

Technisch-wirtschaftliche Analyse energetischer und thermischer Sanierungsmöglichkeiten von Einfamilienhäusern

Georg BAUMGARTNER¹, Christoph GUTSCHI², Udo BACHHIESL², Andreas LACKNER

Institut für Elektrizitätswirtschaft und Energieinnovation der TU Graz,
Inffeldgasse 18, 8010 Graz, Tel: 0316 873 7900, IEE@tugraz.at, www.IEE.tugraz.at

Keywords: Energieeffizienz, thermische Sanierung, Sanierungsmaßnahmen, Amortisationszeit

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Rund ein Drittel der Endenergie in Österreich wird für Heizwärme (Aufbringung für Raumwärme und Warmwasser) verbraucht. Davon wird der überwiegende Teil von Ein- und Zweifamilienwohnhäusern beansprucht, die vor allem in den Jahren 1961 bis 1980 errichtet wurden. Diese Gebäude weisen einen hohen spezifischen Jahresheizenergiebedarf auf und besitzen ein enormes Energieeinsparpotenzial durch thermische und energetische Sanierung. Gerade die thermische Sanierung jener „Problembauten“ hat demnach eine hohe Bedeutung zur Steigerung der Energieeffizienz und die Erreichung der nationalen Klimaschutzziele in Österreich.

1.2 Bestandsgebäude und Sanierungsrate

Der österreichische Gebäudebestand weist derzeit³ rund 2,05 Millionen Gebäude mit ca. 3,86 Millionen Wohnungen auf (siehe Abbildung 1). Davon werden 1,76 Millionen Gebäude, also 86 % aller Bestandsbauten, überwiegend als Wohngebäude genutzt.

Werden diese Bauten ihrer Gebäudeart zugeordnet, so zeigt sich eine eindeutige Dominanz von Gebäuden mit ein oder zwei Wohnungen. Diese Kategorie der Ein- und Zweifamilienhäuser weist mit ca. 1,56 Millionen Gebäuden rund drei Viertel des gesamten Gebäudebestandes auf.

Die restlichen Wohngebäude – mit drei bis zehn Wohnungen und mehr – entsprechen gerade einmal 10 % des Gebäudebestandes. Der Anteil der Nichtwohngebäude in Österreich beträgt mit ca. 0,28 Millionen Objekten lediglich 14 %.

¹ Grazer Energie Agentur, Kaiserfeldgasse 13/1, 8010 Graz, g.baumgartner@grazer-ea.at

² Institut für Elektrizitätswirtschaft und Energieinnovation der TU Graz,
Inffeldgasse 18, 8010 Graz, Tel: +43 316 873 7900, IEE@tugraz.at, www.IEE.tugraz.at

³ Anmerkung: Statistische Daten laut Gebäude- und Wohnungszählung 2001

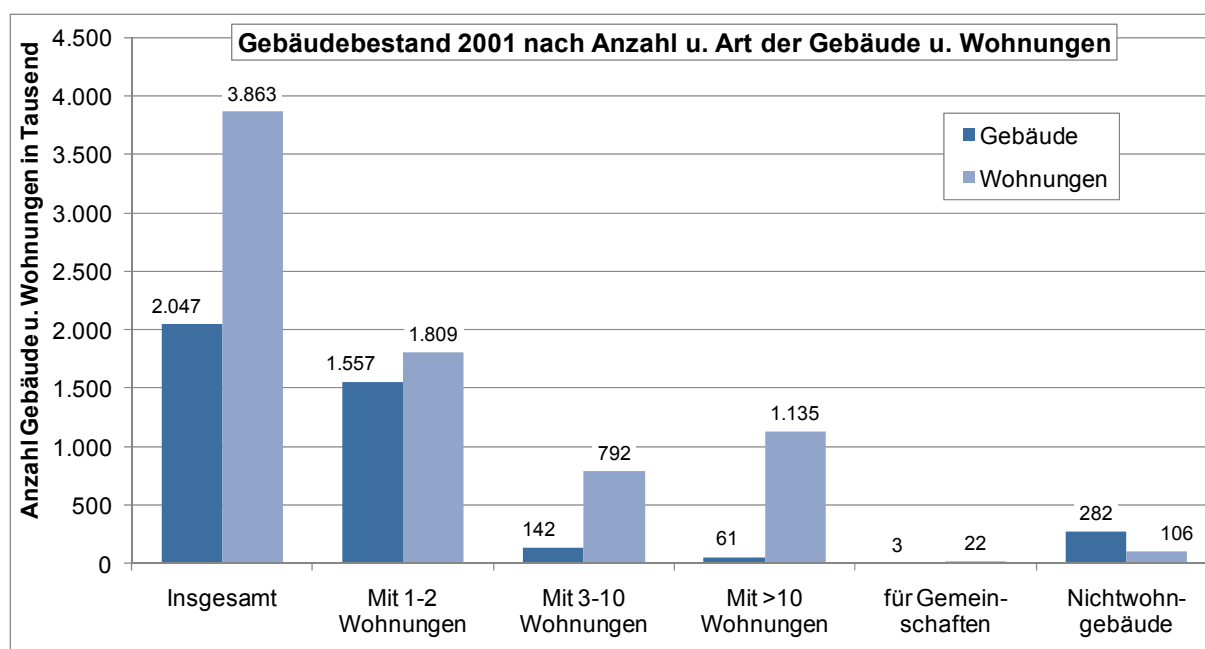


Abbildung 1: Anzahl der Gebäude und Wohnungen nach Art des Gebäudes 2001⁴

Von den 3,86 Millionen Wohnungen waren im Jahr 2001 ca. 3,32 Millionen Hauptwohnsitze mit einer durchschnittlichen Nutzfläche pro Wohnung von 90,4 m². Der mit ca. 9 % geringste Anteil aller Hauptwohnsitze stammt aus der Zeit der beiden Weltkriege (Errichtungsperiode 1919-1944), während die Jahre 1961 bis 1980 mit einem Anteil von über 32 % den größten Gebäudebestand aufweisen. In dieser Errichtungsperiode wurden auch die meisten Gebäude mit ein oder zwei Wohnungen gebaut (siehe Abbildung 2).

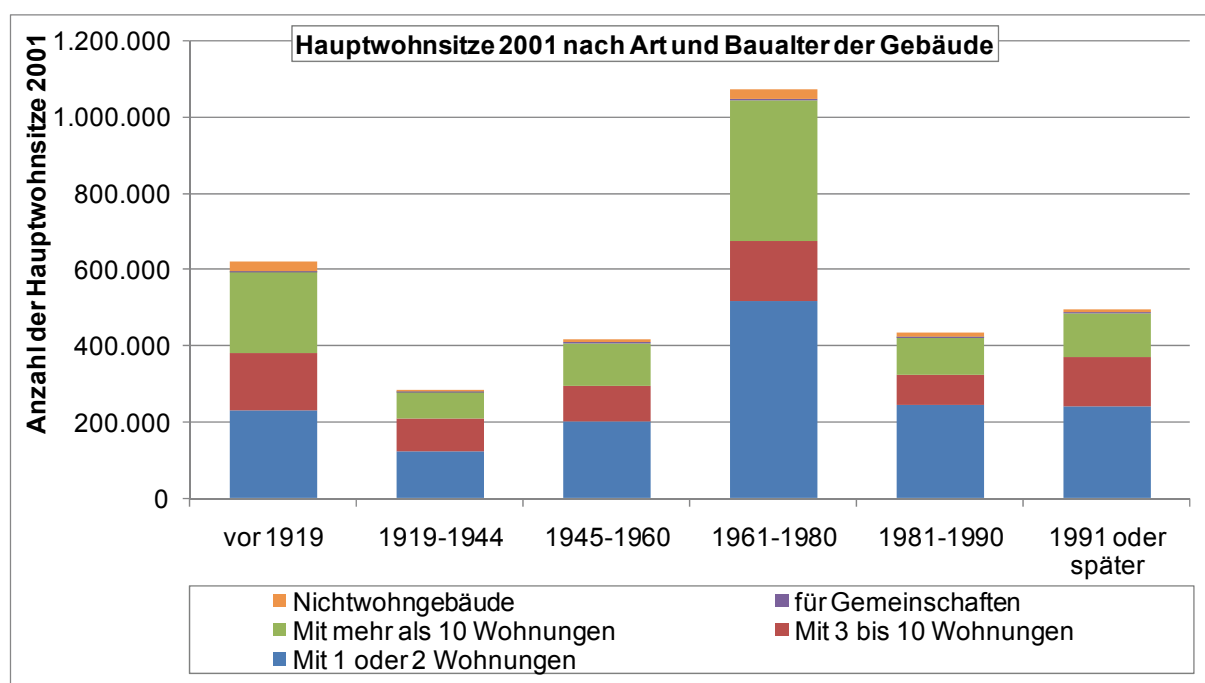


Abbildung 2: Gebäudeart der Hauptwohnsitze 2001 nach Errichtungsperiode⁵

⁴ Datenquelle: Statistik Austria (2009), S 274

Knapp zwei Drittel der Wohnnutzfläche in Österreich befindet sich in Gebäuden die vor 1980 errichtet worden sind und zu einem sehr großen Teil aus energetischer Sicht sanierungsbedürftig sind. Ein beträchtliches Einsparpotenzial an Raumwärme liegt demnach in der thermischen Sanierung dieser problematischen Bestandsbauten – vor allem aus den Jahren 1961 bis 1980. Diese Wohngebäude verursachen erhebliche Emissionen, durch ihre großteils mittels Öl und Gas betriebenen Zentralheizungen und den hohen Bedarf an Heizwärme. Aus diesem Grund ist neben der Verbesserung des thermischen Gebäudezustandes auch ein Umstieg auf regenerative Energieträger im Sinne der österreichischen Klimaschutzziele.

