

# Heizen 2050



1950

2000

2050



Systeme zur Wärmebereitstellung und Raumklimatisierung im österreichischen Gebäudebestand: Technologische Anforderungen bis zum Jahr 2050

Andreas Müller, Peter Biermayr, Lukas Kranzl, Reinhard Haas,  
Florian Altenburger, Irene Bergmann, Günther Friedl,  
Walter Haslinger, Richard Heimrath, Ralf Ohnmacht, Werner Weiss

Endbericht zum Forschungsprojekt Nr. 814008, Dezember 2010



Dieses Forschungsprojekt wurde aus Mitteln des Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen des Programms „ENERGIE DER ZUKUNFT“ durchgeführt.



# Heizen 2050

Systeme zur Wärmebereitstellung und Raumklimatisierung im österreichischen Gebäudebestand:  
Technologische Anforderungen bis zum Jahr 2050

TU-Wien, Energy Economics Group  
DI. Andreas Müller  
DI. Dr. Peter Biermayr, DI. Dr. Lukas Kranzl,  
ao. Univ. Prof. Dr. Reinhard Haas



Bioenergy 2020+  
(vormals Austrian Bioenergy Centre GmbH)  
DI. Dr. Günther Friedl, DI. Dr. Walter Haslinger,  
Ralf Ohnmacht



AEE INTEC  
Institut für nachhaltige Technologien  
Dipl.-Päd. Ing. Werner Weiss,  
DI Irene Bergmann



TU Graz, Institut für Wärmetechnik  
DI. Dr. Richard Heimrath,  
BSc Florian Altenburger



Dieses Forschungsprojekt wurde aus Mitteln des  
Klima- und Energiefonds gefördert und im  
Rahmen des Programms „ENERGIE DER  
ZUKUNFT“ durchgeführt.



Wien, Dezember 2010



## Vorwort



Die notwendigen Merkmale langfristig stabiler Gesellschaften liegen heute klar vor uns. Diese Erfordernisse wurden historisch mit der beginnenden Nutzung fossiler Energie und der damit einhergehenden industriellen Revolution für eine überschaubare Anzahl von Dekaden außer Kraft gesetzt. In dieser Zeit wurde in vielen Gesellschaften der Welt auf Kosten nicht erneuerbarer Ressourcen und auf Kosten der Biotopqualitäten der Erde ein zuvor noch nie dagewesenes Niveau der Produktion, des Konsums und der Verschwendung erreicht.

Die kommenden Dekaden werden mit der zunehmenden Verknappung fossiler Ressourcen, der fortlaufenden Reduktion der Biotopqualität der Erde und der weiterhin wachsenden Weltbevölkerung zwangsläufig zu einer weitreichenden gesellschaftlichen Transformation führen. Das erreichbare Energiedienstleistungsniveau der Zukunft wird dabei vom Zeitpunkt einer planmäßigen Systemumstellung abhängen. Wird der Lauf der Dinge jedoch abgewartet, so wird sich aus Mangel an zukunftsfähigem Kapital und der fehlenden Möglichkeit zur Systemreproduktion das gewohnte Dienstleistungsniveau dramatisch reduzieren.

Aus dieser Motivation heraus wurden und werden seit einigen Jahren auf unterschiedlichen Ebenen Ziele z.B. für das Jahr 2020 formuliert, welche uns den erforderlichen gesellschaftlichen Merkmalen näher bringen werden. Für technologische Bereiche mit langen Technologielebensdauern, hohen Investitionserfordernissen und einer ausgeprägten Tradition, wie dies bei Gebäuden und Heizsystemen der Fall ist, liegen jedoch große Systemträgheiten vor. Diese Trägheiten erfordern eine langfristige Sichtweise über das Jahr 2020 hinaus, beharrliche strategische Maßnahmen und wirksame energiepolitische Rahmenbedingungen.

