

DIPLOMARBEIT

ANALYSE DER EMISSIONSMINDERUNGSPOTENTIALE VON HEIZSYSTEMEN IM ÖSTERREICHISCHEN GEBÄUDEBESTAND

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines
Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

ao. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Reinhard Haas
und Dr. Lukas Kranzl

Institut für Elektrische Anlagen und Energiewirtschaft

Eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Physik

von

Franz Zach

0326158

Wien, im Juni 2008

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	6
Abstract	8
1 Einleitung.....	10
1.1 Motivation.....	10
1.2 Zentrale Fragestellungen.....	11
1.3 Gliederung der Arbeit.....	12
2 Technische Beschreibung der untersuchten Heizungssysteme	13
2.1 Gasheizungen	13
2.2 Ölheizungen	14
2.2.1 Verschiedene Ölsorten.....	15
2.3 Brennwerttechnik – Technologie zur Erhöhung des Wirkungsgrades.....	16
2.4 Feststoffbrennkessel	17
2.4.1 Herkömmliche Holzzentralheizung	17
2.4.2 Pelletsheizung	19
2.4.3 Hackschnitzelheizung	19
2.5 Fernwärme	21
2.6 Kompressionswärmepumpe	22
2.7 Solarthermie.....	26
3 Berechnete Emissionswerte und andere wichtige Größen.....	28
3.1 Treibhauseffekt – CO ₂ -Äquivalent – CO ₂ -Emissionen	28
3.2 Versauerungspotential – SO ₂ -Äquivalent.....	29
3.3 Ozonbildungspotential – TOPP-Äquivalent.....	30
3.4 Staub	31
3.5 Kumulierter Energieaufwand (KEA)	31
3.6 Jahresnutzungsgrad (JNG).....	32
3.7 Volllaststunden.....	33
3.8 Servicefaktor	34
4 Übersicht über Normen zu Heizungsanlagen und Brennstoffen	36
4.1 Normen zu Heizungsanlagen.....	36
4.1.1 Kessel allgemein	36
4.1.2 Feststoffbrennkessel	36
4.1.3 Gaskessel	36

4.1.4 Ölkessel	37
4.1.5 Wärmepumpen	37
4.2 Normen zu verwendeten Brennstoffen	38
4.2.1 Feste Brennstoffe allgemein	38
4.2.2 Holzpellets.....	38
4.2.3 Erdgas	39
4.2.4 Erdöl	39
4.4 Übersicht über Emissionsgrenzwerte	40
4.4.1 Prüfbedingungen und gemessene Größen bei der Abgasmessung	40
4.4.2 Tabellenübersicht über die wichtigsten Emissionsgrenzwerte und Überprüfungs- verordnungen für Kesselanlagen	42
5 Untersuchung des österreichischen Gebäudebestandes und der Heizungsstruktur sowie Ableitung zu untersuchender Heizsysteme	50
5.1 Einteilung des Gebäudebestandes – verwendete Abkürzungen	50
5.2 Heizungsarten nach Art der Wärmeverteilung	51
5.2.1 Auflistung der untersuchten Heizungs-systeme	53
5.2.2 Gesamtszenarien.....	55
5.3 Verteilung der Heizungs-systeme des Gebäudebestandes	55
5.3.1 Ein- und Zweifamilienhäuser.....	56
5.3.2 Häuser mit mehr als zwei Wohneinheiten.....	57
6 Methodik der Emissionsanalyse.....	58
6.1 Hauptziele	58
6.2 Methodik der Emissionsanalyse –kurze Einführung in GEMIS.....	58
7 Modellbildung für die GEMIS-Analyse	60
7.1 Auslegung des Heizungs-systems – Ermittlung der Heizlast eines Gebäudes.....	60
7.2 Berechnung des theoretischen Nutzenergiebedarfs	63
7.2.1 Transmissionswärmeverluste.....	63
7.2.2 Lüftungsverluste.....	67
7.2.3 Warmwasserbedarf.....	68
7.3 Heizungs- und nutzerspezifische Aspekte zur Modellbildung	69
7.3.1 Jahresnutzungsgrade.....	70
7.3.2 Servicefaktoren	74
7.3.3 Hilfsstrombedarf	80
7.3.4 Volllaststunden und Lebensdauer.....	83
7.4 Ermittlung des jährlichen Endenergiebedarfs.....	84

7.5 Hinweise für die Anwendung der gewählten Modellfälle auf ein existierendes Gebäude.....	85
7.6 Bemerkungen zu diversen Heizungssystemen.....	86
7.6.1 Luft-Wärmepumpe.....	86
7.6.2 Fernwärme.....	86
7.6.3 Dimensionierung der Solarunterstützung.....	88
7.6.4 Stromheizungen.....	92
7.6.5 Wahl des Strommixes.....	92
7.6.6 Ölheizungen.....	97
7.6.7 Holzheizungen.....	97
7.6.8 Staubemissionen von Holzheizungen.....	97
8 Ökologischer Vergleich der Heizungssysteme.....	99
8.2 Emissionsvergleiche für die gewählten Gebäudetypen.....	99
8.2.1 Zusammensetzung der Unsicherheitsbalken – Fehleranalyse.....	100
8.2.2 Diagramme der berechneten Emissionen.....	102
8.3 Schlussfolgerungen aus der Emissionsanalyse.....	118
8.4 Sensitivitätsanalyse der Emissionswerte auf Variation der Parameter Volllaststunden und Lebensdauer.....	122
9 Berechnung der österreichischen Emissionen aus Raumwärme- und Warmwassererzeugung sowie Analyse von Reduktionspotentialen.....	127
9.1 Abschätzung der gesamtösterreichischen Emissionen aus dem privaten Heizungs- und Warmwasserbedarf.....	127
9.2 Abschätzung der möglichen Emissionseinsparungen durch Umstieg auf modernere Heizungssysteme.....	130
9.2.1 OPT-Szenario.....	131
9.2.2 BAU-Szenario.....	135
9.3 Energie- und Emissionseinsparpotential durch thermische Sanierungen.....	140
10 Wirtschaftlichkeitsvergleich der Heizungssysteme im existierenden österreichischen Gebäudebestand.....	143
10.1 Einfamilienhaus mit einem Heizwärmebedarf von 140 kWh/m ² a.....	147
10.2 Kleines Mehrfamilienhaus mit einem Heizwärmebedarf von 225 kWh/m ² a.....	150
10.3 Großes Mehrfamilienhaus mit einem Heizwärmebedarf von 190 kWh/m ² a.....	153
11 Technische und nichttechnische Hindernisse bei der Verbreitung innovativer, energieeffizienter Heizungssysteme.....	158
11.1 Allgemeines.....	158
11.2 Wärmepumpen.....	158
11.3 Solaranlagen.....	159

11.4 Biomasseheizungen.....	160
11.5 Gas-Brennwertkessel	160
12 Maßnahmen zur Verbesserung von Heizungsinstallationen	161
13 Wichtigste Ergebnisse und Schlussfolgerungen.....	164
13.1 Ergebnisse aus der Analyse des theoretischen Nutzenergiebedarfs	164
13.2 Schlussfolgerungen aus der Emissionsanalyse.....	165
13.3 Ergebnisse aus der Analyse der Einsparpotentiale in Bezug auf den Gebäudebestand.....	168
13.4 Ergebnisse der Kostenanalyse.....	170
14 Literatur.....	172
Anhang	174
A.1 Gewählte Methodik für die Emissionsanalyse.....	174
A.2 Gewählte Prozesse in GEMIS	175
A.3 Monatliche Solarerträge einer großen Solaranlage (ein Drittel der Dachfläche).....	177
A.4 Unklarheiten in GEMIS.....	178
A.5 Angenommene Investitionskosten	180
A.6 Weitere Diagramme aus der Emissionsanalyse.....	182
A.6a CO ₂ -Äquivalente	182
A.6b SO ₂ -Äquivalente der Gesamtszenarien.....	187
A.6c TOPP-Äquivalente	190
A.6d Staub	193
A.7 Verwendete Fachbegriffe	196
A.8 Verwendete Abkürzungen	197

Kurzfassung

Die Diplomarbeit analysiert die ökologischen Aspekte von Heizungssystemen. Dabei wird auf den derzeitigen österreichischen Gebäudebestand und dessen Heizungsstruktur Bezug genommen. Die Motivation für diese Arbeit ist, Unterschiede zwischen Heizungssystemen bezüglich Treibhausgas- und Schadstoffausstoß aufzuzeigen und Möglichkeiten zu analysieren, wie diese Emissionen reduziert werden können.

Die zentralen Fragestellungen lauten:

- 1.) Wie hoch sind die Schadstoff- und Treibhausgasemissionen der für jede Gebäudeklasse vorherrschenden Heizungssysteme pro Jahr (und Nutzfläche)?
- 2.) Wie verändert sich die Emissionssituation, wenn in einem Gebäude innovative Heizungssysteme implementiert werden?
- 3.) Wie hoch sind die Emissionen pro Jahr für Österreich, die aus Raumwärme und Warmwassererzeugung resultieren?
- 4.) Wie würde sich unter Zugrundelegung verschiedener anderer (erstrebenswerter) Verteilungen der Heizungssysteme im österreichischen Gebäudebestand die Emissionssituation verändern?

Die Emissionen werden mit dem Computerprogramm GEMIS berechnet. Dieses berücksichtigt auch die vorgelagerten Emissionen, und zwar sowohl jene, die beim Bau der Komponenten der Heizung als auch bei der Förderung des Brennstoffes anfallen.

Die wesentlichen Ergebnisse sind

- 1.) Kohleheizungen weisen die höchsten Emissionen auf.
- 2.) Gas ist umweltfreundlicher als Öl.
- 3.) Holz ist der ideale Brennstoff zur Bekämpfung des Klimawandels, aber in Bezug auf Staubemissionen benachteiligt.
- 4.) Der Vergleich mit Fernwärme ist kompliziert, da nicht klar ist, welche Emissionen eingerechnet werden müssen, v.a. die direkten Emissionen bei der Müllverbrennung. Generell sind die Emissionen eher niedrig.
- 5.) Wärmepumpen liegen in allen Belangen relativ gut, etwa auf dem Niveau von Gas-Brennwertheizungen. Jedoch sind die Emissionswerte bei schlecht gedämmten Häusern wegen der niedrigeren Arbeitszahl höher. Weiters hat die Wahl des Strommixes wesentlichen Einfluss und kann ebenfalls die Ergebnisse verschlechtern (z.B. bei Zugrundelegung des sog. Grenzkraftwerks).
- 6.) Unterstützende Solaranlagen reduzieren die Emissionen, jedoch ist ihr Deckungsgrad meist nicht sehr hoch und das Potential dadurch beschränkt.

Daraus können einige wünschenswerte Veränderungen formuliert werden:

- a.) Ölheizungen sind nach Möglichkeit durch Gas-, Fernwärme- oder moderne Holzheizungen zu ersetzen.
- b.) Die Zahl der Einzelöfen, besonders mit Feststoffen (v.a. Kohle) als Brennmaterial ist zu reduzieren.

c.) Solaranlagen, bevorzugt auch mit Heizungsunterstützung, sollten ebenfalls verstärkt implementiert werden.

Durch Annahme verschiedener Szenarien zur Heizungserneuerung und Gebäudesanierung können beachtliche Einsparpotentiale zur Verringerung aller Emissionsarten aufgezeigt werden. So könnten durch Verminderung der Zahl der Ölheizungen um ein Drittel, vermehrtem Einsatz von Fernwärme, den Einsatz von modernen Holzheizungen und Gas-Brennwertkesseln, tlw. mit Solarunterstützung und Verringerung des Einzelofenanteils die Treibhausgasemissionen um 17% und die Luftschadstoffemissionen um etwa 25 – 30 % reduziert werden. Die Umsetzung dieser Veränderungen im Heizungsbestand liegt jedoch vor allem in den Händen der Politik. Daraus folgt, dass mit Fördermaßnahmen zur Heizungserneuerung ein großer Beitrag zum Klimaschutz und zur Verbesserung der Luftqualität geleistet werden kann.

Ebenso wird ein kurzer wirtschaftlicher Vergleich zu einigen Heizungssystemen gegeben. Es ergibt sich jedoch, dass durch die Vielzahl unsicherer Parameter (Abschreibungsdauer, Energiepreisentwicklung, Zinssatz, Einbeziehung von Kosten wie Anschlussgebühr etc.) generelle Aussagen schwierig sind. Jedoch zeigt sich, dass Holzheizungen und Wärmepumpen eher höhere Investitionskosten benötigen, aber dafür im laufenden Betrieb etwas günstiger als Öl und Gas sind. Öl ist praktisch immer teurer als Gas.

Abstract

This diploma thesis mainly deals with the ecological aspects of heating systems, especially related to the Austrian buildings. The aim is to compare the emissions of greenhouse gases and air pollutants of different heating systems and showing potentials for reducing emissions by changing heating systems

The main questions are

- 1.) How high are the emissions of greenhouse gases and air pollutants for the different heating systems per year?
- 2.) How does the situation change if other (modern) heating systems are installed?
- 3.) How high are the yearly emissions in Austria caused by heating?
- 4.) How would this amount change if other (newer/better) heating systems are installed?

The emissions are calculated by the computer program called „GEMIS“. It also takes into account emissions which are produced during the production of the components of the heating system, refinement and transport of, e.g., oil.

The main results are:

- 1.) Heating systems with coal are problematic for the environment.
- 2.) Gas is better than oil.
- 3.) Wood is the best alternative in order to prevent us against climate change, but shows high emissions of smoke.
- 4.) It is hard to compare district heat with other heating systems, because it is not clear which emissions have to be related to the production of heat and which ones e.g. to waste burning.
- 5.) Heat pumps show quite low emissions, they roughly are on the same emission level as gas heating systems, but the results depend very much on the chosen electricity mix and on the COP (=coefficient of performance). The COP depends on the thermal quality of the walls – the better the higher is the COP.
- 6.) Solar systems reduce the emissions, but their potential is mostly too low to have a large influence on the whole emissions.

By creation of some scenarios regarding replacing old heating systems and renovating buildings (lowering thermal conductivity of the walls) potentials for reducing emissions can be calculated. By reducing the number of oil heatings by about one third, increased usage district heat, modernising wood and gas heatings, partially with auxiliary solar thermal systems and reduction of the number of furnaces the greenhouse gas emissions can be reduced by about 17% and the emissions of air pollutants by about 25 – 30%. Mainly politics can take influence on this issue.

As well as the ecological also the economical aspects are discussed. One result is that there are so many variables (development of energy prices, connection fees, length of period during which the heating system will be used, interest etc.) that it is not easy to say which one is the least expensive. It can be said that wood heatings and heat pumps need higher

capital costs but lower current costs in comparison to gas and oil. The costs of district heat are quite low, especially if a building shows poor thermal standards, is used the whole year and not only in parts.

1 Einleitung

1.1 Motivation

Die zentrale Motivation für diese Arbeit ist es, einen Beitrag dazu zu leisten, um einen vernünftigeren, d.h. in erster Linie sparsameren Umgang mit den vorhandenen Rohstoffressourcen zu finden. Einerseits ist dies notwendig, damit auch folgenden Generationen noch etwas z.B. von den Öl- und Gasbeständen übrigbleibt (Kohle ist nach derzeitigem Wissensstand nicht so knapp.), und andererseits, um den menschlichen Einfluss auf den Klimawandel, der mittlerweile unter den Wissenschaftlern einheitlich als Tatsache anerkannt wird, zumindest eindämmen zu können. Diese Erwärmung hat zahlreiche Konsequenzen, die zwar nicht in jedem Fall unbedingt negativ sein müssen, aber in der Mehrzahl sind sie es wohl. Als Beispiele, welche die Menschheit am stärksten betreffen, seien der Anstieg des Meeresspiegels, das häufigere Auftreten von Wetterextremen wie Wirbelstürmen, Überflutungen und bedingt durch stärkere Verdunstung auch von Dürreperioden, sowie vermehrte Brände und Vegetationsveränderungen, die zu Hungersnöten führen, genannt. Als Hauptverursacher werden stets der Verkehr, die Industrie und eben auch die Verbrennung zur Erzeugung von Wärme, sowohl zu Heiz- als auch zu Warmwasserzwecken erwähnt. Natürlich ist die Wärmeerzeugung zu Raumheizzwecken nur eine von vielen Ursachen für den Ausstoß von Treibhausgasen und damit für den Klimawandel. Die Tatsache, die aber gerade diesen Gesichtspunkt so interessant macht, ist, dass man ohne jeglichen Komfortverlust und wahrscheinlich sogar mit positiven Folgen für die Wirtschaft den Energieverbrauch in diesem Segment erheblich und nachhaltig senken kann. Das ist bei den anderen aufgezählten Beispielen vielleicht nicht in diesem Ausmaß zu erwarten. Einerseits ist es möglich, die Dämmung des Haus- und Wohnungsbestandes zu verbessern, um Verluste durch die Außenwände der Gebäude zu reduzieren, andererseits kann man bei der Heizung selbst ansetzen und auf effizientere Systeme umsteigen. Der erstgenannte Gesichtspunkt hilft auch in wärmeren Gegenden, den Energieeinsatz, also in diesem Fall den Stromverbrauch für Klimaanlage, zu senken. Bereits jetzt geraten die öffentlichen Stromnetze immer wieder an den Rand ihrer Belastbarkeit. In dieser Arbeit soll besonders die ökologische, aber auch die ökonomische Sinnhaftigkeit eines Heizungssystemwechsels erörtert werden.

1.2 Zentrale Fragestellungen

Die zentralen Fragestellungen dieser Arbeit sind:

- 1.) Wie hoch sind die Schadstoff- und Treibhausgasemissionen der für jede Gebäudeklasse vorherrschenden Heizungssysteme pro Jahr (und Nutzfläche)?
Hier soll speziell der sog. nicht-innovative Gebäudebestand untersucht werden, d.h. der Stand bis ca. 2000, wenngleich in den 90er-Jahren bereits erhebliche Verbesserungen bezüglich der thermischen Qualität zu registrieren sind, aber jedenfalls keine Niedrigenergie- und Passivhäuser im großen Stil.
- 2.) Wie verändert sich die Emissionssituation, wenn in einem Gebäude innovative Heizungssysteme implementiert werden? Dazu müssen zunächst Technologien ausgewählt werden. Darunter werden z.B. Wärmepumpen, Pelletskessel und Systeme mit Solarunterstützung fallen. Hier sind zwei Fälle zu unterscheiden:
Ziel dieser Fragestellung ist es, einerseits umweltbewussten Hausbesitzern bzw. Hausverwaltungen aufzuzeigen, wie ökologisch sinnvoll der Umstieg auf ein neues Heizungssystem ist. Andererseits soll durch Summation über alle Gebäude analysiert werden, wie sich ein groß angelegter Heizungstausch auf die österreichische Emissionsbilanz auswirken würde.
- 3.) Wie hoch sind die Emissionen pro Jahr für Österreich, die aus Raumwärme und Warmwassererzeugung resultieren?
Sinn dieser Berechnung ist es, einerseits die verwendeten Parameter für den Heizwärmebedarf mit anderen Berechnungsmethoden bzw. Quellen zu vergleichen und andererseits für Emissionsarten, für die der Wärmeerbereich nicht separat ausgewiesen wird, eine Zahl angeben zu können.
- 4.) Wie würde sich unter Zugrundelegung verschiedener anderer (erstrebenswerter) Verteilungen der Heizungssysteme im österreichischen Gebäudebestand die Emissionssituation verändern?
Diese Untersuchung soll der Politik eine Grundlage bzw. einen Denkanstoß dazu bieten, wie sich Fördermaßnahmen für Heizungstausch auf die Emissionsbilanz auswirken.
- 5.) Überblick über folgenden Themenkomplex: Wie unterscheiden sich ökologische von ökonomischen Aspekten, d.h. sind umweltfreundliche Heizungssysteme auch finanziell von Vorteil? Hier muss untersucht werden:
Wie hoch sind die Kosten der Installation einerseits und die laufenden Aufwendungen, d.h. in erster Linie die Preise für den zuzuführenden Energieträger?

1.3 Gliederung der Arbeit

Am Beginn soll ein technischer Überblick über die verschiedenen Heizungssysteme gegeben werden. Dabei soll die Funktionsweise von Öl- und Gaskessel, Feststoffbrennkesseln verschiedenster Art, Wärmepumpe, Fernwärmeheizung und von solarthermischen Anlagen besprochen werden. Dabei werden auch einige Begriffe genauer erklärt, die im Laufe der Arbeit verwendet werden.

Ebenfalls werden die berechneten Emissionsarten beschrieben.

Danach folgt ein Überblick über die in Österreich geltenden Normen, sowohl die Heizungsanlagen als auch das Brennmaterial betreffend.

Daran anschließend werden die verschiedenen Heizungssysteme nach ökologischen Gesichtspunkten verglichen. Dieses Kapitel kann wohl als das Kernstück der Diplomarbeit bezeichnet werden. Dabei ist es jedoch notwendig, nicht das Heizungssystem isoliert zu betrachten, sondern man muss auch die thermischen Eigenschaften und die Ausmaße des jeweiligen Gebäudes miteinbeziehen. Dazu muss daher zunächst einmal ein ausführlicher Überblick über die Wohnhausituation in Österreich gegeben werden, um sinnvolle Aussagen erhalten zu können. Außerdem müssen Werte für die Güte des durchschnittlichen Heizungssystems (Wirkungsgrade, Jahresnutzungsgrade) und das Benutzerverhalten beachtet werden. Dabei ist es unumgänglich, umfangreiches statistisches Material zu verwenden.

Anschließend werden die Emissionen auf gesamtösterreichischer Ebene berechnet. Mit Hilfe zweier Szenarien zum Heizungstausch werden Emissionsminderungspotentiale abgeschätzt. Es soll weiters ein ökonomischer Vergleich verschiedener Heizungssysteme für einige Modellfälle gegeben werden.

Außerdem sollen technische und nichttechnische Barrieren bei der Implementierung von Systemen untersucht werden, deren weitere Verbreitung aus der Sicht des Umweltschutzes wünschenswert wäre.

Schließlich sollen auch noch mögliche Verbesserungspotentiale bezüglich der Heizungssysteme erörtert werden, wobei es sich in erster Linie um Verbesserungen des Wirkungsgrades handeln wird.

2 Technische Beschreibung der untersuchten Heizungssysteme

In diesem Kapitel soll ein Überblick über den derzeitigen Stand der Technik auf dem Gebiet der verschiedenen gängigen Heizungssysteme erfolgen.

Es gibt zwei Unterscheidungsmerkmale bei Heizungssystemen, auf die eingegangen werden soll:

- 1.) Größe der Einheit (Haus, Wohnung, Zimmer), die von einem Heizgerät versorgt wird.
- 2.) Art des zugeführten Brennstoffes,

Nach dem ersten Gesichtspunkt kann man unterscheiden zwischen

- a) Zentralheizungsanlagen (ZH): Hier wird die Wärme zentral erzeugt und durch Leitungssysteme an den Ort des Verbrauchers weitergeleitet. Öl- und Gaskessel, Wärmepumpe, Holzzentralheizungen und unterstützende solarthermische Anlagen sind zu erwähnen. Die Fernwärmeheizung ist noch zentraler organisiert. Sie nimmt daher eine Sonderstellung ein.
- b) Etagenheizungen (ETH): Diese versorgen jeweils eine Wohneinheit. Die Gas-ETH ist die weitaus häufigste Variante.
- c) Einzelöfen (EO): In der „Hierarchie“ ganz unten folgen Holz-, Öl-, Gas- und Kohleeinzelöfen sowie Stromheizungen, wobei in letzteren die Wärme mittels eines ohmschen Widerstandes erzeugt wird. Diesen Formen ist gemein, dass sie die Wärme genau dort abgeben, wo sie aufgestellt sind.

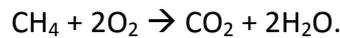
2.1 Gasheizungen

Im Wesentlichen gibt es bezüglich der Einheitengröße drei Möglichkeiten mit Erdgas zu heizen: Gaszentralheizung, Gasetagenheizung und Gaseinzelöfen.

Üblicherweise funktioniert ein Gaskessel folgendermaßen: Der Kessel ist an das öffentliche Gasnetz angeschlossen. Bei älteren Kesseln brennt die Zündflamme permanent, d.h. es wird ständig Gas verbrannt. Neuere Systeme besitzen eine elektronische Zündung. Hier fehlt die ständig brennende Zündflamme, was die Effizienz erhöht. Die Wärme wird meist an einen Sekundärkreislauf abgegeben, der mit Wasser gefüllt ist und von einer Pumpe angetrieben wird, die dafür sorgt, dass das warme Wasser dorthin gepumpt wird, wo es im Haus benötigt wird. Fällt die Wassertemperatur unter einen gewissen Wert, so wird die Gasdurchflussmenge erhöht, indem sich ein Ventil öffnet. Dies geschieht solange bis der Thermostat wieder schließt. In Gegenden ohne öffentliches Gasnetz kann auch Flüssiggas geliefert werden.

Chemisch betrachtet ist der Hauptbestandteil von Erdgas das Methan CH_4 . Es gehört zur Gruppe der Alkane und ist gleichzeitig ihr einfachster Vertreter. Alle Alkane besitzen die

Summenformel C_nH_{2n+2} mit $n \geq 1$. Für Methan gilt also $n = 1$. Die Verbrennung erfolgt unter Sauerstoffzufuhr:



Es muss also stets für eine ausreichende Frischluftzufuhr gesorgt werden. Es ist daher Vorschrift, dass der Raum, in dem sich der Gaskessel befindet, ein gewisses Volumen (Wien: 40 m^3) besitzt.

Ein Flammenwächter sorgt für die richtige Verbrennung. Dieser besteht z.B. aus einem Wolframstab, der die elektrische Leitfähigkeit des ionisierten Gases und somit die Temperatur misst.

Die größte Gefahr ist das Erlöschen der Zündflamme (bei älteren Modellen). Das Gas tritt in diesem Fall in den Raum aus. Ab einem gewissen Schwellenwert der Konzentration kann durch einen Funken (Zigarette, Lichtschalter) die gesamte Luft im Raum zünden. Im schlimmsten Fall ist eine schwere Explosion die Folge. Um Derartiges erkennen zu können, wird dem geruchlosen Methan ein Bitterstoff zugefügt, der für den typischen Gasgeruch sorgt.

Tritt Luft in das Rohrsystem des Sekundärkreislaufs ein, so sammelt sich diese (klarerweise) an den jeweiligen lokalen Maxima an und be- bzw. verhindert so die Zirkulation des Wassers. Dies führt dazu, dass die Leistungsfähigkeit abnimmt und ein größerer Anteil der Wärme nicht dort hinkommt, wo sie gebraucht wird, sondern direkt vom Kessel oder von den Verrohrungen abgegeben wird. Das vermindert natürlich die Effizienz des Heizungssystems: Der Energieverbrauch steigt, die zu beheizenden Räume werden kälter.

Im Prinzip funktioniert eine Gasetagenheizung gleich, jedoch sind die Nennleistungen hier im Normalfall geringer.

Ein andere Form der Beheizung mit Gas sind Gaskonvektoren, in denen das Gas in einem Einzelofen verbrannt wird und dort direkt die Wärme an die Umgebung abgibt. Weiters sind Durchlauferhitzer zu erwähnen, die aber nur zur Warmwassererzeugung eingesetzt werden. Besonders bei letztgenannten kommt es immer wieder vor, dass sich aufgrund mangelnder Sauerstoffzufuhr bei der Verbrennung CO , also Kohlenmonoxid, und nicht CO_2 bildet. Dieses Gas ist geruchlos, aber extrem giftig. So kommt es immer wieder zu tödlichen Unfällen.

2.2 Ölheizungen

Die Ölheizung ist die in Österreich am weitesten verbreitete Art der Raumwärmeerzeugung in Ein- und Zweifamilienhäusern.

Öl kann entweder mit Einzelöfen oder mit einer Zentralheizungsanlage zur Raumwärmeerzeugung genutzt werden.

Einzelöfen: Diese Geräte wärmen jeweils nur die Umgebung, in der sie aufgestellt sind. Sie besitzen einen sogenannten Verdunstungsbrenner [1]. Das Öl wird entweder händisch

mittels Kanne nachgegossen oder automatisch mittels Pumpe aus dem Tank in den Ofen befördert. Am Ofen befindet sich ein Ventil, mit dem die Ölzufuhr reguliert werden kann.

Eine Ölzentralheizung funktioniert folgendermaßen [1]: Das Öl wird elektrisch vorgewärmt und mit einem Gebläse sowie einer Dosierpumpe als Öl–Luft-Gemisch in den Brennraum befördert. Die Zündung erfolgt einmalig beim Einschalten des Ofens, danach läuft der Brennvorgang automatisch ab. Die Leistungsdichte ist hier größer als bei Einzelöfen. Ein Flammenwächter sorgt für die kontrollierte Verbrennung, indem er mittels UV-Photodioden die Temperatur der Flamme misst.

Chemisch gesehen ist Öl eine Mischung verschiedener Alkane, Alkene und Alkine. Es ist also verwandt mit Erdgas, dessen Hauptbestandteil Methan, das einfachste Alkan, darstellt. Die Moleküle bei Erdöl sind aber wesentlich schwerer (also längerkettig), sodass sie bei Raumtemperatur noch flüssig sind. Je länger die Moleküle im Durchschnitt sind, desto zähflüssiger wird das Öl und umso höher liegt der Siedepunkt.

Ein großes Umweltproblem ergibt sich aus dem Schwefelgehalt, der bereits aus dem Rohöl stammt. Bei der Verbrennung entsteht gemäß $S + O_2 \rightarrow SO_2$ giftiges Schwefeldioxid. Es bildet mit Wasser schwefelige Säure H_2SO_3 bzw. bei weiterer Oxidation H_2SO_4 , Schwefelsäure, und trägt so zur Versauerung der Böden bei. Zudem unterliegt das Öl bei hohem Schwefelgehalt einem schnelleren Alterungsprozess und sorgt weiters für höhere Korrosionsanfälligkeit bei Systemkomponenten. Daher wird versucht, Erdöl zu entschwefeln. Seit 1. 7. 2003 existiert daher eine eigene schwefelarme Sorte.

2.2.1 Verschiedene Ölsorten

Während es bei Erdgas nur eine Art gibt, was auch durch das gemeinsame Gasnetz nicht anders möglich ist, existieren viele verschiedene Heizölsorten, die im Folgenden kurz verglichen werden sollen.

Grundsätzlich existieren folgende Sorten, aufsteigend nach ihrer Dichte [1]:

Heizöl EL (extraleicht)

Heizöl EL schwefelarm

Heizöl L (leicht)

Heizöl M (mittel)

Heizöl S (schwer)

Heizöl ES (extraschwer)

EL ist die für Raumheizzwecke am häufigsten eingesetzte Sorte (Standardheizöl). 60 % des Verbrauches entfällt auf Haushalte. S wird hauptsächlich in der Industrie eingesetzt.

Die Sorten L und M werden kaum noch verwendet.

Die ÖNORMen C 1108 und C 1109 befassen sich mit den Eigenschaften der verschiedenen Ölsorten.

Wesentliche Kenngrößen für Heizöl sind in untenstehender Tabelle zusammengefasst [1].

Tab. 2.1: Zusammenfassung der wichtigsten Eigenschaften einiger Heizölsorten [1]. H_i steht für den unteren Heizwert, früher H_u , d.h. die Verdunstungswärme des Abgases (Wasser) wird nicht mitgerechnet.

	EL	EL, S-arm	S
H_i , MJ/kg	42,6	42,6	39,8
Viskosität in 10^{-6} m ² /s (20°C)	6	6	>500
C-Gehalt in %	87	87	86,5
H-Gehalt in %	13	13	13,5
max. S-Gehalt in %	0,1	0,005	

1970 lag der maximal erlaubte Schwefelgehalt für EL noch bei 0,8 Massenprozent. Heizöl schwer besitzt eine weit höhere Viskosität und muss daher auf ca. 50°C erwärmt werden, bevor es gepumpt werden kann. Deswegen kommt es als Heizöl nicht in Betracht.

2.3 Brennwerttechnik – Technologie zur Erhöhung des Wirkungsgrades

Die Brennwerttechnik ist eine Technologie, die hilft, den Energieinhalt des Brennstoffes besser auszunützen.

Normalerweise wird die Wärme des entstehenden Wasserdampfes (setzt sich zusammen aus latenter Wärme in Form von Verdunstungs- bzw. Kondensationswärme und der thermischen Energie) nicht genutzt, sondern geht durch den Kamin verloren. Ein Öl- oder Gaskessel mit Brennwerttechnik besitzt einen zweiten Wärmetauscher, in dem das Wasser seine Kondensationswärme sowie thermische Energie an den Rücklauf, d.h. an das kühle Wasser, das vom Heizkörper zum Kessel zurückfließt, abgibt. Dadurch wird die Abgastemperatur herabgesetzt und die Vorlauftemperatur erhöht. Diese Tatsache erfordert zusätzlichen technischen Aufwand: Sinkt die Abgastemperatur unter den Taupunkt ab, so kondensiert Wasser, das dann Säuren und Salze enthält und somit die Bausubstanz, v.a. die des Rauchfangs, zerstören kann. Diesen Vorgang nennt man Versottung. Der Kamin wird daher mit einem Polypropenrohr ausgekleidet, an dem das Wasser zurückfließen und schließlich in den normalen Abwasserkanal abgeleitet werden kann und darf. (Der pH-Wert dieses Kondensats ist nur leicht sauer.)

Bei Gaskesseln bringt der Einsatz der Brennwerttechnik einen höheren Wirkungsgradgewinn mit sich, weil der Wasserstoffanteil im Methan, dem Hauptbestandteil von Erdgas, höher ist als in den längerkettigen Kohlenwasserstoffen des Erdöls. [1] beziffert den Anteil am gesamten Brennwert des zugeführten Trägers, der durch die Brennwerttechnik nutzbar

gemacht wird, mit 11 bzw. 6 %. In Abb. 2.1 ist eine Prinzipskizze dieses Verfahrens abgebildet.

Je niedriger das zu erreichende Temperaturniveau ist, desto effizienter wirkt die Brennwerttechnik.

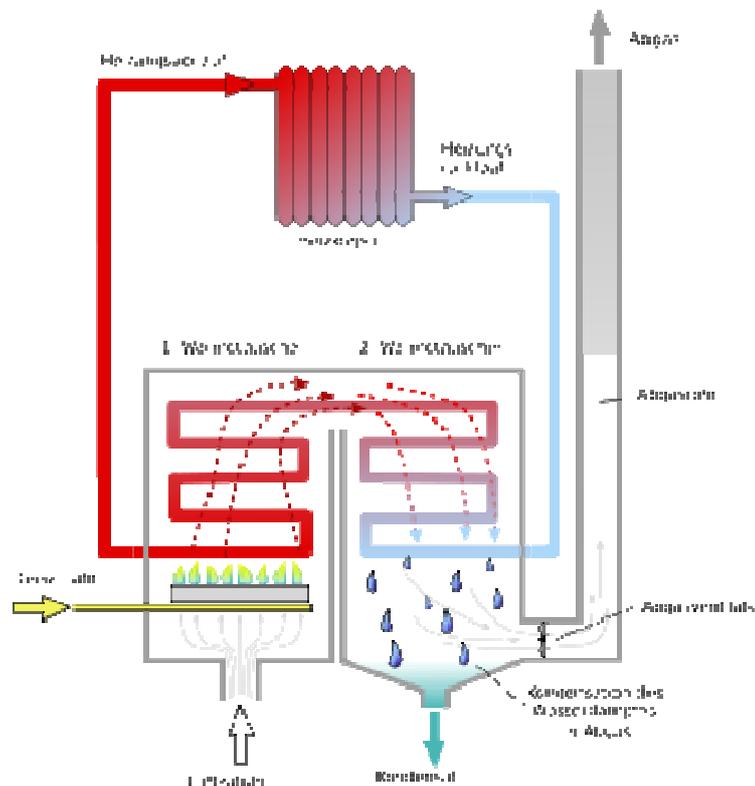


Abb. 2.1: Prinzipskizze eines Brennwertkessels [1]

2.4 Feststoffbrennkessel

2.4.1 Herkömmliche Holzcentralheizung

Die modernste und umweltfreundlichste Art Stückholz zur Wärmegewinnung zu verwenden, bietet der Holzvergaserkessel [1]. Er wird händisch beschickt und gibt seine Wärme daraufhin über mehrere Stunden verteilt ab. Ein automatisches Gebläse sorgt hier für eine optimale Luftzufuhr und somit für niedrige Emissionen. Wird der Kessel an einen Pufferspeicher (Wasser) angeschlossen, so kann der Zeitraum der Wärmeabgabe auf einige Tage ausgedehnt und die Heizleistung auch besser geregelt werden. Das Prinzip funktioniert folgendermaßen (siehe auch Abb. 2.2):

Der Kessel besitzt zwei Brennkammern. In der oberen liegt das Holz auf einer feuerfesten Keramikplatte. Von der Seite strömt, je nach Sauerstoffgehalt in der Kammer, mehr oder

weniger Luft ein. Zunächst wird das Holz durch die Befeuerung getrocknet. Anschließend werden die leicht brennbaren Gase im Holz verbrannt. Die Luft drückt die Gase, die teilweise noch unverbrannt sind, unter die Holzkohle in die untere Brennkammer, wo diese bei bis zu 1 100°C umgesetzt werden. Eine Rücklaufanhebung mischt dem Rücklauf heißes Wasser aus dem Vorlauf bei und sorgt so dafür, dass der Wasserdampf, der ja bei jeder Verbrennung in der Heizungstechnik entsteht, nicht am kalten Rücklauf kondensiert und so zu Korrosion führt. Alternativ dazu kann man die gesamte Anlage auch korrosionsfest auslegen. Außerdem ist eine thermische Ablaufsicherung vorgeschrieben, welche die Vorlauftemperatur begrenzt: Steigt diese knapp an 100°C heran, öffnet ein Absperrventil. Dadurch strömt Kaltwasser ein und die Temperatur des Wassers im Vorlauf sinkt, sodass die Gefahr einer Explosion nicht mehr gegeben ist.

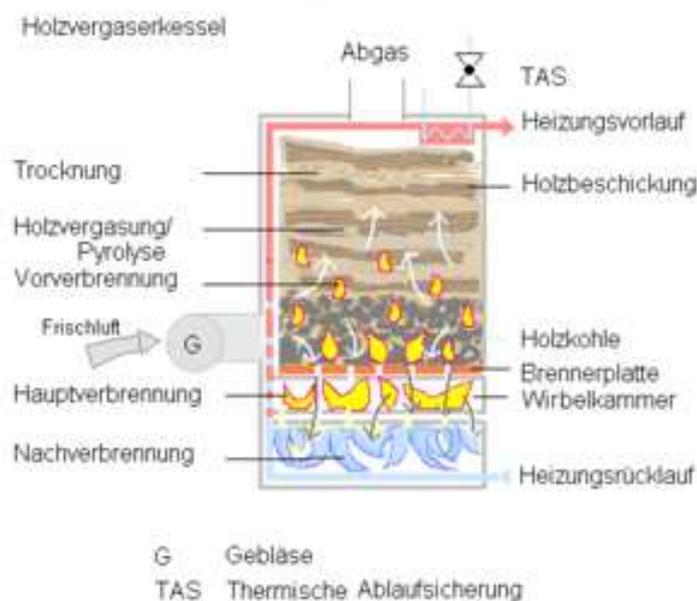


Abb. 2.2: Schema eines Holzvergaserkessels [1]

Früher war der Naturzugkessel weit verbreitet. Hier ist die Leistung durch Betätigung einer Klappe einstellbar. Die Verbrennung erfolgt jedoch unvollständig und führt zu hohen CO-Emissionen. Ein Pufferspeicher (mit Wasser als Wärmemedium) dient dazu, die während des Nachlegens von Holz anfallende hohe Energiemenge über mehrere Stunden oder sogar Tage abzugeben. Der Naturzugkessel weist deutlich höhere Emissionswerte als der Holzvergaserkessel auf.

Der Heizwert von Holz hängt stark vom Wassergehalt ab. Siehe dazu auch Abb. 2.3.

Frühere Kohleheizungen funktionierten im Prinzip ähnlich wie ein Naturzugkessel. Auch hier gibt es mittlerweile Modelle mit automatischer Beschickung. Es werden aber kaum noch Kohleheizungen eingebaut, sodass dieser Heizungstyp nur noch von untergeordnetem

Interesse ist. In die Emissionsanalyse wurde er der Vollständigkeit halber trotzdem aufgenommen.

2.4.2 Pelletsheizung

Eine neuere Form der Verbrennung von Holz ist die Pelletsheizung. Pellets werden aus Holzabfällen hergestellt, die z.B. in Sägewerken anfallen. Sie werden getrocknet und anschließend auf die richtige Größe gebracht. Dies geschieht in sog. Hammer- oder Schlagmühlen. Diese bestehen aus rotierenden Stahlhämmern, die in einem Metallgehäuse untergebracht sind. Ähnlich wie in einer Kartoffelpresse werden die Holzpellets durch eine Stahlmatrize, d.h. ein Stahlblech mit vielen runden Löchern, deren Durchmesser dem der entstehenden Pellets entspricht, gepresst. Währenddessen wird Lignin, ein holzeigenes Bindemittel (bewirkt die Verholzung von Zellen und ist für das Vergilben von Papier in Sonnenlicht verantwortlich) zugefügt. Hinter der Stahlmatrize werden die Pellets in regelmäßigen Abständen abgeschnitten und so auf relativ einheitliche Maße gebracht. Die Pellets unterliegen in Österreich der ÖNORM M 7135. Diese wird in Abschnitt 4.2.2 näher erläutert.

Ähnlich wie bei Holz ist auch bei den Pellets die Energiedichte geringer als bei Öl und Kohle. Im Gegensatz zu Öl sind jedoch keine Sicherheitseinrichtungen wie eine Auffangwanne einzubauen. Das größte Problem bei der Lagerung ist Feuchtigkeitseintritt.

Man unterscheidet (wie bei den meisten Brennstoffen) zwischen Pellets-Einzelöfen und Zentralheizungen. Erstere sind im Leistungsbereich unter 8 kW, letztere darüber angesiedelt. Bei Pelletskesseln gibt es mehrere Bauarten [1]: Bei der Unterschub- und Quereinschubfeuerung werden die Pellets mit einer Förderschnecke von unten bzw. von der Seite in die Brennkammer befördert. Die Asche fällt seitlich in einen Behälter hinunter.

Weiters existieren noch das Walzenrostsystem, wo die Pellets auf mehrere langsam rotierende Stahlscheiben mit kleinem Zwischenraum fallen, und die Fallschachtfeuerung, bei der die Pellets über eine Fallrinne in einen Brennertopf befördert werden.

2.4.3 Hackschnitzelheizung

Nach [1] funktioniert ein Hackschnitzelkessel ähnlich wie ein Pelletskessel. Nur die Beschickung ist aufgrund der Sperrigkeit des Heizmaterials komplizierter. Entweder man verwendet einen Schubboden oder eine hydraulische Presse, die das Material zerkleinern kann.

In [1] wird ein Vergleich der Heizwerte der verschiedenen Holzarten angestellt.

Bei Holz ist der Wasseranteil eine bestimmende Größe: Einerseits kann die Masse des im Holz enthaltenen Wassers natürlich nicht zur Wärmegewinnung verwendet werden,

andererseits benötigt das Verdampfen des Wassers Energie, die allerdings fast ausschließlich beim Kamin hinausgeht. Je trockener das Holz ist, desto höher ist also der Heizwert. Dieser Zusammenhang wird in Abb. 2.3 verdeutlicht.

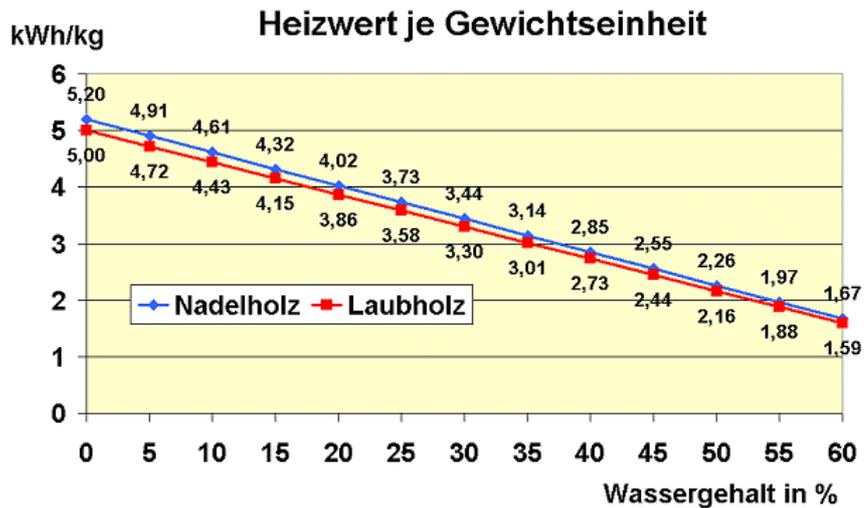


Abb. 2.3: Heizwert von Nadel- und Laubholz in Abhängigkeit des Wassergehaltes und der Holzart [1]. Da es aber viele verschiedene Holzsorten innerhalb dieser beiden Gruppen gibt, handelt es sich nur um Durchschnittswerte. So sind in der gleichen Quelle die Heizwerte für trockenes Holz an einer anderen Stelle mit 4,5 bzw. 4,2 kWh/kg anstatt 5,2 bzw. 5 kWh/kg beziffert.

Man erkennt, dass der Heizwert pro Masseneinheit bei Nadelholz geringfügig höher ist als bei Laubholz. Andererseits ist dessen Dichte aber um fast ein Drittel geringer, sodass Laubholz pro Raummeter wesentlich mehr Heizwert besitzt.

Der Vergleich mit Holzpellets soll anhand einer Tabelle gegeben werden.

Tab. 2.2: Vergleich der Heizwerte verschiedener Holzbrennstoffe ([1]/Brennholz). Die Zahlen gelten für luftgetrocknetes Holz und sind aufgrund der Vielfalt an Holzsorten als Richtwerte zu nehmen.

	Heizwert in kWh/kg	Dichte in kg/m ³	Heizwert in kWh/dm ³
Laubholz	4,2	460	1,93
Nadelholz	4,5	350	1,58
Pellets	5	650	3,25

2.5 Fernwärme

Der deutsche Bundesgerichtshof hat den Begriff „Fernwärme“ folgendermaßen definiert [1]: „Wird aus einer nicht im Eigentum des Gebäudeeigentümers stehenden Heizungsanlage von einem Dritten nach unternehmenswirtschaftlichen Gesichtspunkten eigenständig Wärme produziert und an andere geliefert, so handelt es sich um Fernwärme. Auf die Nähe der Anlage zu dem versorgenden Gebäude oder das Vorhandensein eines größeren Leitungsnetzes kommt es nicht an.“

Fernwärme ist die zentralste Form der Wärmeversorgung. Die Wärme wird hier in einer zentralen Einrichtung erzeugt und durch ein öffentliches Rohrleitungssystem dem Verbraucher zugeführt. Der Vorteil ist, dass man im Haus selbst keinen Lagerraum oder Kessel benötigt. Daher entfällt auch die Wartung dieser Komponenten. Als Nachteil, vor allem bezüglich der Umweltverträglichkeit bzw. Sparsamkeit mit Energieressourcen, ist zu nennen, dass sich die Kosten aus einem sehr hohen Fixbetrag, der sich aus der Wohnungsfläche ergibt, und einem vergleichsweise geringen verbrauchsabhängigen Anteil zusammensetzt. Dies führt zu einer gewissen Sorglosigkeit des Verbrauchers beim Einsatz der Wärmeenergie.

Die Produktion der Fernwärme ist regional sehr unterschiedlich. Zwei Prozesse sind besonders hervorzuheben:

Einerseits ist dies die Kraft–Wärme-Kopplung: Hier wird die Abwärme eines kalorischen Kraftwerks verwendet, die sonst nicht nutzbar wäre und in Form von warmem Abwasser in die Flüsse geleitet würde, was das dortige ökologische Gleichgewicht empfindlich beeinträchtigen kann. Die Fernwärme aus diesem Prozess ist also ein Nebenprodukt aus der Stromerzeugung.

Andererseits ist die Müllverbrennung ein wichtiger Bestandteil der Fernwärmeversorgung. Da ein Großteil des verwendeten Mülls ohnehin verbrannt werden muss, ist die Fernwärme auch hier nur eine Art Nebenprodukt.

Vor allem zu Spitzenzeiten müssen z.B. Gaskraftwerke zusätzlich in Betrieb genommen werden. Es handelt sich dann also um eine sehr groß dimensionierte Gaszentralheizung.

Im erwähnten Rohrleitungssystem zirkuliert heißes Wasser, das sich aufgrund der außerordentlich hohen Wärmekapazität sehr gut dafür eignet. Weitere Vorteile sind natürlich die Umweltverträglichkeit bei Austritt durch ein Leck, der geringe Preis und die hohe Verfügbarkeit. Früher waren auch wasserdampfgespeiste Rohrleitungen üblich, sind aber aufgrund des höheren Risikos kaum mehr gebräuchlich [1].

An der Schnittstelle zwischen Fernwärmenetz und Verbraucher befindet sich ein Wärmetauscher (Übergabestation). Das bedeutet, dass nicht das Warmwasser aus dem Fernwärmekreislauf bei der Wasserleitung des entsprechenden Haushaltes herausfließt und auch die Heizkörper nicht von diesem Wasser durchflossen werden. Dies ist lediglich in Ausnahmefällen (Großverbraucher) üblich.

Der Raumwärmebedarf wird meist mittels Verdunstungszähler an den Heizkörpern ermittelt. Dazu kommt (derzeit noch) jährlich ein Messtechniker in die Wohnung. Der Warmwasserverbrauch wird mit einem Durchflussmesser ermittelt.

2.6 Kompressionswärmepumpe

Die Kompressionswärmepumpe (im Folgenden kurz „Wärmepumpe“ genannt) ist eine Anlage, die mit Hilfe elektrischer Hilfsenergie Wärme vom kälteren zum wärmeren Ort transportieren kann. Man könnte sie auch als umgekehrte Kältemaschine bezeichnen, denn die Funktionsweisen von Kühlschrank und Wärmepumpe sind im Prinzip gleich. Der Unterschied liegt nur darin, dass bei der Wärmepumpe die warme und beim Kühlschrank die kalte Seite von Interesse ist. Im Prinzip ist auch die Wärmepumpe eine Stromheizung, allerdings wesentlich raffinierter und effizienter als die Stromdirektheizung: Sie benötigt ein Wärmereservoir, z.B. Erdreich, Wasser oder die Außenluft, und entzieht diesem Wärme. Das Funktionsprinzip beruht auf dem Carnotschen Kreisprozess und verläuft im Fall der Wärmepumpe folgendermaßen (siehe auch Abb. 2.4): Ein Kältemittel, das bei ca. 10°C siedet, zirkuliert in einem Rohrkreislauf. Auf der warmen Seite (1) kondensiert das Kältemittel und gibt damit sowohl die latente Wärme, die durch diesen Phasenübergang frei wird, als auch die Wärmeenergie, die durch die Temperaturdifferenz zwischen Kältemittel und Umgebung gegeben ist, an den Heizkreislauf ab. Dadurch kühlt es ab. Es gelangt weiter zu einem Drosselventil (2), welches das Medium durch Druckverringerung unter das Außentemperaturniveau abkühlt. Danach entnimmt es im Schritt (3) dem Wärmereservoir erneut Wärme und siedet dabei. Es nimmt somit nicht nur die Energie, die durch die spezifische Wärme des Kältemittels und den Temperaturunterschied zwischen entspanntem Kältemittel und Umgebung gegeben ist, sondern auch die latente Wärme des Phasenübergangs von flüssig auf gasförmig. Anschließend wird das Kältemittel in einem Kompressor verdichtet und dadurch erwärmt. Der Kreislauf beginnt von Neuem.

Die beschriebene Kompressionswärmepumpe ist der mit Abstand am weitesten verbreitete Typ. Es gibt aber auch noch andere Technologien. Dazu zählt u.a. die Absorptionswärmepumpe. Diese nützt zur Verdichtung die temperaturabhängige Löslichkeit des Kältemittels, z.B. Ammoniak, in einem Lösungsmittel, z.B. Wasser.

Die Adsorptionswärmepumpe macht sich hingegen die Anlagerung des Kältemittels an einen Feststoff zu Nutze. Diese beiden Formen haben jedoch in der Heizungstechnik kaum eine Bedeutung. Näheres hierzu findet sich z.B. in [1].

Weiters ist hier die Gaswärmepumpe zu erwähnen. Dies ist eine Kombination aus Kompressionswärmepumpe und Gaszentralheizung. Das Gas wird zunächst, wie in einem Gaskraftwerk, zur Erzeugung elektrischen Stromes verwendet. Die Abwärme wird wie bei einer gewöhnlichen Zentralheizung durch ein Wasserrohrleitungssystem durch das Haus gepumpt. Vorteil dieser Methode ist die optimale Ausnutzung des Energiegehaltes von

Erdgas. Nachteil ist, dass dieses System für das Leistungsspektrum, das für die Beheizung einzelner Häuser von Interesse ist, vor allem aus wirtschaftlicher Sicht nicht sinnvoll ist. In dieser Arbeit werden daher nur die Kompressionswärmepumpen analysiert.

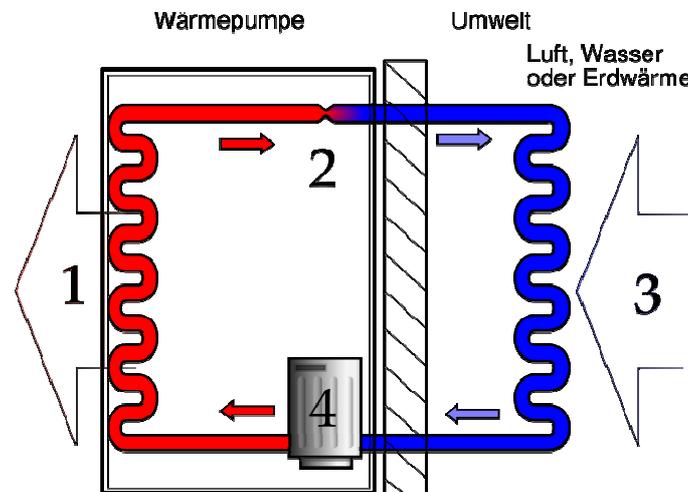


Abb. 2.4: Funktionsweise einer Kompressionswärmepumpe [1]. Erläuterungen siehe Text oberhalb.

Innerhalb der Kategorie „Kompressionswärmepumpe“ gibt es verschiedene Ausführungen. Einerseits kann zwischen Heizungssystemen unterschieden werden, die allein auf einer Wärmepumpe basieren, und solchen, die mit anderen Technologien verknüpft sind. Hier ergeben sich nach [2] drei verschiedene Kategorien:

Monovalente Anlage: Hier wird der Heizwärmebedarf des Gebäudes zu 100 % von der Wärmepumpe zur Verfügung gestellt. Von den Wärmequellen Wasser, Erdreich und Außenluft kommen hier eigentlich nur die ersten beiden in Betracht, da die Temperatur der Luft bei niedrigen Außentemperaturen stärker sinkt als jene tiefer liegender Erdschichten bzw. einigermaßen großer Wassermassen oder von Grundwasser. Die Auslegung einer Außenluftanlage müsste, um auch bei extrem tiefen Temperaturen allein die dann nötige Leistung liefern zu können, derart groß ausfallen, dass sich dies über die gesamte Lebensdauer der Anlage weder monetär noch energetisch rechnen würde.

Monoenergetische Anlage: Hier verwenden alle Komponenten, die Wärme bereitstellen, den gleichen Energieträger, im Fall der hier untersuchten Kompressionswärmepumpe ist das also elektrischer Strom. Dies ist dann sinnvoll, wenn die Spitzenlasten von der Wärmepumpe allein nicht gedeckt werden können, also bei niedrigen Außentemperaturen, wo auf der einen Seite der Bedarf an Heizleistung steigt und andererseits das Medium, aus dem die Anlage die Energie bezieht, auskühlt. In diesem Fall wird eine elektrische Zusatzheizung zugeschaltet, die typischerweise in den Heizungsvorlauf integriert ist. Im Normalbetrieb wird die Wärme allein von der Wärmepumpe bereitgestellt. Dieser Betriebsmodus ist v.a. bei Luft-WP üblich.

Bivalente Anlage: Hier besteht die Anlage zumindest aus zwei Wärmeerzeugern, die unterschiedliche Energiequellen nutzen. Beispiele sind eine Wärmepumpe kombiniert mit Gas- oder Ölkessel bzw. einer Pelletsheizung. Ungünstig wäre die Kombination mit Solarwärme allein, da diese bei kaltem Wetter ebenfalls weniger Leistung zur Verfügung stellt. Brennkessel mit fossilen oder biogenen Energieträgern sind hingegen in ihrer Leistungsfähigkeit unabhängig von Wettereinflüssen.

Andererseits kann zwischen den verschiedenen Wärmeträgermedien unterschieden werden. Als Wärmequelle stehen Wasser, Erdreich und Außenluft zur Verfügung. Auf der Wärmenutzungsseite, d.h. als Medium, das die Wärme innerhalb des Hauses mittels eines Rohrleitungssystem verteilt, sind Wasser und Luft mögliche Transportmittel. Dementsprechend lassen sich sechs verschiedene Kombinationen bilden. Für das Erdreich wird gerne der Begriff „Sole“ verwendet, sodass die Liste folgendermaßen aussieht:

Sole/Wasser-Wärmepumpe

Sole/Luft-Wärmepumpe

Wasser/Wasser-Wärmepumpe

Wasser/Luft-Wärmepumpe

Luft/Wasser-Wärmepumpe

Luft/Luft-Wärmepumpe

In der Fachnomenklatur wird für Wasser der Buchstabe W, für Luft A (wie engl.: air) und für Sole B (wie engl.: brine) verwendet. Weiters muss die Temperatur der Wärmequelle sowie jene des Heizungsvorlaufes angegeben werden [2].

Beispiel: In Mitteleuropa beträgt die Temperatur des Erdreiches in 3,8 m Tiefe ganzjährig zwischen 9 und 13°C mit einem Minimum Anfang Mai und einem Maximum Ende Oktober, somit durchschnittlich 11°C [3].

Eine typische Vorlauftemperatur für ein Fußboden- oder Wandflächenheizungssystem (empfehlenswert bei gedämmten Gebäuden) beträgt 35°C. Im Falle einer Wärmeverteilung im Haus mittels Wasserleitungen ergibt sich für dieses System die Bezeichnung „B 11 W 35“. Bei schlechter gedämmten Häusern ist diese Form der Beheizung allerdings nicht möglich. Hier müssen höhere Vorlauftemperaturen gewählt werden, was zu einer geringeren Effizienz führt.

Im Folgenden sollen kurz die Vor- und Nachteile der verschiedenen Wärmequellen erläutert werden:

Bezüglich der Zugänglichkeit muss klar festgestellt werden: Eine Luftwärmepumpe (Luft bezieht sich hier auf die Wärmequellenseite, die Wärmenutzungsseite ist von dieser Betrachtung unberührt.) ist mit den geringsten Aufwendungen zu installieren, außerdem steht Luft überall in ausreichendem Maße zur Verfügung. Allerdings ist die Außenluft den größten Temperaturschwankungen unterworfen. Dies bringt es mit sich, dass die Leistungszahl (siehe dazu im Folgenden) sinkt und oft eine Zusatzwärmequelle eingesetzt

werden muss. Es ergibt sich hier das gleiche Problem wie bei einer Solaranlage: Gerade dann, wenn die Heizleistung besonders groß sein sollte, also bei kaltem Wetter, sinkt die Leistungsfähigkeit des Systems ab.

Weiters existiert hier das Problem der Vereisung [8]: Ab etwa 7°C Außentemperatur setzt sich Wasser aus der Außenluft am Wärmetauscher ab, was natürlich die Leistungsfähigkeit der Anlage ebenfalls herabsetzt. Es muss daher zusätzlich Energie zur Enteisung eingerechnet werden. Dieser Anteil hat bei etwa 5°C mit 10 % sein Maximum.

Im Falle einer Solewärmepumpe gibt es bezüglich der Zugänglichkeit schon eher Probleme: Man muss Erde ausgraben, denn eine Anlage in 10 cm Tiefe ist ungefähr so effizient wie eine Luftwärmepumpe. Daraus ergibt sich, dass man eine solche Anlage am besten im Zuge eines größeren Umbaus oder am besten gleich bei der Errichtung mitplant. Sofern nicht genügend Fläche rund um das bebaute Areal zur Verfügung steht, können die Wärmetauscher auch senkrecht in die Erde gebohrt werden (Tiefensonde). Hier werden Wärmetauscher senkrecht in eine Tiefe von bis zu 120 Metern gebohrt. Diese Variante ist allerdings mit höheren Kosten verbunden.

Eine Wasserwärmepumpe kommt selbstverständlich nur dann in Frage, wenn in der Nähe ein größeres Wasservolumen zur Verfügung steht, z.B. Grundwasser oder ein See. Zusätzlich muss hier das ökologische Gleichgewicht Beachtung finden: Schließlich wird durch den Betrieb einer Wärmepumpe das Wärmequellenmedium ausgekühlt. Befinden sich in dem Gewässer Lebewesen, so könnten diese dadurch, z.B. auch durch zu starkes Zufrieren, Schaden erleiden. Die Wärmekapazität von Wasser ist jedoch von sämtlichen chemischen Verbindungen eine der höchsten.

Bei Benutzung der Wärme eines Sees tritt wiederum das gleiche Problem wie bei Luftwärmepumpen auf, dass die Leistung bei kaltem Wetter sinkt. Grundwasser ist davon nicht so stark betroffen. Jedoch muss hier die Genehmigung der Wasserrechtsbehörde eingeholt werden.

Eine wichtige Kenngröße für Wärmepumpen ist ihre Jahresarbeitszahl (JAZ). Diese ist definiert als Quotient aus über das Jahr gelieferter Nutzwärme und eingesetzter Primärenergie (hier: elektrischer Strom). Davon unterscheidet sich die Leistungszahl. Diese bezeichnet das Verhältnis aus Leistungsabgabe und -aufnahme bei Nennlast. Die entsprechenden Begriffe zu JAZ und Leistungszahl für andere Heizungssysteme sind Jahresnutzungsgrad und Wirkungsgrad (siehe Abschnitt 3.6). Für eine gewöhnliche Stromheizung gilt $JAZ = 1$. (Strahlungsverluste durch ungünstige Positionierung des Ofens sowie Regelungs- und Bereitschaftsverluste machen einen geringen Prozentsatz aus.) Daraus folgt, dass es für eine Wärmepumpe erforderlich ist, dass diese Zahl deutlich über 1 liegt, da sonst z.B. ein Heizstrahler oder eine Nachtspeicherheizung aufgrund der niedrigeren Installationsaufwendungen sowohl ökonomisch als auch ökologisch sinnvoller wären. Diese Bedingung wird im Allgemeinen auch erfüllt.

2.7 Solarthermie

Die passive Nutzung der Solarthermie ist in den Grundlagen bereits einige Jahrtausende alt. Bereits in der Antike wurde darauf geachtet, Häuser nach Möglichkeit so auszurichten, dass der solare Wärmeertrag erhöht wird. Dazu können große nach Süden gerichtete Fensterflächen oder wärmespeichernde Materialien dienen. Die aktive Nutzung ist jedoch erst in letzter Zeit entstanden:

Solarthermische Kollektoren nützen die Sonnenenergie direkt, d.h. sie absorbieren die auftreffende Strahlung und erzeugen dadurch Warmwasser. Diese Art der Sonnenenergienutzung ist klar von der bekannteren Photovoltaik abzugrenzen, die ausschließlich der Erzeugung elektrischen Stromes dient und nicht zur Heizungsversorgung.

Das Herzstück der thermischen Solaranlage ist der Absorber. Er besteht aus einem Material, das im UV- und sichtbaren Bereich sowie im nahen Infrarot, also im Wellenlängenbereich bis etwa $3\ \mu\text{m}$, einen Absorptionskoeffizienten nahe 1 besitzt und im restlichen Spektrum in etwa den Wert 0. Diese Forderung lässt sich wie folgt erklären: Nach dem Kirchhoffschen Strahlungsgesetz ist der Emissionskoeffizient E bei festgelegtem Material und fixer Wellenlänge gleich dem Absorptionskoeffizienten A . Das Sonnenlicht besteht zum Großteil aus Strahlungsenergie, die eine Wellenlänge kleiner als $3\ \mu\text{m}$ (entspricht einer Temperatur von etwa $950\ \text{K}$ oder 677°C) besitzt. Deshalb ist man daran interessiert, diese Energie möglichst komplett aufzunehmen. Der Kollektor erwärmt sich auf Temperaturen in der Größenordnung von $350\ \text{K}$, was einer Wellenlänge von etwas unter $10\ \mu\text{m}$ entspricht. Man ist also daran interessiert, dass diese Wärme nicht wieder emittiert wird. Da aber nun $A = E$ gilt, muss der Absorptionskoeffizient in etwa einer Theta-Funktion (mathematische Stufenfunktion) entsprechen, deren Wert unter $3\ \mu\text{m}$ den Wert 1 und darüber 0 hat. Es gibt eine Reihe von Materialien, welche diese Anforderungen relativ gut erfüllen.

Der prinzipielle Aufbau des meistverbreiteten Typs, des Flachkollektors, ist in Abb. 2.5 dargestellt. Die Sonnenstrahlen dringen durch eine Glasplatte zum Absorber, der dadurch erwärmt wird. Die Glasplatte hat folgende Anforderungen zu erfüllen: Sie soll mechanischen Beanspruchungen widerstehen und Wärmekonvektion unterbinden sowie die aufgrund von nicht idealen Eigenschaften des Absorbers (siehe Absorptions- und Emissionskoeffizient) emittierte Energie reflektieren. Es kommt so zu einem lokalen Treibhauseffekt. Unterhalb des Absorbers befinden sich zahlreiche Rohrschlangen aus Kupfer oder Aluminium, durch die Wasser mit Zusatzstoffen strömt. Dem Wasser wird in Gegenden mit Frostperioden laut [1] am besten ein Propenglykolanteil von 40 % beigemischt, da dann Frostschutz bis -23°C erreicht wird und darunter ein Frieren ohne Volumenzunahme erfolgt, wodurch eine Frostsprengung vermieden wird. Dies führt dann zwar zur zeitweiligen Funktionsunfähigkeit des Systems, aber ohne dauerhaften Schaden. Weil selbstverständlich die Wärme nicht nur nach unten gelangt, sondern in alle Richtungen abstrahlt, muss man die Absorber in ein Isolationsmaterial einbetten. Das Rohrleitungssystem liefert das warme Wasser dann mittels eines Pumpensystems an den Sekundärkreislauf. In Regionen ohne Frostgefahr kann dieser entfallen und das Trinkwasser direkt vom Absorber erwärmt werden.

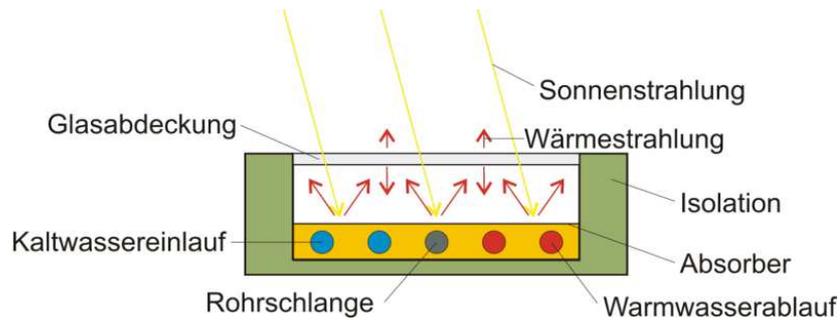


Abb. 2.5: Aufbau eines Flachkollektors [1]

In (teureren) Vakuumkollektoren sorgt eine Vakuumschicht zwischen Glasplatten dafür, dass ein Wärmeverlust durch Konvektion und Wärmeleitung verhindert wird. Lediglich durch Strahlung kann Wärme verloren gehen. Sie gehören zur Gruppe der Röhrenabsorber. Hier wird der Absorber selbst vom zu erwärmenden Wasser durchflossen.

Das Problem, dass die Sonne im Winter, wenn man also mehr Heizleistung benötigt, weniger Energie liefert (Deswegen ist es ja dann auch kälter.) ist hier noch mehr ausgeprägt als bei Wärmepumpen, v.a. im Vergleich zu jenen mit Grundwasser oder Erdreich als Speichermedium. Deshalb ist es normalerweise nicht möglich, ohne anderes Heizungssystem auszukommen. Um die Gesamtanlage in Bezug auf Treibhausgasemissionen dennoch umweltfreundlich zu gestalten, wird die Solarthermie gerne mit Pellets- oder Hackschnitzelheizungen kombiniert, die keine derartigen jahreszeitlichen Abhängigkeiten besitzen. Eine Kombination mit Gas- oder Ölheizungen ist daher ebenso möglich.

3 Berechnete Emissionswerte und andere wichtige Größen

Wie schon in der Einleitung erwähnt, ist die Optimierung von Heizungssystemen nicht nur hinsichtlich der möglichen Geldeinsparungen von Bedeutung, sondern auch um die Umwelt einerseits von Luftschadstoffen wie CO, SO₂ und Feinstaub und andererseits von klimaerwärmenden Gasen wie CO₂ zu verschonen.

Der Emissionsvergleich wird mit dem Computerprogramm GEMIS durchgeführt. Details zu diesem Programm siehe Abschnitt 6.2 sowie www.gemis.de.

3.1 Treibhauseffekt – CO₂-Äquivalent – CO₂-Emissionen

Hier soll nur ein grober Überblick über diesen Themenkomplex gegeben werden, weil allein dieser Abschnitt sonst den Rahmen einer Diplomarbeit sprengen könnte. Einige wichtige Fakten, die in der öffentlichen Diskussion kaum erwähnt werden, sind:

- 1.) Es hat immer einen Treibhauseffekt auf der Erde gegeben. Ohne ihn würde die globale Durchschnittstemperatur –18°C betragen, es gäbe also vermutlich kein oder völlig anderes Leben. Menschen hätten sich höchstwahrscheinlich nicht entwickelt. Momentan beträgt diese Temperatur 15°C, Tendenz steigend.
- 2.) Es gibt sehr viele Treibhausgase, nicht nur CO₂. Den größten Anteil am Treibhauseffekt hat Wasserdampf mit 18 K, gefolgt von CO₂ mit 7 K. Methan ist ein sehr wirksames Treibhausgas. Für jedes Gas kann man ein Global-Warming-Potential (GWP) errechnen, das in der spektralen Absorptionsfähigkeit für elektromagnetische Wellen und der Reaktionsfreudigkeit mit anderen Gasen in der Atmosphäre begründet ist. In [1] finden sich folgende Werte bezogen auf CO₂ (jeweils 1):

Tab. 3.1: Treibhausgaspotential einiger Gase, auf verschiedene Zeiträume bezogen [1]

Gas	Lebensdauer in Jahren	Global Warming-Potential		
		20 Jahre	100 Jahre	500 Jahre
CH ₄ (Methan)	12	62	23	7
N ₂ O (Lachgas)	114	275	296	156
HFC-134a (FKW)	13,8	3300	1300	400
HFC-23 (FKW)	260	9400	12000	10000
SF ₆	3200	15100	22200	32400

Die gesamten Treibhausgasemissionen z.B. eines Prozesses werden dann in CO₂-Äquivalenten angegeben. Meist wird ein 100-jähriger Beobachtungshorizont gewählt.

Beispiel: Es werden 10 kg CO₂ und 1 kg CH₄ freigesetzt. Das GWP₁₀₀ von Methan beträgt 23. Daher werden $1 \times 10 \text{ kg} + 23 \times 1 \text{ kg} = 33 \text{ kg CO}_2\text{-Äquivalente}$ emittiert.

Gase, die nur kurzlebig sind, haben auf längere Zeiträume bezogen ein tendenziell niedrigeres GWP.

- 3.) Der CO₂-Ausstoß, der vom Menschen verursacht wird, macht nur einen geringen Teil der gesamten Emissionen aus. Das Problem ist, dass auch kleine Änderungen ein stabiles Gleichgewicht bereits erheblich stören können.

Die Tatsache, dass Wasserdampf in der Klimadiskussion praktisch nie erwähnt wird, hat damit zu tun, dass der Wassergehalt der Luft nicht direkt beeinflussbar ist. Der Wasserkreislauf ist wesentlich schneller als der von z.B. CO₂. Würde man versuchen, die Wasserdampfemissionen zu verringern, so würden sofort andere Wasserquellen entsprechend mehr Wasser in die Atmosphäre abgeben. Deshalb wird für Wasserdampf auch kein GWP ermittelt. Der Gehalt ist vom Klima selbst abhängig: Erhöht sich die Temperatur, so kann die Luft mehr Wasser aufnehmen. Dies führt zu einer positiven Rückkopplung.

Mehr soll darüber auch nicht gesagt werden, das würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen. Es sollte nur eine kurze Motivation sein, sich mit diesem Thema näher auseinanderzusetzen. Neben den CO₂-Äquivalenten sollen auch die reinen CO₂-Emissionen berechnet werden. Dies hat den Grund, dass der Großteil des CO₂ unweigerlich bei der Verbrennung entsteht, aber die anderen fünf Komponenten eher auf gekoppelte Prozesse zurückgehen oder auf Unzulänglichkeiten in der Heizungsanlage (z.B. unverbranntes Erdgas → Methanemissionen). Es wird sich zeigen, dass CO₂, trotz der höheren Gewichtung der anderen Komponenten, bei den Analysen in dieser Arbeit meist den überwiegenden Anteil am CO₂-Äquivalent stellt. Dies gilt auch für die weltweite Treibhausgas-Emissionsbilanz – daher auch der Name „CO₂-Äquivalent“.

3.2 Versauerungspotential – SO₂-Äquivalent

Nicht nur der Treibhauseffekt ist ein wichtiger Faktor bei der Analyse der ökologischen Sinnhaftigkeit eines Heizungssystems, sondern auch das Versauerungspotential der emittierten Stoffe. Dieses wird in SO₂-Äquivalenten angegeben.

Die Versauerung führt zur Schädigung von Böden, dem Absterben von Wäldern, der Auflösung von Kalkstein etc. GEMIS berechnet die SO₂-Äquivalente selbstständig aus den anfallenden Produkten unter Verwendung der angegebenen Faktoren.

Laut [11] gelten folgende Werte für die wesentlichsten chemischen Verbindungen:

Tab. 3.2: Faktoren verschiedener Gase für die Berechnung des Versauerungspotentials aus den Emissionen eines Prozesses, wie sie in GEMIS verwendet werden

Gas	Versauerungspotential
SO ₂	1
NO _x	0,69625
HF	1,6011
HCl	0,87851
NH ₃	1,8808
H ₂ S	1,8798

3.3 Ozonbildungspotential – TOPP-Äquivalent

TOPP steht für „**T**ropospheric **O**zone **P**recursor **P**otential“ und ist somit ein Indikator für die Entstehung bodennahen Ozons, das für den Menschen ab einer gewissen Konzentration (Informationsschwelle: 180 µg/m³, Alarmschwelle: 240 µg/m³) schädlich ist.

Das TOPP-Äquivalent gibt Auskunft über das Ozonbildungspotential eines Gasgemisches. Die in GEMIS verwendeten Faktoren sind in folgender Tabelle angeführt. In [14] wird jedoch auf die nicht additive Wirkung von Kohlenwasserstoffen und NO_x hingewiesen, da sie nur in Kombination ozonbildend sind. Vielmehr sollten demnach die beiden betreffenden Faktoren voneinander abhängig sein. Es scheint jedoch keine wissenschaftliche Übereinstimmung in dieser Frage zu existieren.

Tab. 3.3: Ozonbildungspotential einzelner Gase, wie sie in GEMIS verwendet werden.

Gas	Ozonbildungspotential
NMVOG	1
CH ₄	0,014
CO	0,11
NO _x	1,22

Zusätzlich existieren noch das POCP-(**P**hotochemical **O**zone **C**reation **P**otential-) Äquivalent und das Et-(**E**then-) Äquivalent, die sich durch unterschiedliche Faktoren, teilweise auch von Quelle zu Quelle verschieden, auszeichnen.