Die energetische Sanierungsrate der letzten Jahre in Österreich wird in der Studie „Innovation und Klima“⁶ des Wirtschaftsforschungsinstitutes mit unter 1 % beziffert. Der nationale Maßnahmenkatalog laut 1. Energieeffizienzaktionsplans der Republik Österreich (1.EEAP) sah als ambitioniertes Ziel jedoch eine Steigerung dieser Sanierungsrate auf 3 % bis 2012 vor. Mittelfristig soll sogar eine Anhebung auf 5 % erreicht werden.⁷

Um den positiven Effekt einer Steigerung der Sanierungsrate zu veranschaulichen, ist in den folgenden Abbildungen eine Prognose des zukünftigen österreichischen Heizenergieverbrauchs bis 2030 für zwei unterschiedliche Szenarien dargestellt. Die beiden folgenden Szenarien wurden von Andreas Lackner⁸ in Zusammenarbeit mit den Autoren entwickelt.

1.2.1 Sanierungsrate mit Basisszenario

Das Basisszenario bildet in den Grundzügen die Situation im Wohngebäudebereich bezüglich des Heizenergieverbrauchs ab, bevor in der letzten Zeit ambitionierte Förderungsmaßnahmen ergriffen wurden.

Dieses Szenario geht von einer Sanierungsrate von einem Prozent für alle vor 1990 errichteten Wohngebäude aus. Als Sanierungsziel wird ein künftiger Heizenergieverbrauch der sanierten Gebäude von 70 kWh/m²a angestrebt. Die neu entstehende Wohnfläche wird in Niedrigenergie-hausstandard (max. HWB: 40 kWh/m²a) errichtet, weiters wird von einer jährlichen Erneuerungsrate von 0,4%⁹ ausgegangen.

Das Basisszenario zeigt eine Reduktion des gesamten Heizenergiebedarfs im Jahr 2030 bezogen auf das Jahr 2007 von lediglich 9,8 %. Der Grund dafür ist die niedrige Sanierungsrate, wodurch im betrachteten Zeitraum nur 17,1 % des Gebäudebestands bis 1990 saniert werden kann. Der durchschnittliche Heizenergiebedarf geht immerhin von 136 auf 104 kWh/m²a zurück. Dennoch kann letztlich auch durch die Steigerung der Wohnfläche der Heizenergiebedarf in diesem Szenario nicht im erwünschten Ausmaß reduziert werden.

⁵ Datenquelle: Statistik Austria (2001)

⁶ WIFO (2006)

⁷ Siehe BMWA (2007)

⁸ Lackner (2008)

⁹ Anmerkung: Entspricht der durchschnittlichen jährliche Abrissrate über alle Bauperioden

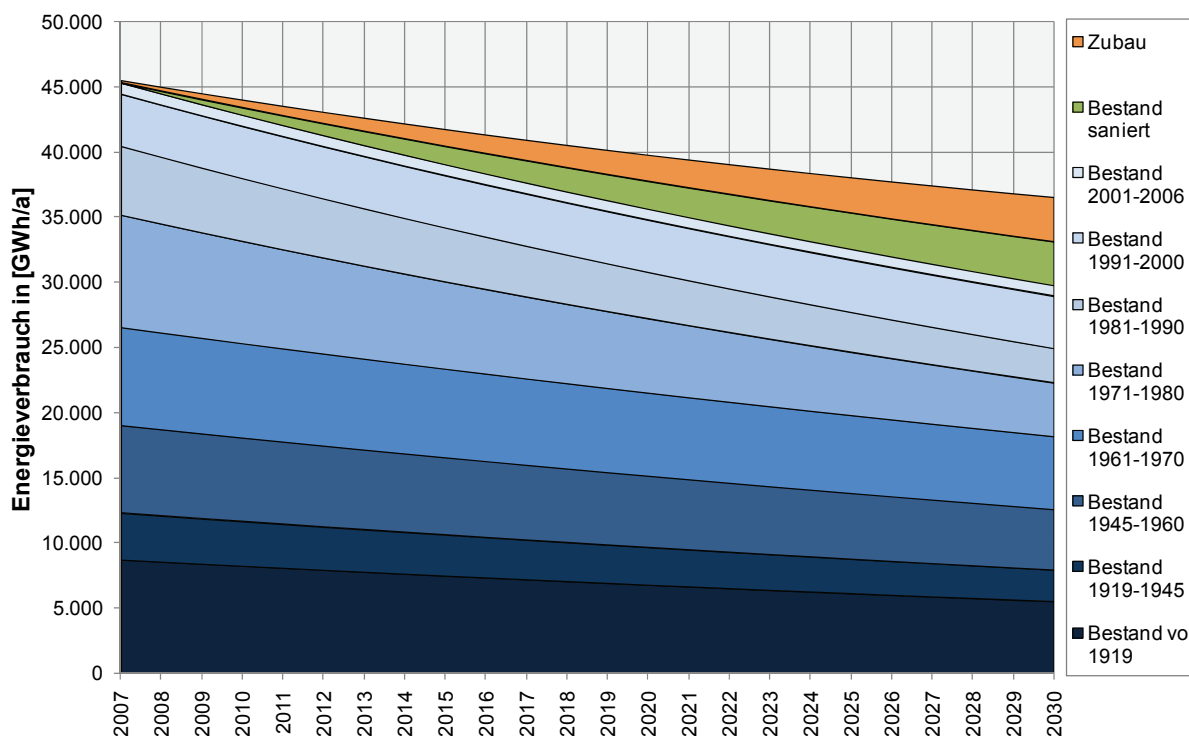


Abbildung 3: Basisszenario zur Entwicklung des künftigen Heizenergiebedarfs (gleichbleibende Sanierungsrate), vgl. Lackner (2008)

1.2.2 Szenario mit erhöhter Sanierungsrate

Das Szenario mit erhöhter Sanierungsrate zeigt jenen Heizenergiebedarf, der mit ambitionierten Maßnahmen im Jahr 2030 realistisch erreicht werden könnte. Die jährliche Sanierungsrate von Gebäuden bis Baujahr 1990 wird durch unterschiedliche Maßnahmen wie z.B. das derzeit laufende Wirtschaftsbelebungsprogramm auf 3 % gesteigert und das ambitionierte Sanierungsziel ist Niedrigenergiehausstandard. Der Zubau wird ebenfalls in Niedrigenergiehausstandard errichtet.

In diesem Szenario werden bis 2030 52,3 % des bestehenden Gebäudebestands mit einem Baujahr vor 1990 saniert, und insbesondere durch diesen Umstand kann der gesamte Heizenergiebedarf im Jahr 2030 bezogen auf das Jahr 2007 um 31,8 % verringert werden. Der durchschnittliche Heizenergiebedarf pro Quadratmeter Wohnnutzfläche wird von 136 auf 79 kWh/m²a verringert.

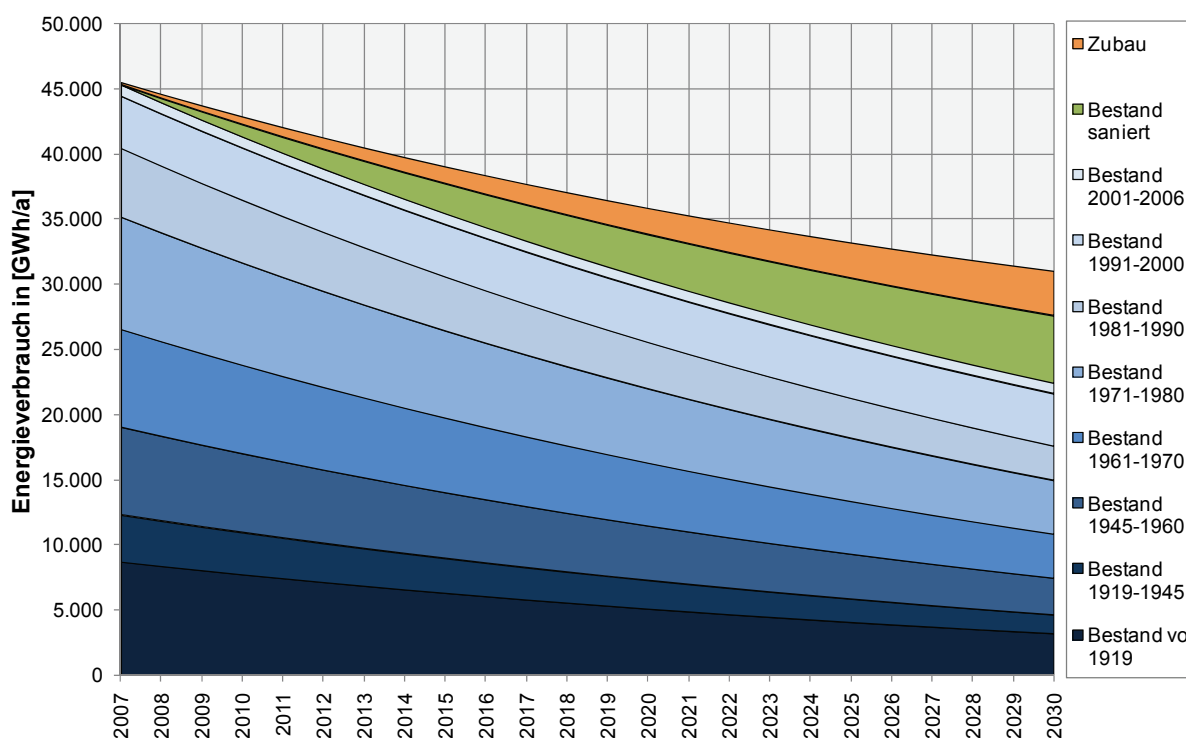


Abbildung 4: Szenario zur Entwicklung des Heizenergiebedarfs mit erhöhter Sanierungsrate von Wohngebäuden, vgl. Lackner (2008)

