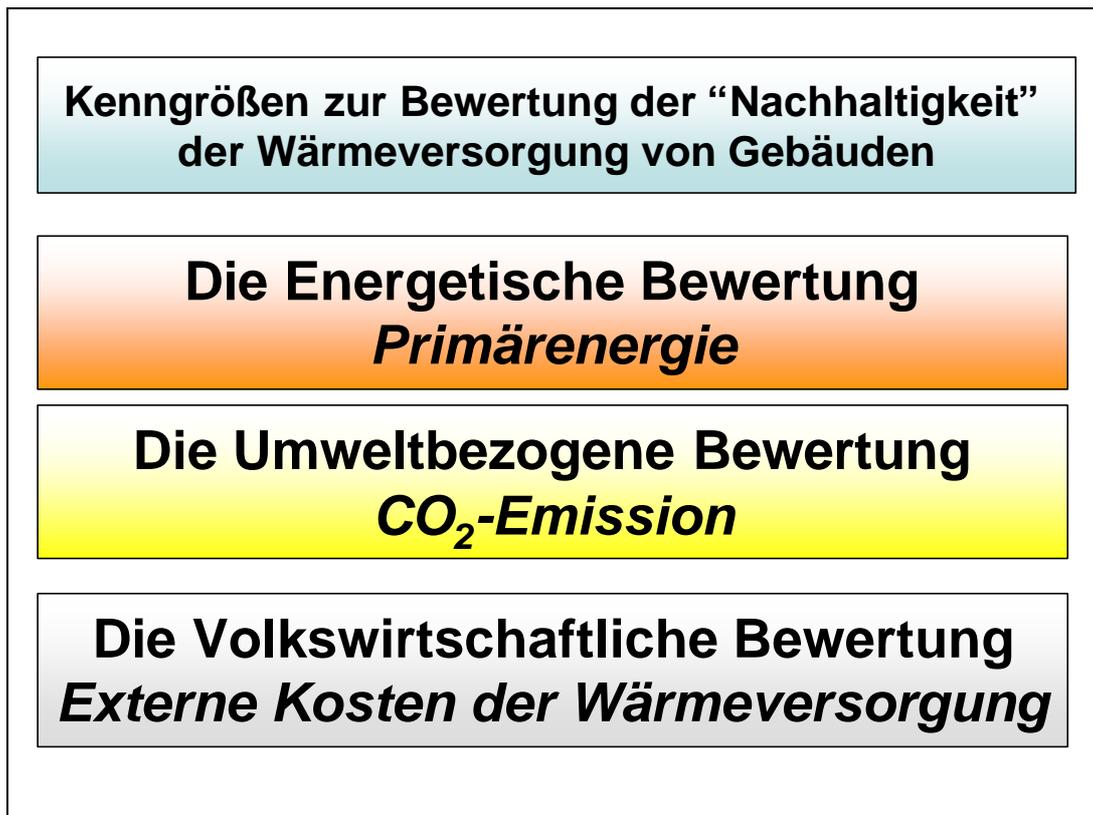


Abb. 2.8: Gesamtheitliche Bewertung der „Nachhaltigkeit“ der Wärmeversorgung von Gebäuden

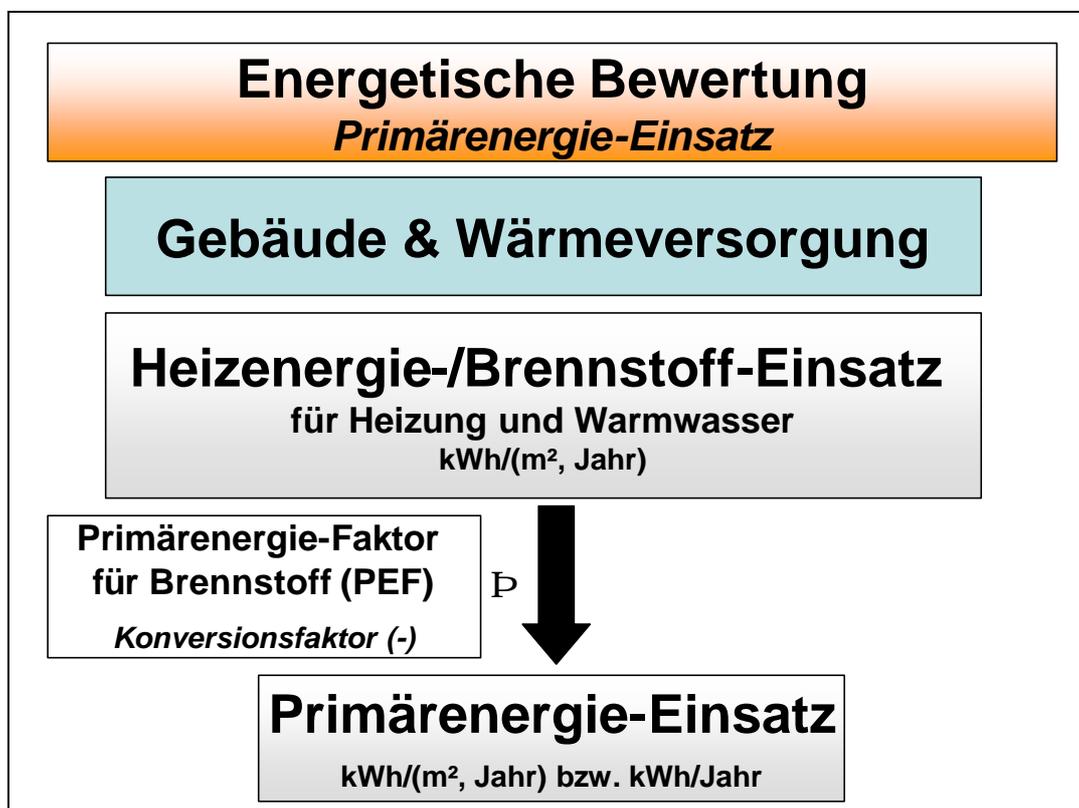


Abb. 2.9: Ableitung des Primärenergie-Einsatzes

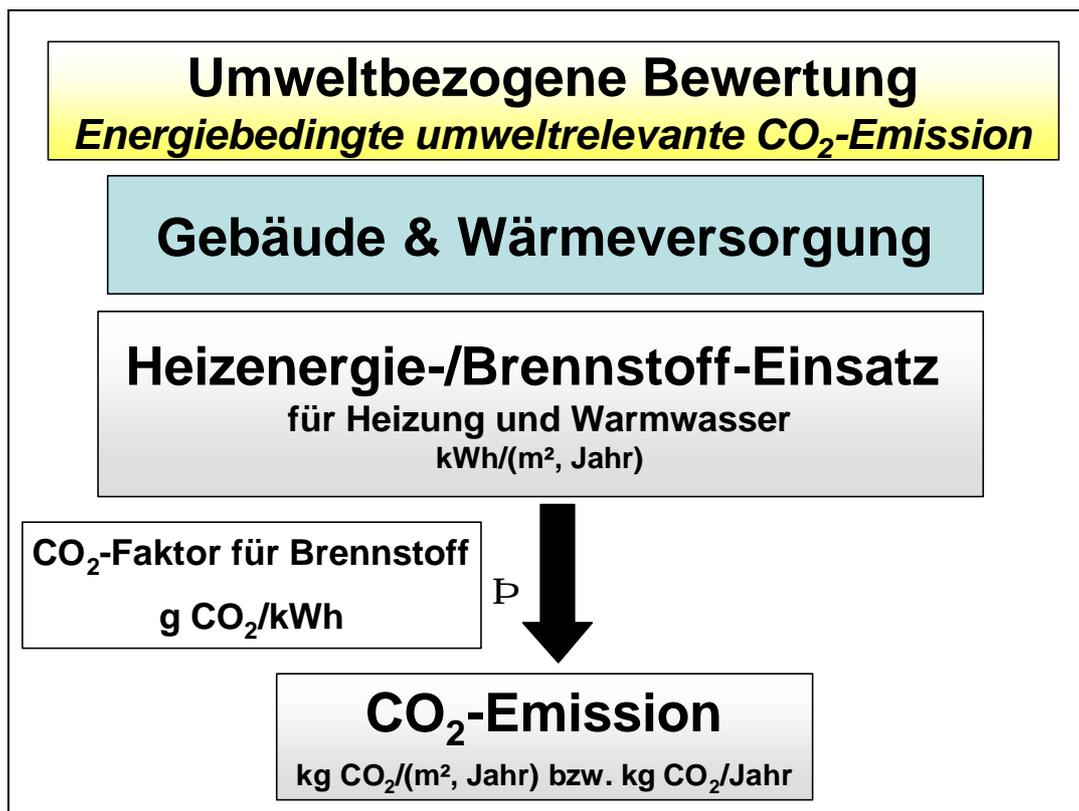


Abb. 2.10: Ableitung der umweltrelevanten CO₂-Emission

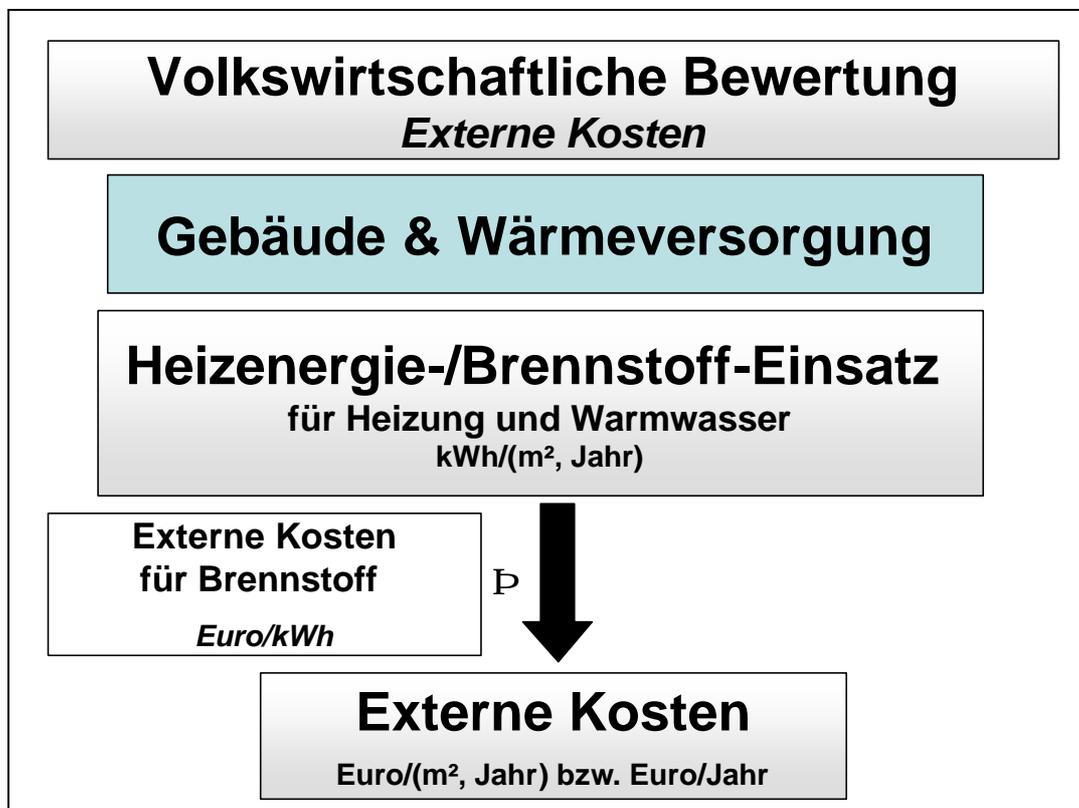
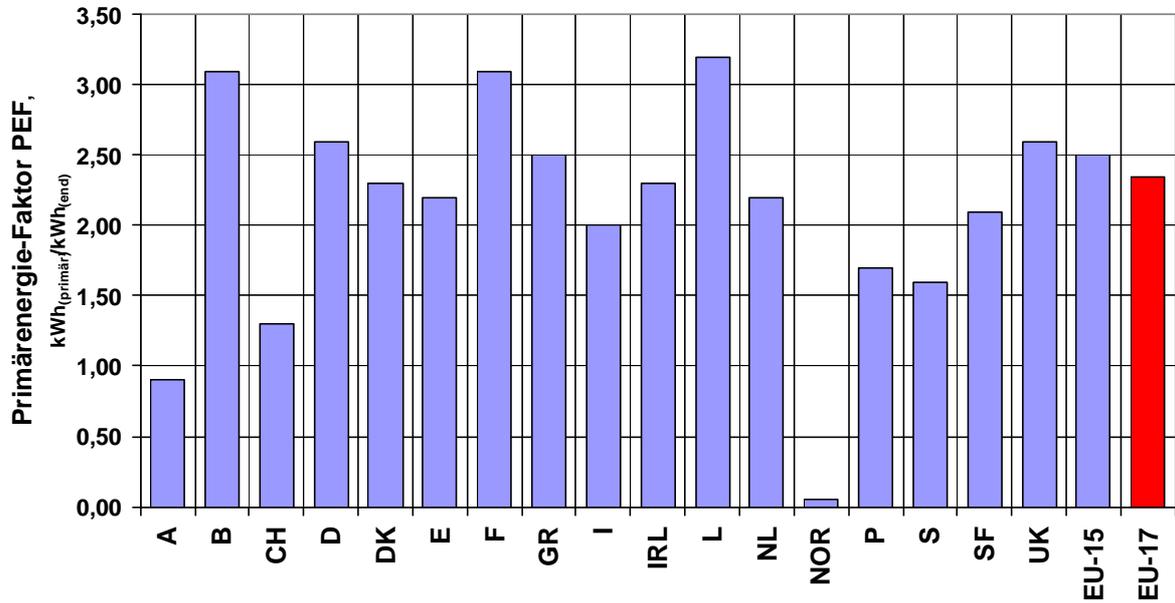