3.4 Staub

Nach [11] ist Staub ein heterogenes Gemisch aus flüssigen und festen Teilchen. Diese Partikel sind verschiedenster Herkunft. Folgende Parameter sind nach [11] von zentraler Bedeutung:

- TSP (Total Suspended Particles): Masse des Gesamtstaubs (im Immissionsschutzgesetz-Luft Schwebstaub genannt)
- PM10: Jener Anteil der Partikel im TSP mit einem Durchmesser kleiner als 10 µm (Grenze für Feinstaub)
- PM2,5: Jener Anteil der Partikel im TSP mit einem Durchmesser kleiner als 2,5 µm
- PM10-2,5: Masse aller Partikel kleiner als 10 µm und größer als 2,5 µm. Im Englischen als "coarse particles" (grobe Partikel) bezeichnet.

Gesundheitlich bedenklich sind vor allem die besonders kleinen Staubteilchen, auch als Feinstaub bezeichnet, die ungehindert die Schleimhäute des Mund- und Rachenraumes passieren und sich in den Lungenbläschen festsetzen. Größere Teilchen bleiben schon in den Atemwegen haften und können ausgehustet werden. Sichtbarer Staub ist also gesundheitlich nicht so bedenklich, die wirklich gefährlichen Partikel bemerkt man nicht.

Der Anteil der privaten Haushalte an den österreichischen Gesamtemissionen für Feinstaub liegt bei etwa 21,5 %. Größter Verursacher ist die Industrie mit 35 %, weiters folgen die Landwirtschaft mit 21 % und der Verkehr mit 20 %, wobei dieser die höchsten Zuwachsraten aufweist. Hier haben moderne Dieselmotoren einen sehr hohen Anteil, der Rest entsteht vor allem durch Reifenabrieb. Die Energieversorger sind mit einem Anteil von nur 2,5 % von untergeordneter Bedeutung.

Vor allem in Tal- und Beckenlagen und zeitlich gesehen im Winter treten die höchsten Belastungen auf. Dies liegt am erhöhten Ausstoß vor allem bei Kleinverbrauchern sowie an den „günstigeren“ klimatischen Bedingungen im Winter (v.a. weniger Wind, Tiefdruckwetterlagen) und zusätzlich am Verstreuen von Kieselsteinen gegen Eisglätte.

3.5 Kumulierter Energieaufwand (KEA)

In [23] wird der kumulierte Energieaufwand sinngemäß folgendermaßen definiert: Der kumulierte Energieaufwand umfasst alle Primärenergien der vorgelagerten Prozessketten, die für die Herstellung, Nutzung und Entsorgung eines Produktes oder für die Realisierung einer Dienstleistung energetisch genutzt („verbraucht“) werden.

Dies soll am Beispiel einer Ölheizung und einer Wärmepumpe erläutert werden.

In beiden Fällen sind zunächst die energetischen Aufwendungen zu berechnen, die bei der Herstellung, Wartung und dem Abbau der Heizungsanlage anfallen. Diese werden auf die über die Lebensdauer zu erwartende Menge der bereitgestellten Wärme bezogen.

Beim Hauptposten, dem Öl- bzw. Stromverbrauch, muss man unterscheiden: Bei der Ölheizung muss hier durch den Jahresnutzungsgrad dividiert werden: Hat eine

Ölheizungsanlage einen JNG von 80 %, so werden pro kWh Nutzwärme 1,25 kWh Öl benötigt.

Anschließend sind hier noch die Energieaufwendungen bei der Ölförderung, beim Transport, der Raffination und dem erneuten Transport zum Endkunden zu berücksichtigen.

Bei der Wärmepumpe muss der Nutzungsgrad des Kraftwerks berücksichtigt werden. Beträgt dieser etwa 35 % (typischer Wert für alle kalorischen Kraftwerke) und die Jahresarbeitszahl z.B. 4 (sehr guter Wert), so werden aus 1 kWh Brennstoff des Kraftwerks 1,4 (= 0,35 x 4) kWh Wärme, d.h. umgekehrt erhält man aus ca. 0,71 kWh Brennstoff 1 kWh Wärme. Allerdings sind noch die Energieaufwendungen bei Herstellung der Anlage etc. einzurechnen. Bei der Wärmepumpe kommt es also sehr stark auf die Effizienz des Kraftwerks an, aus dem der elektrische Strom bezogen wird. Wird z.B. eine Kraft-Wärme-Kopplung angenommen, so verbessert sich der kumulierte Energieaufwand erheblich.

Oft wird zwischen erneuerbarem („KEA erneuerbar“) und nicht erneuerbarem kumuliertem Energieaufwand („KEA nicht erneuerbar“) unterschieden. In dieser Arbeit wird letzterer getrennt ausgewiesen. Dies geschieht deshalb, weil z.B. bei einer Solaranlage die auftreffende Solarenergie mitgezählt wird. Somit würden Solaranlagen ungerechtfertigterweise schlecht abschneiden. Interessant ist die Tatsache, dass GEMIS im Gegensatz dazu die Energie, welche die Wärmepumpe ihrer Umgebung entzieht, nicht in den KEA einrechnet.

Ein zweiter wichtiger Begriff ist der kumulierte Energieverbrauch (KEV). Er deckt sich weitgehend mit dem KEA, jedoch mit dem Unterschied, dass hier die Energieaufwendungen für die „stofflich genutzten Energieträger wie z.B. Holz für Bauzwecke oder Erdöl für Kunststoffe“ [23] nicht mitgerechnet werden. Für die Belange der Heizungsinstallationen wird hier also z.B. der Bedarf an Metall für die Herstellung des Ofen- oder Kesselmaterials nicht mitbilanziert.

Im Folgenden werden weitere für die GEMIS-Analyse verwendete wichtige Begriffe erklärt.

3.6 Jahresnutzungsgrad (JNG)

Es besteht ein fundamentaler Unterschied zwischen dem Wirkungsgrad η und dem Jahresnutzungsgrad (JNG) einer Heizungsanlage. Der Wirkungsgrad wird standardmäßig bei Volllast (Nennlast) berechnet. In der Praxis wird der Kessel aber nicht permanent mit seiner Maximalleistung betrieben. Vor allem im Sommer (Warmwasserbetrieb) und in der sogenannten Übergangszeit spielen der Teillastbereich sowie das häufige Anstarten des Kessels eine große Rolle. Hier sind die Bedingungen jedoch ungünstiger: Dies liegt vor allem daran, dass in einem Kessel dabei die Abstrahlungsverluste durch die Speicherung des Warmwassers einen größeren Stellenwert einnehmen, weil diese praktisch konstant sind, aber der Betrag der genutzten Wärme sinkt. Daher ist η für die Emissionsanalyse ein guter Richtwert dahingehend, dass der Jahresnutzungsgrad niedriger sein muss, aber die

maßgebliche Zahl ist er nicht. Der JNG ist also ein über alle Wirkungsgrade bei Teillast bis hin zur Volllast nach Auftrittshäufigkeit gewichteter Mittelwert aus Wirkungsgraden. Mathematisch kann der Zusammenhang zwischen Jahresnutzungsgrad und Wirkungsgrad bei der jeweiligen Leistung folgendermaßen beschrieben werden

$$JNG = \frac{1}{W} \cdot \int \eta(P) \cdot P \cdot dt(P).$$

$\eta(P)$...Wirkungsgrad in Abhängigkeit von der Auslastung P

$t(P)$...Auftrittshäufigkeit in Stunden einer Auslastung von P

P ...Momentan(nutz)leistung

W ...gesamte in einem Jahr verbrauchte Nutzenergie

$\eta(P)$ ist eine im Allgemeinen monoton steigende Funktion von P , die im Intervall $[0, P_{\max}]$ definiert ist und bei P_{\max} ihren Maximalwert erreicht. Die Form von $t(P)$ hängt vom Benutzerverhalten, der (Über)dimensionierung des Heizungssystems sowie von den thermischen Eigenschaften des Hauses und den klimatischen Bedingungen ab.

3.7 Volllaststunden

Die Zahl der Volllaststunden t_{voll} ist definiert als Quotient aus jährlich zur Verfügung gestellter Nutzenergie NE_{pr} und der Nennwärme(nutz)leistung P_H des Heizungssystems. Umgeformt gilt

$$NE_{pr} = P_H \cdot t_{voll}.$$

Es ist laut [1] nicht standardmäßig festgelegt, ob die Nennleistung end- oder nutzenergieseitig angegeben werden muss, jedoch ist es üblicher, die letztere Variante zu verwenden, wie auch in der Formel. Anders ausgedrückt gibt die Zahl der Volllaststunden Auskunft darüber, wie lange eine Heizungsanlage in einem Jahr gelaufen wäre um die in diesem Zeitraum gebrauchte Energiemenge bereitzustellen, wenn sie während der gesamten Betriebszeit mit Maximalleistung betrieben worden wäre und die restliche Zeit gar nicht.

3.8 Servicefaktor

Der Servicefaktor berücksichtigt mehrere Einflussfaktoren auf den Energieverbrauch: Zum einen stellt der Servicefaktor eine pauschale Berücksichtigung innerer und solarer Gewinne dar. Zum anderen berücksichtigt er das individuelle Benutzerverhalten. Er beinhaltet also auch Einflüsse, die weder von der Gebäudesubstanz, noch vom Klima, sondern vom Bewohner selbst abhängen: Manche Konsumenten beheizen die gesamte Wohnfläche, andere nur einzelne Zimmer. Die einen kommen mit einer niedrigeren Innentemperatur aus als andere. Es zeigt sich, dass dieser Faktor für zentral beheizte Wohnungen höher als für jene mit Einzelöfen ist und neuere bzw. renovierte Wohnungen ebenfalls einen höheren Servicefaktor aufweisen als ältere bzw. unrenovierte. Dies führt dazu, dass Verbesserungen in der Gebäudedämmung in der Realität nicht in dem Ausmaß zu Energieersparnis führen wie eine Analyse ohne Berücksichtigung des Benutzerverhaltens ergeben würde. Dies lässt sich dadurch erklären, dass die Verbesserung der thermischen Isolierung zum Teil dafür verwendet wird, die Raumtemperatur zu erhöhen bzw. auch Räume zu heizen, die ansonsten weniger oder gar unbeheizt geblieben wären. Man spricht von „Rebound-Effekten“.

In [7] wurden die Servicefaktoren für verschiedene Heizungssysteme ermittelt, d.h. mittels Daten einer ÖSTAT-Umfrage aus der Saison 1996/97 abgeschätzt. Dies funktioniert folgendermaßen: Mit den durch die Statistik Austria ermittelten durchschnittlichen Gebäude- bzw. Wohnungsgrößen sowie den in den Baunormen genannten mittleren Dämmwerten für einzelne Gebäudeteile werden, wie in Kapitel 7 durchgeführt, der theoretische Nutzenergiebedarf NE_{th} und weiters durch Miteinbeziehung der durchschnittlich zu erwartenden Jahresnutzungsgrade η_N der theoretische Endenergiebedarf EE_{th} , speziell für jeden Gebäudetyp in Verbindung mit den jeweiligen Heizungssystemen gemäß der Formel

$$EE_{th} = \frac{NE_{th}}{\eta_N}$$

ermittelt. Die aus den ÖSTAT-Umfragen erhobenen jährlichen tatsächlichen Energieverbräuche EE_{pr} weichen nun von den theoretischen Berechnungen ab, und zwar um den Servicefaktor f_S systematisch nach unten nach der Formel

$$f_S = \frac{EE_{pr}}{EE_{th}}$$

Gleichermaßen gilt zwar auch

$$f_S = \frac{NE_{pr}}{NE_{th}}$$

aber es gibt in der Praxis meist keine Möglichkeit, den praktischen Nutzenergiebedarf zu ermitteln, schließlich kann der Verbraucher nirgends ablesen, wie viel Wärme tatsächlich im zu beheizenden Raum ankommt, während der praktische Endenergiebedarf auf der Energierechnung oder am Zähler aufscheint.

Für Mehrfamilienhäuser (MFH) erhält man stets höhere Werte als für Einfamilienhäuser (EFH). Sämtliche Servicefaktoren liegen weit unter 1, nämlich zwischen 0,4 und 0,8, d.h. ein Haushalt benötigt weniger Heizenergie als aufgrund der Transmissions- und Lüftungsverluste zu erwarten wäre. Dies lässt sich durch die Tatsache begründen, dass stets andere Wärmequellen vorhanden sind wie alle Arten von Stromverbrauchern (Fernseher, Küchengeräte) sowie Körperwärme und solarer Strahlungswärmeeintrag. In einem Passivhaus sind diese Komponenten im Idealfall (zusammen mit der Wärmerückgewinnung aus dem Wärmetauscher für die kontrollierte Wohnraumlüftung) allein dafür zuständig, die (geringen) Transmissions- und Lüftungsverluste auszugleichen. Zu den in der Emissionsanalyse verwendeten Werten siehe Abschnitt 7.3.2.

Sowohl bei diesen Analysen als auch bei der Heizenergiebedarfsberechnung sind zwei Wege möglich: Entweder man konzentriert sich auf die durch Formeln gegebenen Werte wie Wohnungsgröße, Dämmwerte der einzelnen Gebäudeteile, Jahresnutzungsgrade u. dgl. und lässt das unmathematische Verhalten der heizenden Durchschnittsperson außer Acht. Man erhält als Ergebnis den technisch möglichen Heizenergieverbrauch bzw. theoretisch erreichbare Einsparungsziele. Dieses Verfahren führt jedoch zu einer Überschätzung von Einsparpotentialen.

Es ist daher besser, wenn man durch empirische Untersuchungen (Heiz-Verhaltensforschung) die Faktoren Bequemlichkeit, Sorglosigkeit bzw. Sparsamkeit des Durchschnittsmenschen miteinschließt. Durch die weit streuenden Werte der Servicefaktoren wird man dabei auf erheblich abweichende Ergebnisse kommen.

So unmessbar bzw. unsicher die Wahl der Servicefaktoren auch sein mag: Ohne sie kommt man garantiert auf ungenauere Ergebnisse. Außerdem ist für die Belange eines Emissionsvergleiches (Gegenüberstellung mehrerer Heizungssysteme) in erster Linie nicht der absolute Wert des Servicefaktors entscheidend, sondern die Relationen der verschiedenen Servicefaktoren untereinander. Es ist also zu hoffen, dass die Erhebungen dieser Werte derart verlaufen sind, dass nicht für eine bestimmte Heizungsart andere systematische Fehler gemacht wurden als bei anderen.

4 Übersicht über Normen zu Heizungsanlagen und Brennstoffen

In [25] befindet sich eine umfangreiche Datenbank zu allen in Österreich erhältlichen Normen.

Heizungsanlagen müssen selbst gewisse Bedingungen erfüllen, um einerseits die Betriebssicherheit und andererseits die Umweltverträglichkeit zu gewährleisten. Weiters müssen die verwendeten Brennstoffe (Öl, Gas, Kohle, Pellets) aus denselben Gründen gewissen Kriterien entsprechen. Diese sind in Normen festgelegt, welche im Folgenden angeführt werden sollen.

4.1 Normen zu Heizungsanlagen

4.1.1 Kessel allgemein

Die Anforderungen an Heizkessel mit Vorlauftemperaturen unter 100°C (wie es gewöhnliche Kessel sind) sind in der ÖNORM M 7550 festgelegt. Die Inspektion von Heizungssystemen in Gebäuden ist in der ÖNORM EN 15378 abgefasst.

ÖNORM M 7425 stellt Anforderungen an Temperaturregeleinrichtungen (Thermostaten).

ÖNORM M 7510: Überprüfung von Öl- und Gasheizungsanlagen

4.1.2 Feststoffbrennkessel

Für diese ist die ÖNORM EN 12809 maßgebend. Weiters existiert ein Normentwurf DIN 18842. Die Überprüfung ist in der ÖNORM M 7510-4 geregelt.

Die erforderlichen Eigenschaften fester Brennstoffe sind in den ÖNORMen G 1032, 1–3, normiert.

ÖNORM M 9466 beinhaltet Vorschriften für die Emissionsbegrenzung von Holzfeuerungen ab 50 kW.

4.1.3 Gaskessel

ÖNORM EN 297: Heizkessel mit atmosphärischen Brennern bis 70 kW

ÖNORM EN 677: Anforderungen an Gas-Brennwertkessel mit einer Nennwärmebelastung bis zu 70 kW

ÖNORM EN 15417: wie ÖNORM EN 677 für Geräte zwischen 70 und 1000 kW

ÖNORM H 5152: Planungsrichtlinien für Brennwertgeräte

4.1.4 Ölkessel

Die Anforderungen an Öltanks, die aus blas- oder rotationsgeformtem Polyethylen oder durch anionische Polymerisation von Polyamid 6 hergestellt wurden, sind in der ÖNORM EN 13341 festgesetzt. Weiters existiert ein Normentwurf ÖNORM EN 15724.

Die Eigenschaften von Öl-Brennwertkesseln müssen der ÖNORM EN 15034 genügen.

ÖNORM H 5152: Planungsrichtlinien für Brennwertgeräte

Für Ölkessel ist die Rußzahl eine wichtige Größe, welche Auskunft über die Staubentwicklung gibt. Diese wird nach der ÖNORM M 7531 ermittelt.

4.1.5 Wärmepumpen

Für Kompressionswärmepumpen existiert eine Vielzahl von Normen. Zu erwähnen sind hier die ÖNORMen:

EN 255-3: Inverkehrbringung von WP mit elektrischem Verdichter und integrierter Warmwasserversorgung

EN 378: umweltrelevante und sicherheitstechnische Aspekte

EN 1736: Eigenschaften flexibler Rohrleitungsteile, weiters von Schwingungsabsorbern und Kondensatoren

EN 12102: Schallemissionen

EN 12178: Flüssigkeitsstandanzeiger

EN 12263: Sicherheitsschalteneinrichtungen zur Druckbegrenzung

EN 12284: Anforderungen an und Prüfung von Ventilen

EN 13136: Berechnungsverfahren zu Druckentlastungseinrichtungen

EN 14276: Druckgeräte: Anforderungen an Behälter (Teil 1) und Rohrleitungen (Teil 2)

EN 14511: Begriffe (Teil 1), Prüfbedingungen (Teil 2), Prüfverfahren (Teil 3) und Anforderungen (Teil 4) an WP mit elektrisch angetriebenem Verdichter

EN 15316-4-2: Berechnungsmethoden für Systemenergie und Systemwirkungsgrad

H 5195-2: Frostschutz

M 7753: Erdwärmepumpen: Prüfung und Herstellerangaben

M 7755: Anforderungen: Planung und Errichtung (Teil 1), speziell für Grundwassernutzung (Teil 2), speziell für Erdwärme (Teil 3)

M 7760: Typprüfung für Erde/Wasser- und Wasser/Wasser-WP bis 40 kW

M 7761: Typprüfung für Luft/Wasser-WP bis 40 kW

EN 61702: Systeme mit direkt gekoppeltem Photovoltaik-Pumpensystem: Auslegung

4.2 Normen zu verwendeten Brennstoffen

4.2.1 Feste Brennstoffe allgemein

ÖNORM G 1032: Prüfungsverfahren für feste Brennstoffe: Verfahren (Teil 1), Probenvorbereitung (Teil 2) und Geräte (Teil 3)

ÖNORM G 1070: Prüfungsverfahren für feste Brennstoffe

ÖNORM G 1075: Bestimmung des Chlorgehaltes

ÖNORM G 1077: Bestimmung von Spurenelementen (Entwurf)

ÖNORM M 7132: Holz und Rinde: Begriffe und Merkmale

4.2.2 Holzpellets

Laut [1] müssen Holzpellets den ÖNORMen M 7135 bis 7137 genügen:

ÖNORM M 7135: Regelt die Eigenschaften der Pellets selbst:

Durchmesser: 5–6 mm, Länge: 8–30 mm

Unterer Heizwert H_i über $18 \text{ MJ/kg} = 5 \text{ kWh/kg} \approx 3,25 \text{ kWh/l}$

Schüttdichte (also inklusive Luftzwischenräume) 650 kg/m^3 ; Materialdichte größer $1,12 \text{ kg/dm}^3$ (sollen also im Gegensatz zu den meisten Holzarten nicht im Wasser schwimmen)

Wassergehalt unter 10 %

Ascheanteil unter 0,5 %

Maximalwerte für Schwefel und Chlor sowie Abrieb (wichtig wegen Staubentwicklung beim Einblasen)

bestehen zu 100 % aus Holz

riesel-, schütt- und einblasfähig, dadurch Lieferung im Tankwagen möglich

ÖNORM M 7136: Regelt Transport und Zwischenlagerung vom Hersteller bis zum Endkunden.

ÖNORM M 7137: Regelt die Lagerung beim Verbraucher und soll die Betriebssicherheit, den Brandschutz, die statischen Anforderungen und die Erhaltung der Pelletsqualität sicherstellen.

In Deutschland heißt die entsprechende Norm DIN 51731.

Weiters:

ÖNORM CEN/TS 15210/1 und 15639: Bestimmung der mechanischen Festigkeit

Laut [36] existieren auch Bestimmungen, die über diese Normen hinaus gehen, aber nicht verpflichtend sind. Dazu gehört etwa das Zertifikat DIN plus. In Tabelle 4.1 sind die Anforderungen an Pellets zusammengefasst [36].

Tab. 4.1: Zusammenfassung der wichtigsten Anforderungen an Holzpellets nach verschiedenen Anforderungskatalogen [36]

Eigenschaft	Norm/Zertifikat		
	DIN 51731	ÖNORM M 7135	DINplus
Länge	< 5 cm	≤ 5 · Durchmesser	≤ 5 · Durchmesser
Durchmesser (mm)	4 – 10	4 – 10	4 – 10
Dichte (kg/m ³)	1000 – 1400	≥ 1120	≥ 1120
Heizwert in Trockenmasse (kWh/kg)	4,9 – 5,4	≥ 5	≥ 5
Schüttdichte (kg/m ³)	650	650	–
Wasser (%)	≤ 12	≤ 10	≤ 10
Asche (%)	≤ 1,5	≤ 0,5	≤ 0,5
Bindemittel (%)	0	≤ 2	≤ 2
Stickstoff (%)	≤ 0,3	≤ 0,3	≤ 0,3
Chlor (%)	≤ 0,03	≤ 0,02	≤ 0,02
Schwefel (%)	≤ 0,08	≤ 0,04	≤ 0,04
Abrieb (%)	–	≤ 2,3	≤ 2,3

Man erkennt, dass DINplus und ÖNORM im Wesentlichen die gleichen Anforderungen stellen, mit nur einer Ausnahme. Die Grenzwerte für Beimengungen sind in der DIN-Norm meist weniger streng ausgelegt.

4.2.3 Erdgas

ÖNORM EN ISO 6976: Berechnung von Brenn- und Heizwert, Dichte, relativer Dichte und Wobbeindex

Laut [36] existieren in Deutschland verschiedene Erdgasqualitäten. Die Qualitäten dieser Sorten (Kriterien siehe EN ISO 6976) sind im DVGW-Arbeitsblatt G 260 „Gasbeschaffenheit“ dokumentiert. Die Sorten heißen L und H und unterscheiden sich im Wobbe-Index.

4.2.4 Erdöl

Heizöl extraleicht muss der ÖNORM C 1109 genügen. Es wird zwischen „Heizöl extraleicht“ und „Heizöl extraleicht – schwefelarm“ unterschieden.

ÖNORM EN 14213: Fettsäure-Methylester (FAME): Heizöl für Anlagen, die darauf ausgelegt sind.

DIN 51603 legt Schwefelgehalt, Heizwert, Kälteverhalten, Koksrückstand und Ascheanteil fest [36]. Es wird eingeteilt in

- 1.) Heizöl EL Standard: S-Anteil: 50 – 2000 mg/kg

- 2.) Heizöl EL schwefelreduziert: S-Anteil: 50 – 500 mg/kg
- 3.) Heizöl schwefelarm: S-Anteil: < 50 mg/kg: wegen des weniger sauren Abgaskondensats speziell für Brennkessel von Vorteil. Man erspart sich so meist die Neutralisationsanlage.

4.4 Übersicht über Emissionsgrenzwerte

4.4.1 Prüfbedingungen und gemessene Größen bei der Abgasmessung

Aus [5] ist die folgende Abhandlung über die vorgeschriebenen Modalitäten des Messverfahrens von Emissionsgrenzwerten entnommen:

„Messverfahren:

Die Emissionsmessungen sind nach den Bestimmungen von § 3 Abs. 3, 4, 6 und 8 der Luftreinhalteverordnung für Kesselanlagen 1989, BGBl. Nr. 19/1989 idF BGBl. Nr. 785/1994, durchzuführen, das heißt:

- Die Staubkonzentration im Verbrennungsgas ist durch Bestimmung von drei aufeinander folgenden Messwerten zu ermitteln. Die Messdauer zur Erlangung eines Messwertes hat mindestens eine 30 Minuten zu betragen. Die Messungen haben gemäß ÖNORM M 5861-1, Ausgabe April 1993, zu erfolgen.
- Zur Bestimmung der Rußzahl nach Bacharach ist das Messergebnis aus mindestens drei Messwerten zu ermitteln. Die Messwerte sind als aufeinanderfolgende Einzelwerte innerhalb eines Zeitraumes von jeweils höchstens einer halben Stunde aufzunehmen. Der Beurteilungswert ist durch Abrunden auf ganze Zahlen festzulegen. Die Messungen haben gemäß ÖNORM M 7531, Ausgabe Juli 1981, zu erfolgen; dabei muss gewährleistet sein, dass kein Ölderivat im Abgas vorhanden ist (siehe ÖNORM M 7532, Ausgabe Dezember 1981).
- Die Messung der Stickstoffoxidkonzentration ist an einer repräsentativen Entnahmestelle im Kanalquerschnitt, die vor Aufnahme der Messung zu bestimmen ist, vorzunehmen. Es sind mindestens drei Messwerte als aufeinanderfolgende Halbstundenmittelwerte zu bilden, die als Messergebnis jeweils einzeln zu beurteilen sind. Ein Emissionsgrenzwert gilt als eingehalten, wenn keiner der Beurteilungswerte den Emissionsgrenzwert überschreitet.
- Zur Bestimmung der Emissionskonzentration von Kohlenmonoxid im Verbrennungsgas sind drei Messwerte als aufeinanderfolgende Halbstundenmittelwerte aufzunehmen.“

Bei der Abgasmessung werden nach [18] folgende Messwerte erfasst:

CO₂: Dieser Wert wird nicht etwa wegen der daraus resultierenden Umweltbelastung gemessen, im Gegenteil: Er soll sogar möglichst hoch sein. Das hat den Hintergrund, dass dann gemäß der Siegertschen Formel (siehe Abschnitt 14.1) die Abgasverluste, also die Wärmeverluste in %, die direkt beim Kamin hinausziehen, geringer werden. Bei idealer Verbrennung liegt der CO₂-Gehalt bei 11,8 % für Gas und 15,4 % für Heizöl EL. In der Praxis tritt jedoch stets ein Luftüberschuss auf, der miterwärmt wird und so zu den höheren Verlusten führt. Dabei sinkt eben auch der CO₂-Gehalt.

CO: Kohlenmonoxid ist ein hochgiftiges geruch- und farbloses Gas, das bei zu geringem Luftüberschuss (zu beachten: Vorher war ein geringer Luftüberschuss erwünscht, hier ist das Gegenteil der Fall), unter Umständen verursacht durch unzureichende Frischluftzufuhr oder durch verunreinigte Brenner, entsteht und auch immer wieder (v.a. bei in der Wohnung befindlichen Durchlauferhitzern) zu Todesfällen durch Erstickung führt. (CO haftet sich an das Hämoglobin und hemmt so die Sauerstoffaufnahme.) Im verdünnten Abgas soll der Wert nicht über 80 ppm liegen, bei 500 ppm ist eine sofortige Inspektion der Anlage und bei 1000 ppm eine unverzügliche Stilllegung vorgeschrieben.

O₂: Aufgrund eines wegen wünschenswerter geringer Abgasverluste erforderlichen niedrigen Luftüberschusses soll der Sauerstoffanteil im Abgas niedrig sein.

Rußzahl: Diese wird bei Ölkesseln mit dem Messverfahren nach Bacharach ermittelt. Überschreitungen können durch Luftmangel, eine falsche Öldüse oder einen zu niedrigen Zerstäubungsdruck verursacht werden. Weiters darf kein unverbranntes Öl (gelbe Rückstände auf Filterpapier) vorliegen.

Stickoxide werden bei der Abgasmessung nicht untersucht. Es ist lediglich ein Nachweis seitens des Herstellers bei Inverkehrbringung eines Kesselmodells zur Einhaltung der Grenzwerte zu erbringen. Ursache für NO_x-Bildung sind zu hohe Verbrennungstemperaturen und O₂-Überschuss. Der Grenzwert beträgt 80 mg/kWh und ist mit gekühlten Brennern leicht zu erreichen.

Abgastemperatur: Bei Gaskesseln liegt diese zwischen 80 und 140°C, bei Ölkesseln ca. bei 180°C (→ geringerer Wirkungsgrad von Ölkesseln!). Ist sie zu gering, wird eventuell die Taupunkttemperatur des Abgases unterschritten, was zur Kondensation von Wasserdampf und in weiterer Folge zur Versottung des Kamins oder Korrosion der Abgasanlage führt. (Bei Brennwertgeräten wird diese Kondensationswärme jedoch genutzt, d.h. das Abgas kondensiert gewollt, was jedoch eine Kunststoffummantelung des Kamins und auch eine geänderte Abgasanlage erfordert; siehe dazu auch Abschnitt 2.3.) Zu hohe Abgastemperaturen bedeuten natürlich einen verschlechterten Wirkungsgrad. Sie werden oft durch Rußablagerungen am Wärmetauscher herbeigeführt. Diese können im Zuge einer Kesselreinigung entfernt werden.

Die Messung der Taupunkttemperatur soll in Verbindung mit der Abgastemperatur sicherstellen, dass keine Kondensation auftritt (Folgen siehe Punkt „Abgastemperatur“). Pro Meter Kaminhöhe kühlen die Abgase um ca. 5°C ab. Daher sollte gelten:

Taupunkttemperatur < Abgastemperatur – 5°C x Höhe des Kamins in Metern.

Luftüberschusszahl L : Sie ist das Verhältnis aus tatsächlicher und notwendiger Luftmenge. Es gilt: $L = O_{2, \text{tatsächlich}} / O_{2, \text{min.}} = CO_{2, \text{max.}} / CO_{2, \text{tatsächlich}}$. L soll bei Gebläsebrennern zwischen 1,2 und 1,4, bei atmosphärischen Brennern bei 1,8 liegen.

4.4.2 Tabellenübersicht über die wichtigsten Emissionsgrenzwerte und Überprüfungsverordnungen für Kesselanlagen

In diesem Abschnitt sollen die Verordnungen der Bundesländer in Bezug auf Emissionsgrenzwerte für Kesselanlagen einerseits und auf die vorgeschriebenen Intervalle zu deren Überprüfung andererseits in möglichst übersichtlicher tabellarischer Form dargestellt werden. Von Interesse sind hierbei Systeme, die mit Öl, Gas oder Biomasse befeuert werden. Die Emissionsgrenzen wie auch die Überprüfungsintervalle hängen von der Nennleistung ab. Es wurde das Leistungsspektrum bis 70 kW betrachtet.

Tab. 4.2: Verordnungen über Emissionsgrenzwerte für biomassebefeuerte Zentralheizungsanlagen

	Bundesland								
	Wien	NÖ	Bgld.	OÖ	Sbg.	Tirol	Vbg.	Stmk.	Ktn.
Staub	60 mg/MJ	60 mg/MJ	heller als RM ⁶ 2	60 mg/MJ	60 mg/MJ		Rußzahl 2	60 mg/MJ	60 mg/MJ
bis 50 kW				-					
über 50 kW				150 mg/m ³					
CO			1600 mg/MJ		⁴	800 mg/m ³ ⁽¹⁾	2000/ 1000 mg/m ³ ⁵		
<i>händisch beschickt</i>	1100 mg/MJ	1100 ¹ mg/MJ	2700 mg/MJ	1100 mg/MJ	1100 mg/MJ			1100 mg/MJ	1100 ¹ mg/MJ
bis 50 kW				3500 mg/m ³					
über 50 kW				800 ¹ mg/m ³					
<i>automatisch beschickt</i>	500 ¹ mg/MJ	500 ¹ mg/MJ	500 mg/MJ	500 ¹ mg/MJ	500 ¹ mg/MJ			500 ¹ mg/MJ	500 ¹ mg/MJ
bis 50 kW				1500 mg/m ³					
über 50 kW				800 ¹ mg/m ³					
unverbrannte KW			50 mg/m ³						
OGC									
bis 50 kW				-					
über 50 kW				50 mg/m ³					
<i>händisch beschickt</i>	80 mg/MJ	80 mg/MJ		80 mg/MJ	80 mg/MJ			80 mg/MJ	80 mg/MJ
<i>automatisch beschickt</i>	40 mg/MJ	40 mg/MJ		40 mg/MJ	40 mg/MJ			40 mg/MJ	40 mg/MJ
NO_x	150 mg/MJ	150 mg/MJ		150 mg/MJ	150 mg/MJ	250 bzw. 300 ² mg/m ³		150 mg/MJ	150 mg/MJ
Bis 50 kW				-					
Über 50 kW				250 bzw. 300 ² mg/m ³					
HC						50 mg/m ³			
Abgasverluste in %									
<i>bis 50 kW</i>			21						
<i>händisch beschickt</i>				20					
<i>automatisch beschickt</i>				19			20		
<i>über 50 kW</i>			20	19					
<i>händisch beschickt</i>									
<i>automatisch beschickt</i>									
Sonderbestimmungen für Altanlagen									

Altanlagen 1									
CO					3500 mg/m ³	800 mg/m ³			Ab 1997
<i>händisch beschickt</i>									
ab 25 kW									3500 mg/m ³
<i>automatisch beschickt</i>									
ab 25 kW									1500 mg/m ³
Abgastemperatur					< 250°C				
NO_x									
ab 50 kW									300 mg/m ³
Abgasverluste in %					20	19			
<i>händisch beschickt</i>									
8 – 26 kW									22
26 – 50 kW	21								20
Ab 50 kW	20								18
<i>automatisch beschickt</i>									
8 – 26 kW									19
26 – 50 kW	21								17
Ab 50 kW	20								15
Altanlagen 2									
CO									Bis 1996
<i>händisch beschickt</i>									
bis 50 kW			4000 ppm (vol.)						6000 mg/m ³
über 50 kW			2000 ppm (vol.)						1600 mg/m ³
<i>automatisch beschickt</i>									
bis 50 kW			4000 ppm (vol.)						2000 mg/m ³
über 50 kW			2000 ppm (vol.)						800 mg/m ³

¹kann bei 30 % Nennwärmeleistung um 50 % überschritten werden

²300 gilt für Eiche, Buche, Rinde, Reisig und Zapfen

⁴§17 schreibt für CO, abweichend von den Angaben in §4, 3500 mg/m³ für händisch und 1500 mg/m³ für automatisch beschickte Feststofffeuerungen vor. Aufgrund der anderen Einheit könnten es aber dieselben Werte sein.

⁵Erster Wert gilt für Stückholzheizungen, die ab 2000 errichtet wurden, der zweite Wert für Pelletsheizungen

⁶Messmethode nach Ringelmann

Tab. 4.3: Verordnungen über Emissionsgrenzwerte für ölbefeuerte Zentralheizungsanlagen

	Bundesland								
	Wien	NÖ	Bgld.	OÖ ²	Sbg.	Tirol	Vbg.	Stmk.	Ktn.
Inverkehrbrin- gung									
Staub (Rußzahl)	1	1	1	1	1	1/2 ¹	1/2 ¹	1	1
CO	20 mg/MJ	20 mg/MJ		20 mg/MJ	20 mg/MJ	100 mg/m ³		20 mg/MJ	20 mg/MJ
<i>nicht geprüfte Kessel</i>			500 ppm						
<i>geprüfte Kessel</i>									
Verdamp- fungsbrenner			45 mg/MJ						
Zerstäubungs- brenner			20 mg/MJ						
<i>Neuanlagen</i>			100 mg/m ³						
OGC	6 mg/MJ	6 mg/MJ		6 mg/MJ	6 mg/MJ			6 mg/MJ	6 mg/MJ
NO_x	35 mg/MJ	35 mg/MJ		35 mg/MJ	35 mg/MJ		100/ 400 mg/m ³ 3	35 mg/MJ	35 mg/MJ
Abgasverluste in %							10		
4 bis 25 kW			16			11			
25 (26) bis 50 kW			16			10			
Über 50 kW			14			9			
SO₂							170 mg/m ³ 4		
Sonderbestim- mungen für Altanlagen									
Altanlagen 1					Ab 1. 12. 94				
CO		150 ppm		100 mg/m ³		100 mg/m ³		100 mg/m ³	
Abgasverluste in %				10		6		Ab 1. 7. 92	
8 – 26 kW						11 ⁵		13	
26 – 50 kW	16					10		12	
ab 50 kW	14					9		11	
<i>atmosphärische Brenner</i>					15				
bis 50 kW		12							
über 50 kW		11							
Zerstäubungs- brenner					10				
Rußzahl									
Heizöl leicht				2	1	2		2	
Verdampfungs-		2							

<i>brenner</i>									
Zerstäubungs- brenner		2							
Mit Heizöl EL		1		1		1		1	
NO_x									
<i>ab 18 kW</i>									
Heizöl EL								150 mg/m ³	
L, M, S								450 mg/m ³	
bis 50 kW				-/450 ¹ mg/m ³					
über 50 kW				150/ 450 ¹ mg/m ³					
Altanlagen 2					Bis 30. 11. 94				
CO									
bis 50 kW		300							
Abgasverluste								Bis 1. 7. 92	
8 – 26 kW								15	
26 – 50 kW								14	
ab 50 kW								13	
<i>Atmosph. Brenner</i>					22				
bis 50 kW		16							
über 50 kW		14							
Zerstäubungs- brenner					12				
Rußzahl					2				

¹erste Zahl gilt für Heizöl extraleicht, die zweite für Heizöl leicht

²kursive Werte gelten (offensichtlich) für bestehende Anlagen, die übrigen für neue

³Die erste Zahl gilt für Anlagen mit Gebläsebrenner, die zweite für solche, die mit naturbelassenen pflanzlichen Ölen betrieben werden.

⁴Betrifft nur Heizungen, die mit naturbelassenen pflanzlichen Ölen befeuert werden.

⁵schon ab 4 kW

⁶für Nicht-Brennwert- bzw. NT-Anlagen gilt ein um einen Prozentpunkt höherer Wert

Tab. 4.4: Verordnungen über Emissionsgrenzwerte für erdgasbefeuerte Zentralheizungsanlagen

	Bundesland								
	Wien	NÖ	Bgld.	OÖ	Sbg.	Tirol ¹	Vbg.	Stmk.	Ktn.
Inverkehr- bringung									
Staub			max. Bacha- rach 0						
CO	20 mg/MJ	20 mg/MJ		20 mg/MJ		20 mg/MJ	100 mg/m ³	20 mg/MJ	20 mg/MJ
<i>nicht geprüfte Kessel</i>			500 ppm						
<i>geprüfte Kessel</i>									
atmosphärische Brenner			35 mg/MJ						
sonstige			20 mg/MJ						
<i>Neuanlagen</i>			80 mg/MJ						
NO_x	30 mg/MJ	30 mg/MJ		30 mg/MJ				30 mg/MJ	30 mg/MJ
Abgasverluste							10 %		
26 – 50 kW									
Über 50 kW									
<i>Atmosphär. Brenner</i>									
bis 50 kW			16 %						
über 50 kW			14 %						
<i>Gebälse- brenner</i>									
bis 50 kW			14 %						
über 50 kW			13 %						
bestehende Anlagen				keine Ab- weichungen					
Altanlagen 1					ab 1995				
CO		150 ppm							
ab 8 kW								80 mg/m ³	
NO_x									
ab 18 kW								120 mg/m ³	
Abgasverluste in %					10			Ab 1. 7. 92	
8 – 26 kW								13	
26 – 50 kW	14							12	
bis 50 kW		12							
über 50 kW	13	11						11	
Altanlagen 2					bis 1994				
CO									
bis 50 kW		300							
Abgasverluste					12			Bis 1. 7. 92	
8 – 26 kW								15	
26 – 50 kW								14	
bis 50 kW		16							
über 50 kW		14						13	

¹Hier ist „nach dem Stand der Technik“ vorzugehen“

Tab. 4.5: Verordnungen zu Überprüfungen von biomassebefeuerten Zentralheizungsanlagen

	Bundesland								
	Wien	NÖ	Bgld.	OÖ	Sbg.	Tirol	Vbg. ⁵	Stmk.	Ktn.
Messung							2 od 3 ⁵ J.	1 J.	
bis 15 kW				3 J.					
ab 4 kW					1 J.				
<i>automat. beschickt</i>						2 J.			
<i>händ. beschickt</i>						1 J.			
8 – 50 kW			2 J.						
11 – 50 kW		2 J.							
15 – 50 kW	2 J.			2 J.					
über 50 kW	1 J.	1 J.	1 J.	1 J.					
Neuanlagen bis 26 kW			3 J.						
Kontrolle									
	4 x	4–6 ¹ x	4 x	4 x	4 od. 6 ² x		2 – 4 x ⁴	3 – 5 x	4 x
Pellets		3 x							

¹je nach Alter und Benützungperiode

²bei ganzjähriger regelmäßiger Benützung

³jeweils 1 x zusätzlich für ganzjährige Benützung und Inbetriebnahme vor 1995

⁴bei ganzjähriger Benützung

⁵gilt für Anlagen mit Lambdasonde

Tab. 4.6: Verordnungen zu Überprüfungen von ölbefeuerten Zentralheizungsanlagen

	Bundesland								
	Wien	NÖ	Bgld.	OÖ	Sbg.	Tirol	Vbg. ⁴	Stmk.	Ktn.
Messung						1 J.			
ab 4 kW					1 J.				
bis 15 kW				3 J.					
7 – 50 kW							2 J.		
8 – 50 kW			2 J.						
11 – 50 kW		2 J.							
15 – 50 kW	2 J.			2 J.					
ab 50 kW	1 J.	1 J.	1 J.	1 J.			1 J.		
Neuanlagen bis 26 kW für Heizöl EL			3 J.						
Kontrolle	4 x					1 J.		2 – 3 ³ x	
EL			1 J.	2 x	2 x		1 J. bzw. 2 x ³		2 x
Brennwert		1 J.							
<i>Zerstäubungs- brenner</i>									
ab 1998		2 x							
vor 1998		3–4 ¹ x							
<i>Verdampfungs- brenner</i>		3 x							
andere (nicht EL)		5 x	4 x		4 – 6 ² x				4 x

leicht				2 x			1 J. bzw. 2 x ³		
andere (nicht EL oder L)							2 bzw. 4 x ³		

¹je nach Benützungsperiode

²nur bei regelmäßiger und ganzjähriger Benützung

³nur bei ganzjähriger Benützung

⁴für EL und L

Tab. 4.7: Verordnungen zu Überprüfungen von gasbefeuelten Zentralheizungsanlagen

	Bundesland								
	Wien	NÖ	Bgld.	OÖ	Sbg.	Tirol	Vbg.	Stmk.	Ktn.
Messung						3 J.			
Ab 4 kW					1 J.				
7 – 50 kW							2 J.		
Bis 15 kW				3 J.					
8 – 50 kW			2 J.						
11 – 50 kW		2 J.							
15 – 26 kW	5 J.								
15 – 50 kW				2 J.					
26 – 50 kW	2 J.								
Ab 50 kW	1 J.	1 J.	1 J.	1 J.			1 J.		
Neuanl. bis 26 kW f. Heizöl EL			3 J.						
Kontrolle									
	4 x	1 J.	2 J.	1 J.	1 J. od. 4 ¹ x	3 J.	1 J. ²	1 J.	1 J.

¹bei Feuchtigkeitsempfindlichen Rauchfängen

²im Einzelfall auch länger

Bemerkungen:

Das Tiroler Heizungsanlagenengesetz 2000 enthält keine Bestimmung für Heizungsanlagen mit gasförmigen Brennstoffen.

Der Begriff „Feuerungsanlage“ wird zum Teil unterschiedlich definiert: In der Steiermark und in den meisten anderen Bundesländern gehört der Rauchfang dazu, in Oberösterreich nicht.

Die Angaben bei Ölheizungen für Verdunstungs- oder Verdampfungsbrenner beziehen sich in erster Linie auf Öleinzelföfen.

1 g/MJ entspricht etwa 4 g/m³.

5 Untersuchung des österreichischen Gebäudebestandes und der Heizungsstruktur sowie Ableitung zu untersuchender Heizsysteme

5.1 Einteilung des Gebäudebestandes – verwendete Abkürzungen

In diesem Kapitel wird der österreichische Gebäudebestand in Gruppen unterteilt, die sich nach dem Baujahr und der Größe des Objektes richten. Zusätzlich soll in diesem Kapitel die aktuelle Verteilung der Heizungssysteme untersucht werden.

Nach [4] werden einerseits sieben Bauperioden unterschieden:

- 1) vor 1919
- 2) 1919 – 1944
- 3) 1945 – 1960
- 4) 1961 – 1970
- 5) 1971 – 1980
- 6) 1981 – 1990
- 7) nach 1990

und andererseits vier Gebäudetypen, die sich nach der Größe richten:

- A) Einfamilienhaus
- B) Zweifamilienhaus
- C) Kleines Mehrfamilienhaus (3 – 10 Wohneinheiten)
- D) Großes Mehrfamilienhaus (> 10 Wohneinheiten)

Da Bezeichnungen wie „Einfamilienhaus, erbaut zwischen 1971 und 1980“ etc. relativ lang sind und oft verwendet werden müssen, werden dafür Abkürzungen eingeführt.

Im Folgenden werden die Gebäude daher oft kurz gemäß den angeführten Aufzählungszeichen benannt, z.B. ein Zweifamilienhaus, das in den 70er-Jahren erbaut wurde, wird mit dem Kürzel B5 bezeichnet.

Weiters gibt es die zwei Gebäudeklassen (kleine und große Mehrfamilienhäuser, erbaut vor 1919), bei denen aus Denkmalschutzgründen keine Wärmedämmung möglich ist. Somit kommt man insgesamt auf 30 Klassen. Diese unterscheiden sich aber in den durchschnittlichen Kenngrößen nicht von den Gebäuden dieser Klasse ohne Denkmalschutz bzw. wurden diese nicht getrennt erhoben, sodass diese Klassen weiters keine Rolle spielen. Die Anzahl der Wohnungen in den einzelnen Gebäudekategorien gliederte sich 2006 folgendermaßen:

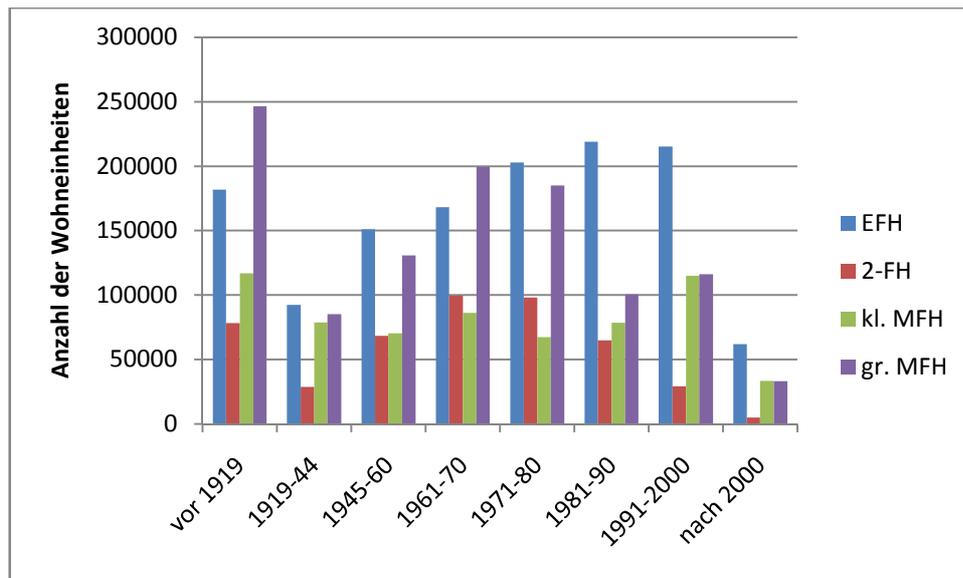


Abb. 5.1: Anzahl der Wohnungen in den einzelnen Gebäudeklassen nach dem Bericht „Wohnen 2006“ [32]

In der Emissionsanalyse kommt es darauf an, wie hoch der jährliche Endenergieverbrauch für Heizung und Warmwasser ist. Wie in Kapitel 7 genauer ausgeführt, unterscheiden sich einige Gebäudetypen in diesen Kriterien kaum voneinander. Daher werden einige von ihnen zusammengefasst. Schließlich bleiben noch 17 Typen über: Bei EFH, 2-FH und großen MFH werden die ersten vier Bauperioden zusammengefasst. Bei kleinen MFH werden die Bauperioden 2.) bis 4.) gemeinsam behandelt.

5.2 Heizungsarten nach Art der Wärmeverteilung

Wie bereits erwähnt, kann man die Heizungssysteme nicht nur bezüglich ihres Brennstoffes, sondern auch hinsichtlich der beheizten Fläche pro Anlage unterscheiden.

In der Hierarchie ganz oben steht die Fernwärmeheizung. Die Wärme fällt etwa in Müllverbrennungsanlagen oder bei kalorischen Kraftwerken als Abwärme an und wird durch ein eigenes Wasserleitungssystem zu den einzelnen Kunden transferiert. Ein Fernwärmezähler misst die Differenz aus Vorlauf- und Rücklauf-temperatur und so die abgenommene Wärmemenge.

Eine Stufe darunter befindet sich die Blockheizung. Hier wird ein ganzer Häuserblock von einer zentralen Anlage, die sich günstigerweise im Block oder in seiner unmittelbaren Nähe befindet, beheizt.

Danach folgt die Hauszentralheizung, wo ein Kessel, meist von Öl oder Gas gespeist, ein Haus beheizt.

Weiters gibt es auch noch die Möglichkeit einer Wohnungszentralheizung (auch Etagenheizung genannt). Die Erwärmung des Brennstoffes findet in der Wohnung selbst statt.

In der Hierarchie ganz unten befindet sich der Einzelofen, der genau dort seine Wärme abliefern, wo er aufgestellt ist bzw. wo der Verbrennungsvorgang stattfindet. Er beheizt meist nur ein oder zwei Zimmer.

Im Folgenden soll untersucht werden, wie diese fünf Anlagentypen im österreichischen Gebäudebestand verteilt sind und mit welchen Brennstoffen sie beheizt werden. Dabei sollen die Zahlen aber nicht auf die Wohnungsanzahl, sondern auf die Gesamtfläche bezogen werden, weil sich daran auch der Heizenergiebedarf misst. Die Zahlen wurden von Statistik Austria ermittelt und beziehen sich auf die Volkszählung von 2001, weil damals die letzte Wohnungserhebung stattgefunden hat. Daher sind neuere Gebäude nicht erfasst. In Abb. 5.2 steht jeder Balken für eine Heizungsstruktur (EO, ZH etc.), die nach den Energieträgern aufgeschlüsselt sind. Die Hauszentralheizung ist eindeutig die dominierende Variante. Sie hat einen Anteil von fast 59 %, gefolgt von der Etagenheizung mit 21 %. Fernwärme und Einzelöfen haben jeweils einen Anteil von knapp unter 10 %, Blockheizungen sind mit 1,4 % (noch) eher selten.

Diese Aussagen allein sagen aber noch nichts über die Verteilung der einzelnen Energieträger aus. Dies soll im Folgenden dargestellt werden: In Abb. 5.3 ist die Verteilung der einzelnen Energieträger dargestellt, wobei die Balken in die unterschiedlichen Zentralisierungsgrade unterteilt sind. Man sieht, dass die mit Gas beheizte Wohnfläche knapp größer ist als die mit Öl versorgte. Der Anteil von Holz ist etwas mehr als halb so groß. Weit dahinter folgen Strom, Kohle/Koks und Hackschnitzel/Pellets, wobei letztere in Zukunft sicher weitere Verbreitung finden werden.

Dazu ist anzumerken, dass es für die Fernwärme keine Angaben gibt, da diese auch teilweise aus Müllverbrennung entsteht.

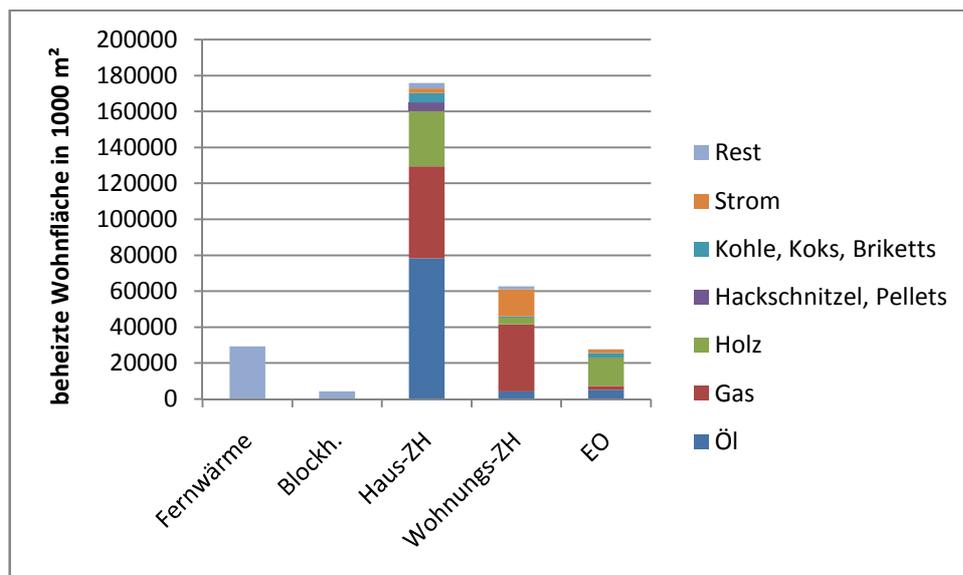


Abb. 5.2: Beheizte Nutzfläche in 1000 m² nach Heizungsstruktur, Balken jeweils aufgeschlüsselt nach Energieträgern [34]

Laut [1] entsteht bei Fernwärme Wien die Wärme zu 22 % aus Müllverbrennung, 72 % stammen aus Kraft-Wärme-Kopplung, d.h. hier wird die Abwärme eines kalorischen Kraftwerks zur Energieerzeugung verwendet, und 6 % aus fossilen Energieträgern, wobei es sich vermutlich ausschließlich um Erdgas handelt.

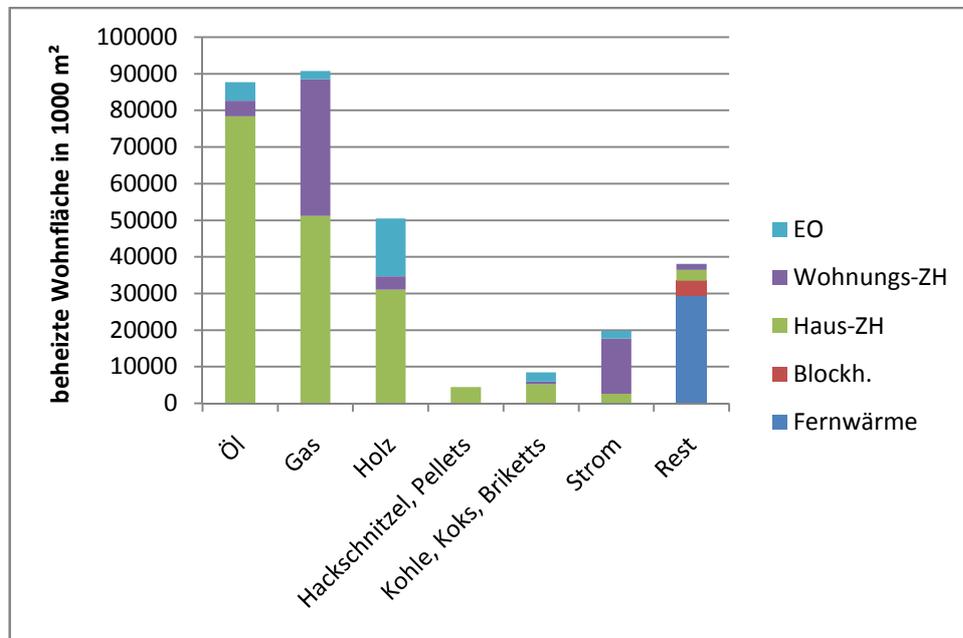


Abb. 5.3: Beheizte Nutzfläche in 1000 m² nach Energieträger, Balken jeweils aufgeschlüsselt nach Heizungsstruktur [34]. Wohnungs-ZH ist auch unter Etagenheizung bekannt.

Weiters ist zu bemerken, dass Etagenheizungen mehrheitlich mit Erdgas betrieben werden, Öl kommt hier kaum zum Einsatz.

Wie bereits erwähnt, setzt sich der untersuchte Energiebedarf aus zwei Komponenten zusammen: dem Bedarf für Raumheizung und jenem für Warmwasserbereitung. Ersterer stellt die Hauptkomponente dar. Welche Heizungs-Warmwasser-Kombinationen analysiert werden sollen, ist im Folgenden dargestellt.

5.2.1 Auflistung der untersuchten Heizungssysteme

In der Emissionsanalyse sind folgende Kombinationen aus Heizungssystemen und Warmwasserbereitstellungssystemen enthalten:

Tab. 5.1: Auflistung der untersuchten Heizungssysteme und deren Abkürzungen

	System	Abkürzung
1	Gas-Einzelofen (Gaskonvektor) + WW-Boiler	Gas-EO
2	Gasetagenheizung	Gas-ETH
3	Gaszentralheizung	Gas-ZH
4	Öl-Einzelofen + WW-Boiler	Öl-EO
5	Ölzentralheizung	Öl-ZH
6	Kohle-Einzelofen + WW-Boiler	Kohle-EO
7	Kohlezentralheizung + WW-Boiler	Kohle-ZH
8	Holz-Einzelofen + WW-Boiler	Holz-EO
9	Holzzentralheizung + WW-Boiler	Holz-ZH
10	Fernwärme	Fernwärme
11	Strom + WW-Boiler	Strom
12	Gas-Brennwert-Zentralheizung	Gas-Brennwert
13	Erdwärmepumpe	WP Erde
14	Luftwärmepumpe	WP Luft
15	Grundwasserwärmepumpe	WP Wasser
16	Hackschnitzelzentralheizung	Hackschnitzelheizung
17	Pelletszentralheizung	Pelletsessel
18	Gas-Brennwert-Zentralheizung mit solarer WW-Unterstützung	Gas-Brw. Sol.kl.
19	Erdwärmepumpe mit solarer WW-Unterstützung	WP Erde Sol.kl.
20	Luftwärmepumpe mit solarer WW-Unterstützung	WP Luft Sol.kl.
21	Grundwasserwärmepumpe mit solarer WW-Unterstützung	WP Wasser Sol.kl.
22	Hackschnitzelzentralheizung mit solarer WW-Unterstützung	HS-Hzg. Sol.kl.
23	Pelletszentralheizung mit solarer WW-Unterstützung	Pellets Sol.kl.
24	Gas-Brennwert-Zentralheizung mit solarer WW- u. Heizungsunterstützung	Gas-Brw. Sol.gr.
25	Erdwärmepumpe mit solarer WW- u. Heizungsunterstützung	WP Erde Sol.gr.
26	Luftwärmepumpe mit solarer WW- u. Heizungsunterstützung	WP Luft Sol.gr.
27	Grundwasserwärmepumpe mit solarer WW- u. Heizungsunterstützung	WP Wasser Sol.gr.
28	Hackschnitzelzentralheizung mit solarer WW- u. Heizungsunterstützung	HS-Hzg. Sol.gr.
29	Pelletszentralheizung mit solarer WW- u. Heizungsunterstützung	Pellets Sol.gr.

Bei den Heizungsarten 1.), 4.), 6.) bis 9.) sowie 11.) ist nicht zu erwarten, dass das Warmwasser von derselben Anlage bereitgestellt wird wie die Raumwärme. Daher wird in diesen Fällen standardmäßig das Vorhandensein eines Elektroboilers angenommen. Es existieren jedoch auch z.B. Ölzentralheizungen, die kein Warmwasser erzeugen (nur für den Heizungskreislauf), bei denen also auch ein externes Warmwasserbereitstellungssystem notwendig ist. Dies würde aber die Anzahl der Heizungssystem/Warmwasser-Kombinationen zu stark erhöhen. Außerdem konnten keine Daten über die Häufigkeit solcher Systemzusammensetzungen gefunden werden.

Bei den Systemen 2.), 3.) und 5.) wird zwischen älteren Baujahren (niedrigerer Nutzungsgrad) und neu eingebauten Anlagen unterschieden. Dies fällt bei den 90er-Jahre-Bauten weg, weil hier erstens keine so großen Unterschiede zwischen eingebauten und

neuen Anlagen bestehen und zweitens ein Austausch dieser Systeme nicht sinnvoll erscheint, zumal die Produktion der Anlagenteile auch viel Energie benötigt.

Bei den letzten sechs aufgezählten Typen wird auch die ökologische Sinnhaftigkeit einer Solarunterstützung (in zwei verschiedenen Größenstufen: einmal nur zur Warmwasserbereitung, einmal auch zur Heizungsunterstützung) untersucht. Somit kommt man auf insgesamt 30 Systeme bei EFH und 2-FH (Hier fällt die Unterscheidung zwischen Gasetagen- und Gaszentralheizung weg.) und 32 Varianten für MFH.

5.2.2 Gesamtszenarien

In Abschnitt 5.1 wurde die Einteilung der Gebäudetypen getroffen: Insgesamt werden 17 Gebäudetypen unterschieden. Es sollen stets jene Heizungssysteme untersucht werden, die im jeweiligen Segment eine Verbreitung von mindestens 7 % haben. Um einen umfassenden Überblick zu erreichen, werden sieben sogenannte Gesamtszenarien gebildet. Bei diesen werden sämtliche im vorigen Abschnitt aufgelisteten Heizungssysteme verglichen, unabhängig von deren Verbreitung. Diese Gebäudegruppen wurden so ausgewählt, dass einerseits das breite Spektrum an jährlichen Energieverbräuchen und andererseits sämtliche Gebäudegrößen als auch alle Bauperioden gleichmäßig gut abgedeckt sind. Diese ausgewählten Szenarien sind: A1–4, A7, B5, C2–4, C5, D1–4 und D5.

5.3 Verteilung der Heizungssysteme des Gebäudebestandes

Aufgrund des Verbreitungsgrades sind bei der Erfassung des Istzustandes nur folgende Heizungssysteme relevant: Öl-ZH, Gas-ZH, Gas-ETH, Gas-EO, Holz-ZH, Holz-EO, Fernwärme sowie Strom. Andere Systeme besitzen in keiner Gebäudeklasse einen Anteil von zumindest 7 %. In [4] finden sich Angaben zur Verteilung der Heizungssysteme. Diese sind nach den Kategorien Ein-/Zweifamilienhäuser und Mehrfamilienhäuser unterteilt. Die Daten stammen von der Statistik Austria. Da anscheinend die Verteilung der Heizungssysteme in den zusammengefassten Kategorien nicht signifikant voneinander abweicht, sollen für Ein- und Zweifamilienhäuser sowie für 3-10 WE und > 11 WE dieselben Heizungssysteme berechnet werden, aber eben mit anderen Parametern betreffend die Eigenschaften des Gebäudes. Im Folgenden soll für Ein- und Zweifamilienhäuser der Ausdruck EFH und für die anderen MFH verwendet werden.

Diese Fälle sollen dann in GEMIS (siehe Abschnitt 6.2) untersucht werden. Um jedoch auch einen Überblick über weniger verbreitete Heizungsformen zu geben, werden, wie in Abschnitt 5.2.2 ausgeführt, sieben Gesamtszenarien gewählt.

5.3.1 Ein- und Zweifamilienhäuser

In EFH sind eindeutig Ölzentralheizungen (Öl-ZH) die vorherrschende Variante, gefolgt von Gas-ZH und Holz-ZH ungefähr gleichauf, weiters existieren vor allem in älteren Bauten noch viele Holz-Einzelöfen (Holz-EO). Die genaue Zusammensetzung zeigt folgende Tabelle, wobei sich die Prozentsätze nicht auf die Gesamtnutzfläche, sondern auf die Zahl der betreffenden Wohnungen beziehen. Hieraus sind lediglich geringe Abweichungen zu erwarten, die für die Auswahl der Modellfälle keine Relevanz haben.

Tab. 5.2: Anteil der Heizungssysteme in % an Wohneinheiten in EFH der einzelnen Bauperioden; die fett gedruckten Fälle sollen in der Emissionsanalyse analysiert werden [4].

	vor 1919	1919-44	1945-60	1961-70	1971-80	1981-90	ab 1991	gesamt
Öl-ZH	20	24	32	42	47	40	42	36
Gas-ZH	15	26	21	17	12	17	23	18
Holz-ZH	26	17	18	19	23	22	14	20
Holz-EO	20	12	8	3	2	3	2	7
Rest	19	21	21	19	16	18	19	19

Aus der Tabelle folgt, dass Öl-, Gas und Holz-ZH für EFH aller Bauperioden untersucht werden. Holz-EO werden nur für die ersten zwei Bauperioden interessant sein.

Der Restanteil ist mit etwa 20 % relativ hoch. Aus der Gebäude- und Wohnungszählung von 2001 lassen sich Aussagen über das Heizungssystem von EFH nur bauperiodenunabhängig anstellen, bzw. sind Brennstoff und Bauperiode bekannt, aber nicht der Zentralisierungsgrad. Durch Kombination der Tabellen können folgende für unsere Zwecke ausreichende Aussagen getroffen werden: Vor allem in Bauten der Sechziger- bis Achtzigerjahre finden sich (noch) relativ viele Kohlezentralheizungen. Elektroheizungen sind überall etwa gleich stark vertreten. Jedoch ist die Anzahl von Haushalten, die elektrische Zusatzheizungen verwenden, hoch. Dennoch werden diese normalerweise nicht angegeben. Da Heiz- und restlicher Haushaltsstrom nicht zu separieren sind und aus Erhebungen darüber mangels Wissen der Bewohner über die Verbräuche der einzelnen Geräte keine vernünftigen Aussagen zu erwarten sind, können darüber nur grobe Schätzungen angestellt werden. Jedenfalls ist anzunehmen, dass dieser Anteil zumindest nicht vernachlässigbar ist. Auch wenn nur wenige Haushalte von elektrischem Strom allein beheizt werden, lassen die Berechnungen Schlüsse darauf zu, wie sich auch nur eine teilweise Beheizung damit auf die Emissionsbilanz auswirkt.

5.3.2 Häuser mit mehr als zwei Wohneinheiten

Für MFH sieht die Zusammenstellung ganz anders aus, wie die folgende Tabelle zeigt.

Tab. 5.3: Anteil der Heizungssysteme in % an Wohneinheiten in MFH der einzelnen Bauperioden [4]. Die fettgedruckten Kombinationen sollen einer Emissionsanalyse unterzogen werden.

	vor 1919	1919-44	1945-60	1961-70	1971-80	1981-90	ab 1991	gesamt
Fernwärme	3	28	20	33	40	37	47	29
Öl-ZH	3	4	5	15	25	18	17	13
Gas-ZH	4	3	4	5	11	10	18	8
Gas-ETH	39	21	24	14	6	11	4	19
Gas-EO	17	13	15	8	2	3	4	9
Strom	12	11	14	11	9	13	3	9
Rest	21	19	18	13	6	7	6	13

In MFH spielt also Fernwärme die dominante Rolle. Bei älteren Gebäuden sind Gas-ETH die meistverbreitete Variante. Stromdirektheizungen sind hier weiter verbreitet als in EFH und 2-FH. Auch der Gaskonvektor ist bei MFH stärker vertreten.

6 Methodik der Emissionsanalyse

6.1 Hauptziele

Die Emissionsberechnungen mit Hilfe von GEMIS haben im Wesentlichen vier Ziele. Erstens sollen aufgrund der Daten für den jährlichen Endenergiebedarf folgende Größen (bezogen auf ein Jahr) für jeden Haustyp und jedes relevante Heizungssystem (in den Gesamtscenarien möglichst viele Systeme, auch wenn diese kaum verbreitet sind) berechnet werden:

- 1.) CO₂-Äquivalente
- 2.) CO₂-Emissionen allein (sind ein Teil von 1.)
- 3.) SO₂-Äquivalente
- 4.) TOPP-Äquivalente
- 5.) Staub
- 6.) Kumulierter Energieaufwand gesamt
- 7.) Kumulierter Energieaufwand nicht erneuerbar

Erläuterungen zu den angegebenen Punkten finden sich in den Abschnitten 3.1 bis 3.5.

Zweitens wird die Sensitivität der Emissionsanalyse auf Variation von Volllaststunden und Lebensdauer untersucht (siehe Abschnitt 8.4).

Drittens sollen durch Erhebungen der Statistik Austria über die aktuelle Anzahl von Haushalten die jährlichen österreichischen Gesamtemissionen 1.) bis 6.) berechnet werden und mit Literaturwerten verglichen werden (siehe Abschnitt 9.1).

Viertens soll schließlich noch ein Alternativszenario angedeutet werden, in dem eine für die Zukunft wünschenswerte Verteilung von Heizungssystemen ausgewählt wird. Daraus können die Einsparungspotentiale durch Heizungstausch, also ohne thermische Sanierungen, abgeschätzt werden (siehe Abschnitt 9.2).

6.2 Methodik der Emissionsanalyse –kurze Einführung in GEMIS

GEMIS bedeutet „**G**lobales **E**missions**m**odell integrierter **S**ysteme“. Es handelt sich dabei um ein Computerprogramm, mit dem sich die Umweltauswirkungen verschiedenster Prozesse berechnen lassen, inkl. vor- und nachgelagerter Prozesse. Die Art der Prozesse ist vielfältig: Sie umfasst neben den hier verwendeten Heizungssystemen u.a. die Themengebiete Kühlung, den Straßenverkehr, Landwirtschaft, Herstellung chemischer Verbindungen, Förderung von fossilen Brennstoffen und Metallen, Errichtung/Sanierung von Gebäuden,

Gärungsprozesse etc. Die Möglichkeiten dieser Software gehen also weit über das hinaus, was für die Zwecke dieser Diplomarbeit benötigt wird. Die Prozesse sind miteinander verkettet. Außerdem kann man eigene Prozesse generieren und verschiedenste Parameter variieren.

Verschiedene Prozesse können mittels Szenarien verglichen werden. Die ausgegebenen Werte umfassen eine Vielzahl von Luftschadstoffemissionen, Treibhausgase, Abwasserbelastungen, Energieaufwand, aber auch Beschäftigungseffekte und Kostenkomponenten. Allerdings wurde davon nicht Gebrauch gemacht, da diese Vergleiche in einer Excel-Tabelle durchgeführt wurden (siehe Anhang A.1).

Speziell in Bezug auf Heizungssysteme ist zu sagen:

Für die meisten Heizungssysteme, z.B. Gas-Zentralheizung, existieren sehr viele verschiedene Prozesse, die sich durch ihren Ortsbezug und den Zeitbezug (für die Zukunft werden Verbesserungsmaßnahmen bei der Erdgasförderung und -verteilung angenommen) unterscheiden. Meist existieren keine für Österreich vorgefertigten Prozesse, da dies ein deutsches Programm ist. Änderungen müssen daher besonders beim Strom-Mix sowie auch beim Erdgas-Mix durchgeführt werden.

Unter dem Menüpunkt „Kenndaten“ in der Prozesskarte (erreicht man durch Doppelklicken auf den betreffenden Prozess in der Liste) kann man die Auslegung des Systems verändern. Davon wurde v.a. bei der Variation von Volllaststunden und Lebensdauer (siehe Abschnitt 8.4) Gebrauch gemacht.

Bei Heizungssystemen gibt es end- und nutzenergiebezogene Prozesse. Das bedeutet, dass man entweder die Emissionen pro kWh Endenergie oder eben Nutzenergie berechnen kann. Damit man die Jahresnutzungsgrade in Excel (siehe Abschnitt Anhang A.1) verändern kann, ist es von Vorteil, in GEMIS endenergiebezogen zu arbeiten. Die von GEMIS unter dem Punkt „Ergebnisse“ → „Berechnen“ errechneten Emissionen pro kWh wurden schließlich in die Excel-Maske übertragen.

7 Modellbildung für die GEMIS-Analyse

7.1 Auslegung des Heizungssystems – Ermittlung der Heizlast eines Gebäudes

Bei der Berechnung der Heizlast geht es darum, für ein bestimmtes Gebäude ein Heizungssystem mit optimaler Maximalleistung zu finden. Einerseits soll das System nicht unterdimensioniert sein, damit es auch an kalten Wintertagen im Gebäude warm genug bleibt, andererseits würde eine Überdimensionierung unnötige Kosten und außerdem auch höhere Emissionen durch die Produktion der größeren Anlagenteile bedeuten.

Für die Berechnung der Auslegung des Heizungssystems ist die ortsabhängige Normaußentemperatur t_{an} entscheidend. Diese ist nach [8] definiert als niedrigster Zweitagesmittelwert der Lufttemperatur eines Ortes, der zehnmal in 20 Jahren erreicht wurde. Im österreichischen Mittel liegt t_{an} bei etwa -15 °C . Dieser ist in der ÖNORM B 8135 für viele verschiedene österreichische Orte angegeben. Anschließend finden sich die Werte für die Landeshauptstädte.

Tab. 7.1: Normaußentemperaturen in den Landeshauptstädten für die Heizlastberechnung nach ÖNORM B 8135.

Ort	Normaußentemperatur
Wien	-12 °C
Wien Mariabrunn	-14 °C
Eisenstadt	-12 °C
St. Pölten	-14 °C
Linz	-14 °C
Salzburg	-16 °C
Innsbruck	-18 °C
Bregenz	-12 °C
Graz	-14 °C
Klagenfurt	-18 °C

Zum Wärmeverlust eines Gebäudes tragen drei physikalische Vorgänge bei: Konvektion, Wärmeleitung und Wärmestrahlung.

Konvektion bedeutet Luftbewegung, sowohl natürlich, also infolge von Druck- und Temperaturunterschieden, als auch künstlich etwa durch Klimaanlage. Zum Wärmeverlust tragen bei diesem Mechanismus vor allem undichte bzw. offene Fenster (also auch Lüftung)

und Türen bei. Durch Mauern, Decken und Böden findet normalerweise kein Luftaustausch statt.

Wärmeleitung bedeutet, dass die Teilchen zwar an ihrem Ort verweilen, jedoch kinetische Energie weitergeben. Dieser Wärmeverlustmechanismus ist proportional zur Außenfläche des Gebäudes und zum Temperaturunterschied zwischen außen und innen. Alle Gebäudeaußenteile tragen zu diesen Verlusten bei.

Wärmestrahlung benötigt kein Medium. Die Sonne wärmt die Erde ausschließlich durch diesen Mechanismus. Bei Häusern sind es die durchsichtigen Komponenten, also Fensterscheiben, durch die Wärme in Form von Strahlung verloren geht. Aber auch Mauern strahlen Wärme ab. Die Verluste wachsen mit der Differenz der vierten Potenzen von Innen- und Außentemperatur. Die Linearisierung der Verluste in untenstehender Tabelle ist daher vor allem in der Spalte Fenster problematisch. Es überwiegen jedoch die Wärmeleitungsverluste, sodass man bei der Näherung einen vertretbaren Fehler macht.

Tab. 7.2: Mittlere U-Werte (Wärmedurchgangszahlen) der Gebäudeaußenteile nach Bauperioden [4]

Bauperiode	U-Werte in W/m ² K				
	Oberste Geschoßdecke	Außenwand	Fenster	Türen	Kellerdecke / Fußboden
vor 1919	1,1	1	3,1	2,5	1,5
1919 – 1944	1,2	1,2	3,2	2,2	1,4
1945 – 1960	1,2	1,35	3,3	2	1,1
1961 – 1970	1,2	1,25	3	1,8	1,1
1971 – 1980	0,3	0,7	2,2	1,7	0,9
1981 – 1990	0,3	0,6	1,9	1,6	0,6
seit 1991	0,25	0,45	1,7	1,6	0,6

In Österreich existieren zwei Normen, die völlig unterschiedliche Vorgaben zur Berechnung der Heizlast machen. Beiden gemeinsam ist, dass sie nur Transmissions- und Konvektionsverluste berücksichtigen, wobei letztere in Form der Lüftungsheizlast eingehen, aber keine Wärmestrahlung.