1.2.3 Maßnahmen zur Erhöhung der Sanierungsrate

Die Umsetzung der angestrebten Steigerung der Sanierungsrate in Österreich stellt nach wie vor eine große Herausforderung dar. Zur Erreichung dieser Ziele ist eine Reihe von Maßnahmen notwendig:

- Informative Impulssetzungen zur Förderung der **Bewusstseinsbildung** (Kampagnen, Impulsprogramme, Medienaktivitäten, Vorbildwirkung der öffentlichen Hand) sowie **Motivation**.
- Aufbau und Förderung der **Fachkompetenz** von Planern und Handwerkern.
- Anhebung **finanzieller Anreize** (Landes- und Bundesförderungen, Direktförderungen)
- **Gesetzliche Vorgaben** (Mindestanforderungen an die Energiekennzahl bzw. Gebäudehülle, Energieausweis).
- **Neue Dienstleistungen** (Bauwirtschaft & Energieberatung, Gebäudecontracting).

Förderungen sind Steuerungsinstrumente in vielen gesellschaftlichen Bereichen. Zur Steigerung der Energieeffizienz im Gebäudebereich ist die Förderung von Gebäudesanierungen ein bedeutendes Instrument das einen finanziellen Anreiz bietet und insgesamt wohl das wichtigste Lenkinstrument zur Erhöhung der Sanierungsrate.

2 Energieeffizienz im Gebäudebereich

Um sich der Möglichkeiten der Energieeffizienz im Gebäudebereich bewusst zu werden, ist es notwendig zu identifizieren, wo energetische Verluste und auch Gewinne überhaupt auftreten können. Aus diesem Grund wird zuerst die thermische Bewertung anhand der Wärmebilanz dargestellt und anschließend Energieeffizienzmaßnahmen aufgezählt und ausführlich erklärt.

2.1 Die thermische Bewertung eines Gebäudes anhand der Wärmebilanz

Zur Bewertung des thermischen Verhaltens eines Gebäudes auf Nutzenergieebene dient die so genannt Wärmebilanz. Hierbei werden die thermischen Gewinne und Verluste eines Gebäudes gegenübergestellt, wodurch sich jene Wärmemenge ergibt, die dem Objekt entweder zugeführt oder entzogen werden muss um eine gewünschte Raumtemperatur aufrecht zu erhalten. Diese Wärmemenge wird im Heizfall in Form von Nutzwärme als „Heizwärmebedarf“ und im Kühlfall in Form von Nutzkälte als „Kühlbedarf“ bereitgestellt und ist die zentrale Größe um die Wärmebilanz auszugleichen. Dem Grundprinzip einer Bilanz folgend muss die Summe der Wärmegewinne identisch sein mit der Summe der Wärmeverluste.¹⁰

Wärmegewinne in Gebäuden treten auf als:¹⁰

- Solare Wärmegewinne (Q_{sol})
- Interne Wärmegewinne (Q_{int})
- Transmissionswärmegewinne (Q_{trans+})
- Infiltrationswärmegewinne (Q_{inf+})
- Ventilationswärmegewinne (Q_{vent+})
- **Erforderlicher Heizwärmebedarf (Q_{heat+}) = HWB**

Wärmeverluste in Gebäuden treten auf als:¹⁰

- Transmissionswärmeverluste (Q_{trans-})
- Infiltrationswärmeverluste (Q_{inf-})
- Ventilationswärmeverluste (Q_{vent-})
- **Erforderlicher Kühlbedarf (Q_{heat-}) = KB**

$$Q_{sol} + Q_{int} + Q_{trans+} + Q_{inf+} + Q_{vent+} + \mathbf{HWB} = Q_{trans-} + Q_{inf-} + Q_{vent-} + \mathbf{KB}$$

Um eine Reduktion des Heizwärme- oder Kühlbedarfs zu erreichen, sind die einzelnen Bestandteile der Wärmebilanz so zu optimieren, dass die Differenz, die in Form von HWB oder KB zugeführt werden muss möglichst gering ist. Im Folgenden werden diese Einflussgrößen auf die Wärmebilanz näher beschrieben.

¹⁰ vgl. Mach Thomas (2008), S 17

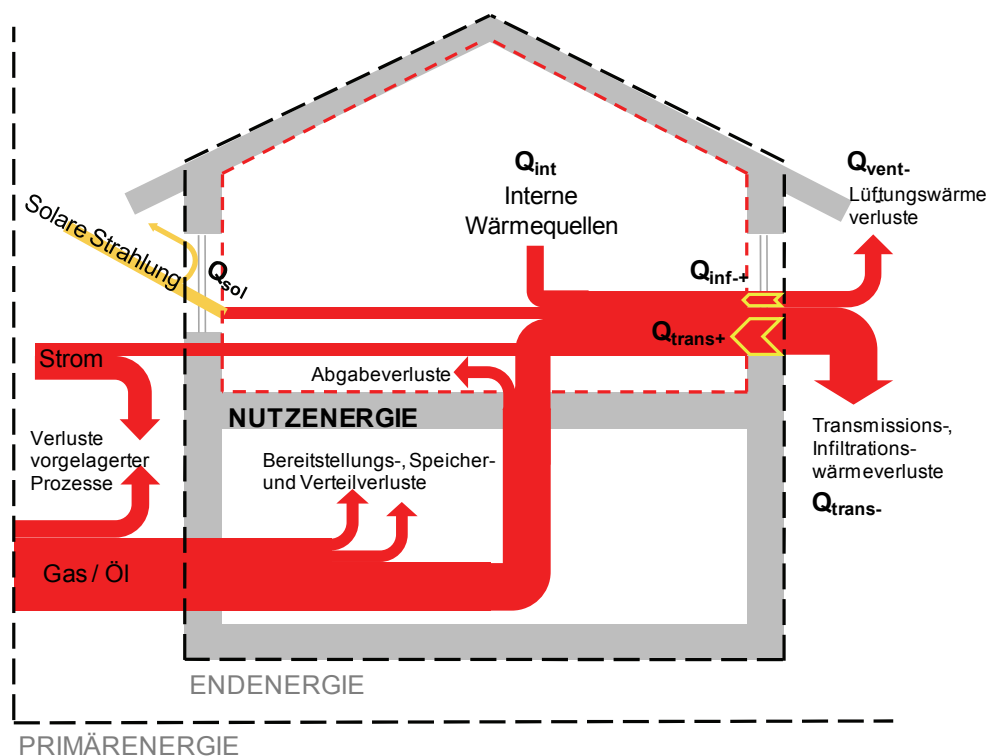


Abbildung 5: Wärmegewinne und -verluste in einem Gebäude

2.1.1 Transmissionswärme

Transmissionswärmeverluste und auch -gewinne entstehen durch Leitung des Wärmestroms durch die Bauteile der Gebäudehülle. Die bedeutendsten Einflussfaktoren dabei sind:

- die Gebäudegeometrie (A/V-Verhältnis),
- die Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) der Außenbauteile der Gebäudehülle sowie
- die Temperaturdifferenz (ΔT) zwischen Innen- und Außenluft.

Der durch Transmission verursachte Wärmeverlust stellt in den meisten Fällen einen großen Anteil des gesamten Wärmeverlustes eines Gebäudes dar und lässt sich mit wärmedämmenden Maßnahmen erheblich reduzieren.

2.1.2 Ventilations- und Infiltrationswärme

Ventilationswärmeverluste und -gewinne entstehen durch den Austausch der Innenraumluft eines Gebäudes mit der Umgebungsluft. Dieser Luftwechsel entsteht Großteils in erwünschter Weise aus hygienischen Gründen (Beseitigung von Luftschadstoffen und Gerüchen, Begrenzung des CO_2 -Gehalts der Innenluft, usw.) durch Fensterlüftung. Im Falle eines unerwünschten Luftwechsels durch Fugen von nicht dicht schließenden Fenstern und Türen oder Materialien in der Gebäudehülle spricht man von Infiltrationswärmeverlusten bzw. -gewinnen.

2.1.3 Solare Einstrahlung

Die auf die Oberfläche der Gebäudehülle auftreffende solare Einstrahlung wird von transparenten Teilen der Gebäudehülle (Glasflächen, transparente Wärmedämmung usw.) teilweise reflektiert, absorbiert oder transmittiert. Letztere, also die hindurch gelassene Strahlung, wird im Gebäudeinneren als Wärme wirksam. Aus diesem Grund wird die Bilanzgruppe der solaren Einstrahlung als reiner Gewinn verbucht, was vor allem in den Sommermonaten zu einer erheblichen Überhitzung beitragen kann.