Die vorliegenden Ergebnisse des Forschungsprojektes "Heizen 2050" eröffnen einen Zugang zu langfristigen Zusammenhängen und zukunftsfähigen technologischen Lösungen im Bereich der Raumkonditionierung und der Brauchwassererwärmung bis zum Jahr 2050. Die Ergebnisse veranschaulichen die Wechselwirkungen von Effizienzmaßnahmen und dem Einsatz erneuerbarer Energie und führen anhand von Szenarien den Lösungsraum in Abhängigkeit gewählter Strategien vor Augen. Die Ergebnisse von Heizen 2050 stellen damit energie- und unternehmenspolitische Planungs- und Entscheidungsgrundlagen dar und erbringen strategische Informationen für den Bereich der Forschung und Entwicklung.

Für das Projektteam: Peter Biermayr



# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Kurzfassung</b>	<b>10</b>
<b>2. Abstract</b>	<b>11</b>
<b>3. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen</b>	<b>12</b>
3.1 Einleitung	12
3.2 Ergebnisse	12
3.3 Schlussfolgerungen	18
3.3.1 Entwicklung des Gebäudebestandes und zukünftiger Energiebedarf	18
3.3.2 Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energie	19
3.3.3 Schlüsseltechnologien und Qualitätssicherung	20
3.3.4 Die Zukunft der Wärmenetze	20
3.3.5 Energiepolitische Empfehlungen	21
3.3.6 Themen für die zukünftige Forschung und Entwicklung	23
3.3.7 Empfehlungen für Technologieproduzenten	23
<b>4. Einleitung</b>	<b>25</b>
4.1 Aufgabenstellung und Motivation	25
4.2 Schwerpunkte des Projektes	25
4.3 Einordnung in das Forschungsprogramm	26
4.4 Verwendete Methoden und Daten	26
4.5 Aufbau der Arbeit	28
<b>5. Methode und Daten</b>	<b>29</b>
5.1 Modell ERNSTL/EE-LAB	29
5.1.1 Methodik	29
5.1.1.1 Heizenergiebedarf	33
5.1.1.2 Tausch des Heizungssystems: Entscheidungsfindung	39
5.2 Energiepreisentwicklung	40
<b>6. Der Wärmebedarf österreichischer Gebäude bis 2050</b>	<b>43</b>
6.1 Die Entwicklung der Gebäudezahlen bis 2050	43
6.2 Die Entwicklung der Gebäudesanierung bis 2050	45
6.3 Die Entwicklung des Wärmebedarfes der Gebäude bis 2050	47
6.4 Technologiestrategische Überlegungen	49
<b>7. Technologieszenarien</b>	<b>58</b>
7.1 Definition der Szenarien	58
7.2 Ergebnisse des BAU1-Szenarios	61
7.2.1 Ausstattung der Gebäude mit Technologien	61
7.2.2 Energie-Mix, Anteil erneuerbarer Energie und Selbstversorgungsgrad	62
7.2.3 CO <sub>2</sub> -Emissionen	64