Abb. 2.11: Ableitung der Externen Kosten

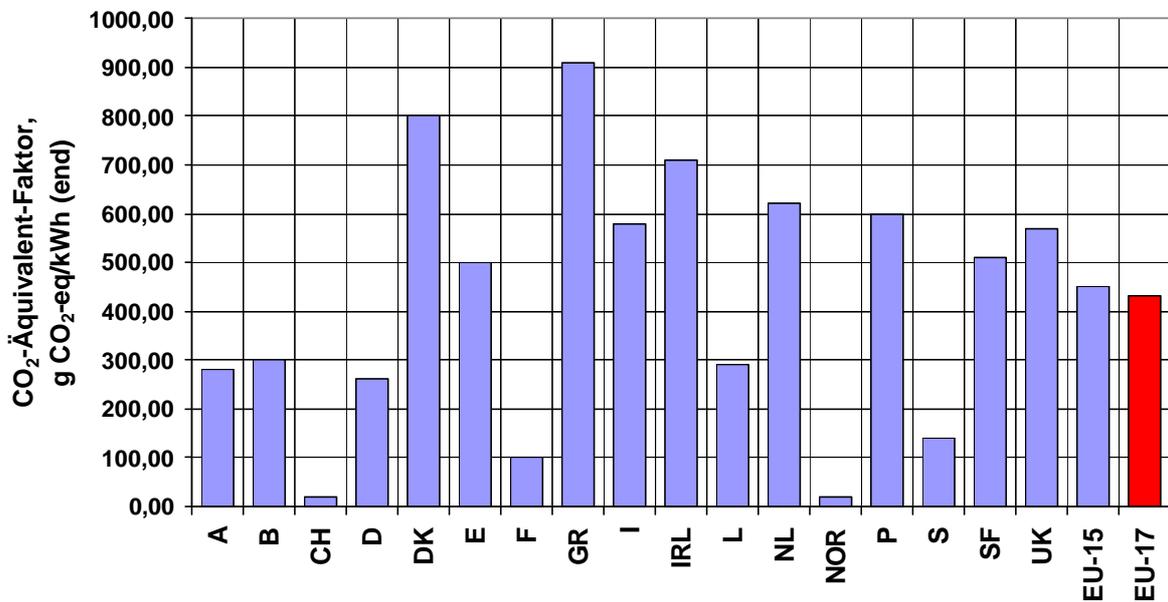
Tafel 2.3: Umrechnungsfaktoren für Primärenergie und CO₂-Emission

Umrechnungsfaktoren für Primärenergie und CO ₂ -Emissionen		
Brennstoffe, Strom und Fernwärme		
Energieträger/ Energiedienstleistung	Primärenergie-Faktor, PEF kWh _{pe} /kWh _{end} (-)	CO ₂ -Äquivalent g/kWh
Brennstoffe		
Heizöl	1,13	311
Erdgas	1,14	247
Steinkohle	1,08	439
Braunkohle	1,21	452
Scheitholz	0,01	6
Holz-Hackgut	0,06	35
Holz-Pellets	0,14	43
Elektrischer Strom		
EU-17-Netzstrom	2,35	430
UCTE-Mix (2006)	1,86	446
Osterreich (<i>Stromkennzeichnung 2005</i>)	1,12	256
PV-Strom, zentral	0,40	130
Windstrom, zentral	0,04	20
Fernwärme		
70%Kohle, 30%Öl (<i>Wärme-Kraft-Kopplung</i>)	1,77	241
35% Kohle, 65% Öl (<i>Wärme-Kraft-Kopplung</i>)	1,12	323
100 % Öl	1,48	406
Nahwärme		
35% Kohle, 65% Öl (<i>Wärme-Kraft-Kopplung</i>)	1,10	127
100% Öl	1,47	323
Solar, dezentral (Gebäudeintegriert)		
Solar thermisch	0	0
Solar elektrisch (Photovoltaik, PV)	0	0
Quelle: Datensätze von GEMIS (2004)		
<p>Primärenergie: Nicht-erneuerbarer Energieeinsatz vor Ort plus Energieaufwand für Förderung, Verteilung und Umwandlung.</p> <p>CO₂-Emission: Bezogen auf den Einsatz nicht-erneuerbarer Energieträger plus Emission bei Förderung und Umwandlung.</p> <p>CO₂-Äquivalent: Mitberücksichtigung auch anderer Treibhausgase, gewichtet nach deren Einfluß auf den Treibhauseffekt.</p>		

Primärenergie-Faktor in EU-Mitgliedsländern



CO₂-Konversionsfaktor in EU-Mitgliedsländern



Primärenergie- und CO₂-Konversionsfaktoren in EU-Mitgliedsländern

Tafel 2.4: Bewertungsfaktoren der Stromerzeugung in Deutschland

Faktoren zur Energetischen und Umweltbezogenen Bewertung von Kraftwerken zur Stromerzeugung		
Faktoren zur Bewertung	PEF	CO₂-Faktor
	kWh_{primär}/kWh_{end}	g CO₂/kWh_{end}
Fossile Brennstoffe		
Braunkohle	2,74	1.150
Steinkohle	2,46 - 2,74	898 - 1.002
Gas	1,86 - 2,40	385 - 517
Mittelwert	2,89	653
Nukleare Brennstoffe		
Uran Brennelement	1,04 - 1,20	0
Mittelwert	1,10	0
Quelle: Kumulierter Energieverbrauch, KEV, Deutschland GEMIS, Version 4.2, Oktober 2004		

Tafel 2.5: CO₂-Emissionen und radioaktiver Abfall von Energieträgern in Kraftwerken

Kohlendioxid-Emissionen und radioaktiver Abfall von Energieträgern in Kraftwerken		
Energieträger	CO₂-Emission	Radioaktiver Abfall
	g/kWh_{end}	g/kWh_{end}
Feste und flüssige Biomasse	0	0
Biogas	0	0
Deponie- und Klärgas	0	0
Geothermie	0	0
Windenergie	0	0
Sonnenenergie	0	0
Wasserkraft	0	0
Erdgas	440	0
Erdöl und dessen Produkte	645	0
Kohle	882	0
Nuklearenergie	0	0,0027
Sonstige	650	0
Strom unbekannter Herkunft	CO₂-Emission	Radioaktiver Abfall
UCTE-Mix, Wasserkraftanteil	0	0
UCTE-Mix, Anteil sonstiger erneuerbarer Energieträger	0	0
UCTE-Mix, fossile Energieträger	840	0
UCTE-Mix, Nuklearenergie	0	0,0027
UCTE-Mix, Sonstige	840	0
Quelle: EU-Kommission "An Energy Policy for Europe", 2007. Veröffentlicht von E-Control		

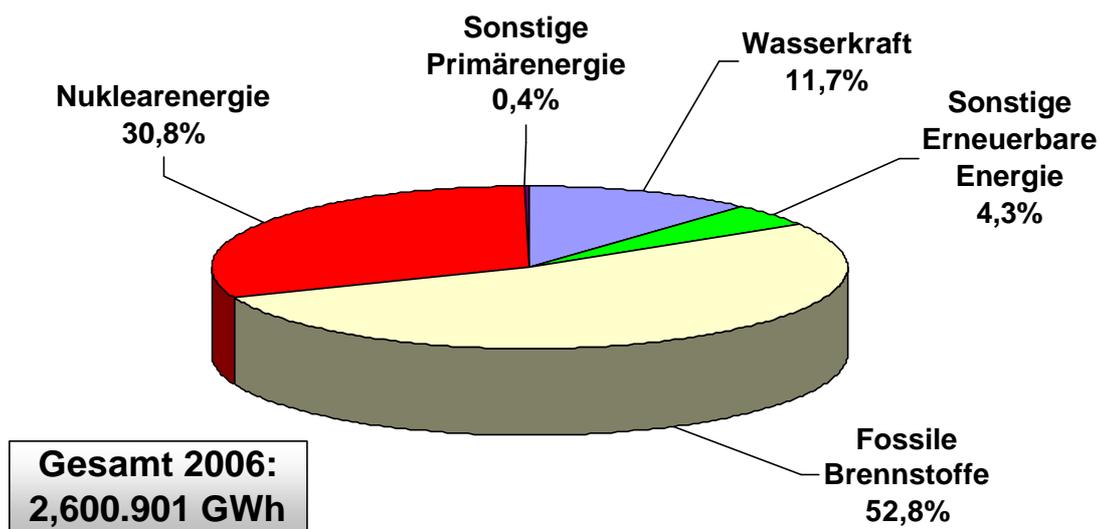
**Anteile der Energieträger am UCTE-Strommix und
Kenndaten zur CO₂-Emission sowie Radioaktiver Abfall**
UCTE: Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity

Tafel 2.6: Anteile der Energieträger am UCTE Mix-Europa 2006

Anteile der Energieträger am UCTE Mix-Europa 2006					
	Wasserkraft	Sonst. Erneuerbare Energie	Fossile Brennstoffe	Nuklearenergie	Sonst. Primärenergie
	%	%	%	%	%
Januar	9,13	3,81	55,56	31,26	0,24
Februar	9,15	3,60	57,05	29,97	0,23
März	11,99	4,19	54,41	29,30	0,10
April	14,83	4,09	48,20	32,45	0,43
Mai	15,65	4,53	47,98	31,37	0,48
Juni	14,00	3,32	51,29	30,93	0,45
Juli	12,62	2,92	54,26	29,82	0,38
August	11,98	4,22	51,47	31,86	0,46
September	11,09	4,07	52,99	31,45	0,40
Oktober	10,50	4,95	52,98	31,22	0,35
November	10,25	5,47	53,88	29,97	0,44
Dezember	10,96	5,36	52,19	31,13	0,36
Jahreswert	11,74	4,29	52,78	30,82	0,37

UCTE: Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity
Übernommen und veröffentlicht von E-Control

Anteile der Energieträger am UCTE- Mix Europa im Jahre 2006



Tafel 2.7: Anteile der Energieträger bei der Stromaufbringung in Österreich

Stromkennzeichnung in Österreich 2005						
Energieträger	Erneuerbare Energie	Fossile Energie	Nuklearenergie	Sonstige Primärenergie	UCTE-Mix	Summe
Jahresanteil in %	%	%	%	%	%	%
Österreichische Stromkennzeichnung	55	29	0	1	15	100
EVN Energievertrieb GmbH & Co KG	46	53	0	1	0	100
VERBUND- Austrian Power Sales GmbH	100	0	0	0	0	100
Energie AG Oberösterreich Vertrieb GmbH & Co KG	70	25	0	0	5	100
KELAG Kärntner Elektrizitäts-AG	55	5	0	1	39	100
BEWAG Energie Vertrieb GmbH & Co KG	100	0	0	0	0	100
Salzburger AG für Energie	80	12	0	0	8	100
STEWEAG AG für Energie	46	22	0	0	32	100
TIWAG-Tiroler Wasserkraft AG	68	0	0	0	32	100
Vorarlberger Kraftwerke AG	70	30	0	0	0	100
oekostrom Vertriebs GmbH	100	0	0	0	0	100

Europäischer Strommix 2005: 11,56% Wasserkraft, 3,56% sonstige erneuerbare Energieträger, 53,29% fossile Energieträger, 31,29% Nuklearenergie und 0,30% Sonstige
Quelle: E-Control, ECG-Okostrombericht 2007