2.1.4 Interne Einträge

Durch die Wärmeabgabe von Menschen und technischen Geräten entstehen innere Einträge im Gebäude. Sie sind unvermeidlich, hängen allerdings sehr stark vom individuellen Nutzerverhalten sowie der allgemeinen Nutzung des Gebäudes ab und können mit relativ einfachen Mitteln verringert werden.

2.2 Energieeffizienzmaßnahmen

Die Umsetzung zur Steigerung der Energieeffizienz im Gebäudebereich kann einerseits durch

- **anlagen- und gerätetechnische Sanierungsmaßnahmen** (Haustechnik, Haushaltsgeräte, Beleuchtung) oder durch
- **thermische Sanierungsmaßnahmen an der Gebäudehülle** erfolgen.

2.2.1 Das Energiesystem

In einem durchschnittlichen Haushalt werden rund 80 % der Endenergie für die Raumheizung aufgebracht (siehe Abbildung 6). Je 10 % der Endenergie betragen die Anteile für die Warmwassererwärmung sowie elektrische Geräte (8 %) und Beleuchtung (2 %).

Da die Raumwärme und das Warmwasser in der Regel vom Heizsystem bereitgestellt werden, ist dieses für 90 % der Endenergieaufbringung im Haushalt zuständig. Ein effizientes Heizsystem kann somit erheblich zur Energieeinsparung beitragen.

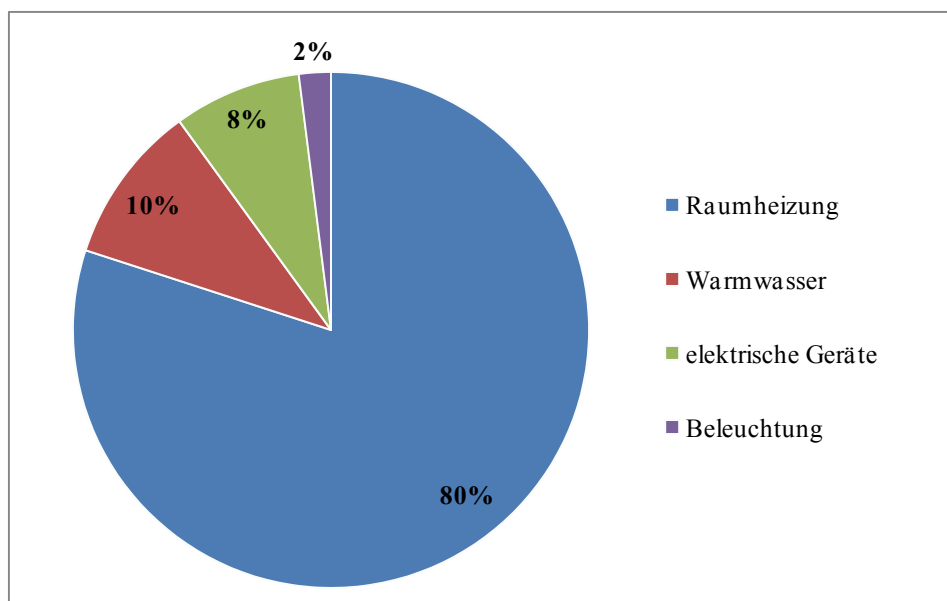


Abbildung 6: Endenergieverbrauch im Haushalt¹¹

2.2.2 Die Gebäudehülle

Unter den Begriff der Gebäudehülle fallen alle Bauteile eines Gebäudes, die dieses nach außen hin abschließen und somit die beheizten gegen die unbeheizten Räume trennen. Die Gebäudehülle lässt sich gliedern in:

- opake Bauteile und
- transparente Bauteile.

Bei opaken Bauteilen, wie Außenwänden, Decken, Böden und Dächern treten die höchsten Transmissionswärmeverluste aber auch -gewinne durch (solare) Wärmestrahlung auf. Die einfachste Form der Reduzierung von Wärmeverlusten opaker Bauteile ist die Wärmedämmung. Die transparenten Bauteile wie Fenster, Fenstertüren und Verglasungen im Allgemeinen sind einerseits für den größten Anteil der Ventilations- und Infiltrationswärmeverluste verantwortlich, andererseits treten durch diese Bauteile ebenfalls hohe solare Gewinne auf. Neben der Vermeidung der Wärmeverluste durch thermisch bessere Verglasungen und Rahmenmaterialien ist auch die sommerliche Überhitzung zu beachten.

¹¹ Quelle: Wordtmann Birgit (2008)

3 Demonstrationsbeispiel: Die Sanierung eines Einfamilienhauses

Um die Potenziale von Einfamilienhäusern auch quantitativ aufzuzeigen, befasst sich dieser Abschnitt mit einem realen Sanierungsfall.¹² Hierfür wird von einem Altbau aus der Errichtungsperiode 1961-1980 ausgegangen und zunächst der thermische und energetische Gebäudebestand erhoben. Anschließend werden Sanierungsmaßnahmen zur Verbesserung der energetischen Situation gegenübergestellt und bewertet.

3.1 Bestandsaufnahme

Bei dem betrachteten Demonstrationsbeispiel handelt es sich um ein Einfamilienhaus mit rechteckigem Grundriss. Das Gebäude ist unterkellert und wird von einem Satteldach (mit nicht ausgebautem Dachgeschoß) überdeckt.

Als Energiebezugsfläche ist nur das beheizte Erdgeschoß zu betrachten und es ergeben sich aus thermischer Sicht als wesentliche Gebäudeteile die den Energiebezugsraum umschließen:

- die Außenwände,
- die Außenfenster und -türen,
- die Geschoßdecke zwischen Kellergeschoß und Erdgeschoß und
- die oberste Geschoßdecke zu unbeheiztem Dachgeschoß.

Sämtliche Gebäudeaußenteile sind nicht gedämmt.

3.2 Die Gebäudehülle

Zur Beurteilung des thermischen und energetischen Gebäudezustandes wurde ein Energiebedarfsausweis mit der Version 7.0 des Berechnungsprogrammes „ArchiPhysik“¹³ gemäß OIB-Richtlinie 6¹⁴ entsprechend der Richtlinie 2002/91/EG¹⁵ erstellt. Die daraus ermittelten Kennzahlen sind Tabelle 1 zu entnehmen. Dieser selbst für ein Bestandsgebäude relativ hohe HWB ist bedingt durch die ungünstige Gebäudekompaktheit sowie die – aus thermischer Sicht – minderwertige Ausführung der Gebäudeaußenteile und ein geringes Maß an internen und solaren Wärmegewinnen (aufgrund eines niedrigen Fensterflächenanteiles der Südfassade).

¹² Baumgartner Georg (2009)

¹³ A-Null (2008)

¹⁴ OIB (2007b)

¹⁵ Europäisches Parlament (2002)

Tabelle 1: Kennzahlen aus dem Energieausweis des Bestandsgebäudes

WÄRME- UND ENERGIEBEDARF	
Heizwärmebedarf (HWB):	330 kWh/m ² a
Warmwasserwärmebedarf (WWWB):	13 kWh/m ² a
Heiztechnikenergiebedarf (HTEB):	110 kWh/m ² a
Endenergiebedarf (EEB):	453 kWh/m ² a

Die hohen Verluste des Heiztechniksystems sind einerseits durch die nicht konditionierte Lage des Heizkessels und Warmwasserspeichers (im nicht beheizten Kellerraum) sowie Wirkungsgradverluste aufgrund einer Überdimensionierung und der bereits über 20jährigen Betriebszeit des Öl-Holz-Kombinationskessels erklärbar.

Der für den Energiebedarfsausweis ermittelte Heizwärmebedarf ist ein theoretischer Wert über die Beurteilung des technischen und bauphysikalischen Gebäudezustandes. Er ist nicht aussagekräftig bezüglich des tatsächlichen Verbrauchs und kann daher in Abhängigkeit von Nutzerverhalten und variabler Heizintensität durch strenge oder milde Winter stark vom benötigten Verbrauch zur Deckung der Heizwärme und des Warmwassers abweichen.

3.3 Sanierungsziele und -maßnahmen

Erklärtes Ziel der Sanierungsmaßnahmen ist eine erhebliche Energieeinsparung. Der bestehende spezifische Heizwärmebedarf des Gebäudebestandes von 330 kWh/m²a entspricht der Kategorie G der Effizienzskala des Energieausweises und ist somit der schlechtesten Gebäudekategorie zuzuordnen. Das bestmögliche zu erreichende Ergebnis durch energetische Sanierung soll erzielt werden. Erstrebenswert ist die Energieeffizienzklasse B (< 50 kWh/m²a) lt. OIB-RL 6.