7.2.4 Investitionen in Technologien	64
7.2.5 Nicht-CO2 Emissionen	65
7.3 Anteil erneuerbarer Energie – Vergleich der Szenarien	73
7.4 Steuereinnahmen aus CO <sub>2</sub> -Steuern	74
7.5 Kosten der Förderungsmaßnahmen	75
7.6 Investitionen – Vergleich der Szenarien	75
<b>8. Technologielinien 2050</b>	<b>77</b>
8.1 Systeme zur Nutzung fester Biomasse	77
8.1.1 Ausgangsbasis	77
8.1.2 Schlüsseltechnologien	78
8.1.3 Rahmenbedingung sinkende Heizlasten	80
8.1.4 Rahmenbedingung Rohstoffteuerung	80
8.1.5 Verdrängte Technologien	82
8.1.6 Klimaerwärmung	82
8.1.7 Systemkombinationen	82
8.1.8 Storyline “BAU Szenario“	82
8.1.9 Storyline “Ambitioniertes Szenario“	84
8.2 Solarthermie	87
8.2.1 Historische Entwicklung der Technologie	87
8.2.2 Status quo in Hinblick auf Technologie, Anwendungen und Marktdiffusion	88
8.2.3 Innovationsschübe und deren Hintergründe	89
8.2.4 Zukünftige Chancen aus technologischer Sicht	90
8.2.5 Forschungs- und Entwicklungsbedarf sowie Kostensenkungspotenziale	91
8.2.6 Rahmenbedingung Wärmespeicherung	93
8.2.7 Rahmenbedingung Wärmepreise	94
8.2.8 Storyline “BAU-Szenario“	94
8.2.9 Storyline “Ambitioniertes Szenario“	95
8.3 Wärmepumpen	99
8.3.1 Historische Entwicklung	99
8.3.2 Marktsituation für Wärmepumpen in Österreich	100
8.3.3 Derzeitiger Entwicklungsstand	102
8.3.4 Zukünftige Entwicklung	103
8.3.5 Internationale Marktdurchdringung	105
8.3.6 Zukünftiger Bedarf an Forschung und Entwicklung	106
8.3.7 Storyline “BAU- Szenario“	107
8.3.8 Storyline “Ambitioniertes Szenario“	109
8.4 Systeme zur Nutzung fossiler Energie	112
8.4.1 Wärmebereitstellungssysteme auf Kohlebasis	112
8.4.2 Wärmebereitstellung auf Basis von Heizöl	114
8.4.3 Wärmebereitstellung auf Basis von Erdgas	115
8.5 Wärmenetze	117



8.5.1 Bestehende große Fernwärmenetze in dichten urbanen Strukturen und Einspeisung durch große Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen	117
8.5.2 Bestehende Nahwärmenetze	118
8.5.3 Neu zu errichtende Nahwärmenetze	118
8.5.4 Mikrowärmenetze	119
8.6 Mikro Kraft Wärme Kopplungen	120
8.7 Systeme zur Kühlung und Klimatisierung	124
8.7.1 Technologische Optionen für die Raumkühlung und –klimatisierung	124
8.7.2 Aktueller und zukünftiger Bedarf an Raumkühlung und –klimatisierung	124
<b>9. Literatur</b>	<b>127</b>

## 1. Kurzfassung

Die Entwicklung des zukünftigen Wärmebedarfs und der zukünftigen Wärmeversorgung von Gebäuden ist für die Erreichung nationaler Ziele im Bereich Klimaschutz und erneuerbare Energie von zentraler Bedeutung.

Im Projekt Heizen 2050 erfolgt aus diesem Grund die Analyse der langfristigen Entwicklung der österreichischen Gebäude, deren Wärmebedarf und der Wärmebedarfsdeckung bis zum Jahr 2050. Betrachtet werden dabei Wohngebäude und Nicht-Wohngebäude zahlreicher Kategorien. Hierfür werden die Energiedienstleistungsbereiche Raumwärme und Wärme für die Brauchwassererwärmung untersucht. Die Entwicklungen werden in Szenarien dargestellt und analysiert.

Der methodische Kern von Heizen 2050 besteht aus dem Gebäudemodell ERNSTL/EE-Lab das die Entwicklung des Gebäudebestandes, die Investitionsentscheidungen der Investoren und das Nutzerverhalten der Gebäudenutzer über die Zeit abbildet. Der überwiegende Anteil des Datenhintergrundes besteht aus disaggregierten Querschnittsdaten. Bei der Berechnung der Investitionsentscheidungen wird ein multinominaler Logit Ansatz verwendet.