ÖNORM M 7500 berücksichtigt auch die Wärmeflüsse innerhalb des Gebäudes, d.h. jeder Raum wird extra berechnet, während bei der ÖNORM B 8135 nur die Verluste nach außen in die Rechnung eingehen.

Nach [8] gilt für die Transmissionsheizlast P_B eines Gebäudeteiles

$$P_B = k_B \cdot A_B \cdot (t_i - t_{an}),$$

wobei k_B die Wärmedurchgangszahl des Bauteiles in W/m²K (U-Wert, siehe Tab. 7.2),

A_B die Fläche des Bauteiles

t_i die Norminnentemperatur (meist 20°C) und

t_{an} die Normaußentemperatur (Zahlenwerte siehe Tab. 7.1) sind.

Um die Heizlast eines gesamten Gebäudes zu ermitteln, muss nun über die einzelnen n Bauteile summiert werden:

$$P_{Tr} = \sum_{B=1}^n P_B.$$

Diese Wärmeverluste beziehen sich nur auf die Transmission. Ein weiterer Anteil ergibt sich, wie erwähnt, durch eine Mindestluftaustauschrate (Lüftung).

Laut [7] lautet dieser Zusatzterm

$$P_L = P_l \cdot 0,75 \cdot V_R \cdot \Delta T,$$

wobei

P_L ...Lüftungsheizlast,

P_l ...spezifischer Lüftungswärmeverlust in W/m^3K , laut [9] 0,14 für EFH und 0,18 für soziale Wohnbauten (Dieser höhere Lüftungsbedarf hängt wohl mit den beengteren Platzverhältnissen in derartigen Gebäuden zusammen.)

V_R ...Bruttorauminhalt des Gebäudes,

ΔT ...Temperaturdifferenz zwischen 20°C und der Normaußentemperatur; liegt laut ÖNORM B 8135 in Österreich je nach Standort zwischen -12 und -20°C.

Der Faktor 0,75 ist in [7], aber nicht in [9] enthalten. Es handelt sich dabei um einen Term, der die Annahme ausdrückt, dass 75 % des Bruttovolumens eines Gebäudes mit Luft gefüllt sind. Der Rest ist von Mauern etc. besetzt. Durch Renormierung von P_l kann 0,75 natürlich leicht dort mitberücksichtigt werden.

Wie viel der einzelne Bewohner allerdings lüftet, muss nicht mit dieser Norm übereinstimmen. Es handelt sich dabei nur um ein Mindestmaß aus hygienischen Gründen.

Für die Gesamtheizlast gilt

$$P_H = P_{Tr} + P_L.$$

Wichtig für die Beurteilung der thermischen Qualität eines Gebäudes ist die Gesamtheizlast pro m^2 Wohnnutzfläche A_N und Temperaturdifferenz ($t_i - t_{an}$), genannt ρ_0 . Je niedriger dieser Wert ist, desto besser ist das Haus gedämmt. ρ_0 ergibt sich aus

$$p_0 = \frac{1000 \cdot P_H}{A_N \cdot (t_i - t_{an})},$$

wobei hier P_H in kW und p_0 in W (pro m² und K) angegeben wird, daher stammt der Faktor 1000. Typische Werte für p_0 , die auch in die Berechnung des jährlichen Heizenergiebedarfs eingehen, sind in Abb. 7.1 dargestellt.

7.2 Berechnung des theoretischen Nutzenergiebedarfs

Der Nutzenergiebedarf setzt sich aus dem größeren Anteil für Raumwärme (bestehend aus Transmissions- und Lüftungsverlusten) sowie einem kleineren für Warmwasser zusammen.

7.2.1 Transmissionswärmeverluste

Als Grundlage für die Berechnung der Transmissionsverluste dienen die Daten der Statistik Austria über die mittleren Gebäudegrößen (Tab. 7.3) sowie die mittleren Dämmwerte (Tab. 7.2) der Gebäudeteile. Einige Annahmen sind vorher zu treffen:

Es ist zu beachten, dass viele Häuser aneinandergelagert sind, und unter der Annahme, dass in beiden Gebäuden annähernd gleiche Temperaturen vorherrschen, sind diese Flächen von der Fassadengröße abzuziehen. Bei EFH wird dieser Anteil mit 6 %, bei 2-FH mit 20 % und bei MFH mit 15 % angenommen. Die Verluste durch die Bauteile Mauer, Fenster und Türen vermindern sich um denselben Beitrag.

Zur Berechnung der Fassadenfläche wird außerdem die Deckenstärke dazugerechnet (jeweils 0,3 m).

Die gesamte Türenfläche soll mit einem Anteil von 3 % an der Fassadenfläche abgeschätzt werden.

Die Wärmeverluste gegen Erde richten sich nicht nach der Temperatur der Außenluft, sondern nach jener der Erde. Mit Hilfe von [3] ist es plausibel anzunehmen, dass der Wärmeverlust gegen den Boden in etwa die Hälfte des Wertes gegen die Außenluft annimmt.

Tab. 7.3: Durchschnittliche Kenngrößen der verschiedenen Gebäudetypen [4]. Die Fensterflächenanteile sind auf die Fassadenflächen bezogen.

Bauperiode	Größe	Wohnungen pro Gebäude	Bruttogeschossfläche	Länge Seite 1 (m)	Länge Seite 2 (m)	Anzahl Geschoße	Geschoßhöhe (m)	Anteil Fenster
-1919	EFH	1	149,04	10,12	7,36	2	3	11,89%
1919 - 1944	EFH	1	135,24	9,64	7,01	2	3	11,89%
1945 - 1960	EFH	1	142,49	9,90	7,20	2	3	11,89%
1961 - 1970	EFH	1	154,78	10,32	7,50	2	3	11,89%
1971 - 1980	EFH	1	166,43	10,70	7,78	2	3	11,89%
1981 - 1990	EFH	1	169,06	10,78	7,84	2	3	11,89%
1991 - 2000	EFH	1	175,51	10,98	7,99	2	3	11,89%
-1919	Zwei-FH	2	264,75	15,44	8,58	2	2,9	12,21%
1919 - 1944	Zwei-FH	2	264,61	15,43	8,57	2	2,9	12,21%
1945 - 1960	Zwei-FH	2	254,97	15,15	8,42	2	2,9	12,21%
1961 - 1970	Zwei-FH	2	262,01	15,36	8,53	2	2,9	12,21%
1971 - 1980	Zwei-FH	2	282,76	15,95	8,86	2	2,9	12,21%
1981 - 1990	Zwei-FH	2	289,17	16,13	8,96	2	2,9	12,21%
1991 - 2000	Zwei-FH	2	297,95	16,38	9,10	2	2,9	12,21%
-1919	kl. MFH	5,56	604,41	19,04	10,58	3	3,2	15,79%
1919 - 1944	kl. MFH	5,56	482,68	17,02	9,45	3	3	15,79%
1945 - 1960	kl. MFH	5,56	496,31	17,26	9,59	3	2,9	15,79%
1961 - 1970	kl. MFH	5,56	562,70	18,37	10,21	3	2,9	15,79%
1971 - 1980	kl. MFH	5,56	616,16	19,23	10,68	3	2,9	15,79%
1981 - 1990	kl. MFH	5,56	609,92	19,13	10,63	3	2,9	15,79%
1991 - 2000	kl. MFH	5,56	604,18	19,04	10,58	3	2,9	15,79%
-1919	gr. MFH	18,54	1564,79	30,64	12,77	4	3,2	18,35%
1919 - 1944	gr. MFH	18,54	1320,10	28,14	11,73	4	3	18,35%
1945 - 1960	gr. MFH	18,54	1453,97	29,54	12,31	4	2,9	18,35%
1961 - 1970	gr. MFH	18,54	1577,34	30,76	12,82	4	2,9	18,35%
1971 - 1980	gr. MFH	18,54	1806,51	32,92	13,72	4	2,9	18,35%
1981 - 1990	gr. MFH	18,54	1826,88	33,11	13,79	4	2,9	18,35%
1991 - 2000	gr. MFH	18,54	1858,18	33,39	13,91	4	2,9	18,35%

Die in den Tabellen aufgelisteten Größen sollen nun Ausgangspunkt für relevante Parameter der Wärmebedarfsrechnung sein. Dabei fließen Annahmen über die zuvor gemachten Adaptierungen ein.

In Tab. 7.4 sind die Ergebnisse dieser Berechnungen zusammengefasst. In der Spalte ganz links sind die Indizes angeführt, die zur kürzeren Schreibweise für die Gebäudeklassen eingeführt wurden (siehe dazu auch Anfang von Kapitel 5).

Eine wichtige Größe zur Bestimmung des Heizwärmebedarfs ist die jährliche Anzahl der Heizgradtage (*HGT*). *HGT* ist definiert als Summe der Differenzen der täglichen

Tagesmitteltemperaturen und einer Temperaturreferenz von 20°C, wobei nur Tage mit einem Durchschnitt unter 12°C herangezogen werden. Diese werden schließlich über die einzelnen Jahre aufsummiert und gemittelt. [6] bietet eine umfangreiche Datenbank.

HGT in Österreich variiert in nicht allzu großen Meereshöhen zwischen 2744 in der Wiener Innenstadt und etwa 4000 (z.B. Kitzbühel) pro Jahr. *HGT* auf der Hohen Warte beträgt 3048, in Linz und Graz um die 3250. Letzteres kann auch in etwa als österreichischer Mittelwert herangezogen werden. In der ÖNORM B 8135 sind die Werte generell um etwa 5 – 10 % höher angesetzt. Angesichts der Prognose der Klimaforscher, dass die zukünftigen Winter wärmer sein werden als jene der der Norm zugrunde liegenden Beobachtungsperiode (die vor jener liegen dürfte, welche die ZAMG auf ihrer Homepage gewählt hat, nämlich 1971 – 2000), werden, um die Arbeit an die aktuellen Gegebenheiten anzupassen, die niedrigeren Werte gewählt.

Den jährlichen theoretischen Nutzenergiebedarf durch Transmissionswärmeverluste erhält man aus der Formel

$$NE_{th,trans.} = \frac{P_H \cdot 24 \cdot HGT}{(t_i - t_{an})} = 24 \cdot HGT \cdot \sum_{B=1}^n k_B \cdot A_B,$$

wobei über die *n* Bauteile mit den Wärmedurchgangskoeffizienten *k_B* und den Außenflächen *A_B* summiert wird.

Die jährlichen Lüftungsverluste ergeben sich zu

$$NE_{th,Lüft.} = 24 \cdot HGT \cdot P_l \cdot 0,75 \cdot V_R$$

mit *P_l* als spezifischem Lüftungswärmeverlust (siehe auch Abschnitt 7.1).

Die Summe aus diesen beiden Anteilen ergibt die in den Spalten 6 und 7 von Tab. 7.4 angegebenen Werte, einmal auf das Gebäude und einmal auf eine Wohneinheit bezogen.

Die Nettogeschoßfläche errechnet sich aus der Bruttogeschoßfläche (Länge Seite 1 x Länge Seite 2 x Anzahl Geschoße) multipliziert mit einem gewissen Korrekturfaktor. Dieser wurde für die Bauperioden bis 1970 mit 0,77 und für neuere Gebäude mit 0,8 angenommen. (In früheren Jahren war die Mauerdicke tendenziell höher.) Diese Zahlen resultieren aus der Auswertung einiger Baupläne derartiger Gebäude.

Eine wichtige Größe zur Beurteilung der thermischen Qualität eines Gebäudes ist der spezifische Energiebedarf in kWh/m²a. Je niedriger dieser Wert ist, umso besser ist das Gebäude gedämmt. Die Zahlen finden sich in der rechten Spalte von Tab. 7.4. Jene Gebäudetypen, die aufgrund ähnlicher Gebäudegrößen und Dämmwerte gemeinsam behandelt werden, sind hier bereits zusammengefasst.

In Anbetracht der Unsicherheitsfaktoren und der gerundeten U-Werte, die sich in den Statistiken finden, ist die Angabe von Nachkommastellen nicht sinnvoll. Sämtliche Zahlen sind mit Unsicherheiten behaftet. Fehlergrenzen können nicht angegeben werden, da die Ausgangsdaten solche ebenfalls nicht aufweisen.

Die mittleren U-Werte (Transmissionswärmeverluste in W/m^2K) der einzelnen Gebäudetypen sind in Abb. 7.1 dargestellt. [4] brachte mit denselben Grunddaten, aber anderen Zusatzannahmen weitgehend ähnliche Ergebnisse. Dort sind kleine alte Gebäude etwas besser und neue große etwas schlechter bewertet, allerdings nicht signifikant.

Jedenfalls fällt auf, dass Gründerzeithäuser (vor 1914 bzw. 1918) etwas bessere thermische Eigenschaften aufweisen als Häuser der Baujahre 1918 – 1960 und gegenüber Sechzigerjahre-Häusern kaum abfallen. Ab 1970 lässt sich ein signifikanter Rückgang des Wärmedurchgangskoeffizienten feststellen. Dieser Trend hält bis heute an und wird sich höchstwahrscheinlich noch einige Zeit lang fortsetzen.

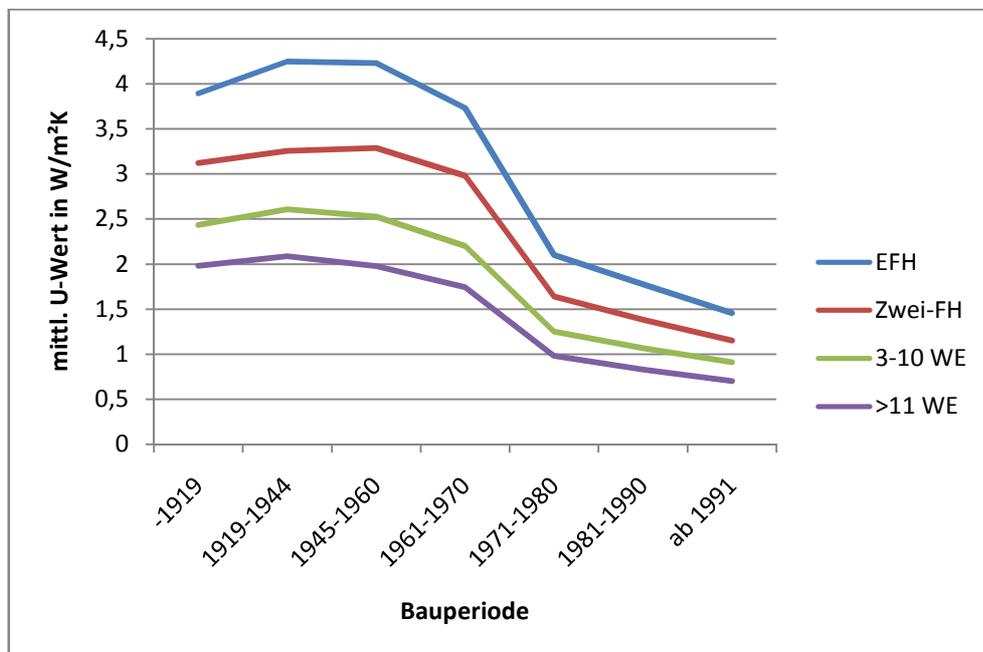


Abb. 7.1: Mittlere U-Werte für die einzelnen Gebäudetypen (nach [4], verknüpft mit eigenen Annahmen).

Verschiedene Einflussfaktoren (Heiz- und Lüftungsverhalten der Bewohner, andere Wärmequellen etc.) führen dazu, dass die berechneten Heizenergieverbräuche durchwegs von den tatsächlichen abweichen. In jedem Fall ist der Verbrauch in der Realität geringer. Siehe dazu Abschnitt 7.3.

7.2.2 Lüftungsverluste

Die Lüftungsverluste sollen mit der Formel in Abschnitt 7.1 berechnet werden. Die dort genannte spezifische Lüftungsheizlast soll mit $0,15 \text{ W/m}^3\text{K}$ angenommen werden. Das Bruttovolumen ergibt sich aus Tab. 7.3. Die damit erhaltenen Werte sind in Tab. 7.5 enthalten.

Inwiefern das individuelle Lüftungsverhalten allerdings von der Norm abweicht, ist relativ unsicher. Bei undichten Fenstern (z.B. Holzfenster ohne Dichtungstreifen) ist die Sache etwas einfacher: Hier könnte man den Luftzug durch die Fugen quantitativ erfassen.

Dazu müsste man allerdings untersuchen, wie dicht die Fenster in jeder Gebäudegruppe im Durchschnitt sind. Dies wäre nur mit großen Stichproben und dementsprechendem Aufwand durchführbar.

Tabelle 7.4 fasst einige wichtige Parameter der untersuchten Gebäudetypen zusammen.

Tab. 7.4: Jährlicher Heizenergiebedarf (aus Transmission und Lüftung) pro Gebäude, Wohnung und pro m^2 für alle berechneten Gebäudetypen (nach [4], verknüpft mit eigenen Annahmen)

<i>Index</i>	<i>Gebäu- detyp</i>	<i>Bauperiode</i>	<i>Netto- geschoß- fläche (m^2)</i>	<i>Fläche pro Wohnung (m^2)</i>	<i>Jährl. theor. Nutzener- giebedarf pro Gebäude (kWh/a)</i>	<i>Jährl. theor. Nutzener- giebedarf pro Wohnung (kWh/a)</i>	<i>Spezif. Energie- bedarf ($\text{kWh/m}^2\text{a}$)</i>
A1-4	EFH	-1970	112	112	38525	38525	343
A5	EFH	1971 - 1980	134	134	25335	25335	190
A6	EFH	1981 - 1990	136	136	22484	22484	166
A7	EFH	1991 -	141	141	19835	19835	141
B1-4	2-FH	-1970	202	101	53669	26834	266
B5	2-FH	1971 - 1980	27	113	33830	16915	149
B6	2-FH	1981 - 1990	231	115	30246	15123	131
B7	2-FH	1991 -	239	119	27202	13601	114
C1	3-10 WE	-1919	465	84	102780	18486	221
C2-4	3-10 WE	1919 - 1970	398	72	94200	16942	236
C5	3-10 WE	1971 - 1980	493	89	66124	11893	134
C6	3-10 WE	1981 - 1990	486	87	58346	10494	120
C7	3-10 WE	1991 -	483	87	51299	9226	106
D1-4	> 11 WE	-1970	1146	62	217340	11723	190
D5	> 11 WE	1971 - 1980	1442	78	156502	8441	109
D6	> 11 WE	1981 - 1990	1462	79	142356	7678	97
D7	> 11 WE	1991 -	1486	80	129373	6978	87

Es zeigen sich also enorme Unterschiede zwischen den Bauperioden bezüglich der thermischen Qualität – das Gebäude aus den 1990er-Jahren weist einen nicht einmal halb so

hohen Energiebedarf auf wie eines, das vor 1970 erbaut wurde. Je größer das Gebäude ist, desto günstiger ist das Verhältnis aus Volumen zu Oberfläche. (Die Dämmwerte wurden als gleich vorausgesetzt.) Daher werden auch die Emissionswerte sehr stark davon abhängen, welchen Gebäudetyp man wählt.

7.2.3 Warmwasserbedarf

Untersuchungen in [7] zeigen, dass ca. 82 % des Haushaltsenergiebedarfs für das Heizen, aber nur 6 % für die Warmwassererzeugung verwendet werden, also etwa nur 1/14 davon. Der Anteil ist jedoch bei gut gedämmten Gebäuden bzw. Mehrfamilienhäusern höher.

Diese Komponente soll folgendermaßen berücksichtigt werden: Überall, wo Einzelöfen zum Einsatz kommen, sowie weiters bei Kohle- und Holz-Zentralheizungen wird die Warmwasserbereitung mit Elektroboilern durchgeführt. (Daneben ist auch der Gas-Durchlauferhitzer verbreitet, aber eine Unterscheidung würde die Zahl der Modellfälle auf diesem Gebiet verdoppeln und damit nicht zur Übersichtlichkeit beitragen.) Bei sonstigen Systemen wird angenommen, dass die Warmwasserbereitung mit dem Raumheizungssystem erfolgt. Daher erhöht sich die Nutzenergie einfach um einen der jeweiligen Gebäudegröße entsprechenden Betrag. Es wird ein Warmwasserbedarf von 45 l pro Person und Tag zugrundegelegt.

Die Erwärmung von 1l Wasser um 1K erfordert die Energie von rund 4,2 kJ = 4,2 kWs. Die durchschnittliche Kaltwassertemperatur wird mit 10°C (Jahrestemperaturmittelwert) angesetzt, die zu erreichende Temperatur mit 50°C. Die Kesseltemperatur des Warmwassers beträgt zwar 60 bis 65°C, jedoch wird es meistens mit kaltem Wasser vermischt. Pro Person wird daher ein jährlicher Nutzenergiebedarf für die Warmwasserbereitung in der Höhe von

$$365 \text{ d} \cdot 45 \text{ l} \cdot 40 \text{ K} \cdot \frac{4,2 \text{ kWs}}{1 \cdot \text{K}} = 2759400 \text{ kWs} = 766,5 \text{ kWh}$$

angenommen.

Laut Statistik Austria beträgt die durchschnittliche Haushaltsgröße in Österreich 2,33 Personen (Tendenz sinkend). Daher wird der Nutzenergiebedarf für Warmwasser mit $766,5 \text{ kWh} \cdot 2,33 \approx 1786 \text{ kWh}$ pro Haushalt und Jahr angesetzt.

In der folgenden Tabelle sind die gefundenen Werte für den theoretischen Nutzenergiebedarf für Heizung und Warmwasser, jeweils pro Wohnung und pro Gebäude, angegeben. A steht für EFH, B für 2-FH, C für 3 – 10 WE, D für > 11 WE. 1 bis 7 nummeriert die einzelnen Bauperioden. Beim Warmwasser gibt es keinen Unterschied zwischen theoretischen und praktischen Werten, d.h. man könnte sagen, der Servicefaktor ist 1. Dies ergibt sich daraus, dass der Warmwasserbedarf nicht einer Norm entstammt, sondern ein praktischer Erfahrungswert ist.

Aufgrund der Unschärfe der einzelnen Werte ist es, wie auch beim Raumwärmebedarf, gerechtfertigt, mehrere Bauperioden jeweils gemeinsam zu behandeln und generell die Energiemengen zu runden.

In der folgenden Tabelle sind die drei Anteile, aus denen sich fast 90 % des Energiebedarfs eines Durchschnittshaushalts ergeben, nach Gebäudetyp aufgelistet. Diese Werte werden auch im Emissionsmodell verwendet.

Tab. 7.5: Durchschnittliche Nutzenergieverbräuche für Raumheizung und Warmwasser für alle untersuchten Gebäudetypen

Index	<i>Theoretischer Nutzenergiebedarf in kWh/a pro Gebäude</i>		
	<i>Transmissionswärmeverluste</i>	<i>Lüftungswärmeverluste</i>	<i>Warmwasser</i>
A1–4	34900	3660	1780
A5	21100	4190	1780
A6	18200	4260	1780
A7	15400	4420	1780
B1–4	46800	6880	3560
B5	26400	7420	3560
B6	22700	7550	3560
B7	19400	7820	3560
C1	84200	18560	9910
C2–4	79700	14530	9910
C5	48800	17310	9910
C6	41300	17060	9910
C7	34300	16970	9910
D1–4	173300	44070	33030
D5	105900	50630	33030
D6	91100	51310	33030
D7	77200	52150	33030

7.3 Heizungs- und nutzerspezifische Aspekte zur Modellbildung

Um nun vom theoretischen Nutzenergiebedarf zum praktischen Endenergiebedarf zu gelangen, sind zunächst Annahmen über die Jahresnutzungsgrade (Erläuterungen siehe Abschnitt 3.6) und Servicefaktoren (Abschnitt 3.8) notwendig. Die angenommenen Zahlenwerte sind in den Abschnitten 7.3.1 bzw. 7.3.2 angegeben. Weiters ist auch der

Hilfsstrombedarf zu erfassen, der zum Verbrauch an Brennmaterial hinzukommt. Die verwendeten Werte sind in Abschnitt 7.3.3 zusammengefasst.

Außerdem müssen die Zahl der jährlichen Volllaststunden (Erläuterungen in Abschnitt 3.7) sowie die Lebensdauer der Anlage festgelegt werden. Dies geschieht in Abschnitt 7.3.4.

Die im Folgenden quantifizierten Parameter bedeuten gleichzeitig auch eine Auflistung der größten Unsicherheitsfaktoren bei der Berechnung des Endenergiebedarfs.

7.3.1 Jahresnutzungsgrade

Hier wurden bereits in [4] und [8] umfangreiche Erhebungen vorgenommen.

Diese sind in der folgenden Tabelle angegeben.

Tab. 7.6: Jahresnutzungsgrade und Hilfsenergieverbräuche für verschiedene Heizungssysteme auf Basis von [4] und [8]

Heizungsart/Brennstoff	Jahresnutzungsgrad		
	1980	1990	2000
Zentralheizungssysteme			
Stückholzkessel	0,41	0,55	0,71
Pelletsessel		0,68	0,73
Hackgutkessel		0,67	0,72
Gaskessel	0,5	0,7	0,8
Gas-Brennwertkessel	-	0,85	0,92
Ölkessel	0,46	0,66	0,76
Öl-Brennwertkessel	-	0,88	0,89
Kohlekessel	0,41	0,6	0,7
Fernwärme	0,8	0,89	0,91
Wärmepumpe Luft/Wasser		2,2	2,7
Wärmepumpe Sole/Wasser		3,2	3,6
Wärmepumpe Wasser/Wasser		3,5	4
Etagenheizungen			
Gas-Kombitherme	0,55	0,73	0,8
Einzelöfen			
Stückholzofen	0,4	0,53	0,6
Pelletsofen	-	0,69	0,75
Kohle/Koks/Brikettsofen	0,4	0,55	0,61
Ölofen	0,38	0,56	0,6
Gaskonvektor	0,5	0,62	0,8
Elektro-Konvektoren	0,93	0,94	0,95
Elektro-Nachtspeicherofen	0,85	0,91	0,92

Die Schwierigkeit, vernünftige Werte für Jahresnutzungsgrade zu ermitteln, wird auch in [12] deutlich: Für Öl- und Gaskessel werden Zahlen angegeben, für Pelletskessel nur ein Schätzwert und für andere Technologien gibt man gleich gar nichts an, da es keine Messwerte gibt (auch für Pellets nicht; nur ein Schätzwert von 70 % wird erwähnt).

Zur Fernwärme ist Folgendes anzumerken: Die Energie, die das Heizwerk verlässt, entspricht 100%, jener Anteil, der im Wohnraum ankommt und daher genutzt werden kann, beträgt 0,89 – 0,92 und ist in der Tabelle vermerkt.

Ein großer Unsicherheitsfaktor bei dieser Abschätzung liegt nicht nur in den Daten der Jahresnutzungsgrade für gewisse Heizungssysteme bestimmten Baujahres, sondern auch in der Einschätzung des durchschnittlichen Alters der Heizungsanlagen. Die folgenden Zeilen sind also sehr spekulativ, aber aufgrund fehlender Erhebungen ist dies unumgänglich. (Die meisten Hausbewohner wissen nicht wie alt ihr Heizungssystem ist, also scheitert diese Analyse schon am Anfang; man würde wohl, außer vielleicht bei Einfamilienhäusern, kaum genauere Werte bekommen als durch eigene Abschätzungen.)

Es werden folgende Annahmen getroffen bzw. Informationen miteinbezogen:

In Bauten, die aus den letzten drei Bauperioden stammen, ist das Heizungssystem fast immer so alt wie das Haus selbst.

Eine Befragung von rund 2000 Haushalten im Bezirk Gmunden hat laut [10] ergeben, dass in den letzten 20 Jahren in 69 % der EFH-Haushalte Erneuerungen an der Heizungsanlage stattgefunden haben. In den Bauperioden vor 1919 – 1980 sind also rund 30 % der Heizungsanlagen sicher völlig veraltet und der JNG-Wert ist aus der linken Spalte der Tab. 7.6 zu entnehmen. Ein weiterer Anteil wird Maßnahmen gesetzt haben, die den JNG nicht erhöhen, sondern Instandhaltungsarbeiten durchführen haben lassen, aber dennoch mit „ja“ geantwortet haben. Wahrscheinlich sind daher für 50 % der Haushalte die alten JNG-Werte zu nehmen.

Sofern die Anlage tatsächlich erneuert wurde, ist dies wahrscheinlich mehrheitlich in den letzten Jahren geschehen, da früher das Bewusstsein, dass Systemtausch etwas bringen kann, nicht so ausgeprägt war wie seit ca. 2000 und früher lediglich kaputtgegangene Teile ersetzt wurden.

Es ist anzunehmen, dass Gas-EO nicht mehr in größeren Mengen neu installiert werden und daher meist so alt sind wie das Gebäude.

Für den Bestand an Heizungssystemen wird ein diesen Annahmen entsprechender Mittelwert verwendet.

Zusätzlich sollen bei Gaszentral-, Gasetagen- und Ölzentralheizung Jahresnutzungsgrade moderner Systeme herangezogen werden.

Nach [5] gelten in Wien als Mindestanforderung für den Wirkungsgrad von neu eingebauten Heizkesseln folgende Werte:

für Erdgas, Heizöl extra leicht: $\eta = 90 + 2 \log P_n$

für Holzpellets, Hackschnitzel: $\eta = 80 + 2,5 \log P_n$,

wobei P_n die Nennleistung des Kessels in kW ist. Damit ergeben sich für moderne Kessel die in Tab. 7.7 zusammengestellten Wirkungsgrade.

Tab. 7.7: Mindestanforderungen an den Kesselwirkungsgrad neuer Modelle in Wien nach der Formel aus [5]

P_n (kW)	Gas, Öl	Holz
10	92	82,5
20	92,6	83,25
50	93,4	84,25
100	94	85
300	94,95	86,19

Man sieht, dass die Werte höher sind als die in Tab. 7.6 und auch 7.8 angenommenen für die Jahresnutzungsgrade. Dies ist kein Widerspruch, sondern dadurch zu erklären, dass sich der Wirkungsgrad mit sinkender Last und durch oftmaliges Anstarten des Kessels verschlechtert: Der Wirkungsgrad wird bei Nennlast, also hoher Kessellast berechnet. Dies ist ein optimaler Betriebszustand, schließlich ist das Gerät darauf ausgelegt. Zum Teil ist dies auch durch höhere Wärmeverluste im Kessel zu erklären, weil bei nicht so intensiver Wärmenachfrage das erwärmte Medium (Wasser) zwar genauso vorhanden ist, aber weniger oder gar nicht genutzt wird und somit im Kessel ungenutzt nach und nach seine Wärme verliert.

Mit Hilfe der JNG-Werte in Tab. 7.6, Annahmen über das Durchschnittsalter von Heizungsanlagen und über Vorteile großer Zentralheizungssysteme gegenüber kleineren sind Werte für die Jahresnutzungsgrade bzw. Jahresarbeitszahlen ermittelt worden, welche in die Emissionsanalyse einfließen werden (siehe Tab. 7.8).

Die JNG für ZH-Systeme werden bei größeren Gebäuden stets etwas höher angesetzt, weil für größere Kessel aufgrund des günstigeren Volumen/Oberflächen-Verhältnisses ein höherer Wirkungsgrad zu erwarten ist, was auch u.a. in der Wiener Verordnung für die Mindest-Wirkungsgrade neu eingebauter Kessel (siehe Tab. 7.7) Niederschlag findet. Aufgrund der Unsicherheit der Daten wäre auch ein Angleichen der JNG für die verschiedenen Gebäudegrößen möglich, es soll aber dadurch auf die Vorteile einer Zentralheizungsanlage mit höherer Nennleistung hingewiesen werden.

Die Varianten „Gas-ETH neu“, „Gas-ZH neu“ und „Öl-ZH neu“ existieren in der Bauperiode der 90er-Jahre nicht, weil der Unterschied zu damals eingebauten (finden sich unter „alt“) nicht wesentlich ist und überdies ein Austausch in den nächsten Jahren eher nicht stattfinden wird.

Für die JNG von Wärmepumpen, HS-Heizungen und Pelletskessel werden jeweils die Daten neuer Systeme herangezogen. Der Sinn dieser Analyse ist es nämlich nicht, die vereinzelt etwas älteren Systeme zu untersuchen, sondern eine Grundlage für eine Antwort auf die Frage zu geben, ob der Einbau derartiger Heizungen ökologisch sinnvoll ist.

Tab. 7.8: Mittlere Jahresnutzungsgrade bzw. Jahresarbeitszahlen für alle Bauperioden und die darin befindlichen Heizungssysteme. A steht für EFH, B für 2-FH, C für ein Gebäude mit 3 – 10 WE, D für eines mit > 10 WE; 1 – 7 nummerieren die Bauperioden chronologisch durch.

	<i>zugrunde gelegte Jahresnutzungsgrade in % für die Emissionsanalyse in GEMIS</i>																
JNG	A1-4	A5	A6	A7	B1-4	B5	B6	B7	C1	C2-4	C5	C6	C7	D1-4	D5	D6	D7
Gas-EO	50	53	56	66	50	53	56	66	50	50	53	56	66	50	53	56	66
Gas-ETH alt									71	71	65	74	81	71	65	74	81
Gas-ETH neu									83	83	83	83		83	83	83	
Gas-ZH alt	72	66	75	82	73	67	76	83	75	75	69	78	85	76	70	79	86
Gas-ZH neu	84	84	84		85	85	85		87	87	87	87		88	88	88	
Öl-EO	39	44	51	62	39	44	51	62	39	39	44	51	62	39	44	51	62
Öl-ZH alt	68	62	70	78	69	63	71	79	71	71	65	73	81	72	66	74	82
Öl-ZH neu	80	80	80		81	81	81		83	83	83	83		84	84	84	
Kohle-EO	40	45	51	62	40	45	51	62	40	40	45	51	62	40	45	51	62
Kohle-ZH	44	52	58	67	45	53	59	68	47	47	55	61	70	48	56	62	71
Holz-EO	40	45	51	62	40	45	51	62	40	40	45	51	62	40	45	51	62
Holz-ZH	44	52	58	67	45	53	59	68	47	47	55	61	70	48	56	62	71
Fernwärme	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93	93
Strom	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95
Gas-BRW	91	91	91	91	92	92	92	92	93	93	93	93	93	94	94	94	94
WP Erde	270	350	380	400	270	350	380	400	270	270	350	380	400	270	350	380	400
WP Luft	220	270	280	300	220	270	280	300	220	220	270	280	300	220	270	280	300
WP Wasser	300	370	410	430	300	370	410	430	300	300	370	410	430	300	370	410	430
HS-Hzg.	72	72	72	72	73	73	73	73	74	74	74	74	74	75	75	75	75
Pellets	74	74	74	74	75	75	75	75	76	76	76	76	76	77	77	77	77

Die Jahresarbeitszahlen für Wärmepumpen (entsprechen den JNG bei anderen Systemen) wurden folgendermaßen ermittelt: Entsprechend der spezifischen Heizlast, d.h. je nach Bauperiode, wurden unterschiedliche Vorlauftemperaturen angenommen (Grundlage für die in Tab 7.8 angeführten Werte ist die Aufstellung in Tab. 7.9.), weil natürlich in einem schlecht gedämmten Haus eine höhere Temperatur benötigt wird, um den laufenden Wärmeverlust auszugleichen. Es werden folgende Werte gewählt: Bauperiode 1–4: 55°C, 5: 45°C, 6: 40°C und 7: 35°C. Dadurch wird auch der JNG massiv beeinflusst. Weiters wurde (in abgestufter Weise) berücksichtigt, dass für die Warmwasserbereitung eine weit höhere

Vorlauftemperatur nötig ist, nämlich ca. 60°C. [2] gibt eine Verminderung der JAZ um bis zu 0,5 an. Dies fällt allerdings umso stärker ins Gewicht, je niedriger die Vorlauftemperatur für den Heizungsanteil ist. Die Abzüge betragen 0 für die ersten vier Bauperioden, 0,3 für die fünfte, 0,4 für die sechste und 0,5 für die siebente. Damit ergeben sich folgende Jahresnutzungsgrade für die einzelnen Fälle:

Tab. 7.9: Übersicht über die für die GEMIS-Analyse gewählten Vorlauftemperaturen für den Raumheizungsanteil bei Wärmepumpen und die daraus resultierenden Jahresnutzungsgrade mit bereits berücksichtigten Abzügen für den WW-Anteil (nach [2])

Bauperiode	Vorlauftemperatur in °C	Wärmemedium		
		Wasser	Erdreich	Luft
1–4	55	3	2,7	2,2
5	45	3,7	3,5	2,7
6	40	4,1	3,8	2,8
7	35	4,3	4	3

Die geringfügig niedrigeren JNG-Werte einer Hackschnitzelheizung gegenüber einem Pelletskessel resultieren aus [4].

Es gibt Untersuchungen, die belegen, dass Normnutzungsgrad und Jahresnutzungsgrad bei Kesselanlagen weit auseinander liegen. Ursache dafür sind unrealistische Testbedingungen. Vor allem die Sommermonate mit der geringen Auslastung spielen dabei eine Rolle. Die Problematik erinnert etwas an die Normverbrauchsangaben der KFZ-Hersteller. Hier wird ein in der Praxis kaum vorkommendes Geschwindigkeitsprofil zu Grunde gelegt. In diesem Zusammenhang ist v.a. die Studie [30] zu nennen. Für neue Gas-Brennwertkessel wird ein Nutzungsgrad von lediglich 79 % angegeben, für „normale“ Niedertemperaturmodelle ein Wert von 73 %. Die Normnutzungsgrade (Herstellerangaben) liegen im ersten Fall jedoch fast ausnahmslos über 100 %, im zweiten zwischen 90 und 95 %.

Es ist natürlich kein optimaler Zustand, dass Herstellerangaben und Wirklichkeit so weit auseinanderliegen. Es wäre also wünschenswert, den Testzyklus entsprechend zu adaptieren.

7.3.2 Servicefaktoren

Servicefaktoren (f_s) stellen eine pauschale Berücksichtigung innerer und solarer Gewinne sowie der Abweichung des Benutzerverhaltens von der Norm dar.

Die Ergebnisse für die Servicefaktoren sind nach Brennstoff, Ein- und Mehrfamilienhäusern sowie Einzelofen einerseits und Etagen- und Zentralheizung andererseits aufgeschlüsselt. Somit existieren drei Kriterien, die hier Beachtung finden sollen.

Die Werte sind in folgender Tabelle aufgelistet, wobei jene für Einfamilienhäuser auch für Zweifamilienhäuser verwendet werden sollen, da der Charakter eines 2-FH doch eher dem eines EFH als dem eines großen Wohnblockes ähnelt. Die Werte wurden mittels einer ÖSTAT-Umfrage (jetzt: Statistik Austria) ermittelt.

Eine Stromheizung ist meist ein Einzelofen und Fernwärme per se eine Zentralheizung, daher fehlen die jeweils anderen Werte. Bei der Fernwärme fällt der sehr hohe Servicefaktor auf. Dies ist wohl durch die verhältnismäßig hohe flächenabhängige Grundgebühr und den geringen verbrauchsabhängigen Anteil an den Energiekosten zu erklären. Begründet wird dieses Schema nach [7] mit der Ungenauigkeit der Zähler. Weiters fehlen hier oft Thermostatventile und Nachtabsenkungen. So kommt es vor, dass zu hohen Innentemperaturen mit dem Öffnen von Fenstern beigegeben wird. (Ein Beispiel ist dem Verfasser dieser Arbeit persönlich bekannt.) Diese Fakten beeinträchtigen jedoch die ökologische Sinnhaftigkeit beträchtlich. Schließlich wird hier mehr Energie verbraucht als anscheinend notwendig wäre. Im Prinzip ist Fernwärme eine sinnvolle Verwendung von Abwärme aus Kraftwerken und Müllverbrennung. Allerdings erinnert die derzeitige Situation etwas an die Argumentationslinie der 70er- und 80er-Jahre, als Nachtstromheizungen intensiv beworben wurden, um die Stromproduktion der Kohlekraftwerke in der Nacht nicht zu weit absenken zu müssen. Um die Fernwärme ökologisch sinnvoller zu gestalten, wird es unumgänglich sein, den Anteil der Grundgebühr drastisch zu senken und die verbrauchsabhängigen Kosten dementsprechend anzuheben. Allerdings ist derzeit leider eher eine umgekehrte Tendenz zu beobachten: Fernwärme Wien gewährt gegenüber dem Preisbescheid des Landeshauptmannes vom 27. 1. 1997 einen (ziemlich großzügigen) Rabatt auf die verbrauchsabhängigen Kostenkomponenten sowohl für Raumwärme und Warmwasser, bei den Fixkosten ist dies allerdings nicht der Fall.

In [7] wurde eine detaillierte Untersuchung über das Benutzerverhalten abgefasst. Die dort ermittelten Servicefaktoren sind in Tab. 7.10 dargestellt.

Tab. 7.10: Servicefaktoren, aufgeschlüsselt nach Haustyp, Brennstoff und Heizungsart [7]

	Hausart und Heizungstyp			
	EFH und 2-FH		MFH	
Brennstoff	EO	ETH + ZH	EO	ETH + ZH
Kohle	0,38	0,47	0,45	0,63
Öl	0,48	0,65	0,48	0,74
Gas	0,48	0,65	0,52	0,74
Holz	0,4	0,5	0,52	0,66
Strom	0,47		0,57	
Fernwärme		0,71		0,8
Innov. Systeme		0,65		0,74

Die beträchtlichen Unterschiede zwischen den einzelnen Heizungssystemen (Die Werte liegen um einen Faktor > 2 auseinander.) rechtfertigen die Miteinbeziehung dieser Servicefaktoren. Schließlich kann man nicht erwarten, dass das Heizverhalten von Bewohnern sich nicht ändert, wenn ein Haus von Kohleeinzelöfen auf Fernwärme umgestellt wird. Ohne Miteinbeziehung dieses Einflussfaktors würde das Sparpotential, sowohl ökologisch als auch ökonomisch, weit überschätzt – schließlich sind die höheren Werte eher bei moderneren Systemen zu finden. Man spricht hier auch von sog. Rebound-Effekten. Diese treten auch bei der thermischen Sanierung von Gebäuden auf.

Die Werte für EFH sind stets geringer als für MFH. Das liegt vermutlich zum Teil daran, dass EFH-Bewohner eher mehr Platz als notwendig haben als Bewohner eines Mehrparteienhauses und damit vermehrt Zimmer unbeheizt lassen. Dass für EO der Unterschied geringer als bei ZH ist, ist auch auf den Abrechnungsmodus zurückzuführen: Zentralheizungen werden nicht für jede Wohnung separat abgerechnet, sondern für das gesamte Haus (Zumindest richtet sich ein großer Anteil nach den Nutzflächen, ein Rest, typischerweise 40 %, nach Wärmezählern an den Heizkörpern.), sodass sich jeder Wohnungsinhaber so oder so ähnlich denkt: „Wenn mein Nachbar auf meine Kosten heizt, dann heize ich aber auch ordentlich.“ Wie bei der Fernwärme führt auch hier die weitgehende Unabhängigkeit der eigenen Energierechnung vom eigenen Heizverhalten zu Verschwendung der Energieressourcen. Der Trend, dass mit steigender Zentralisierung und damit mehr Komfort die Lust am Heizen steigt, ist jedoch haus- und brennstoffunabhängig gegeben und äußerst markant.

Um die statistische Sicherheit der gewählten Servicefaktoren darzustellen, wird in der folgenden Tabelle die jeweilige Stichprobenanzahl angegeben.

Tab. 7.11: Stichprobengröße der in [7] durchgeführten Erhebung der Servicefaktoren

	Hausart und Heizungstyp			
	EFH und 2-FH		MFH	
Brennstoff	EO	ETH + ZH	EO	ETH + ZH
Kohle	111	460	72	22
Öl	115	1568	306	131
Gas	152	1038	531	450
Holz	551	676	152	33

Aufgrund der Ähnlichkeit der Bedienung und Handhabbarkeit, die den Servicefaktor entscheidend beeinflusst, wird f_s überall mit den gleichen Werten wie bei konventionellen Gas- und Ölzentralheizungen angenommen (0,65 für EFH und 2-FH sowie 0,74 für MFH). Daten aus Verbrauchsanalysen liegen aufgrund der noch niedrigen Verbreitung derzeit nicht

vor, daher scheint dieser Ansatz die momentan sinnvollste und auch wahrscheinlich eine der Realität nahekommende Lösung zu sein.

In den letzten Jahrzehnten hat sich nach [8] der Servicefaktor durch ein günstigeres Energiepreis/Kaufkraft-Verhältnis für ein- und dasselbe Heizungssystem erhöht. Die monetäre Komponente spielt also auch, neben der Bequemlichkeit und erhöhtem Komfortbedürfnis, eine entscheidende Rolle.

Die Abhängigkeit des Servicefaktors von der Bauperiode wurde in [7] nur für zentral beheizte EFH ermittelt, da in den anderen Kategorien die Stichprobenanzahl zu gering war. Es ergeben sich bemerkenswert starke Abhängigkeiten dahingehend, dass neuere Häuser einen signifikant höheren Servicefaktor aufweisen. Eine Begründung dafür könnte lauten: Da hier die bisher gebrachte Erklärung des Komfortgewinns durch eine Zentralheizung wegfällt, d.h. sich „wegkürzt“, muss es einerseits am bauperiodenabhängigen Verhältnis zwischen benötigtem und gesamtem Wohnraum in EFH liegen und andererseits daran, dass die besseren Dämmeigenschaften des Hauses nicht in Sparsamkeit, sondern in der Beheizung kaum benötigter Räume mündet. Leider liegen die Daten aufgrund der Stichprobengröße der zugrundegelegten ÖSTAT-Umfrage eben nur für zentralbeheizte EFH vor, weshalb dieser Gesichtspunkt zwar erwähnt werden, aber nicht in die Berechnungen einfließen soll.

Es soll noch einmal darauf hingewiesen werden, dass das nicht normgemäße Verhalten der Bewohner wahrscheinlich der größte Unsicherheitsfaktor im ganzen Themenkomplex darstellt. In [35] wird diese Problematik folgendermaßen beschrieben:

„Durch verfeinerte und detailliertere Ansätze können sicherlich die einen oder anderen Unsicherheiten der Betrachtung verringert werden (z.B. durch Berücksichtigung solarer Einträge, Berücksichtigung gebäudeinterner Temperaturverteilungen). Die exakte Bestimmung mancher technischer Parameter (tatsächliche k-Werte, tatsächliche Fugenverluste) ist im Regelfall für die praktische Anwendung aus Gründen des Aufwandes und der Kosten nicht möglich. Die exakte Quantifizierung und kalkulatorische Berücksichtigung des Benutzerverhaltens für die Heizenergiebedarfsberechnung aber scheint unmöglich und auch nicht sinnvoll, da dieses laufenden Änderungen unterliegt und sich durch den Wechsel des Benutzers gänzlich ändern kann. [...] Die Werte für den Benutzerfaktor sind als Größenordnungen zu interpretieren und nicht als absolute, unumstößliche Zahlen. Interessant und aufschlussreich sind in diesem Zusammenhang vielmehr die aufgedeckten Tendenzen und Zusammenhänge.“

Einerseits liegen die Unsicherheiten also auch in den solaren und inneren Einträgen sowie bei den Dämmwerten. Während diese mit äußerst aufwendigen Untersuchungen theoretisch exakter erhoben werden könnten, ist das Benutzerverhalten gleichermaßen ein starker Störbeitrag (vergleichbar mit einem starken Rauschen bei einer Messung), aber die Verhältnisse zwischen den Servicefaktoren geben doch einen guten Einblick in die Materie.

Weiters muss darauf hingewiesen werden, dass ein Servicefaktor von unter 1 noch nicht bedeutet, dass weniger geheizt wird als in der Norm angenommen. Man müsste zuerst durchschnittliche Werte für innere und solare Einträge gewinnen, diese vom theoretischen Nutzenergiebedarf (zusammengesetzt aus Transmissions- und Lüftungsverlusten, siehe

Abschnitt 7.2) abziehen, diesen Wert durch den Jahresnutzungsgrad JNG der Anlage dividieren (= theoretischer Endenergiebedarf) und das Ergebnis wiederum in Relation zum tatsächlichen (praktischen) Endenergiebedarf setzen. Ein Versuch einer derartigen Abschätzung soll im Folgenden gegeben werden.

Zuerst soll der Unterschied zwischen Servicefaktor f_s und reinem Verhaltensparameter V mathematisch ausgedrückt werden. Für den Servicefaktor gilt:

$$f_s = \frac{NE_{pr}}{NE_{th}}$$

Die nutzbaren jährlichen inneren bzw. solaren Einträge NE_{in} bzw. NE_{sol} führen nun zur Formel für den Verhaltensparameter V :

$$V = \frac{NE_{pr}}{NE_{th} - (NE_{in} + NE_{sol})}$$

V ist also größer als der Servicefaktor.

Bemerkenswert ist, dass die Werte für V in EFH und MFH unter der Annahme, dass die inneren und solaren Gewinne für EFH und MFH pro Haushalt etwa gleich groß sind, aber NE_{pr} und NE_{th} in MFH kleiner sind, noch weiter auseinander liegen als die des Servicefaktors. Möglicherweise ist diese Annahme aber nicht exakt. Groß angelegte Erhebungen über diese Werte existieren aber nicht und wären überdies nur unter großem Aufwand durchführbar.

7.3.2.1 Abschätzung der durchschnittlichen inneren Einträge

Innere Einträge setzen sich in erster Linie zusammen aus dem Haushaltsstromverbrauch und der Abstrahlung der im Gebäude befindlichen Bewohner.

Haushaltsstromverbrauch: Als jährlicher Durchschnittsverbrauch an elektrischer Energie wird meist ein Wert von 3500 kWh angegeben. Nach [8] können davon 40 % genutzt werden, das entspricht also etwa 1400 kWh. Der Rest, z.B. Energie zum Erwärmen des Wassers für Waschmaschine etc., geht weitgehend ungenutzt verloren.

Menschliche Abstrahlung: Die durchschnittliche Haushaltsgröße beträgt 2,33 Personen. Ein Mensch benötigt pro Tag in etwa 2400 kcal \approx 10000 kJ \approx 2,8 kWh Energiezufuhr in Form von Nahrung. Pro Jahr und Haushalt sind dies $2,8 \cdot 2,33 \cdot 365$ kWh = 2376 kWh. Praktisch alles wird in Form von Wärme abgestrahlt. Von der gesamten Energieaufnahme werden also etwa 85 % als Wärme in den Innenraum abgestrahlt. (Diese Zahl ist eine eigene Annahme und ergibt sich aus der Schätzung, dass man 90 % der Zeit in geschlossenen Räumen verbringt und während der Heizperiode in den verbleibenden 10 % eine höhere Verlustleistung hat – schließlich ist es draußen dann kälter und die Wärme geht schneller verloren.)

In beiden Fällen kann die während der Sommermonate abgestrahlte Wärme nicht sinnvoll verwendet werden. In der Übergangszeit kann zumindest ein Teil davon den Heizwärmebedarf reduzieren. [8] nimmt an, dass ca. 37 % davon genutzt werden können. Die nutzbare Energiemenge der Körperwärme und des Haushaltsstromes beträgt pro Jahr also ca. $(2400 \cdot 0,85 + 1400) \cdot 0,37 \text{ kWh} \approx 1275 \text{ kWh}$. Dies ist also ein Beitrag, der in der Größenordnung des Energiebedarfs für die Warmwasserbereitung liegt.

Einen weiteren Beitrag liefern noch die Verluste der Warmwasserbereitung, welche die zu beheizenden Räumlichkeiten erwärmen. Im Fall von Zentralheizungen fallen diese aber größtenteils in unbeheizten Räumen (Keller) an. Lediglich ein Teil der Leitungsverluste könnte hier mindernd auf den Heizenergieverbrauch wirken. Insgesamt sollen daher die durchschnittlichen inneren Einträge pro Haushalt mit 1300 kWh pro Jahr angenommen werden.

7.3.2.2 Abschätzung der durchschnittlichen solaren Einträge

Die solaren Einträge stammen so gut wie ausschließlich aus den nach Süden, Osten und Westen orientierten Fensterflächen.

Es wird angenommen, dass sich die Fensterflächen gleichmäßig auf alle Raumrichtungen verteilen. Dies ist deshalb gerechtfertigt, weil beim Gebäudebestand bis 2000 eher nicht auf die Ausrichtung des Gebäudes geachtet wurde. Bei moderneren Häusern ist hier eine Veränderung zugunsten der nach Süden gerichteten Fensterflächen zu erwarten.

Nach [8] betragen die monatlichen solaren Gewinne

$$\sum_{Hi=1}^3 A_{F_{Hi}} \cdot q_{Hi} \cdot f_{red_{Hi}},$$

wobei $A_{F_{Hi}}$ die Fensterfläche in eine bestimmte Himmelsrichtung (Süd, Ost, West),

q_{Hi} die Strahlungsmenge pro Monat auf die vertikale (Fenster-)Fläche für die entsprechende Himmelsrichtung

und $f_{red_{Hi}}$ ein Reduktionsfaktor ist, der sich aus Abschattungs- und Reflexionsverlusten zusammensetzt. Er liegt in der Größenordnung von 0,4.

Nach Tab. 7.3 beträgt der Fensteranteil an der Fassade bei EFH (A) und 2-FH (B) etwa 12 %, bei MFH (C und D) werden die Werte zu 16 bzw. 18 % gerundet. Die daraus abgeleiteten Größen sind in Tab. 7.12 zusammengestellt. Für jede Gebäudegröße werden Mittelwerte angenommen, es wird also nicht auf Bauperiodenunterschiede eingegangen, weil diese kaum einen Einfluss auf die Ergebnisse hätten.

Tab. 7.12: Nutzbare innere und solare Einträge pro Jahr für die vier verschiedenen Gebäudegrößen

	nutzbare Energiemengen in kWh/a		
	innere Einträge	solare Einträge	gesamt
Einfamilienhaus	1300	1450	2775
Zweifamilienhaus	2600	2030	4630
kl. Mehrfamilienhaus	7090	4380	11470
gr. Mehrfamilienhaus	23640	9910	33550

Je nach Güte der Fassadendämmung macht dies bei EFH zwischen 7 und 13 %, bei 2-FH zwischen 8,5 und 16 %, bei kleinen MFH zwischen 11,5 und 23 % sowie bei großen MFH zwischen 16 und 25 % des theoretischen Nutzenergiebedarfs aus. Der höhere Wert gilt jeweils für die gut gedämmten Gebäude der 90er-Jahre. In einer Linearisierung liegt der Verhaltensparameter V um etwa denselben Prozentsatz über dem Servicefaktor – in einer genaueren Berechnung ist der Unterschied noch etwas größer. Wie schon erwähnt, ist es in diesem Zusammenhang zu bemerken, dass bereits beim Servicefaktor die Werte für große Gebäude höher sind. Entsprechend den eben genannten Zahlen sind die Abweichungen für V noch größer.

Man erkennt weiters, dass bei größeren Häusern die inneren Einträge über die solaren Gewinne immer mehr dominieren. Dies hängt damit zusammen, dass bei großen Bauten auf den einzelnen Bewohner bzw. Haushalt weniger Fassadenfläche entfällt. Dies ist im Übrigen auch der Grund für die geringeren spezifischen Wärmeverluste in größeren Gebäuden.

7.3.3 Hilfsstrombedarf

Im Fall von Zentral- und Etagenheizungen sind zusätzlich noch die jährlichen Hilfsstromverbräuche zu beachten. Richtwerte dazu sind in Tab. 7.13 zusammengefasst.

Anmerkungen: Stückholzkessel kommen in Mehrfamilienhäusern so gut wie nicht vor, daher sind dazu keine Zahlen angegeben.

Für Etagen- und Einzelöfen sind selbstverständlich nur EFH-Werte angegeben, was nicht heißt, dass sich diese nur in Einfamilienhäusern befinden, vielmehr deutet es darauf hin, dass sich diese Heizungstypen nur auf eine Wohneinheit beziehen. Einzelöfen benötigen überhaupt keinen bzw. so gut wie keinen Hilfsstrom.

Tab. 7.13: Hilfsstromverbrauch in Abhängigkeit vom Heizungssystem und der Gebäudegröße [4] als Richtwerte für die GEMIS-Analyse

Heizungssystem	jährl. Hilfsstromverbrauch in kWh			
	EFH	2-FH	3-10 WE	>11 WE
Stückholzkessel	200	240		
Hackschnitzelheizung	600	690	960	1440
Pelletsessel	450	520	810	1170
Gaskessel	150	180	330	750
Gas-Brennwertkessel	200	240	440	900
Ölkessel	240	290	530	1010
Öl-Brennwertkessel	290	350	640	1160
Wärmepumpe	120	145	260	580
Fernwärme	100	120	220	500
Kohlekessel	180	220	400	810

GEMIS berechnet die Hilfsstromverbräuche folgendermaßen: Zum Endenergieumsatz wird ein fixer Prozentsatz als Hilfsstrom ausgewiesen. Die Werte betragen

- 0,5 % für Öleinzelföfen,
- 1 % für Gas-, Öl-, Holz- und Kohlezentralheizungen,
- 1,5 % für Hackschnitzel- und Pelletszentralheizungen sowie für Gasetagenheizungen,
- 1,75 % für Wärmepumpen und
- 2 % für Solaranlagen.

Beide Modelle haben also ihre Ungenauigkeiten: In [4] wird nicht angegeben, für welchen Typ von EFH, 2-FH etc. die Zahlen gelten, d.h. für ein gut, mittel oder schlechter gedämmtes Haus. Die GEMIS-Variante hingegen vernachlässigt die höhere Effizienz größerer Einheiten. Natürlich sind die Werte auch von Heizung zu Heizung derselben Art verschieden, ältere werden einen höheren Bedarf als moderne haben.

Generell sind in [4], v.a. für größere Gebäude, niedrigere Werte angegeben.

Für die GEMIS-Analyse bilden die in Tab. 7.13 genannten ebenso wie die in GEMIS eingetragenen Werte nur Richtzahlen. Es wurde eine Mischform verwendet.

Für Zweifamilienhäuser wird in [4] ein Zuschlag von fast immer 20 % gegenüber Einfamilienhäusern angegeben. Dass sich der Wert nicht verdoppelt, zeigt, dass eine gemeinsame Anlage hilft, Strom zu sparen. Eine Pumpe, die ein doppelt so großes Rohrsystem versorgt, muss nicht doppelt so viel leisten. Außerdem sind Einrichtungen wie Thermostatregelung des Kessels nur einmal nötig. Für 3 – 10 WE wird ein Mittelwert von 5,56 zugrundegelegt, für > 10 WE 18,54. Dennoch ist bei ersteren nur eine Verdoppelung, bei zweiteren eine Verfünffachung des Hilfsenergieverbrauches gegenüber einem EFH zu erwarten: Je mehr Wohnungen von einer Heizungsanlage versorgt werden, desto effizienter ist das System. Der Effekt wird zwar durch Wärmeverluste bei langen Leitungswegen

abgeschwächt, jedoch nicht zunichte gemacht. Dies zeigt auch der zunehmende Trend zu Blockheizungen sowie Fernwärme.

Bei der Berechnung des praktischen Endenergiebedarfs wird immer angenommen, dass der Hilfsstrom ungenutzt bleibt, d.h. nicht als Nutzenergie im zu beheizenden Raum ankommt. Dies kann dadurch begründet werden, dass Heizkessel meist in nicht zu beheizenden Räumen aufgestellt sind und die durch die Hilfsenergie entstehende Wärme (Pumpe etc.) an Ort und Stelle abgestrahlt wird.

Leider existieren keine Studien (Feldtests) zur Höhe des durchschnittlichen Hilfsstrombedarfs. Die angegebenen Werte basieren also auf Schätzungen bzw. auf Untersuchungen mit kleiner Stichprobenanzahl. Es soll nun versucht werden, Argumente zu finden, warum für die eine Heizungsart höhere Verbräuche anzusetzen sind als für andere.

Betrachtet man Öl- und Gaskessel, so fällt auf, dass erstere einen höheren Hilfsstrombedarf aufweisen. Dies kann einerseits darauf zurückgeführt werden, dass das Öl (außer bei Verdunstungsbrennern) vorgewärmt werden muss. Weiters muss das Öl mit Hilfe einer Pumpe in den Brennerraum gebracht werden.

Außerdem wird bei Brennwerttechnik mehr Strom benötigt. Im Prinzip ist es logisch, dass eine aufwändigere Technik mehr Energie benötigt. Konkret dürfte es darauf zurückgehen, dass das Abgas an der nachströmenden Luft vorbeigeführt werden muss. Dafür ist ein zusätzlicher bzw. stärkerer Ventilator nötig. Andererseits wird in [1] empfohlen, den Rücklaufanheber (Er erhöht die Temperatur des Rücklaufes durch partiellen Wärmetausch mit dem Vorlauf.) als auch das Überströmventil (Dieses dient zur Begrenzung des Förderdrucks der Umwälzpumpe.) bei Umrüstung auf Brennwerttechnik auszubauen. Diese Maßnahmen senken die Abgastemperatur und sollten auch den Hilfsstrombedarf senken – offenbar ist dieser Effekt aber schwächer.

In [26] findet sich eine Abhandlung über Hilfsstromverbrauch von Öl- und Gaskesseln. Die Stichprobenanzahl ist allerdings sehr klein.

Bei automatisch beschickten Holzkesseleln muss der Brennstoff relativ umständlich zugeführt werden und unter Umständen, z.B. bei der Hackschnitzelheizung, sogar zerkleinert werden. Bei herkömmlichen Holzcentralheizungen sowie bei Kohlekesseleln fällt dies weg. Daher bewegt sich hier der Hilfsstrombedarf auf dem Niveau von Gasheizungen.

Bei der Fernwärme fallen alle kesselspezifischen Komponenten weg (Magnetventile, Pumpen zur Beförderung von Brennstoff etc.). Der hier genannte Hilfsstrombedarf geht damit nur auf den sekundären Kreislauf zurück, der bei Öl- und Gaskesseln in der Gesamtsumme enthalten ist. Somit ist der Verbrauch an elektrischer Energie vor Ort bei Fernwärmeheizungen geringer.

Bei Wärmepumpen sind wie bei der Fernwärme keine Aufwendungen für Brennstoffförderung notwendig. Nur die Regelungseinrichtungen sowie der Sekundärkreislauf erfordern Hilfsstrombedarf. Erstgenannter Anteil ist wohl für den leichten Mehrverbrauch gegenüber Fernwärme verantwortlich. Hier könnte im Übrigen der Hilfsstromverbrauch auf null gesetzt werden und dies mit einem entsprechend niedrigeren

Jahresnutzungsgrad kompensiert werden. Dies hätte aber natürlich keinen Effekt auf die Emissionsanalyse.

Nach [42] ergeben sich ähnliche Relationen beim Hilfsstrombedarf. Allerdings werden dort Niedrigenergie- und Passivhäuser untersucht. Die Unterschiede sind in erster Linie:

- 1.) Fernwärme wird mit 0 kWh angenommen,
- 2.) Wärmepumpen haben dort einen höheren Bedarf als Gas-Brennwertkessel; hier ist es umgekehrt.

7.3.4 Volllaststunden und Lebensdauer

Es soll noch einmal darauf hingewiesen werden, dass die gewählten Jahresnutzungsgrade und vielmehr die der Servicefaktoren große Unsicherheiten bedeuten. Eine mathematisch korrekte Fehlerabschätzung ist allerdings nicht durchführbar. Vielfach werden sich die Varianten bei den Emissionen durch ganze Größenordnungen (Zehnerpotenzen) unterscheiden, diese Unterschiede werden davon selbstverständlich nicht tangiert.

Hingegen stellen Ungenauigkeiten bei den gewählten Gebäudegrößen und Dämmwerte keine Verzerrung zwischen den einzelnen Optionen eines Szenarios (= Gebäudetyps) dar, da diese ja allgemein, d.h. für alle Heizungssysteme in gleicher Weise, in die Berechnung einfließen. Jedoch kann es durch Unsicherheiten bei der Heizungsauslegung, die über die Wahl der Volllaststunden eingeht, zu Veränderungen kommen. Diese Abhängigkeit soll in Abschnitt 8.4 untersucht werden.

Ein weiterer Unsicherheitsfaktor ist die gewählte Lebensdauer der Heizungssysteme: Wählt man sie höher, so teilen sich die Installationsaufwendungen auf mehrere Jahre auf und so werden die Emissionen pro kWh niedriger ausfallen. Siehe dazu ebenfalls Abschnitt 8.4.

Der Umrechnungsfaktor vom jährlichen Nutzenergiebedarf in kWh zur Maximalleistung P_H des Heizungssystems in kW beträgt

$$\frac{\frac{f_S \cdot (t_i - t_{an}) \cdot p_0 \cdot A}{1000}}{\frac{f_S \cdot p_0 \cdot A \cdot 24 \cdot HGT}{1000}} = \frac{t_i - t_{an}}{24 \cdot HGT}$$

Dies entspricht, wie in Abschnitt 3.7 ausgeführt, der Zahl der Volllaststunden. Mit $HGT = 3250 \cdot 24 \text{ Kh}$ (Kelvin mal Stunde) und $(t_i - t_{an}) = 35 \text{ K}$ ergibt sich ein Zahlenwert von $1/2228$. Der Kehrwert entspricht auch gleichzeitig der Zahl der Volllaststunden, d.h. man benötigt im Jahr so viel Energie, als würde die Heizung 2228 Stunden auf Volllast laufen und sonst (6538 Stunden) überhaupt nicht.

Aufgrund einer stets stattfindenden Überdimensionierung von Heizungssystemen – einerseits aus (übertriebener?) Sicherheit, andererseits mangels Vorliegen einer exakten Heizlastberechnung – werden in den Berechnungen meist 1600 Volllaststunden

angenommen und somit das Heizungssystem deutlich überdimensioniert. Dies liegt darin begründet, dass dies ein laut diverser Literatur durchschnittlicher Wert ist.

Als Standardwert für die Lebensdauer wird 15 Jahre gewählt. Holz- und Kohleöfen besitzen laut Annahme eine Nutzungsdauer von 20 Jahren (weniger Komponenten, die Schaden nehmen können), aber dafür eine Volllaststundenzahl von nur 1300. (Grund ist die Notwendigkeit des öfteren Nachlegens von Brennstoff.) Für Solaranlagen wird eine Lebensdauer von 20 Jahren angenommen.

Es zeigt sich, dass die Heizungsanlagen meist weitaus größer dimensioniert sind als der Norm nach nötig wäre. Nach [31] sind die Kessel von Zentralheizungsanlagen im Durchschnitt um das 1,8-fache, Pumpen um das Dreifache und Heizkörper um das 1,7-fache überdimensioniert. Dazu ist aber auch zu sagen, dass diese Komponenten nicht in jeder beliebigen Leistungsstufe verfügbar sind und man eben die nächstgrößere Variante wählen muss. Dennoch scheinen diese Werte unnötig hoch. Das liegt wohl daran, dass meist keine Heizlastberechnung erfolgt. Es bleibt abzuwarten, ob die Einführung der verpflichtenden Vorlage eines Energieausweises bei Verkauf und Vermietung von Immobilien zu Verbesserungen führt.

7.4 Ermittlung des jährlichen Endenergiebedarfs

In Abschnitt 7.2 wurde der jährliche theoretische Nutzenergiebedarf berechnet. Die Nutzenergie ist jene Energiemenge, die schließlich als Wärme im zu beheizenden Raum ankommt. Dieser Wert ist unabhängig vom Benutzerverhalten und von der Güte des Heizungssystems. Dies ist aber noch nicht der tatsächliche Energieverbrauch. Die Menge des benötigten Brennstoffes richtet sich nach der tatsächlichen (praktischen) Endenergie EE_{pr} . Zu deren Berechnung müssen die Verluste des Heizungssystems mittels des Jahresnutzungsgrades η und das Abweichen des Bewohners von der Norm mit dem Servicefaktor f_S mitberücksichtigt werden. Es gilt für den Anteil der Raumwärme

$$EE_{pr} = NE_{th} \cdot \frac{f_S}{\eta} = \frac{f_S \cdot p_0 \cdot A \cdot 24 \cdot HGT}{1000 \cdot \eta}$$

Dieser Wert ist natürlich für jedes Heizungssystem verschieden. Eine Auflistung aller Zahlen wäre unübersichtlich. Allerdings sind die Werte für f_S , η und NE_{th} in den Abschnitten 7.2 und 7.3 zu finden.

Beim Warmwasseranteil gibt es keinen Servicefaktor. Hier gilt einfach

$$EE_{pr,WW} = \frac{NE_{th,WW}}{\eta_{WW}}$$

Diese beiden Werte gehen gemeinsam mit den jeweiligen Emissionsfaktoren pro kWh in die GEMIS-Analyse ein.

7.5 Hinweise für die Anwendung der gewählten Modellfälle auf ein existierendes Gebäude

Die Wahl der Modellfälle erfolgte so, dass ein durchschnittliches Haus einer jeweiligen Bauperioden–Gebäudegrößen-Kombination in einer für Österreich klimatisch durchschnittlichen Lage gut beschrieben wird, d.h. die Heizgradtage werden auf einen Wert für ganz Österreich vereinheitlicht, weil es ja nur das Ziel sein soll, repräsentative Modellfälle zu generieren. Selbstverständlich existieren z.B. viele EFH, vor 1919 erbaut, die eine um 10 % höhere oder niedrigere Heizlast bzw. jährlichen Nutzenergieverbrauch haben als der hier eingeführte Gebäudetyp A1–4. Noch gravierender sind diese Unterschiede wohl bei Mehrfamilienhäusern (MFH): Statistik Austria definiert kleine MFH als Gebäude mit 5,56 und große mit 18,54 Wohneinheiten. Diese Gebäude existieren natürlich nicht. Es gibt auch Gebäude mit 10 oder 25 Wohnungen und kaum eine von ihnen hat eine Durchschnittsgröße. Eine exakte Analyse für ein spezifisches Gebäude kann also natürlich nicht gewonnen werden, d.h. etwa: Nicht jedes Zweifamilienhaus aus den 70er-Jahren kann mit dem Emissionsfall „B5“ ohne weiteres gleichgestellt werden (zu diesen und anderen verwendeten Abkürzungen siehe Anfang von Kapitel 5). Da jedoch am Ende nur eine Variable pro Heizungssystem–Gebäudeklassen-Kombination, nämlich der jährliche Endenergieverbrauch, übrigbleibt, kann sehr wohl, wenn für ein Gebäude diese Zahl bekannt ist, die Vergleichbarkeit der Daten beurteilt werden. Es kann auch sein, dass ein B5-Haus eher mit dem A1–4-Modellfall verglichen werden kann. Die Übertragung der Daten von EFH bzw. 2-FH auf MFH und umgekehrt ist mit dem Problem verschiedener Servicefaktoren verbunden und sollte daher eher nicht durchgeführt werden.

Außerdem muss bei Einzelöfen in Mehrparteienhäusern gesagt werden, dass diese Optionen natürlich immer nur für einzelne Wohnungen gelten. Dadurch, dass die grafische Darstellung der Emissionen in Abschnitt 8.2.2 immer auf 1 m² Nutzfläche bezogen ist, können die Gesamtemissionen eines Gebäudes näherungsweise durch Multiplikation der jeweiligen Nutzflächen, die mit einer Heizungsart versorgt werden, mit dem aus der Grafik ersichtlichen Wert und anschließende Addition der Teilergebnisse berechnet werden.

7.6 Bemerkungen zu diversen Heizungssystemen

7.6.1 Luft-Wärmepumpe

In der Emissionsanalyse erscheint es auf den ersten Blick so, als ob nur eine monovalente Luft-Wärmepumpe untersucht würde. (Diese Art ist aber nicht empfehlenswert und mittlerweile auch nicht mehr gebräuchlich, weil man die Anlage für extrem kalte Wintertage dann sehr groß dimensionieren müsste.) Daher wird diese Technologie oft mit Stromdirektheizungen kombiniert. Es ist allerdings nicht nötig, in GEMIS dafür einen eigenen Prozess einzuführen. Die einzige Änderung ist, dass dieser Stromanteil, der direkt zur Erwärmung der Innenräume verwendet wird, mit dem Jahresnutzungsgrad 1 anzusetzen ist. Dies ist auch mitverantwortlich für die vergleichsweise geringen Werte für die JAZ bei Luft-WP im Vergleich zu Erd- und Wasser-WP.

Die Optionen „Luft-WP“, und „Luft-WP + Solar“ sind v.a. für schlecht gedämmte Gebäude eine nicht empfehlenswerte Variante, weil man sehr oft auf die Stromdirektheizung angewiesen sein wird. Diese ist aber auch ohne Wärmepumpe (und Solaranlage) möglich (allerdings als Hauptheizung in vielen Bundesländern nicht bzw. nur „in begründeten Ausnahmefällen“ erlaubt). Um aber dennoch aufzuzeigen, wie ökologisch eine solche Variante wäre, wurde sie auch untersucht.

Diese Problematik trifft auf Erd-WP und Wasser-WP nicht oder nur in viel geringerem Ausmaß zu.

7.6.2 Fernwärme

Das Umweltbundesamt hat sich mit der Ökobilanz der Fernwärme Wien 2005 eingehend beschäftigt [24]. Die Behandlung der Materie ist deswegen nicht ganz einfach, weil gewisse Emissionen nicht berücksichtigt werden dürfen, wie in [24] erläutert:

Zu den Emissionen des Anteils der Müllverbrennung ist zu erwähnen, dass vorgelagerte Emissionen (Transport vom Haushalt bzw. Gewerbe zur Müllverbrennungsanlage) nicht mitgerechnet werden. Das gleiche gilt für die Entsorgung der Abfälle sowie für die Abwasserbehandlung infolge der Verbrennungsabfälle. Fernwärme Wien argumentiert, dass Müll nicht „produziert“ wird, um einen Brennstoff für die Verbrennung zu liefern, sondern dass es sich um eine Entsorgungsschiene handelt. Das bedeutet, die Emissionen würden ohnehin anfallen, gleichgültig ob Fernwärme an Haushalte geliefert wird oder nicht. Anderenfalls würde eben warmes Kühlwasser in die Flüsse geleitet, aber die Emissionen blieben.

Entgegen der Ansicht der Fernwärme Wien werden in dieser Studie allerdings die direkten Emissionen bei der Abfallverbrennung mitgerechnet.

Die Hauptquellen der Luftschadstoffe aus Fernwärmeheizwerken sind in [24] aufgelistet.

Eine weitere Problematik betrifft die Kraft–Wärme-Kopplung (also die parallele Erzeugung von Wärme und elektrischem Strom) bezüglich der Berechnung des Wärmewirkungsgrades. Es gibt zwei Prinzipien von KWK-Anlagen:

- 1.) wärmegeführte Anlagen (Hauptprodukt Wärme, Koppelprodukt Strom)
- 2.) stromgeführte Anlagen (Hauptprodukt Strom, Koppelprodukt Wärme)

Diese Unterscheidung sowie die Anzahl von Teillast-/Volllaststunden hat massive Auswirkungen auf den Gesamtnutzungsgrad der jeweiligen KWK-Anlage.

Weiters kann für stromgeführte KWK-Anlagen der Anteil des für die Fernwärme benötigten Brennstoffeinsatzes nicht direkt bestimmt werden. Damit ist eine unmittelbare Angabe des Wärmewirkungsgrades nicht möglich.

Allerdings gibt es laut [24] verschiedene Methoden zur Berechnung des Wärmewirkungsgrades, die auf Grund der sehr komplexen Zusammenhänge durchaus unterschiedliche Werte liefern.

Es wird mehrmals auf die hohe Sensitivität der Ergebnisse der Emissionsanalyse auf Variationen in der Berücksichtigung solcher nicht ganz einwandfrei zuordenbaren Parameter hingewiesen.

Da die Fernwärme Wien der weitaus größte Fernwärmeanbieter in Österreich ist, sollen die Emissionsvergleiche auf dieses Unternehmen bezogen werden. Leider sind in der Publikation nur die CO₂-Äquivalente und die Staubemissionen angegeben, das Umweltbundesamt konnte aus Datenschutzgründen (Fernwärme Wien finanzierte das Projekt und erlaubte nur die Bekanntgabe der in dieser Publikation vorzufindenden Daten.) die anderen Emissionen nicht bereitstellen.

Bei den TOPP-Äquivalenten soll daher folgende Vorgangsweise gewählt werden:

Zu ihrer Berechnung benötigt man die Angabe der NMVOC-, CH₄-, CO- und NO_x-Emissionen (siehe Abschnitt 3.3). Die letzten drei sind angegeben, bei NMVOC soll ein Mittelwert aus den in GEMIS befindlichen Fernwärmeprozessen gewählt werden.