Tafel 2.8: Stromkennzeichnung in Österreich und Bewertungsfaktoren

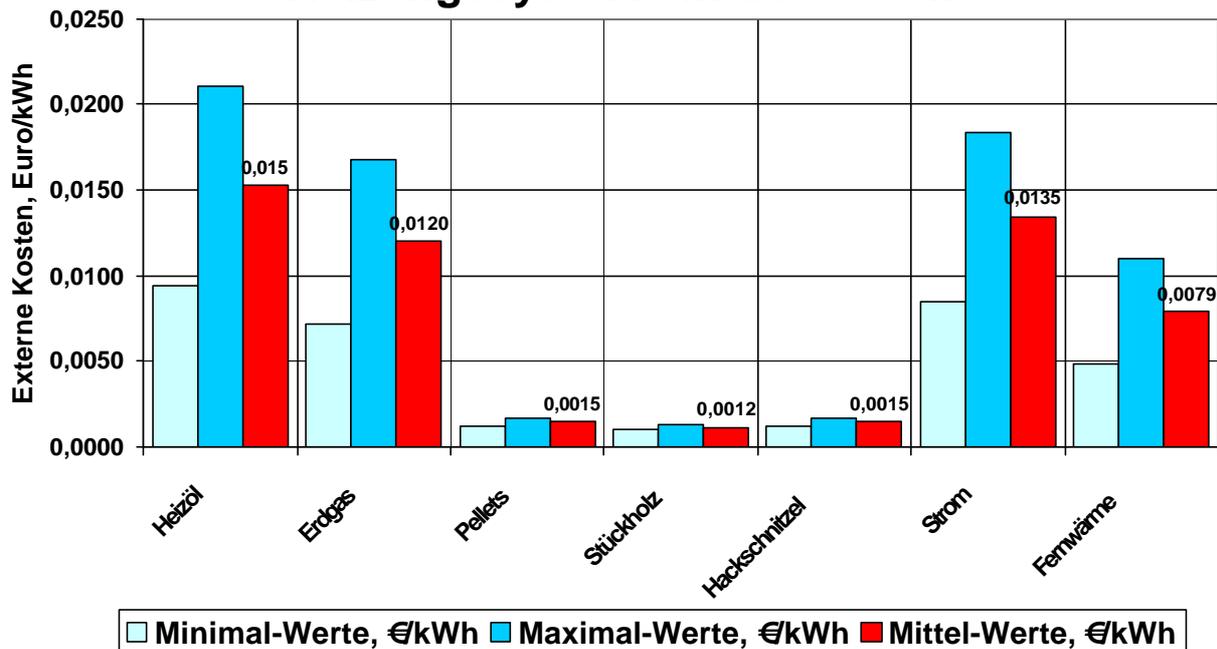
Energetische und Umweltbezogene Bewertung des Stromeinsatzes in Österreich			
Primärenergie-Faktoren (PEF), kWh_{primär}/kWh_{end}			
Fossile Brennstoffe	Erneuerbare Energie	UCTE-Mix	Nuklearenergie
2,89	0	1,86	1,1
CO₂-Faktor, g CO₂/kWh_{end}			
Fossile Brennstoffe	Erneuerbare Energie	UCTE-Mix	Nuklearenergie
653	0	446	0
Stromaufkommen			
	Österreich	EVN	Energie OÖ
Energieträger	Anteile in %		
Wasserkraft	55	46	70
Sonst. Erneuerbare Energie			
Fossile Brennstoffe	29	53	25
Nuklearenergie			0
Sonstige Primärenergie	1	1	
UCTE	15		5
Bewertungsfaktoren			
Stromanbieter	Primärenergie-Faktor	CO ₂ -Faktor	
	kWh _{primär} /kWh _{end}	g CO ₂ /kWh _{end}	
Österreich (gesamt)	1,12	256	
EVN	1,53	351	
Energie OÖ	0,82	186	

Tafel 2.9: Externe Kosten der Energieträger für Heizungssysteme in Gebäuden

Externe Kosten der Brennstoffe							
Brennstoff	Heizöl	Erdgas	Pellets	Stückholz	Hackschnitzel	Strom	Fernwärme
Minimal-Werte, €/kWh	0,0094	0,0072	0,0012	0,0010	0,0012	0,0085	0,0048
Maximal-Werte, €/kWh	0,0211	0,0168	0,0017	0,0013	0,0017	0,0184	0,0110
Mittel-Werte, €/kWh	0,015	0,0120	0,0015	0,0012	0,0015	0,0135	0,0079

Quelle: Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, Österreich, 2002

Externe Kosten der Energieträger für Heizungssysteme in Gebäuden



3. Heizungssysteme im Vergleich

Die Bewertung der Wärmeversorgung von Gebäuden erfolgt nach:

- Energetischen Kriterien (Heizenergie, Primärenergie, Brennstoffeinsatz),
- Umweltbezogenen Kriterien (CO₂-Emission, Externe Kosten),
- Betriebswirtschaftlichen Kriterien (Betriebskosten/Brennstoffkosten des Heizungssystems).

Als Beispiel wird ein Einfamilien-Wohnhaus in verschiedenen Gebäude-Standards (Wärmeschutz der Gebäudehülle) mit verschiedenen Heizungssystemen gewählt. Die Annahmen zur Bewertung und Analyse sind in Abb. 2.3 zusammengestellt. Die Bewertungen beziehen sich auf drei Beispiele mit Variantenanalyse.

Vergleich Ölkessel, Gaskessel, Pelletskessel und Wärmepumpe

Im Beispiel 1 werden Ölkessel, Gaskessel, Pelletskessel und Wärmepumpe sowohl ohne als auch mit einer Solaranlage zur getrennten Warmwasserbereitung mit einander verglichen. Es wird von modernen Heizungstechniken und einem heute üblichen Gebäude-Standard bei Neubauten (Energiesparhaus/Niedrigenergiehaus) ausgegangen. Tafel 3.1 enthält Eingabedaten und Ergebnisse, und in Abb. 3.1.1 bis Abb. 3.1.3 werden die Ergebnisse der Bewertung illustriert. Abb. 3.1.3 fasst die Ergebnisse zusammen, mit einem Vergleich zu einer Ölheizung.

Die Ergebnisse belegen, dass mit Pelletsheizungen und Wärmepumpen im Vergleich zu einer Ölheizung beträchtliche Einsparungen/Reduktionen an Heizenergie, Primärenergie, CO₂-Emission und Externen Kosten erzielt werden: über 80%.

Bei den Solarunterstützten Heizungssystemen wird von einer von der Heizung getrennten Solaranlage zur Warmwasserbereitung ausgegangen: 8 m² Kollektorfläche und 500 Liter Wasserspeicher. Bei dieser Dimensionierung werden erfahrungsgemäß um 75% des Warmwasserbedarfes eines Haushaltes im Jahresdurchschnitt abgedeckt. Die erforderliche Zusatzwärme sollte zumindest außerhalb der Heizsaison mit einer Elektro-Heizpatrone aufgebracht werden. Eine exakte Energiebilanzierung müsste in diesem Falle den Stromeinsatz zur Warmwasserbereitung berücksichtigen.

Vergleich Ölkessel mit Pelletskessel, mit und ohne Solaranlage zur Warmwasserbereitung

Im Beispiel 2 wird ein Ölkessel mit einem Pelletskessel sowohl ohne als auch mit einer Solaranlage zur Warmwasserbereitung mit einander verglichen. Zum Einsatz kommen Solaranlagen getrennt von der Heizung und integriert in das Heizungssystem. Bei Integration der Solaranlage in die Heizung werden bei gleicher Dimensionierung der Solaranlage im Vergleich zu getrennten Solaranlagen geringere Beiträge bei der Warmwasserbereitung – aus Systemgründen (höhere Einspeisetemperatur in das Heizungssystem erforderlich) – erzielt: um 50% Jahres-Solaranteil bei der Warmwasserbereitung, im Vergleich zu 70% bis 75% mit einer getrennten Solaranlage. Eine Einbindung der Solaranlage in das Heizungssystem ist nur im Falle einer zusätzlichen Unterstützung der Raumheizung zu empfehlen – bei entsprechend größerer Dimensionierung (15 m² bis 25 m² Kollektorfläche, 1.500 Liter bis 2.000 Liter Wasserspeicher).

Tafel 3.2 enthält Eingabedaten und Ergebnisse, und in Abb. 3.2.1 bis Abb. 3.2.3 werden die Ergebnisse der Bewertung illustriert. Wird bei einer Ölheizung mit einer getrennten Solaranlage zur Warmwasserbereitung (*Jahres-Solaranteil bei Warmwasser 70%*) eine Reduktion von Primärenergie, CO₂-Emission und Externen Kosten von etwa 16% erreicht, dann liegt die Reduktion dieser Kenndaten bei einer Solarunterstützten Pelletsheizung im Vergleich zu einer Ölheizung bei über 90%. In einem "Solarhaus" mit einem Solaranteil von 40% bei der Wärmeversorgung (Heizung und Warmwasser), lassen sich Reduktionen von über 95% erzielen.

Vergleich Passiv-Haus mit Niedrigenergie-Haus

Passiv- und Niedrigenergie-Gebäude sind Beispiele für *Nachhaltige Gebäude*. Beide Gebäude-Typen sind durch einen hohen Standard in Bezug auf Energieeffizienz und Nachhaltiges Wärmeversorgungssystem gekennzeichnet.

Passiv-Gebäude erfordern einen sehr hohen Wärmeschutz der Gebäudehülle (Wärmedämmung der Außenhülle über 40 cm) und weisen damit nur sehr geringe Wärmeverluste durch Transmission auf. Der Wärmebedarf für Lüftung wird über eine Wärmerückgewinnungsanlage unter Einsatz einer Klein-Wärmepumpe gering gehalten. Für Passiv-Häuser wird nicht nur eine optimale Wärmedämmung verlangt, es müssen bei Planung und Ausführung auch Wärmebrücken und Luftdurchlässigkeit der Gebäudehülle vermieden werden. Damit ergeben sich einerseits im Vergleich zu Niedrigenergie-Gebäuden (mit Wärmedämmung der Gebäudehülle um 25 cm) deutlich höhere Investitionskosten, mit der kontrollierten Wohnraumlüftung in Verbindung mit Wärmerückgewinnung werden allerdings einerseits ein hoher Wohnkomfort und andererseits ein geringerer Heizenergie-Bedarf erzielt.

Niedrigenergie-Gebäude sind gekennzeichnet durch einen guten Wärmeschutz der Gebäudehülle (Wärmedämmung der Außenhülle bis etwa 25 cm) und durch den Einsatz einer effizienten Heizungsanlage mit Nutzung erneuerbarer Energieträger (Sonnenenergie-Nutzung über solarthermische Anlage, Nutzung der Umweltwärme mit Wärmepumpe, Pelletskessel).

Die charakteristischen Kenndaten der Wärmeversorgung von Passiv- und Niedrigenergie-Gebäuden illustriert Abb. 3.3.1.

Ein Vergleich der Energiebilanz eines Wohnhauses in Niedrigenergie- und Passivhaus-Standard unter Einsatz der Wärmepumpen-Technik führt zu dem Ergebnis, dass auch Niedrigenergie-Gebäude vergleichbare Ergebnisse zu Passivhäusern in der Energiebilanz erreichen können; Tafel 3.3.1. Die Entscheidung für Niedrigenergie-Haus oder Passiv-Haus wird damit von wirtschaftlichen Aspekten und der „Wohnbehaglichkeit“ (kontrollierte Wohnraumlüftung) beeinflusst werden.

Im Beispiel 3 werden Passiv-Haus und Niedrigenergie-Haus mit „Nachhaltigen“ Heizungssystemen miteinander verglichen. Untersucht werden vier Varianten:

- VARIANTE 1: Passiv-Haus mit kontrollierter Wohnraumlüftung und Wärmerückgewinnung
- VARIANTE 2: Passivhaus-Gebäudestandard mit Erdreich-Wärmepumpe
- VARIANTE 3: Passivhaus-Gebäudestandard mit Pelletsheizung und Solaranlage zur Warmwasserbereitung
- VARIANTE 4: Niedrigenergiehaus-Gebäudestandard mit Pelletsheizung und Solaranlage zur Warmwasserbereitung

Tafel 3.3.2 enthält Eingabedaten und Ergebnisse, und in Abb. 3.3.2 bis Abb. 3.3.5 werden die Ergebnisse der Bewertung illustriert. Abb. 3.3.3 fasst die Ergebnisse der verschiedenen Varianten im Vergleich zu einem Ölkessel zusammen.

Niedrigenergie-Gebäude mit „Nachhaltigen“ Heizungssystemen (Pelletskessel, Wärmepumpen und Solarthermische Anlagen) erreichen bei geringeren Baukosten und geringeren Anforderungen an Planung, Ausführung und Betrieb mit Passiv-Häusern vergleichbare Kenndaten des Primärenergie-Einsatzes, der CO₂-Emission und der Externen Kosten.

Beispiel 3 dokumentiert das hohe Potential an Energieeinsparung und Reduktion von CO₂-Emission am Beispiel von „Nachhaltigen“ Gebäuden (Niedrigenergie- und Passiv-Häuser) mit effizienten und umweltfreundlichen Heizungssystemen. Gegenüber derzeitigen konventionellen Gebäuden mit Ölheizung werden Energie- und CO₂-Einsparungen von über 80% erreicht.