Die Ergebnisse von Heizen 2050 zeigen für den Zeitraum nach 2020 nur noch einen leichten Anstieg der Gebäudezahl und ab 2030 eine Stagnation. Im Jahr 2050 wird es in Österreich voraussichtlich 1,855 Mio. Wohngebäude und 255.000 Nicht-Wohngebäude, zusammen also 2,110 Mio. Gebäude geben. Durch Gebäudesanierung kann im Betrachtungszeitraum bis 2050 vor allem bei Gebäuden der Bauperioden von 1945 bis 2000 ein sehr großes Einsparpotenzial umgesetzt werden. Wesentlich ist jedoch, dass bestmögliche Sanierungsqualität realisiert wird, da sonst schlecht sanierte Gebäude in Form des "Lock in Effektes" bis 2050 konserviert werden. Der Energiebedarf für Raumwärme und Brauchwassererwärmung in österreichischen Gebäuden erreichte im letzten Jahrzehnt mit ca. 103 TWh/a sein Maximum und sinkt im Modell unter der Annahme von qualitativ hochwertigen Sanierungen bis 2050 um 50% auf einen Wert von ca. 52 TWh/a. Der Effekt der Klimaerwärmung reduziert den Energiebedarf je nach Szenario zusätzlich um 8% - 15%. Beim Anteil erneuerbarer Energie unterscheiden sich verschiedene Szenarien vor allem im Zeitraum um das Jahr 2030. Hier besteht eine Bandbreite von 65% - 90% Erneuerbare im Energiemix des Jahres 2030.

Schlussfolgernd kann gesagt werden, dass zur langfristigen Minimierung des Energieverbrauchs für die Raumheizung und Brauchwassererwärmung ein Bündel an Maßnahmen erforderlich ist. Die Sicherstellung einer hohen Sanierungsqualität ist einer der wesentlichsten Punkte. Sehr guter Wärmeschutz, die Errichtung von Niedertemperatur-Wärmeverteilsystemen und der ausschließliche Einsatz von Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energie müssen energiepolitisch abgesichert werden. Darüber hinaus kommt der Entwicklung von technologischen Schlüsselkomponenten wie der Wärmespeicher mit hoher Wärmedichte große Bedeutung bei anstehenden Systeminnovationen zu.

## 2. Abstract

The future demand and supply of heat is very important to reach national goals in the areas climate protection and renewable energies.

Therefore the project "Heizen 2050" analyzes the heat demand and the heat supply of Austrian buildings until 2050. Residential buildings and non-residential buildings of various categories were considered. The energy services space heating and water heating were analyzed. The developments were illustrated in scenarios.

The computer model ERNSTL/EE-Lab is the methodical core of "Heizen 2050". The model illustrates the development of the state of the building, investment decisions and the user behaviour. Most of the data consists of disaggregated cross-section data. A multinomial Logit approach is used in order to calculate investment decisions.

The results of "Heizen 2050" show a slight increase of buildings after 2020 and stagnation from 2030 onwards. In 2050 there will presumably be 1.855 million residential buildings and 2.110 million non-residential buildings in Austria. A lot of energy can be saved thanks to renovation of buildings, especially buildings of the period between 1945 and 2000. It is essential that the renovation is done optimally otherwise badly renovated buildings are preserved due to the "lock in effect" until 2050. The heat demand for space heating and water heating peaked in the last decade with 103 TWh/a. With high quality renovation the demand should decrease by 50% to 52 GWh/a until 2050. Due to global warming the demand for heat further decreases by 8% - 15% depending on the scenario. The various scenarios differ concerning the amount of renewable energies especially for the period around 2030.

Concluding many energy policy measures and R&D policy measures are necessary to reduce the energy consumption for space heating and water heating on the long term. Mainly it is important to ensure a high quality renovation. Energy politics have to assure good insulation, low temperature heat distribution systems as well as the exclusive use of renewable energy technologies. Furthermore the development of heat storages with high heat density is also very important.

## **3. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen**

### **3.1 Einleitung**

Die Entwicklung des zukünftigen Wärmebedarfs und der zukünftigen Wärmeversorgung von Gebäuden ist für die Erreichung nationaler Ziele im Bereich Klimaschutz und erneuerbare Energie von zentraler Bedeutung.