Es zeigt sich, dass der Anteil der NMVOC-Emissionen am TOPP-Äquivalent konstant zwischen etwa 8 und 12 % liegt. Daher soll 1/9 zum Ergebnis aus den restlichen Komponenten dazugezählt werden.

Bei den SO₂-Äquivalenten wird analog wie folgt vorgegangen:

Zur Berechnung braucht man die SO₂-, NO_x-, NH₃-, H₂S-, HF- und HCl-Emissionen. Die ersten beiden sind angegeben, die letzten vier werden wiederum aus den Daten anderer Fernwärmeanbieter rekonstruiert.

Es zeigt sich, dass der Anteil von SO₂ und NO_x immer bei mindestens 97 % liegt, teils sogar deutlich darüber. Ein Aufschlag von 2 % scheint daher vernünftig.

Der kumulierte Energieaufwand muss zur Gänze auf Basis von GEMIS-Daten abgeschätzt werden.

Hier differieren die Werte leider relativ stark. In Anbetracht des hohen Anteils an KWK und Müllverbrennung bei Fernwärme Wien wird auf vergleichbare Prozesse in GEMIS zurückgegriffen. Daraus ergibt sich eine Schätzung von 0,74 kWh/kWh Wärme, davon 0,7 kWh erneuerbar.

7.6.3 Dimensionierung der Solarunterstützung

Die Dimensionierung der Solarkomponente ist natürlich eine unsichere Variable, da die gewählte Kollektorfläche nicht fix vorgegeben ist, damit aber der Solaranteil entscheidend beeinflusst wird. Jedenfalls werden als Verknüpfung zwischen Kollektorfläche und jährlicher Energieausbeute ein JNG von 25 % (nach [13]) und eine jährliche Einstrahlung von 1200 kWh/m² angenommen, also eine Ausbeute von 300 kWh/m². So einfach ist die Berechnung allerdings nicht: Es ist besonders bei der Heizungsunterstützung auf die ungleichmäßige Verteilung des Angebotes an Sonneneinstrahlung zu achten, bei Warmwasser nur insofern, als in den Sommermonaten die Einstrahlung den Bedarf an Warmwasser zu mehr als 100 % decken könnte und somit ungenutzt bleibt.

Es wird jeweils eine kleine Solaranlage mit 6 m² pro Wohneinheit (für Warmwasserunterstützung; somit 12 m² für 2-FH, 33 m² für kleine MFH und 111 m² für große MFH) sowie eine große Anlage, die ein Drittel der Dachfläche einnimmt (nach Tab. 7.3), untersucht.

Als Basis für die Berechnung der monatlichen Solareinträge werden die monatlichen Globalstrahlungssummen $q_{mo,horiz.}$ herangezogen [8]. Dort sind Werte für verschiedene Orte angegeben, die vor allem im Winter stark voneinander abweichen (siehe Tab. 7.14).

Tab. 7.14: Monatliche Globalstrahlungssummen $q_{mo,horiz.}$ für verschiedene Orte in Österreich [8]. In der untersten Zeile (fett) sind die für die Emissionsanalyse als Mittelwerte angenommenen Einstrahlungssummen angegeben.

Ort	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.
Enns	22	42	80	111	142	148	152	131	94	54	25	17
Wien	25	43	81	119	150	161	165	140	101	60	26	20
Obergurgl	51	71	122	158	170	178	188	169	127	88	54	43
Lienz	40	59	100	127	149	144	168	136	103	69	39	30
Eisenstadt	27	45	84	121	155	162	168	143	107	63	30	20
Salzburg	33	49	87	115	146	156	157	137	102	66	34	27
gewählt	30	48	88	122	150	160	165	145	105	65	33	27

Daher sind auch die solaren Einträge stark standortabhängig. Um jedoch eine für Gesamt-Österreich nutzbare Basis herzustellen, werden Mittelwerte herangezogen. Diese finden sich in der letzten Zeile von Tab. 7.14 sowie in der 1. Wertespalte von Tabelle 7.15. Die Zahlen beziehen sich auf die horizontale Fläche. In der 2. Spalte finden sich die monatlichen Korrekturfaktoren R_{mo} für eine optimal (40° Anstellwinkel, nach Süden) ausgerichtete Anlage [8]. Diese sind im Winter wegen des niedrigeren Sonnenstandes höher. Die tatsächlich auftreffende Energie pro Monat q_{mo} ergibt sich dann aus Multiplikation

$$q_{mo} = q_{mo,horiz.} \cdot R_{mo}$$

Diese Zahlen sind in der 3. Wertespalte verzeichnet.

Nach [13] beträgt der Nutzungsgrad für eine thermische Solaranlage 25 %. Zwar geben viele Hersteller Nutzungsgrade über 25 % an. Allerdings ist hier mit demselben Phänomen wie bei anderen Heizungssystemen zu rechnen, dass zwischen Normnutzungsgrad und tatsächlichem JNG ein beträchtlicher Unterschied besteht. Zudem ergaben Berechnungen mit dem Solarcomputer aus www.valentin.de durchwegs Nutzungsgrade um 25 %, wenn man eine nicht allzu kleine Speichergröße wählt – durch Erhöhung derselben steigt auch der JNG. Es gilt daher für die tatsächlich nutzbare monatliche Energiemenge $q_{mo,nutz}$ in dieser Abschätzung

$$q_{mo,nutz} = q_{mo} \cdot 0,25 = \frac{q_{mo,horiz.} \cdot R_{mo}}{4}$$

Diese Werte finden sich in der 4. Wertespalte.

Tab. 7.15: Berechnung der monatlichen Nutzenergie einer optimal nach Süden ausgerichteten Anlage auf Basis von [8]

Monat	Angaben in kWh/m ² /Monat			
	monatl. horizontale Strahlungssumme $q_{mo,horiz}$	Korrekturfaktor für 40° Neigung der Anlage R_{mo}	Auftreffende Endenergie q_{mo}	monatliche Nutzenergie $q_{mo,nutz}$
Jänner	30	1,5	45	11,3
Februar	48	1,3	62,4	15,6
März	88	1,2	105,6	26,4
April	122	1,07	130,5	32,6
Mai	150	1	150	37,5
Juni	160	0,98	156,8	39,2
Juli	165	0,98	161,7	40,4
August	145	1,02	147,9	37
September	105	1,2	126	31,5
Oktober	65	1,35	87,8	22
November	33	1,51	49,8	12,5
Dezember	27	1,57	42,4	10,6

Tab. 7.16: Monatlich gelieferte Nutzenergie einer Solaranlage mit 6 m² pro Haushalt auf Basis von [8]

	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.
A	68	94	158	196	225	235	242	222	189	132	75	64
B	136	187	317	391	450	470	485	444	378	264	150	127
C	373	515	871	1076	1238	1294	1333	1221	1040	726	413	350
D	1254	1732	2930	3619	4163	4351	4484	4107	3497	2442	1388	1177

Für die kleine Solaranlage ergibt die Berechnung einen Deckungsgrad von knapp 76 %. Die absoluten Werte finden sich in Tab. 7.16. Im Folgenden werden die solaren Einträge eines Solarkollektors berechnet, der ein Drittel der jeweiligen Dachfläche einnimmt.

Im Anhang A.3 findet sich die Tabelle über die monatlich gelieferte Nutzenergie einer solchen Anlage.

Der Warmwasserbedarf wird monatlich konstant vorausgesetzt. (Die kleinen Unterschiede in den Monatslängen werden vernachlässigt.) Diese Näherung ist beim Heizungsbedarf natürlich nicht empfehlenswert. Theoretisch gibt es natürlich die Möglichkeit, Warmwasser zu Raumheizzwecken monatelang in riesigen Speichern zu halten. Dies würde bewirken, dass der größere Bedarf im Winter durch das höhere Angebot in den Sommermonaten gedeckt werden kann. Derartig große Speicher wurden laut Auskunft von Prof. Haas zwar getestet, konnten sich aber aufgrund vielfältiger Nachteile, vor allem wegen der hohen Investitionskosten, des enormen sonstigen Aufwandes und teils auch durch den enormen Platzbedarf, nicht durchsetzen. In unserem Modell soll daher angenommen werden, dass Solarenergie, die im Monat x von der Anlage geliefert wird, auch nur in diesem Monat x genutzt werden kann.

Nun muss man sich mit der Verteilung der Heizgradtage über das Jahr befassen. Natürlich gibt es auch hier regionale Unterschiede. Als Richtwert sollen wieder, wie bei der jährlichen Erfassung, einige Landeshauptstädte herangezogen werden und anschließend auf dieser Basis ein gesamtösterreichisches Mittel gefunden werden. Die Werte werden wiederum wegen der höheren Aktualität nicht der Norm, sondern [6] entnommen. Die gewählten Zahlen und der jeweilige Anteil des Monats am jährlichen Heizenergiebedarf sind Tab. 7.18 zu entnehmen.

Tab. 7.18: Aufteilung der Heizgradtage über die einzelnen Monate [6]

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	ges.
HGT	640	530	425	240	50	0	0	0	40	245	470	610	3250
ca. Anteil (%)	19,7	16,3	13	7,4	1,5	0	0	0	1,2	7,5	14,6	18,8	100

Für die Emissionsbilanz ist es unerheblich, ob die Solaranlage Energie für das Warmwasser oder die Raumheizung liefert. Daher wird in der Berechnung immer angenommen, dass bei genügend hoher Sonneneinstrahlung zuerst immer das Warmwasser erwärmt wird und nur Energie in den Heizungskreislauf einspeist, sofern noch etwas übrigbleibt. Dadurch wird der Warmwasserdeckungsgrad in Tab. 7.19 zu hoch und der solare Anteil an der Raumwärmeversorgung entsprechend niedriger, die Gesamtbilanz bleibt davon unberührt. Solarrechner ergeben ähnliche Resultate. Diese sind jedoch stark von der Speichergröße abhängig. Je größer dieser ist, desto besser können Überschüsse später genutzt werden. Allerdings steigen auch die Kosten einer Solaranlage mit der Vergrößerung des Speichers an. Man sieht, dass bei dieser Berechnungsart der Warmwasserdeckungsgrad sehr hoch ist. Nur bei größeren Gebäuden wird das Verhältnis zwischen Volumen (in etwa proportional zur Anzahl der Personen) und Dachfläche größer, sodass der Wert auf unter 100 % fällt. Es kann zu einer Überschätzung der mittleren solaren Deckungsgrade kommen, weil nämlich nicht berücksichtigt wurde, dass das Wetter innerhalb eines Monats keineswegs konstant ist: Es kann also Tage geben, in denen der Bedarf zu mehr als 100 % gedeckt werden könnte und dafür andere Perioden, in denen tagelang nur schwaches diffuses Licht auf den Solarkollektor einfällt, wodurch die Speicherverluste steigen. Wie erwähnt, spielt auch die Wahl der Größe des Pufferspeichers eine wichtige Rolle. Diese Effekte sollten sicher bei einer Analyse für ein konkretes Solarprojekt mitberücksichtigt werden.

Tab. 7.19: Solare Deckungsgrade für eine für eine optimal ausgerichtete thermische Solaranlage, die ein Drittel der Dachfläche einnimmt (auf Basis von [8]).

Gebäude	Fläche in m ²	Deckungsgrad in %	
		Heizung	WW
A1-4	27	18	100
A5	31	34	100
A6	31	40	100
A7	32	49	100
B1-4	48	21	100
B5	52	41	100
B6	53	49	100
B7	55	62	100
C1	74	13	95
C2-4	65	12	93
C5	75	25	96
C6	75	29	96
C7	74	33	95
D1-4	135	5	82
D5	166	15	87
D6	167	18	87
D7	170	22	87

Weiters wurde der Berechnung eine optimale Ausrichtung der Solaranlage zu Grunde gelegt. Da diese optimale Positionierung nicht immer möglich ist, wird es dadurch im Mittel auch zu Verschlechterungen im solaren Deckungsgrad kommen. Aufgrund dieser beiden Faktoren scheint es sinnvoll, die in Tab. 7.19 angeführten Solardeckungsgrade für Warmwasser und Raumheizung zu verringern. Der eine Anteil, der sich aus der suboptimalen Positionierung ergibt, kann aus den Grafiken in [8] ermittelt werden. Er beträgt je nach Auslenkung aus der besten Lage einige wenige %. Der zweite Anteil hängt stark von der Speichergröße ab. Der sich aus diesen beiden Faktoren ergebende Gesamtverlust wird hier mit 7 % angenommen.

7.6.4 Stromheizungen

Die Behandlung von Stromheizungen (Direktstrom bzw. Wärmepumpen) ist insofern ein Problem, als die Ergebnisse extrem stark vom zu Grunde gelegten Strommix beeinflusst werden. Zudem sind andere Heizungssysteme nur bedingt direkt mit Stromdirektheizungen vergleichbar: Auf der einen Seite wird in vielen Haushalten zusätzlich mit Strom geheizt, um z.B. eine schnellere Aufwärmung an einer gewissen Stelle zu erreichen, oder Räumlichkeiten, die kaum benutzt werden oder die nur bei Frostgefahr beheizt werden, zu erwärmen. Elektroheizungen („Heizstrahler“) sind für solche Zwecke kaum bis nicht ersetzbar. Auf der anderen Seite kann man bei Stromheizungen von einer Doppelbelastung von Netzstrukturen sprechen: Zum einen wird z.B. das Gasnetz belastet, da der Heizstrom zumindest zu einem erheblichen Teil durch Gaskraftwerke erzeugt wird, und zum anderen wird auch das Stromnetz in Anspruch genommen. Besonders diesem Punkt kommt in zunehmendem Maße Bedeutung zu. Diverse großflächige „Blackouts“ in einigen europäischen und US-amerikanischen Gebieten haben die Grenzen der Belastbarkeit des Stromnetzes aufgezeigt. Durch den ständig steigenden Bedarf an elektrischer Energie und weiters durch Blockaden von Projekten zur Erweiterung/Verstärkung des Hochspannungsnetzes wird dieses Thema in Zukunft wohl zumindest nicht an Bedeutung verlieren.

7.6.5 Wahl des Strommixes

Der zugrunde gelegte Strommix ist ausschlaggebend für die ökologische Analyse der Heizungssysteme Wärmepumpe und Strom-Direktheizung sowie auch für die Systeme, die mit Elektroboilern für die Warmwassererzeugung kombiniert werden.

Im Stromkennzeichnungsbericht der E-Control wird sehr klar auf das Problem hingewiesen, das sich bei der sinnvollen Wahl des Strommixes stellt: Es ist nicht bestimmbar, wo das einzelne Elektron, das zu Hause aus der Steckdose kommt, „erzeugt“ wurde. Das Stromnetz

ist daher wie eine Black Box zu sehen, in die einerseits Strom eingespeist wird, der dann auf irgendeine unbekannte Weise wieder beim Verbraucher entnommen wird.

Da die Heizung hauptsächlich in den Wintermonaten benötigt wird, Warmwasser jedoch das ganze Jahr, wird für Wärmepumpen und Stromheizungen der Wintermix herangezogen und für den Warmwasserboiler der über das ganze Jahr gemittelte Strommix.

Im Stromkennzeichnungsbericht der E-Control für 2005 wird im Jahresmittel die in Tab. 7.20 genannte Verteilung angegeben.

Im UCTE-Mix verbirgt sich jener Anteil, der nicht zugeordnet werden kann. Laut Gesetz ist dieser mit dem angegebenen Mix zu berechnen. Er setzt sich zusammen aus 11,56 % Wasserkraft, 53,29 % fossile Energieträger, 31,29 % Nuklearenergie, 3,56 % sonstige erneuerbare Energieträger und 0,30 % sonstige. In Tab. 7.20 sind die Anteile an der gesamten Stromproduktion aufgelistet.

Tab. 7.20: Verteilung der Produktion der in Österreich verbrauchten elektrischen Energie auf die verschiedenen Energieträger im Jahr 2005 (Quelle: E-Control) aus den Daten des Stromkennzeichnungsberichtes 2006 (für 2005)

Bekannte erneuerbare Energieträger	54,85
Wasserkraft	50,09
Feste oder flüssige Biomasse	1,26
Biogas	0,37
Deponie- und Klärgas	0,13
Geothermie	0,61
Windenergie	2,36
Sonnenenergie	0,02
Bekannte fossile Energieträger	29,34
Erdgas	18,06
Erdöl und dessen Produkte	1,09
Kohle	10,19
Bekannte Nuklearenergie	0,00
Bekannte sonstige Energieträger	1,07
UCTE-Mix	14,74
Wasserkraft	1,70
Fossile Energieträger	7,86
Nuklearenergie	4,61
Sonstige erneuerbare Energieträger	0,53
Sonstige	0,04

In GEMIS wird daher ein Mixer-Prozess implementiert, dem die angegebene Verteilung zu Grunde liegt.

Daraus wurde schließlich die Verteilung gemäß Tab. 7.21 generiert.

Im Stromkennzeichnungsbericht werden für den in Tab. 7.20 aufgelisteten Strommix CO₂-Emissionen von 156 g/kWh angegeben. Nach Generierung des entsprechenden Strommixes in GEMIS (Tab. 7.21) erhält man jedoch einen Wert von 268 g/kWh. Die Ursachen liegen in der unterschiedlichen Bewertung der einzelnen Erzeugungsprozesse. Diese sind in Tab. 7.22 zusammengestellt. Aufgrund der Notwendigkeit, Annahmen über die Aufteilung von Posten wie „Sonstige“, „UCTE-Mix – fossile Energieträger“ (auf Kohle, Gas und Öl) sowie „Kohle“ (auf Braunkohle und Steinkohle) zu treffen, sind die Anteile nicht immer direkt miteinander vergleichbar.

Tab. 7.21: Gewählter Strommix im Jahresmittel, basierend auf Daten des Stromkennzeichnungsberichtes 2005 (Quelle: e-control)

Quelle	Anteil in %
Steinkohle	7
Braunkohle	7
Öl schwer	1,5
Erdgas	22,29
Nuklear	4,61
Wasser	51,8
Biomasse	0,2
Biogas	0,4
Geothermie	0,61
Solar	0,04
Wind	2,4
Klärgas	0,15
Müll	2

Die Art der Abweichungen deutet darauf hin, dass der Stromkennzeichnungsbericht nur die Emissionen vor Ort berücksichtigt („direkte Emissionen“), während GEMIS ja auch die Vorketten (v.a. Kraftwerkerrichtung und ggf. Förderung/Bearbeitung der Brennstoffe) miteinschließt. Da aber auch bei den anderen Heizungssystemen die letztgenannte (umfassendere) Methodik gewählt wurde, wird sie auch hier beibehalten.

Tab. 7.22: Angenommenen CO₂-Emissionen verschiedener Kraftwerksarten in GEMIS und im Stromkennzeichnungsbericht der e-control.

Quelle	CO ₂ -Emissionen pro kWh	
	GEMIS	e-control
Steinkohle	943	882
Braunkohle	1056	882
Öl schwer	780	645
Erdgas	397	328
Nuklear	69	0
Wasser	10	0
Biomasse	32	0
Biogas	278	0
Geothermie	131	0
Solar	29	0
Wind	23	0
Klärgas	- 411	0
Müll	881	?
Sonstige Inland	aufgeteilt	650
UCTE-Mix sonstige	aufgeteilt	840
UCTE-Mix	aufgeteilt	840

Beim Winter-Strommix konnten weder das Umweltbundesamt noch e-control Angaben machen. Es sei vor allem seit der Liberalisierung des Strommarktes schwierig geworden, darüber Aussagen zu treffen, wie sich während der Heizsaison die Erzeugung von elektrischem Strom zusammensetzt. Die e-control erstellt jedoch monatliche Bilanzen über die Aufteilung der in Österreich erzeugten elektrischen Energie und darüber hinaus die Import- und Exportmengen. Ebenso werden die Herkunftsländer der importierten Strommenge aufgeschlüsselt. Daraus kann man sich in etwa die monatliche Zusammensetzung des Strommixes errechnen. Gewichtet man diese Werte mit den jeweiligen Heizgradtagen, so kann man dies als Wintermix bezeichnen. Allerdings muss man dennoch diverse Annahmen über die Erzeugung der importierten Energiemenge machen und die Verteilung der unter „sonstige“ verzeichneten Stromanteile festlegen. Diese wurden anteilmäßig auf die bekannten inländischen Stromerzeuger aufgeteilt. Insgesamt ergibt sich für 2007 in etwa die Zusammensetzung wie in Tab. 7.23 ausgeführt.

Tab. 7.23: Winter-Strommix, als Grundlage diente der Stromkennzeichnungsbericht der e-control.

		Anteil in %
Inländisch	Wasser	38,1
	Gas	12,4
	Steinkohle	9,1
	Öl	1,2
Import	Deutschland	27,9
	Tschechien	11,3

Importe aus anderen Ländern tragen zusammen etwa 2 % bei und wurden daher vernachlässigt, d.h. aliquot den anderen Anteilen beigelegt.

Darüber hinaus stellt sich die Frage, ob der Strommix wirklich eine sinnvolle Referenz für die Emissionsanalyse darstellt. Vielmehr könnte man sich auch fragen: „Woraus wird die zusätzliche kWh Strom erzeugt, die ich zum Heizen benötige?“ Oder anders gefragt: „Welches Kraftwerk würde ich entlasten, wenn ich weniger Strom für meine Heizung verbrauche?“ Hierbei ist zu erklären: Wasserkraftwerke sind kapazitätsmäßig an die anströmende Wassermenge gebunden, d.h. steigt der momentane Energieverbrauch über die korrespondierende Zuflussmenge, so muss z.B. ein Gaskraftwerk (schlechter: ein Kohlekraftwerk) verstärkt dazugeschaltet werden. Daher könnte man auch argumentieren, dass für die Stromheizung nicht der Strommix, sondern die zusätzlich notwendig gewordene Menge an elektrischer Energie genommen werden muss. Man spricht in diesem Zusammenhang vom sogenannten Grenzkraftwerk. Dieses setzt sich aus einem Mix kalorischer Kraftwerke zusammen (siehe Abschnitt 8.2.1). Wasserkraftanteil ist hier nicht enthalten, weil die Leistung, die ein Wasserkraftwerk abliefern, bei einer höheren Nachfrage nicht steigt – sie ist fix an die anströmende Wassermenge des Reservoirs (Stausees) gebunden. Analoges gilt für andere erneuerbare Energieträger wie Sonne und Wind. Lediglich Biomassekraftwerke könnten theoretisch auf Nachfrageschwankungen reagieren. Zumindest in der österreichischen Zusammensetzung fällt die Ökobilanz von Stromheizungen (auch Wärmepumpen) bei Zugrundelegung des Grenzkraftwerks wesentlich schlechter aus.

In wissenschaftlichen Analysen ist es durchaus üblich, solche Grenzbetrachtungen anzustellen.

7.6.6 Ölheizungen

Bei Ölheizungen wird in GEMIS standardmäßig Heizöl leicht verwendet. Allerdings ist laut OMV der Großteil der privaten Ölheizungsanlagen bereits auf das schwefelärmere Heizöl EL umgestellt. Der Grenzwert für den S-Gehalt liegt bei 0,1 %. GEMIS nimmt einen S-Anteil von 0,165 % an. Um den aktuellen Gegebenheiten Rechnung zu tragen, wurde der S-Gehalt daher von 0,165 auf 0,1 % geändert. Dies wirkt sich nur auf die SO₂-Äquivalente aus, alle anderen Emissionsarten bleiben davon unberührt.

7.6.7 Holzheizungen

Während sich der kumulierte Energieaufwand und die Treibhausgasemissionen von Holzheizungen sehr gut berechnen lassen, divergieren die Angaben bei den Luftschadstoffen beträchtlich. So nimmt das UBA laut [38] für Holzöfen Feinstaubemissionen von 148 ± 68 (!) kg/TJ an, für Kessel sind es 90 ± 15 . In GEMIS ist man hier etwas optimistischer: Die angenommenen Werte liegen bei rund 60 kg/TJ.

Besonders zu erwähnen ist, dass GEMIS für Holzvergaserkessel höhere Emissionen veranschlagt als für Einzelöfen. Da die Emissionen aber stark von der Qualität des verwendeten Holzes abhängen, sind die Werte ohnehin nicht so exakt bestimmbar wie z.B. bei Gas oder Öl, wo es Richtlinien über das verwendete Brennmaterial gibt.

Darüber hinaus zeigt [38] die starke Abhängigkeit der Emissionsfaktoren vom Baujahr der Anlage auf. Man kann die umgekehrte Reihenfolge in GEMIS also damit rechtfertigen, dass der betrachtete Ofen neueren Baujahres ist.

In der Emissionsanalyse werden für Staub die Werte des UBA verwendet. Bei den TOPP- und SO₂-Äquivalenten waren leider keine anderen Zahlen verfügbar. Es soll daher stets auf diese Unsicherheit hingewiesen werden.

In Abschnitt 9.1 wird durch eine auf Gesamt-Österreich basierende Methode ein realistischerer Wert für durchschnittliche Holz-Einzelöfen ermittelt.

7.6.8 Staubemissionen von Holzheizungen

Zumindest für Pelletsheizungen wird in [38] auf die besonders geringe Toxizität des Rußes hingewiesen. Die gleiche Menge Feinstaub aus einem Diesel-PKW sei etwa fünfmal gesundheitsschädlicher. Das zeigt schon, dass Feinstaub nicht unbedingt gleich Feinstaub sein muss, d.h. der reine Vergleich von Feinstaubmengen ist nicht sinnvoll: Schließlich handelt es sich im Gegensatz zu den anderen untersuchten Kategorien hier nicht um eine spezielle Substanz, die durch ihre chemische Zusammensetzung fix vorgegeben ist, sondern um einen Sammelbegriff für alle festen Schwebstoffe, die eine gewisse Größe

unterschreiten. Daraus ist schon klar ersichtlich, dass die Masse allein kein geeigneter Maßstab für die Gefährlichkeit von Feinstaub ist.

Weiters variieren die Staubemissionen besonders bei Stückholzheizungen stark mit der Qualität des verwendeten Brennmaterials.

8 Ökologischer Vergleich der Heizungssysteme

Nachdem im vorangegangenen Kapitel die Kenngrößen der zu untersuchenden Gebäudeklassen bezüglich des Energieverbrauchs hergeleitet wurden, werden diese nun mit den Emissionsdaten aus GEMIS verknüpft und die Ergebnisse in Diagrammform dargestellt. Zunächst werden die Emissionsarten CO₂-Äquivalente, SO₂-Äquivalente, TOPP-Äquivalente, Staub und der gesamte sowie der nicht erneuerbare kumulierte Energieaufwand für die gewählten Gebäudetypen angegeben. Dabei sollen die Zahlen stets pro m² Nutzfläche angegeben werden, damit man die einzelnen Gebäudetypen besser vergleichen kann. Danach folgt die Sensitivitätsanalyse der Werte auf Variation der Lebensdauer und der Volllaststunden.

In Wien gilt folgende Verordnung für die Wahl des Brennstoffes neu installierter Heizungsanlagen [5]:

Brennstoffwahl

„Heizkessel sollen in der Regel nur dann zum Einsatz kommen, wenn keine Anbindung an das Fernwärmenetz möglich ist. Steht ein Gebäude in einem erdgasversorgten Gebiet, so sollte ein Niedertemperaturgaskessel (wenn möglich ein Brennwertgerät) eingebaut werden. In Gebieten, in denen weder eine Fernwärmeversorgung noch leitungsgebundenes Erdgas zur Verfügung steht, ist der Einbau eines Feststoffkessels für Holzpellets oder Hackschnitzel zu überlegen. Ein Ölkessel sollte nur in Ausnahmefällen, ein Elektroheizkessel keinesfalls gewählt werden.“

Es wird also Wert auf Zentralisierung gelegt. Interessant ist die Bevorzugung von Erdgas gegenüber Holzpellets- und Hackschnitzelheizungen. Oft werden diese Formen der Holzheizung als besonders umweltfreundlich angepriesen und gemeinhin als sehr modern und fortschrittlich bezeichnet, während dies bei Erdgaskesseln eher weniger der Fall ist. Die Wärmepumpe findet überhaupt keine Erwähnung. Die Analyse in GEMIS wird zeigen, ob bzw. unter welchen Gesichtspunkten diese Ansichten gerechtfertigt sind.

8.2 Emissionsvergleiche für die gewählten Gebäudetypen

Wie bereits oftmals erwähnt und auch aus diversen Tabellen in Abschnitt 7 ersichtlich, werden die ersten vier Bauperioden (Gebäude bis 1970) weitestgehend zusammengefasst, da sich weder bei den thermischen Eigenschaften noch bei der durchschnittlichen Größe oder den Jahresnutzungsgraden entscheidende Unterschiede ergeben haben. Lediglich bei kleinen MFH ergab sich aufgrund höherer Durchschnittsgrößen in der ersten Bauperiode eine Unterscheidung zwischen C1 bzw. C2–4. (A...Einfamilienhaus, B...Zweifamilienhaus, C...kleines Mehrfamilienhaus, D...großes Mehrfamilienhaus; 1 bis 7...Bauperioden, siehe auch Anfang von Kapitel 5)

Zusätzlich zu den aufgrund ihrer Häufigkeit gewählten Fällen werden bei den Gebäudetypen A1–4, A7, B5, C2–4, C5, D1–4 und D5 möglichst viele Heizungssysteme verglichen, sodass hier auch z.B. Öleinzelföfen und Kohleheizungen auftauchen. Diese sieben Gesamtszenarien (siehe auch Abschnitt 5.2.1) wurden so ausgewählt, dass sie einerseits alle Gebäudegrößen und Bauperioden, aber andererseits auch ein breites Spektrum von jährlichem Nutzenergiebedarf abdecken.

8.2.1 Zusammensetzung der Unsicherheitsbalken – Fehleranalyse

Bei der Emissionsanalyse wurde jeweils ein Standardfall mit den in Kapitel 7 eingeführten Zahlenwerten erarbeitet. Darüber hinaus erfolgte eine „best case“- sowie eine „worst case“-Betrachtung. Wie sich diese beiden Fälle vom Mittelwert unterscheiden, wird im Folgenden ausgeführt.

Für f_s und JNG wurde generell eine Unsicherheit von $\pm 4\%$ angesetzt, für den Hilfsstrom aufgrund höherer Schwankungen der Modelle untereinander sowie großer Abhängigkeiten von der gewählten Pumpleistung hingegen $\pm 15\%$.

Beim Strommix wird folgende Vorgangsweise gewählt (siehe auch Abschnitt 7.6.5): Für den besten Fall („best case“) wird der im Stromkennzeichnungsbericht der e-control bekannt gegebene Strommix herangezogen. Im Durchschnittsszenario wird der selbst zusammengestellte Wintermix gewählt. Dem schlechtesten Fall liegt das sogenannte Grenzkraftwerk (Mix aus fossilen Energieträgern: Dieses setzt sich zusammen aus je 17,5 % Braunkohle und Steinkohle, 5 % Öl schwer und 60 % Gas.) zu Grunde. Es soll angemerkt werden, dass diese Zuordnung (Jahresmix = gut; Wintermix = mittel; Grenzkraftwerk = schlecht) nicht per se gegeben ist, sondern sich vielmehr aus der spezifischen österreichischen Situation ergibt. Dennoch ist es im Allgemeinen, v.a. bei hohem Anteil von Wasserkraft, so, dass ein Wintermix höhere Emissionswerte liefert, da im Winter weniger Wasserkraft zur Verfügung steht.

Beim „worst-case“-Szenario könnte man meinen, dass es sinnvoll wäre, Gutschriften für die daran gekoppelte Fernwärmeerzeugung (KWK) miteinzubeziehen. Allerdings sprechen zwei Argumente dagegen:

Erstens werden diese Gutschriften schon bei der Fernwärme berücksichtigt. Diese würden also sonst zweimal schlagend werden.

Zweitens ist es das Wesen einer Grenz betrachtung, keine anteiligen Aufwendungen mitzuberücksichtigen, sondern nur die Änderung der Emissionen bei kleiner Variation der Nachfrage an Energie. Allerdings kann dies nur dann als Emissionsgutschrift betrachtet werden, wenn die Kraft-Wärme-Kopplung an ihre Grenzen stößt. Es besteht kein Zweifel, dass dies immer wieder der Fall ist, wie der teilweise Einsatz von Gaskraftwerken zur Fernwärmeerzeugung zeigt. Dennoch bezieht sich dies nur auf Spitzenzeiten. Selbst bei Nichtvorhandensein des ersten Arguments könnten die Gutschriften somit nur zum Teil berücksichtigt werden.

Tabelle 8.1 zeigt, aus welchen Anteilen sich die Unsicherheitsbalken der Diagramme im nächsten Abschnitt zusammensetzen. In der Spalte „Strommix“ wurde eine Abhängigkeit dann nicht vermerkt, wenn sie nur über den Hilfsstrom eingeht (Dies ist dann der Fall, wenn in der Spalte „Hilfsstrom“ ein Punkt ist.), wenngleich sie auch einen kleinen Beitrag liefert. In den Spalten „Lebensdauer“ und „Volllaststunden“ sind die Annahmen für „best case“, „Normalfall“ und „worst case“ angegeben. Die höhere Annahme für die Lebensdauer von Solaranlagen resultiert aus den Ausgangswerten in GEMIS.

Tab. 8.1: Zusammensetzung der Fehlerbalken in den folgenden Diagrammen in der Notation (best case / Normalfall / worst case), JM...Jahresmix, WM...Wintermix, GWK...Grenzkraftwerk

	f_s ±4%	JNG ±4%	Hilfs- strom ±15%	Strommix	Lebensdauer (a)	Volllaststunden (h)
Gas-EO	•	•			•(25/15/15)	•(2000/1600/1200)
Gas-ETH	•	•	•		•(25/15/15)	•(2000/1600/1200)
Gas-ZH	•	•	•		•(25/15/15)	•(2000/1600/1200)
Öl-EO	•	•			•(25/15/15)	•(2000/1600/1200)
Öl-ZH	•	•	•		•(25/15/15)	•(2000/1600/1200)
Kohle-EO	•	•			•(25/20/15)	•(2000/1300/1000)
Kohle-ZH	•	•	•		•(25/15/15)	•(2000/1600/1200)
Holz-EO	•	•			•(25/20/15)	•(2000/1300/1000)
Holz-ZH	•	•	•		•(25/15/15)	•(2000/1600/1200)
Fernwärme	•	+2/-4	•			
Strom	•	+2/-4		•(JM/WM /GWK)		
Wärmepumpe	•	•	•	•(s.o.)	•(25/15/15)	•(2000/1600/1200)
Hackschnhgz.	•	•	•		•(25/15/15)	•(2000/1600/1200)
Pelletsheizung	•	•	•		•(25/15/15)	•(2000/1600/1200)
Solar	•	•			•(30/20/15)	(fix 1625)
Boiler	•	•		•(JM/JM/ GWK)		

Bei Heizungen mit hohem Stromverbrauch, also Stromdirektheizungen und Wärmepumpen, wird sich zeigen, dass die Unsicherheitsbalken besonders groß sind. Dies ist auf die Unterschiede der zu Grunde gelegten Strommixe zurückzuführen (siehe dazu auch Abschnitt 7.6.5).

8.2.2 Diagramme der berechneten Emissionen

Viele Aussagen gelten für alle Gebäudetypen gleichermaßen. Deshalb werden hier bei CO₂-Äquivalenten und KEA nur die Diagramme der sieben Gesamtscenarien angeführt und bei den Luftschadstoffen nur jene des ersten Gebäudetyps (A1–4). Die Erklärungen der Systembezeichnungen sind in Abschnitt 5.2.1 verzeichnet. Die Dimensionierung der Solarunterstützung wurde in Abschnitt 7.6.3 vorgenommen. Die Skalierung der Ordinate ist immer auf 1 m² Wohnnutzfläche bezogen.

8.2.2.1 CO₂-Äquivalente

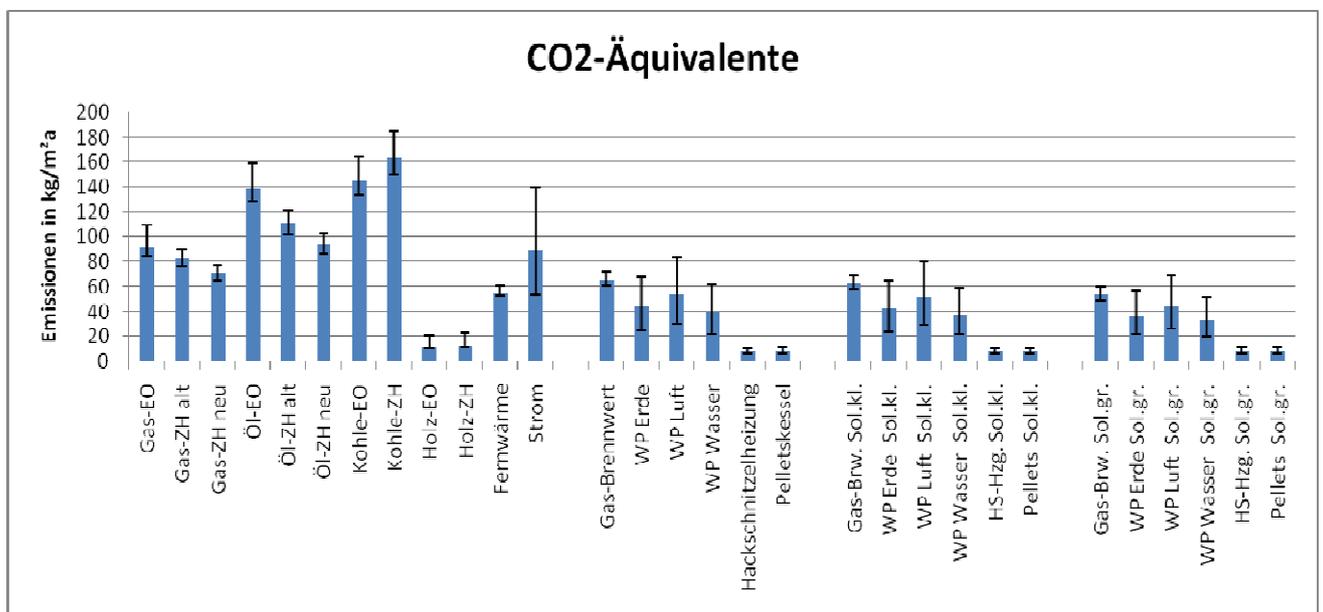


Abb. 8.1: Jährliche Emissionen von CO₂-Äquivalenten pro m² Nutzfläche für verschiedene Heizungssysteme in einem EFH, erbaut vor 1970

Wie man aus dem Vergleich der Abb. 8.1 und 8.2 der CO₂-Emissionen und der CO₂-Äquivalente sieht, ist im Bereich der Heizungsanlagen (wie auch in der österreichischen Gesamtbilanz) Kohlendioxid das weitaus wichtigste Treibhausgas. Lediglich in der Landwirtschaft spielen Emissionen von Methan und auch Lachgas eine zentrale Rolle. Sämtliche zu den CO₂-Äquivalenten getroffenen Aussagen gelten auch für die CO₂-Emissionen allein.

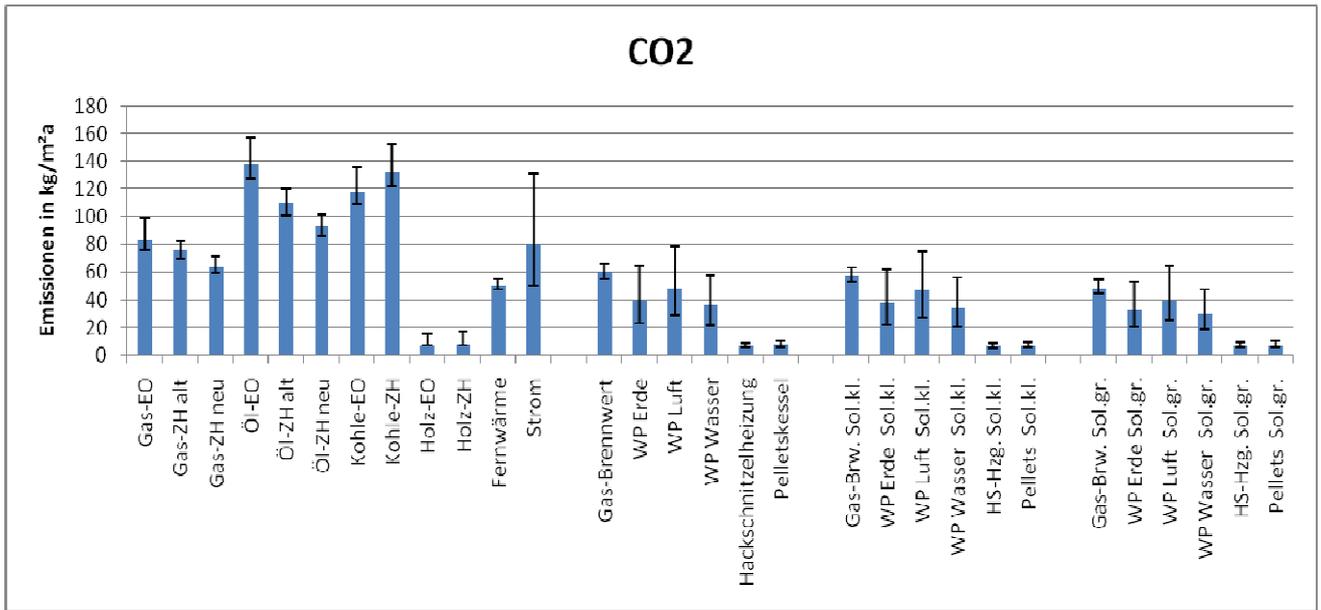


Abb. 8.2: Jährliche Emissionen von CO₂ pro m² Nutzfläche für verschiedene Heizungssysteme in einem EFH, erbaut vor 1970 zur Illustration der Tatsache, dass im Heizungsbereich CO₂ das dominierende Treibhausgas ist

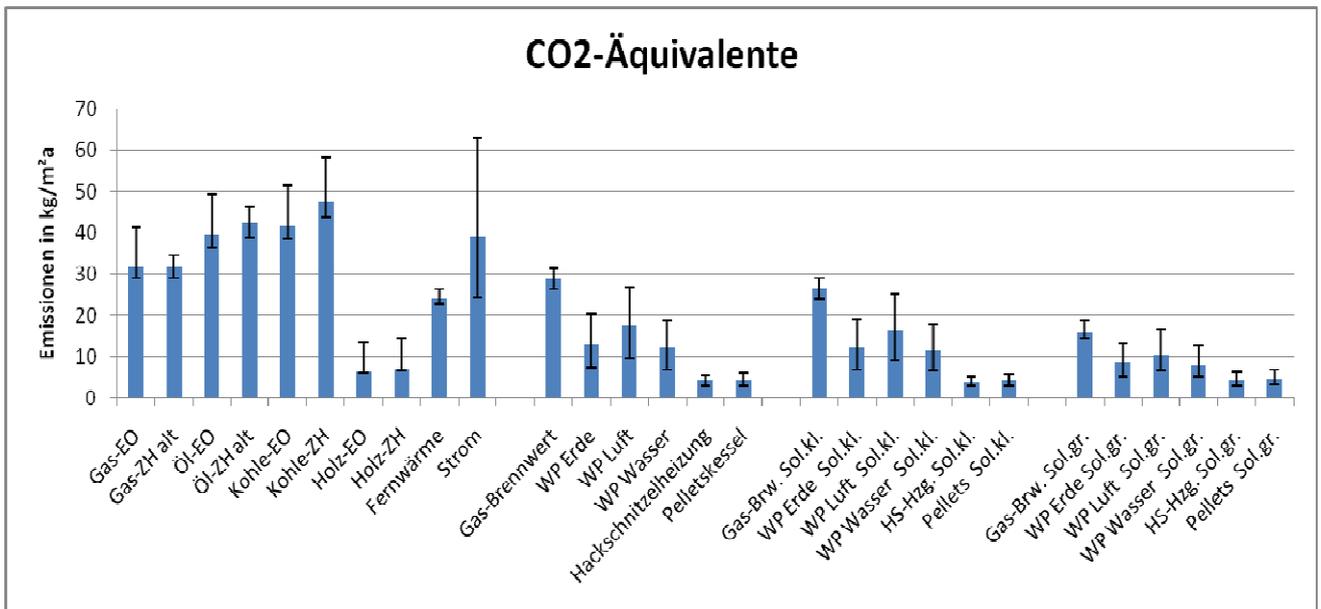


Abb. 8.3: Jährliche Emissionen von CO₂-Äquivalenten pro m² Nutzfläche für verschiedene Heizungssysteme in einem EFH, erbaut zwischen 1991 und 2000

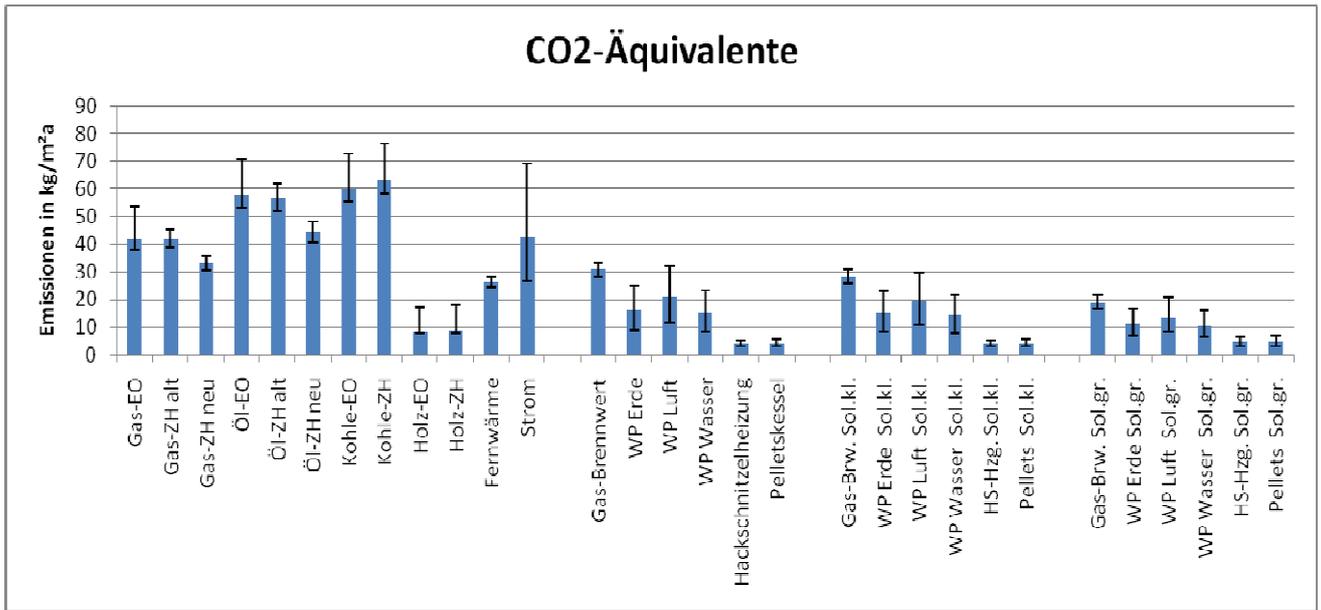


Abb. 8.4: Jährliche Emissionen von CO₂-Äquivalenten pro m² Nutzfläche für verschiedene Heizungssysteme in einem 2-FH, erbaut zwischen 1971 und 1980

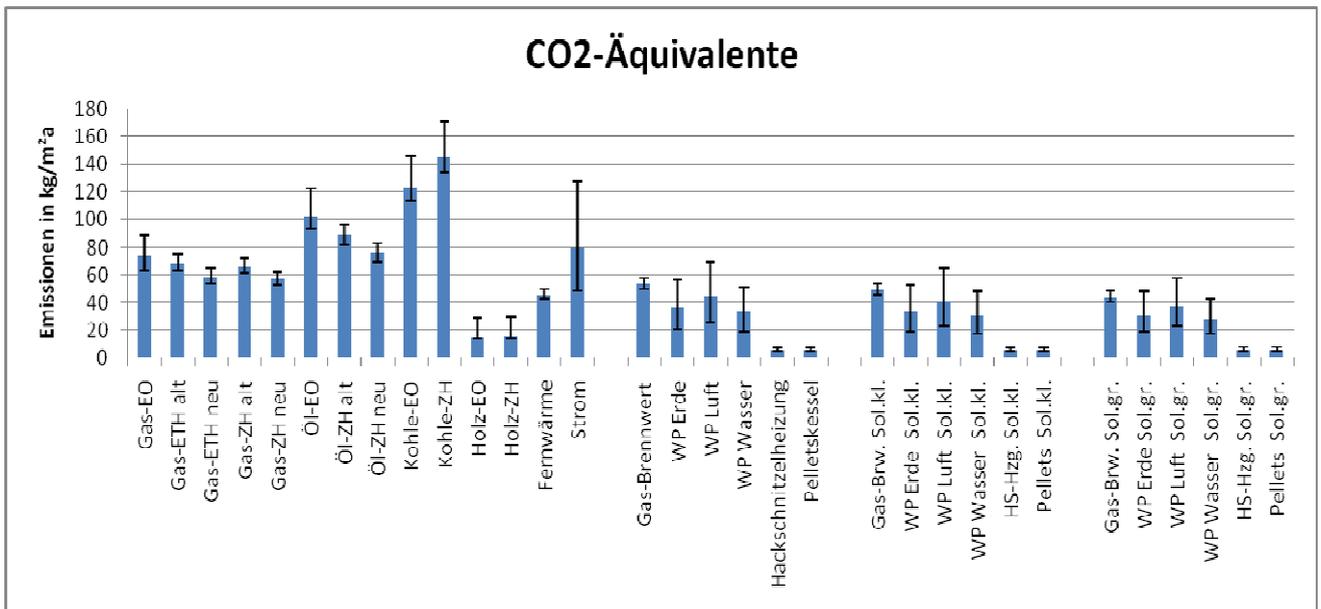


Abb. 8.5: Jährliche Emissionen von CO₂-Äquivalenten pro m² Nutzfläche für verschiedene Heizungssysteme in einem kleinen MFH, erbaut zwischen 1919 und 1970

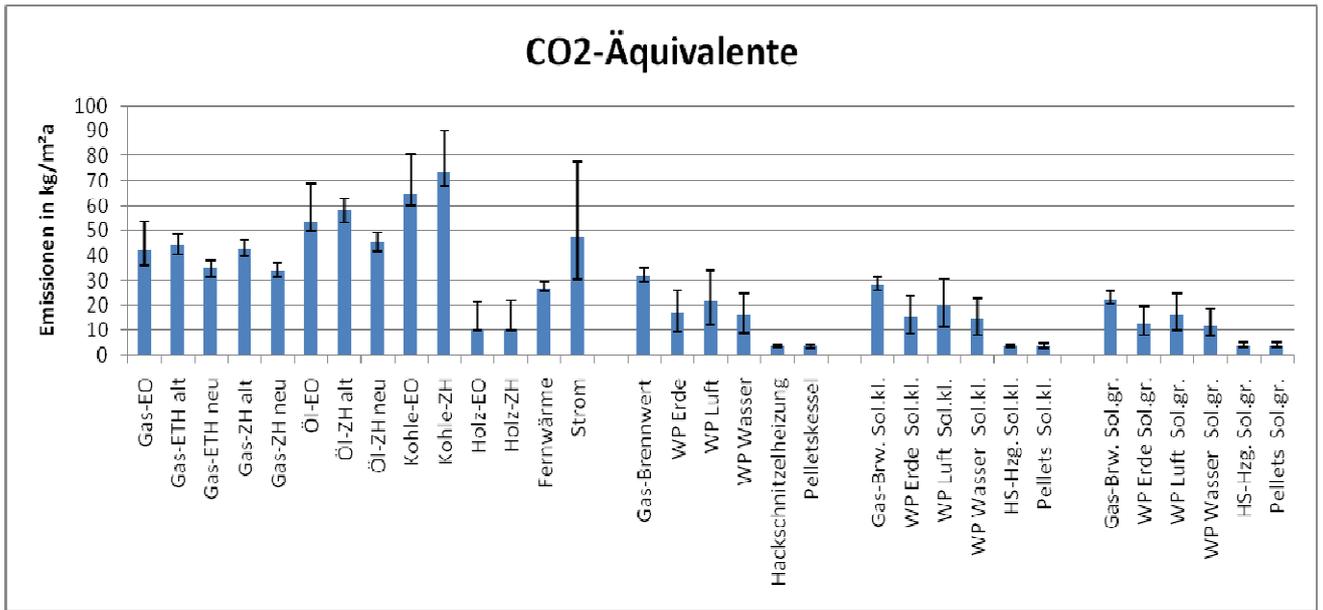


Abb. 8.6: Jährliche Emissionen von CO₂-Äquivalenten pro m² Nutzfläche für verschiedene Heizungssysteme in einem kleinen MFH, erbaut zwischen 1971 und 1980

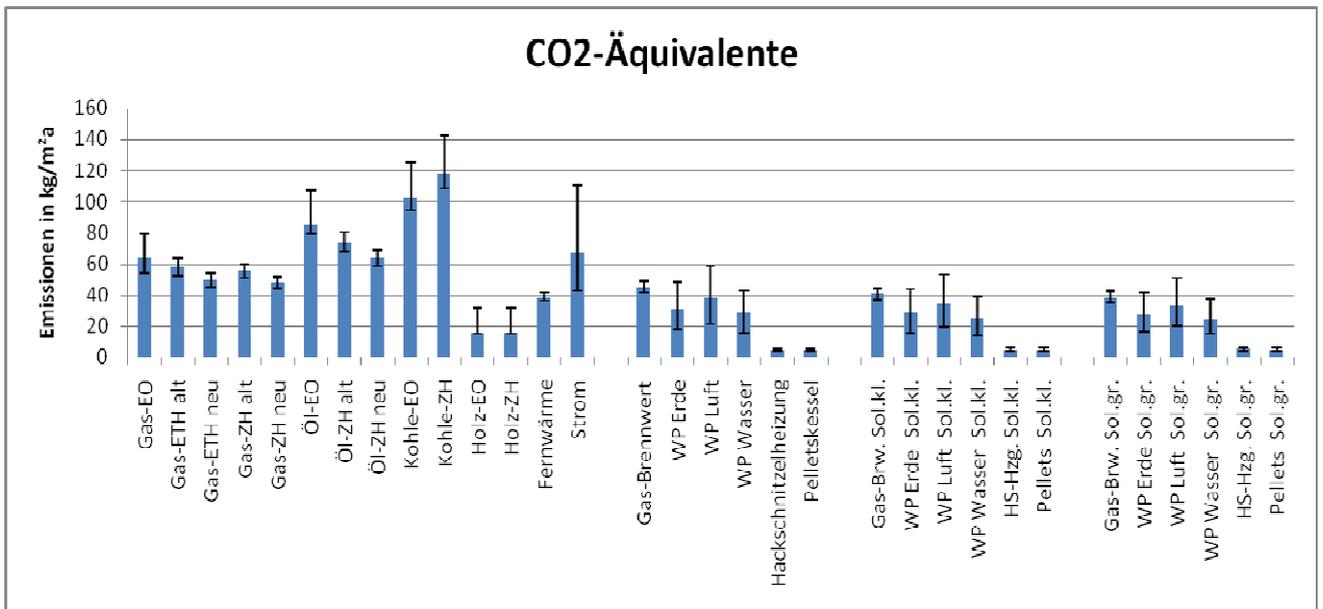


Abb. 8.7: Jährliche Emissionen von CO₂-Äquivalenten pro m² Nutzfläche für verschiedene Heizungssysteme in einem großen MFH, erbaut vor 1970

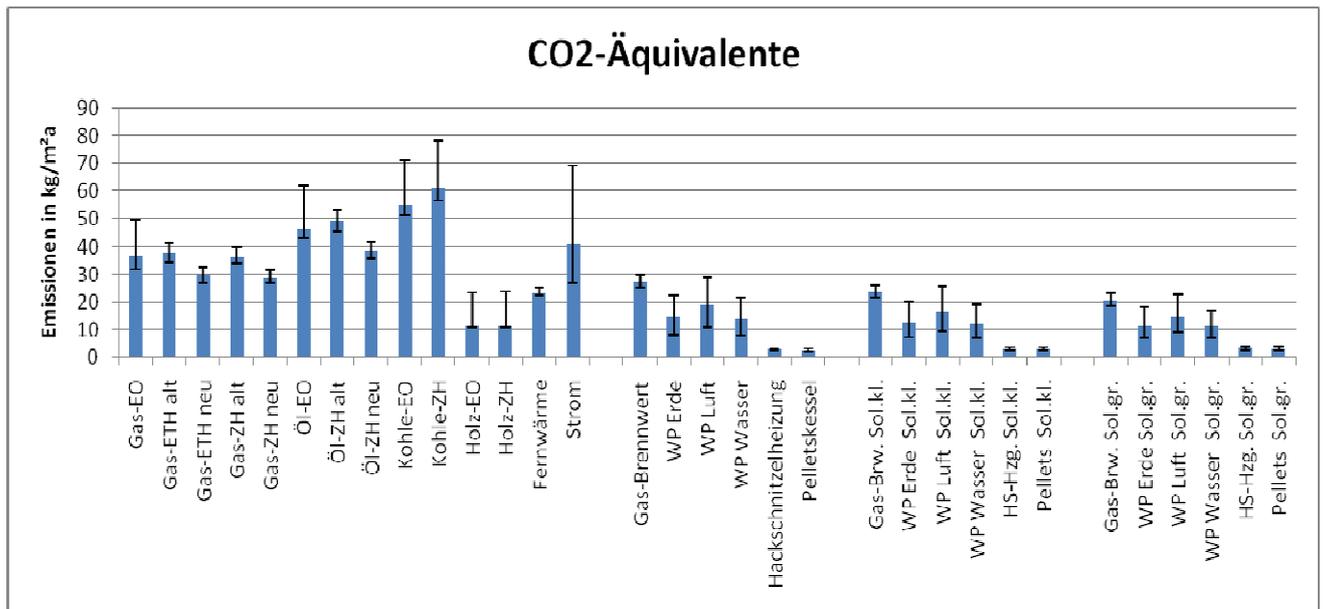


Abb. 8.8: Jährliche Emissionen von CO₂-Äquivalenten pro m² Nutzfläche für verschiedene Heizungssysteme in einem großen MFH, erbaut zwischen 1971 und 1980

Bezüglich des Ausstoßes an CO₂-Äquivalenten können folgende Aussagen getroffen werden: Die Treibhausgasemissionen sind bei Kohleheizungen am höchsten, wobei die Werte der ZH wegen des höheren Servicefaktors jene des EO übersteigen.

Danach folgen die Ölheizungen. Der Öl-Einzelofen liegt aufgrund der geringen JNG alter Geräte schlechter als die ZH. Moderne Ölheizungen weisen schon bessere Emissionswerte auf, d.h. sie liegen im Bereich älterer Gasheizungen. Dennoch sind die meisten anderen Beheizungsformen klimafreundlicher.

Gasheizungen sind aufgrund der Zusammensetzung von Erdgas (höherer Wasserstoffgehalt, niedrigerer Kohlenstoffanteil) gegenüber Öl bevorzugt. Einzelöfen können einen Teil ihres geringeren JNG durch einen niedrigeren Servicefaktor gut machen. Erwartungsgemäß liegen Gas-Brennwertkessel unter den Gasheizungen am besten. Ihr etwas höherer Hilfsstrombedarf wird durch den höheren JNG weitaus kompensiert.

Gas- und Stromdirektheizungen liegen etwa gleichauf im Mittelfeld, sofern man den Winterstrommix heranzieht. Betrachtet man das Grenzkraftwerk (Erläuterungen siehe Abschnitte 7.6.5 und 8.2.1), so liegen Stromheizungen im Bereich von Kohleöfen. Nimmt man jedoch den Jahresmix, weisen Stromheizungen sogar geringfügig bessere Werte als Gas-Brennwertkessel auf.

Unter Verwendung der Analyse des Umweltbundesamtes ergeben sich für Fernwärmeheizungen niedrigere Werte als für sämtliche Gasheizungen, wobei der Abstand zum Gas-Brennwertkessel nicht groß ist.

Wärmepumpen sind bei Zugrundelegung des Wintermix auf jeden Fall besser als Gasheizungen. Generell gilt: Grundwasser-Wärmepumpen weisen die beste Ökobilanz auf, danach folgt Erdwärme; Luft-WP liegen am schlechtesten. Dies lässt sich einzig und allein aus

den unterschiedlichen JNG begründen und gilt für alle Emissionsarten gleichermaßen. Gegenüber Fernwärme liegen bei diesem Strommix Wasser- und Erd-WP besser als Fernwärme, die Luft-WP etwa auf demselben Niveau. Auch beim Grenzkraftwerk liegen WP, mit Ausnahme der Luft-WP, auf dem Niveau von Gas-Brennwertkesseln.

Die WP ist bei gut gedämmten Gebäuden besser als bei energieintensiven Bauwerken, da im ersten Fall die Vorlauftemperatur niedriger gewählt werden kann, wodurch die Effizienz steigt. Allerdings fällt dies in den Diagrammen nicht stark auf, da auch für die anderen Heizungssysteme in den älteren Bauperioden eher niedrigere Nutzungsgrade vorherrschen.

Der Abstand zwischen Stromdirektheizungen und WP ist deshalb nicht ganz so groß wie die JNG vermuten ließen, weil zum einen die Aufwendungen zur Installation höher sind und zum anderen der Charakter einer ZH einen höheren Servicefaktor verursacht. Dennoch ist der Abstand so groß, dass er eindeutig für die Wärmepumpe spricht.

Am besten für die CO₂-Bilanz sind erwartungsgemäß Holzheizungen. Die CO₂-Emissionen des Holzes werden schließlich aus plausiblen Gründen nicht berücksichtigt. Die Kombination herkömmlicher Holzheizungen liegt aufgrund der Kombination mit einem Elektroboiler für die WW-Bereitung etwas schlechter als Hackschnitzel- und Pelletsheizungen.

Zum Einfluss von Solarkomponenten ist Folgendes zu sagen: In Kombination mit HS- und Pelletsheizungen bringen diese sogar geringfügig höhere CO₂-Emissionen mit sich.

In Kombination mit Gas-Brennwertheizungen und WP zeigen sich jedoch die positiven Auswirkungen einer Solaranlage. Selbst bei Zugrundelegung einer Lebensdauer von 15 Jahren sieht man eine sinkende Tendenz.

Die unregelmäßigen Fehlerbalken bei Holz-ZH und Holz-EO, aber auch bei Gas- und Öl-EO sowie in geringerem Ausmaß bei Stromdirektheizungen resultieren daraus, dass für den Elektroboiler (Hauptverursacher von CO₂-Emissionen im bei der Kombination Holzheizung – Elektro-WW-Boiler) im Standardfall wie auch im „best case“ der Jahresstrommix herangezogen wurde. Damit existiert nach unten kaum eine Abweichung. Bei Fernwärme und Stromdirektheizungen liegt dieser Umstand zum Teil daran, dass bei den hohen angenommenen JNG eine unsymmetrische Variation des JNG angenommen wurde (siehe Tab. 8.1).

Es zeigen sich zwischen den einzelnen Modellfällen sehr wohl kleine Unterschiede in den Relationen zwischen den Treibhausgasemissionen der Heizungssysteme. Diese gehen auf die unterschiedlichen Annahmen zu Jahresnutzungsgrad und Servicefaktor und zu einem kleinen Anteil zum Hilfsstromverbrauch zurück. So kann es sein, dass eine alte Gas-ETH oder -ZH schlechter abschneidet als der Gas-EO.

Klar sichtbar ist allerdings, dass nicht nur jüngere Gebäude gegenüber älteren niedrigere Emissionswerte aufweisen, sondern auch größere gegenüber kleineren bevorzugt sind.

8.2.2.2 SO₂-Äquivalente

Hier sollen die SO₂-Äquivalente anhand des Modellfalls A1–4 gebracht werden. Die anderen Gebäudegruppen ergeben keine wesentlich anderen Ergebnisse.

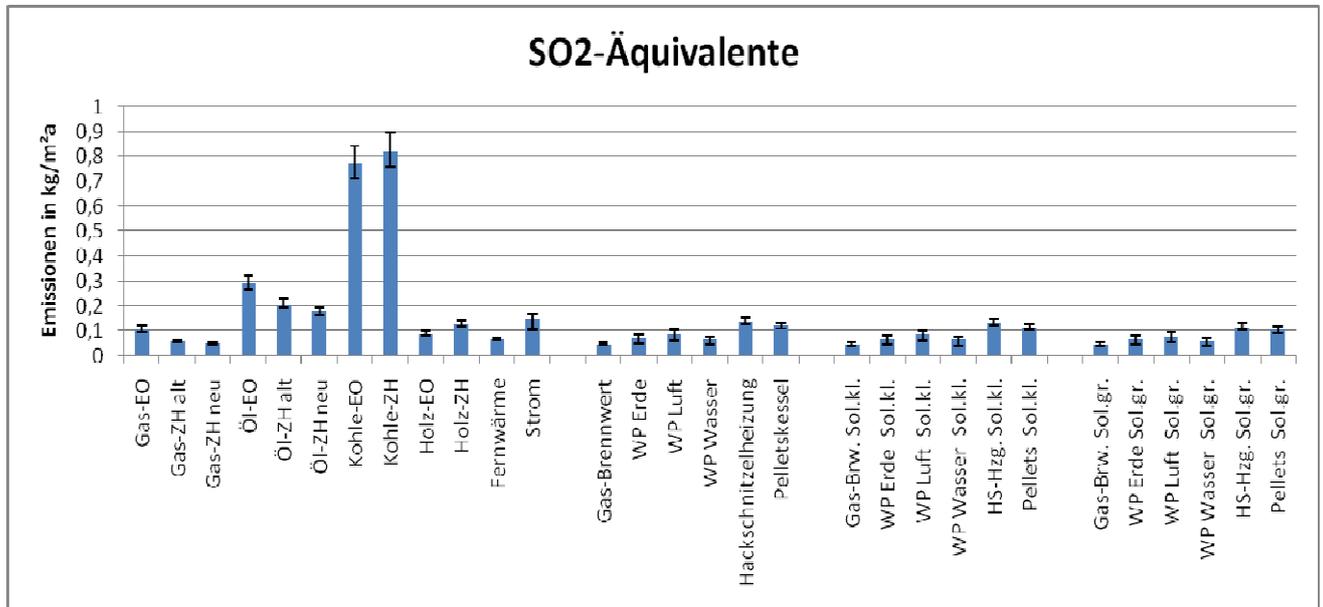


Abb. 8.9: Jährliche Emissionen von SO₂-Äquivalenten pro m² Nutzfläche für verschiedene Heizungssysteme in einem EFH, erbaut vor 1970

Zum Versauerungspotential der untersuchten Heizungsarten können folgende Aussagen getroffen werden:

Erneut lässt sich festhalten: Kohleheizungen sind die umweltfeindlichste Art zu heizen. Allerdings ist hier der Abstand besonders eklatant. Dies liegt (naheliegenderweise) am hohen Schwefelgehalt von Kohle. Eine Entschwefelung könnte ähnlich wie beim Heizöl die Lage verbessern. Allerdings muss man sich die Frage stellen, ob dies erstens technisch möglich (Schließlich handelt es sich um einen Feststoff.) und zweitens nicht der Ersatz von Kohle sinnvoller ist.

Weit dahinter folgen Ölheizungen. Der EO schneidet auch wegen der unvollständigeren Verbrennung schlechter ab als die ZH.

Danach folgen Stromdirektheizungen. Hier wirkt sich der Anteil an Kohlekraftwerken negativ aus.

Holzheizungen sind ein wenig besser. Die HS-Heizung weist gegenüber Pelletsheizungen etwas höhere SO₂-Werte auf, wiederum begründbar durch die nicht so gute Verbrennung. Jedoch sind die Angaben ziemlich unsicher, was zum einen auf unterschiedliche Brennholzqualitäten und zum anderen auf enorme Verbesserungen der Technologie von Holzheizungen im Laufe der Zeit zurückzuführen ist (siehe auch Abschnitt 7.6.7). Allerdings

scheinen aufgrund der gesamtösterreichischen Betrachtung in Kapitel 9 diese Zahlen noch relativ gut mit der durchschnittlichen herkömmlichen österreichischen Holzheizung übereinzustimmen.

Abgesehen von Gasöfen liegen Gasheizungen am besten, knapp gefolgt von Wärmepumpen und Fernwärme.

Der Einfluss von Solaranlagen ist hier durchwegs positiv, jedoch ist dies aus der Grafik wegen der niedrigen Ausgangswerte nicht gut zu erkennen.

8.2.2.3 TOPP-Äquivalente

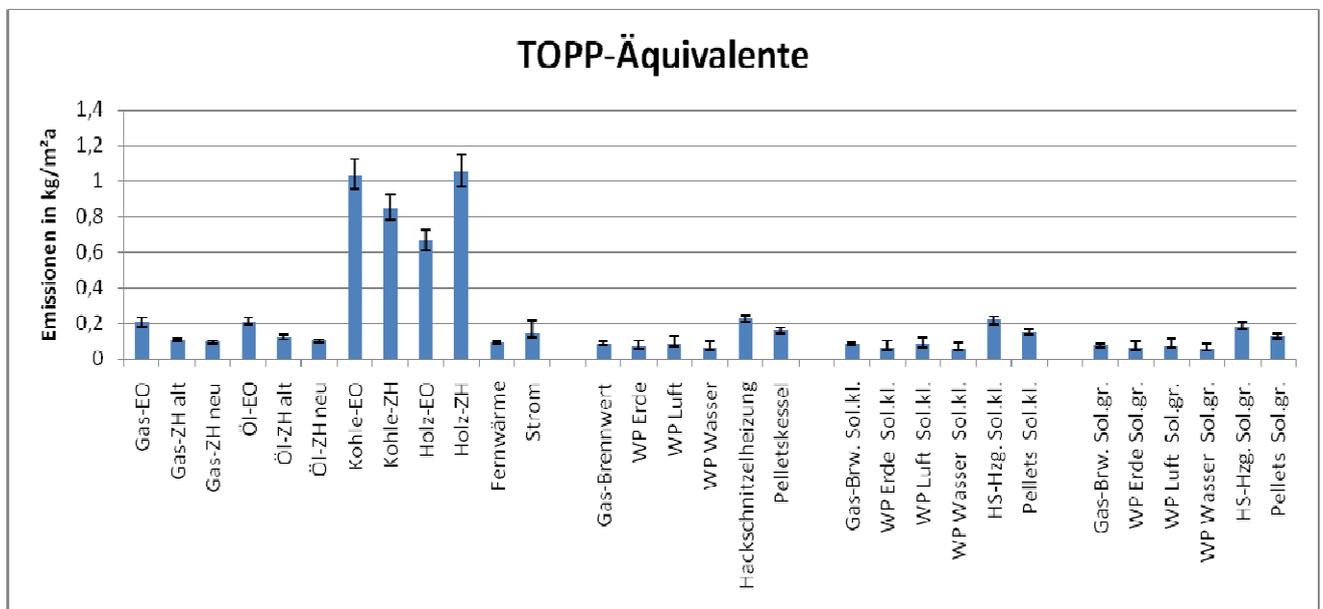


Abb. 8.10: Jährliche Emissionen von TOPP-Äquivalenten pro m² Nutzfläche für verschiedene Heizungssysteme in einem EFH, erbaut vor 1970

Beim Ozonbildungspotential gelten folgende Aussagen:

Generell weisen Feststoffheizungen eher hohe TOPP-Äquivalente auf. Dies liegt vor allem am CO-Ausstoß. Dieser entsteht bei unvollständiger Verbrennung. Ursache ist meist Sauerstoffmangel. Jedoch sind die Angaben ziemlich unsicher, was zum einen auf unterschiedliche Brennholzqualitäten und zum anderen auf enorme Verbesserungen der Technologie von Holzheizungen zurückzuführen ist. Die durchschnittliche österreichische Holzheizung dürfte höhere Emissionen aufweisen (siehe auch Abschnitt 7.6.7).

Bei der Kohle-ZH liegt der Unterschied hingegen fast nur an den unterschiedlichen Annahmen für Servicefaktor und JNG.

Bei Pellets- und Hackschnitzelheizungen läuft die Verbrennung aufgrund des höherwertigen Heizmaterials besser ab, daher sind vor allem die CO-Emissionen reduziert, was sich günstig auf die TOPP-Emissionen auswirkt. Dennoch liegen die Werte auch hier höher als bei den anderen Heizungsformen.

Offensichtlich ist die Verbrennung in Gas- und Ölöfen eher unvollständig, denn deren TOPP-Emissionen liegen höher als jene der zugehörigen Zentralheizungen. Letztere liegen etwas besser als Stromdirektheizungen und etwa gleichauf mit Fernwärme, mit leichten Nachteilen für die Öl-ZH.

Knapp darunter rangieren Gas-Brennwertheizungen. Wärmepumpen schneiden besonders gut ab, was in Übereinstimmung mit den guten Werten für Stromheizungen liegt.

Solaranlagen wirken sich in jedem Fall mindernd auf die TOPP-Emissionen aus. Eine Anlage zur Heizungsunterstützung kann im mittleren Szenario bei WP zu einer Verringerung um etwa 10 %, bei Pellets- und HS-Heizungen um ca. 20 % führen.

8.2.2.4 Staubemissionen

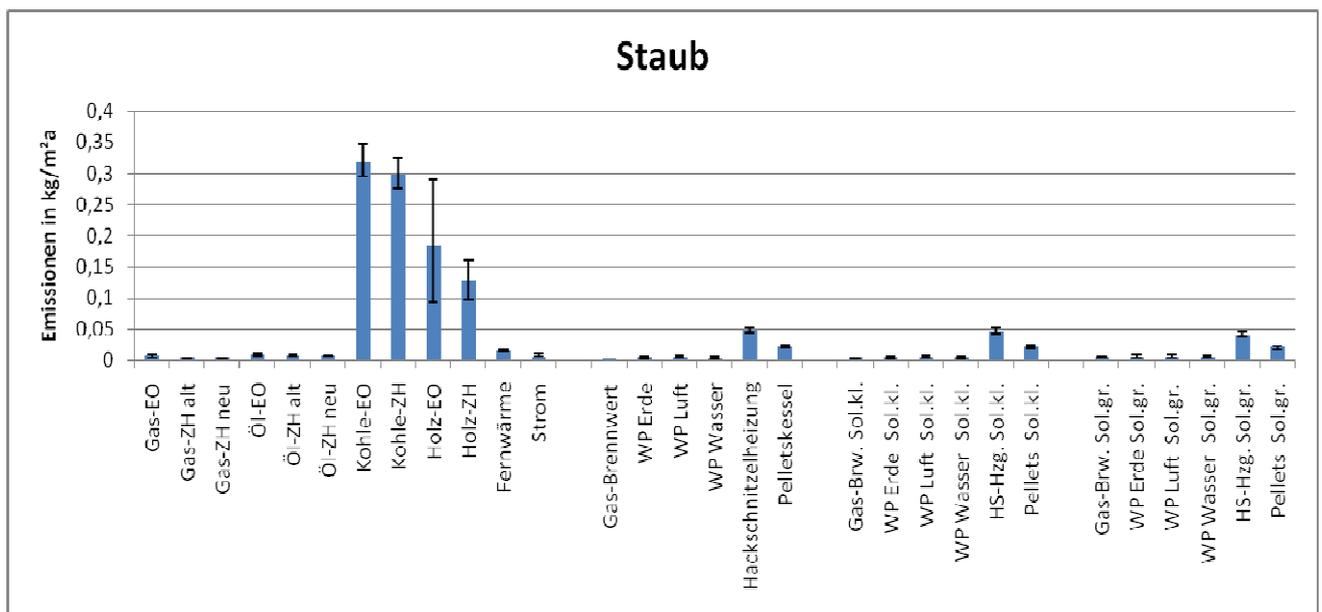


Abb. 8.11: Jährliche Staubemissionen für verschiedene Heizungssysteme pro m² Nutzfläche in einem EFH, erbaut vor 1970

Hier ist ganz klar zu sagen: Feststoffheizungen haben hohe Staubemissionen. Dies ist insofern logisch, als Staub selbst ein Feststoff ist, der keine spezielle chemische Zusammensetzung haben muss. Es reicht also, wenn das Brennmaterial nicht vollständig seinen ursprünglichen Aggregatzustand verliert. Dennoch fällt wieder auf: Kohleheizungen haben einen erschreckend hohen „Vorsprung“ gegenüber allen anderen Formen der

Beheizung. Herkömmliche Holzheizungen folgen danach. Jedoch sind hier die Angaben ziemlich unsicher, was zum einen auf unterschiedliche Brennholzqualitäten und zum anderen auf enorme Verbesserungen der Technologie von Holzheizungen zurückzuführen ist. Bei den Holzheizungen wurden die Zahlen des Umweltbundesamtes herangezogen. Diese weisen zwar extrem hohe Schwankungsbreiten auf, scheinen aber realistischer zu sein (siehe auch Abschnitt 7.6.7).