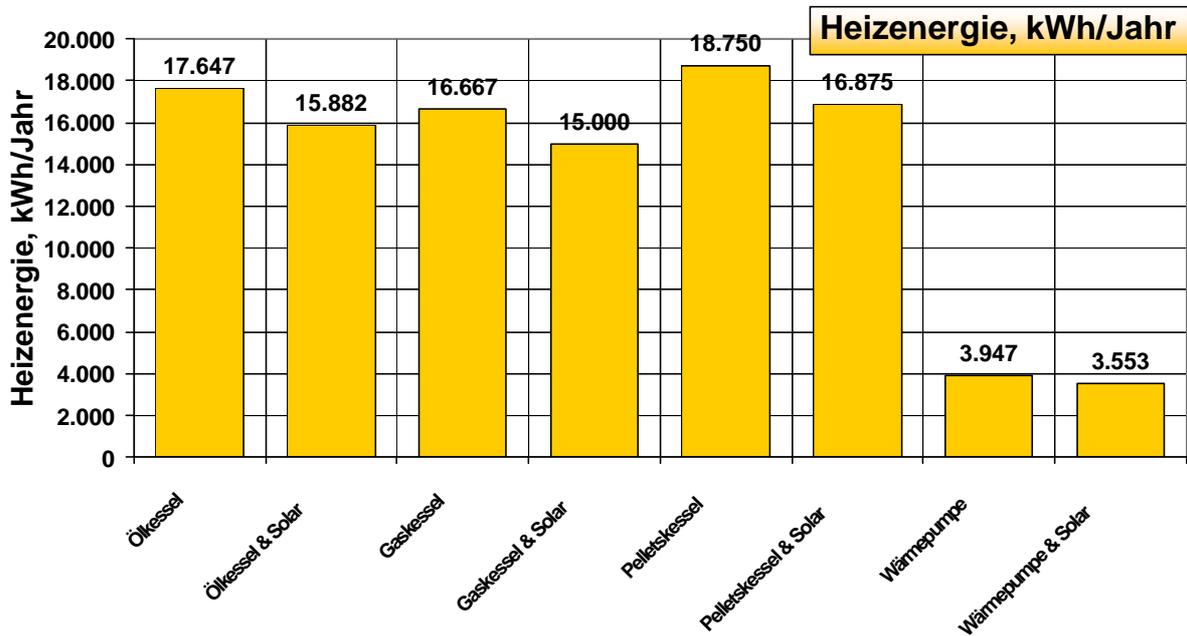
Die Wärmebilanz von Wohngebäuden im Niedrigenergie-Standard mit einer Wärmepumpe illustriert Abb. 3.1.4 für Heizwärme und Heizenergie. Ein derartiges Gebäudekonzept führt zu dem Ergebnis, welches der Wärme- und Heizenergiebilanz eines Passivhauses nahe kommt, ohne die Forderung nach einer optimalen Wärmedämmung der Gebäudehülle mit 100% Luftdichtigkeit.

Tafel 3.1: Bewertung von Heizungssystemen
Ölkessel, Gaskessel, Pelletskessel und Wärmepumpen
Mit vom Heizungssystem getrennter Solaranlage zur Warmwasserbereitung

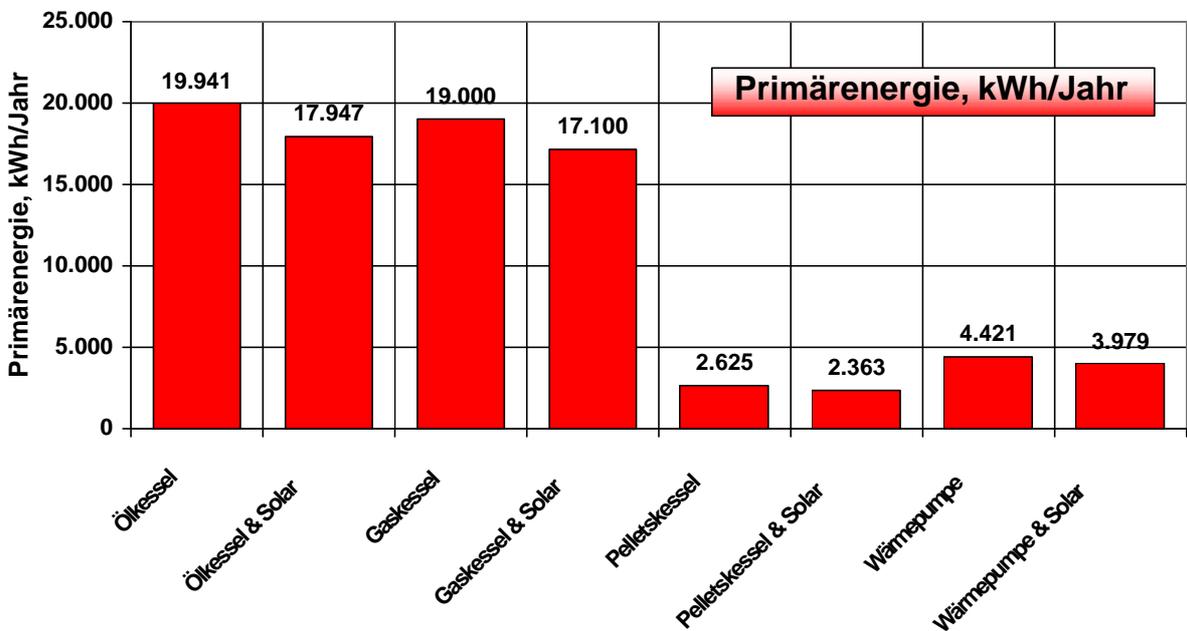
Energetische und Umweltbezogene Bewertung von Heizungssystemen						
Heizenergie, Primärenergie, Anteil Erneuerbare Energie, CO₂-Emission, Externe Kosten						
Beispiel			Einfamilien-Wohnhaus, 140 m²			
Heizwärmebedarf (RH), kWh/Jahr	12.000	Wärmebedarf für Heizung und Warmwasser, kWh/Jahr				
Warmwasserbedarf (WW), kWh/Jahr	3.000	Ohne Solaranlage	Mit Solaranlage			
Jahres-Solaranteil bei WW, %/Jahr	50	15.000	13.500			
Annahmen zum Heizungssystem						
Jahresnutzungsgrad (%)/Jahresarbeitszahl JAZ (-) für Heizung und Warmwasser						
Öl-Brennwertkessel, %/Jahr	85					
Gas-Brennwertkessel, %/Jahr	90					
Pelletskessel, %/Jahr	80					
Wärmepumpe (Erdreich)	3,8					
Umrechnungsfaktoren						
Energieträger	Primärenergie, PEF	CO ₂ -Faktor		Externe Kosten		
	kWh _{pe} /kWh _{ee}	g/kWh _{ee}		Euro/kWh _{ee}		
Heizöl	1,13	311		0,0150		
Erdgas	1,14	247		0,0120		
Pellets	0,14	43		0,0015		
Strom	1,12	256		0,0135		
Bewertung für Heizung und Warmwasser						
Heizungssystem	Heizenergie	Primärenergie	CO ₂ -Emission	Anteil EE	Externe Kosten	
	kWh/Jahr	kWh/Jahr	kg/Jahr	%/Jahr	Euro/Jahr	Euro in 20 Jahren
Ölkessel	17.647	19.941	5.488	0	265	5.294
Ölkessel & Solar	15.882	17.947	4.939	10	238	4.765
Gaskessel	16.667	19.000	4.117	0	200	4.000
Gaskessel & Solar	15.000	17.100	3.705	10	180	3.600
Pelletskessel	18.750	2.625	806	100	28	563
Pelletskessel & Solar	16.875	2.363	726	100	25	506
Wärmepumpe	3.947	4.421	1.011	74	53	1.066
Wärmepumpe & Solar	3.553	3.979	909	76	48	959
Anmerkungen:						
Primärenergie: kWh _{pe} ; Endenergie: kWh _{ee} ; EE: Erneuerbare Energie (Solarwärme, Umweltwärme, Biowärme)						
Primärenergie-Faktor PEF: Verhältnis von Primärenergie (kWh _{pe}) zu Endenergie (kWh _{ee})						
CO ₂ -Faktor: Umweltrelevante CO ₂ -Äquivalent-Emission						
Externe Kosten: Bezogen auf Endenergie kWh _{ee}						
Stromaufbringung			Österreichische Stromkennzeichnung 2005			

Energetische und Umweltbezogene Bewertung von Heizungssystemen					
Kenndaten zur Bewertung					
Heizkessel	Heizenergie	Primärenergie	CO ₂ -Emission	Externe Kosten	Externe Kosten
	kWh/Jahr	kWh/Jahr	kg/Jahr	€/Jahr	20 Jahre, €
Ölkessel	17.647	19.941	5.488	265	5.294
Ölkessel & Solar	15.882	17.947	4.939	238	4.765
Vergleich zu Ölkessel, %	90	90	90	90	90
Gaskessel	16.667	19.000	4.117	200	4.000
Vergleich zu Ölkessel, %	94	95	75	76	76
Gaskessel & Solar	15.000	17.100	3.705	180	3.600
Vergleich zu Ölkessel, %	85	86	68	68	68
Pelletskessel	18.750	2.625	806	28	563
Vergleich zu Ölkessel, %	106	13	15	11	11
Pelletskessel & Solar	16.875	2.363	726	25	506
Vergleich zu Ölkessel, %	96	12	13	10	10
Wärmepumpe	3.947	4.421	1.011	53	1.066
Vergleich zu Ölkessel, %	22	22	18	20	20
Wärmepumpe & Solar	3.553	3.979	909	48	959
Vergleich zu Ölkessel, %	20	20	17	18	18

Bewertung von Heizungssystemen für Wohnbauten

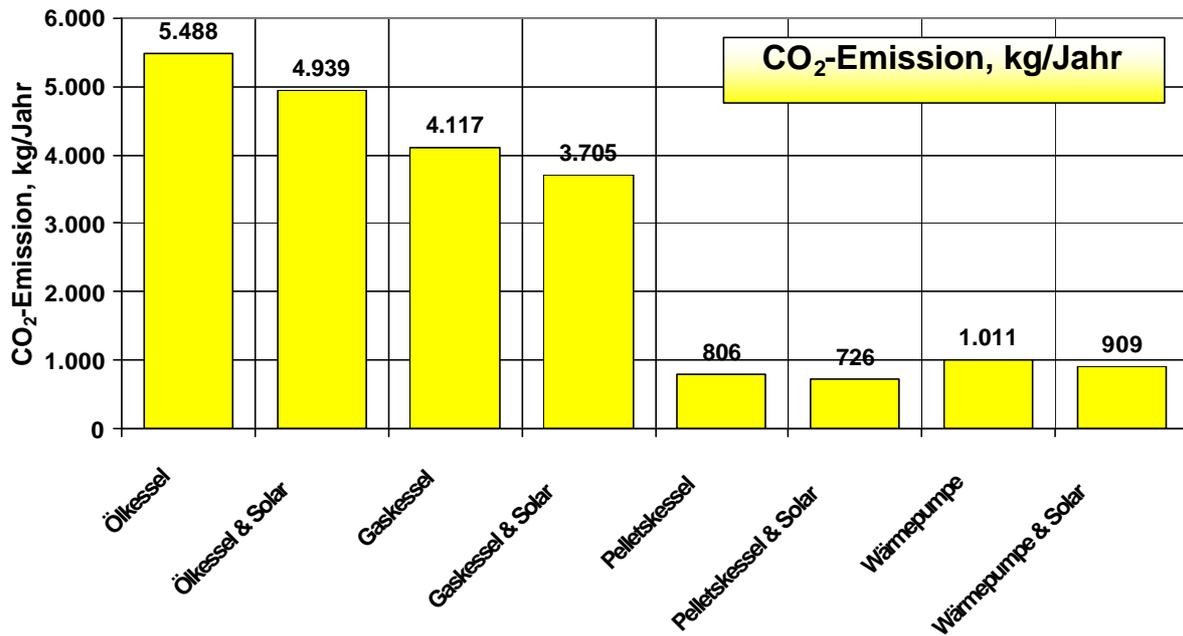


Bewertung von Heizungssystemen für Wohnbauten

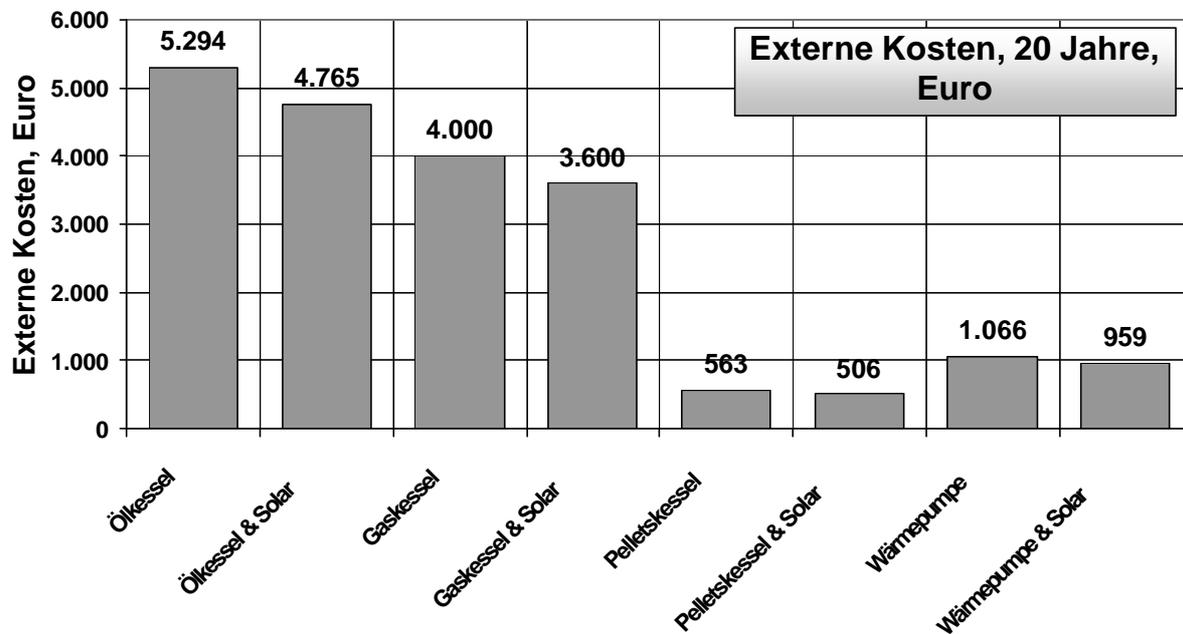


**Abb. 3.1.1: Bewertung von Heizungssystemen:
Ölkessel, Gaskessel, Pelletskessel und Wärmepumpen
Heizenergie und Primärenergie**