Im Projekt Heizen 2050 erfolgt aus diesem Grund die Analyse der langfristigen Entwicklung der österreichischen Gebäude, deren Wärmebedarf und der Wärmebedarfsdeckung bis zum Jahr 2050. Betrachtet werden dabei Wohngebäude und Nicht-Wohngebäude in mehreren Kategorien. Es werden die Energiedienstleistungsbereiche Raumwärme und Wärme für die Brauchwassererwärmung untersucht. Die Entwicklungen werden als zeitliche Verläufe bis 2050 in Form von dargestellt und analysiert.

Der methodische Kern von Heizen 2050 besteht aus dem Gebäudemodell ERNSTL/EE-Lab das die Entwicklung des Gebäudebestandes, die Investitionsentscheidungen der Investoren und das Nutzerverhalten der Gebäudenutzer über die Zeit abbildet. Der überwiegende Anteil des Datenhintergrundes besteht aus disaggregierten Querschnittsdaten. Bei der Berechnung der Investitionsentscheidungen wird ein multinominaler Logit Ansatz verwendet.

### **3.2 Ergebnisse**

Der österreichische Gebäudebestand wird sich vom Jahr 2000 bis zum Jahr 2050 von 1,746 Mio. Gebäude um 20,8% auf 2,110 Mio. Gebäude erhöhen, wobei sich die Gesamtzahl der Gebäude im Jahr 2050 voraussichtlich aus 1,855 Mio. Wohngebäude und 255.000 Nicht-Wohngebäude zusammensetzt. Der größte Teil dieses Wachstums findet bis zum Jahr 2020 statt. Nach dem Jahr 2030 stagniert die Gebäudezahl, wobei der dann nach wie vor stattfindende Neubau jedoch nur noch abgerissene Gebäude substituiert. Die Bauwirtschaft wird im Zeitraum von 2010 bis 2020 eine sehr starke Umstrukturierung zur Gebäudesanierung erleben.

Das Thema der nächsten Dekaden ist somit die Gebäudesanierung. In Abbildung 3.1 ist die Umstrukturierung des österreichischen Gebäudebestandes vom Jahr 2010 bis zum Jahr 2050 dargestellt. Die Hüllkurve repräsentiert die Gesamtzahl aller Gebäude im jeweiligen Jahr. Entsprechend der Verteilungen der Sanierungs- bzw. Abrissraten steht im Zeitraum von 2010 bis 2030 hauptsächlich die Sanierung der Bauperiode von 1945-1980 an. Diese Phase wird anschließend durch die Sanierung der Bauperiode von 1981-2000 abgelöst, wobei die entsprechenden Sanierungstätigkeiten vorrangig im Zeitraum ab 2030 bis 2050 stattfinden werden. Parallel dazu verläuft der Abriss vieler Gebäude aus den Bauperioden vor 1945. Ein geringer Anteil der Gebäude dieser Bauperiode wird im Betrachtungszeitraum noch saniert, aber der sanierbare, nicht denkmalgeschützte Anteil dieser Gebäude wurde größtenteils schon bis zum Jahr 2000 saniert. Nicht sanierbare und aus Denkmalschutzgründen

auch nicht abreibare Gebäude bleiben bis 2050 im nicht sanierten Zustand erhalten. Wohngebäude, die nach 2020 errichtet werden, kompensieren größtenteils die abgerissenen Wohngebäude. Nicht-Wohngebäude, die vor 2010 errichtet wurden, werden im Betrachtungszeitraum fast zur Gänze saniert oder abgerissen.