Bei HS-Heizungen sieht es bereits wesentlich besser aus und bei Pelletsheizungen sind die Staubemissionen noch einmal niedriger.

Danach folgt die Fernwärme. Das liegt wahrscheinlich am Anteil der Müllverbrennung. Der Wert liegt etwa um ein Drittel unter jenem für Pelletskessel, allerdings fünfmal höher als bei Gasheizungen und Wärmepumpen (welche gleichzeitig die niedrigsten Staubemissionen verursachen), doppelt so hoch wie bei Ölheizungen und dreimal über dem Wert einer Stromdirektheizung. Gerade in Ballungszentren, wo die Fernwärme stark beworben wird und die Feinstaubproblematik besonders groß ist, v.a. in der Heizsaison, ist dies ein nicht zu vernachlässigendes Problem.

8.2.2.5 Kumulierter Energieaufwand

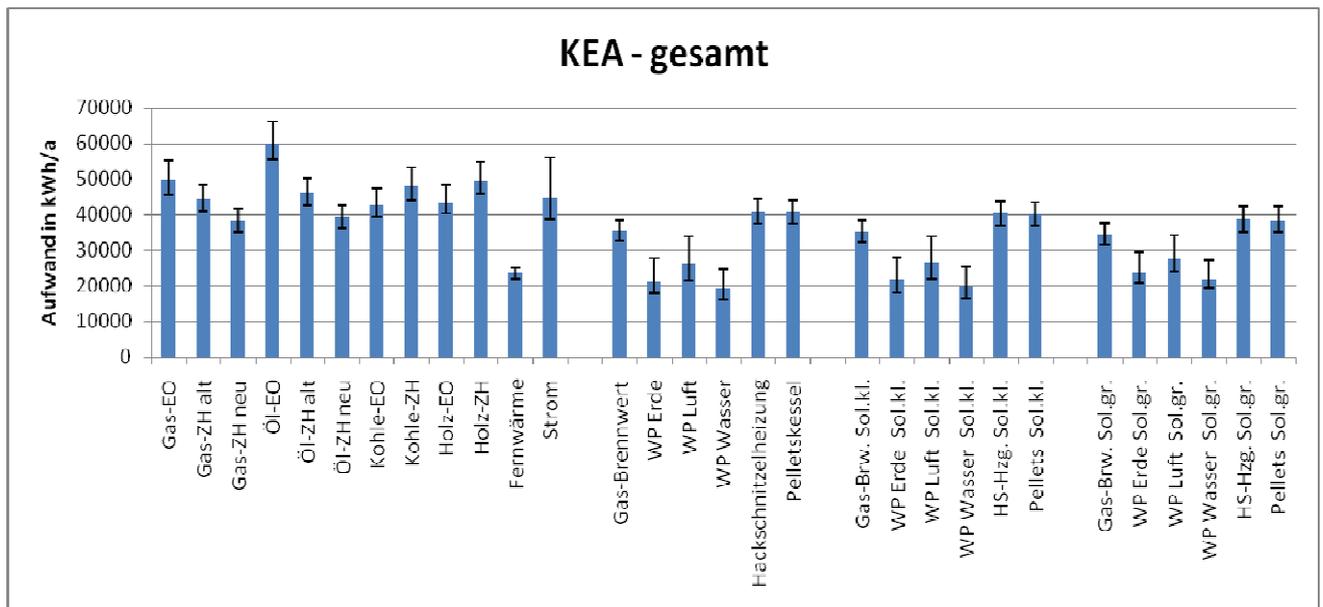


Abb. 8.12: Jährlicher gesamter kumulierter Energieaufwand pro m² Nutzfläche für verschiedene Heizungssysteme in einem EFH, erbaut vor 1970

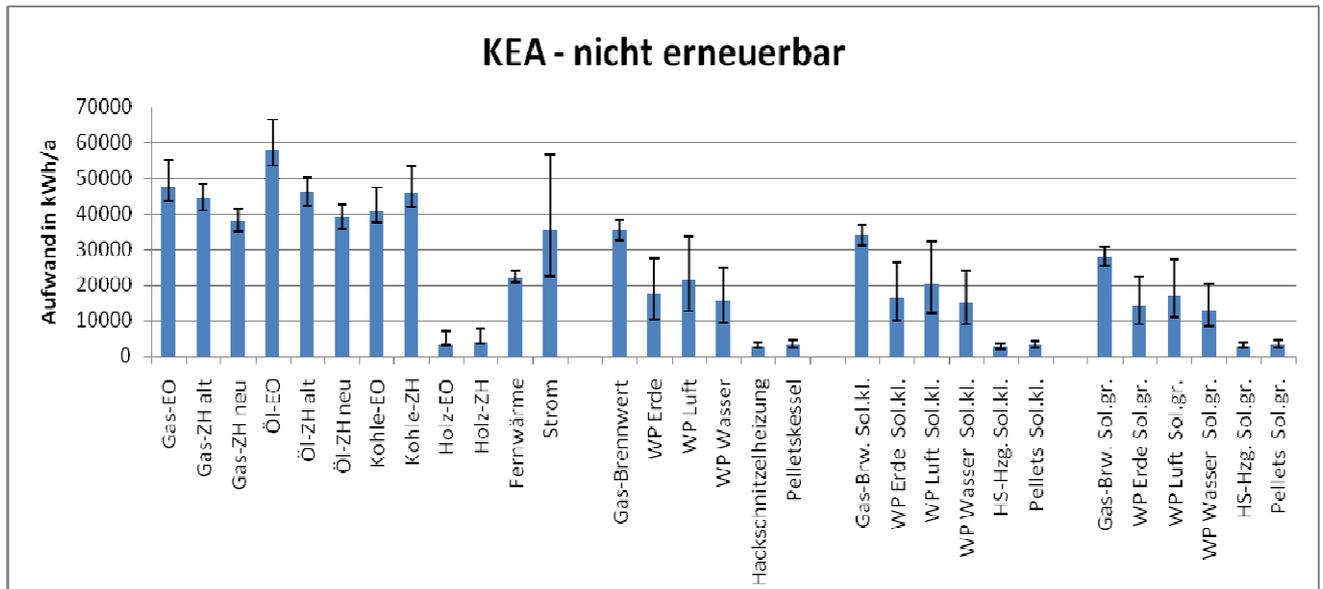


Abb. 8.13: Jährlicher nicht erneuerbarer kumulierter Energieaufwand für verschiedene Heizungssysteme in einem EFH, erbaut vor 1970

Hier muss man klar zwischen dem gesamten und dem nicht erneuerbaren kumulierten Energieaufwand unterscheiden. Zu ersterem kann Folgendes gesagt werden: Zwischen den Beheizungsformen, die auf fossilen Energieträgern beruhen, sind die Unterschiede nicht besonders groß. Sie liegen über den Werten der anderen Heizungsarten.

Danach folgt die Stromdirektheizung, sofern man den Wintermix heranzieht. Mit dem Grenzkraftwerk liegt sie eher über den fossilen Energien.

Besonders gut schneiden Fernwärme und Wärmepumpen ab (in etwa gleichauf).

Bei Holz und Solaranlagen ist diese Klassifikation nicht gut geeignet: Bei ersteren wird nämlich der Energiegehalt des Holzes miteingerechnet. Diese Energie ist allerdings nicht gleich zu bewerten, da sie bei Nichtverbrennung durch Verrottung ebenfalls verbraucht würde. Ähnlich verhält es sich bei Solaranlagen: Hier ist auch die Sonnenenergie enthalten.

Daher wird der nicht erneuerbare kumulierte Energieaufwand separat ausgewiesen.

Dabei ändert sich bei den fossilen Energieträgern kaum etwas. Sie liegen daher hier deutlich schlechter als andere Beheizungsformen. Lediglich die Gas-Brennwerttechnik kann mit der Stromheizung im Wintermix mithalten. Legt man allerdings das Grenzkraftwerk zu Grunde, so ist Strom in der Gegend fossiler Heizungen anzusiedeln.

Fernwärme und Wärmepumpen sind etwa gleich sparsam (mit Wintermix) und eindeutig besser als fossile Beheizungsformen.

Wie bei den CO₂-Emissionen liegen hier Holzheizungen aller Art besonders gut: Holz ist ein nachwachsender Rohstoff, weshalb hier nur der Installationsaufwand, der Hilfsstrombedarf und der Holztransport anzurechnen sind.

Vor allem in Verbindung mit dem Gas-Brennwertkessel und einer Wärmepumpe bringt eine Solaranlage deutliche Reduktionen mit sich. In Kombination mit Holzheizungen ist aufgrund

des niedrigen Ausgangsniveaus keine Verbesserung zu verzeichnen, was allerdings weniger an Problemen der Solarthermie als an den diesbezüglichen Vorzügen der Verbrennung von Holz liegt.

Im Folgenden sind der erneuerbare und der nicht erneuerbare KEA für die sieben Gesamtszenarien in je einem Diagramm zusammengefasst. In dieser Darstellung zeigt sich besonders deutlich der hohe Anteil an erneuerbarem KEA bei allen Formen der Holzheizung sowie bei Solarunterstützung. Der Übersichtlichkeit halber sind dort keine Fehlerbalken eingezeichnet. Die Größe der Unsicherheiten ist den Abb. 8.12 und 8.13 zu entnehmen.

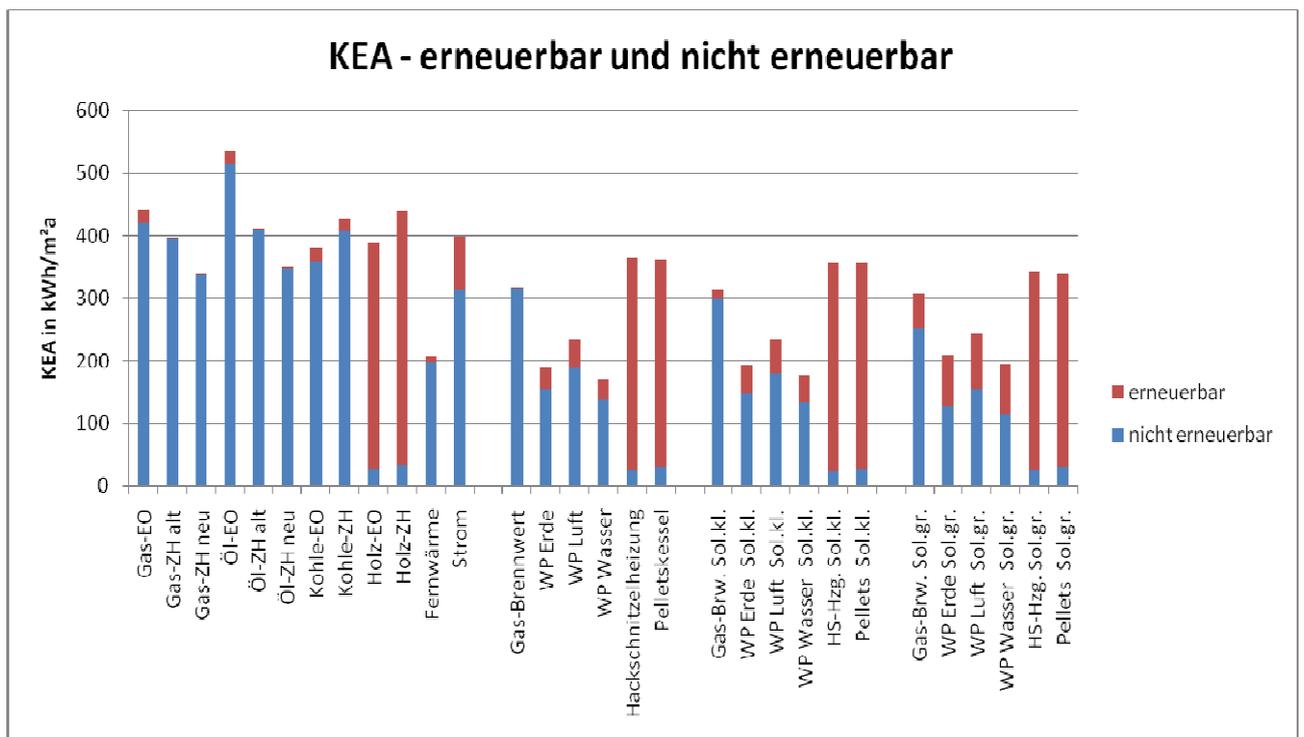


Abb. 8.14: Jährlicher kumulierter Energieaufwand für verschiedene Heizungssysteme in einem EFH, erbaut vor 1970, aufgeteilt in erneuerbaren und nicht erneuerbaren Anteil

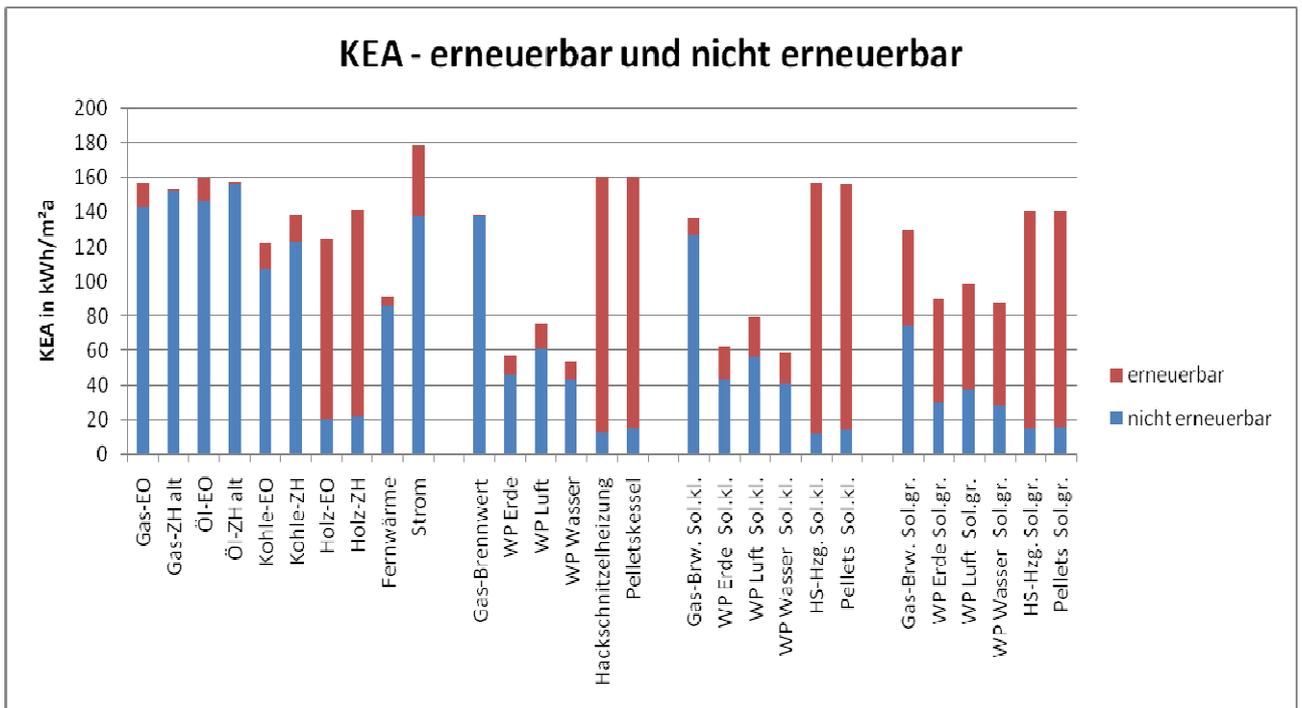


Abb. 8.15: Jährlicher kumulierter Energieaufwand für verschiedene Heizungssysteme in einem EFH, erbaut zwischen 1991 und 2000, aufgeteilt in erneuerbaren und nicht erneuerbaren Anteil

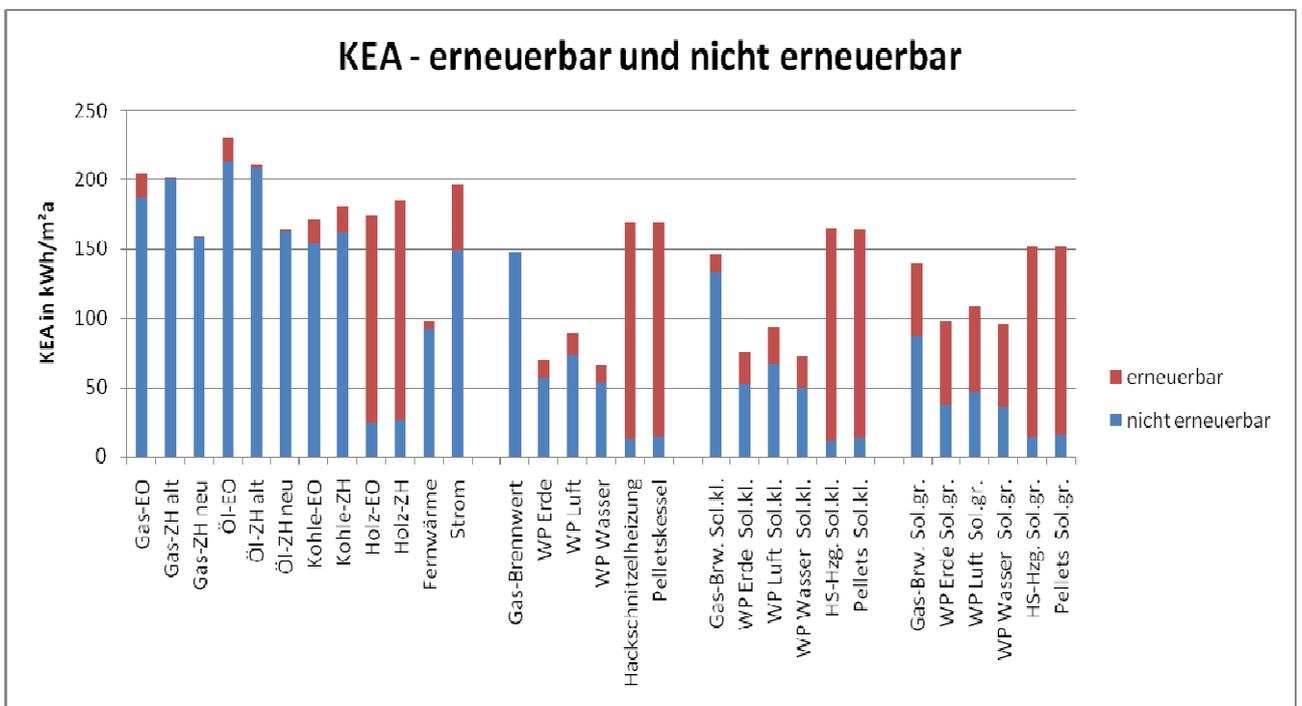


Abb. 8.16: Jährlicher kumulierter Energieaufwand für verschiedene Heizungssysteme in einem 2-FH, erbaut zwischen 1971 und 1980, aufgeteilt in erneuerbaren und nicht erneuerbaren Anteil

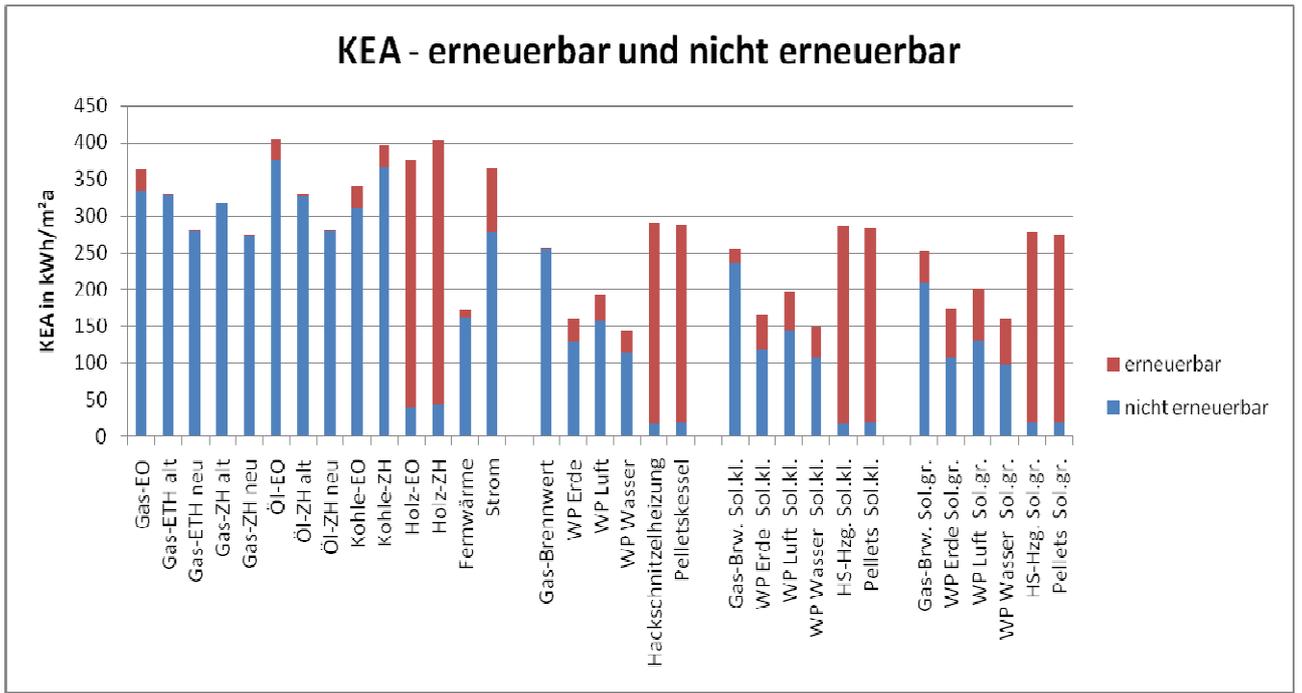


Abb. 8.17: Jährlicher kumulierter Energieaufwand für verschiedene Heizungssysteme in einem kleinen MFH, erbaut zwischen 1919 und 1970, aufgeteilt in erneuerbaren und nicht erneuerbaren Anteil

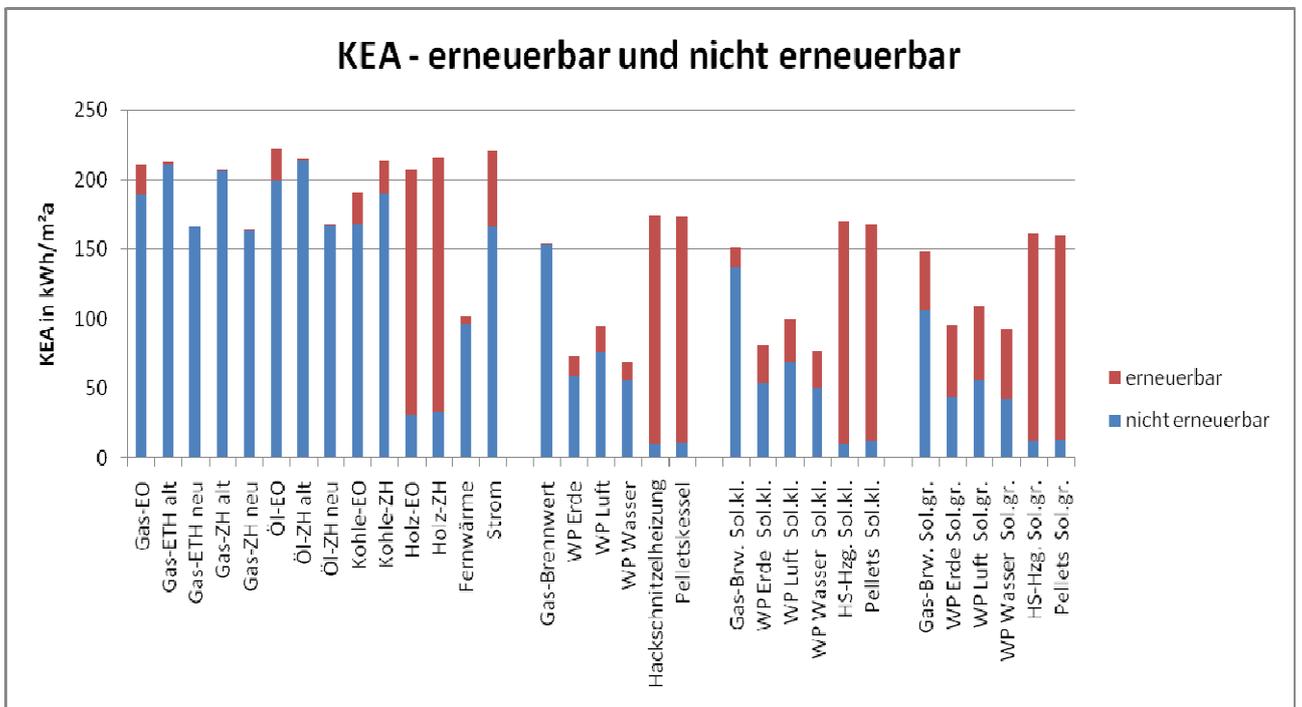


Abb. 8.18: Jährlicher kumulierter Energieaufwand für verschiedene Heizungssysteme in einem kleinen MFH, erbaut zwischen 1971 und 1980, aufgeteilt in erneuerbaren und nicht erneuerbaren Anteil

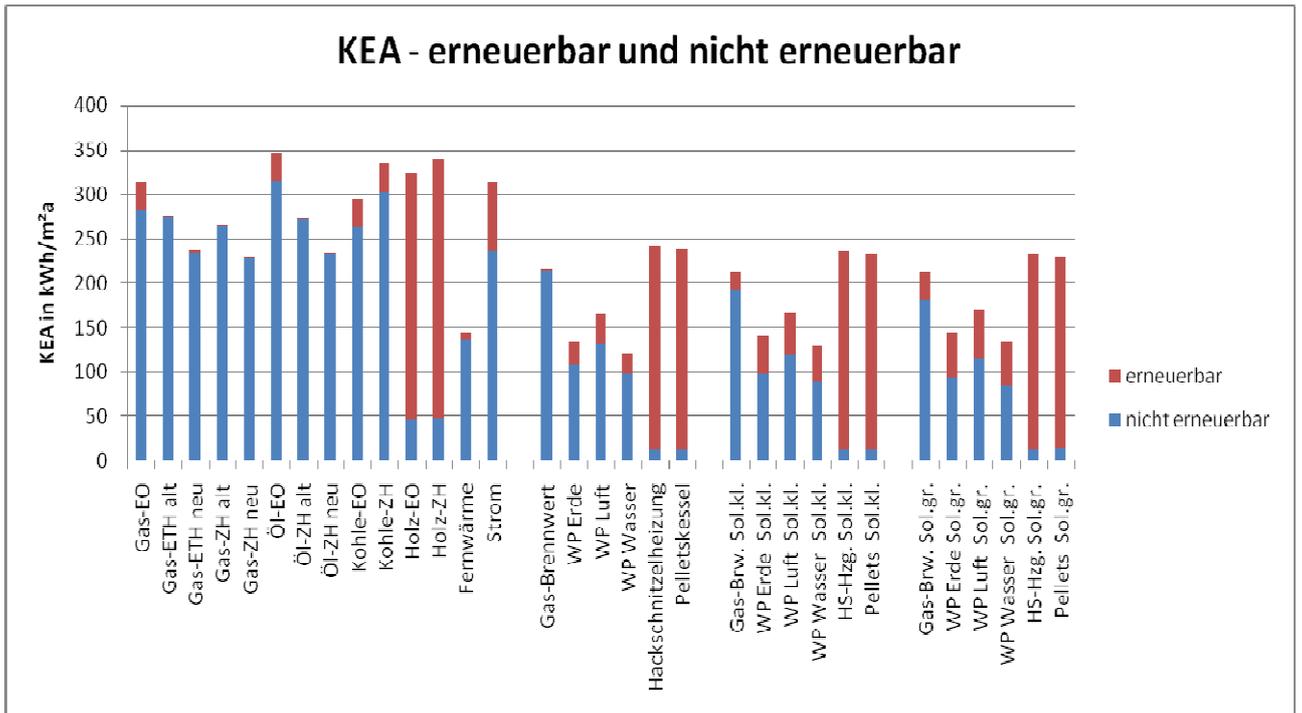


Abb. 8.19: Jährlicher kumulierter Energieaufwand für verschiedene Heizungssysteme in einem großen MFH, erbaut vor 1970, aufgeteilt in erneuerbaren und nicht erneuerbaren Anteil

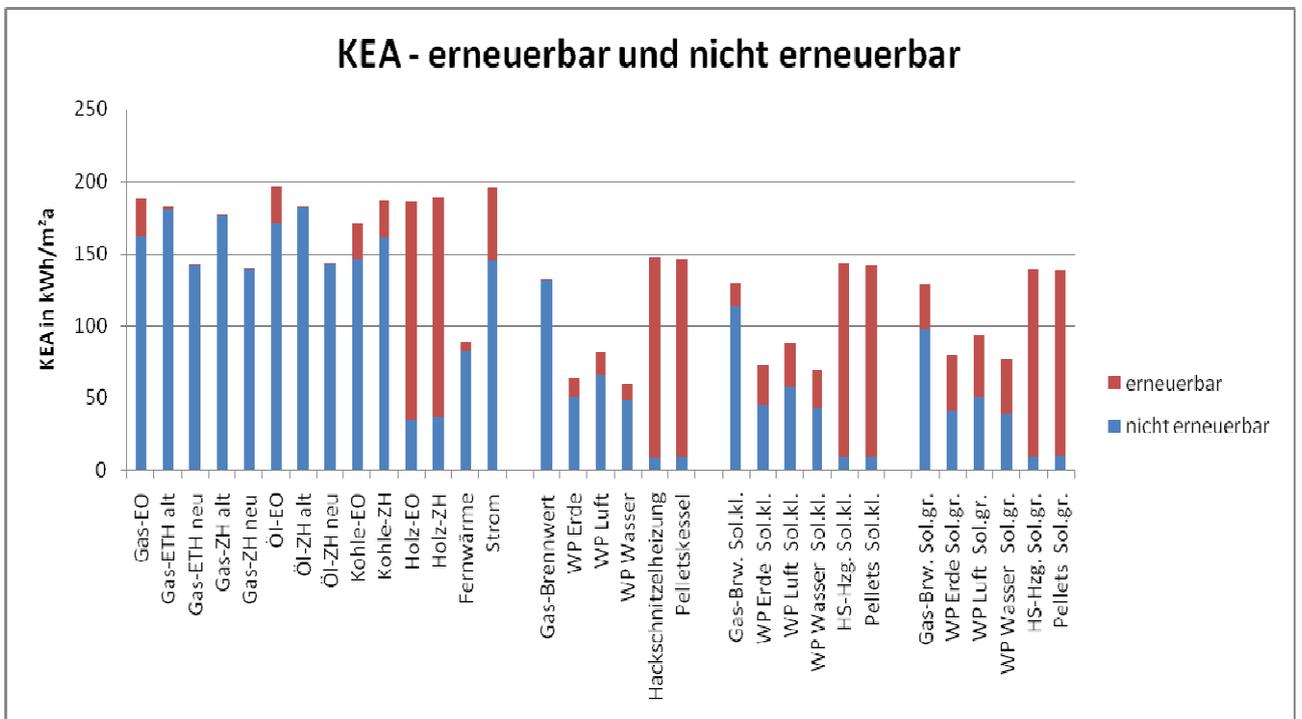


Abb. 8.20: Jährlicher kumulierter Energieaufwand für verschiedene Heizungssysteme in einem großen MFH, erbaut zwischen 1971 und 1980, aufgeteilt in erneuerbaren und nicht erneuerbaren Anteil

Man kann beim KEA auch zwischen jenem Anteil unterscheiden, der durch die Produktion der Anlagenteile verursacht wird, und dem durch die Benützung entstehenden Aufwand. Dies ist exemplarisch für das Gesamtszenario A1–4 in Abb. 8.21a und für den besten Gebäudetyp in Abb. 8.21b dargestellt. Es zeigt sich, dass der erstgenannte Anteil vernachlässigbar klein ist. Eine genauere Analyse zeigt überdies, dass das Verhältnis auch für den erneuerbaren wie auch für den nicht erneuerbaren KEA in etwa gleich aussieht. Ausnahme sind natürlich die Holzheizungen, bei denen auch der nicht erneuerbare KEA im Betrieb sehr gering ist.

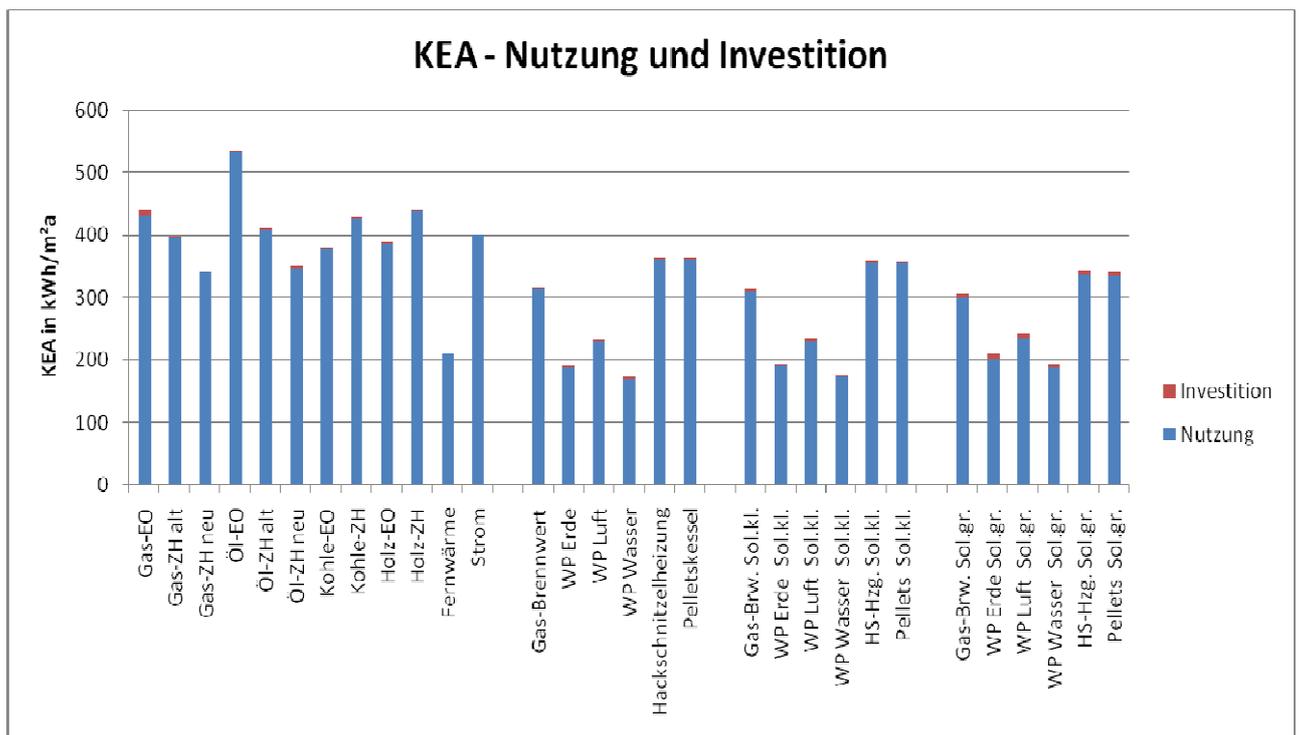


Abb. 8.21a: Jährlicher kumulierter Energieaufwand für verschiedene Heizungs-systeme in einem EFH, erbaut vor 1970, aufgeteilt in einen Anteil, der aus der Investition resultiert, und einen (größeren), der durch die Nutzung verbraucht wird

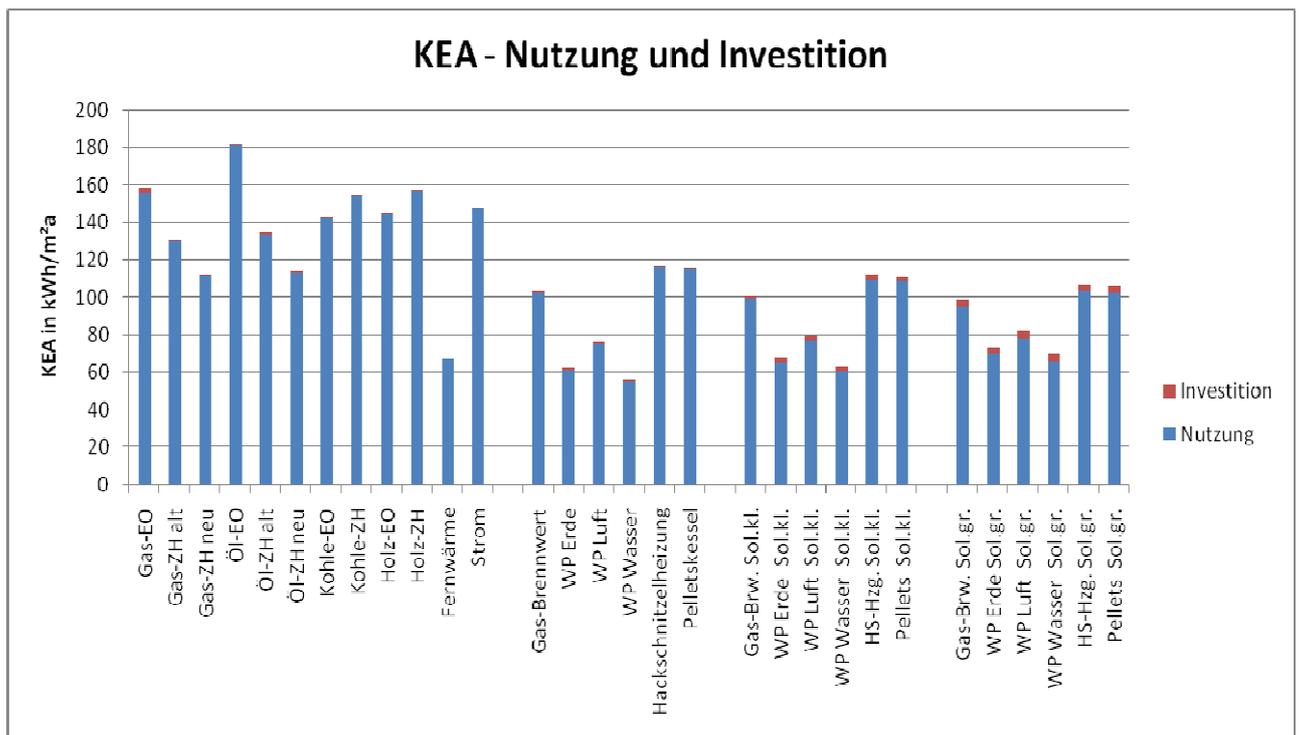


Abb. 8.21b: Jährlicher kumulierter Energieaufwand für verschiedene Heizungssysteme in einem großen MFH, erbaut in den 1990er-Jahren, aufgeteilt in einen Anteil, der aus der Investition resultiert, und einen (größeren), der durch die Nutzung verbraucht wird

Man sieht, dass selbst bei niedrigem Energiebedarf der KEA, der aus der Investition resultiert, sehr gering ist. Es zeigt sich auch in Abschnitt 8.4, dass der Anteil der Nutzung beim KEA gegenüber den untersuchten Emissionen besonders hoch ist.

8.3 Schlussfolgerungen aus der Emissionsanalyse

Kohleheizungen sind in praktisch allen Belangen die ökologisch schlechteste Variante. Diese Form der Beheizung ist zwar ohnehin schon sehr stark zurückgedrängt, dennoch muss es Anreize geben, um auch die verbliebenen Geräte so rasch wie möglich auszutauschen.

Bei Stromheizungen ist es schwierig, endgültige Aussagen zu bekommen. Die Problematik mit der Wahl des Strommixes wurde ja schon an verschiedenen Stellen (siehe vor allem Abschnitt 7.6.5) besprochen. Bei Zugrundelegung des Wintermixes kann nicht gesagt werden, dass diese Beheizungsform besonders umweltschädlich ist. Speziell bei den Staubemissionen sind die Werte ziemlich vorteilhaft, sogar gegenüber der als umweltfreundlich angepriesenen Fernwärme.

Es ist jedoch fraglich, ob das Emissionsverhalten das alleinige Argument für oder gegen Stromheizungen ist. Es steht fest, dass eine flächendeckende Beheizung mit Strom das Stromnetz überlasten würde. Dies zeigt eine einfache Rechnung: Als Wert für den

kumulierten Energieaufwand aus Raumheizung und Warmwasser wurden 84,5 Mrd. kWh ermittelt. Der derzeitige Gesamtstromverbrauch beträgt rund 62 Mrd. kWh. Man müsste also sämtliche anderen Aktivitäten einstellen, die elektrische Energie benötigen, und selbst dann würden weder die aktuellen Produktionskapazitäten noch die derzeitige Netzauslegung reichen. Strom kann also bei weitem nicht als bevorzugte Beheizungsvariante in Betracht kommen, selbst wenn sich herausstellen sollte, dass dies umweltfreundlich wäre. (Allerdings gilt dieses Argument auch für Biomasseheizungen, denn auch Holz ist nicht unbegrenzt vorhanden.)

Fernwärme ist durchaus relativ umweltfreundlich, aber durch Effizienzsteigerungen (Thermostatventile, Nachtabsenkung, Änderung des Abrechnungsmodus) würden sich noch deutliche Verbesserungen ergeben. Von den Emissionswerten her muss aber gesagt werden, dass eine moderne Gasheizung nicht wirklich Nachteile gegenüber Fernwärme aufweist. Zwar sind die Treibhausgasemissionen bei letzterer etwas niedriger und auch der KEA liegt besser, aber die Staubemissionen sind stark verbesserungswürdig und auch bei SO₂- und TOPP-Äquivalenten liegen die Werte bei Gasheizungen etwas besser. Die Frage ist aber, inwiefern dies das einzige Argument für oder gegen Fernwärme ist: Es muss auch untersucht werden, wie gut sich Mitteleuropa bzw. Österreich mit Gas selbst versorgen kann und wie hoch das Potential der Fernwärme ohne Rohstoffimporte wäre: Müllverbrennung ist sehr wohl ohne ausländisches Zutun möglich. Jedoch ist in diesem Punkt zu sagen: Müllvermeidung sollte die oberste Priorität sein. Unvermeidbarer Müll sollte so weit wie möglich recycelt werden. Erst wenn diese beiden Möglichkeiten ausgeschöpft sind, sollte Müllverbrennung angedacht werden. Die schlechteste denkbare Variante ist wohl die Mülldeponie. Verbrennung und Deponierung von Müll führen nämlich zu Ressourcenvernichtung. Das bedeutet, dass neue Güter produziert werden müssen, was natürlich wieder einen Energieaufwand nach sich zieht. Es ist zu hoffen, dass die Möglichkeit, Wärme aus Müllverbrennung in Form von Fernwärme sinnvoll nutzen zu können, nicht dazu führt, dass Strategien zur Müllvermeidung bzw. Recycling nicht ausgeschöpft werden. Dieser Ansatz würde die Ökobilanz von Fernwärme stark belasten. Untersuchungen zu diesem Thema sind nicht bekannt.

Bei KWK, zumindest in Wien mit 72 % Hauptquelle für Fernwärme, sieht die Sache allerdings anders aus: Hierzu benötigt man die Abwärme fossiler Kraftwerke, was die selbe Abhängigkeit wie bei Gasheizungen selbst bedeutet. Hier müsste eine genaue Analyse hinsichtlich der Energieautarkie Österreichs angestellt werden.

Am Anfang von Kapitel 8 wurde eine Verordnung zur Reihung der bevorzugten Wahl von Heizkesseln zitiert: Die Reihenfolge lautet:

Fernwärme – Gas-Brennwert – Holz (bezeichnet als Feststoff) – **Öl – Strom**.

Welche Kriterien hiezu herangezogen wurden, ist dort nicht dokumentiert. Mit den aus der Emissionsanalyse gewonnenen Kenntnissen lässt sich die Sinnhaftigkeit dieser Reihung weder bestätigen noch widerlegen. Es müsste zuerst klar sein, welche Emissionsart am wichtigsten genommen wird. Sind es die Treibhausgasemissionen, so müsste die Reihung lauten (Im Folgenden wird für Gas-Brennwert kurz die Bezeichnung „Gas“ verwendet.):

Holz – Fernwärme – Gas – Strom – Öl (oder – Öl – Strom, je nach Strommix: mit dem Wintermix liegen Strom und eine neue Öl-ZH praktisch gleichauf, mit dem Grenzkraftwerk ist Strom hingegen weit abgeschlagen).

Zieht man die ebenfalls prominenten Staubemissionen heran, müsste es hingegen heißen: **Gas – Strom – Öl – Fernwärme – Holz**. Während die Reihung nach den CO₂-Emissionen dem landläufigen Umweltbewusstsein noch eher geläufig sein dürfte, wird hier die Reihenfolge doch etwas durcheinander gewürfelt: Strom ist also tatsächlich besser als etwa Fernwärme.

Nach dem Versauerungspotential müsste die Empfehlung hingegen wieder lauten:

Gas – Fernwärme – Holz – Strom – Öl.

Bei den TOPP-Äquivalenten sieht die Lage folgendermaßen aus:

Gas – Fernwärme – Öl – Strom – Holz.

Beim nicht erneuerbaren KEA lautet die Reihung:

Holz – Fernwärme – Gas – Strom – Öl (teilweise sind Strom und Öl auch vertauscht).

Man könnte nun also eine gewichtete Summe dieser Parameter bilden. Dies ist allerdings eher eine politische Entscheidung, denn man muss hier zwischen verschiedensten Interessen abwägen. Dazu kommt noch die ebenfalls politisch sehr interessante Energieautarkie. Ohne nun eine exakte Analyse gemacht zu haben, könnte die Reihenfolge hier in etwa folgendermaßen lauten:

Holz – Fernwärme – Strom – Gas – Öl.

Bezüglich des Einsatzes moderner Holzheizungen (Pellets- und Hackschnitzelheizungen) ergibt sich als Resümee: Um die CO₂-Bilanz und die Energieabhängigkeit Österreichs positiv zu beeinflussen, müssten diese eigentlich einzig und allein gefördert werden. Um Staubemissionen und TOPP-Äquivalente zu reduzieren, müssten sie eher zurückgedrängt werden. Die Staubproblematik könnte man theoretisch mit Partikelfiltern in den Griff zu bekommen versuchen. Dies ist aber auch eine technische und finanzielle Frage. Gleiches gilt wohl übrigens auch für die Fernwärme, wenngleich hier wegen der Zentralisierung eher weniger wirtschaftliche Probleme, aber auch weniger technische zu erwarten sind.

Nun sollen die zentralen Schlussfolgerungen bzw. Empfehlungen, die sich aus der Emissionsanalyse ergeben haben, noch einmal zusammengefasst werden:

- 1.) Kohleheizungen sind auch in geringer Anzahl sehr umweltschädlich. Vor allem die extrem hohen SO₂-Emissionen sind hervorzuheben. Zwar ist ihr Anteil jetzt schon mit etwa 2 % sehr gering. Ein gänzliches Verbot von Kohleheizungen wäre aber wünschenswert (siehe dazu auch Abschnitt 9.2).
- 2.) Aus emissionstechnischer Hinsicht allein lässt sich die strikte Ablehnung von Stromheizungen nicht in dieser Schärfe rechtfertigen, wenngleich die Emissionen bei Zugrundelegung des fossilen Mixes (schlechtestes Szenario) nicht besonders gut sind. Mit dem Wintermix erreichen sie im Gesamten etwa das Niveau von Ölheizungen – bei etwas niedrigerem Servicefaktor, was den Vergleich zu Gunsten der Stromheizungen verändert – allerdings nicht unbedingt unberechtigt. (Der

Hauptgrund dürfte der hohe Preis von Strom sein.) Es ist vielmehr ein Kapazitätsproblem: Die Belastbarkeit der Stromnetze ist durch die jährliche Steigerung des Verbrauches und die nicht schritthaltenden Ausbaupläne gefährdet. Würden mehr Haushalte mit Strom heizen, so würde dies unweigerlich zu Problemen führen.

- 3.) Gasheizungen sind Ölheizungen vorzuziehen. Sie schneiden in sämtlichen Emissionsaspekten besser ab. Zudem dürften nach derzeitigem Stand die weltweiten Ölressourcen knapper sein als Gasvorkommen.
- 4.) Bei Holzheizungen ergibt sich ein Interessenskonflikt: Die CO₂-Emissionen sind im Vergleich zu allen anderen Heizungsformen vernachlässigbar, bei TOPP-Äquivalenten und Staubemissionen sieht es hingegen nicht so gut aus. Jedoch können hier durch Einsatz von Pelletskesseln schon weit bessere Werte erzielt werden als mit einer alten Stückholzheizung. Aber auch hier sind die Emissionen noch deutlich höher als bei einer Gasheizung.
- 5.) Eine Wärmepumpe ist ressourcentechnisch gesehen nichts anderes als eine sparsame Stromheizung. Aus Punkt 2.) folgt daher unmittelbar, dass sie in Emissionsbelangen gut abschneidet – im Großen und Ganzen etwa wie eine Gas-ZH. Durch die enge Kopplung der Emissionsursachen zwischen ihr und der Stromdirektheizung ergibt sich mit der Verknüpfung mit der höheren Effizienz, dass Wärmepumpen in allen Effizienz- und Emissionsvergleichen stets besser abschneiden. Allerdings ist auch hier das in Punkt 2.) beschriebene Problem der Netzbelastung miteinzukalkulieren, hier allerdings in abgeschwächter Form. Wichtig bei der Beurteilung der Ökobilanz von Wärmepumpen ist einerseits die erzielbare Arbeitszahl und andererseits, wie auch bei der Stromdirektheizung, der zu Grunde gelegte Strommix.
- 6.) Durch die ungünstigen Einstrahlungsverhältnisse während der Heizperiode ist die Solaranlage eigentlich nicht für den Heizungsbedarf prädestiniert. Dennoch wirkt sie sich in den meisten Fällen positiv auf die Emissionen aus. Punktuell kann sie jedoch zu Verschlechterungen führen, so z.B. bei den CO₂-Äquivalenten einer Holzheizung: Diese gehen von einem extrem niedrigen Niveau aus und werden daher durch die Solaranlage etwas erhöht. In Kombination mit allen anderen Heizungsformen hat die Solaranlage jedoch einen positiven Einfluss auf die Treibhausgasbilanz.
- 7.) Fernwärme ist anderen Heizungsformen bei den Emissionen nicht so überlegen, wie es oft in öffentlichen Empfehlungen und Förderrichtlinien zum Ausdruck kommt (siehe dazu z.B. die Empfehlung der Stadt Wien am Anfang von Kapitel 8). Zwar ist es schwierig, die entstehenden Emissionen genau zuzuordnen, jedoch entstammen die verwendeten Daten einer im Auftrag von Fernwärme Wien durchgeführten Untersuchung des UBA [24] und gehen daher (bis auf den Anteil der Abfallverbrennung, siehe Abschnitt 7.6.3) mit der Ansicht des größten österreichischen Fernwärmeproduzenten konform. Der Anteil der CO₂-Emissionen aus dem Verbrennungsprozess beträgt etwa ein Viertel. Allerdings muss gesagt

werden, dass die – grob gesprochen – etwa gleich emissionsarme Gas-Brennwertheizung den Import von Erdgas bedingt, während die Versorgung mit Fernwärme eher der Energieautarkie nahekommt als jede Art der Beheizung mit fossilen Energieträgern.

Folgt man dem Argument von Fernwärme Wien, dass die Emissionen der Abfallverbrennung nicht mitzurechnen sind, so ergibt sich vor allem beim Staub eine deutliche Verbesserung.

8.4 Sensitivitätsanalyse der Emissionswerte auf Variation der Parameter Volllaststunden und Lebensdauer

Der Sinn dieser Untersuchung ist es, den Einfluss zweier wesentlicher Unsicherheitsfaktoren der Emissionsanalyse zu quantifizieren: Die Zahl der Volllaststunden und die Lebensdauer der Heizungsanlage.

Zwar sind diese Unsicherheitsfaktoren auch in den Fehlerbalken in Abschnitt 8.2.2 enthalten, aber dort spielen auch andere Ursachen mit hinein, sodass eine getrennte Analyse sinnvoll erscheint. Die Motivation für diese Untersuchung ist die folgende:

Einerseits ist es schwierig abzuschätzen, wie lange ein Heizungssystem durchschnittlich in Betrieb ist, bevor es ausgetauscht wird. Die einmaligen Aufwendungen bei der Produktion der Komponenten und der Installation teilen sich aber gleichmäßig auf diese Zeit auf. Das bedeutet, dass sich die anfänglichen Aufwendungen und die damit verbundenen einmaligen Emissionen auf die jährlichen Emissionswerte umso weniger auswirken, je länger die der Analyse zu Grunde gelegte Lebensdauer ist. Weiters kann gesagt werden, dass die Abhängigkeit umso stärker ist, je größer diese anfänglichen Emissionen im Vergleich zu jenen sind, die im Betrieb anfallen.

Andererseits sind die einmaligen Emissionen auch davon abhängig, wie die Heizungsanlage dimensioniert wird. Beispiel: Je größer der Kessel ist, desto mehr muss für die Produktion der Metallteile etc. aufgewendet werden und desto höher sind die anfänglichen Emissionen, die dem Heizungssystem zugeordnet werden können. In Abschnitt 7.3.4 wird aufgezeigt, dass meistens sehr großzügig ausgelegt wird: Die Maximalleistung der Komponenten liegt fast immer weit über jenem Wert, welcher der Heizlast des Gebäudes entspricht.

Zusammenfassend kann gesagt werden: Man weiß zum einen nicht genau, wie hoch die Emissionen sind, die durch Produktion und Installation der Heizungskomponenten entstehen, und zum anderen ist nicht eindeutig, auf wie viele Jahre sich dieser unsichere Betrag aufteilt.

Um aufzuzeigen, wie groß der Einfluss dieser Unsicherheitsfaktoren auf den durchgeführten Emissionsvergleich ist, werden die Parameter Volllaststunden und Lebensdauer einer Anlage variiert. Die Ergebnisse dieser Untersuchung finden sich im Folgenden.

Die untersuchten Werte für die Zahl der Volllaststunden sind 1200, 1500 und 2000. Für die Lebensdauer werden 15, 20 und 25 Jahre herangezogen.

Um bei Solaranlagen zumindest die Unsicherheiten bei der Emissionsanalyse zu eliminieren, die auf die Variation der Volllaststunden zurückzuführen sind, wird diese mit 1625 festgesetzt. Diese Zahl ergibt sich aus dem Verhältnis aus der jährlich eingestrahlenen Energiemenge (angenommener Mittelwert: 1138 kWh) und der innerhalb eines Jahres maximal auftretenden solaren Leistung (laut [1] maximal 700 W/m² in Mitteleuropa).

Es mag verwundern, dass der Standardwert für die Lebensdauer von 15 Jahren (ausgenommen Holz- und Kohleeinzelöfen, bei denen wegen der geringeren Komplexität mit 20 Jahren zu rechnen ist; hier kann aber auch ein Vielfaches erreicht werden) am Rand und nicht in der Mitte des Variationsbereiches liegt. Das Hauptargument ist, dass die Abweichungen nach oben deutlich häufiger und natürlich betragsmäßig auch höher sind als nach unten (Ein Heizungssystem kann 15 + 20 = 35 Jahre lang halten, aber wohl nicht 15 – 20 = –5 Jahre.) Zweitens lehrt die Erfahrung, dass viele Systeme viel länger als 15 Jahre in Betrieb sind. Dies hängt damit zusammen, dass es oft kostengünstiger scheint, Komponenten zu ersetzen, solange dieser Tausch unter den Kosten für eine neue Anlage liegt. (Dabei wird allerdings übersehen, dass ein neueres System Energie und damit auch Geld spart.)

Bei kombinierten Prozessen (z.B. Systeme mit Solarunterstützung) wird jede Komponente einzeln untersucht.

Es gilt generell für alle Heizungstypen und sämtliche unten dargestellte Emissionsarten, dass die jährlichen Emissionen sinken, je höher die Zahl der Volllaststunden sowie die Lebensdauer gewählt werden. Ersteres kann dadurch begründet werden, dass dies mit einer geringeren Dimensionierung der Anlage einhergeht und daher die Produktionsaufwendungen (Beton, Zement, Stahl etc.) geringer ausfallen. Die höhere Lebensdauer bewirkt, dass sich diese anfänglichen Emissionen auf mehrere Jahre aufteilen und daher im einzelnen Jahr immer weniger ins Gewicht fallen.

Generell kann jedoch gesagt werden, dass qualitative Aussagen unabhängig von den gewählten Werten für die beiden Parameter getroffen werden können. Abweichungen von mehr als 10 % zwischen den beiden untersuchten Extremfällen kommen abgesehen von den Staubemissionen selten vor. Manchmal sind die Unterschiede sogar extrem gering. In untenstehender Tabelle ist der prozentuelle Unterschied zwischen bestem und schlechtestem Wert angegeben, d.h. die Zahl gibt an, um wie viele Prozent die Emissionen für 1200 Volllaststunden und 15 Jahre Lebensdauer höher sind als für 2000 Volllaststunden und 25 Jahre Lebensdauer. Eine niedrige Abweichung bedeutet, dass der Großteil der Emissionen während des Heizbetriebs anfällt, im umgekehrten Fall ist der Einfluss von Produktion, Installation und Abbau dominierend.

Bei der Solaranlage wird nur eine Variation der Differenz zwischen einer Lebensdauer von 15 und von 30 Jahren analysiert. Anderenfalls wären die Werte noch höher.

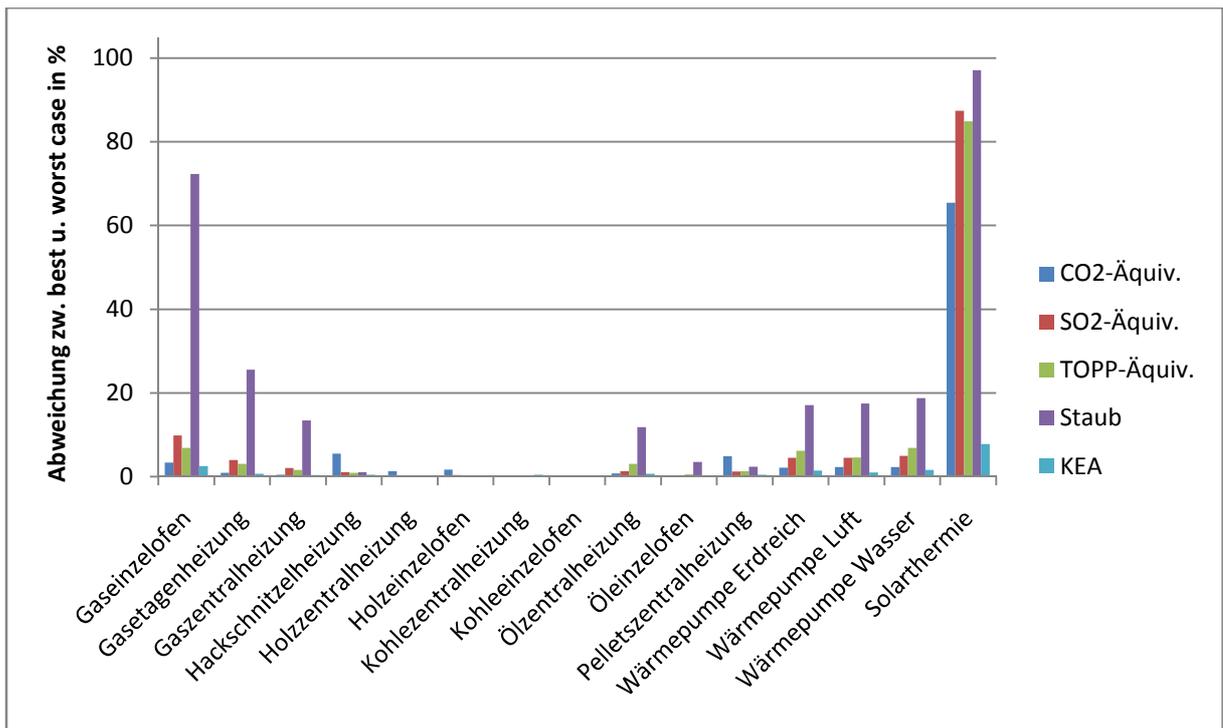


Abb. 8.22: Prozentueller Unterschied zwischen günstigstem und ungünstigstem Szenario für verschiedene Heizungssysteme, angegeben in („worst case“ – „best case“)/„best case“ · 100

Ein hoher Wert bedeutet also, dass eine Emissionsanalyse sehr sensitiv auf Änderungen bei der Zahl der Volllaststunden und der Lebensdauer reagiert. Damit bekommt die Emissionsanalyse neben den Servicefaktoren und Jahresnutzungsgraden in manchen Fällen noch einen ähnlich großen Unsicherheitsfaktor dazu. Je höher ein Balken ist, desto geringer ist der Anteil der Emissionen, die während des Betriebs anfallen und desto mehr macht die Produktion und die Installation der Komponenten aus. Die exakte Höhe der Balken ist aufgrund der eher willkürlichen Wahl der best- und worst-case-Parameter weniger entscheidend. Primär von Interesse sind hier die Größenordnung und die Verhältnisse.

Wie man in Abb. 8.22 sieht, sind die Werte bei solarthermischen Anlagen besonders unterschiedlich. Das bedeutet, dass Aussagen über die Sinnhaftigkeit von Solaranlagen zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung sehr stark von der zugrunde gelegten Lebensdauer abhängen (Der Effekt der Volllaststunden wurde ja bereits eliminiert.)

Grundsätzlich sind sämtliche Emissionen der Solaranlage zurückzuführen auf

- 1.) den Hilfsstromverbrauch der Pumpe (Anteil ca. $\frac{1}{8}$ bei den Treibhausgasen) und
- 2.) die stofflichen Aufwendungen zur Herstellung der Komponenten.

Letztere sind in GEMIS folgendermaßen angesetzt:

Tab. 8.2: Von GEMIS angesetzter Materialbedarf für die Herstellung solarthermischer Kollektoren. HDPE steht für High Density Polyethylen.

Material	Bedarf in kg/kW_p
Aluminium	45
Kupfer	61
Stahl	20
Glas-flach	50
HDPE-Granulat	50

Dazu ist zu sagen, dass diese Produkte mit den deutschen Emissionswerten gerechnet wurden, da GEMIS Österreich 4.3 keine passenden Prozesse bereitstellt.

Warum die Staubemissionen von Gasöfen derart stark variieren, konnte nicht herausgefunden werden. Offensichtlich sind die Staubemissionen bei der Herstellung eines Gasofens sehr hoch.

Ausgenommen für Solarkollektoren kann also gesagt werden:

- 1.) Der kumulierte Energieaufwand ist ziemlich unabhängig von der Wahl der Volllaststunden und der Lebensdauer.
- 2.) Außer bei den Festbrennstoffen sind die Staubemissionen relativ sensitiv auf die beiden Parameter.
- 3.) Je komplizierter (moderner) das Heizungssystem ist, desto größer wird die Abhängigkeit, da die Installationen stärker ins Gewicht fallen.
- 4.) Die Unterschiede steigen auch, je größer die von einer Einheit beheizte Fläche ist, d.h. für Zentralheizungssysteme ist die Abhängigkeit im Allgemeinen höher.

Da alle Diagramme sehr ähnlich aussehen, unabhängig von Heizungssystem und Emissionstyp, ist untenstehend als Beispiel die Abhängigkeit der CO₂-Äquivalente einer Ölzentralheizung abgebildet. Lediglich die Schrittgröße der Ordinatenbeschriftung variiert zwischen den einzelnen Heizungssystemen und Emissionsarten.

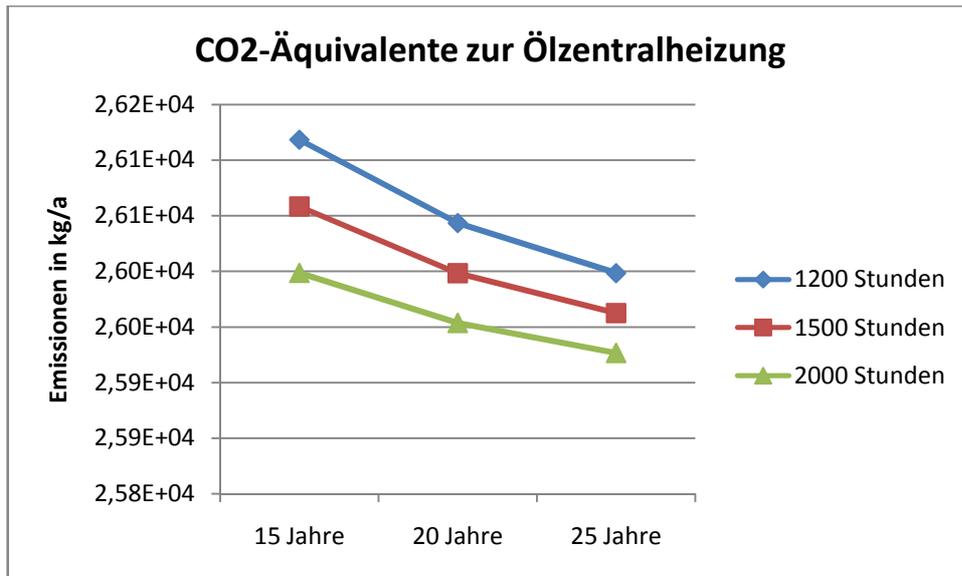


Abb. 8.23: Beispiel für die Abhängigkeit der jährlichen Emissionen von der Zahl der Volllaststunden und der Lebensdauer

Die Diagramme sehen im Übrigen auch analog aus, wenn man auf der Abszisse die Volllaststunden aufträgt und die drei Kurven jeweils Punkte gleicher Lebensdauer verbindet. Bei konstanter Lebensdauer und variablen Volllaststunden V ergibt sich für alle Emissionen in etwa ein $1/V$ -Verhalten. Eine weitere Anhebung der Stundenanzahl hat einen immer geringeren Effekt zur Folge. Dasselbe Verhalten zeigt sich übrigens für die Lebensdauer.

9 Berechnung der österreichischen Emissionen aus Raumwärme- und Warmwassererzeugung sowie Analyse von Reduktionspotentialen

Im letzten Kapitel wurden die einzelnen Heizungssysteme hinsichtlich ihres Treibhausgas- und Schadstoffausstoßes und des kumulierten Energieaufwandes untersucht. Nun werden die Ergebnisse der einzelnen Gebäude quasi zusammengerechnet, womit sich Emissionswerte für ganz Österreich ergeben.

In der Emissionsanalyse haben sich einige klare Tendenzen gezeigt: Systeme wie Wärmepumpen, Pellets- und Hackgutkessel (besonders aufgrund des niedrigen Treibhausgasausstoßes), Anlagen mit Solarunterstützung, Fernwärme und Gas-Brennwertheizungen sind Ölheizungen, Kohleheizungen und Einzelöfen generell vorzuziehen (v.a. wegen der Schadstoffemissionen; dies ist aber auch eine Anforderung, die sich aus gestiegenem Komfortbedürfnis ergibt). Daher sollen in diesem Kapitel Szenarien geschaffen werden, die dieser Veränderung Rechnung tragen, und die Folgen auf die Emissionen ergründet werden. Die verbesserte Gebäudedämmung ist ebenso wünschenswert, weshalb diese Möglichkeit ebenfalls einbezogen wird.

9.1 Abschätzung der gesamtösterreichischen Emissionen aus dem privaten Heizungs- und Warmwasserbedarf

Mit Hilfe der Daten von Statistik Austria über die Anzahl der Haushalte in den einzelnen Gebäudetypen, der Erhebungen über die Verteilung der Heizungssysteme in denselben inkl. einiger eigener Annahmen, Analysen bzw. Schätzungen zu den Jahresnutzungsgraden und Servicefaktoren der einzelnen Emissionsfälle sowie der Berechnungen in GEMIS ist es möglich, die gesamtösterreichischen Emissionen aus Raumheizung und Warmwasserbedarf zumindest näherungsweise zu errechnen. Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt. Für die CO₂-Äquivalente gibt es auch offizielle Zahlen, die im Rahmen der Verpflichtungen Österreichs hinsichtlich des Kyoto-Klimaschutzabkommens erhoben und veröffentlicht werden. Die zu Grunde gelegte angenommene momentane Verteilung der Heizungssysteme ist in Tab. 9.1 dargestellt.

Tab. 9.1: Derzeitige Verteilung der Heizungssysteme im österreichischen Gebäudebestand inkl. eigener Annahmen. ZH...Zentralheizung, EO...Einzelofen.

Heizungssystem	Momentaner Anteil der Heizungssysteme in % nach Gebäudegruppe																
	A1-4	A5	A6	A7	B1-4	B5	B6	B7	C1	C2-4	C5	C6	C7	D1-4	D5	D6	D7
Gas-EO	4	3	2	1	4	3	2	1	17	12	2	3	4	14	2	3	4
Gas-ETH alt	0	0	0	0	0	0	0	0	28	12	3	6	4	17	3	6	4
Gas-ETH neu	0	0	0	0	0	0	0	0	11	8	3	5	0	10	3	5	0
Gas-ZH alt	15	10	13	23	15	10	13	23	2	3	7	8	18	3	7	8	18
Gas-ZH neu	5	2	4	0	5	2	4	0	3	1	4	3	0	1	4	3	0
Öl-EO	3	0	2	1	3	0	2	1	6	6	2	1	1	5	2	1	1
Öl-ZH alt	25	42	37	42	25	42	37	42	3	7	21	15	17	6	21	15	17
Öl-ZH neu	5	5	3	0	5	5	3	0	0	1	4	3	0	1	4	3	0
Kohle-EO	2	2	1	1	2	2	1	1	6	6	2	2	1	6	2	2	1
Kohle-ZH	2	3	1	0	2	3	1	0	4	2	0	0	0	1	0	0	0
Holz-EO	11	2	3	2	11	2	3	2	4	3	2	2	2	4	2	2	2
Holz-ZH	21	23	22	14	21	23	22	14	1	0	0	0	0	1	0	0	0
Fernwärme	2	3	7	8	2	3	7	8	3	27	40	37	47	19	40	37	47
Strom	5	5	5	5	5	5	5	5	12	12	9	13	3	12	9	13	3
Gas-Brennwert	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0
WP Erde	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
WP Luft	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
WP Wasser	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hackschnitzelheizung	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1
Pelletsessel	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	2	0	0	1	2

Tab. 9.2: Jährliche Gesamtemissionen Österreichs im Raumwärme- und Warmwassersektor und Vergleich mit Literaturwerten

Emissionsart	Menge in t/a bzw. GWh/a	Literaturwert
CO ₂	16,06 Mio.	15 Mio. ^[44]
CO ₂ -Äquivalente	17,27 Mio.	16 Mio. ^[11]
TOPP-Äquivalente	67.351	130.000 ^[44]
SO ₂ -Äquivalente	34.580	35.170 ^[44]
Staub	10.027	10.700 ^[44]
Kumulierter Energieaufwand	85.527	
KEA – nicht erneuerbar	66.088	

Die Gebäude nach 2000 wurden pauschal mit einer um 20 % verbesserten Wärmedämmung gegenüber den 90er-Jahren berücksichtigt.

Die Literaturwerte sind jedoch nur bedingt mit den hier ermittelten Werten zu vergleichen. Dort werden nämlich nur die direkten Emissionen der Kleinverbraucher separat ausgewiesen, also jene, die vor Ort entstehen. Es gibt also Faktoren, welche erklären, warum

die hier errechneten Zahlen höher sind als die in der Literatur genannten. Die Grundlagen für die Referenzdaten sind [33] entnommen.

Würde man für die Staubemissionen von Holzöfen den GEMIS-Wert verwenden, so käme man auf 7649 t/a. Dies zeigt, dass der dort verwendete Holzofen nicht dem österreichischen Durchschnittsmodell entspricht, sondern ein etwas moderneres Fabrikat darstellt.

Erstens werden in der hier durchgeführten Emissionsanalyse auch die Emissionen aus Produktion der Anlagenteile und Installation miteinbezogen. Diese finden sich in den Daten des Umweltbundesamtes allerdings in der Rubrik „Industrie“. Weiters werden die Emissionen des Bedarfs an elektrischem Strom dort nicht mitgezählt, sondern extra berechnet. Diese betragen 3 %. Dies umfasst aber ebenfalls nur die direkten Emissionen. Die Ausstöße an Treibhausgasen und Schadstoffen, die mit dem Bau der Anlage einhergehen, sind ebenfalls im Anteil der Industrie enthalten.

Ebenso existieren Faktoren, die dazu beitragen, dass die hier errechnete Zahl gegenüber den beim Umweltbundesamt ermittelten direkten Emissionen der sog. Kleinverbraucher niedriger ist: Es gehen nämlich nicht die gesamten Emissionen der Haushalte auf Raumheizung und Warmwasser zurück, sondern es wird auch Energie für andere Tätigkeiten benötigt, z.B. Gas zum Kochen. Der Haushaltsstrombedarf ist hier allerdings nicht dabei, dieser ist ja auch bei der Produktion elektrischer Energie enthalten.

Lediglich der Wert für die TOPP-Äquivalente weicht stark vom ermittelten Ergebnis ab. Es zeigt sich generell, dass die Berechnung von Emissionen von Luftschadstoffen nicht so einfach ist wie jene von Treibhausgasen oder des KEA. Vor allem bei den Feststoffheizungen (Hauptverursacher dieser Emissionen im betrachteten Sektor) kommt es stark auf die Güte des Brennmaterials (meist Holz), aber auch auf den Zustand des Ofens an. Somit ist die Ursache für diese Diskrepanz darin zu suchen, dass die Emissionswerte der in GEMIS befindlichen Prozesse nicht der durchschnittlichen österreichischen Feststoffheizung entsprechen, sondern dort etwas zu optimistisch vorgegangen wurde, bzw. ein neueres Modell zu Grunde gelegt wurde.

Wie bereits in Abschnitt 7.6.7 behandelt, sind die TOPP-Emissionen von Holzöfen vermutlich etwas zu optimistisch gewählt. Dies liegt an der starken Abhängigkeit der Emissionen vom Baujahr. Nimmt man an, dass die Diskrepanz der Werte einzig und allein an dieser einen Fehlkalkulation liegt, so kann man realistische (richtige) Werte für den Ausstoß an TOPP-Äquivalenten errechnen, indem man versucht, die beiden Zahlen anzugleichen. Die in GEMIS ermittelten Werte sind ebenso wie die auf diese Weise ermittelten in Tab. 9.3 angeführt.

Tab. 9.3: Vergleich der GEMIS-Daten für TOPP-Äquivalente für Holzheizungen mit der Kalkulation des UBA unter der Annahme, dass die Emissionswerte der restlichen Heizungssysteme korrekt sind.

	Emissionen in g/kWh für Holzöfen		
	GEMIS	Kalkulation des UBA	Kohleofen
TOPP-Äquivalente	1,888	15	3,13

Die enorme Höhe der Abweichungen lässt auch unter dem Vergleich mit den Werten von Kohlekesseln den Schluss zu, dass es sich hier nicht allein um ein Bewertungsproblem der Holzöfen handelt. Auch die Kohleheizungen dürften unterbewertet sein. Bei den übrigen Heizungstypen müsste es sich um Differenzen handeln, die sich über Größenordnungen erstrecken, da die betreffenden Emissionen dort vergleichsweise gering sind. Dies ist nicht anzunehmen.

9.2 Abschätzung der möglichen Emissionseinsparungen durch Umstieg auf modernere Heizungssysteme

Hier sollen zwei Szenarien vorgestellt werden, die als mögliche Varianten für ein politisches Ziel angesehen werden können.

Zunächst soll jedoch aufgezeigt werden, wie hoch die von Kohleheizungen verursachten Emissionen sind: Rechnet man die Emissionen von Kohle-ZH und Kohle-EO heraus, so ergeben sich die in Tab. 9.4 angeführten gesamtösterreichischen Emissionswerte. Wohlgemerkt: Laut Annahme werden nur mehr 1,72 % der Haushalte mit Kohle beheizt.