Bewertung von Heizungssystemen für Wohnbauten



Bewertung von Heizungssystemen für Wohnbauten

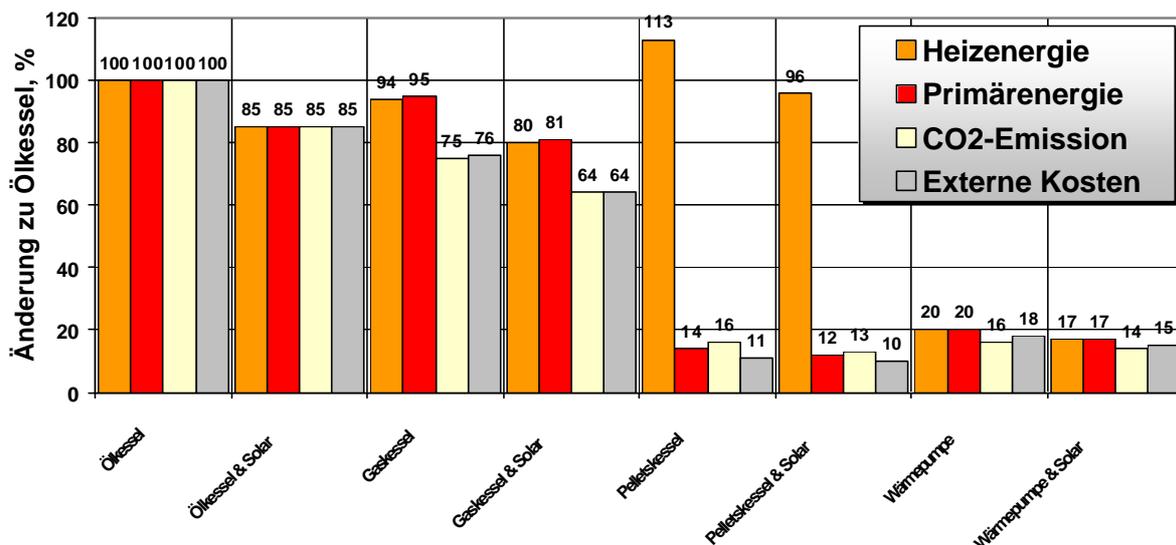


**Abb. 3.1.2: Bewertung von Heizungssystemen:
Ölkessel, Gaskessel, Pelletskessel und Wärmepumpen
CO₂-Emission und Externe Kosten**

Reduktionspotential für Energetische und Umweltbezogene Kenndaten von Heizungssystemen in Wohnhäusern *Beispiel: Einfamilien-Wohnhaus, 140 m²*

- Mit Pelletsheizungen und Wärmepumpen werden im Vergleich zu einer Ölheizung beträchtliche Einsparungen/Reduktionen an Heizenergie, Primärenergie, CO₂-Emission und Externen Kosten erzielen: über 80%.
- Wird bei einer Ölheizung mit einer getrennten Solaranlage zur Warmwasserbereitung (*Jahres-Solaranteil bei Warmwasser 70%*) eine Reduktion von Primärenergie, CO₂-Emission und Externen Kosten von etwa 16% erreicht, dann liegt die Reduktion dieser Kenndaten bei einer Solar-unterstützten Pelletsheizung im Vergleich zu einer Ölheizung bei über 90%.
- In einem "Solarhaus" mit einem Solaranteil von 40% bei der Wärmeversorgung (Heizung und Warmwasser), lassen sich Reduktionen von über 95% erzielen.

Energetische und Umweltbezogene Kenndaten von Heizungssystemen *Änderung im Vergleich zu Ölkessel*



**Abb. 3.1.3: Bewertung von Heizungssystemen:
Ölkessel, Gaskessel, Pelletskessel und Wärmepumpen
*Vergleich mit Ölkessel***

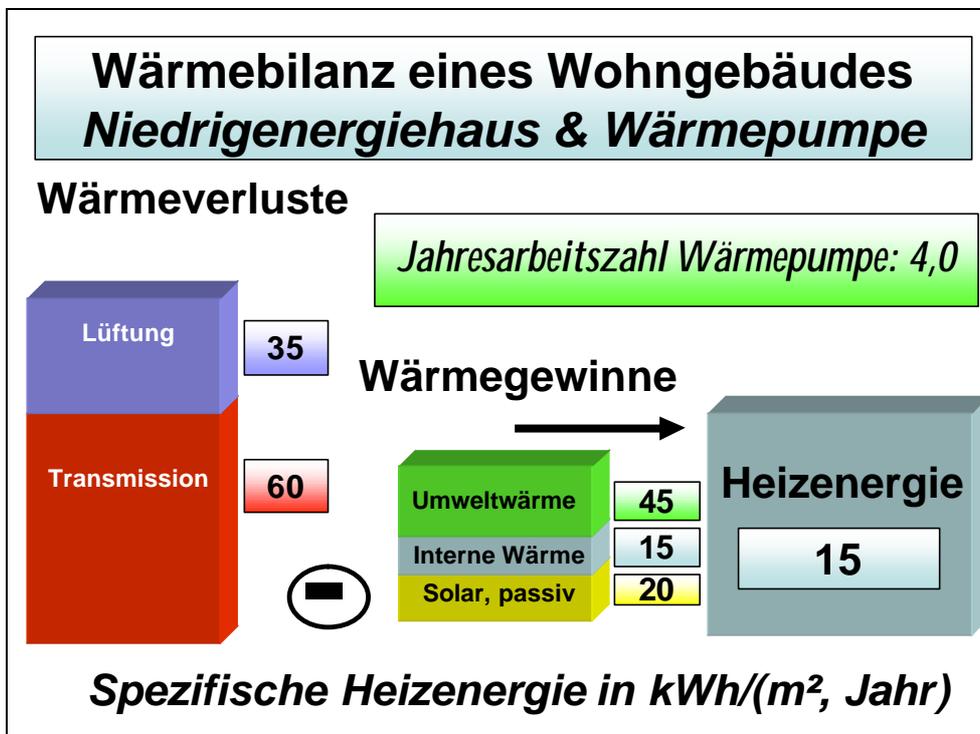
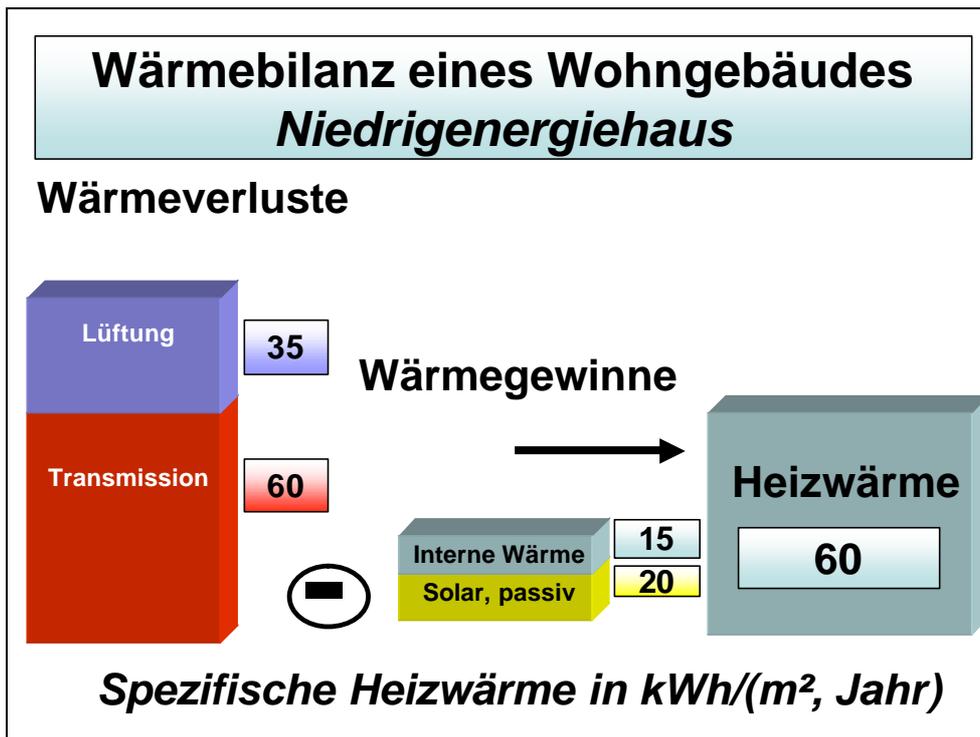


Abb. 3.1.4: Wärmebilanz eines Niedrigenergie-Gebäudes mit Erdreich-Wärmepumpe

Tafel 3.2: Bewertung von Heizungssystemen

Ölkessel und Pelletskessel

Ohne und mit vom Heizungssystem getrennter Solaranlage zur Warmwasserbereitung

Energetische und Umweltbezogene Bewertung von Solar-unterstützten Heizungssystemen					
Solar-unterstützter Ölkessel					
Beispiel: Einfamilien-Wohnhaus, 140 m ² beheizte Wohnfläche					
Vergleichssystem: Moderne Ölheizung					
Jahreswirkungsgrade: Jahresmittelwert für Heizung und Warmwasser 85%					
Solaranlage für Warmwasser: Jahres-Solaranteil 70% (getrennt von Heizung) bzw. 50% (kombiniert mit Heizung)					
Gebäudetyp A: Standardhaus (ohne Wärmerückgewinnung)					
Spez. Heizwärmebedarf: 70 kWh/(m ² , Jahr), Jahres-Heizwärmebedarf 9.800 kWh/Jahr					
Jahres-Warmwasserbedarf: 3.000 kWh/Jahr					
Gebäudetyp B: Energieeffizientes Wohnhaus (ohne Wärmerückgewinnung)					
Spez. Heizwärmebedarf: 40 kWh/(m ² , Jahr), Jahres-Heizwärmebedarf 5.600 kWh/Jahr					
Jahres-Warmwasserbedarf: 3.000 kWh/Jahr					
Gebäudetyp C: Solar-optimiertes Energieeffizientes Wohnhaus (ohne Wärmerückgewinnung)					
Spez. Heizwärmebedarf: 40 kWh/(m ² , Jahr), Jahres-Heizwärmebedarf 5.600 kWh/Jahr					
Jahres-Warmwasserbedarf: 3.000 kWh/Jahr					
Jahres-Solaranteil für Heizung und Warmwasser: 40%					
Gebäudetyp D: Fortgeschrittenes Solarhaus (ohne Wärmerückgewinnung)					
Spez. Heizwärmebedarf: 40 kWh/(m ² , Jahr), Jahres-Heizwärmebedarf 5.600 kWh/Jahr					
Jahres-Warmwasserbedarf: 3.000 kWh/Jahr					
Jahres-Solaranteil für Heizung und Warmwasser: 80%					
Bewertungen					
Heizungssystem	Primärenergie	CO ₂ -Emission	Anteil EE	Externe Kosten	
	kWh/Jahr	kg/Jahr	%	Euro/Jahr	Euro in 20 Jahren
Gebäudetyp A					
<i>Ölkessel</i>	17.016	4.683	0	226	4.518
Ölkessel & Solar (getrennt)	14.225	3.915	16	189	3.776
Ölkessel & Solar (kombiniert)	15.022	4.134	12	199	3.988
Gebäudetyp B					
<i>Ölkessel</i>	11.433	3.147	0	152	3.035
Ölkessel & Solar (getrennt)	8.641	2.378	24	115	2.294
Ölkessel & Solar (kombiniert)	9.439	2.598	17	125	2.506
Gebäudetyp C					
<i>Ölkessel</i>	11.433	3.147	0	152	3.035
Ölkessel & Solar (kombiniert)	6.860	1.888	40	91	1.821
Gebäudetyp D					
<i>Ölkessel</i>	11.433	3.147	0	152	3.035
Ölkessel & Solar (kombiniert)	2.287	629	80	30	607
Solar-unterstützter Pelletskessel					
Bewertungen					
Heizungssystem	Primärenergie	CO ₂ -Emission	Anteil EE	Externe Kosten	
	kWh/Jahr	kg/Jahr	%	Euro/Jahr	Euro in 20 Jahren
Gebäudetyp A					
<i>Ölkessel</i>	17.016	4.683	0	226	4.518
Pelletskessel	2.240	688	100	24	480
Pellets & Solar (getrennt)	1.873	575	100	20	400
Pellets & Solar (kombiniert)	1.978	607	100	21	424
Gebäudetyp B					
<i>Ölkessel</i>	11.433	3.147	0	152	3.035
Pelletskessel	1.505	462	100	16	320
Pellets & Solar (getrennt)	1.138	349	100	12	240
Pellets & Solar (kombiniert)	1.243	382	100	13	260
Gebäudetyp C					
<i>Ölkessel</i>	11.433	3.147	0	152	3.035
Pelletskessel	1.505	462	100	16	320
Pellets & Solar (kombiniert)	903	277	100	10	200
Ölkessel & Solar (kombiniert)					
Gebäudetyp D					
<i>Ölkessel</i>	11.433	3.147	0	152	3.035
Pelletskessel	1.505	462	100	16	320
Pellets & Solar (kombiniert)	301	92	100	3	60