Hierfür lassen sich die möglichen Maßnahmen am Sanierungsobjekt in drei Gruppen einteilen:

- 1) Maßnahmen an der Gebäudehülle,
- 2) Maßnahmen am Energiesystem und
- 3) Maßnahmenkombinationen an der Gebäudehülle und dem Energiesystem

Die Gruppe der „Maßnahmen an der Gebäudehülle“ umfasst Sanierungsmaßnahmen an den wärmeübertragenden Bauteilen (Außenwand, Fenster, Geschoßdecken) und beinhaltet die Verbesserung der Wärmedämmung sowie der thermischen Qualität im Allgemeinen. Die „Maßnahmen am Energiesystem“ hingegen beschäftigen sich mit den technischen Anlagen zur Bereitstellung der Raumwärme und des Warmwassers und sehen den Tausch oder Ersatz des bestehenden Systems durch energetisch effizientere Systeme vor, jedoch ohne thermische Bestandsveränderung der Gebäudehülle. In der dritten Gruppe sind Kombinationen der effizienten Maßnahmen aus den beiden vorangegangenen Gruppen beinhaltet. Zusätzlich werden zwei Sanierungsmaßnahmen mit höheren Dämmstärken (Niedrigenergie-

hausstandard) und Einsatz von Wärmepumpe (Erdwärme) bzw. Wärmerückgewinnung betrachtet.¹⁶

3.4 Gegenüberstellung der Sanierungsmaßnahmen

Die soeben beschriebenen Sanierungsmaßnahmen werden in den folgenden Unterkapiteln gegenübergestellt und analysiert. Nach dem Vergleich der energetischen Einsparungen durch die Maßnahmen werden sowohl die Anschaffungskosten, als auch die laufenden Betriebskosten nach Durchführung der Maßnahmen betrachtet. Anschließend wird mit Hilfe der Amortisationsdauer sowie einer Kapitalwertrechnung die Effizienz der einzelnen Maßnahmen bewertet.

3.4.1 Energetischer Vergleich und Investitionskosten

Aus energetischer Sicht beeinflussen Maßnahmen an der Gebäudehülle nicht nur den Heizwärmebedarf (HWB), sondern bewirken auch Reduktionen des Endenergiebedarfs (EEB). Dies wird in Abbildung 7 besonders gut deutlich.

Während ein Fenstertausch sowohl den HWB als auch den EEB nur um rund 3 % senkt, wird durch das Dämmen der Decke zum unbeheizten Dachgeschoß die beste Einzelmaßnahme mit einer Energieeinsparung von bis zu 39 % (HWB: 38,8 %, EEB: 34 %) erzielt. Die energetische Sanierung der gesamten Gebäudehülle bewirkt sogar eine Reduktion des Heizwärmebedarfs um rund 80 % (EEB: 69,5 %). Wodurch das betrachtete Gebäude nun mit einem HWB von 67 kWh/m²a in die Gebäudeklasse C (unter 100 kWh/m²a) auf der 9-stufigen Effizienzklasse des Energieausweises einzustufen wäre.

Auch wird in dieser Abbildung sehr klar ersichtlich, dass Erneuerungen des Heizenergiesystems ohne Maßnahmen an der Gebäudehülle nicht effizient sind. Da der HWB die thermische Qualität der Gebäudehülle wieder gibt, bleibt dieser Wert bei den Maßnahmen am Energiesystem unverändert. Doch auch der EEB verringert sich durch neue Systeme nur geringfügig. Im Fall der Pelletsheizung steigt der Endenergiebedarf sogar um fast 1 % an. Dies ist durch den zusätzlichen Energieaufwand für die automatische Nachverbrennung und Selbstreinigung sowie die Kesselbeschickung mittels Förderschnecke erklärbar. Dieser höhere EEB rechtfertigt sich jedoch durch den erhöhten Komfortnutzen (kein manuelles Nachheizen notwendig) und den aktuell niedrigeren Pelletspreis im Vergleich zum Heizöl.

Einzig der Tausch des Kombinationskessels gegen eine Erdwärmepumpe erreicht eine Reduktion des Endenergiebedarfs von über 50 %, in Kombination mit einer thermischen Solaranlage zur Warmwasseraufbereitung sogar rund 57 %. Grundsätzlich sollten jedoch Verbesserungen an der Gebäudehülle zeitlich vor den haustechnischen Maßnahmen erfolgen, da der bauliche Standard entscheidend die Anforderungen an die Heizungs- und Lüftungstechnik beeinflusst.¹⁷ Die Problematik der Wärmeverluste durch die Gebäudehülle (hauptsächlich durch Transmission) bleibt sonst ungelöst und das Energiesystem muss diese durch den erhöhten Bedarf decken.

¹⁶ Anmerkung: detaillierte Inhalte der Sanierungsmaßnahmen siehe Baumgartner (2009).

¹⁷ Gabriel/Ladener (2008), S 170

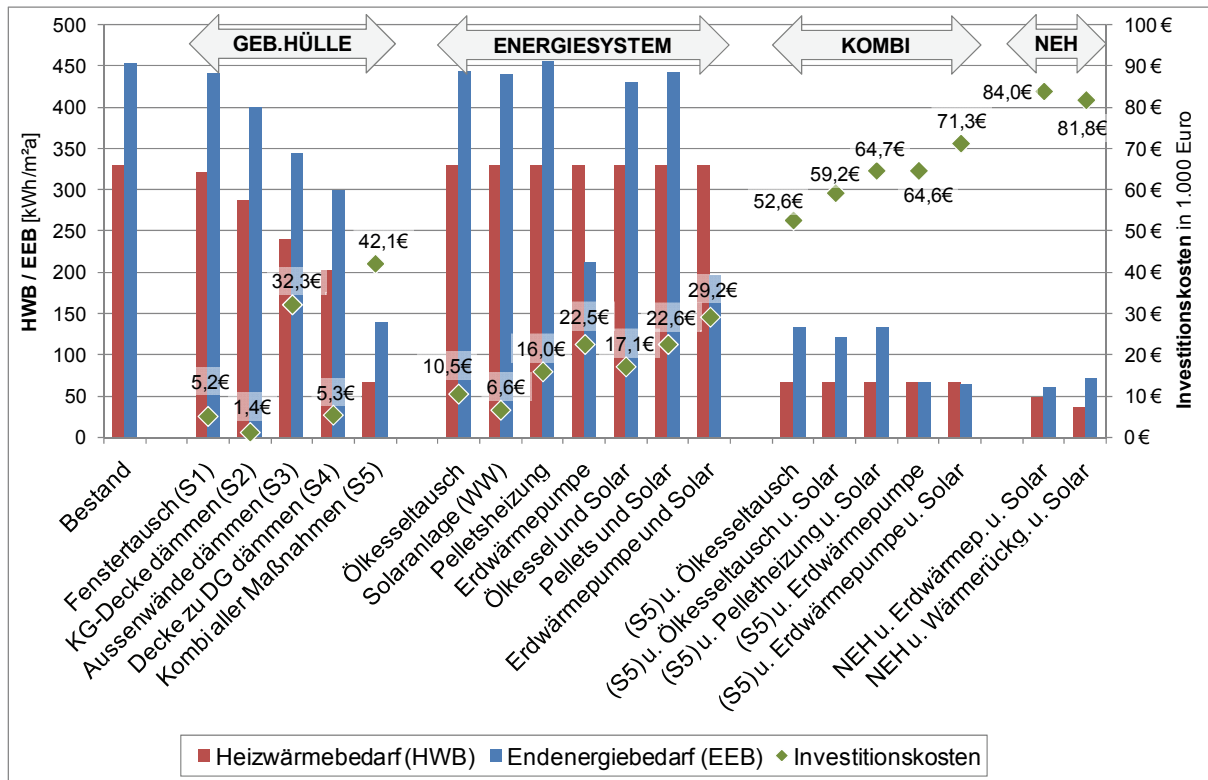


Abbildung 7: Gegenüberstellung von HWB, EEB und direkte Investitionskosten (ohne Förderung)¹⁸

Anhand der dritten Maßnahmengruppe wird der positive Effekt durch Kombination der Verbesserung an der Gebäudehülle mit Erneuerung des Energiesystems anschaulich. Da für die Dimensionierung der Leistung des Kessels der neue Heizwärmebedarf nach Sanierung (HWB: 76 kWh/m²a) entscheidend ist, kann auch ein verbesserter Endenergiebedarf erreicht werden. Dadurch wird selbst mit der Maßnahme des Kesseltauschs gegen einen neuen Ölkessel eine Reduktion des EEB von rund 70 % erzielt (besserer Wirkungsgrad des Kessels, effizientere Brennwerttechnik, geringere Kesselleistung). Als beste Maßnahmenkombination zeigt sich die Komplettisanierung der Gebäudehülle mit Tausch des alten Kessels gegen eine Wärmepumpe in Kombination mit einer thermischen Solaranlage. Dadurch wird für das Sanierungsobjekt eine Reduktion des Endenergiebedarfs von ca. 86 % erreicht.

Doch selbst hiermit wird das angestrebte Sanierungsziel, die Gebäudeklasse B des Energieausweises zu erreichen, nicht erfüllt da der HWB noch 67 kWh/m²a beträgt. Erst mit Hilfe der Dämmung der Gebäudehülle mit Niedrigenergie-Standard (NEH) und Einsatz einer Wärmepumpe (Erdwärme Sole/Wasser) bzw. mechanischen Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung in Kombination mit einer thermischen Solaranlage werden HWB-Werte unter 50 kWh/m²a erzielt (Variante mit Wärmepumpe; HWB von 48 kWh/m²a, Variante mit Wärmerückgewinnung HWB von 37 kWh/m²a).

¹⁸ Anmerkung: „Ölkesseltausch“ – mit Brennwerttechnologie. „Solaranlage (WW)“ – thermische Solarkollektoren zur Warmwassererwärmung. „Erdwärmepumpe“ – mit Sole/Wasser. „NEH“ – höhere Dämmstärken entsprechend Niedrigenergiehausstandard. „Wärmerückg.“ – mechanische Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung.