Tab. 9.4: Anteil der Kohleheizungen an den österreichischen Gesamtemissionen aus Raumheizung und Warmwasser

Emissionsart	Menge in t/a bzw. GWh/a		Anteil Kohle in %
	mit Kohle	ohne Kohle	
CO ₂	16,06 Mio.	14,87 Mio.	7,4
CO ₂ -Äquivalente	17,27 Mio.	15,81 Mio.	8,4
TOPP-Äquivalente	67.351	58.312	13,4
SO ₂ -Äquivalente	34.580	27.164	21,4
Staub	10.027	7.141	28,8
Kumulierter Energieaufwand	85.527	81.491	4,7
KEA – nicht erneuerbar	66.088	62.391	5,6

Es wäre also, vor allem hinsichtlich der Emissionen von Staub, SO₂- und TOPP-Äquivalenten, ein sehr lohnendes Ziel, Kohleheizungen gänzlich zu verbieten. Bei den TOPP-Äquivalenten muss jedoch auf die vermutlich zu niedrigen Werte von Holzöfen hingewiesen werden (siehe vorigen Abschnitt). Dieses Problem könnte aber gleichermaßen auch auf Kohleöfen zutreffen, sodass das Verhältnis ähnlich bleiben könnte. Dies ist aber spekulativ. Die übrigen Werte scheinen relativ genau zu stimmen.

9.2.1 OPT-Szenario

Gegenüber der momentanen Variante zeichnet sich die erste gewählte Ziellösung „OPT“ aus durch

- 1.) höhere Werte für Gas-Brennwert- (absoluter Anteil ca. 10 %), Pellets- (5 – 7 %) und Hackschnitzelheizungen (4 – 5 %) sowie Fernwärme (v.a. bei alten MFH, wo Fernwärme sehr wenig verbreitet ist),
- 2.) etwa gleich bleibende Anteile für konventionelle Gaskessel, allerdings mit Verbesserungen beim Wirkungsgrad
- 3.) und verminderte Anteile an Öl-Zentralheizungen (relativ ambitionierte Verringerung von ca. 40 auf 13 % bei EFH und 2-FH bzw. 20 auf 7 % bei MFH nach 1970; in den Gebäuden vor 1970 existieren nicht so viele Öl-ZH) und sämtliche Arten von Einzelöfen, praktisch vollständige Verdrängung von Kohleheizungen (momentaner Anteil bis zu 10 %, insgesamt knapp 2 %).

Tab. 9.5: Grundlage für die Berechnung der möglichen Emissionseinsparungen durch Heizungstausch im Szenario OPT. ZH...Zentralheizung, EO...Einzelofen, Sol.kl....kleine Solaranlage zur Warmwasserunterstützung, Sol.gr....große Solaranlage auch zur Heizungsunterstützung

Heizungssystem	Anteil pro Gebäudegruppe in % im Referenzszenario																
	A1-4	A5	A6	A7	B1-4	B5	B6	B7	C1	C2-4	C5	C6	C7	D1-4	D5	D6	D7
Gas-EO	1	1	1	1	1	1	1	1	4	4	0	0	0	4	0	0	0
Gas-ETH alt	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	1	2	4	5	0	1	4
Gas-ETH neu	0	0	0	0	0	0	0	0	18	9	3	5	0	20	8	9	0
Gas-ZH alt	1	1	1	16	1	1	1	16	1	1	2	3	11	0	1	2	11
Gas-ZH neu	15	15	15	0	15	15	15	0	4	5	4	3	0	5	6	8	0
Öl-EO	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0
Öl-ZH alt	5	5	5	13	5	5	5	13	1	1	8	7	6	1	5	2	3
Öl-ZH neu	8	8	8	0	8	8	8	0	1	1	3	1	0	0	1	0	0
Kohle-EO	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
Kohle-ZH	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Holz-EO	5	5	5	5	5	5	5	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Holz-ZH	5	5	5	5	5	5	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fernwärme	12	12	12	12	12	12	12	12	30	37	45	45	48	29	46	44	49
Strom	1	1	1	1	1	1	1	1	2	4	3	3	0	4	2	3	0
Gas-Brennwert	11	11	11	11	11	11	11	11	9	9	9	9	9	9	9	9	11
WP Erde	5	5	5	5	5	5	5	5	2	2	2	2	2	2	2	2	2
WP Luft	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
WP Wasser	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Hackschnitzelheizung	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Pelletsessel	7	7	7	7	7	7	7	7	5	5	5	5	5	5	5	5	5

Gas-Brw. Sol.kl.	4	4	4	4	4	4	4	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1
WP Erde Sol.kl.	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
WP Luft Sol.kl.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
WP Wasser Sol.kl.	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HS-Hzg. Sol.kl.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Pellets Sol.kl.	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Gas-Brw. Sol.gr.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
WP Erde Sol.gr.	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
WP Luft Sol.gr.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
WP Wasser Sol.gr.	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HS-Hzg. Sol.gr.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Pellets Sol.gr.	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Die wesentlichen Änderungen sind in den folgenden vier Abbildungen veranschaulicht.

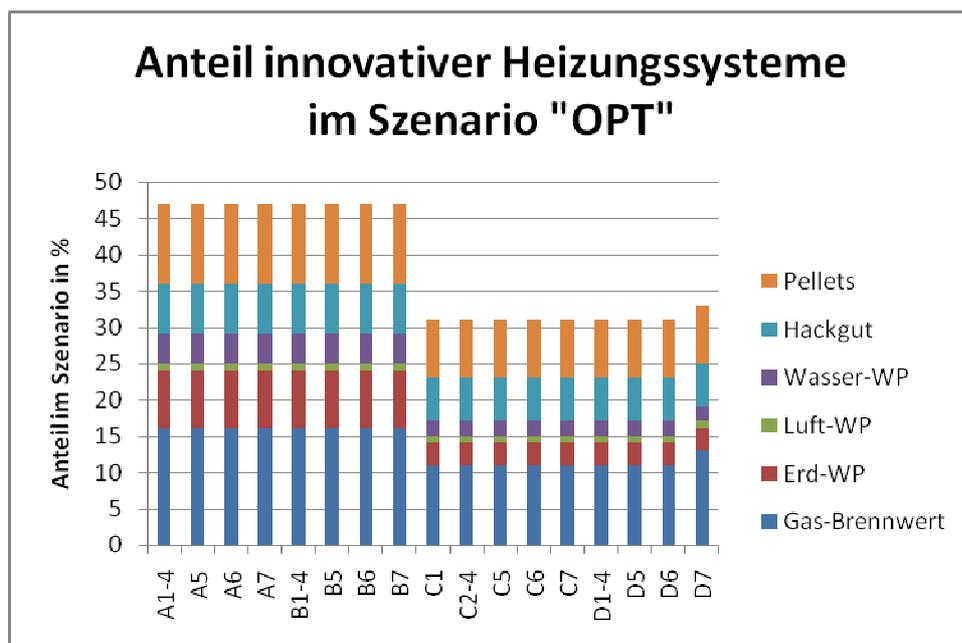


Abb. 9.1: Anteil von Gas-Brennwertkesseln, Wärmepumpen und modernen Holzheizungen (tlw. mit Solarunterstützung) im ambitionierten Szenario OPT, aufgeschlüsselt nach Gebäudetyp – momentan bewegt sich der Anteil im Prozentbereich; A,B,C,D stehen für die Gebäudegröße, 1...7 für die Bauperiode (Details siehe Anfang von Kapitel 5)

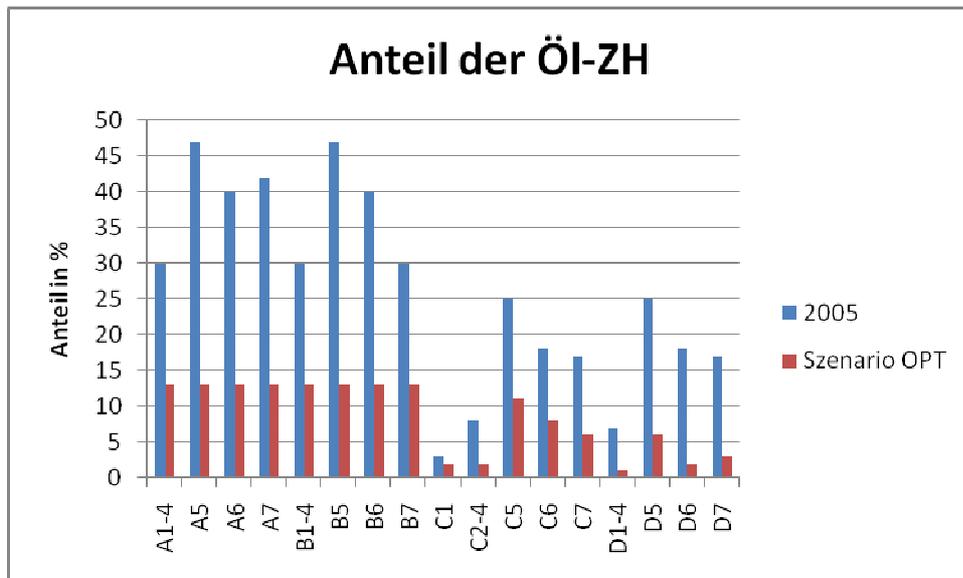


Abb. 9.2: Anteil von Öl-Zentralheizungen 2005 und im Szenario OPT, aufgeschlüsselt nach Gebäudetyp; A,B,C,D steht für die Gebäudegröße, 1...7 für die Bauperiode (Details siehe Anfang von Kapitel 5)

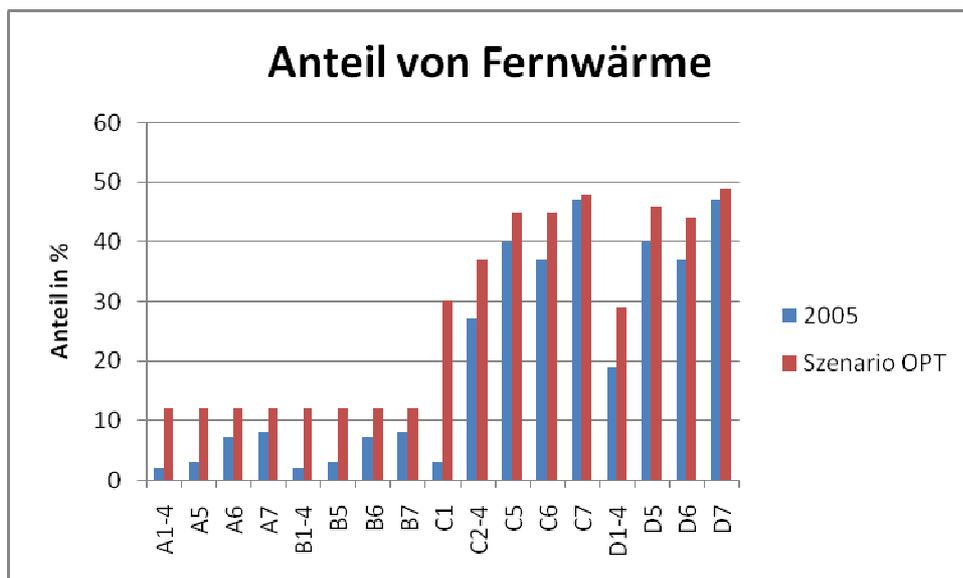


Abb. 9.3: Anteil von Fernwärme 2005 und im Szenario OPT, aufgeschlüsselt nach Gebäudetyp; A,B,C,D steht für die Gebäudegröße, 1...7 für die Bauperiode (Details siehe Anfang von Kapitel 5)

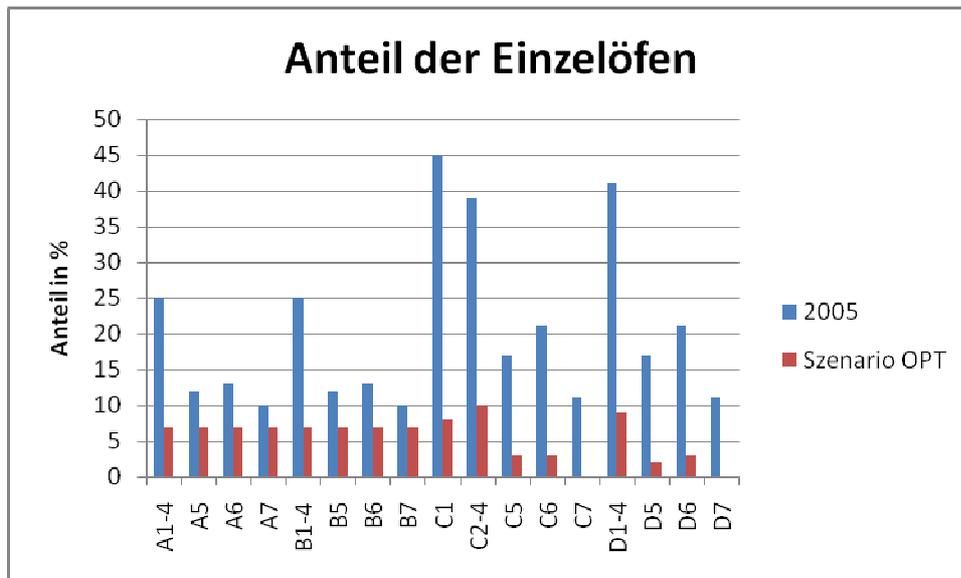


Abb. 9.4: Anteil von Gas-, Öl-, Kohle- und Holzeinzelöfen 2005 und im ambitionierten Szenario OPT, aufgeschlüsselt nach Gebäudetyp; A,B,C,D steht für die Gebäudegröße, 1...7 für die Bauperiode (Details siehe Anfang von Kapitel 5)

Vor allem aus den zu Grunde gelegten Anteilen an sog. neuartigen Systemen (wobei dies nicht heißt, dass die restlichen Heizungssysteme in jedem Fall schlechter sind – lediglich der Verbreitungsgrad ist hier noch sehr gering) sieht man, dass hier größere Anstrengungen zu treffen wären. Der Austausch müsste hier 40 % aller Haushalte erreichen. Zusätzlich müssten aber noch viele Fernwärmeanschlüsse geschaffen werden. Beides würde vor allem zu Lasten des Anteils an Öl-ZH und Einzelöfen gehen. Für über 50 % der Haushalte käme es so zu einer Veränderung des Heizungssystems. Ohne große Fördermaßnahmen wird dies kaum möglich sein. Zudem wird der enorme Anteil an betroffenen Haushalten eine sehr lange Zeit zur Realisierung benötigen. 20 Jahre scheinen ein plausibler Zeithorizont zu sein, sofern von der Politik geeignete Maßnahmen ergriffen werden.

Die Betrachtungen wurden ohne Durchführung thermischer Sanierungsmaßnahmen angestellt. Zieht man diese Möglichkeit zusätzlich in Betracht, so wird der Effekt natürlich größer (siehe Abschnitt 9.3).

Die Einsparungsmöglichkeiten sind beachtlich hoch (siehe Tab. 9.6). Bei den Treibhausgasen ist also nur durch Erneuerung der Heizungssysteme eine Verminderung um etwa ein Drittel realistisch, bei den anderen drei Schadstoffgruppen sogar um rund die Hälfte. Inwieweit dieses Szenario erreichbar ist, hängt aber vor allem vom politischen Willen ab. Förderprogramme sind hier unumgänglich, schließlich ist der Hauptentscheidungsfaktor für den Konsumenten fast nie der Umweltgedanke, wenngleich dieser eine immer größere Rolle spielt, sondern die anfallenden Kosten.

Vor allem die angenommene Reduktion der Öl-ZH dürfte schwierig umzusetzen sein bzw. wird dies lange Zeit dauern.

Tab. 9.6: Mögliche Emissionseinsparungen in % durch Heizungserneuerung im OPT-Szenario nach Tab. 9.5.

Emissionsart	Einsparungspotential in %
CO ₂	31,6
CO ₂ -Äquivalente	31,1
TOPP-Äquivalente	49,8
SO ₂ -Äquivalente	43,0
Staub	56,5
Kumulierter Energieaufwand	20,1
KEA – nicht erneuerbar	26,3

Die Einsparpotentiale sämtlicher ausgewählter Szenarien sind am Ende des Kapitels grafisch dargestellt.

9.2.2 BAU-Szenario

Das BAU-Szenario ist vor allem hinsichtlich der Reduktion der Ölheizungen nicht so radikal wie das erste. Man könnte es daher als realistischer oder zumindest leichter und in kürzerer Zeit erreichbar bezeichnen. Die angenommene Aufteilung ist in Tab. 9.7 aufgelistet.

Die wesentlichen Annahmen lauten:

- 1.) Alte Öl-ZH können um ein Drittel reduziert werden, neue Öl-ZH verzeichnen einen leichten Anstieg.
- 2.) Für Fernwärmeanschlüsse in EFH und 2-FH wird eine Zunahme um 50 %, in MFH meist um 5 Prozentpunkte angenommen, bei bereits hohen Anteilen etwas weniger.
- 3.) Für die neuartigen Systeme werden geringfügig niedrigere Verbreitungsgrade postuliert als im ersten Szenario in Abschnitt 9.2.1.
- 4.) Die Abnahme von Einzelöfenanteilen ist etwas weniger drastisch angesetzt als im Szenario „OPT“.

Tab. 9.7: Grundlage für die Berechnung der möglichen Emissionseinsparungen durch Heizungstausch im BAU-Szenario, aber ohne thermische Sanierung. ZH...Zentralheizung, EO...Einzelofen, Sol.kl....kleine Solaranlage zur Warmwasserunterstützung, Sol.gr....große Solaranlage auch zur Heizungsunterstützung

polit. Ziel	A1-4	A5	A6	A7	B1-4	B5	B6	B7	C1	C2-4	C5	C6	C7	D1-4	D5	D6	D7
Gas-EO	2	1	0	0	2	1	1	0	6	5	0	0	1	6	0	0	0
Gas-ETH alt	0	0	0	0	0	0	0	0	17	5	1	2	4	6	1	2	4
Gas-ETH neu	0	0	0	0	0	0	0	0	22	13	3	7	0	21	4	7	0
Gas-ZH alt	8	5	5	23	8	7	7	22	1	1	2	3	10	0	2	3	11
Gas-ZH neu	10	7	11	0	15	9	11	0	4	5	4	4	0	5	4	6	0
Öl-EO	1	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	3	0	0	0
Öl-ZH alt	17	28	25	28	17	28	25	28	2	5	14	10	11	4	14	10	11
Öl-ZH neu	6	6	4	0	6	6	4	0	0	1	5	4	0	1	5	4	0
Kohle-EO	1	1	1	0	1	0	0	0	2	2	0	0	0	2	0	0	0
Kohle-ZH	1	2	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0
Holz-EO	8	2	2	2	5	2	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
Holz-ZH	14	14	12	8	13	12	12	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fernwärme	3	5	11	7	3	5	11	12	18	32	45	42	50	24	44	40	49
Strom	3	3	3	3	4	3	2	3	2	4	2	3	0	4	2	3	0
Gas-Brennwert	6	6	6	7	6	6	6	7	4	5	5	6	6	4	5	6	6
WP Erde	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
WP Luft	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
WP Wasser	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Hackschnitzelhzg.	3	3	3	4	3	3	3	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Pelletsessel	4	4	4	5	4	4	4	5	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Gas-Brw. Sol.kl.	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
WP Erde Sol.kl.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
WP Luft Sol.kl.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
WP Wasser Sol.kl.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HS-Hzg. Sol.kl.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Pellets Sol.kl.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Gas-Brw. Sol.gr.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
WP Erde Sol.gr.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
WP Luft Sol.gr.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
WP Wasser Sol.gr.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HS-Hzg. Sol.gr.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Pellets Sol.gr.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Die wesentlichen Veränderungen werden wieder anhand von Grafiken deutlich gemacht.

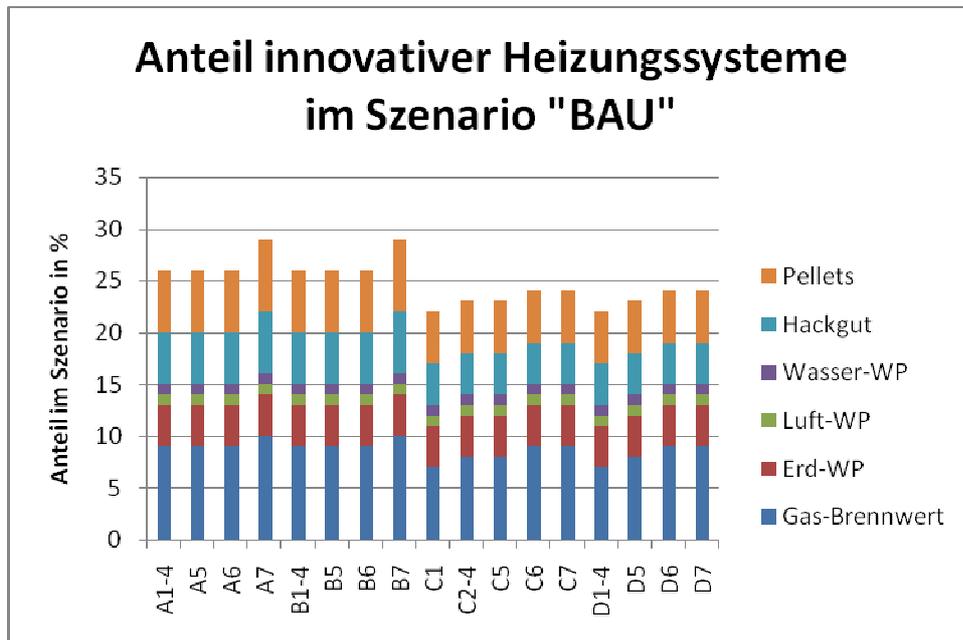


Abb. 9.5: Anteil von Gas-Brennwertkesseln, Wärmepumpen und modernen Holzheizungen (tlw. mit Solarunterstützung) im realistischeren Szenario, aufgeschlüsselt nach Gebäudetyp – momentan bewegt sich der Anteil im Prozentbereich; A,B,C,D stehen für die Gebäudegröße, 1...7 für die Bauperiode (Details siehe Anfang von Kapitel 5)

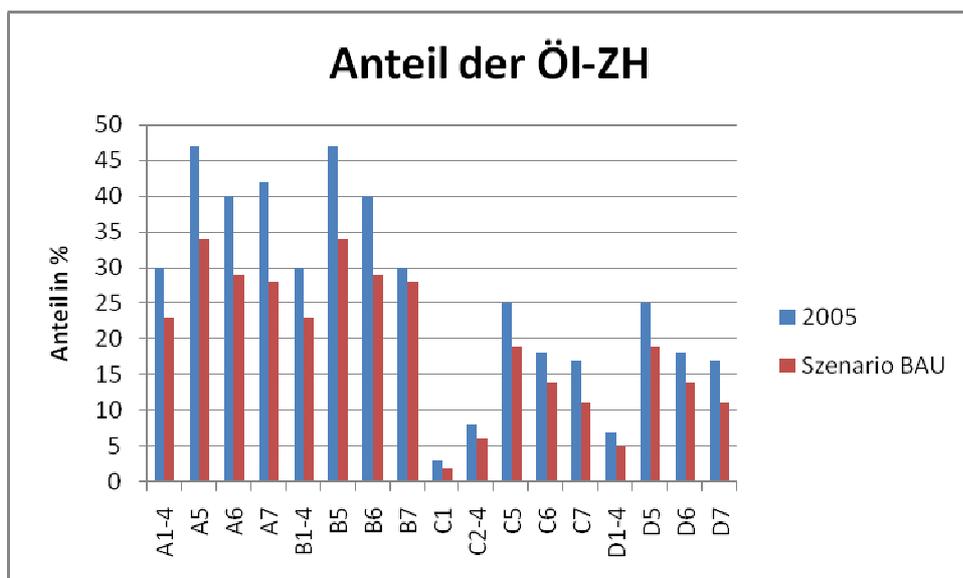


Abb. 9.6: Anteil von Öl-Zentralheizungen momentan und im realistischeren Szenario, aufgeschlüsselt nach Gebäudetyp; A,B,C,D steht für die Gebäudegröße, 1...7 für die Bauperiode (Details siehe Anfang von Kapitel 5)

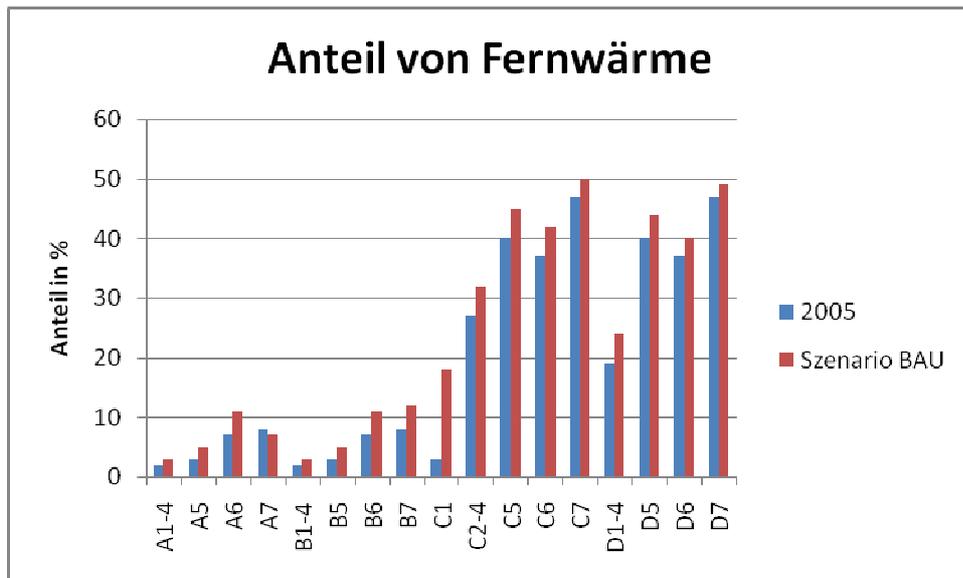


Abb. 9.7: Anteil von Fernwärme momentan und im realistischeren Szenario, aufgeschlüsselt nach Gebäudetyp; A,B,C,D steht für die Gebäudegröße, 1...7 für die Bauperiode (Details siehe Anfang von Kapitel 5)

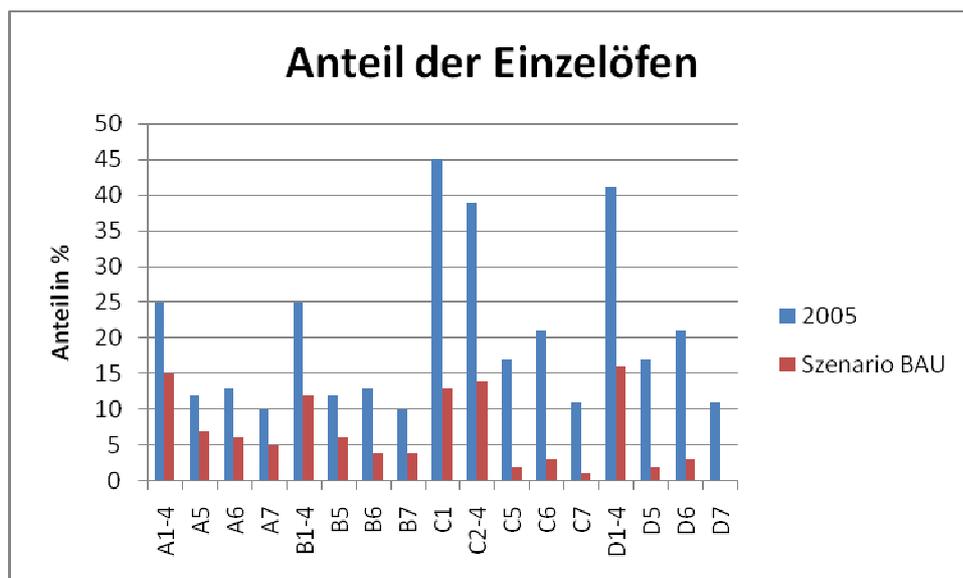


Abb. 9.8: Anteil von Gas-, Öl-, Kohle- und Holzöfen momentan und im realistischeren Szenario, aufgeschlüsselt nach Gebäudetyp; A,B,C,D steht für die Gebäudegröße, 1...7 für die Bauperiode (Details siehe Anfang von Kapitel 5)

Wieder besteht hier die Annahme, dass Öl-Zentralheizungen und Einzelöfen vor allem Gas-Brennwertkesseln, Pellets- und Hackgutheizungen sowie Wärmepumpen und Fernwärme Platz machen. Nun sind aber nur etwa 25 bis 30 % der Haushalte von Änderungen betroffen. Jedoch wird auch dies nicht in einigen Jahren zu realisieren sein.

Erwartungsgemäß fallen die Reduktionspotentiale nun niedriger aus. Dennoch bleiben recht hohe Prozentzahlen übrig.

Tab. 9.8: Mögliche Emissionseinsparungen in % durch Heizungserneuerung im zweiten Wunschscenario nach Tab. 9.7

Emissionsart	Einsparungspotential in %
CO ₂	17,3
CO ₂ -Äquivalente	17,4
TOPP-Äquivalente	28,1
SO ₂ -Äquivalente	23,6
Staub	33,2
Kumulierter Energieaufwand	10,7
KEA – nicht erneuerbar	14,4

Die Einsparpotentiale sämtlicher ausgewählter Szenarien sind am Ende des Kapitels grafisch dargestellt.

Hier bleibt Raum für weitere Untersuchungen: Man wird sich detaillierter mit einer Machbarkeitsstudie auseinandersetzen müssen, um zu ergründen,

- 1.) wie eine realistische Verteilung aussehen könnte, die politisch gewünscht und ökologisch sinnvoll ist,
- 2.) in welchem Zeitraum diese durchführbar ist und
- 3.) welche Begleitmaßnahmen dazu nötig wären (Förderungen zum Austausch veralteter Systeme, steuerliche Anreize, d.h. stärkere bzw. niedrigere Besteuerung einzelner Energieträger bzw. -formen, sowie weiters Energieberatung durch Experten sowohl bei Neubau als auch bei Sanierung von Gebäuden).

Ohne Beachtung des dritten Punktes wird man keine aussagekräftigen Resultate erhalten. Schließlich bleibt der entscheidende Faktor der finanzielle Anreiz.

Weiters (siehe Abschnitt 9.3) muss analysiert werden, wie hoch das Einsparungspotential durch Verbesserungen an der Gebäudehülle (Fensterabdichtung bzw. -tausch, Dämmung der obersten Geschoßdecke und der Außenwände etc.) sein könnte. Eine kombinierte Betrachtung bringt natürlich die besten Resultate.

Für beide Betrachtungen bietet das im Zuge der Diplomarbeit generierte Excel-Dokument sehr gute Voraussetzungen (siehe Anhang A.1).

9.3 Energie- und Emissionseinsparpotential durch thermische Sanierungen

In diesem Abschnitt wird berechnet, wie hoch die Emissionseinsparungspotentiale sind, wenn sämtliche Gebäude auf den thermischen Standard eines 90er-Jahre-Hauses gebracht würden und

- 1.) keine Heizungssysteme ausgetauscht würden,
- 2.) das Szenario aus Abschnitt 9.2.1 und
- 3.) das Szenario aus Abschnitt 9.2.2 zu Grunde gelegt wird.

Um ein Gefühl dafür zu bekommen, wie sich ein derartiger Standard realisieren lässt, seien die Werte im Folgenden noch einmal zusammengefasst.

Die Transmissionswärmeverluste (U-Werte) sind für diesen Gebäudetyp mit

- 0,25 W/m²K für die oberste Geschoßdecke,
- 0,45 W/m²K für die Außenwand,
- 0,6 W/m²K für die Kellerdecke,
- 1,7 W/m²K für die Fenster und
- 1,6 W/m²K für die Türen

angenommen. Den Wert für die Fenster erreicht man mit modernen Produkten (Wärmeschutzverglasung). Von besonderer Wichtigkeit ist der Dämmwert der Außenwand. Um mit einer Hohlziegelwand mit $U = 0,45$ W/mK und einer Dicke von 30 cm diesen Wert zu bekommen, muss eine 6 cm dicke Dämmschicht mit $U = 0,04$ W/mK angebracht werden.

Für die oberste Geschoßdecke ist deshalb ein besonders niedriger Wert wünschenswert, weil warme Luft aufsteigt und damit hier die Verluste besonders hoch sind.

Auch ohne Berechnungen angestellt zu haben, ist es natürlich klar, dass Heizungstausch in Kombination mit thermischen Sanierungen effizienter wirkt als Heizungserneuerung allein.

Es sei angemerkt, dass die einmaligen Emissionen, die durch die Erzeugung und Anbringung von Wärmedämmung anfallen, hier nicht miteingerechnet wurden. In neuester Zeit geht der Trend zu biologischen Dämmmaterialien wie z.B. Kork als Ersatz für das früher gerne verwendete Polystyrol. Dadurch werden die Umweltbelastungen auf ein geringes Maß reduziert.

Die Berechnung enthält ebenso eine Verbesserung der Fenster in älteren Gebäuden. Der Effekt ist aber deutlich geringer als jener durch Dämmung der Gebäudehülle (Dach, Kellerdecke, Außenmauern).

Es muss jedoch gesagt werden, dass eine flächendeckende thermische Sanierung sehr unwahrscheinlich ist. Dennoch ist diese Analyse sinnvoll: Legt man eine Sanierungsquote von 50 % zu Grunde, so halbieren sich die Einsparungen naturgemäß, vorausgesetzt alle Gebäudegruppen sind gleich betroffen.

Tab. 9.9: Einsparungspotential durch thermische Sanierung ohne Heizungserneuerung

Emissionsart	absoluter Wert in t/a bzw. GWh/a	Einsparungspotential in %
CO ₂	10,703 Mio.	33,4
CO ₂ -Äquivalente	11,46 Mio.	33,6
TOPP-Äquivalente	40.065	40,5
SO ₂ -Äquivalente	22.124	36,0
Staub	5.652	43,6
Kumulierter Energieaufwand	55.992	34,5
KEA – nicht erneuerbar	43.908	33,6

Tab. 9.10: Einsparungspotential durch thermische Sanierung mit Heizungserneuerung nach Abschnitt 9.2.1

Emissionsart	absoluter Wert in t/a bzw. GWh/a	Einsparungspotential in %
CO ₂	6,562 Mio.	59,1
CO ₂ -Äquivalente	7,096 Mio.	58,9
TOPP-Äquivalente	19.863	70,5
SO ₂ -Äquivalente	12.014	65,3
Staub	2.701	73,1
Kumulierter Energieaufwand	39.546	53,8
KEA – nicht erneuerbar	28.216	57,3

Tab. 9.11: Einsparungspotential durch thermische Sanierung mit Heizungserneuerung nach Abschnitt 9.2.2

Emissionsart	absoluter Wert in t/a bzw. GWh/a	Einsparungspotential in %
CO ₂	8,836 Mio.	45,0
CO ₂ -Äquivalente	9,47 Mio.	45,2
TOPP-Äquivalente	29.131	56,7
SO ₂ -Äquivalente	17.084	50,6
Staub	3.849	61,6
Kumulierter Energieaufwand	49.890	41,7
KEA – nicht erneuerbar	37.451	43,3

Durch ein ambitioniertes Heizungserneuerungsprogramm, kombiniert mit thermischen Sanierungsmaßnahmen (die keineswegs Passivhausstandard bedeuten), könnte man also Treibhausgasemissionen um 50 % und die Luftschadstoffe sogar noch stärker reduzieren. Allerdings ist dazu zu sagen, dass derzeit – als gegenläufiger Trend – die Gesamtwohnfläche steigt. Dies wurde allerdings nicht miteingerechnet.

Um die Einsparpotentiale, die aus den nunmehr fünf gewählten Szenarien resultieren, besser beurteilen zu können, werden diese in einem Diagramm zusammengefasst. Szenario OPT bezeichnet die ambitioniertere Variante aus Abschnitt 9.2.1, Szenario BAU die leichter zu erreichende aus Abschnitt 9.2.2.

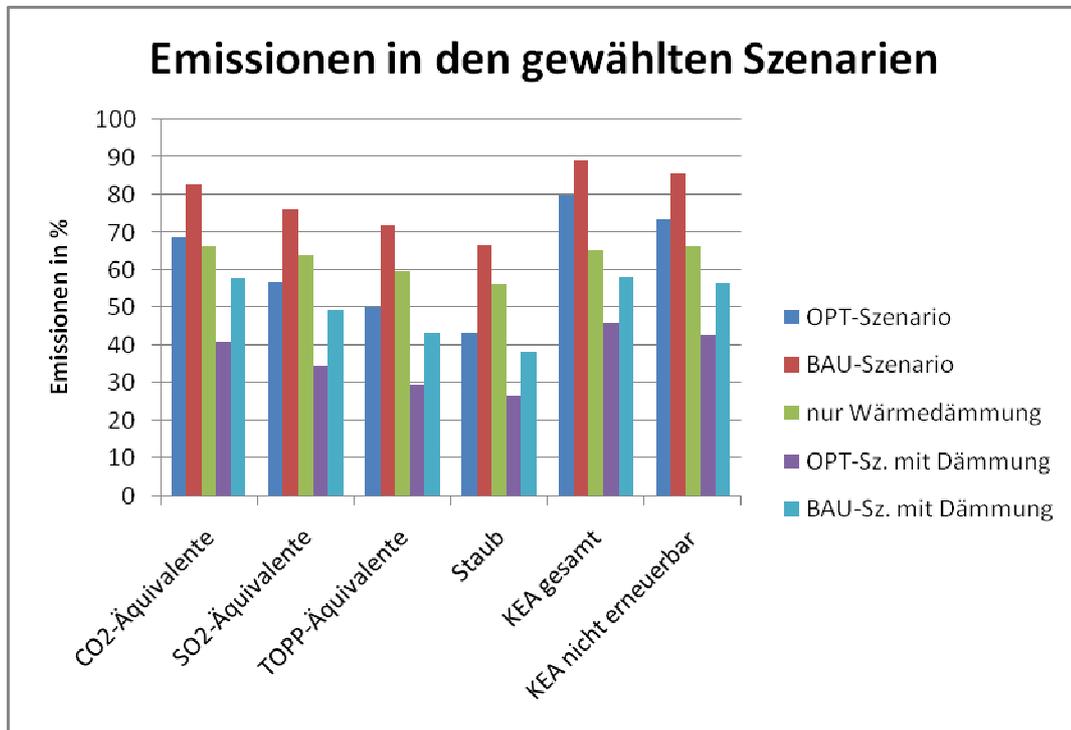


Abb. 9.9: Vergleich der Einsparpotentiale für die Szenarien BAU und OPT bezüglich Heizungstausch mit und ohne Wärmedämmung – aufgetragen sind die verbleibenden Emissionsanteile in Bezug auf den Istzustand, KEA...kumulierter Energieaufwand

Man sieht deutlich, dass das Einsparpotential bei den Luftschadstoffen am höchsten ist, insbesondere für Staub. Hier bringt besonders der Heizungstausch Verbesserungen. Am niedrigsten sind die Potentiale beim gesamten kumulierten Energieaufwand. Am besten sind die Ergebnisse klarerweise bei der Kombination aus ambitioniertem Heizungstauschszenario und Wärmedämmung. Lässt man Heizungstausch weg und konzentriert sich nur auf Wärmedämmung, so liegt das Potential zwischen 34 und 43 %.

10 Wirtschaftlichkeitsvergleich der Heizungssysteme im existierenden österreichischen Gebäudebestand

In den letzten beiden Abschnitten wurden besonders die ökologischen Aspekte von Heizungssystemen beleuchtet. Es ergab sich, dass es vor allem wünschenswert ist, den Anteil von Ölheizungen und Einzelöfen zu reduzieren und dafür modernere Holzheizungen (Pellets- und Hackgutkessel), neue Gas-Brennwertheizungen und Wärmepumpen, aber auch Fernwärme einzusetzen.

Da von Konsumenten die Wahl des Heizungssystems meist nicht nach ökologischen Gesichtspunkten, also nach den niedrigsten Emissionen, getroffen wird, sondern nach ökonomischen Aspekten (sowie auch nach anderen Aspekten wie Bekanntheitsgrad, Komfort), ist es wichtig, auch abzuschätzen, wie hoch die Kosten der einzelnen Heizungstechnologien sind. Deshalb soll sich der ökologischen Analyse nun ein kurzer wirtschaftlicher Vergleich anschließen.

Als Systeme werden Öl- und Gaszentralheizung, Pelletskessel, Hackschnitzelheizung, Stückholzheizung, Erdwärmepumpe und Fernwärme gewählt.

Als wesentliche Kostenkomponenten sind zu nennen: Installationskosten annuisiert (Kessel, Einbau), Wartung (inkl. Rauchfangkehrer und Abgasmessungen), Reparatur (Schätzung), Brennstoffkosten, Stromkosten.

Die Installationskosten sind jene wirtschaftlichen Aufwendungen, die vor Inbetriebnahme einmalig anfallen. Diese müssen durch die zu erwartende Lebensdauer des Systems in Jahren geteilt werden, um einen Wert für die gesamten jährlichen Kosten zu erhalten.

Als repräsentative Beispiele werden drei Modellfälle gewählt, nämlich

- 1.) Einfamilienhaus aus den 1990er-Jahren
- 2.) kleines Mehrfamilienhaus aus den 1970er-Jahren und
- 3.) großes Mehrfamilienhaus, erbaut vor 1970.

Ein wirtschaftlicher Vergleich ist immer mit großen Unsicherheiten verbunden. Dies lässt sich auch daraus ableiten, dass Kostenschätzungen für große Projekte (Gebäude, Straßen etc.) meist weit von der Realität abweichen. Auch im kleinen Maßstab hängt alles sehr vom Einzelfall ab und daher sind hier sämtliche Zahlen immer mit großen Schwankungsbreiten behaftet. Vor allem die Lebensdauer und die damit verbundene Aufteilung der Anfangskosten spielt eine entscheidende Rolle.

Der Reparaturaufwand ist mit Sicherheit am schlechtesten abzuschätzen. Zum Glück ist sein Anteil eher gering.

Wartungskosten sind noch am berechenbarsten, da sich Rauchfangkehrer an gesetzlich festgelegte Tarife halten müssen (werden von der jeweiligen Landesregierung festgelegt) und die Kosten für die (meist jährliche) Überprüfung der Anlage relativ durchschaubar sind.

Die Kosten für Instandhaltung, Wartung, Rauchfangkehrer, Versicherung und Überwachung (außer für Fernwärme) wurden dem Heizkostenrechner in [29] entnommen. Bei Fernwärme Wien sind diese Kosten im Grundpreis enthalten, der sich nach der beheizten Fläche richtet. Daher sind diese Kosten in der Rubrik „Brennstoff“ enthalten.

Etwaige Anschlussentgelte werden berücksichtigt.

Bei Erdwärmepumpen kann zwischen Flachkollektoren und Tiefenbohrungen unterschieden werden. Da erstere weiter verbreitet sind und überdies etwas günstiger in der Installation, soll diese Form der Erdwärmepumpe analysiert werden.

Kostenvergleiche, in denen auf den Euro genau berechnet wird, wie viel ein Heizungssystem für ein gewisses Gebäude pro Jahr kostet, sind ohne Angabe darüber, welche dieser genannten Kosten miteinbezogen werden, nahezu wertlos.

Die Kapitalkosten (Investitionen für Anlagenteile) werden, soweit vorhanden, [29] entnommen, z.B. bietet auch [45] Anhaltspunkte.

Zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit von Fernwärme werden die momentanen Preise der Fernwärme Wien, dem weitaus größten österreichischen Fernwärmeanbieter, herangezogen.

Bei Installation einer Fernwärmeheizung ist ein Anschlussentgelt fällig. Dieses muss daher auch berücksichtigt werden [40]. Allerdings ist es nicht ganz leicht zu berechnen und wird daher beim Punkt „Investition“ als zweiter Summand extra angeführt. So kann man für einen speziellen Fall die konkreten Gebühren einsetzen. Laut telefonischer Auskunft der Verrechnungsstelle von Fernwärme Wien hängen die (nicht unbeträchtlichen) extrem stark vom Einzelfall ab, z.B. von der Entfernung zwischen Fernwärmeleitung und Übergabestelle im Haus sowie von der Tiefe der Leitung. Es wurden auch andere Quellen herangezogen, z.B. [40], [41]. Es zeigt sich, dass es hier sehr stark auf die genaue bauliche Situation des Hauses ankommt: Die Entfernung zwischen Grundstücksgrenze und Haus spielt ebenso eine Rolle wie Grundstücksgröße. Kleine Änderungen haben hier beträchtliche Auswirkungen.

Verwendete aktuelle Brennstoffkosten $P_{Br, spez.}$:

Energieträger	Preis in cent/kWh
Pellets	3,8
Stückholz	3,2
Hackschnitzel	2,9
Gas	www.e-control.at – günstigster Anbieter
Öl	7,7 (= 77 ct./l)
Strom	15
Fernwärme	3,2; zzgl. 3,65 €/m ² Nfl. bzw. 4,8 ct./m ³ WW

Bei Stückholz ist die Situation etwas unübersichtlich, da es viele verschiedene Sorten gibt, der Markt sehr intransparent und auch regional sehr inhomogen ist.

Die im Vorangegangenen genannten Zahlenwerte sollen nun in jährliche Kosten umgerechnet und in Form von Diagrammen dargestellt werden.

Viele Daten bezüglich der Installationskosten für Heizungen mit Erdgas, Öl (jeweils Brennwert), Pellets und Erdwärmepumpe wurden [29] entnommen. Bei Hackschnitzeln und Stückholz wurde eine Literaturrecherche vorgenommen (z.B. [4], [45], [46]). Hier ist anzumerken, dass es große Unterschiede bei den Preisen gibt, die vor allem auf unterschiedlich groß gewählte Pufferspeicher zurückzuführen sind.

In [47] werden die Investitionskosten für ein EFH etwas anders bewertet: Stückholz, Pellets und Erd-WP benötigen etwa gleich hohe Kosten des Wärmeerzeugers, die fast doppelt so hoch sind wie bei Erdgas. In [48] (für Niedrigenergiehaus, was bei den Kapitalkosten aber nicht viel ausmacht) hingegen haben WP höhere Kapitalkosten als Pellets und diese wiederum liegen um 50 % höher als bei Gas. Öl ist teurer als Gas (ca. ein Viertel), in Einklang mit [47], aber im Widerspruch zu [46].

Es bleibt noch zu erwähnen, dass manche Heizungsarten recht großzügig gefördert werden. Dies hängt jedoch von der Gemeinde ab. Daher kann hier kein Überblick gegeben werden und diese werden auch nicht einbezogen.

Generell gilt jedoch, dass alle untersuchten Heizungssysteme außer Ölheizungen oft förderbar sind.

Berechnung der jährlichen Gesamtkosten:

Der jährliche theoretische Endenergiebedarf eines Gebäudes sei bekannt.

- 1.) Um vom theoretischen Nutzenergiebedarf NE_{th} zum praktischen Endenergiebedarf EE_{pr} zu gelangen, benötigt man Werte für den Jahresnutzungsgrad der Heizungsanlage (η_N) sowie einen Parameter für das Verbraucherverhalten (Servicefaktor f_S). EE_{pr} erhält man aus der Formel

$$EE_{pr} = NE_{th} \cdot \frac{f_S}{\eta_N}.$$

- 2.) Brennstoffkosten: Die jährlichen Brennstoffkosten $P_{Brennstoff}$ ergeben sich aus Multiplikation der Kosten des Energieträgers pro kWh $P_{Br.spez.}$ (siehe Tabelle oberhalb) mit diesem jährlichen Endenergiebedarf EE_{pr} :

$$P_{Brennstoff} = P_{Br.spez.} \cdot EE_{pr}.$$

- 3.) Kapitalkosten (P_{Kap}): Ein etwa ebenso großer Anteil resultiert aus der Anschaffung der Systemkomponenten. Die Berechnung erfolgt mit der Annuitätenmethode.

Hier sind sowohl die Kosten der Anschaffung I_0 selbst sowie weiters die Abschreibungsdauer n und der gewählte Zinssatz z zu berücksichtigen:

Die Abschreibungsdauern n der einzelnen Komponenten der Kapitalkosten sind [29] entnommen und betragen:

- a.) 20 Jahre für Flachkollektor (WP), Tank, Wärmeerzeuger, WW-Bereiter, Elektroinstallation und Steuerung
- b.) 25 Jahre für das Verteilungssystem
- c.) 50 Jahre für Anschlusskosten, Tankraum und Kamin

Der Zinssatz z wurde zu 4% gewählt.

Aus diesen beiden Werten berechnet sich der Annuitätenfaktor α_x für eine Systemkomponente x :

$$\alpha_x = \frac{z \cdot (1 + z)^n}{(1 + z)^n - 1}$$

Der jährliche Aufwand P_{Kap} berechnet sich aus Multiplikation dieses Faktors α_x mit den Anschaffungskosten $I_{0,x}$ und Summation über die Systemkomponenten (Anzahl s):

$$P_{Kap} = \sum_{x=1}^s \alpha_x \cdot I_{0,x}$$

Die Werte für I_0 finden sich im Anhang A.5.

- 4.) Die Wartungskosten $P_{Wartung}$ entstammen teilweise aus [29] und [42], teils wurden eigene Überlegungen angestellt, die z.B. aus der gesetzlich vorgeschriebenen Anzahl an Kontrollen des Rauchfangkehrers, anderer Wartungsaufwand wie etwa Brennstofflieferung, Ausräumen der Asche, Reinigen des Tanks etc. resultieren. Wichtig ist es vor allem, die Verhältnisse dieser Kosten zwischen den Systemen richtig zu beurteilen.
- 5.) Die Hilfsstromkosten P_{Strom} ergeben sich Multiplikation des jährlichen Hilfsstrombedarfs in kWh mit den Kosten für elektrischen Strom lt. e-control (15 ct./kWh).

Die jährlichen Gesamtkosten P für das Heizungssystem setzen sich also aus vier Anteilen zusammen:

$$P = P_{Brennstoff} + P_{Kap} + P_{Wartung} + P_{Strom}$$

Diese Berechnungsweise wird nun bei den drei Modellfällen angewendet.

10.1 Einfamilienhaus mit einem Heizwärmebedarf von 140 kWh/m²a

Hier handelt es sich um ein EFH, das in etwa den durchschnittlichen thermischen Standard eines in den 90er-Jahren erbauten Hauses aufweist, also weder ein Niedrigenergie- noch ein Passivhaus, aber im Gebäudealtbestand doch eines der „besseren“ Objekte. Die Nutzleistung der Heizungsanlage beträgt in etwa 15 kW.

Zugrunde gelegte Daten zur Charakterisierung des Gebäudes und des Haushaltes:

Anzahl der Bewohner: 3

Beheizte Nettogeschosßfläche: 135 m²

Jährlicher theoretischer Nutzenergiebedarf: 19 000 kWh

→spezifischer Energiebedarf = 140 kWh/m²a

Jährlicher Energiebedarf für Warmwasser: 2 500 kWh

Für Fernwärme: Jährl. Warmwasserbedarf: 50 m³

JNG, f_s und EE_{pr} sind für die untersuchten Heizungssysteme in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Tab. 10.1: JNG und Servicefaktoren sowie der daraus resultierende praktische Endenergiebedarf EE_{pr} für die Heizungssysteme, die in der Wirtschaftlichkeitsanalyse untersucht werden

Größe	Heizungssystem						
	Gas-BW	Öl-BW	Erd-WP	Pellets	Hackschn.	Stückholz	Fernw.
Servicef.	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,71
JNG %	91	85	400 ¹	74	72	67	93
EE_{pr}	16320	17470	3710	20070	20630	22160	13490 (ohne WW)

¹korrekt: JAZ = 4

Die Gesamtkosten setzen sich nun aus den Energiekosten, den Kapitalkosten (Anschaffung) und den Betriebskosten zusammen und sind in Tab. 10.2 aufgelistet.

Tab. 10.2: Ergebnisse der ökonomischen Analyse für ein Einfamilienhaus aus den 90er-Jahren, Zinssatz: 4 %; der zweite Summand bei der Fernwärme bezieht sich auf die Anschlusskosten.

	Kosten pro Jahr in € inkl. MWSt.						
	Gas-BW	Öl-BW	Erd-WP	Pellets	Hackschn.	Stückh.	Fernw.
Kapitalkosten	1012	1141	1964	1284	1542	1115	640+312
Brennstoff	964	1345	557	763	598	709	959
Strom	24	35	17	98	74	25	14
Betrieb (Wartung, Rauchfangkehrer, Abgasmessung, Reparatur etc.)	300	390	220	390	450	550	270
Gesamtkosten	2400	2911	2698	2535	2644	2399	2195
c/kWh Nutzen.	10,06	12,8	11,77	10,98	11,43	10,35	9,62

Hier ergeben sich für Fernwärme die niedrigsten Gesamtkosten. Dies ist jedoch ein für Fernwärme günstiger Fall: Es werden alle Räume das ganze Jahr über voll beheizt. Lässt man einige Räume unbeheizt, so sinken die Fernwärmekosten kaum. Weiters wird derzeit noch ein hoher Rabatt auf die laufenden Kosten gewährt. Fällt dieser weg, würden die Brennstoffkosten um ca. 15 % steigen. Außerdem ist anzumerken, dass der Berechnungsmodus nicht dazu beiträgt, Investitionen in Gebäudesanierung zu fördern. Bei EFH, die weit von der Grundstücksgrenze entfernt sind, steigen die Anschlusskosten sehr stark an. Eine Verdopplung ist hier durchaus realistisch.

Hackschnitzelheizungen erfordern hohe Investitionskosten und sind bei einem 20-jährigen Zeithorizont nicht besonders günstig. Erhöht man jedoch die Lebensdauer, werden sie preiswerter. Für Haushalte, die Zugang zu eigenem Brennholz haben, ist diese Stückholzheizung auf jeden Fall am günstigsten. Öl ist jedenfalls eine teure Beheizungsvariante. Nimmt man an, dass die Kosten für Gas in Zukunft stärker steigen werden als für Holz, so werden die Holzheizungen auf lange Sicht preiswerter sein. Anzumerken ist auch, dass bei Gas der günstigste Anbieter lt. e-control gewählt wurde, aber bei Holz und Öl auf Durchschnittswerte zurückgegriffen werden musste, da hier kein derart umfassender Marktüberblick existiert. Dieses Problem hat man dann allerdings auch in der Praxis.

Der Zinssatz von 4 % ist keine unumstößliche Zahl. Sie variiert mit der Risikobereitschaft bzw. dem Sicherheitsbewusstsein der investierenden Person. Daher soll der Einfluss des Zinssatzes auch untersucht werden:

Bei Verwendung eines Zinssatzes von 6 % verändern sich die Kapitalkosten und damit die Gesamtkosten pro Jahr wie in Tab 10.2a dargestellt.

Tab. 10.2a: Änderung der Ergebnisse der ökonomischen Analyse für ein Einfamilienhaus aus den 90er-Jahren bei einem Zinssatz von 6 %

	Gas-BW	Öl-BW	Erd-WP	Pellets	Hackschn.	Stückh.	Fernw.
Kapitalkosten	1232	1379	2340	1554	1859	1346	771+425
Gesamtkosten	2620	3149	3134	2805	2961	2630	2439

Ein hoher Zinssatz erhöht besonders die Kosten der Wärmepumpe.

Die jährlichen Gesamtkosten bei Verwendung eines Zinssatzes von 2 % sind in Tab. 10.2b dargestellt.

Tab. 10.2b: Änderung der Ergebnisse der ökonomischen Analyse für ein Einfamilienhaus aus den 90er-Jahren bei einem Zinssatz von 2 %

	Gas-BW	Öl-BW	Erd-WP	Pellets	Hackschn.	Stückh.	Fernw.
Kapitalkosten	813	926	1622	1041	1255	905	521+213
Gesamtkosten	2201	2696	2416	2292	2357	2189	1977

Bisher wurden die Abschreibungsdauern für manche Posten sehr lang gewählt. Nimmt man an, dass der Betrachtungshorizont vieler Bewohner 15 Jahre beträgt, innerhalb dessen sich die Investition rechnen soll (Viele Personen können kaum abschätzen, ob sie das von ihnen bezahlte Heizungssystem 50 Jahre nutzen werden.), so ändern sich die annuisierten Kapitalkosten erheblich, wie in der folgenden Tabelle veranschaulicht.

Tab. 10.2c: Änderung der Ergebnisse der ökonomischen Analyse für ein Einfamilienhaus aus den 90er-Jahren bei einer Abschreibungsdauer von 15 Jahren und einem Zinssatz von 4 %

	Gas-BW	Öl-BW	Erd-WP	Pellets	Hackschn.	Stückh.	Fernw.
Kapitalkosten	1381	1516	2464	1709	2024	1475	845+603
Gesamtkosten	2769	3286	3258	2960	3126	2759	2691

Hier sind Gas, Stückholz und Fernwärme bereits auf praktisch gleichem Niveau. Der Vorteil der Fernwärme resultiert also aus langen Abschreibungszeiten der Anschlussgebühren.

Die jährlichen Gesamtkosten mit den Auswirkungen der Änderung von Zinssatz und Abschreibungsdauer sind in Abb. 10.1 dargestellt.

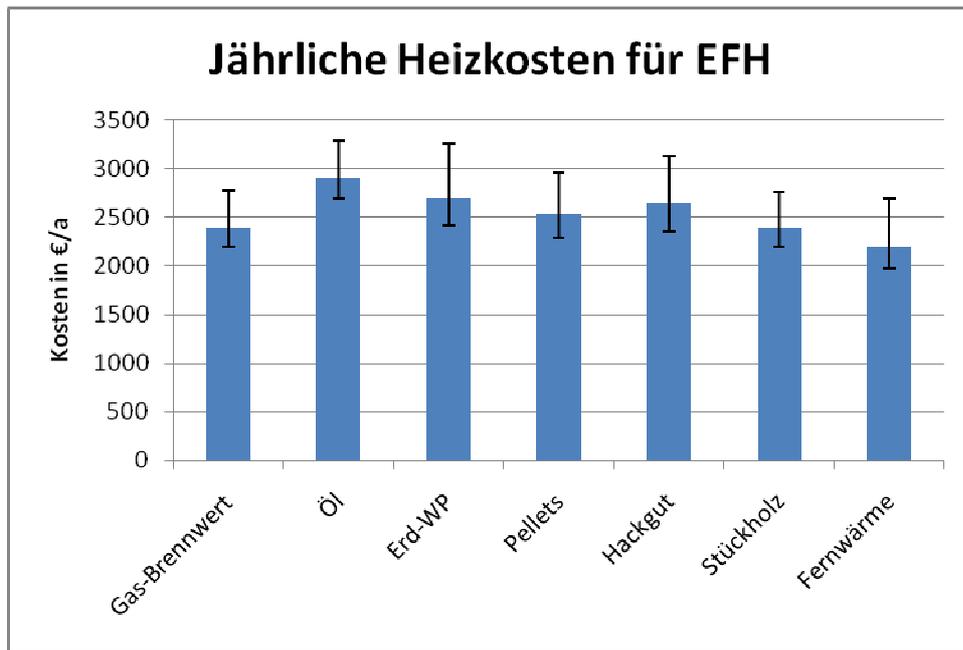


Abb. 10.1: Jährliche Heizkosten in einem EFH der 90er-Jahre mit Variation von Zinssatz und Abschreibungsdauer

10.2 Kleines Mehrfamilienhaus mit einem Heizwärmebedarf von 225 kWh/m²a

Dieser Modellfall entspricht einem kleinen MFH mit thermischen Eigenschaften eines Gebäudes aus den 70er-Jahren. Die Nutzleistung der Heizungsanlage beträgt in etwa 45 kW.

Zugrunde gelegte Daten zur Charakterisierung des Gebäudes und des Haushaltes:

Anzahl der Bewohner: 14

Beheizte Nettogeschoßfläche: 420 m²

Jährlicher theoretischer Nutzenergiebedarf: 94 000 kWh

→ spezifischer Energiebedarf = 224 kWh/m²a

Jährlicher Energiebedarf für Warmwasser: 12 000 kWh

Für Fernwärme: Jährlicher Warmwasserbedarf: 220 m³

Die Werte für Servicefaktoren und JNG sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Tab. 10.3: JNG und Servicefaktoren sowie der daraus resultierende praktische Endenergiebedarf EE_{pr} für die Heizungssysteme, die in der Wirtschaftlichkeitsanalyse untersucht werden

Größe	Heizungssystem						
	Gas-BW	Öl-BW	Erd-WP	Pellets	Hackschnitzel	Stückholz	Fernwärme
Servicef.	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,8
JNG %	93	87	350 ¹	76	74	69	93
EE_{pr}	87700	93750	23300	107320	110220	118200	80860 (ohne WW)

¹korrekt: JAZ = 3,5

Tab. 10.4: Ergebnisse der ökonomischen Analyse für ein kleines Mehrfamilienhaus aus den 70er-Jahren; der zweite Summand bei der Fernwärme bezieht sich auf die Anschlusskosten.

	Kosten pro Jahr in € inkl. MWSt.						
	Gas-BW	Öl-BW	Erd-WP	Pellets	Hackschn.	Stückh.	Fernw.
Kapitalkosten	2047	2207	3333	2429	2650	2191	1597+503
Brennstoff	4590	7218	3495	4078	3196	3782	4131
Strom	61	90	37	164	123	59	32
Betrieb (Wartung, Rauchfangkehrer, Abgasmessung, Reparatur etc.)	440	530	370	520	620	720	340
Gesamtkosten	7138	10045	7235	7191	6589	6752	6603
c/kWh Nutzen.	7,84	10,7	8,48	8,10	7,67	7,67	7,32

Durch die momentan sehr hohen Ölpreise ist die Ölheizung ziemlich teuer. Die hohen Investitionskosten für eine Hackgutheizung rechnen sich hier aufgrund des höheren Brennstoffbedarfs eher als bei einem EFH. Fernwärme liegt auf ähnlich günstigem Niveau, jedoch wiederum nur für nicht allzu lange Wege zwischen Fernwärmenetz und Hausübergabestation. Stückholz ist geringfügig teurer, jedoch sind hier die Brennstoffpreise sehr unterschiedlich und da viele Haushalte eigenes Holz verheizen, kann dies durchaus die günstigste Variante sein. (Bei Mehrfamilienhäusern ist diese Beheizungsvariante aber äußerst unüblich.) Wärmepumpe, Gas und Pellets liegen etwa auf demselben Niveau, wobei bei Gas eher die Brennstoffkosten und bei den anderen beiden die Kapitalkosten im Vordergrund stehen.

Die Verwendung eines Zinssatzes von 6 % verändern sich die Kapitalkosten und damit die Gesamtkosten pro Jahr auf die in Tab. 10.4a genannten Werte.

Tab. 10.4a: Änderung der Ergebnisse der ökonomischen Analyse für ein kleines Mehrfamilienhaus aus den 70er-Jahren bei einem Zinssatz von 6 %

	Gas-BW	Öl-BW	Erd-WP	Pellets	Hackschn.	Stückh.	Fernw.
Kapitalkosten	2492	2680	3995	2946	3208	2656	1938+685
Gesamtkosten	7583	10518	7897	7708	7147	7217	7126

Bei Verwendung eines Zinssatzes von 2 % verändern sich die Kapitalkosten und damit die Gesamtkosten pro Jahr wie in Tab. 10.4b dargestellt.

Tab. 10.4b: Änderung der Ergebnisse der ökonomischen Analyse für ein kleines Mehrfamilienhaus aus den 70er-Jahren bei einem Zinssatz von 2 %

	Gas-BW	Öl-BW	Erd-WP	Pellets	Hackschn.	Stückh.	Fernw.
Kapitalkosten	1646	1780	2733	1962	2146	1771	1289+344
Gesamtkosten	6737	9618	6635	6724	6085	6332	6136

Je niedriger der Zinssatz, desto günstiger sind Wärmepumpen.

Betrachtet man einen Abschreibungszeitraum von 15 Jahren, so ergeben sich die Kosten nach Tab. 10.4c.

Tab. 10.4c: Änderung der Ergebnisse der ökonomischen Analyse für ein kleines Mehrfamilienhaus aus den 70er-Jahren bei einer Abschreibungsdauer von 15 Jahren und einem Zinssatz von 4 %

	Gas-BW	Öl-BW	Erd-WP	Pellets	Hackschn.	Stückh.	Fernw.
Kapitalkosten	2811	3000	4299	3283	3553	2959	2177+971
Gesamtkosten	7902	10838	8201	8045	7492	7520	7651

In diesem Fall ist die Hackschnitzelheizung knapp die günstigste Variante. Dahinter folgen Stückholz und Fernwärme. Letztere ist nur bei hohen Abschreibungsdauern die preiswerteste Variante.

Die jährlichen Gesamtkosten für diesen Modellfall mit den Auswirkungen der Änderung von Zinssatz und Abschreibungsdauer sind in Abb. 10.2 dargestellt.

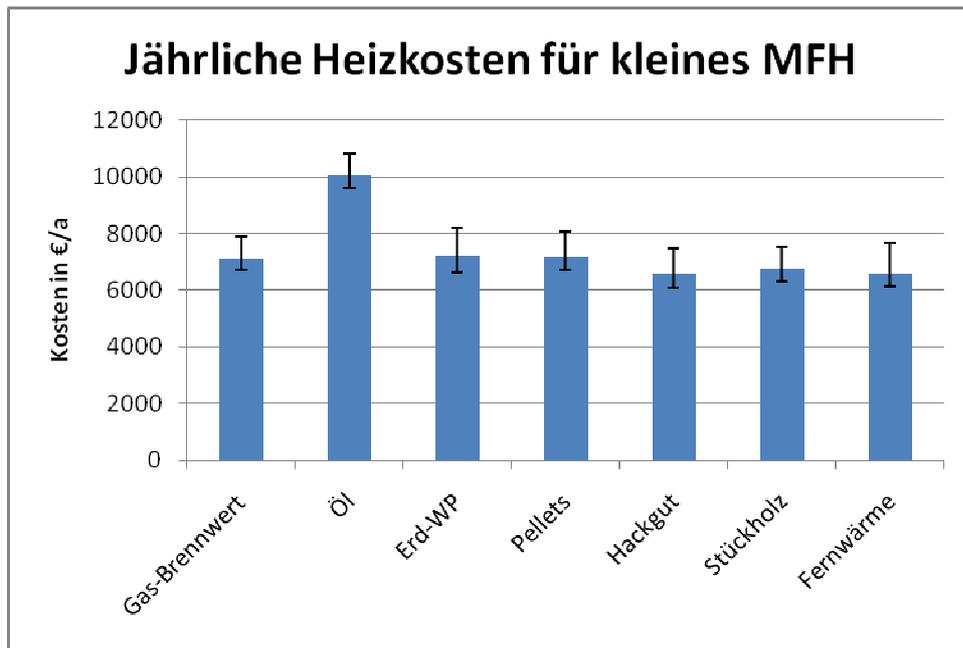


Abb. 10.2: Jährliche Heizkosten in einem kleinen MFH der 70er-Jahre mit Variation von Zinssatz und Abschreibungsdauer

10.3 Großes Mehrfamilienhaus mit einem Heizwärmebedarf von 190 kWh/m²a

Dieser Fall stellt ein schlecht gedämmtes großes MFH mit thermischen Eigenschaften dar, die vor 1970 Standard waren. Die Nutzleistung der Heizungsanlage beträgt in etwa 150 kW.

Zugrunde gelegte Daten zur Charakterisierung des Gebäudes und des Haushaltes:

Anzahl der Bewohner: 42

Beheizte Nettogeschoßfläche: 1 150 m²

Jährlicher theoretischer Nutzenergiebedarf: 217 000 kWh

→spezifischer Energiebedarf = 188 kWh/m²a

Jährlicher Energiebedarf für Warmwasser: 44 000 kWh

Für Fernwärme: Jährlicher Warmwasserbedarf: 660 m³

Die Werte für Servicefaktoren und JNG sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Tab. 10.5: JNG und Servicefaktoren sowie der daraus resultierende praktische Endenergiebedarf EE_{pr} für die Heizungssysteme, die in der Wirtschaftlichkeitsanalyse untersucht werden

Größe	Heizungssystem						
	Gas-BW	Öl-BW	Erd-WP	Pellets	Hackschn.	Stückholz	Fernw.
Servicef.	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,8
JNG %	94	88	270 ¹	77	75	70	93
EE_{pr}	217640	232480	75770	265690	272770	292260	186670 (ohne WW)

¹korrekt: JAZ = 2,7

Tab. 10.6: Ergebnisse der ökonomischen Analyse für ein großes Mehrfamilienhaus, erbaut vor 1970; der zweite Summand bei der Fernwärme bezieht sich auf die Anschlusskosten.

	Kosten pro Jahr in € inkl. MWSt.						
	Gas-BW	Öl-BW	Erd-WP	Pellets	Hackschn.	Stückh.	Fernw.
Kapitalkosten	5033	5384	7454	5532	5753	5221	4319+708
Brennstoff	11005	17901	11365	10096	7910	9352	10202
Strom	170	230	98	255	203	144	80
Betrieb (Wartung, Rauchfangkehrer, Abgasmessung, Reparatur etc.)	850	940	700	1040	1140	1290	545
Gesamtkosten	17058	24455	19617	16923	15006	16007	15854
c/kWh Nutzen.	6,73	9,58	7,79	6,70	5,98	6,39	6,26

Die hohen Investitionskosten fallen bei größeren Gebäuden immer weniger ins Gewicht und daher ist hier die Hackgutheizung am günstigsten. Generell schneiden hier Holzheizungen sehr gut ab. Die niedrige Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe bewirkt relativ hohe Kosten. Öl ist auch hier sehr teuer. Mit den verwendeten Pelletspreisen ist diese Art mit Holz zu heizen jene, die mit den höchsten Kosten verbunden ist. Im Vergleich zu Stückholz und Hackschnitzeln ist jedoch der geringere Anfall an Asche positiv hervorzuheben. (Bei Mehrfamilienhäusern ist die Stückholzheizung aber äußerst unüblich.) Dieser Modellfall ist für Fernwärme der übliche Leistungsbereich. In etwa entsprechen die angesetzten Anschlusskosten einem 10 bis 13 Meter langen Weg zwischen allgemeinem Fernwärmenetz und Hausübergabestelle (lt. tel. Auskunft von Fernwärme Wien).

Die Verwendung eines Zinssatzes von 6% verändern sich die Kapitalkosten und damit die Gesamtkosten pro Jahr auf die in Tab. 10.6a genannten Werte.

Tab. 10.6a: Änderung der Ergebnisse der ökonomischen Analyse für ein großes Mehrfamilienhaus, erbaut vor 1970 bei einem Zinssatz von 6 %

	Gas-BW	Öl-BW	Erd-WP	Pellets	Hackschn.	Stückh.	Fernw.
Kapitalkosten	6129	6545	8974	6725	6987	6346	5261+964
Gesamtkosten	18054	25616	21137	18116	16240	17132	17052

Bei Verwendung eines Zinssatzes von 2% verändern sich die Kapitalkosten und damit die Gesamtkosten pro Jahr wie in Tab. 10.6b aufgelistet.

Tab. 10.6b: Änderung der Ergebnisse der ökonomischen Analyse für großes Mehrfamilienhaus, erbaut vor 1970 bei einem Zinssatz von 2 %

	Gas-BW	Öl-BW	Erd-WP	Pellets	Hackschn.	Stückh.	Fernw.
Kapitalkosten	4046	4337	6076	4456	4640	4207	3070+484
Gesamtkosten	15971	23408	18229	15847	13893	14993	14381

Betrachtet man wiederum einen Abschreibungszeitraum von 15 Jahren, so ergeben sich die Kosten nach Tab. 10.6c.

Tab. 10.6c: Änderung der Ergebnisse der ökonomischen Analyse für ein großes Mehrfamilienhaus, erbaut vor 1970 bei einer Abschreibungsdauer von 15 Jahren und einem Zinssatz von 4 %

	Gas-BW	Öl-BW	Erd-WP	Pellets	Hackschn.	Stückh.	Fernw.
Kapitalkosten	6943	7375	9813	7573	7843	7150	5981+1367
Gesamtkosten	18868	26646	21966	18964	17096	17936	18175

Die jährlichen Kosten mit den Auswirkungen der Änderung von Zinssatz und Abschreibungsdauer sind in Abb. 10.3 dargestellt.

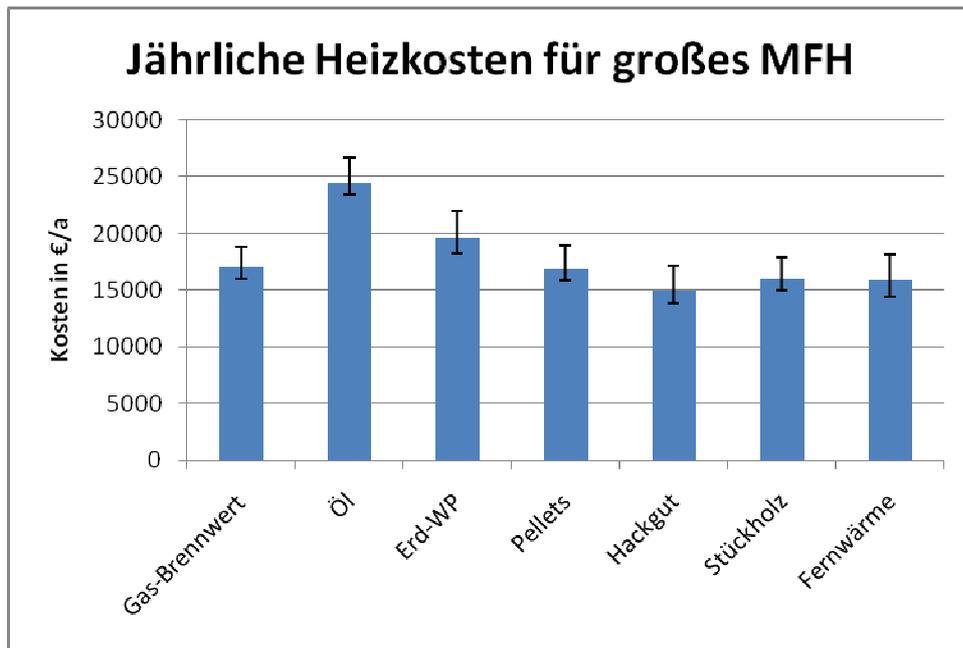


Abb. 10.3: Jährliche Heizkosten in einem großen MFH, erbaut vor 1970, mit Variation von Zinssatz und Abschreibungsdauer

Wie auch bereits im vorigen Fall, bewirkt die Abschreibungsdauer von 15 Jahren, dass Holzheizungen gegenüber Fernwärme günstiger werden. Auch der Abstand zwischen Fernwärme und Gas ist nicht mehr besonders groß, wenngleich in den vergangenen Jahren die Gaspreise stärker gestiegen sind als jene für Fernwärme. Wenn sich dieser Trend fortsetzt, ist der Abstand doch wieder größer.

Zusammenfassend kann also gesagt werden: Holzheizungen erfordern höhere Investitionskosten, sind aber im Betrieb aufgrund des niedrigen Brennstoffpreises günstiger. Ob sich dieser anfängliche Mehraufwand lohnt, kann gegenüber Ölheizungen mit „ja“ beantwortet werden, bei Gasheizungen ist dies nicht mehr so sicher. Diese sind vor allem aufgrund ihrer vergleichsweise niedrigen Investitionskosten konkurrenzfähig. Allerdings hängt dies natürlich vom Einzelfall ab: Ist es absehbar, dass eine Immobilie in wenigen Jahren verkauft werden soll, so wird sich die Investition in eine Wärmepumpe oder auch unter Umständen in eine Holzheizung für den einzelnen nicht lohnen. Auch bei sehr gut gedämmten Gebäuden (die hier nicht untersucht wurden) ist zu sagen, dass hier die Investitionskosten einen immer dominierenderen Anteil ausmachen. Je kleiner das Gebäude, desto eher „gewinnen“ Systeme mit niedrigen Kapitalkosten.

Es ist schwierig, für Fernwärme vernünftige Vergleichszahlen zu geben. Vor allem die Einbeziehung der nicht unerheblichen Anschlusskosten, die zudem vom Anbieter abhängen, ist ein großer Unsicherheitsfaktor. Bei langfristiger Nutzung zeigen sich eher günstige Preise. Fernwärme ist jedoch nur bei langem Betrachtungshorizont die kostengünstigste Variante. Man sieht auch, dass sich die Mehrkosten einer Wärmepumpe (v.a. gegenüber Gas) nur bei gut gedämmten Häusern lohnen.