**Energetische und Umweltbezogene Bewertung
von Wohnhäusern: Gebäude und Wärmeversorgung
Beispiel: Einfamilien-Wohnhaus, 140 m²**

Gebäudetypen:

A: Standardhaus
(70 kWh/(m², Jahr))

B: Energieeffizientes Haus
(40 kWh/(m², Jahr), ohne Wärmerückgewinnung)

C: Solar-optimiertes Energieeffizientes Haus
Jahres-Solaranteil für Heizung und Warmwasser: 40%

D: Fortgeschrittenes Solarhaus
Jahres-Solaranteil für Heizung und Warmwasser: 80%

Heizungssystem:

Solar-unterstützte Öl- und Pelletsheizung
Jahresnutzungsgrad (Heizung und Warmwasser): 85%

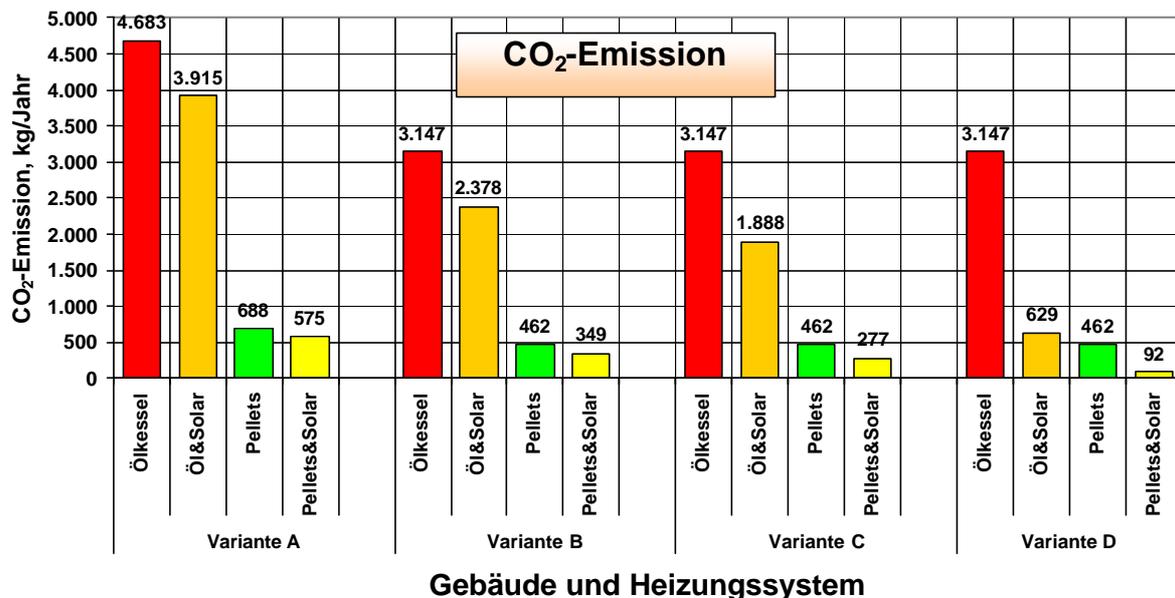
Mit Solaranlage zur Warmwasserbereitung

Jahres-Solaranteil: 70%/Jahr

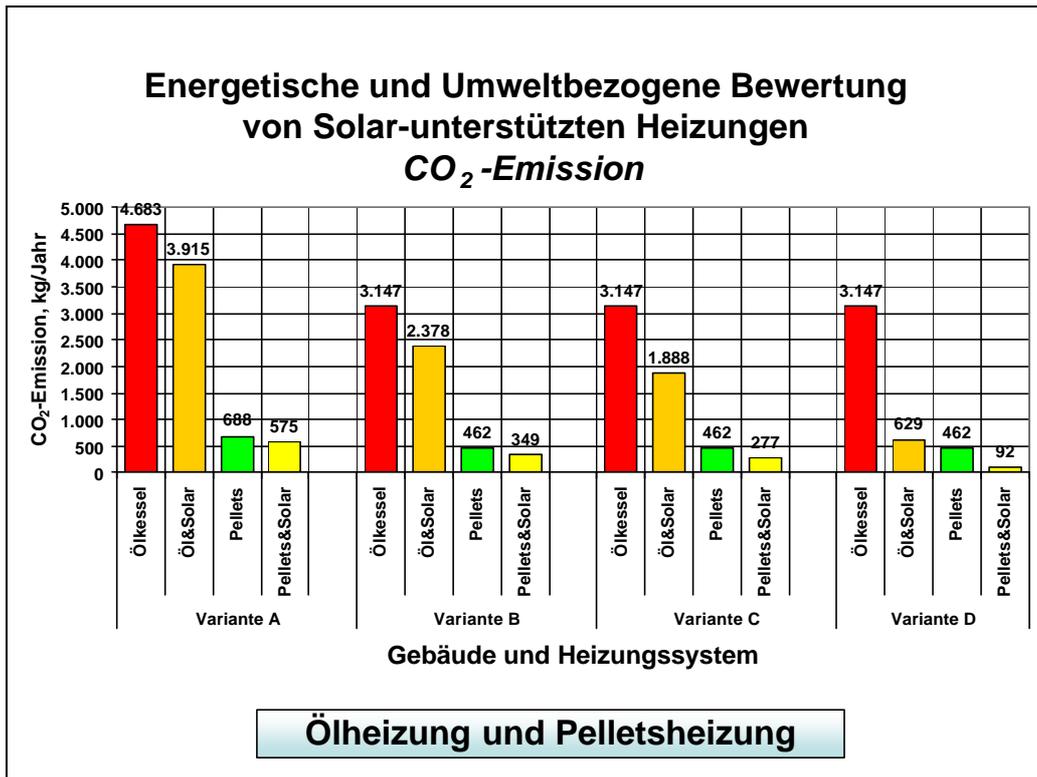
Warmwasserbedarf: 3.000 kWh/Jahr

**Abb. 3.2.1: Bewertung von Heizungssystemen:
Ölkessel und Pelletskessel
Eingabedaten**

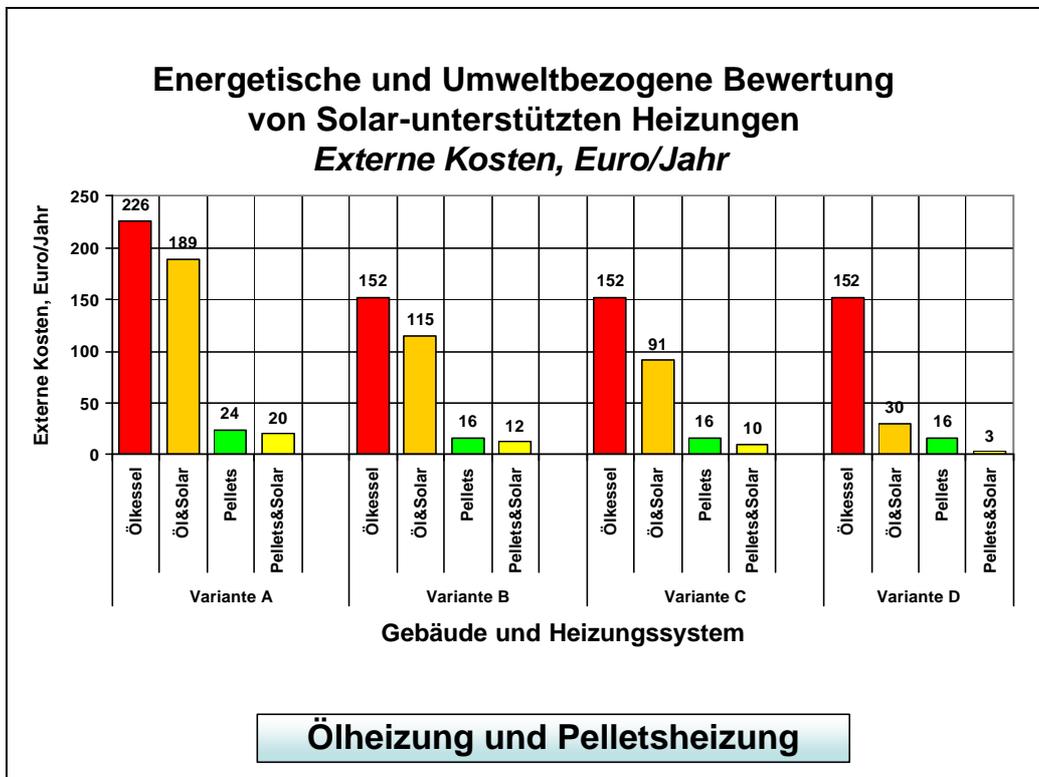
**Energetische und Umweltbezogene Bewertung
von Solar-unterstützten Heizungen**



**Abb. 3.2.2: Bewertung von Heizungssystemen:
Ölkessel und Pelletskessel
Primärenergie**

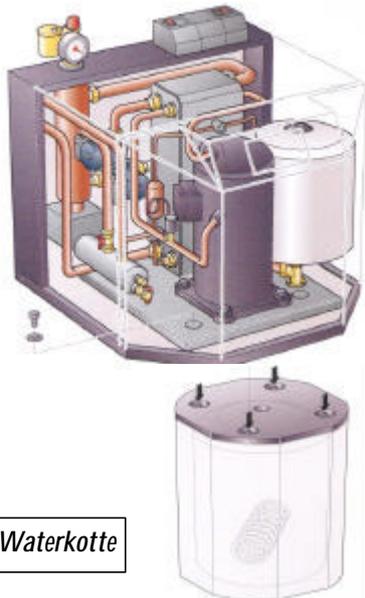


**Abb. 3.2.3: Bewertung von Heizungssystemen:
Ölkessel und Pelletskessel
*CO₂-Emission***

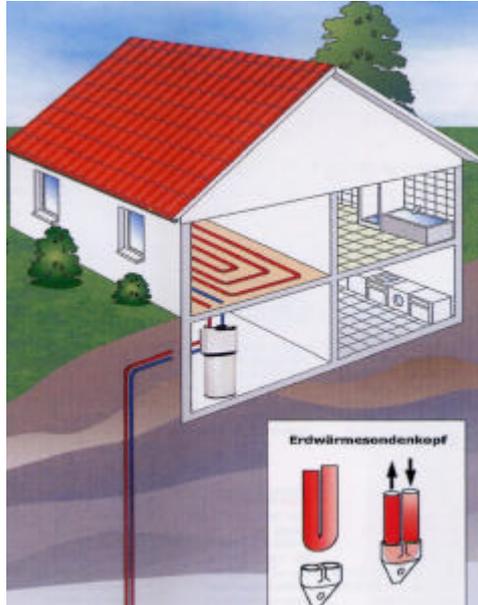


**Abb. 3.2.4: Bewertung von Heizungssystemen:
Ölkessel und Pelletskessel
*Externe Kosten***

Niedrigenergie-Haus mit Erdreich-Wärmepumpe Warmwasser-Heizungssystem



Waterkotte



Passiv-Haus mit Außenluft-Wärmepumpe in Verbindung mit kontrollierter Wohnraumlüftung und Wärmerückgewinnung



drexel und weiss

Wärmequelle für Wärmepumpe:
Außenluft,
im Erdboden vorgewärmt
(5°C – 10°C)

Wärmerückgewinnung:
Platten-Wärmetauscher
für WRG
aus Abluft (85%)