Die Entscheidung für oder gegen eine Sanierungsmaßnahme wird neben den energetischen Einsparungspotenzialen vor allem auch durch die Höhe der Anschaffungskosten beeinflusst. Deutlich kann man eine proportionale Beziehung zwischen Energiereduktion und Investitionskosten (grüne Diamanten in Abbildung 7) erkennen. Je mehr Energie eingespart werden soll, desto höher sind die Kosten der Sanierung. Auffallend positiv ist, dass die beste Einzelmaßnahme „Dämmung der Decke zum Dachgeschoß“ auch mit geringen Investitionskosten verbunden ist.

In der Gruppe der Kombinationsmaßnahmen (Gebäudehülle und Energiesystem) ist der Kesseltausch mit einem Ölkessel die günstigste Variante und die Wärmepumpe in Kombination mit einer thermischen Solaranlage am teuersten. Erwartungsgemäß sind die kostenintensivsten Maßnahmen jene mit Dämmung der Gebäudehülle auf NEH-Standard.

3.4.2 Vergleich der Betriebskosten

Durch die soeben dargestellten Reduktionen des Endenergiebedarfs ergeben sich jährliche Einsparungen der Kosten für die einzelnen Energieträger. Diese wurden unter der Annahme von Durchschnittspreisen je Energieträger gemäß Tabelle 2 für jede Sanierungsmaßnahme ermittelt.

Tabelle 2: Energieträgerbruttopreise (Stand: Dez. 2009)

Energieträger	Energiepreis [€/kWh]
Öl ^{a)}	0,0651
Pellets ^{b)}	0,0423
elektr. Strom ^{c)}	0,1700
Wärmepumpe	0,1370
Mechanische Lüftung mit WRG	0,1700

Quelle: ^{a)}Statistik Austria, ^{b)}proPellets Austria, ^{c)}e-control

Für die Berechnung der Energieträgerkosten der Wärmepumpe ist ein speziell ausgewiesener Stromtarif zu berücksichtigen. In Österreich wird der Strom für den Betrieb von Wärmepumpen von einigen Anbietern im Schnitt um rund 20 % günstiger angeboten¹⁹. Aus diesem Grund wird der Bezugspreis für die Wärmepumpe im vorliegenden Beispiel mit 0,137 €/kWh statt mit 0,17 €/kWh angenommen.

Das Bestandsgebäude verursacht aufgrund des theoretischen Endenergiebedarfs von 61.155 kWh/Jahr demnach jährliche Kosten für Raumheizung und Warmwasser von rund € 3.980 wenn Öl als einziger Energieträger herangezogen wird. Mit Hilfe der Komplettsanierung der Gebäudehülle (S5) reduziert sich dieser Bedarf um rund 70 %, was einer jährlichen Einsparung der Energiebezugskosten von € 2.778 entspricht (siehe Abbildung 8).

¹⁹ Vgl. beispielsweise: Linz Strom AG (2009), Preisblatt für Privatkunden

Sowohl der Ölkesseltausch als auch die thermische Solaranlage bewirken ohne Dämmmaßnahmen an der Gebäudehülle lediglich Kostenersparnisse von jährlich € 79 bzw. € 115. Besser präsentiert sich die Pelletsheizung. Trotz eines erhöhten Endenergiebedarfs spart diese aufgrund des niedrigeren Energiepreises mit € 1.377 jährlich immerhin rund 35 % der Energieträgerkosten.

Bei Kombination einer energetischen und thermischen Sanierung liegt die jährliche Energieträgerkosteneinsparung immerhin zwischen 63 und 81 %. Aufgrund des hohen Stromtarifs zeigt die Variante mit Wärmepumpe sogar ein etwas geringeres Einsparpotenzial als die Variante mit Ölheizung.

Auch erkennbar wird, dass der Standard mit höheren Dämmstärken (NEH) keine deutlich höheren Einsparungen der Energieträgerkosten bewirkt. Die Variante mit Wärmerückgewinnung liegt aufgrund des aktuell ungünstigen Strompreises sogar unter den Einsparungen aller Standard-Kombinationsmaßnahmen.

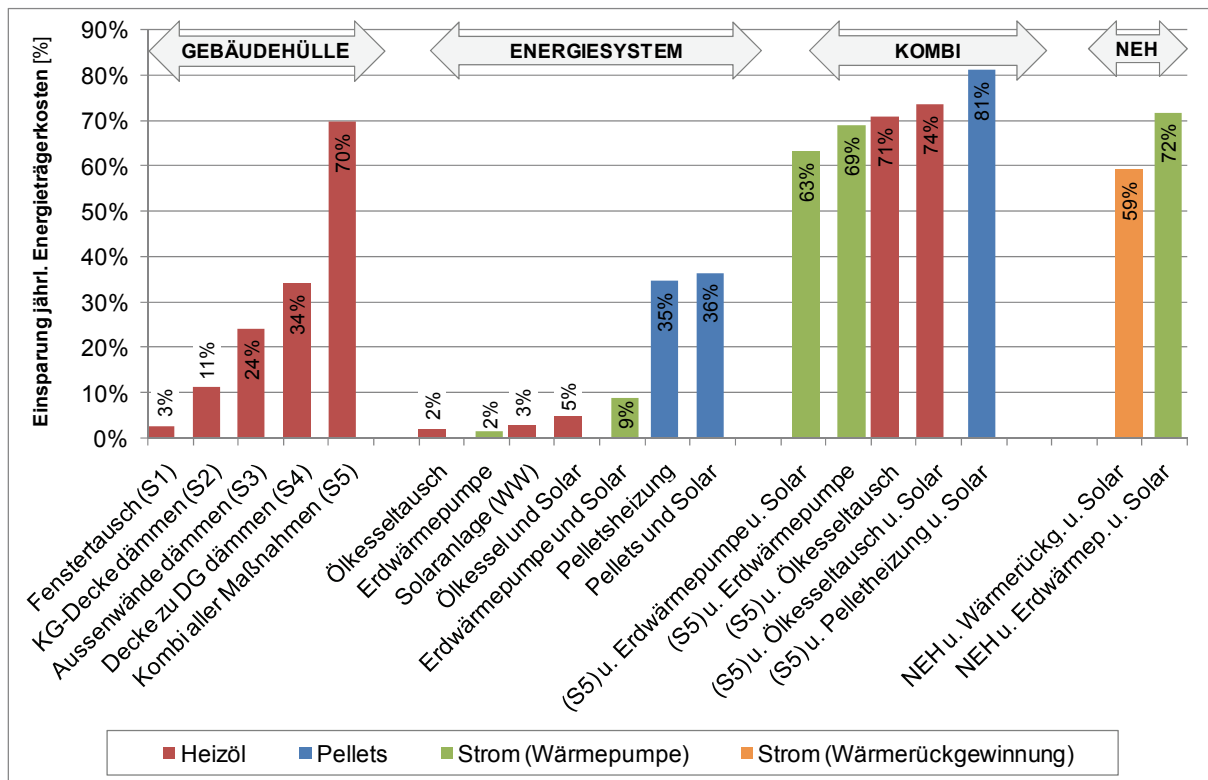


Abbildung 8: Gegenüberstellung der Betriebskosteneinsparung (im ersten Jahr)

In dieser Darstellung ist zu beachten, dass das Ergebnis stark von den gewählten Preisen für Energieträger abhängig ist. Diese unterliegen jährlichen, saisonalen und regionalen Schwankungen. Die beschriebenen Aussagen haben unter Annahme der Preise laut Tabelle 2 ihre Gültigkeit.

3.4.3 Vergleich der Wirtschaftlichkeit

Neben dem Vergleich der Investitionskosten und der jährlichen Betriebskosten der einzelnen Sanierungsmaßnahmen kann für die Beurteilung und Auswahl der Investitionsprojekte

ergänzend auch auf finanzmathematische Methoden zurückgegriffen werden. Hierfür werden zwei unterschiedliche Finanzierungs-Szenarien unterstellt und die dynamischen Amortisationszeiten²⁰ der Sanierungsmaßnahmen gegenübergestellt.

Im **ersten Szenario** wird angenommen, dass die bekannten Sanierungsmaßnahmen ohne Kredit (also rein mit Eigenmitteln) durchgeführt werden können und außerdem keine Förderung bezogen wird. Weiters wird von einer jährlichen nominellen Energiepreissteigerung von 4 % ausgegangen, eine jährliche Inflation von 2 % berücksichtigt und die Projektverzinsung mit 5 % angenommen.

Das **zweite Szenario** hingegen beinhaltet eine Finanzierung der Sanierungsmaßnahmen über einen Kredit (jährliche Verzinsung: 5 %, Laufzeit: 10 Jahre) mit Einbeziehung der steirischen Landesförderung für „kleine Sanierung“. Neben den Annuitätenzuschüssen auf das Darlehen sind auch Direktzuschüsse berücksichtigt. Die Annahmen zu Energiepreissteigerung, Inflation und Projektverzinsung sind dieselben wie unter „Szenario 1“. Dieses Szenario soll vor allem den positiven Effekt der Förderung verdeutlichen. Zum leichteren Verständnis dieser Vorgehensweise ist diese Ermittlung des Amortisationszeitpunktes für die Sanierungsmaßnahme in Abbildung 10 dargestellt.