Viele Kostenkomponenten hängen aber stark vom Einzelfall ab. Beispielsweise besitzen viele Haushalte kostengünstigen oder freien Zugang zu Stückholz. Hackschnitzel können in diesem Fall ebenfalls selbst hergestellt werden. Weiters hängt die Nutzungsdauer, d.h. die Zeit, die man beabsichtigt, das Heizungssystem bzw. das Gebäude zu behalten, eine große Rolle. Außerdem können Energiepreissteigerungen nicht vorhergesehen werden. Bei der Fernwärme kommt es, wie erwähnt, noch zu weiteren variablen Kosten. Sie ist immer dort besonders günstig, wo möglichst die gesamte Wohnfläche beheizt wird und der Energieaufwand nicht zu gering ist: In Niedrigenergiehäusern, wo zusätzlich noch einige Zimmer kaum benutzt werden, ist Fernwärme ökonomisch gesehen fehl am Platz. Jedoch ist sie für nicht besonders gut gedämmte Häuser mit eher beengten Platzverhältnissen sehr günstig.

11 Technische und nichttechnische Hindernisse bei der Verbreitung innovativer, energieeffizienter Heizungssysteme

11.1 Allgemeines

In diesem Abschnitt sollen die Hindernisse erörtert werden, die einem Einbau von den in der GEMIS-Analyse als innovativ bezeichneten Heizungssystemen entgegenstehen. Dazu gehören also die drei Arten von Kompressionswärmepumpen, Pellets- und Hackschnitzelkessel sowie Gas-Brennwertkessel und Solaranlagen.

- Es ist zunächst aus Sicht des Benutzers oft nicht der Fall, dass dieser ein funktionierendes Heizungssystem allein aus Umweltschutzgründen austauschen wird.
- Der Tausch eines herkömmlichen Kessels gegen ein Brennwertmodell ist mit einer Rauchfangsanierung (Einziehen eines Kunststoffrohres, um das Kondensat abrinnen zu lassen) verbunden.

Für die einzelnen Technologien sind nun die wesentlichen Punkte jeweils in einem eigenen Abschnitt zusammengefasst.

11.2 Wärmepumpen

Bei Wärmepumpen ist der Installationsaufwand (außer bei Luftwärmepumpen) hoch und oft nur im Zuge einer weiterführenden Haussanierung praktisch sinnvoll.

Bei Erdreich-Wärmepumpen gibt es zwei grundsätzlich verschiedene Bauweisen: Einerseits können die Rohrschlangen, welche die Wärme dem Boden entziehen, horizontal verlegt werden. Je nach den thermischen Eigenschaften des Gebäudes benötigt man dazu allerdings laut [20] das Eineinhalb- bis Dreifache der zu beheizenden Fläche. Dies ist offensichtlich nicht immer möglich. Hindernisse können hier ein zu kleines Grundstück (vor allem, wenn die Wärmepumpe nachträglich eingebaut wird, weil dann die Fläche unter dem Haus wegfällt) oder auch ein dichter Altbaumbestand sein, der nicht entfernt werden darf oder sollte.

Die zweite Möglichkeit bietet die Tiefenbohrung. Hier werden die Kollektoren in bis zu 120 Meter Tiefe in die Erde gebohrt. Bei dieser Variante wird klarerweise wenig Grundfläche benötigt und sie kann auch mit geringerem Aufwand nachträglich installiert werden. Bei Erdreich- und Wasserwärmepumpen muss zudem eine wasserrechtliche Genehmigung eingeholt werden.

Als Mittelweg bietet sich nach [22] der Grabenkollektor an, der entlang der Hausfassade senkrecht in eine Tiefe von ca. 5 Metern in die Erde eingebaut wird.

Für Wasser-WP muss Grundwasser vorhanden sein. Es werden zwei Brunnen im Abstand von etwa 25 m benötigt [22]. Aus einem strömt das wärmere Wasser herbei, der zweite lässt das abgekühlte Wasser wieder abfließen.

Bei Wasserwärmepumpen sind nach [21] folgende Kriterien zu beachten:

- 1.) Der Förderbrunnen muss ergiebig genug sein (ca. 2 m³/h für den Idealfall eines gedämmten EFH).
- 2.) Die Wassertemperatur darf 8°C nicht unterschreiten.
- 3.) Das Wasser muss genügend rein sein.

Auf Luftwärmepumpen treffen diese Hindernisse freilich nicht zu. Hier ist jedoch die sinkende Leistungsfähigkeit bei niedrigen Außentemperaturen ein Problem. So ist für Tage mit tiefen Temperaturen (Die Angaben schwanken zwischen -5 und -10°C.) eine Zusatzheizung einzuplanen. Als alleiniges System ist sie also (zumindest derzeit noch) nicht anzuraten. Ein weiterer Nachteil ist, dass aufgrund zu geringer Jahresarbeitszahlen diese Art nicht (z.B. in Vorarlberg [22]) oder weniger gefördert wird.

Um eine hohe Jahresarbeitszahl zu erreichen, muss die Vorlauftemperatur niedrig gehalten werden. Dazu werden großflächige Heizkörper wie Wandflächen- oder Fußbodenheizungen benötigt. Bei bestehenden Häusern ist dies mit erheblichem zusätzlichem Aufwand verbunden.

11.3 Solaranlagen

Bei Solaranlagen ist zu beachten, dass diese in manchen Fällen genehmigungspflichtig sind. Soll die Anlage laut [19] an einem denkmalgeschützten Gebäude in Wien errichtet werden, so ist das Bundesdenkmalamt um Erlaubnis zu fragen. Besonders die Aspekte Baustil, Bauvolumen, Proportionen sowie Einsehbarkeit aus dem öffentlichen Raum sind ausschlaggebende Kriterien. Es ist daher danach zu streben, die Anlagen an hofseitigen Fassaden oder Dachflächen zu montieren. Weiters ist die Eingliederung in den bestehenden Fensterrhythmus erwünscht. (Beispiel für eine Solaranlage in einer Schutzzone in Wien: Bei dieser befindet sich ein Dachflächenfenster an der Südseite. In regelmäßigen Abständen wurden daneben Solarmodule angebracht, welche die gleichen Ausmaße aufweisen wie das Fenster, sodass es erst auf den zweiten Blick auffällt, dass es sich dabei um unterschiedliche Dinge handelt.) Befindet sich das Gebäude in einer Schutzzone, im Grünland-Schutzgebiet oder in Gebieten mit Bausperre, so ist laut [5] ebenfalls eine Genehmigung einzuholen. In Wien ist jedenfalls vor Errichtung die Kontaktaufnahme mit der MA 19 anzuraten.

Anscheinend gelten diese Bestimmungen für solarthermische wie für photovoltaische Anlagen gleichermaßen, in [5] wird jedenfalls nicht unterschieden. Dies ist auch naheliegend, da die Optik weitgehend identisch ist.

Ein weiteres Hindernis bei der Errichtung von Solaranlagen kann das Fehlen eines genügend sonnigen Dachflächen- oder Fassadenteils sein, wodurch die Anlage vor allem ökonomisch,

aber auch ökologisch nutzlos werden kann. Dies kann durch andere Gebäude, hohe Bäume, eventuell steile Berghänge etc. bedingt sein. Das Problem ist jedoch bei Photovoltaikanlagen größer als bei solarthermischen, da letztere auch das diffuse Licht nutzen können.

11.4 Biomasseheizungen

Für Biomasseheizungen ist ausreichend Platz für den Vorratsspeicher vorzusehen. Sofern man sich für Stückholz entscheidet, muss mindestens dreimal in der Woche (während der Heizperiode) händisch nachgelegt werden. Weiters ist in regelmäßigen Abständen (hängt von der Güte des verbrannten Materials ab) die Asche zu entsorgen.

Ein weiteres Problem ist Feuchtigkeitseintritt während der Lagerung. Zumal sich Heizanlagen meist im Keller eines Gebäudes befinden und dies oft eher Orte mit hoher Luftfeuchtigkeit sind, ist dies auch ein Problem.

Dem Einbau von Pellets- und Hackschnitzelkesseln steht einerseits der höhere Preis gegenüber Gas- und Ölkesseln entgegen (siehe wirtschaftlicher Vergleich). Die Erfahrung lehrt, dass einmalige Investitionen oft abschreckender wirken als entsprechend höhere laufende Kosten (siehe z.B. Verbreitung von Energiesparlampen). Dies ist somit ein psychologisches Argument gegen Holzkessel. Weiters ist der Platzbedarf für einen Holzlagerraum größer als jener für einen Öltank, der die gleiche Energiemenge fassen soll, weil die Energiedichte von Holz nur etwa halb so groß ist und außerdem das Holz nicht so wie eine Flüssigkeit dicht im Raum liegt. Bei Gaskesseln fällt der Lagerraum selbstverständlich weg, sofern ein Anschluss an das öffentliche Gasnetz vorhanden ist und daher kein Flüssiggas angeliefert werden muss.

Damit ist auch gleich ein weiterer Punkt zu erwähnen: Pellets, Hackschnitzel und Öl müssen regelmäßig geliefert werden, während Erdgas quasi „von selbst“ kommt.

11.5 Gas-Brennwertkessel

Zur Installation eines Gas-Brennwertkessels muss zunächst ein Gasanschluss vorhanden sein. Theoretisch besteht allerdings auch die Möglichkeit der Belieferung mit Flüssiggas. Gasheizungen sind im Prinzip sehr leicht zu implementieren, sofern die Voraussetzungen geschaffen werden können, die eine Zentralheizung erfordert (v.a. das Rohrleitungssystem). Das einzige weitere spezifische Erfordernis ist die Auskleidung des Kamins mit einem Kunststoffrohr, damit die kondensierenden sauren Abgase nicht zur Versottung (Beschädigung) des Kamins führen. Dies ist im Allgemeinen leicht zu realisieren.

12 Maßnahmen zur Verbesserung von Heizungsinstallationen

Die Österreichische Energieagentur sammelte im Rahmen des Projektes „BOILeff“ unter anderem Informationen über Schwachstellen bei Heizungsinstallationen. Wie im Folgenden gezeigt, ist die Art der gemachten Fehler sehr vielfältig. Die Verminderung der Häufigkeit derartiger Unzulänglichkeiten würde den Energieverbrauch wohl erheblich senken. Dazu kommt, dass viele Punkte relativ leicht zu korrigieren wären, zumindest im Vergleich zur Neuinstallation einer gesamten Heizungsanlage. Die meisten Bewohner sind sich darüber nicht im Klaren, wie leicht es wäre, ohne Komfortverlust Energie und damit Geld zu sparen. Daher ist es wichtig, diese Punkte aufzuzeigen. Typische Schwachstellen sind:

- überdimensionierter Heizkessel:
In diesem Fall läuft der Kessel oft im Teillastbetrieb und wird häufiger angestartet bzw. benötigt dieser Vorgang bei einem größeren Gerät mehr Energie, was den Jahresnutzungsgrad senkt. Dies hängt unmittelbar mit dem nächsten Punkt zusammen:
- keine Wärmebedarfs- und Heizlastberechnung vor der Installation:
Leider war es in der Vergangenheit nicht üblich, derartige Berechnungen bei der Neuinstallation einer Anlage durchzuführen. Installateure schätzten meist grob den Wärmebedarf ab und schlugen dann großzügig einiges darauf, um nicht zu riskieren, dass durch etwaige Abschätzungsfehler ein zu kleines Heizungssystem zu Beschwerden seitens des Auftraggebers führt. Mit einem überdimensionierten Heizungssystem hingegen kann man sehr komfortabel leben. Außerdem bedeutet natürlich eine größere Heizungsanlage eine größere Auftragssumme. In Zukunft ist hier eine Verbesserung zu erwarten, da demnächst für neu errichtete Gebäude sowie bei Verkauf oder Vermietung eines Gebäudes ein sogenannter Energieausweis vorzulegen ist, der Auskunft über dieses Themengebiet gibt.
- überdimensionierte Umwälzpumpe
- (ungeregelte) oder falsch eingestellte Umwälzpumpe
- kein hydraulischer Abgleich
- falsch eingestellte Vorlauftemperatur (Heizkurve)
- Radiatoren teilweise verbaut:
Dadurch bildet sich natürlich ein Wärmestau beim Heizkörper. Das Zimmer wird nicht so stark erwärmt, wodurch der Thermostat der Heizungsanlage immer mehr Leistung abverlangt. Außerdem verstärken sich dadurch die Verluste nach außen, da Heizkörper ja meist unter Außenfenstern untergebracht sind.
- nicht eingeschulte bzw. sorglose Nutzer:
Wie anhand der Servicefaktoren bereits erläutert, ist dies wohl der allergrößte Fehler, der die meisten Verluste verursacht. Allerdings ist dieser auch besonders schwer in den Griff zu bekommen.
- fehlender Pufferspeicher:

Dadurch wird ein häufiges Anstarten des Kessels notwendig. Besonders die Startphase ist aber, wie bei sehr vielen Geräten, stark verlustbehaftet.

- zu lange Wartungsintervalle (keine Wartung in den letzten drei Jahren):
Dies allein führt noch nicht zu Verlusten, aber in Folge dessen können hier ebenfalls genannte Fehler unerkant bleiben. Somit ist dies eine indirekte Fehlerquelle.
- fehlende Kontrolleinrichtungen (Temperatur von Vor- und Rücklauf, Betriebsstundenzähler)
- keine bzw. mangelnde Isolierung bei Heizkessel, Rohrleitungen (im Heizraum), am Warmwasserspeicher sowie der Umwälzpumpe:
All diese Fehler führen klarerweise zu erhöhten Transmissionsverlusten. Vor allem die nachträgliche Isolierung von Rohrleitungen erfordert größere Arbeiten
- Luft/Schmutz/Rost im Heizkreislauf:
Luft im Heizungssystem ist ein relativ oft auftretender Fehler: Das Warmwasser kann nicht mehr zirkulieren, bleibt stehen bzw. wird langsamer. Dadurch geht viel Energie durch Rohrleitungsverluste verloren, die Pumpe arbeitet praktisch umsonst, in den Räumen wird es kalt und ein ungeschulter Benutzer wird möglicherweise die Kesseltemperatur erhöhen, was zu noch mehr Verlusten, aber zu einer Erhöhung der Raumtemperatur führt. Luft im Heizungskreislauf kann auch durch ungewöhnliche Wassergeräusche im Heizkörper erkannt werden. Das Problem kann aber leicht behoben werden: Mit speziellen Schlüsseln kann man ein Ventil am Heizkörper öffnen. Sobald keine Luft mehr entweicht, sondern Wasser herauskommt, kann man Ventil wieder verschließen. Dazu braucht man keinen Fachmann.
Schwieriger ist die Situation bei Schmutz und Rost im Heizungskreislauf: Diese können nicht so einfach entfernt werden. Beides führt jedoch einerseits zu Reibungsverlusten, die auf Kosten der Pumpe bzw. des Hilfsstromverbrauches gehen, und andererseits, sofern die Heizkörper betroffen sind, zu ungenügender Wärmeübertragung, da Rost und Schmutz im Vergleich zu Metallen Wärme schlecht leiten.
- fehlende Thermostatventile bei Heizkörpern bzw. keine Heizungssteuerung (nur Ein/Aus):
Dadurch kann es unbemerkt zu unnötig hohen Temperaturen im Raum kommen, v.a. bei Abwesenheit. Natürlich ist auch ein unerwünschtes Absinken der Innentemperatur möglich. Zu starkes Auskühlen ist allerdings auch nicht optimal: Man braucht sehr viel Energie und Zeit, um die Wände und Gegenstände im Inneren wieder aufzuwärmen und muss dies über höhere Lufttemperaturen ausgleichen, was zusätzlich Energie kostet.
- keine Nachtabenkung möglich:
Während der Nacht werden meist keine so hohen Temperaturen benötigt. Allerdings sollte die Nachtabenkung automatisch passieren, der Benutzer selbst ist dazu oft nicht bereit. Außerdem sollte die Temperatur schon vor dem Aufstehen wieder erhöht werden.

- Vor- und Rücklauf bei Radiatoren vertauscht
- schlecht positionierte Temperatureußen- und innenfühler:
Da thermostatgesteuerte Heizungsanlagen über diese Fühler geregelt werden, kann es dadurch zu schwankenden Innentemperaturen kommen (Plötzliche Einflüsse wie Sonneneinstrahlung auf den Außenfühler oder lokale Wärmeentwicklung durch elektrische Geräte auf den Innenfühler sind hier als Ursachen zu nennen.)
- zu hohe Temperaturen im Warmwasserkessel:
Dies führt zu höheren Transmissionsverlusten durch die Kesselwand bzw. das Rohrleitungssystem. Temperaturen über 60°C für das Warmwasser sind nicht nötig, weil sonst ohnehin kaltes Wasser dazugemischt werden muss.
- fehlender Thermosyphon beim Warmwasserspeicher
- Nachspeisung direkt mit Wassernetz verbunden, d.h. ohne Rohrtrennung
- fehlende Absperrventile bei Kesselein- und -ausgang
- nicht oder falsch aufbereitetes Heizungswasser (nach ÖNORM H5195):
Bei Nichtbeachtung kann es zu Ablagerung von Rost oder Kalk kommen (siehe auch vorige Seite „Luft/Schmutz/Rost im Heizkreislauf“).

13 Wichtigste Ergebnisse und Schlussfolgerungen

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Ergebnisse dieser Arbeit zusammengefasst und die wesentlichen Schlussfolgerungen abgeleitet.

13.1 Ergebnisse aus der Analyse des theoretischen Nutzenergiebedarfs

Die erste wesentliche Schlussfolgerung wird aus den Berechnungen des jährlichen Nutzenergiebedarfs für Raumwärme der verschiedenen für Österreich repräsentativen Gebäudetypen (nach Bauperiode und Gebäudegröße) gezogen: Für alle Gebäudegrößen ergibt sich, dass die Wärmeverluste für ein Haus, das in den 1990er-Jahren erbaut wurde, nicht einmal halb so hoch sind wie für ein Bauwerk, das vor 1970 errichtet wurde (Abb. 13.1). Daraus folgt, dass durch Gebäudedämmung ein großes Energieeinsparpotential realisiert werden kann.

Weiteres Ergebnis: Größere Gebäude sind gegenüber kleineren begünstigt. Ein großes MFH aus den 1990er-Jahren hat einen jährlichen Wärmebedarf pro Nutzfläche, der etwa einem Viertel von dem entspricht, was ein Einfamilienhaus benötigt, das vor 1970 erbaut wurde. Unter Berücksichtigung von Niedrigenergie- oder Passivhäusern ist der Unterschied noch weit höher.

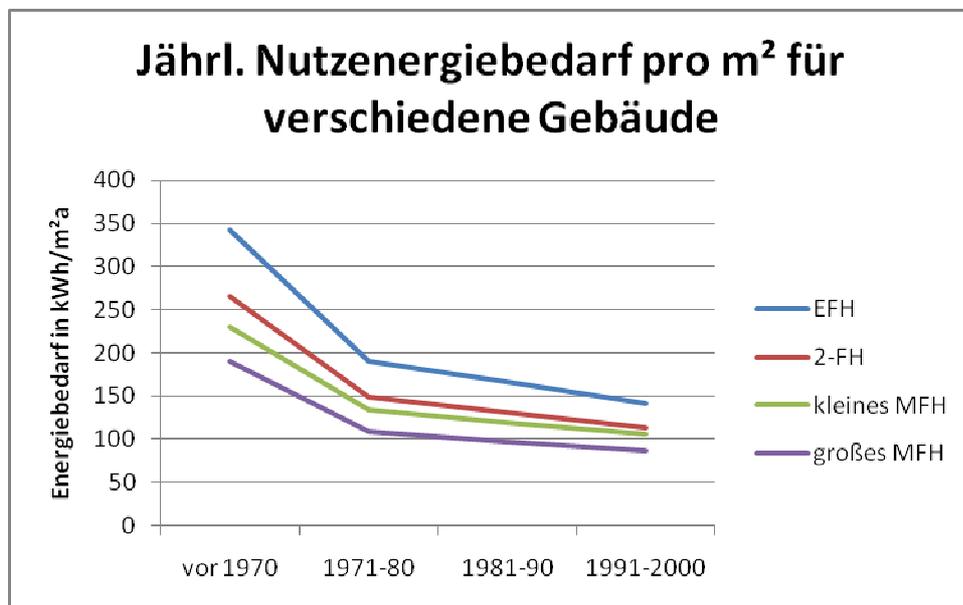


Abb. 13.1: Jährlicher Nutzenergiebedarf in kWh/m²a für verschiedene Gebäudetypen. Die großen Unterschiede deuten auf ein hohes Einsparpotential hin.

13.2 Schlussfolgerungen aus der Emissionsanalyse

In der Emissionsanalyse wurden sämtliche in Österreich eingesetzte Heizungssysteme sowie einige neuartigere Systeme (Wärmepumpen, Gas-Brennwertkessel, Pellets- und Hackschnitzelheizung, jeweils mit und ohne Solarunterstützung) bezüglich ihrer Treibhausgas- und Schadstoffemissionen (Staub, SO₂-Äquivalente [Versauerung] und TOPP-Äquivalente [Bildung bodennahen Ozons]) sowie des kumulierten Energieaufwandes verglichen.

Um die Emissionsbilanz verschiedener Heizungssysteme in übersichtlicher Form zu dokumentieren, ist anhand eines Einfamilienhauses aus den 1990er-Jahren (Energiebedarf = 140 kWh/m²a) der jährliche Ausstoß an Treibhausgasen, Staub und der kumulierte Energieaufwand (KEA), jeweils pro m² Nutzfläche, in einem Diagramm dargestellt. Der KEA wird in einen erneuerbaren und einen nicht erneuerbaren Anteil aufgespalten.

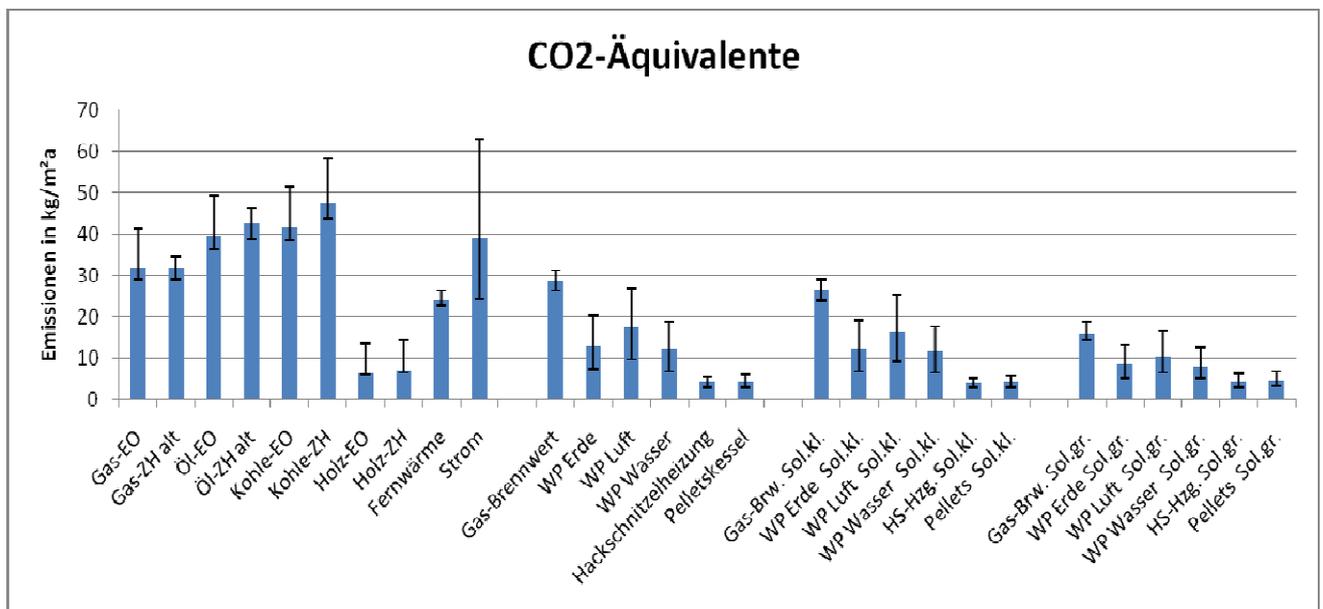


Abb. 13.2: Jährliche Emissionen an Treibhausgasen für diverse Heizungssysteme unter Zugrundelegung des Energiebedarfs eines Einfamilienhauses aus den 1990er-Jahren. EO...Einzelofen, ZH...Zentralheizung, Sol.kl....kleine Solaranlage zur Warmwasserunterstützung, Sol.gr....große Solaranlage auch zur Heizungsunterstützung. Der Ausdruck „alt“ bezieht sich auf Jahresnutzungsgrade aus den 90er-Jahren.

Aus Abb. 13.2 ergeben sich wünschenswerte Veränderungen in Bezug auf die Reduzierung der Treibhausgasemissionen:

Die Zahl der Kohle- und Ölheizungen soll reduziert werden. Da es sich oft nicht realisieren lassen wird, Wärmepumpen bei bestehenden Objekten einzubauen, sollten hier Gas-Brennwert- oder Pellets- bzw. Hackschnitzelheizungen verwendet werden.

Solaranlagen allein zur Warmwasserunterstützung haben in den hier untersuchten Kombinationen keinen signifikanten Einfluss auf die Reduktion, weil das Ausgangsniveau bei

Wärmepumpen und Holzheizungen niedrig ist; jene zur Heizungsunterstützung hingegen leisten einen wesentlich größeren Beitrag. Würde man diese mit z.B. Kohle verbinden, ergäben sich größere Effekte. Es sei jedoch angemerkt, dass die Kombination eines Kohleofens mit einer Solaranlage nur eine theoretische Option ist und auch eine Ölheizung wohl eher selten mit thermischen Sonnenkollektoren eingesetzt wird.

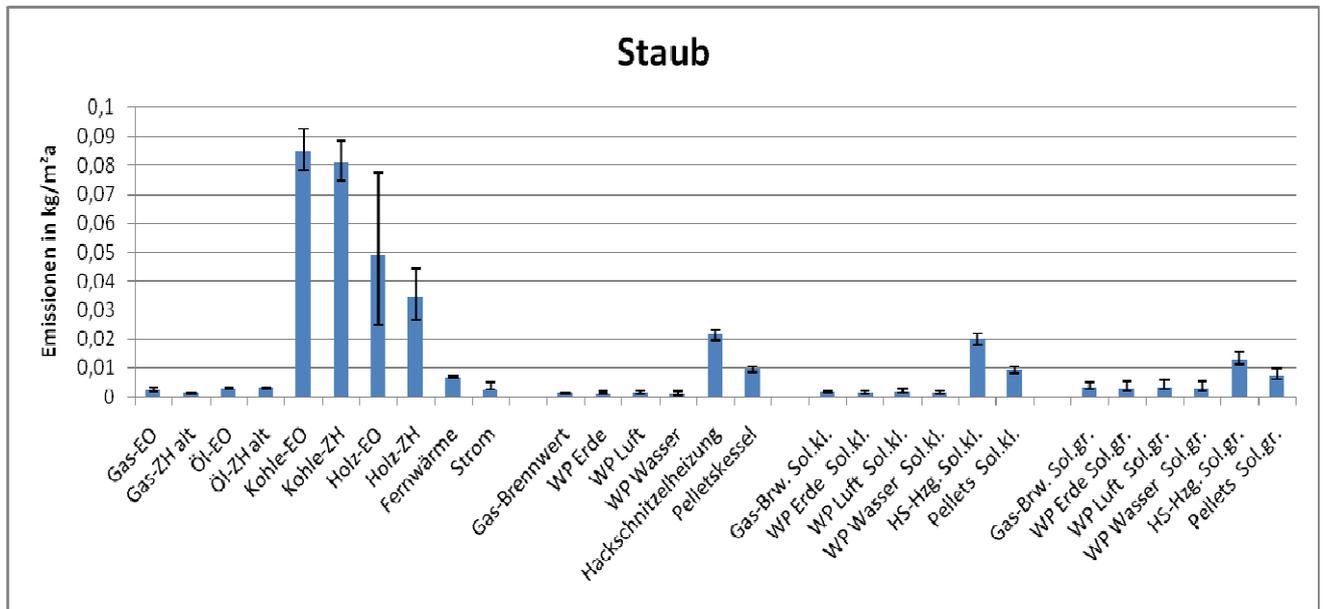


Abb. 13.3: Jährliche Staubemissionen für diverse Heizungssysteme unter Zugrundelegung des Energiebedarfs eines Einfamilienhauses aus den 1990er-Jahren. EO...Einzelofen, ZH...Zentralheizung, Sol.kl....kleine Solaranlage zur Warmwasserunterstützung, Sol.gr....große Solaranlage auch zur Heizungsunterstützung; die Werte für Kohle und Holz können je nach Güte des Brennmaterials und des Ofens/Kessels stark variieren. Der Ausdruck „alt“ bezieht sich auf Jahresnutzungsgrade aus den 90er-Jahren.

Hinsichtlich der Staubemissionen ergibt sich ein etwas anderes Bild: Holz liegt hier wesentlich schlechter, wobei mit modernen Pelletsesseln schon weitaus niedrigere Werte erzielt werden können. Im Wesentlichen sind die Staubemissionen bei Nicht-Feststoffheizungen kein ernsthaftes Problem.

Die Schlussfolgerung aus dieser Untersuchung ist daher, besonders in staubbelasteten Gebieten die Zahl alter Holzheizungen zu reduzieren und auf Kohleheizungen gänzlich zu verzichten. Da Holz aber niedrige Treibhausgasemissionen aufweist, ist der verstärkte Einsatz staubarmer Holzheizungen ein sinnvoller Mittelweg.

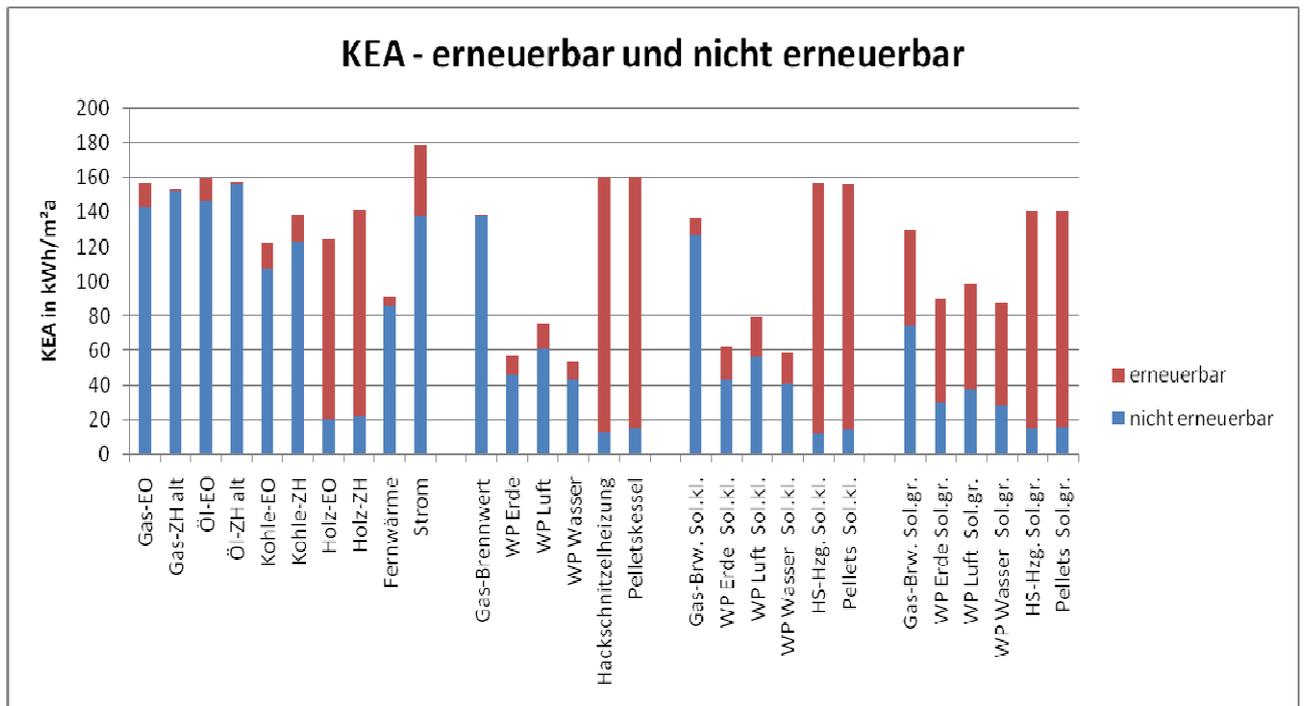


Abb. 13.4: Jährlicher kumulierter Energieaufwand für diverse Heizungssysteme unter Zugrundelegung des Energiebedarfs eines Einfamilienhauses aus den 1990er-Jahren. EO...Einzelofen, ZH...Zentralheizung, Sol.kl....kleine Solaranlage zur Warmwasserunterstützung, Sol.gr....große Solaranlage auch zur Heizungsunterstützung. Der Ausdruck „alt“ bezieht sich auf Jahresnutzungsgrade aus den 90er-Jahren.

Bezüglich der Nachhaltigkeit der Energieversorgung ist vor allem der nicht erneuerbare KEA von Interesse: Vor allem Holz als erneuerbarer Energieträger weist einen niedrigen KEA auf. Strom schneidet ähnlich schlecht ab wie Öl und Gas. Dass Kohle etwas besser liegt, resultiert aus der einfacheren Gewinnung gegenüber Öl und Gas sowie aus den niedrigeren Servicefaktoren. Fernwärme benötigt bei Verwendung großer Anteile aus Müllverbrennung und Prozesswärme relativ wenig nicht erneuerbare Energie, wäre jedoch bei Befuerung mit Öl oder Gas in deren Region anzusiedeln.

Wärmepumpen schneiden nach Holz am besten ab. Im Sinne der Nachhaltigkeit der Energieversorgung sollen daher v.a. Holzheizungen eingesetzt werden, jedoch nur in einem Ausmaß, das die Regenerationsfähigkeit von Biomasse nicht übersteigt. Auch Wärmepumpen dürfen nur insoweit verwendet werden als die Belastbarkeit der Stromnetze und die Produktionskapazitäten der Kraftwerke nicht überschritten werden.

Ein weiteres Ergebnis der Untersuchung des nicht innovativen Gebäudebestandes ist, dass bei den vergleichsweise hohen Energieverbräuchen gegenüber Niedrigenergiehäusern die nutzungsbezogenen Energieaufwendungen die investitionsbezogenen weit übersteigen. Ein anderes Resultat ergibt sich aus [42], wo Niedrigenergie- bzw. Passivhäuser mit teilweise sehr installationsintensiven Heizungssystemen untersucht wurden: Hier ist der hier verschwindende Anteil nicht mehr vernachlässigbar.

Kombiniert man diese Ergebnisse mit den Erfordernissen gestiegenen Komfortbedürfnisses, so können einige wahrscheinliche bzw. wünschenswerte Veränderungen genannt werden:

Die noch hohe Anzahl an Ölheizungen kann mit eher geringem Aufwand durch Fernwärme oder Gas ersetzt werden, wobei natürlich entsprechende Anschlüsse vorhanden sein müssen. Weiters sind auch Pellets- oder Hackgutanlagen einzusetzen, vor allem hinsichtlich der Reduktion der Treibhausgasemissionen. Außerdem wird auch der Einzelofenanteil abnehmen (aufgrund des gestiegenen Komfortbedürfnisses). Im Zuge größerer Renovierungen können auch Wärmepumpen mit Wasser oder Erdreich als Wärmespeicher eingesetzt werden. Die Luft-WP ist leichter implementierbar.

Aus diesen Veränderungsansätzen ergeben sich Einsparpotentiale, die je nach der Menge der ausgetauschten Systeme unterschiedlich hoch ausfallen. Die Zusammenfassung dieser Ergebnisse findet sich in Abschnitt 13.3.

13.3 Ergebnisse aus der Analyse der Einsparpotentiale in Bezug auf den Gebäudebestand

Es wurden zwei unterschiedlich ambitionierte Szenarien zur Heizungserneuerung gewählt. Die wesentlichen Veränderungen betreffen: Verminderung der Zahl der Ölheizungen, Verbesserung des Nutzungsgrades von Gasheizungen, vermehrter Einsatz von Fernwärme und Verminderung der Zahl der Einzelöfen und vor allem der Kohleheizungen. (Allein durch ein Verbot von Kohleheizungen könnte schon ein wertvoller Beitrag zum Klimaschutz und auch zur Luftreinhaltung erbracht werden.) Derartige großflächige Umstellungen benötigen viele Jahre. (Beim weniger radikalen Szenario BAU („business as usual“) dürfte dies in der Größenordnung von 10 und beim ambitionierteren Szenario OPT eher bei 20 Jahren liegen. Dies ist aber sehr unsicher, da es vor allem an den von der Politik geschaffenen Rahmenbedingungen liegt.)

Es würde sich jedoch lohnen, nach diesem Plan vorzugehen: Im Szenario BAU ergeben sich Einsparungen an Treibhausgasemissionen von etwa 17 %. (Dies entspricht etwa 3 % der gesamtösterreichischen Emissionen aus allen Sektoren zusammen.) Bei Staub wäre hier sogar eine Einsparung von 33 % und bei den TOPP- und SO₂-Äquivalenten von etwa 25 % möglich. Der nicht erneuerbare kumulierte Energieaufwand würde um 14,5 % sinken, der gesamte um 10,5 %.

Im sehr ambitionierten Szenario OPT sind die Einsparungen noch weit höher: Bei den Treibhausgasen fast ein Drittel und bei den Luftschadstoffen rund die Hälfte, bei Staub sogar etwas mehr, beim nicht erneuerbaren KEA sind es etwa 26 %, beim gesamten KEA dagegen 20 %.

Kombiniert man dies zusätzlich mit thermischen Sanierungen der Gebäudehülle, so steigen die Potentiale noch weiter. (Diesen Berechnungen wurde zu Grunde gelegt, dass alle Gebäude auf das Niveau eines 1990er-Jahre-Hauses gebracht werden.) Selbst ohne begleitenden Heizungstausch würden die CO₂-Emissionen und der KEA um ein Drittel und die

der Luftschadstoffe um 36 bis 44 % sinken. Unter Verwendung des ambitionierten OPT-Szenarios zum Heizungstausch (s.o.) würden die Treibhausgasemissionen und der KEA um 55 bis 60 % bzw. die Luftschadstoffe um 65 bis 73 % zurückgehen. Beim weniger ambitionierten BAU-Szenario ergeben sich bei den Treibhausgasemissionen noch 42 bis 45 % Einsparung, bei den Luftschadstoffen 51 bis 62 %. (Der höchste Wert gilt für Staub, der niedrigste für SO₂.) Wählt man hingegen die Variante ohne Heizungstausch, sondern nur mit thermischer Sanierung auf Standard der 1990er-Jahre, so liegen die Potentiale für alle Emissionsarten zwischen 40 und 45 %. Die Potentiale der fünf Szenarien sind in Abb. 13.5 zusammengefasst. Bei diesen gesamtösterreichischen Betrachtungen spielen auch die Verpflichtungen, die Österreich im Rahmen des Kyoto-Protokolls eingegangen ist, eine große Rolle. Liegt der Treibhausgasausstoß 2012 über der angepeilten Marke, so werden Strafzahlungen fällig. Derzeit kann noch nicht gesagt werden, wie hoch diese ausfallen. Volkswirtschaftlich wäre es jedenfalls günstiger, Geld für Investitionen im Inland auszugeben, als diese Zahlungen zu leisten.

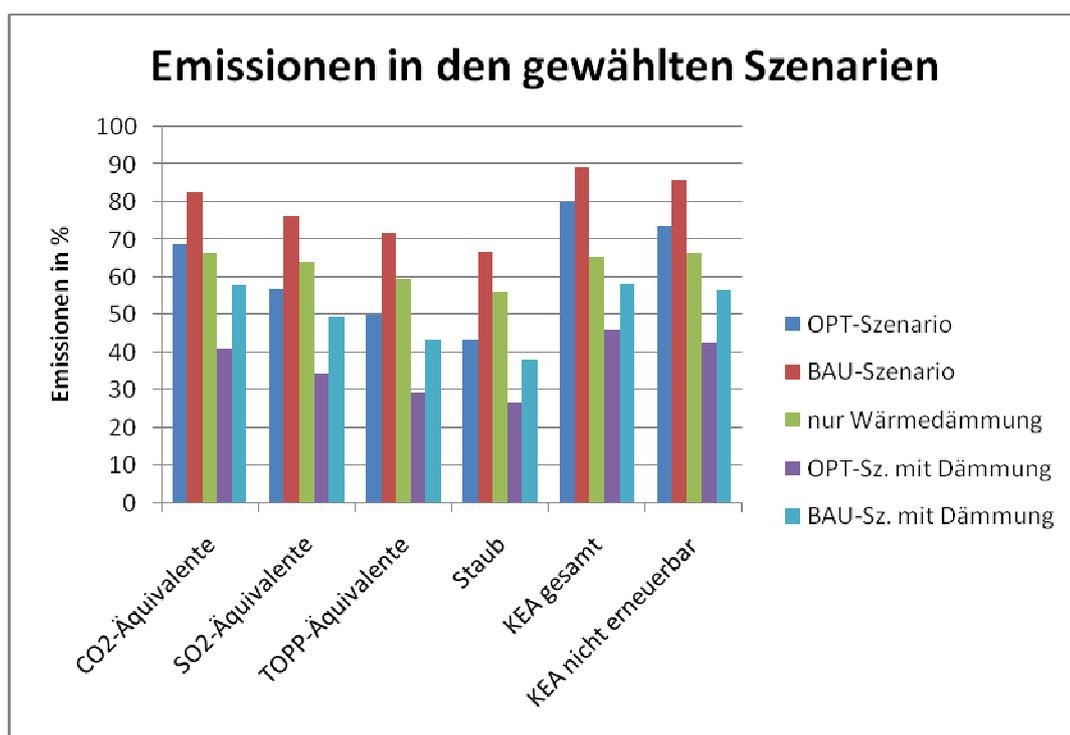


Abb. 13.5: Potentiale zur Emissionseinsparung unter Zugrundelegung verschiedener Szenarien zum Heizungstausch und zur Gebäudesanierung

Derartige großflächige Systemtausche bzw. Dämmmaßnahmen sind wohl nur mit öffentlichen Förderprogrammen realisierbar. Es ist daher Aufgabe der Wissenschaft, die Politik darauf zu drängen, diese Potentiale zu heben und damit einen wichtigen Beitrag für den Klimaschutz und die Reinhaltung der Luft sowie für die sparsamere Nutzung der Rohstoffressourcen zu leisten.

Eine weitere zentrale Schlussfolgerung ist: Es gibt kein Heizungssystem, welches allen anderen in allen ökologischen Belangen voraus ist. Holzheizungen weisen sehr niedrige CO₂-Emissionen auf, aber dafür hohe Schadstoffausstöße. Die Tendenz weg von Einzelöfen hin zu Zentralheizungen bedeutet zwar Verbesserungen beim Nutzungsgrad und auch beim Komfort, verursacht aber auch einen Anstieg des Servicefaktors. Dennoch ist dieser Trend zu unterstützen, v.a. hinsichtlich der Kohleöfen, aber auch veralteter Holzöfen, besonders wenn diese mit ungeeignetem Heizmaterial befeuert werden.

13.4 Ergebnisse der Kostenanalyse

Gas ist generell günstiger als Öl. Wärmepumpen können vor allem bei gut gedämmten Gebäuden punkten. Hackschnitzelkessel sind teuer in der Anschaffung, aber das Heizmaterial ist sehr günstig. Vor allem bei größeren Gebäuden schient sich diese Investition auf lange Sicht zu rechnen. In abgeschwächter Form gilt dies auch für Stückholz- und Pelletskessel. (Erstere werden allerdings fast ausschließlich in Einfamilienhäusern eingesetzt.) Fernwärme ist unter gewissen Voraussetzungen (lange Benützungsdauer, hoher Energiebedarf pro m², ganzjährige Benützung des gesamten Hauses) ein relativ günstiges Heizungssystem. Hier benötigt man keinen Wärmeerzeuger, sondern nur einen Wärmetauscher. Weiters fallen Anschlussgebühren an, die leider sehr unterschiedlich sind. Fernwärme ist aber durch die untersuchten Gebäudearten im Vorteil: Würde man Häuser/Wohnungen heranziehen, in denen nicht das ganze Jahr voll geheizt wird (Wochenendhäuser, Ferienhäuser) oder wo einige Räume unbeheizt bleiben, ist dieses System aufgrund der hohen Fixkosten keinesfalls zu empfehlen. Auch für Niedrigenergiehäuser, die in dieser Arbeit allerdings nicht untersucht werden, ergeben sich dieselben hohen Fixkosten und damit sind auch hier andere Varianten wirtschaftlicher.

Da ein konkretes Gebäude aber wesentlich andere Voraussetzungen aufweisen kann als die Modellfälle, ist es jedenfalls ratsam, bei Kostenvergleiche von Heizungssystemen die Annahmen genau zu beachten.

Folgende Abbildung zeigt als Beispiel die jährlichen Gesamtkosten verschiedener Heizungssysteme für ein kleines Mehrfamilienhaus der 1970er-Jahre (rel. hoher Energiebedarf von 225 kWh/m²a, ganzjährige komplette Beheizung), wobei in den Fehlerbalken der Einfluss verschiedener Zinssätze und Abschreibungsdauern zusammengefasst ist.

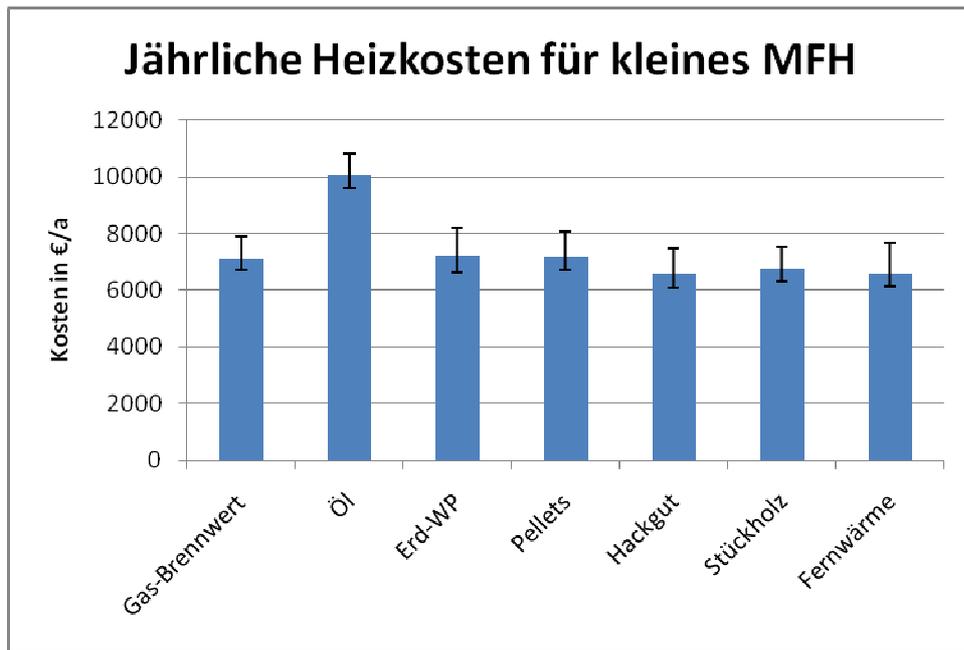


Abb. 13.6: Jährliche Heizkosten einiger Heizungssysteme mit Variation von Zinssatz und Abschreibungsdauer

Fazit:

Im Raumheizungssektor existiert ein hohes Potential zur Reduktion von Treibhausgas- und Schadstoffemissionen. Für eine umfassende Strategie zur Eindämmung des Klimawandels und der Luftverschmutzung ist es unbedingt nötig, diese Möglichkeiten zu nutzen. Es ist Aufgabe der politischen Entscheidungsträger, Rahmenbedingungen zu schaffen, damit dies realisiert werden kann.

14 Literatur

- [1] <http://de.wikipedia.org/>
- [2] Österreichische Energieagentur: Ökologischer Vergleich von Wärmepumpen mit Öl- und Gasheizungen, März 2007
- [3] Tschegg, E. K.: Bauphysik, Vorlesungsskriptum, Institut für Festkörperphysik, TU Wien
- [4] Schriefl, E.: Modellierung der Entwicklung von Treibhausgasemissionen und Energieverbrauch für Raumwärme und Warmwasser im österreichischen Wohngebäudebestand unter der Annahme verschiedener Optimierungsziele, Dissertation, Institut für elektrische Anlagen und Energiewirtschaft, TU Wien, Februar 2007
- [5] <http://www.wien.gv.at> (Nov. 2007)
- [6] www.zamg.ac.at
- [7] Skopetz, Harald: Einflussfaktoren auf den Heizenergieverbrauch in Österreich, Diplomarbeit, Institut für elektrische Anlagen und Energiewirtschaft, TU Wien, 2001
- [8] Haas, R.: Wirtschaftliche und Ökologische Optimierung der Heizenergieversorgung, Vorlesungsskriptum, Institut für elektrische Anlagen und Energiewirtschaft, TU Wien
- [9] <http://www.ziegel.at/main.asp?content=technik/Waerme/vereinf.htm> (4. 11. 2008)
- [10] http://www.nachhaltigwirtschaften.at/hdz_pdf/endbericht_fips_faktor_id2753.pdf (5. 11.2007)
- [11] <http://www.umweltbundesamt.at>
- [12] [http://www.energyagency.at/\(de\)/publ/pdf/boileff_projekt.pdf](http://www.energyagency.at/(de)/publ/pdf/boileff_projekt.pdf)
- [13] Winter, H.-P.: Erneuerbare Energieträger, Institut für Allgemeine Physik, TU Wien, Vorlesungsskriptum
- [14] http://fz-juelich.de/inb/inb-mut/projekte/pdf/oekobilanzen_strom.pdf (12. 11. 2007)
- [15] http://www.regionalenergie.at/PortalData/20/Resources/foerderungen/Frderung_Wien.pdf (14. 11. 2007)
- [16] <http://www.blt.bmlf.gv.at/vero/forschbe/kleinfeu/kleinfeu.pdf> (16. 11. 2007)
- [17] (Hilfsen.) http://www.empa-ren.ch/ren/Projekte_Haustechnik/Haustech.htm (16. 11. 2007)
- [18] http://www.bidgo.at/lexikon/3_Abgasmessung.html (19. 11. 2007)
- [19] <http://www.goahead.at/index.php?id=firstpagenews&category=763076131871357882&requestedUrl=927433> (19. 11. 2007)
- [20] http://haushalte.kelag.at/content/page_wp_funktionsweise.jsp (25. 11. 2007)
- [21] <http://www.oekotherm.com/Grundwasser.php> (25. 11. 2007)
- [22] http://ase.vkw.at/inhalt/broschueren/Waermepumpe_Lehrer.pdf (30. 11. 2007)
- [23] <http://www.es-quadrat.de/index.php?id=31> (3. 12. 2007)

- [24] <http://www.ubavie.gv.at/fileadmin/site/publikationen/REP0076.pdf> (5. 12. 2007)
- [25] <http://www.on-norm.at> (Dez. 2007)
- [26] http://www.empa-ren.ch/ren/Projekte_Haustechnik/Pdf_Haustechnik/Hilfsenergie.pdf (5. 12. 2007)
- [27] <http://www.zws.de> (6. 12. 2007)
- [28] http://www.energiesparhaus.at/energie/pellets_preisvergleich.htm (6. 12. 2007)
- [29] www.erdwaermepumpe.at (Dez. 2007 – März 2008)
- [30] <http://www.impulsprogramm.de/downloads/Energieberater/Vortrag-WolffFHWolfenbuettel.pdf> (6. 12. 07)
- [31] <http://www.vdw-online.de/de/pdf/mg-06-1-wolf-optimus.pdf> (8. 12. 2007)
- [32] http://www.statistik.at/web_de/dynamic/statistiken/wohnen_und_gebaeude/bestand_an_gebaeuden_und_wohnungen/publikationen?id=7&webcat=179&nodeId=343&frag=3&listid=179 (Nov. – Dez. 2007)
- [33] <http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0058.pdf>
- [34] www.statistik.at
- [35] Biermayr, P.: Dissertation „Einflußparameter auf den Energieverbrauch der Haushalte“, Institut für Energiewirtschaft, Technische Universität Wien, 1998
- [36] BWK, Bd. 59/2007, Nr. 12, S. 39 – 46
- [37] <http://www.kreidl.at/kreidl/brennstoffvergleich.htm> (9. 3. 2008)
- [38] http://www.holzenergie.net/PortalData/20/Resources/pdf_dokumente/gesamtkosten_gewerbe.pdf (Investitionskosten)
- [39] <http://www.renenergy.de/news/faktenfeinstaubaustrianbioenergycentre.pdf> (10. 4. 08)
- [40] http://www.pew-pattonville.de/pdf/ham_pew.pdf (11.4.08)
- [41] http://www2.e-steiermark.com/_pdf/45ae35ebd9e39.pdf
- [42] Rührlinger, T.: Vergleich von Heiz-, Warmwasserbereitungs- und Lüftungsanlagen in Wohnhäusern mit niedrigem Energiebedarf hinsichtlich des kumulierten Energieaufwandes (KEA), energiebedingter Emissionen der Nutzung und der Kosten
- [43] http://www.holzenergie.net/PortalData/20/Resources/pdf_dokumente/priewasser_HLK.pdf (23. 4. 08)
- [44] <http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/DP120.pdf>
- [45] <http://www.gewinn.com/fileadmin/pdfs/immobilien/Heizvarianten.pdf>
- [46] <http://www.brennstoffvergleich.at/beispiel/BeispielAltbau.pdf>
- [47] http://www.kelag.at/HeatingCostCalculator/heizkostenrechner_index.html
- [48] http://www.linzag.at/navigation/section,id,79,nodeid,79,_country,gas,_language,de.html

Anhang

A.1 Gewählte Methodik für die Emissionsanalyse

Sozusagen das Herzstück der GEMIS-Analyse bildet nicht das GEMIS-Projekt selbst, sondern eine Excel-Tabelle, in die Emissionswerte aus GEMIS einfließen. Dies hat den Grund, dass man in Excel viel schneller und einfacher Parameter variieren kann und außerdem die umfangreiche Datenmenge übersichtlicher gestaltet werden kann. Außerdem ist die Ausgabe von Fehlerbalken möglich.

Es wurde versucht, die Datenstruktur so flexibel wie möglich zu gestalten, damit bei neuen Erkenntnissen über gewisse Parameter nur geringe Änderungen notwendig sind.

Das File besteht aus sieben Tabellen, allerdings sind nur vier davon wesentlich. In der ersten mit dem Namen „Werteingabe“ kann man für 17 Gebäudetypen, kombiniert mit 32 verschiedenen Heizungssystemen, diverse Werte wählen. Es sollten nur jene Kästchen verändert werden, in denen fettgedruckte Zahlen bzw. Worte stehen. Bis Zeile 178 repräsentiert jede Spalte einen Gebäudotyp, jede Zeile betrifft einen gewissen Parameter oder ein Heizungssystem, unterhalb steht jede Spalte für eine Emissionsart.

Wählbare Parameter sind:

- 1.) Jährlicher theoretischer Nutzenergiebedarf für Raumheizung und Warmwasser für 17 Gebäudetypen werden in den ersten Zeilen durch Eingabe der relevanten Parameter (Dämmwerte, Gebäudegrößen, WW-Bedarf pro Person, HGT etc.) bestimmt.
- 2.) Jahresnutzungsgrade, Servicefaktoren, Hilfsstromverbräuche in kWh/a: Diese Parameter werden für die einzelnen Heizungssysteme und Gebäudetypen unterhalb von Punkt 1.) eingegeben. Die Servicefaktoren werden für EFH und 2-FH einerseits sowie für MFH andererseits konstant angenommen. Weiters nimmt die Größe der Solarkomponente keinen Einfluss darauf und wird daher allein durch Änderung in den Szenarien „ohne Solar“ auch bei „Solar klein“ und „Solar groß“ angepasst. Der JNG für Elektroboiler wird für alle Gebäudetypen im Kästchen C 139 zentral geregelt.
- 3.) Solarer Deckungsgrad für Warmwasser bei den kleinen teilsolaren Systemen ab Zeile 109
- 4.) Solarer Deckungsgrad für Heizungsunterstützung und Warmwasser bei den großen teilsolaren Systemen ab Zeile 143: Die solaren Deckungsgrade in der Excel-Tabelle „Werteingabe“ und können beliebig verändert werden (empfehlenswert zwischen 0 und 100, es gibt aber bei anderen Zahlenwerten keine Fehlermeldung).
- 5.) Emissionen pro kWh für jedes gewählte Heizungssystem (Zeilen 186 bis 214). Es sind 7 Emissionsarten standardmäßig besetzt, es können hier jedoch 3 weitere eingegeben werden. Dadurch würden diese, ebenso wie die 3 anderen, in die Berechnung einfließen. Dies ist der einzige Punkt, in dem GEMIS-Daten eingetragen sind.

- 6.) Anzahl der Gebäude und Wohneinheiten in einer bestimmten Gebäudeklasse (ab Kästchen V3)
- 7.) Prozentsatz der Haushalte in den einzelnen Gebäudetypen, die mit gewissen Heizungssystemen beheizt werden. Hier können zwei verschiedene Zusammensetzungen eingegeben werden: Eine für die momentane Situation (ab W27) und die andere für ein gewünschtes Szenario (ab W66; siehe dazu Abschnitt 9.2).

Die Warmwasserbereitung erfolgt bei Einzelöfen sowie bei Kohle- und Holzzentralheizungen extern, d.h. durch ein zweites System. Der externe Warmwasserbedarf wird standardmäßig durch einen Elektroboiler gedeckt, kann aber durch Änderung der Emissionen in der Zeile „Elektroboiler“ im Bereich *Emissionen pro kWh* (ab Zeile 186) auf ein anderes System umgestellt werden.

Weiters existieren die Tabellen „best“ und „worst“, die sich durch prozentuell wählbare Änderungen an Servicefaktor, Jahresnutzungsgrad und Hilfsenergie unterscheiden (jeweils Kästchen V2 – V4), sowie weiters durch einen veränderten Strom-Mix. Daher sind besonders stromintensive Heizungssysteme (Strom-Direktheizung, Wärmepumpen und in geringerem Ausmaß Systeme, die mit einem Elektroboiler kombiniert wurden) einer großen Unsicherheit unterworfen.

In der Tabelle mit dem Namen „Diagramme mit Var.“ werden nach Eingabe der gewünschten Parameter in den Tabellen „Werteingabe“, „best“ und „worst“ automatisch die entsprechenden Diagramme generiert. Hier sollten keine Werte verändert werden.

Die übrigen drei Diagramme dienen nur der Datenverknüpfung und sind nicht von Interesse.

A.2 Gewählte Prozesse in GEMIS

Dieser Abschnitt verzeichnet die Namen jener GEMIS-Prozesse, die für die Emissionsanalyse verwendet wurden. Er ist vor allem für Leser gedacht, denen GEMIS vertraut ist und die selbst in diesem Bereich damit arbeiten wollen.

Gas-Einzelöfen: „Gas-Kochen-DE-HH/KV-2000“: Da kein Prozess für Gasöfen existiert, wurde jener des Gaskochers verwendet. Der Gas-Mix wurde auf „Erdgas-AT“ geändert. Dies ist insofern ein Unterschied, als das Erdgas in Deutschland weniger aus Russland, sondern eher aus Norwegen geliefert wird.

Kommentar in GEMIS: Prototyp Gasherd zum Kochen in Haushalten und Kleinverbrauch.

Gasetagenheizung: „Gas-Heizung-Etage-DE“. Die Versionen „alt“ und „neu“ unterscheiden sich lediglich durch verschieden gewählte Jahresnutzungsgrade. Gas-Mix siehe Gas-EO.

Kommentar in GEMIS: Etagenheizung mit atmosphärischem Brenner. NO_x-Emissionen auf §7 der 1. BIMSchVO angepasst.

Gaszentralheizung: „Gas-Heizung-DE-2000“. „alt“ und „neu“ unterscheiden sich wiederum nur durch unterschiedliche JNG. Gas-Mix siehe Gas-EO.

Kommentar in GEMIS: Zentralheizung für Erdgas mit atmosphärischem Brenner. NO_x-Emissionen auf §7 der 1. BIMSchVO angepasst.

Ölofen: „Öl-leicht-Ofen-DE-2000“. Der Schwefelgehalt des Heizöls wurde von 0,165 % auf 0,1 % (Grenzwert für Heizöl EL in Österreich gemäß OMV) gesenkt.

Kommentar in GEMIS: Einzelofen für leichtes Heizöl inkl. Ölpumpe und Tank.

Öl-Zentralheizung: „Öl-Heizung-DE-2000“. „alt“ und „neu“ unterscheiden sich auch hier nur durch verschiedene JNG.

Kommentar in GEMIS: Zentralheizung für leichtes Heizöl mit atmosphärischem Brenner. Zentralheizung für Erdgas mit atmosphärischem Brenner. NO_x-Emissionen auf §7 der 1. BIMSchVO angepasst.

Kohleofen: „Kohle-Brikett-Ofen-DE-2000“

Kommentar in GEMIS: Einzelofen für Steinkohle-Brikett.

Kohlezentralheizung: „Kohle-Brikett-Heizung-DE-2000“

Kommentar in GEMIS: Zentralheizung für Steinkohle-Brikett.

Holzofen: „Holz-Stücke-Kaminofen-DE-2000“

Kommentar in GEMIS: Kaminofen für Stückholz in Deutschland.

Holzzentralheizung: „Holz-Stücke-Heizung-DE-2000“

Kommentar in GEMIS: Zentralheizung mit Stückholz in Deutschland.

Fernwärme: Dieser Prozess wurde nicht mit GEMIS errechnet, sondern hier wurden die Emissionswerte aus der Untersuchung des Umweltbundesamtes zur Fernwärme Wien entnommen.

Strom-Einzelofen: Gemäß den Angaben der e-control zu den Erzeugungsdaten des in Österreich verbrauchten elektrischen Stromes wurde ein dementsprechend gestalteter Mixer-Prozess generiert. In GEMIS existiert kein Prozess für eine Strom-Direktheizung, zumindest konnte keiner gefunden werden. Die Installationsaufwendungen wurden daher pauschal mit einem um 1 % gegenüber der Annahme verringerten Jahresnutzungsgrad berücksichtigt.

Gas-Brennwertheizung: „Gas-Heizung-Brennwert-DE-2010“. Gas-Mix siehe Gas-EO.
 Kommentar in GEMIS: Zentrale Brennwertheizung für Erdgas mit atmosphärischem Brenner.
 NO_x-Emissionen auf §7 der 1. BImSchVO angepasst.

Wärmepumpe Erde: „El-Wärmepumpe-Erdreich-55/45-Mix-IZW“. Der Strommix und die JNG bzw. Vorlauftemperaturen wurden entsprechend angepasst (siehe Abschnitt 7.3.1).
 Kommentar in GEMIS: Monovalente Wärmepumpe für Heizsystem, Wärmequelle Erdreich.

Wärmepumpe Luft: „El-Wärmepumpe-Luft-55/45-Mix-IZW“. Der Strommix und die JNG bzw. Vorlauftemperaturen wurden entsprechend angepasst (siehe Abschnitt 7.3.1).
 Kommentar in GEMIS: Monoenergetische elektrische Wärmepumpe für Heizsystem, Wärmequelle Umgebungsluft.

Wärmepumpe Wasser: „El-Wärmepumpe-Wasser-55/45-Mix-IZW“. Der Strommix und die JNG bzw. Vorlauftemperaturen wurden entsprechend angepasst (siehe Abschnitt 7.3.1).
 Kommentar in GEMIS: Monovalente Wärmepumpe für Heizsystem, Wärmequelle Grundwasser.

Hackschnitzelheizung: Es gibt in GEMIS zwei verschiedene Größenvarianten für HS-Heizungen: „Holz-HS-Waldholz-Heizung ATC 2010-10 kW“ und „-50 kW“. Es wurde immer die erstgenannte gewählt, auch wenn für manche Gebäudetypen 50 kW passender wäre. Allerdings sinken die Werte bei der 50 kW-Variante für alle Emissionsgruppen nur um einheitlich etwa 2 %. Dieser Effekt ist in der hier durchgeführten Emissionsanalyse allerdings schon im ca. 4 % höheren JNG bei großen Gebäuden gegenüber kleineren enthalten.
 Kommentar in GEMIS: kleinere Zentralheizung für Holz-Hackschnitzel.

Pelletsheizung: „Holz-Pellet-Holzwirtsch.-Heizung-10 kW ATC 2010“. Es gilt dasselbe wie bei der HS-Heizung (siehe oben).
 Kommentar in GEMIS: kleinere Holz-Pellet-Zentralheizung

A.3 Monatliche Solarerträge einer großen Solaranlage (ein Drittel der Dachfläche)

Tab. A.1: Monatlich gelieferte Nutzenergie einer Solaranlage, die ein Drittel der Dachfläche einnimmt (auf Basis von [8]). Man erkennt, dass bei großen MFH kaum noch ein Unterschied in der Größe zwischen einer kleinen, nur warmwasserunterstützenden, und einer großen, auch heizungsunterstützenden Anlage besteht.

	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.
A1-4	305	421	713	880	1013	1058	1091	999	851	594	338	286
A5	350	484	818	1011	1163	1215	1252	1147	977	682	388	329
A6	350	484	818	1011	1163	1215	1252	1147	977	682	388	329

A7	362	499	845	1043	1200	1254	1293	1184	1008	704	400	339
B1-4	542	749	1267	1565	1800	1882	1939	1776	1512	1056	600	509
B5	588	811	1373	1695	1950	2038	2101	1924	1638	1144	650	551
B6	599	827	1399	1728	1988	2078	2141	1961	1670	1166	663	562
B7	622	858	1452	1793	2063	2156	2222	2035	1733	1210	688	583
C1	836	1154	1954	2412	2775	2901	2990	2738	2331	1628	925	784
C2-4	735	1014	1716	2119	2438	2548	2626	2405	2048	1430	813	689
C5	848	1170	1980	2445	2813	2940	3030	2775	2363	1650	938	795
C6	848	1170	1980	2445	2813	2940	3030	2775	2363	1650	938	795
C7	836	1154	1954	2412	2775	2901	2990	2738	2331	1628	925	784
D1-4	1526	2106	3564	4401	5063	5292	5454	4995	4253	2970	1688	1431
D5	1876	2590	4382	5412	6225	6507	6706	6142	5229	3652	2075	1760
D6	1887	2605	4409	5444	6263	6546	6747	6179	5261	3674	2088	1770
D7	1921	2652	4488	5542	6375	6664	6868	6290	5355	3740	2125	1802

A.4 Unklarheiten in GEMIS

In GEMIS existieren z.B. für Gas-, Öl-, Kohle und Holzheizungen sowohl end- als auch nutzenergiebezogene Prozesse. Das bedeutet, dass man im einen Fall Nutzenergie und JNG eingibt, im anderen Fall die Endenergie. Dabei handelt es sich also um zwei verschiedene Beschreibungen für dasselbe Heizungssystem. Wählt man also etwa

- 1.) Gasheizung: NE-Bedarf 10 000 kWh, JNG 80 %
- 2.) Gasheizung: EE-Bedarf 12 500 kWh,

so handelt es sich offensichtlich um zwei verschiedene Beschreibungen einer Gas-ZH. Dennoch unterscheiden sich die berechneten Emissionen voneinander. Der Unterschied liegt in der Größenordnung von 3 %. Er ist also nicht besonders störend, allerdings sollte er trotzdem nicht auftreten. Abhilfe schafft interessanterweise die Anhebung der Zahl der Volllaststunden um 25 % im erstgenannten Fall.

Die Ursache liegt offensichtlich darin, dass die Installationsaufwendungen in GEMIS proportional zur gebrauchten Energie (also zur Nutzenergie) und nicht zur umgesetzten (Endenergie) angesetzt werden.

Man muss jedoch sagen, dass die Berechnung der Installationsaufwendungen natürlich erst bei Eingabe mehrerer Parameter (beheizte Fläche als Basis für die Aufwendungen für die Verrohrung, die allerdings wohl eine höhere Lebensdauer besitzt als die 15 Jahre, die für die meisten Heizkessel angesetzt werden, genaues Heizungsmodell, d.h. Masse des Kessels etc.) möglich ist und daher diese Abweichungen von diesen viel stärkeren eben genannten Unsicherheiten überdeckt werden.

Weitere ungeklärte Phänomene sind:

Sowohl bei TOPP- und SO₂-Äquivalenten als auch bei den Staubemissionen berechnet GEMIS für Holz-Zentralheizungen wesentlich höhere Emissionswerte als für Holzöfen. Weder GEMIS

Deutschland selbst noch das Umweltbundesamt konnten dazu eine Begründung abgeben. Vermutlich liegt dies an teils unrealistischen Testbedingungen, die den Werten der verwendeten Datenblätter zu Grunde liegen.

Beim KEA wird im Fall von Solaranlagen die Sonneneinstrahlung mitgerechnet, bei der Wärmepumpe allerdings nicht die der Erde entzogene Wärme. Zumindest wird diese nicht unter „KEA erneuerbar“ verbucht. Dies lässt sich deshalb sicher sagen, weil bei Zugrundelegung des fossilen Kraftwerksmix der Anteil von „KEA erneuerbar“ vernachlässigbar klein wird.

Während der Berechnungen der verschiedenen Strommixe (siehe Abschnitt 7.6.5) fielen bei den in GEMIS vorgegebenen Prozessen große Unterschiede zwischen Kohlekraftwerken in Deutschland und Österreich auf. Laut GEMIS stößt ein österreichisches gegenüber einem deutschen Kohlekraftwerk z.B. doppelt so viel SO₂ und CO sowie fünfmal so viel NO_x und Staub aus. Es gibt auch Unterschiede in die andere Richtung, allerdings seltener. Bei den Treibhausgasen gibt es hingegen kaum Differenzen.

Es soll jedoch angemerkt werden, dass GEMIS meist sehr plausible Werte liefert. Aufgrund der Fülle an Daten und der Komplexität kann es natürlich an einigen Stellen zu Problemen kommen, die aber das Programm an sich nicht in Frage stellen sollen.

A.5 Angenommene Investitionskosten

Tab. A.5.a: Investitionskosten für Heizungssysteme in einem Einfamilienhaus, erbaut in den 90er-Jahren, rechts ist die angenommene Nutzungsdauer verzeichnet

	Gas	Öl	Erd-WP	Pellets	Hackgut	Stückholz	Fernwärme	t _{nutz}
Tankraum	-	1000	-	800	800	0	-	50
Tank	-	1500	-	800	800	0	-	20
Kamin	750	750	-	1500	1500	1500	-	50
Wärmeerzeuger u. WW-Bereitung, Wärmetauscher	6500	7200	10500	9500	13000	8500	3000	20
Anschlusskosten	1700	-	-	-	-	-	6700	50
Flachkollektor	-	-	10300	-	-	-	-	20
Elektro/Steuerung	1000	1000	1200	1000	1000	1000	1000	20
Heizkörper/ Verteilung	5400	5400	5400	5400	5400	5400	5400	25

Tab. A.5.b: Investitionskosten für Heizungssysteme in einem kleinen Mehrfamilienhaus, erbaut in den 70er-Jahren, rechts ist die angenommene Nutzungsdauer verzeichnet

	Gas	Öl	Erd-WP	Pellets	Hackgut	Stückholz	Fernwärme	t _{nutz}
Tankraum	-	1500	-	1000	1000	0	-	50
Tank	-	1800	-	1100	1100	0	-	20
Kamin	850	850	-	1700	1700	1700	-	50
Wärmeerzeuger u. WW-Bereitung, Wärmetauscher	8500	9000	12000	12500	15500	11000	4000	20
Anschlusskosten	1700	-	-	-	-	-	10800	50
Flachkollektor	-	-	15400	-	-	-	-	20
Elektro/Steuerung	1000	1000	1200	1000	1000	1000	1000	20
Heizkörper/ Verteilung	19200	19200	19200	19200	19200	19200	19200	25

Tab. A.5.c: Investitionskosten für Heizungssysteme in einem großen Mehrfamilienhaus, erbaut vor 1970, rechts ist die angenommene Nutzungsdauer verzeichnet

	Gas	Öl	Erd- WP	Pellets	Hackgut	Stückholz	Fernwärme	t _{nutz}
Tankraum	-	1800	-	1300	1300	0	-	50
Tank	-	2200	-	1400	1400	0	-	20
Kamin	1000	1000	-	2000	2000	2000	-	50
Wärmeerzeuger u. WW-Bereitung, Wärmetauscher	13500	16000	18000	18500	21500	16500	5500	20
Anschlusskosten	1700	-	-	-	-	-	15200	50
Flachkollektor	-	-	29900	-	-	-	-	20
Elektro/Steuerung	1000	1000	1200	1000	1000	1000	1000	20
Heizkörper/ Verteilung	60000	60000	60000	60000	60000	60000	60000	25

A.6 Weitere Diagramme aus der Emissionsanalyse

In diesem Abschnitt sollen die Diagramme der Emissionsanalyse aufgelistet werden, die in Kapitel 8 der Übersichtlichkeit halber nicht aufscheinen. Es resultieren hieraus keine neuen Erkenntnisse. Der Hauptunterschied liegt in der Ordinatenkalierung.

Zuerst werden die jährlichen CO₂-Äquivalentemissionen der in jenen Gebäudegruppen meistvertretenen Heizungssysteme, die nicht als 10 Gesamtvarianten ausgeführt wurden, denen neuartiger Heizungen gegenübergestellt.

Danach folgen die SO₂- und TOPP-Äquivalente sowie die Staubemissionen der Gesamtvarianten außer für A1–4, das in Abschnitt 8 zu finden ist.