Warmwasser:
Über Klein-Wärmepumpe

Luft-Heizungssystem

Abb. 3.3.1: Heizungssysteme für Niedrigenergie- und Passiv-Haus

Tafel 3.3.1: Die Wärmeversorgung von Passiv- und Niedrigenergie-Gebäuden

Wärmeversorgung von Niedrigenergie- und Passiv-Wohnhäuser			
Beispiel: Einfamilien-Wohnhaus, 140 m², Klagenfurt			
Wärmebilanz	Gebäude-Typ	Niedrigenergie-Haus	Passiv-Haus
		ohne WRL & WRG	mit WRL & WRG
Wärmeverluste kWh/(m ² , Jahr)	Transmission	60	50
	Lüftung	40	40
	Gesamt	100	90
Wärmegewinne kWh/(m ² , Jahr)	Solar, passiv	38	38
	Interne Wärme	15	15
	Wärmerückgewinnung		24
	Gesamt	53	77
Heizenergiebedarf	kWh/(m², Jahr)	47	13

Wärmeversorgung von Niedrigenergie- und Passiv-Wohnhäuser			
Beispiel: Einfamilien-Wohnhaus, 140 m², Klagenfurt			
Raumwärmeversorgung mit Wärmepumpe			
Strombedarf	Gebäude-Typ	Niedrigenergie-Haus	Passiv-Haus
		ohne WRL & WRG	mit WRL & WRG
SOLE/WASSER-Erdreich-Wärmepumpe, Jahresarbeitszahl = 4	Stromeinsatz, kWh/(m²/Jahr)	11,75	
LUFT/LUFT-Erdreich-Wärmepumpe, Jahresarbeitszahl = 3			4,30
Strom-Zusatzheizung			1,50
Ventilatoren			1,30
Umwälzpumpen Heizwärme		1,10	
Pumpen im Wärmepumpen-System		In der Jahresarbeitszahl berücksichtigt	
Stromeinsatz, gesamt	kWh/(m², Jahr)	12,85	7,10
Annahmen: Jahres-Volllaststunden: 1.100 Ventilator für Zuluft und Abluft (Passivhaus): 120 W Umwälzpumpen Heizwärme (Niedrigenergie-Haus: 100 W			

Tafel 3.3.2: Bewertung von Heizungssystemen Passiv-Haus und Niedrigenergie-Haus

Energetische und Umweltbezogene Bewertung von Nachhaltigen Heizungssystemen						
Heizenergie, Primärenergie, Anteil Erneuerbare Energie, CO₂-Emission, Externe Kosten						
Beispiel	Einfamilien-Wohnhaus, 140 m ²					
VARIANTE 1	Passivhaus mit kontrollierter Wohnraumlüftung mit WRG					
VARIANTE 2	Passivhaus-Standard mit Erdreich-Wärmepumpe					
VARIANTE 3	Passivhaus-Standard mit Pelletsheizung und Solaranlage für Warmwasser					
VARIANTE 4	Niedrigenergiehaus-Standard mit Pelletsheizung und Solaranlage für Warmwasser					
	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4		
Heizwärmebedarf (RH), kWh/Jahr	5.800	5.800	5.800	7.500		
Warmwasserbedarf (WW), kWh/Jahr	2.500	2.500	2.500	2.500		
Heizwärme für RH & WW, kWh/Jahr	8.300	8.300	8.300	10.000		
Strom für Zusatzheizung, kWh/Jahr	210					
Betriebsstrom, kWh/Jahr	180	150	250	250		
Solarwärme für Warmwasser, kWh/Jahr			1.875	1.875		
Abwärme für Raumwärme, kWh/Jahr	3.770					
Umweltwärme für Raumwärme, kWh/Jahr	2.912	6.225				
Annahmen zum Heizungssystem						
Jahresnutzungsgrad (%) / Jahresarbeitszahl JAZ (-) für Heizung und Warmwasser						
Wärmepumpe, WRG für Passivhaus, JAZ	2,8					
Wärmepumpe, Erdreichwärmepumpe, JAZ	4,0					
Pelletsessel, %/Jahr	75					
Ölkessel, %/Jahr	80					
Umrechnungsfaktoren						
Energieträger	Primärenergie, PEF		CO ₂ -Faktor		Externe Kosten	
	kWh _{pe} /kWh _{ee}		g/kWh _{ee}		Euro/kWh _{ee}	
Heizöl	1,13		311		0,0150	
Pellets	0,14		43		0,0015	
Strom	1,12		256		0,0135	
Bewertung für Heizung und Warmwasser						
Heizungssystem	Heizenergie	Primärenergie	CO ₂ -Emission	Anteil EE	Externe Kosten	
	kWh/Jahr	kWh/Jahr	kg/Jahr	%/Jahr	Euro/Jahr	Euro in 20 Jahren
Ölkessel	10.375	11.724	3.227	0	156	3.113
VARIANTE 1	2.008	2.249	514	81	27	542
VARIANTE 2	2.225	2.492	570	75	30	601
VARIANTE 3	8.817	1.479	379	100	13	265
VARIANTE 4	11.083	3.617	477	100	17	340
Anmerkungen:						
Primärenergie: kWh _{pe} ; Endenergie: kWh _{ee} ; EE: Erneuerbare Energie (Solarwärme, Umweltwärme, Biowärme)						
Primärenergie-Faktor PEF: Verhältnis von Primärenergie (kWh _{pe}) zu Endenergie (kWh _{ee})						
CO ₂ -Faktor: Umweltrelevante CO ₂ -Äquivalent-Emission						
Externe Kosten: Bezogen auf Endenergie kWh _{ee}						
Stromaufbringung			Österreichische Stromkennzeichnung 2005			

Vergleich mit Standard-Gebäude und Ölkessel					
Heizwärme (RH & WW) kWh/Jahr	8.300		Ölkessel		80
			Jahres-Nutzungsgrad, %/Jahr		
Heizkessel	Heizenergie kWh/Jahr	Primärenergie kWh/Jahr	CO ₂ -Emission kg/Jahr	Externe Kosten €/Jahr	Externe Kosten 20 Jahre, €
Ölkessel	10.375	11.724	3.227	156	3.113
VARIANTE 1	2.008	2.249	514	27	542
Vergleich zu Ölkessel, %	19	19	16	17	17
VARIANTE 2	2.225	2.492	570	30	601
Vergleich zu Ölkessel, %	21	21	18	19	19
VARIANTE 3	8.817	1.479	379	13	265
Vergleich zu Ölkessel, %	85	13	12	8	8
VARIANTE 4	11.083	3.617	477	17	340
Vergleich zu Ölkessel, %	107	31	15	11	11

Energetische und Umweltbezogene Bewertung der Wärmeversorgung von *Nachhaltigen* Gebäuden



Einfamilien-Wohnhaus

140 m² beheizte Wohnfläche

VARIANTE 1:

Passiv-Haus
mit kontrollierter Wohnraumlüftung & WRG

VARIANTE 2:

Passivhaus-Standard mit Erdreich-Wärmepumpe

VARIANTE 3:

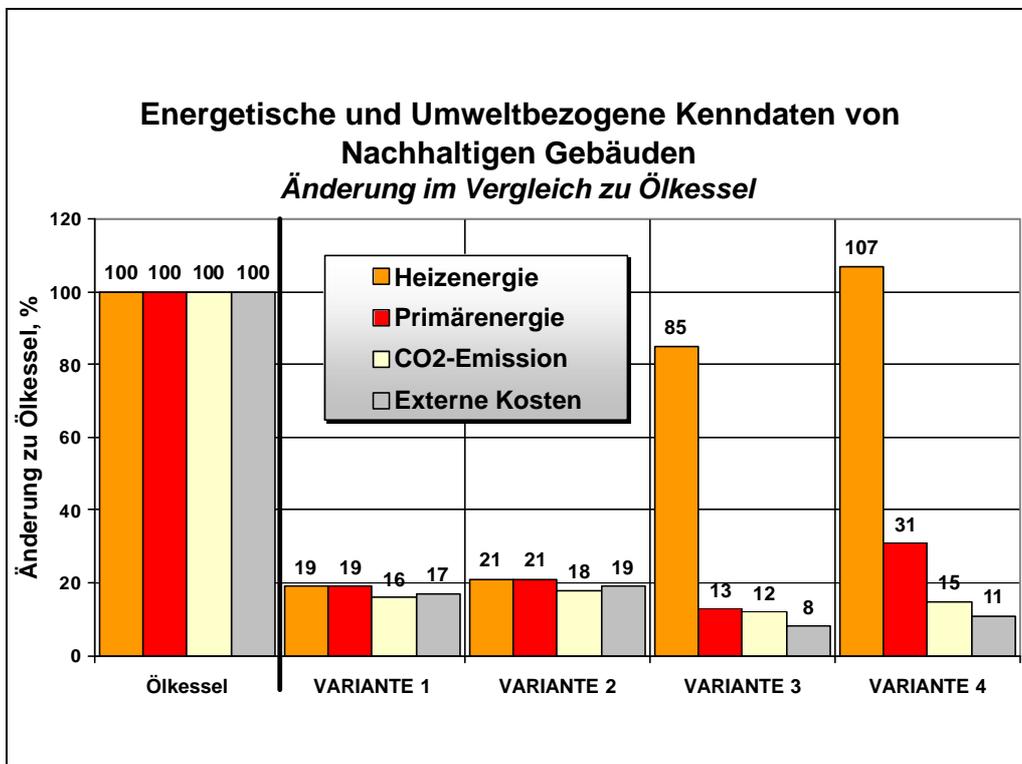
Passivhaus-Standard mit Pelletsheizung und
Solaranlage zur Warmwasserbereitung

VARIANTE 4:

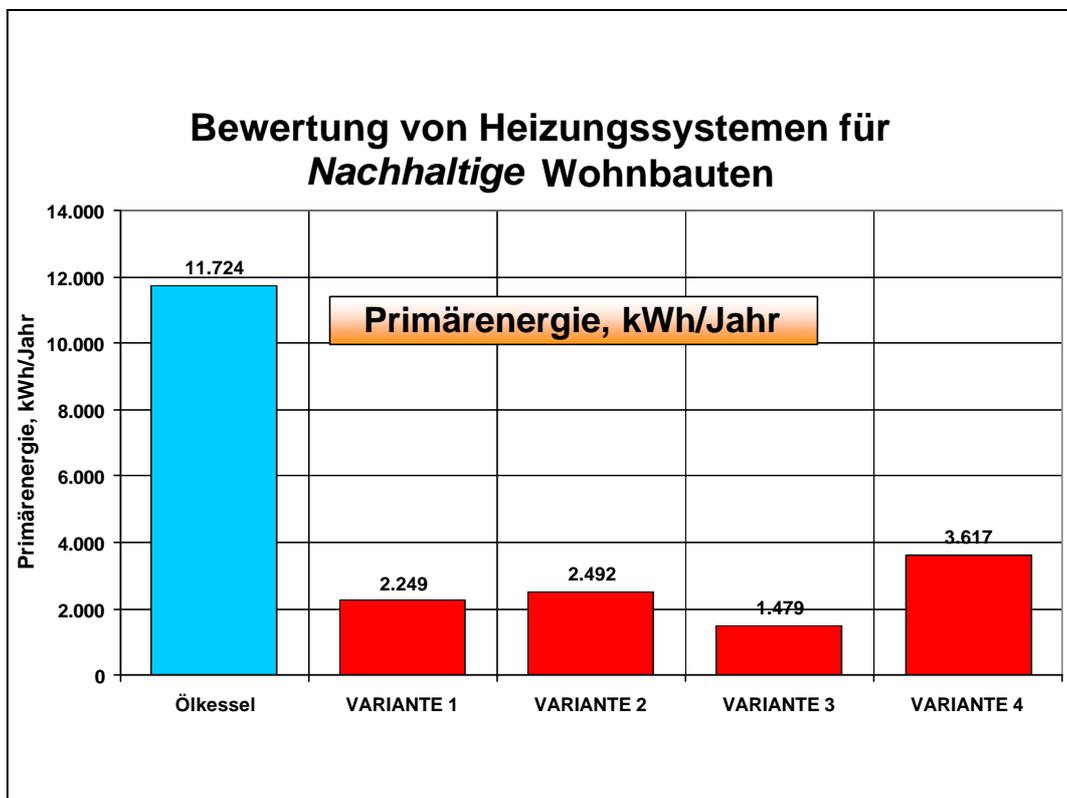
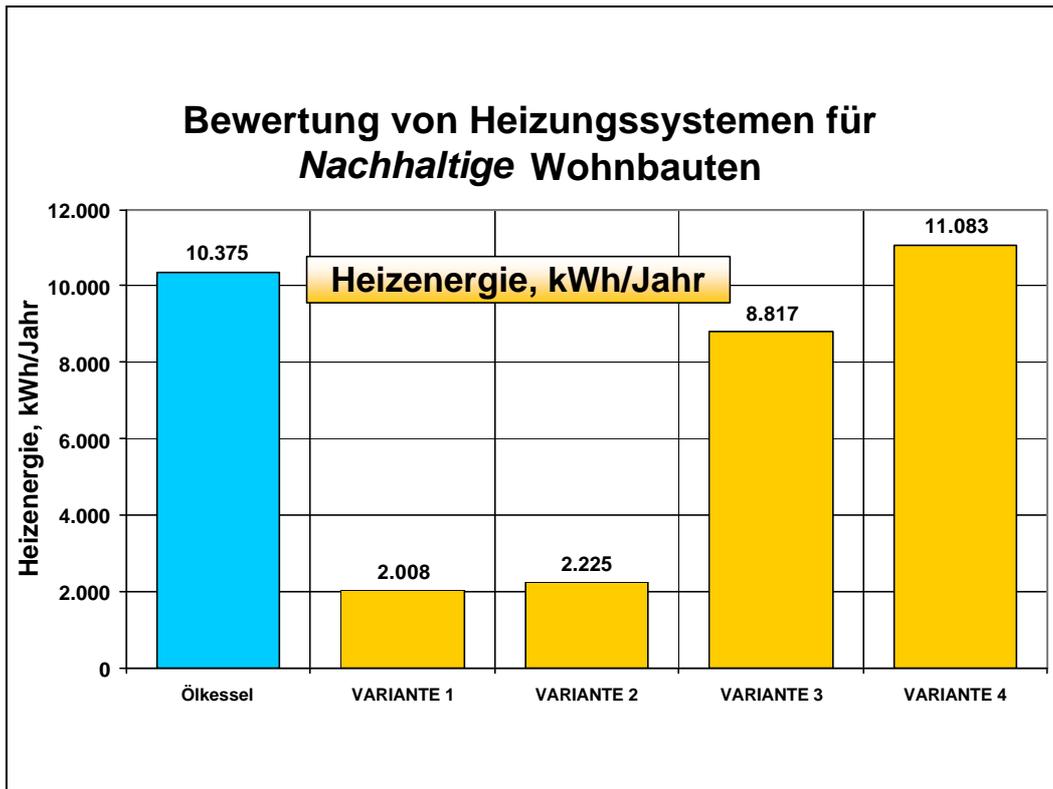
Niedrigenergiehaus-Standard mit Pelletsheizung
und Solaranlage zur Warmwasserbereitung