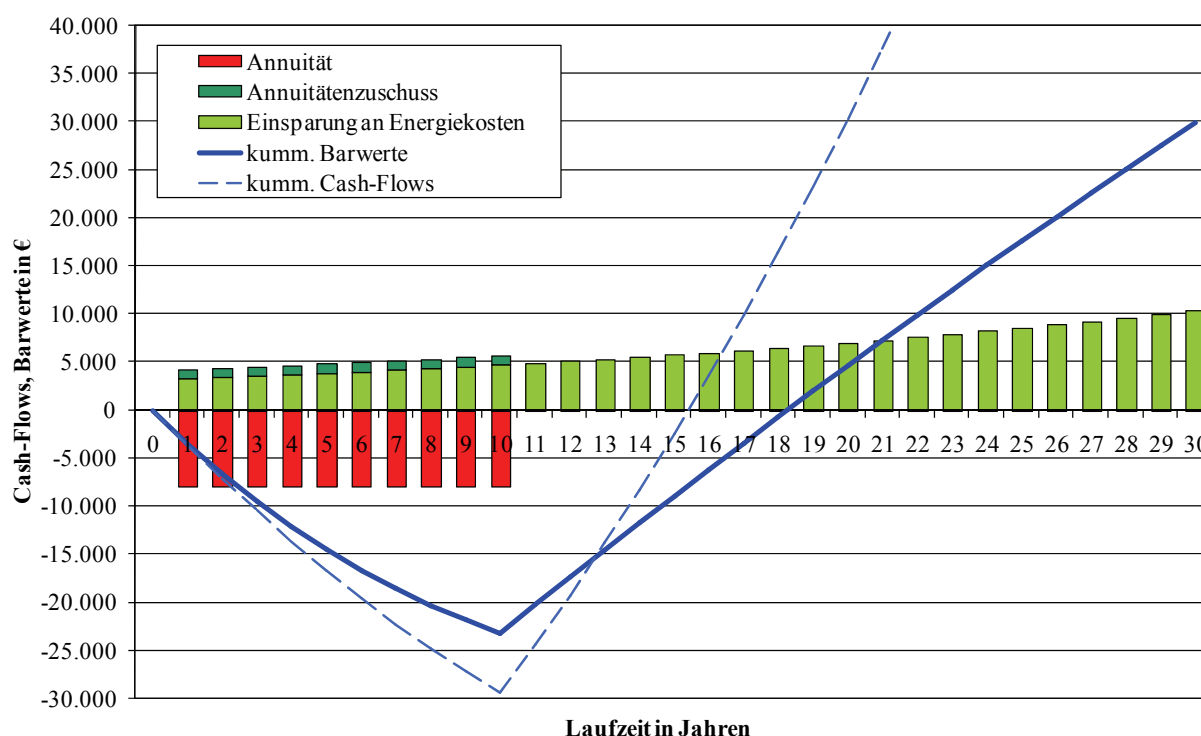


Abbildung 9: Dynamische Amortisation mit Fremdfinanzierung und Förderinanspruchnahme der Maßnahme „gesamte Gebäudehülle dämmen und Energieträgerwechsel auf Pelletsheizung mit Solaranlage“

Wie in Abbildung 10 deutlich wird, sind einige Maßnahmen am Energiesystem ohne thermische Sanierung der Gebäudehülle aus wirtschaftlicher Sicht absolut unvorteilhaft. Die Investitionen für Kesseltausch, Solaranlage und Wärmepumpe amortisieren sich erst weit

²⁰ Anmerkung: auf Basis der Barwertmethode

nach ihrer technischen Nutzungsdauer. Lediglich der Einbau einer Pelletsheizung führt bei dem Bestandsgebäude zu sinnvollen Amortisationszeiten.

Doch auch bei Sanierung der Gebäudehülle sind manche Einzelmaßnahmen im betrachteten Fall nicht unbedingt wirtschaftlich vorteilhaft (Fenstertausch, Außenwände dämmen), da sie sich nach Ablauf der Nutzungsdauer rechnen. Erst die thermische Sanierung der gesamten Gebäudehülle führt zu Amortisationszeiten unter der Hälfte der Nutzungsdauer.

Die Kombination der energetischen und thermischen Sanierungen zeigt für alle Maßnahmen ein sehr positives Ergebnis mit ähnlichen Amortisationszeiträumen vor Ablauf der Nutzungsdauer.

Die Sanierungsvarianten mit NEH-Standard schneiden im Vergleich mit dem konventionellen Standard etwas unvorteilhafter ab. Während die Variante mit Erdwärmepumpe sich im Bereich ihrer Nutzungsdauer amortisiert, rechnen sich die etwas geringeren Anschaffungskosten der mechanischen Wärmerückgewinnung aufgrund der höheren Betriebskosten erst 7-10 Jahre nach ihrer Nutzungsdauer.

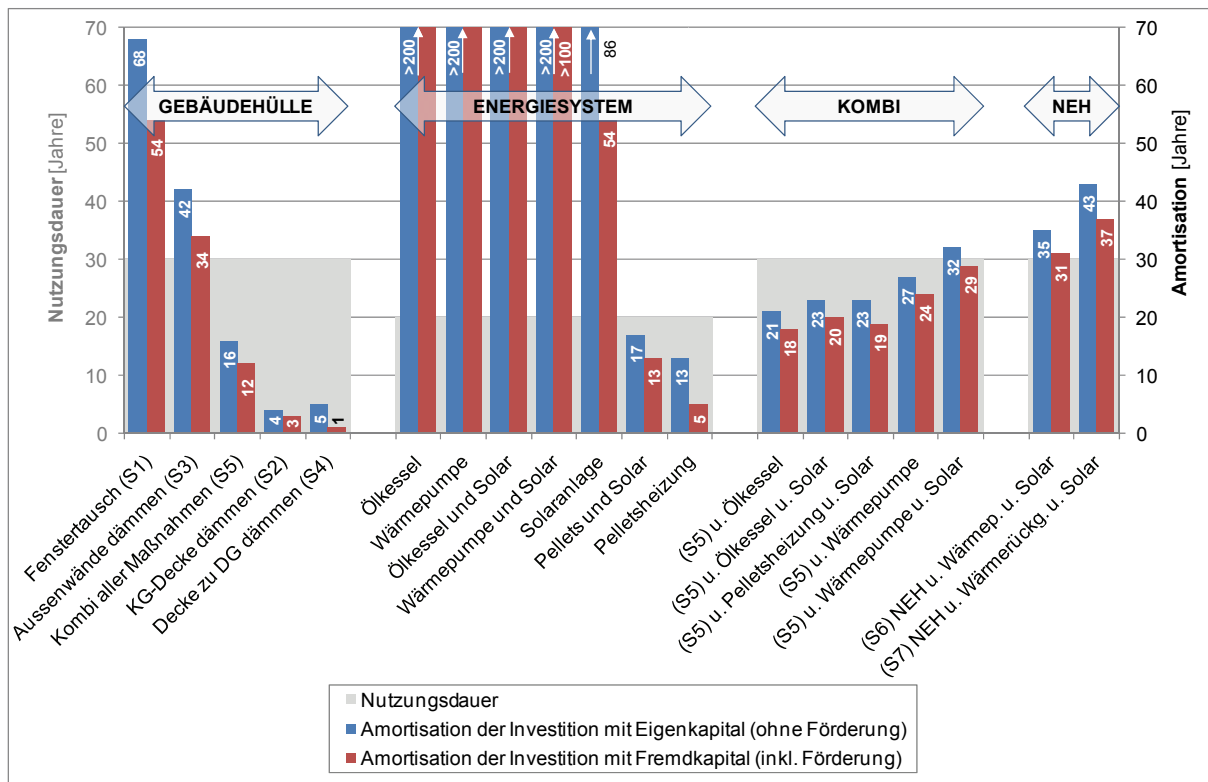


Abbildung 10: Gegenüberstellung der Amortisation der Sanierungsmaßnahmen

Generell zeigt sich ein positiver Effekt der Landesförderung. Durch die Annuitätzuschüsse (15 %) wird eine Verkürzung der Amortisationszeiträume von 3 - 4 Jahren erzielt. Für das Demonstrationsbeispiel ist die Inanspruchnahme der Förderung für „umfassende energetische Sanierung“ (entspr. 1. April 2009) nicht möglich, da die Voraussetzungen hinsichtlich HWB und A/V-Verhältnis nicht erfüllt werden. Jedoch lässt sich erahnen, welchen positiven Einfluss auf die Amortisation ein 30%iger Annuitätzuschuss in diesem Zusammenhang haben würde.

3.4.4 Einsparung an Treibhausemissionen

Die Reduktion des Endenergiebedarfs der Sanierungsmaßnahmen hat positive Auswirkungen auf den Ausstoß der CO₂-Emissionen des Wohngebäudes. Für die Gegenüberstellung der relevanten CO₂-Einsparungen werden für die verwendeten Energieträger folgende CO₂-äquivalente Werte angenommen:

- Heizöl: 0,2808 kg_{CO2}/kWh²¹
- Elektrischer Strom: 0,4453 kg_{CO2}/kWh²² (entsprechend UCTE-Mix 2008)

Da Biomasseheizungen als CO₂-neutrale Heizungssysteme betrachtet werden, kann im Falle einer Sanierung mit Kesseltausch durch Pelletsheizung der gesamte Emissionsausstoß des Bestandsgebäudes als Einsparung betrachtet werden. Aus diesem Grund zeigt diese Sanierungsvariante, wie in Abbildung 11 ersichtlich, mit über 17 t CO₂ pro Jahr die höchsten Einsparungen (grüne Balken). Wie auch gut ersichtlich wird, erzielt der reine Wechsel des Energiesystems von Öl auf Wärmepumpe mit rund 4 t CO₂ hohe jährliche Emissionseinsparungen, effizienter wirkt jedoch die Dämmung der kompletten Gebäudehülle mit 12 t CO₂. In Kombination mit der Gebäudehüllendämmung weisen daher alle Maßnahmen am Energiesystem mit 12-17 t CO₂ pro Jahr recht hohe Emissionseinsparungen auf.