A.6a CO₂-Äquivalente

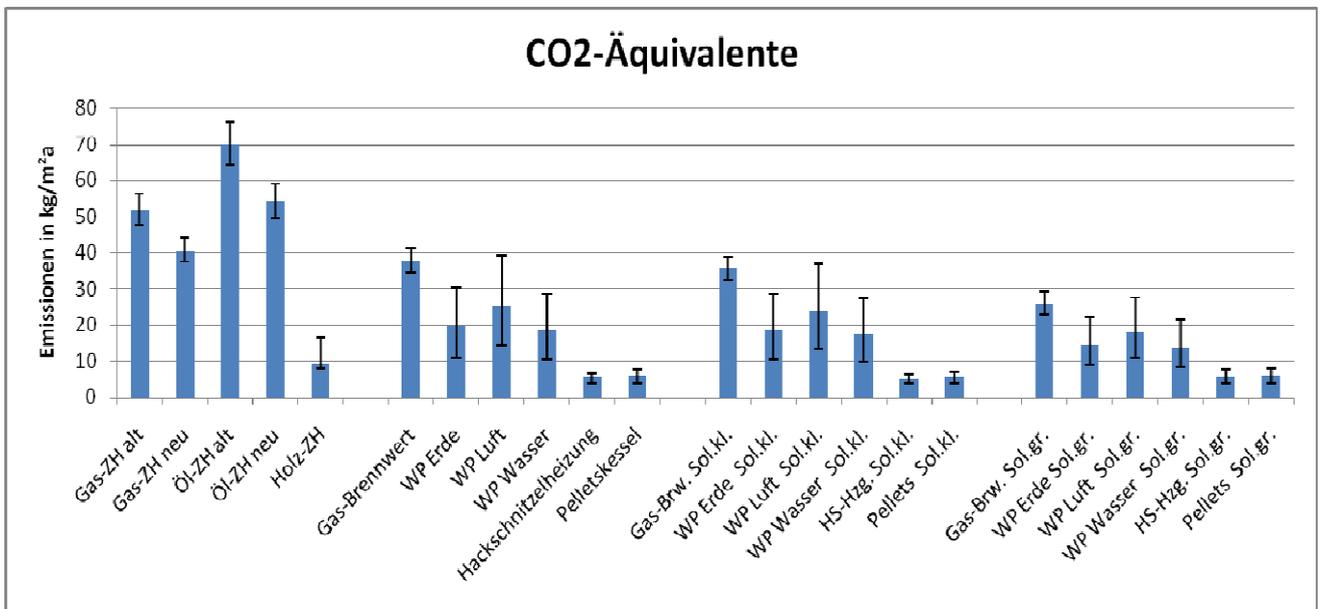


Abb. A.6.1: Jährliche Emissionen von CO₂-Äquivalenten pro m² Nutzfläche für verschiedene Heizungssysteme in einem EFH, erbaut zwischen 1971 und 1980

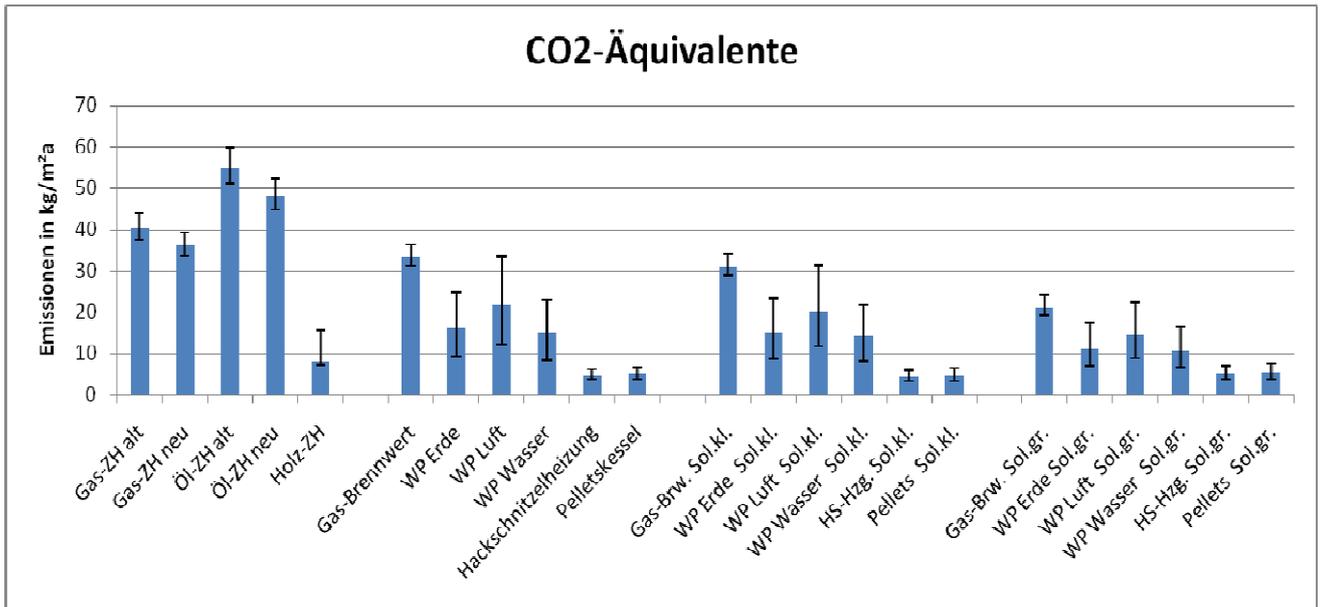


Abb. A.6.2: Jährliche Emissionen von CO₂-Äquivalenten pro m² Nutzfläche für verschiedene Heizungssysteme in einem EFH, erbaut zwischen 1981 und 1990

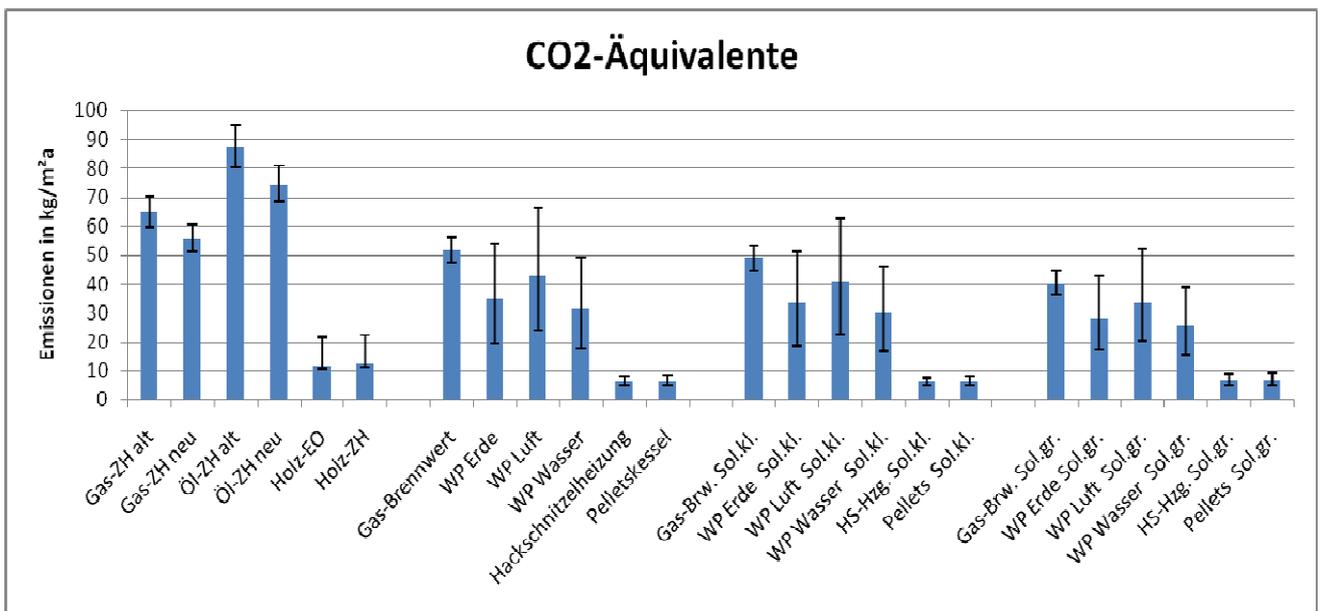


Abb. A.6.3: Jährliche Emissionen von CO₂-Äquivalenten pro m² Nutzfläche für verschiedene Heizungssysteme in einem 2-FH, erbaut vor 1970

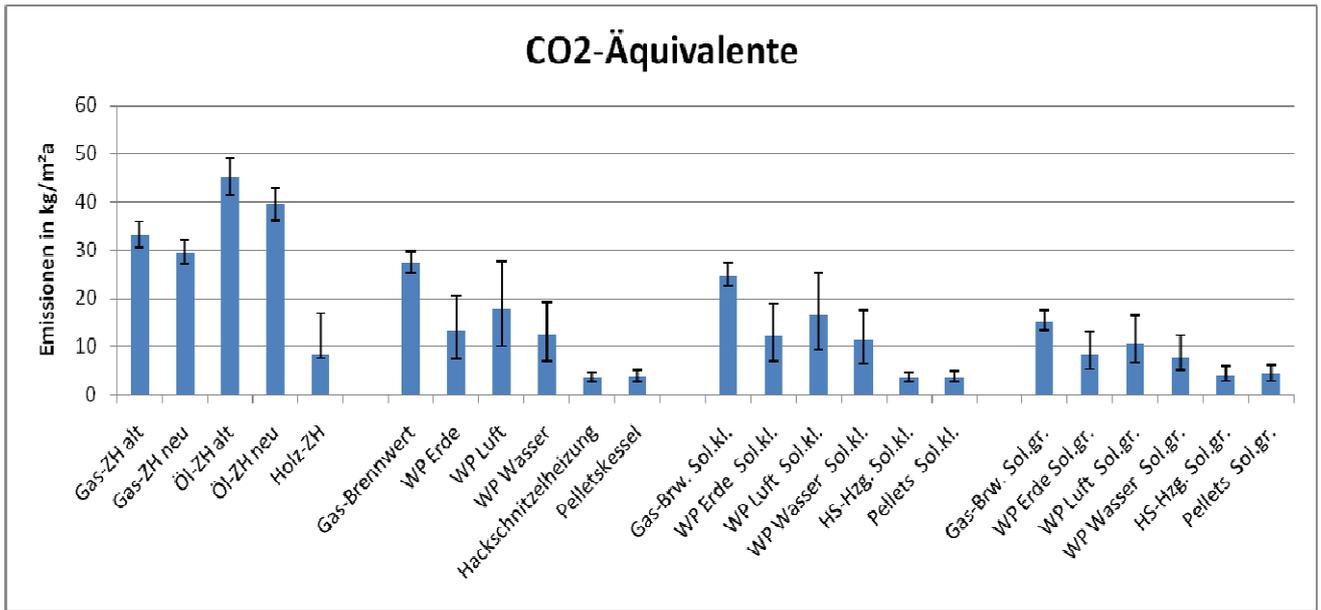


Abb. A.6.4: Jährliche Emissionen von CO₂-Äquivalenten pro m² Nutzfläche für verschiedene Heizungssysteme in einem 2-FH, erbaut zwischen 1981 und 1990

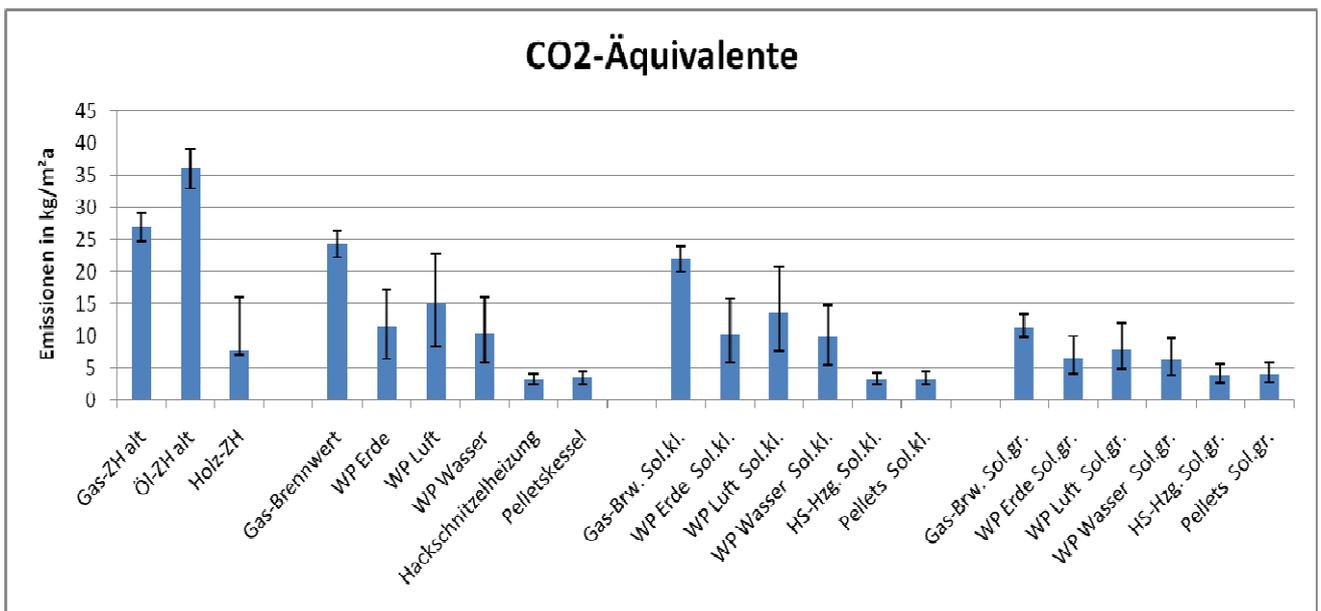


Abb. A.6.5: Jährliche Emissionen von CO₂-Äquivalenten pro m² Nutzfläche für verschiedene Heizungssysteme in einem 2-FH, erbaut zwischen 1991 und 2000

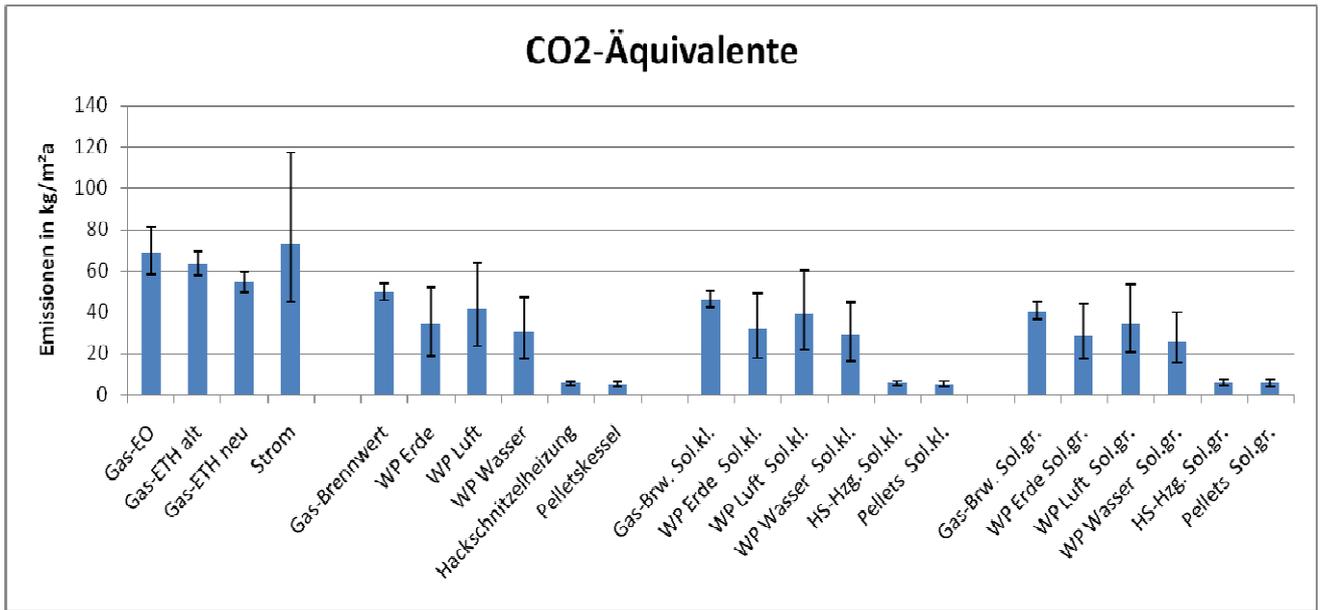


Abb. A.6.6: Jährliche Emissionen von CO₂-Äquivalenten pro m² Nutzfläche für verschiedene Heizungssysteme in einem kleinen MFH, erbaut vor 1919

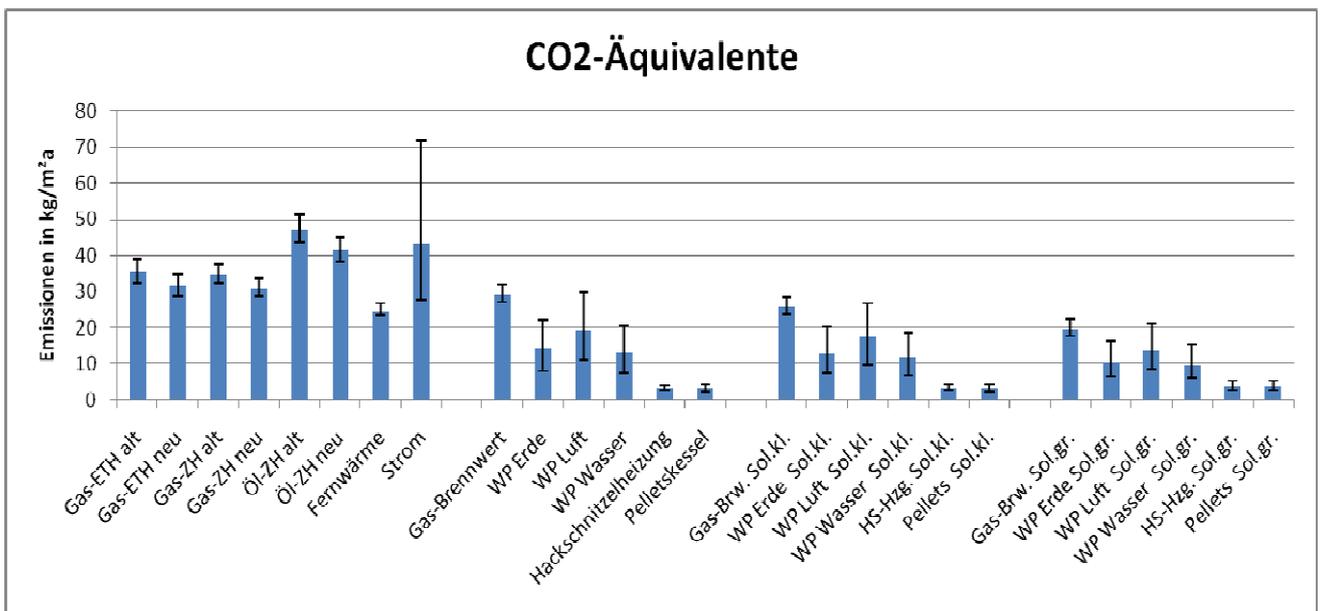


Abb. A.6.7: Jährliche Emissionen von CO₂-Äquivalenten pro m² Nutzfläche für verschiedene Heizungssysteme in einem kleinen MFH, erbaut zwischen 1981 und 1990

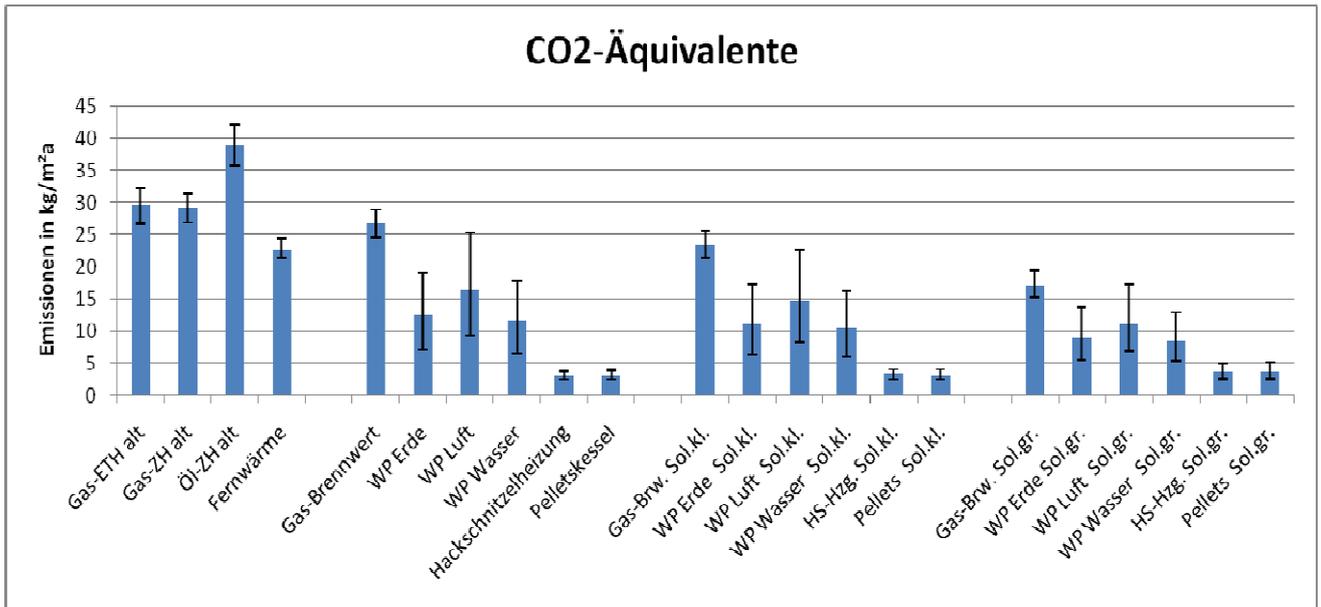


Abb. A.6.8: Jährliche Emissionen von CO₂-Äquivalenten pro m² Nutzfläche für verschiedene Heizungssysteme in einem kleinen MFH, erbaut zwischen 1991 und 2000

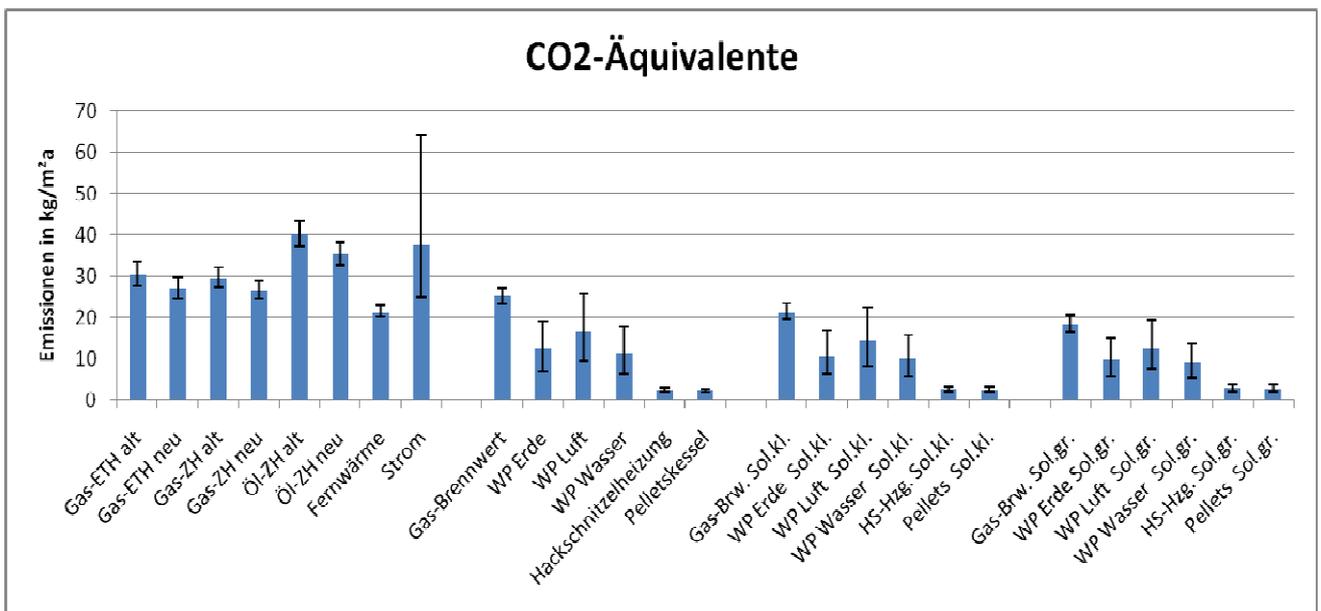


Abb. A.6.9: Jährliche Emissionen von CO₂-Äquivalenten pro m² Nutzfläche für verschiedene Heizungssysteme in einem großen MFH, erbaut zwischen 1981 und 1990

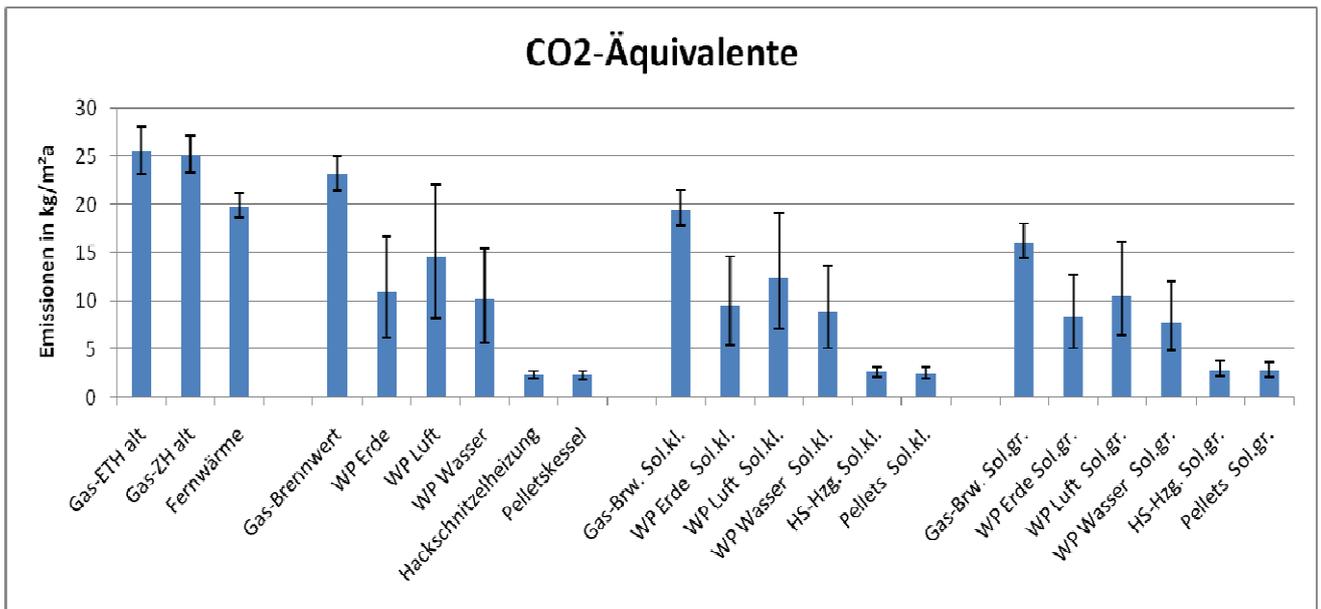


Abb. A.6.10: Jährliche Emissionen von CO₂-Äquivalenten pro m² Nutzfläche für verschiedene Heizungssysteme in einem großen MFH, erbaut zwischen 1991 und 2000

A.6b SO₂-Äquivalente der Gesamtszenarien

Es muss darauf hingewiesen werden, dass es bei den Stückholzheizungen zu starken Abweichungen kommen kann, da sich die Technologie im Laufe der Zeit stark verbessert hat.

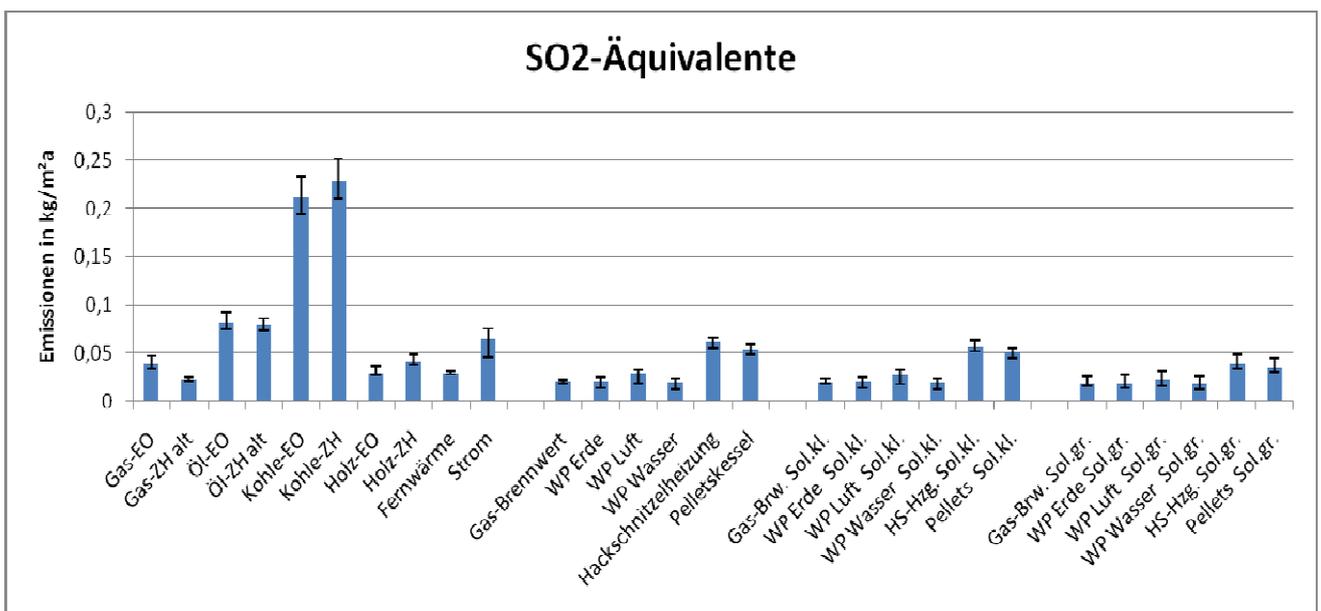


Abb. A.6.11: Jährliche Emissionen von SO₂-Äquivalenten pro m² Nutzfläche für verschiedene Heizungssysteme in einem EFH, erbaut von 1991-2000

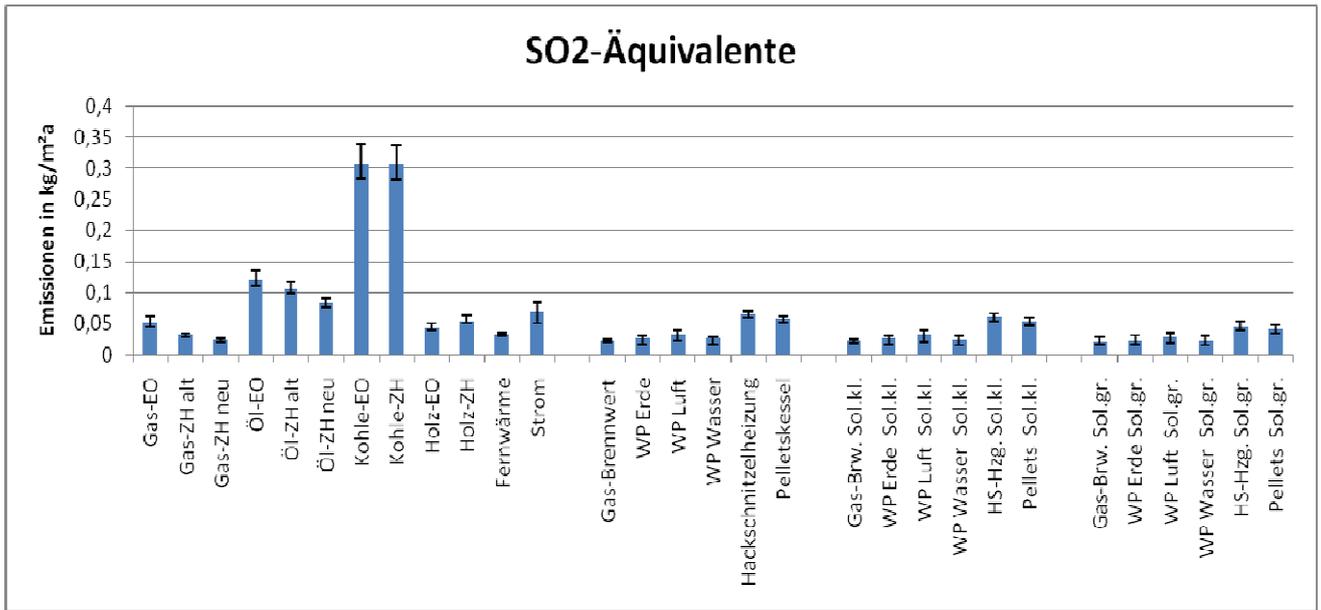


Abb. A.6.12: Jährliche Emissionen von SO₂-Äquivalenten pro m² Nutzfläche für verschiedene Heizungssysteme in einem 2-FH, erbaut von 1971-80

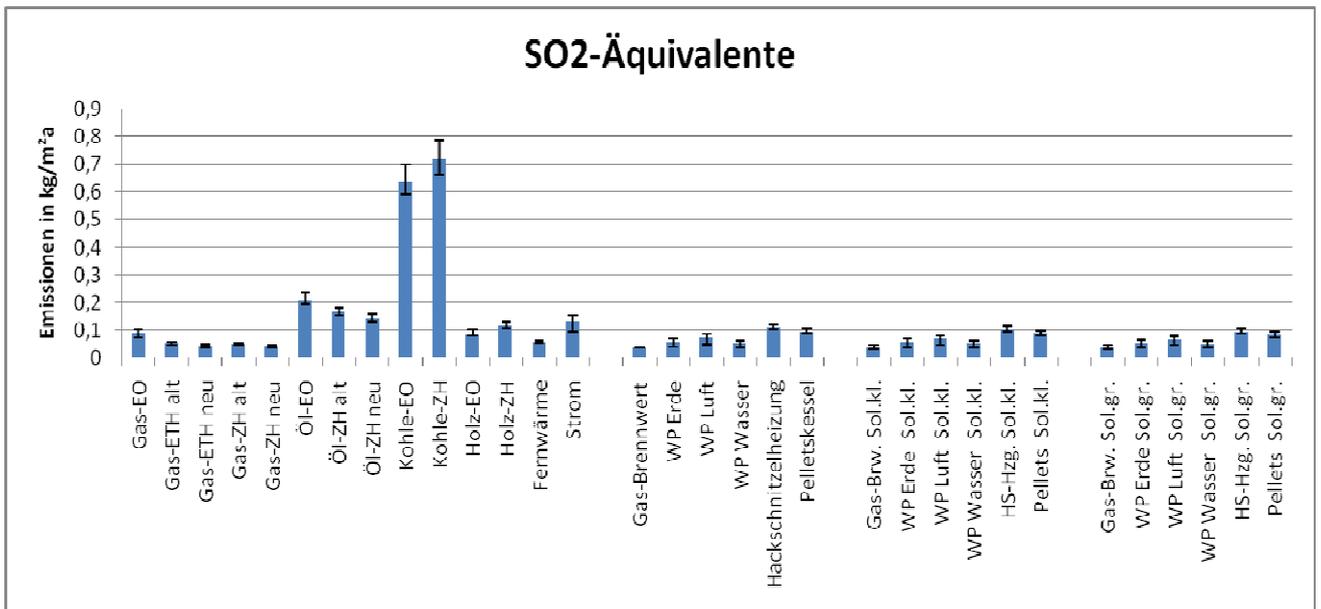


Abb. A.6.13: Jährliche Emissionen von SO₂-Äquivalenten pro m² Nutzfläche für verschiedene Heizungssysteme in einem kleinen MFH, erbaut von 1919-70

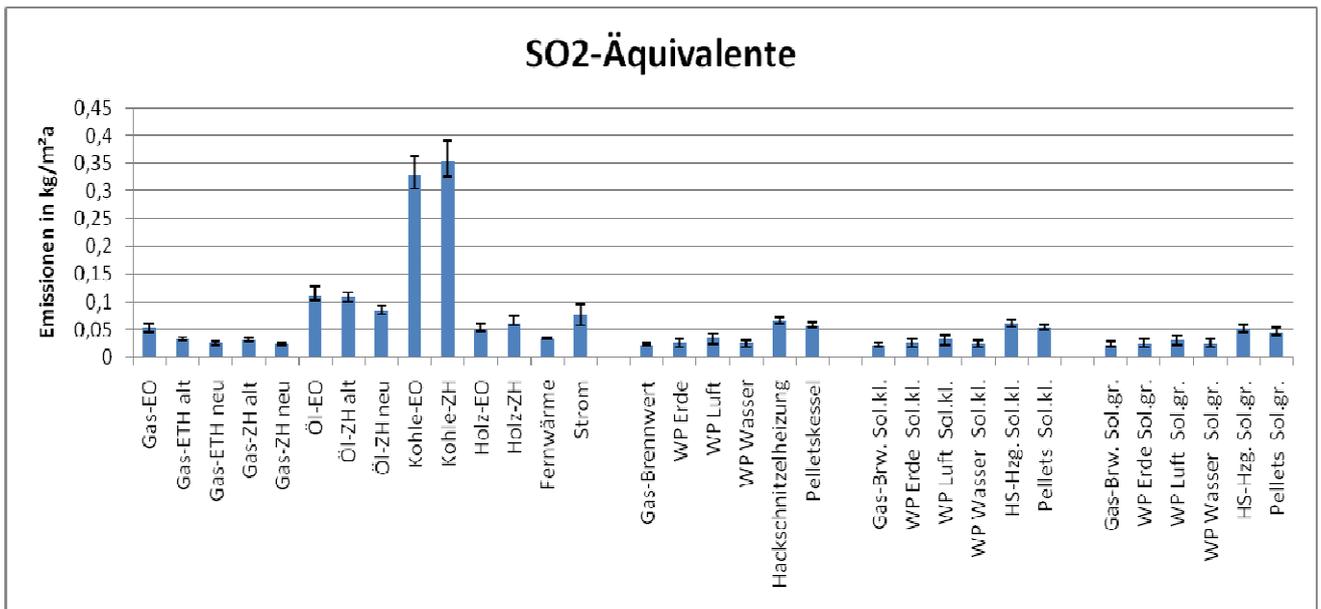


Abb. A.6.14: Jährliche Emissionen von SO₂-Äquivalenten pro m² Nutzfläche für verschiedene Heizungssysteme in einem kleinen MFH, erbaut von 1971-80

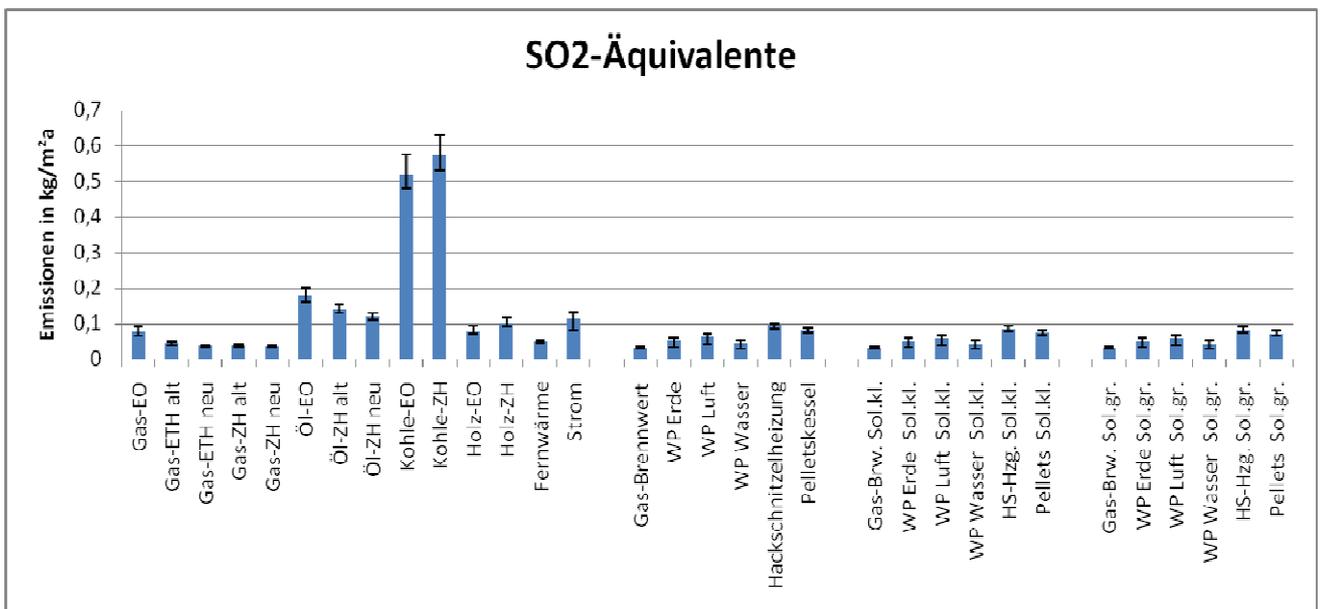


Abb. A.6.15: Jährliche Emissionen von SO₂-Äquivalenten pro m² Nutzfläche für verschiedene Heizungssysteme in einem großen MFH, erbaut vor 1970

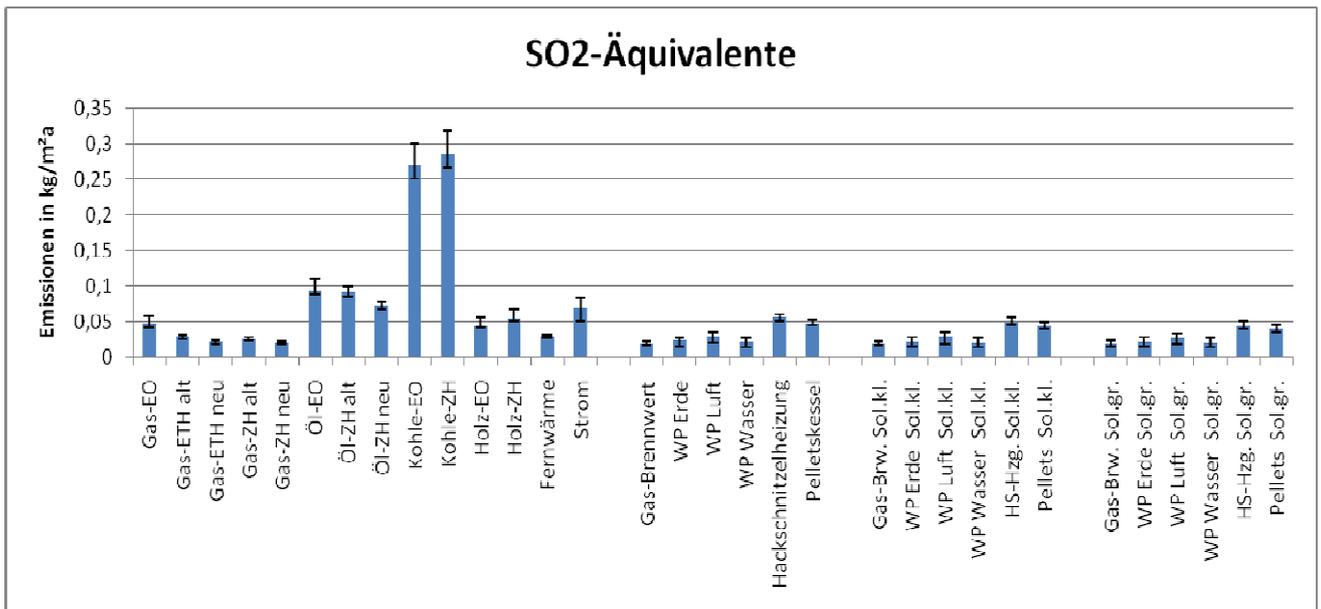


Abb. A.6.16: Jährliche Emissionen von SO₂-Äquivalenten pro m² Nutzfläche für verschiedene Heizungssysteme in einem großen MFH, erbaut von 1971-80

A.6c TOPP-Äquivalente

Es muss darauf hingewiesen werden, dass es bei den Stückholzheizungen zu starken Abweichungen kommen kann, da sich die Technologie im Laufe der Zeit stark verbessert hat.

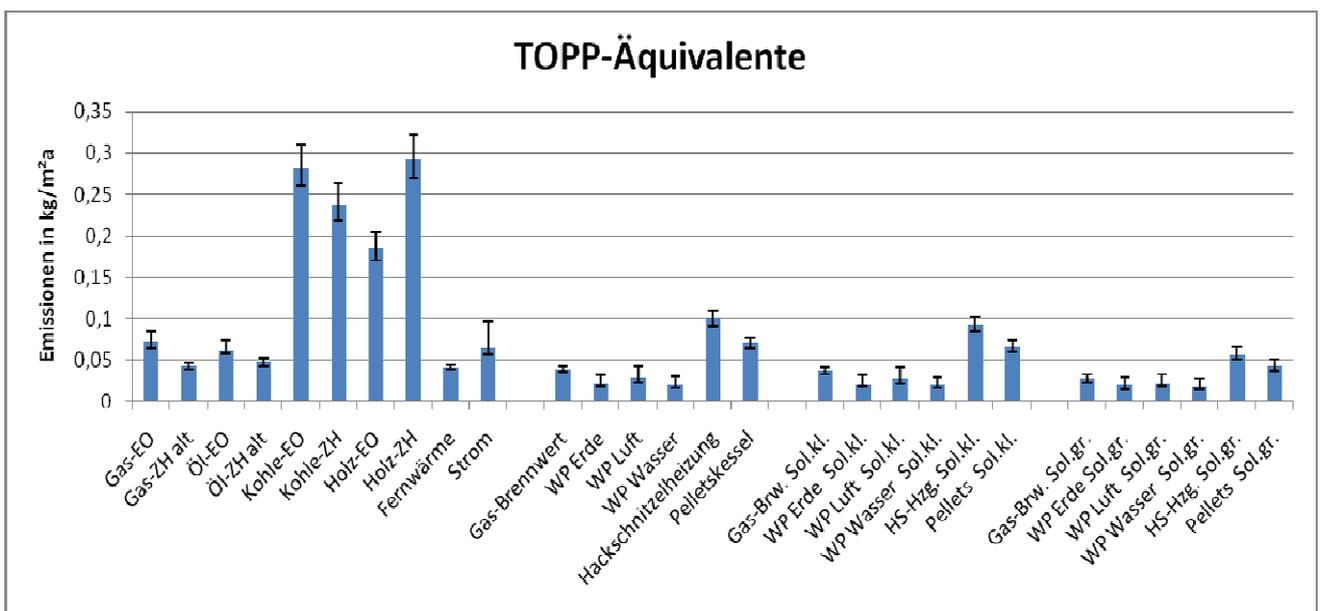


Abb. A.6.17: Jährliche Emissionen von TOPP-Äquivalenten pro m² Nutzfläche für verschiedene Heizungssysteme in einem EFH, erbaut von 1991-2000

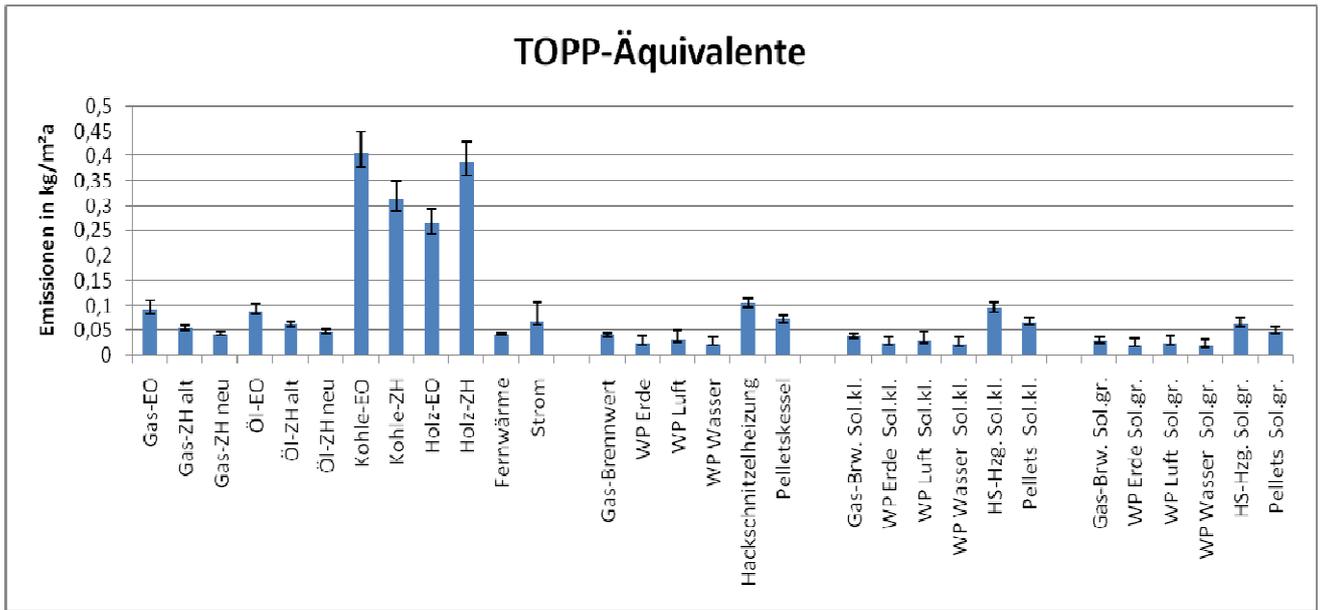


Abb. A.6.18: Jährliche Emissionen von TOPP-Äquivalenten pro m² Nutzfläche für verschiedene Heizungssysteme in einem 2-FH, erbaut von 1971-80

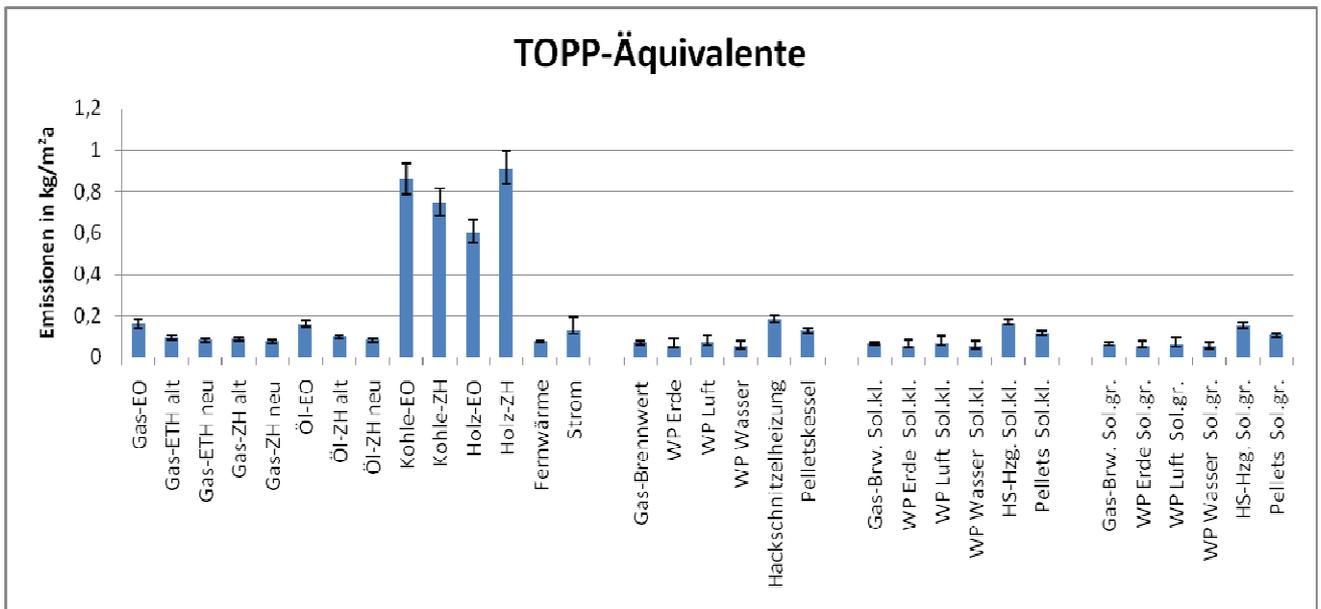


Abb. A.6.19: Jährliche Emissionen von TOPP-Äquivalenten pro m² Nutzfläche für verschiedene Heizungssysteme in einem kleinen MFH, erbaut von 1919-70

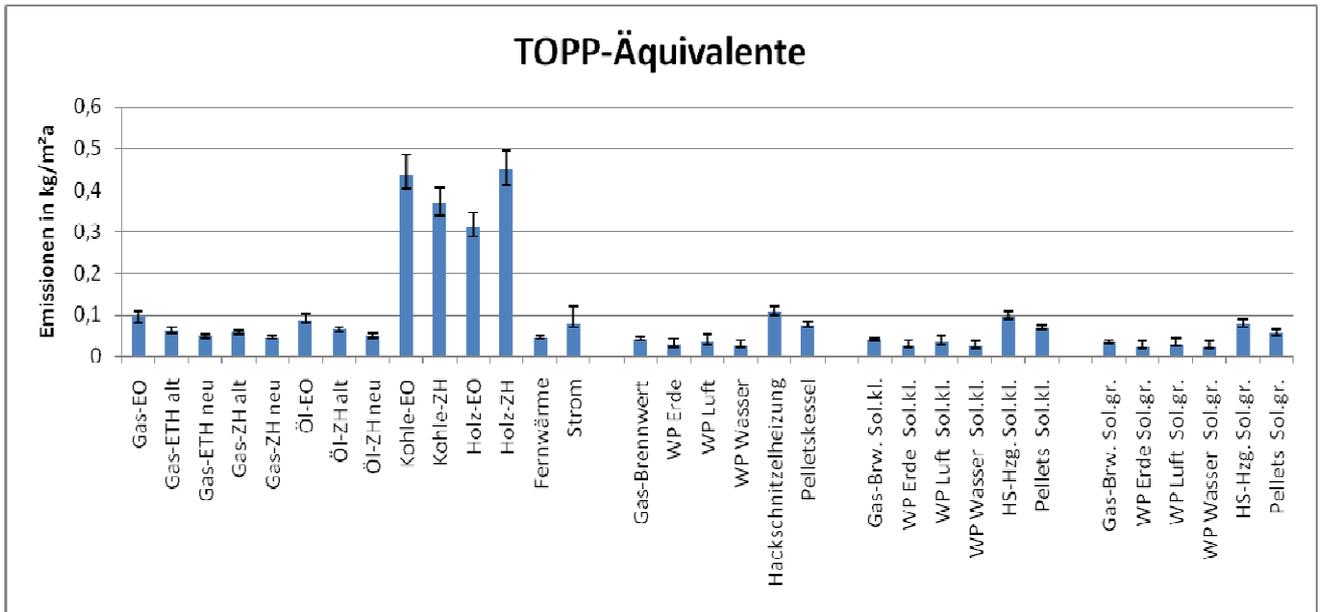


Abb. A.6.20: Jährliche Emissionen von TOPP-Äquivalenten pro m² Nutzfläche für verschiedene Heizungssysteme in einem kleinen MFH, erbaut von 1971-80

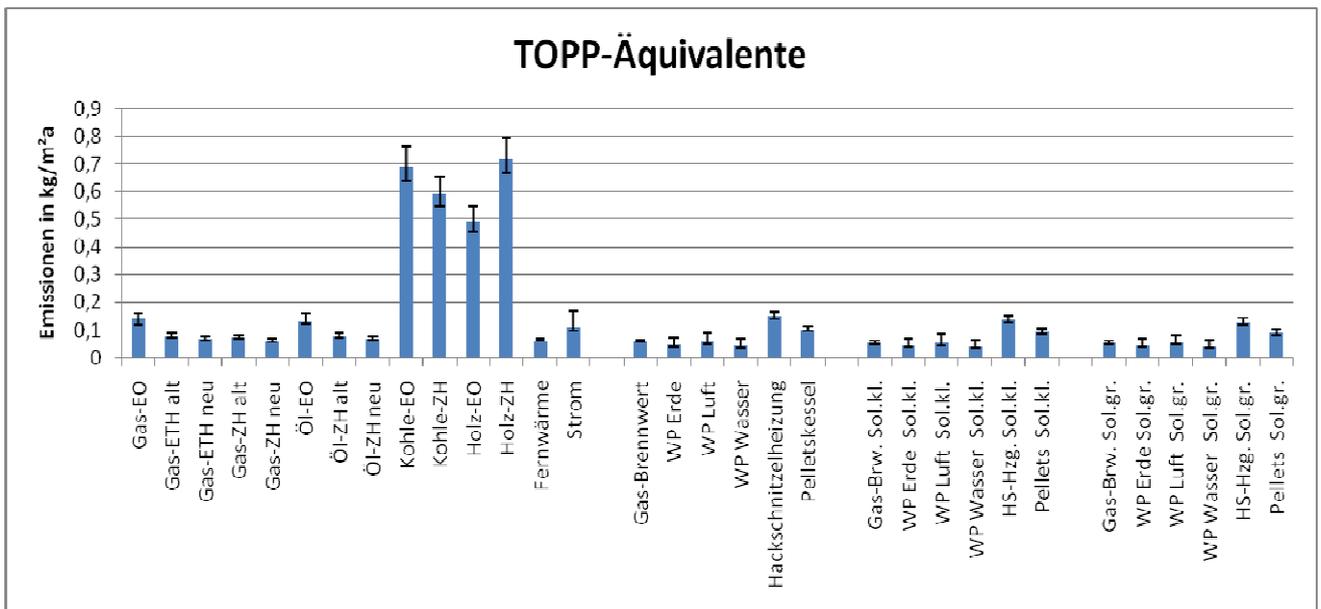


Abb. A.6.21: Jährliche Emissionen von TOPP-Äquivalenten pro m² Nutzfläche für verschiedene Heizungssysteme in einem großen MFH, erbaut vor 1970

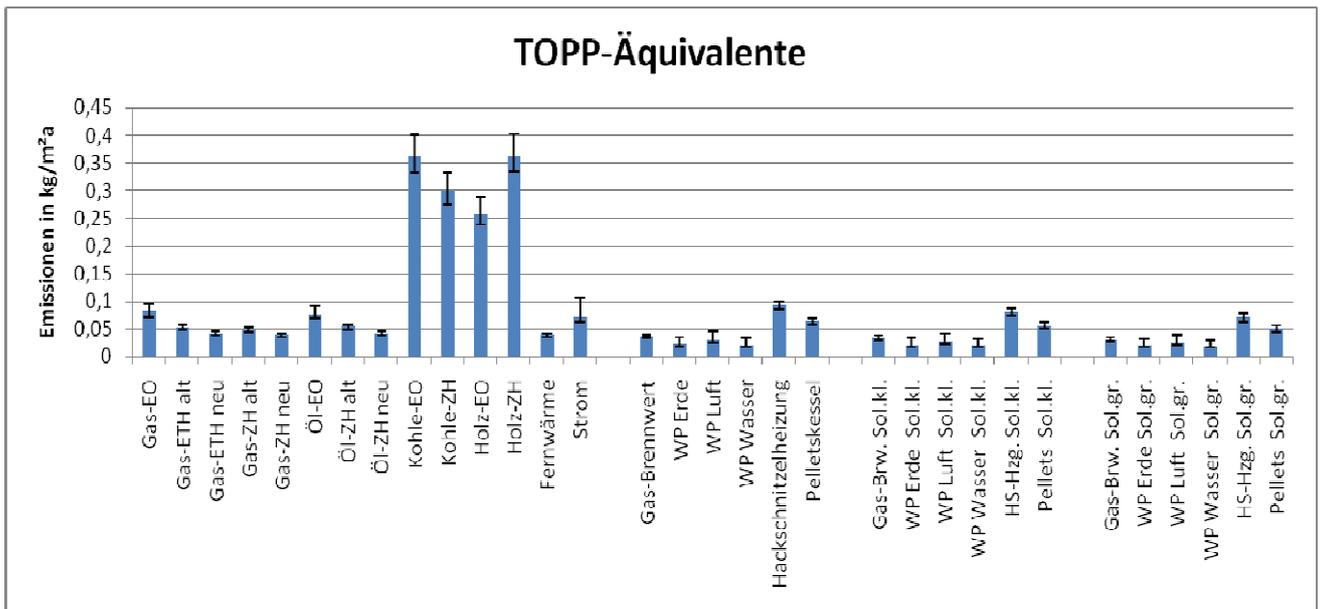


Abb. A.6.22: Jährliche Emissionen von TOPP-Äquivalenten pro m² Nutzfläche für verschiedene Heizungssysteme in einem großen MFH, erbaut von 1971-80

A.6d Staub

Es muss darauf hingewiesen werden, dass es bei den Stückholzheizungen zu starken Abweichungen kommen kann, da sich die Technologie im Laufe der Zeit stark verbessert hat. Bei diesen beiden Systemen wurden Zahlen des Umweltbundesamts verwendet.

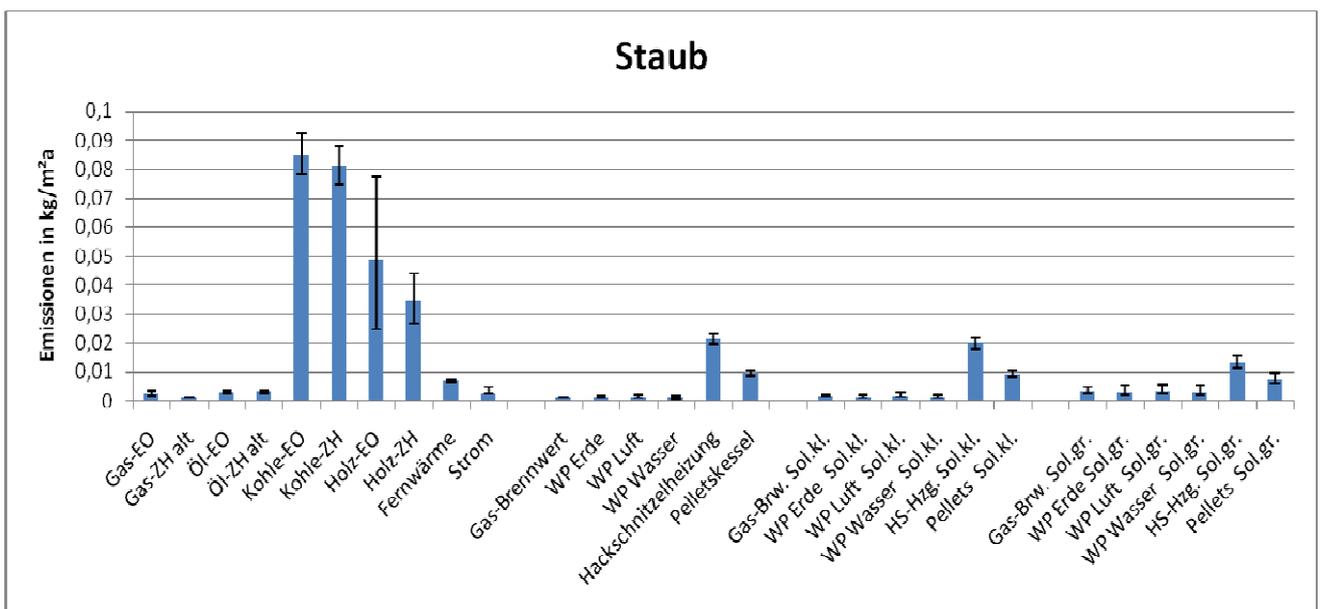


Abb. A.6.23: Jährliche Staubemissionen für verschiedene Heizungssysteme pro m² Nutzfläche in einem EFH, erbaut von 1991-2000

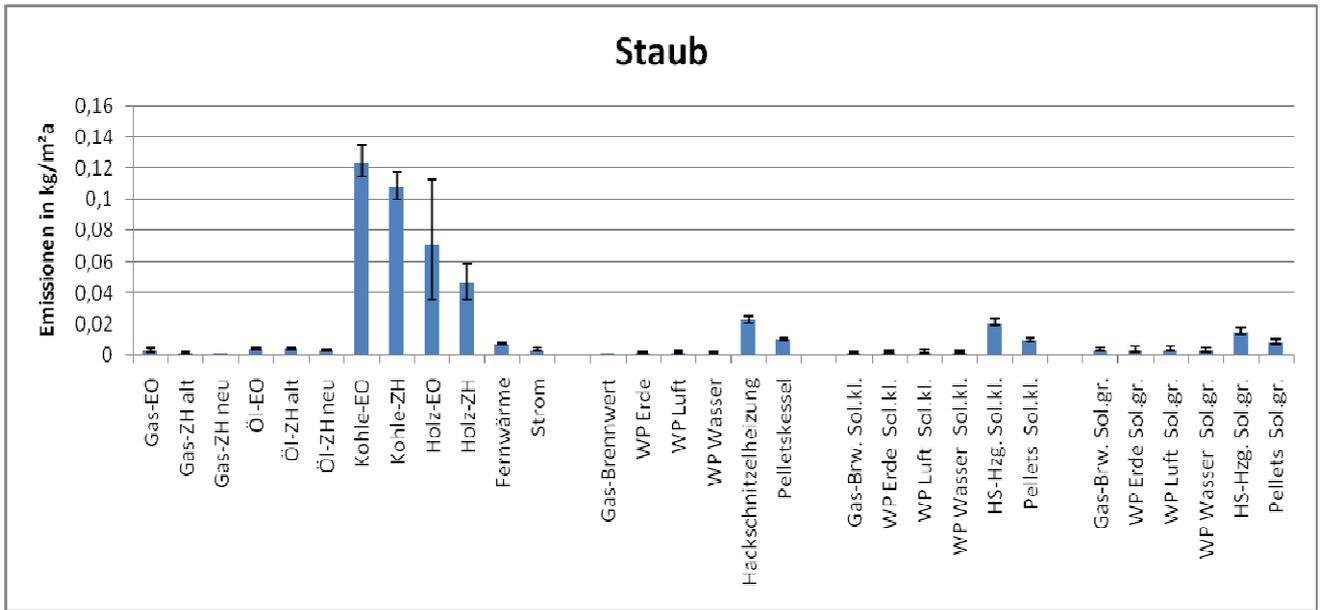


Abb. A.6.24: Jährliche Staubemissionen für verschiedene Heizungssysteme pro m² Nutzfläche in einem 2-FH, erbaut von 1971-80

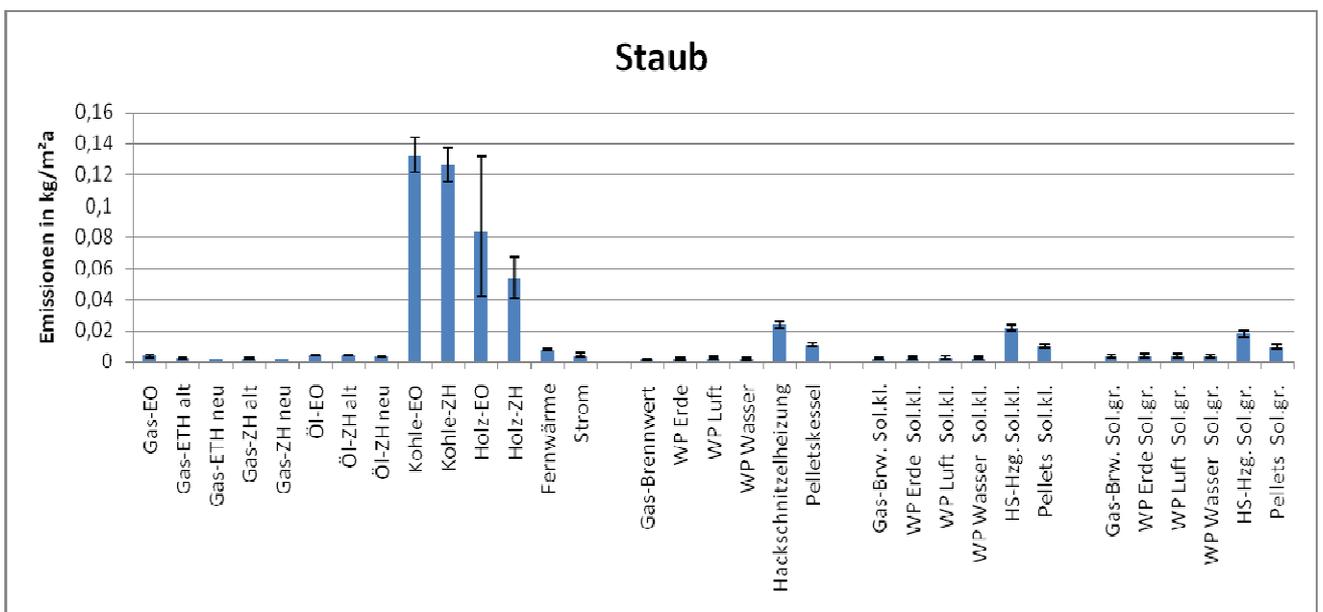


Abb. A.6.25: Jährliche Staubemissionen für verschiedene Heizungssysteme pro m² Nutzfläche in einem kleinen MFH, erbaut von 1971-80

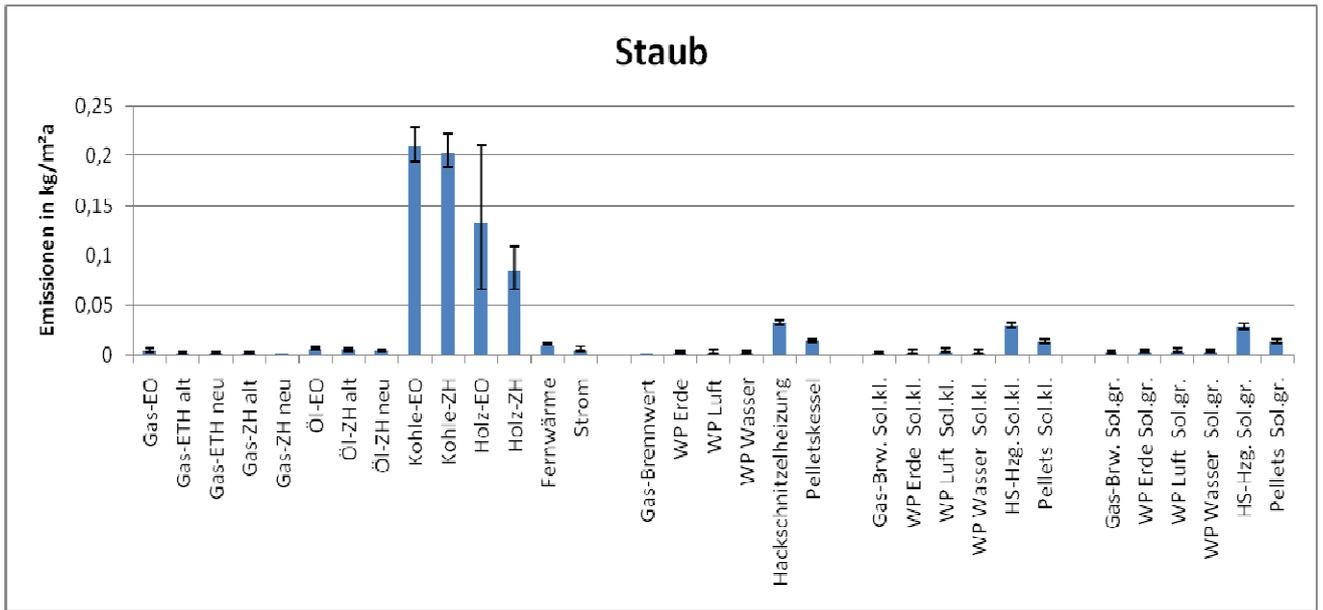


Abb. A.6.26: Jährliche Staubemissionen für verschiedene Heizungssysteme pro m² Nutzfläche in einem großen MFH, erbaut vor 1970

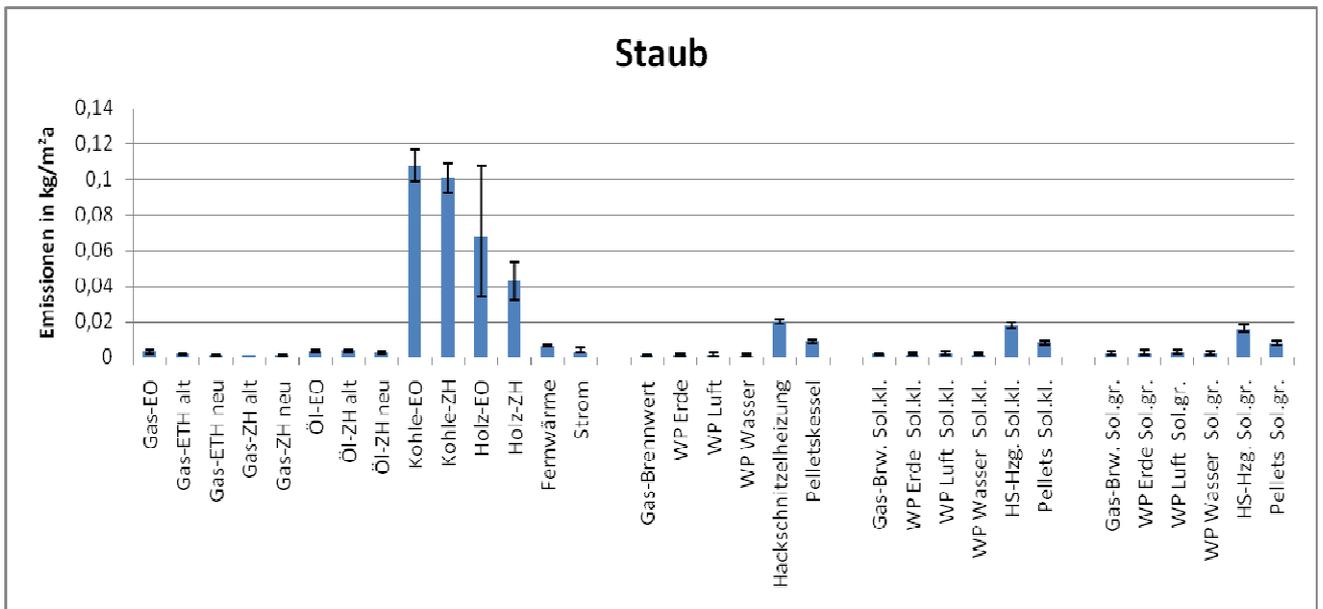


Abb. A.6.27: Jährliche Staubemissionen für verschiedene Heizungssysteme pro m² Nutzfläche in einem großen MFH, erbaut von 1971-80

A.7 Verwendete Fachbegriffe

Autarkie: Fähigkeit einer Einheit (Haushalt, Stadt, Region, Staat) sich selbst versorgen zu können (keine Importabhängigkeit), hier im Besonderen im Zusammenhang mit Energieversorgung verwendet.

Endenergie: Energiemenge, die dem Verbraucher theoretisch zur Verfügung steht. Die E. entspricht der → Primärenergie abzüglich der Umwandlungs- und Transportverluste.

Heizgradtage (HGT): Klimaparameter, der (meist über den Jahreszeitraum) die täglichen Differenzen zwischen 20°C und der Tagesmitteltemperatur aufsummiert, sofern letztere unter 12°C liegt.

Beispiel: Am Tag 1 beträgt die Tagesmitteltemperatur 5°C. Die Differenz zwischen dieser und 20°C beträgt 15°C. Somit gilt für diesen Tag $HGT = 15$.

Am Tag 2 beträgt die Tagesmitteltemperatur 14°C. Dieser Wert liegt über 12°C und daher gilt für diesen Tag $HGT = 0$.

Summiert man diese Beiträge über ein Jahr auf, so erhält man die standortabhängige Zahl der Heizgradtage. Diese sind ein gutes Maß für den Heizenergiebedarf. Sie werden sowohl in Normen als auch in [6] veröffentlicht.

Heizlast eines Gebäudes: Maximal zu erwartender Nutzleistungsbedarf eines Gebäudes zur Aufrechterhaltung der Norminnentemperatur. Die Berechnung erfolgt nach Normen (In Österreich ÖNORM M 7500 und B 8135.) Danach erfolgt die Auslegung des Heizungssystems, wobei stets ein Überdimensionierungsfaktor (infolge fehlender Berechnungen meist großzügig gewählt) berücksichtigt wird.

Jahresnutzungsgrad: Verhältnis zwischen über das Jahr gelieferter Nutzenergie, z.B. Raumwärme, die von einem Heizungssystem geliefert wurde, und dem unteren Brennwert des zugeführten Brennstoffes bzw. der Menge an umgesetztem elektrischem Strom (→ Endenergie).

Nutzenergie: Energiemenge, die vom Verbraucher praktisch genutzt werden kann. Sie entspricht der → Endenergie abzüglich der Anlagenverluste z.B. eines Heizkessels oder Ofens (→ Jahresnutzungsgrad).

Primärenergie: Energie, die am Beginn der Kette, also in den in der Natur vorkommenden Energieträgern zur Verfügung steht.

Siebertsche Formel: Formel zur Berechnung der Abgasverluste einer Kesselanlage. Sie beinhaltet empirische Parameter, die vom Brennmateriale abhängen:

$$q_A = (\vartheta_A - \vartheta_L) \cdot \left(\frac{A}{CO_2} + B \right),$$

wobei q_A der Abgasverlust in %,

ϑ_A die Abgastemperatur,

ϑ_L die Verbrennungslufttemperatur,

CO_2 der CO_2 -Gehalt des Abgases in Vol.-%

sowie A und B spezifische Parameter sind.
 Letztere sind in Tab. 14.1 zusammengefasst.

Tab. 14.1: Brennstoffspezifische Parameter in der Siegertschen Formel nach [1], bezogen auf den Heizwert

	Erdgas	Heizöl EL
A	0,37	0,5
B	0,009	0,007

Man erkennt daraus, dass die Abgasverluste für Erdgas unter einem CO₂-Gehalt von 65 % niedriger als bei Heizöl EL sind, darüber wären sie höher. Solche Werte werden aber bei weitem nicht erreicht, sie liegen vielmehr im Bereich von 10 %. Daher sind die Abgasverluste in der Realität bei Öl stets höher als bei Gas.

A.8 Verwendete Abkürzungen

1...Bauperiode vor 1919

2...Bauperiode 1919-44

3...Bauperiode 1945-60

4...Bauperiode 1961-70

5...Bauperiode 1971-80

6...Bauperiode 1981-90

7...Bauperiode nach 1991

2-FH...Zweifamilienhaus

A...Einfamilienhaus

B...Zweifamilienhaus

C...Wohnhaus mit 3 bis 10 Einheiten

D...Wohnhaus mit mehr als 11 Einheiten

EFH...Einfamilienhaus

EO...Einzelofen

ETH...Etagenheizung

GEMIS...**G**lobales **E**missions**m**odell integrierter **S**ysteme: Programm zur Ermittlung von Emissionen und Kosten verschiedenster Prozesse mit Vergleichsmöglichkeit verschiedener Optionen (Nähere Informationen finden sich in Abschnitt 6.2.1 sowie auf www.gemis.de)

Gasbrw. oder Gas-Brw. ...Gas-Heizkessel mit Brennwerttechnologie

HGT...Heizgradtage

HS...Hackschnitzelheizung

JNG...Jahresnutzungsgrad

MFH...Mehrfamilienhaus

UCTE-Mix...Strom-Mix, der für jenen Anteil herangezogen wird, für den keine Stromkennzeichnung vorhanden ist. UCTE steht für „**U**nion for the **c**oordination of **t**ransmission of **e**lectricity“

WE..Wohneinheit(en), d.h. Anzahl von Wohnungen

ZH...Zentralheizung