Vergleichssystem: Ölkessel

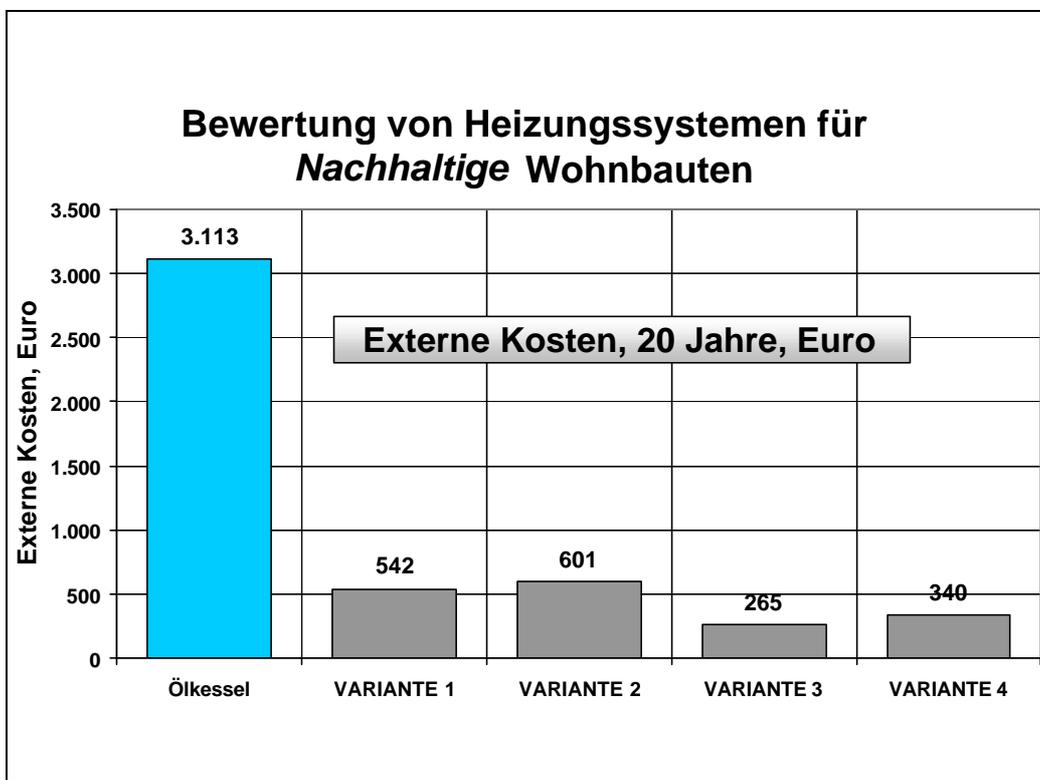
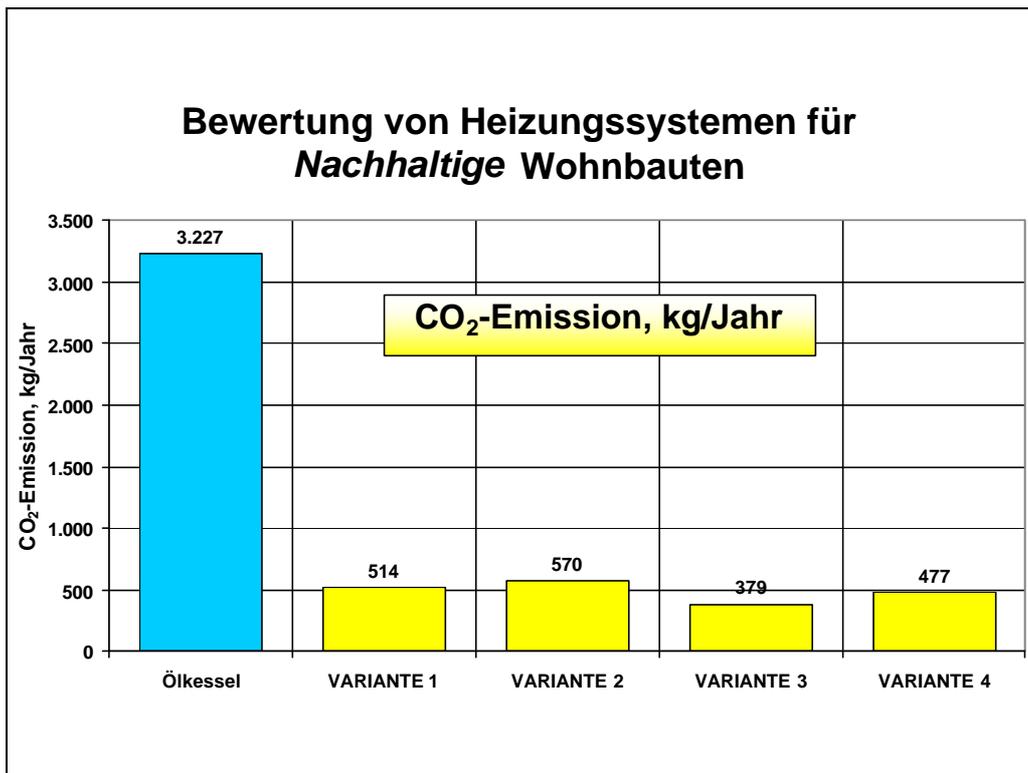
**Abb. 3.3.2: Bewertung von Nachhaltigen Gebäuden:
Passiv-Haus und Niedrigenergie-Haus
*Eingabedaten***



**Abb. 3.3.3: Bewertung von Nachhaltigen Gebäuden:
Passiv-Haus und Niedrigenergie-Haus
*Vergleich mit Ölkessel***



**Abb. 3.3.4: Bewertung von Nachhaltigen Gebäuden:
Passiv-Haus und Niedrigenergie-Haus
Heizenergie und Primärenergie**



**Abb. 3.3.5: Bewertung von Nachhaltigen Gebäuden:
Passiv-Haus und Niedrigenergie-Haus
CO₂-Emission und Externe Kosten**

4. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die aktuelle Energie- und Umweltsituation sowie die unbefriedigende Zukunftsoption am Energiemarkt legen nahe, die Wärmeversorgung von Gebäuden nach den Kriterien der „Nachhaltigkeit“ zu planen und auszuführen. Ein rein betriebswirtschaftlicher Vergleich wird nicht ausreichen.

Eine gesamtheitliche Bewertung von Heizungsanlagen bezieht sich vorrangig auf die Effizienz des Heizungssystems und auf den Einsatz von Energieträgern mit geringen/fehlenden klimarelevanten Emissionen bei Erzeugung und Nutzung. Neben den Energetischen und Wirtschaftlichen Kriterien sind für die Bewertung der „Nachhaltigkeit“ der Wärmeversorgung von Gebäuden auch die Umweltbezogenen Kriterien von Bedeutung. Die Umweltbezogene Bewertung bezieht sich auf die aus der Heizenergie abgeleitete Primärenergie und auf die umweltrelevante CO₂-Emission, jeweils bezogen auf die gesamte Energiekette von Aufbringung, über Transport und Verarbeitung bis zum Einsatz. Aus der CO₂-Emission werden die damit verbundenen Umweltkosten als „Externe Kosten“ abgeleitet.

Die „Nachhaltigkeit“ der Wärmeversorgung wird vom Gebäude-Standard („Standardhaus“ - *IST-Zustand*, „Energiesparhaus“, „Niedrigenergiehaus“ und „Passivhaus“) und von dem Heizungssystem (Effizienz und Einsatz Erneuerbarer Energieträger) bestimmt.

Der Wärmeschutz des Gebäudes zur Verminderung der Transmissions-Wärmeverluste bestimmt den Heizwärme-Bedarf für Raumwärme, welcher mit solararchitektonischen Elementen in der Gebäudehülle („Passive“ Sonnenenergienutzung) und mit internen Wärmegewinnen über Haushaltsgeräte und Personen reduziert wird.

Die zur Abdeckung der erforderlichen Heizwärme erforderliche Heizenergie lässt sich weiters über „aktive“ Solarwärme, erzeugt über solarthermische Anlagen, sowie über Nutzung von Umweltwärme mit der Wärmepumpentechnik vermindern. Mit kontrollierter Wohnraumlüftung - in Verbindung mit Wärmerückgewinnung - lassen sich um bis zu 70% der Lüftungs-Wärmeverluste - aus der hygienisch erforderlichen natürlichen Lüftung - als nutzbare Abwärme dem Heizungssystem wieder zuführen.

Die Kriterien von „Nachhaltigen“ Heizungssystemen erfüllen Heizungen mit Nutzung biogener Brennstoffe (z.B. Pelletskessel), Solarwärme (Solarthermische Anlagen insbesondere zur Warmwasserbereitung, in Niedrigenergie-Gebäuden auch zur Raum-Zusatzheizung) und der erneuerbaren Energiequelle „Umweltwärme“ (nutzbar gemacht über Wärmepumpen).

Ein Vergleich der Energetischen und Umweltbezogenen Kenndaten eines Wohnhauses in Niedrigenergie- und Passivhaus-Standard führt zu dem Ergebnis, dass auch Niedrigenergie-Gebäude mit Einsatz eines Nachhaltigen Heizungssystems (Solarunterstützte Pelletsheizung, Erdreich-Wärmepumpe) vergleichbare Ergebnisse zu Passivhäusern in der Energiebilanz erreichen können. Die Entscheidung für Niedrigenergie-Haus oder Passiv-Haus wird damit von wirtschaftlichen Aspekten und der „Wohnbehaglichkeit“ (kontrollierte Wohnraumlüftung) beeinflusst werden.

Die Wege zu einem „*Nachhaltigen Gebäude*“ führen somit über den Wärmeschutz der Gebäudehülle, die Effizienz des Heizungssystems, den Einsatz Erneuerbarer Energieträger und letztlich auch über eine energiebewusste Betriebsführung.

Aus den Berechnungen lässt sich das große Potential an Brennstoff-Einsparung und CO₂-Reduktion bei der Wärmeversorgung von Gebäuden ableiten. Als Vergleichssystem wird eine moderne Ölheizung herangezogen.

Das Energieeinspar- und das CO₂-Reduktions-Potential kann bereits heute - bei den derzeitigen Energiepreisen und den Investitionskosten für moderne Heizungstechniken - unter betriebswirtschaftlichen Aspekten erreicht werden, bei Akzeptanz einer Amortisationszeit von 15 Jahren oder mit finanzieller Unterstützung aus dem öffentlichen Budget (z.B. Wohnbauförderung).

Das Reduktionspotential und die abgeleitete Verminderung „Externer Kosten“ im Vergleich zu einer Ölheizung könnten Richtwerte für die Förderungssätze im Rahmen der Wohnbauförderung liefern: *Ökologisch-orientierte Wohnbauförderung*.