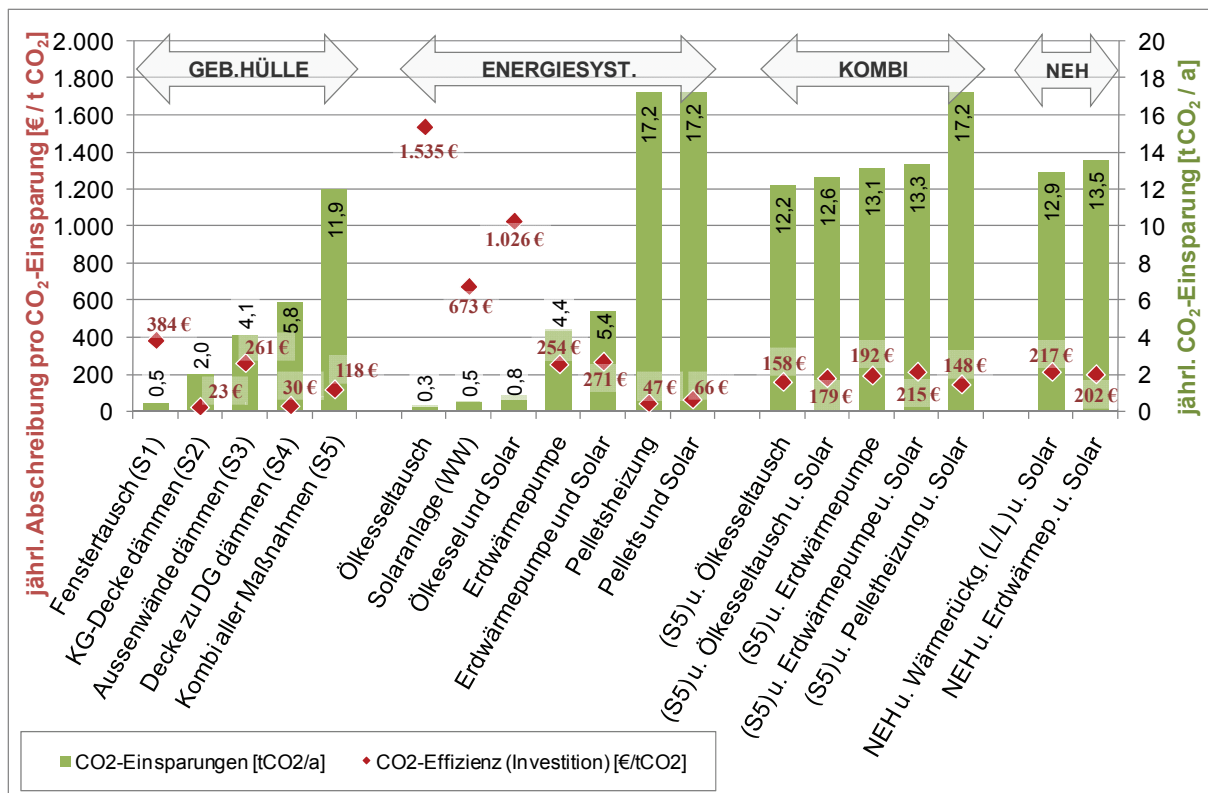


Abbildung 11: CO₂-Einsparungen und „CO₂-Effizienz“ der Investitionen

Die CO₂-Effizienz der Maßnahmen hinsichtlich ihrer Investitionshöhe, bezogen auf ihre Nutzungsdauer (Gebäudehülle: 30 Jahre, Energiesystem: 20 Jahre), ist in Abbildung 11

²¹ Umweltbundesamt (2009)

²² E-Control (2009)

ebenfalls dargestellt. Die Investitionshöhe der Ölheizung z.B. entspricht jährlichen Abschreibungen von ca. € 1.500 pro eingesparte Tonne CO₂. Die Pelletsheizung hingegen weist hierfür nur ca. € 47 pro Jahr und die Dämmungen der Geschoßdecken sogar nur 23-30 €/t_{CO2} auf.

4 Schlussbemerkungen

Für die Aufbringung der Raumheizung, Klimatisierung und des Warmwasserbedarfs der österreichischen Bestandsgebäude wird ein Drittel der gesamten Endenergie aufgewendet. Dieser Anteil lässt sich jedoch durch Optimierung der thermischen und energetischen Qualität der Altbauten erheblich reduzieren.

Mit einer Steigerung langjähriger mittleren Sanierungsrate auf 3 % würde sich der notwendige Heizwärmebedarf des österreichischen Gebäudebestandes im Jahr 2030 verglichen mit 2007 um bis zu 32 % reduzieren. Eines der wichtigsten Lenkungsinstrumente neben Information, Bewusstseinsbildung und Motivation von Eigenheimbesitzerinnen in diesem Zusammenhang ist die finanzielle Förderung von Sanierungsmaßnahmen.

Die Maßnahmen mit den höchsten Reduktionspotenzialen von Endenergiebedarf und CO₂-Emissionen betreffen thermische Sanierungen an der Gebäudehülle. Aus der Analyse des Demonstrationsbeispiels geht hervor, dass die Dämmungen der obersten Geschoßdecke und der Kellerdecke die effektivsten Sanierungsmaßnahmen bei Einfamilienhäusern sind. Die Kombination mehrerer Maßnahmen an der Gebäudehülle ergibt in Summe eine hohe Energieeinsparung bei immer noch sehr guten Amortisationszeiten. Sanierungsmaßnahmen am Energiesystem sind ohne vorhergehende thermische Maßnahmen an der Gebäudehülle nur wenig wirksam und sollten daher erst anschließend an eine thermische Sanierung erfolgen.

Der Vergleich der Wirtschaftlichkeit von Sanierungsmaßnahmen zeigt, dass bei einer Kombination aus thermischer Sanierung und Erneuerung des Energiesystems die Amortisationszeiten unabhängig vom Energieträger sehr ähnlich sind. Diese liegen meist unter ihrer technischen Nutzungsdauer und sind somit aus wirtschaftlicher Sicht als sinnvoll zu bewerten.

Das Ergebnis der Analyse wird naturgemäß von den Schwankungen der Endkundenpreise für unterschiedliche Energieträger beeinflusst. Generell kann jedoch eine Anreizwirkung für Sanierungsmaßnahmen durch die Steirische Wohnbauförderung festgestellt werden.

5 Literaturverzeichnis

A-Null (2008): Bausoftware GmbH, www.archiphysik.at, Stand 7.12.2008

Baumgartner Georg (2009): Diplomarbeit, Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz im Gebäudebereich, Institut für Elektrizitätswirtschaft und Energieinnovation, TU Graz

BMW (2007): 1. Energieeffizienz Aktionsplan der Republik Österreich, http://ec.europa.eu/energy/demand/legislation/doc/neeap/austria_de.pdf, Stand 27.01.2010

E-Control (2009): Herkunftsnachweis UCTE-Mix 2008, www.e-control.at, Stand 27.06.2009

Europäisches Parlament (2002): Richtlinie 2002/91/EG, http://eurlex.europa.eu/smartapi/cgi/sga_doc?smartapi!celexplus!prod!CELEXnumdoc&numdoc=32002L0091&lg=de, Stand 24.09.2008

Gabriel/Ladener (2008): Vom Altbau zum Niedrigenergie- und Passivhaus, 7. Auflage, ökobuch Verlag, Staufen bei Freiburg, 2008

Lackner Andreas (2008): Diplomarbeit, Energieeffizienz im Gebäudebereich-Rahmenbedingungen, Barrieren & Lösungsstrategien, Institut für Elektrizitätswirtschaft und Energieinnovation, TU Graz

Linz Strom AG (2009): Linz Strom GmbH, www.linzag.at; Stand: 27.01.2010

Mach Thomas (2008): Thermische Gebäudebewertung, Vortrag im Rahmen der 2. Internationalen Sommerakademie Nachhaltiges Bauen, Institut für Wärmetechnik, TU Graz

OIB (2007): Österreichisches Institut für Bautechnik, Richtlinie 6 über Energieeinsparung und Wärmeschutz, S 8

Statistik Austria (2001): Gebäude- und Wohnungszählung 2001, www.statistik.at, Stand 27.01.2010

Statistik Austria (2009): Statistische Jahrbuch, Kapitel Wohnungswesen, www.statistik.at, Stand 23.02.2009

Umweltbundesamt (2009): „Austrias National Inventory Report 2009“, Wien 2009

WIFO (2006): Innovative Klimastrategien für die österreichische Wirtschaft, Studie über Innovation und Klima, Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung, Wien, November 2006

Wordtmann Birgit (2009): Büro für energieeffizientes Bauen, www.wordtmann.com, Stand 05.01.2009