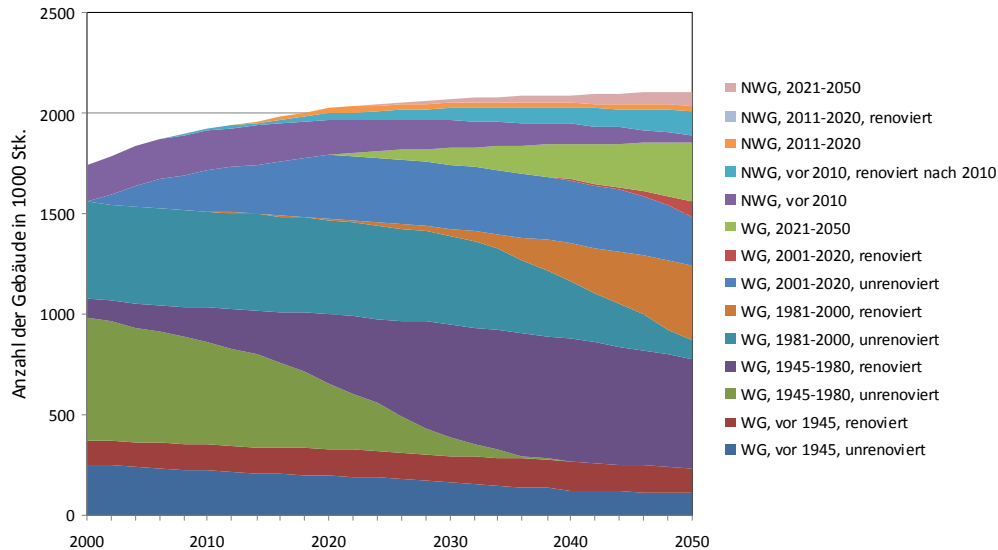


Abbildung 3.1: Entwicklung der Gebäudesanierung in Österreich bis 2050 nach Bauperioden und Gebäudeklassen. Quelle: Berechnungen EEG.  
Abkürzungen: NWG: Nicht-Wohngebäude; WG: Wohngebäude;

Durch Gebäudesanierung kann im Betrachtungszeitraum bis 2050 vor allem bei Gebäuden der Bauperioden von 1945 bis 2000 ein gres Einsparpotenzial umgesetzt werden. Wesentlich ist jedoch, dass bestmögliche Sanierungsqualität realisiert wird, da sonst schlecht sanierte Gebäude in Folge des "Lock in Effektes" bis 2050 konserviert werden.

In Abbildung 3.2 ist die Entwicklung der Ausstattung der sterreichischen Gebäude mit Heizungstechnologien im Zeitraum von 2000 bis 2050 im Basisszenario dargestellt, welches im Wesentlichen die energiepolitischen Randbedingungen des Jahres 2010 fortschreibt. Die Ausstattung mit Systemen zur Nutzung fossiler Energie (Heizöl, Erdgas, Kohle und Strom werden unter "Rest" zusammengefasst) wird bis 2050 deutlich reduziert, wobei der stärkste Rückgang bei Ölheizungen zu verzeichnen ist. Im Bereich der Biomasse kommt es zu einer sehr starken Steigerung der Anzahl von Pelletheizungen, die Zahl der Stckholzheizungen ist dabei leicht rückläufig. Insgesamt erhöht sich die Anzahl der Gebäude mit Biomasseheizungen bis 2040 und sinkt bis 2050 wieder ein wenig ab. Die Zahl der Gebäude mit Wärmepumpenanlagen steigt stark an, ebenso die Zahl der Gebäude mit thermischen Solaranlagen. Letztere sind in Abbildung 3.2 als zusätzliche Systeme dargestellt, deren Anzahl in der Darstellung zur Anzahl der Gebäude hinzukommt. Ab dem Jahr 2040 findet im Szenario auch eine Marktdiffusion von monovalenten solarthermischen Systemen statt, da ab diesem Zeitpunkt im Modell Wärmespeicher mit hoher Wärmedichte zur Verfügung stehen. Die Anzahl der Gebäude mit Fernwärmeversorgung steigt bis 2050 ebenfalls an, da in den bestehenden gren

urbanen Netzen noch nicht versorgte Gebäude sukzessive an das Netz angeschlossen werden. Die Anzahl von Gebäuden mit Biomasse-Nahwärmeversorgung stagniert ab dem Jahr 2020.

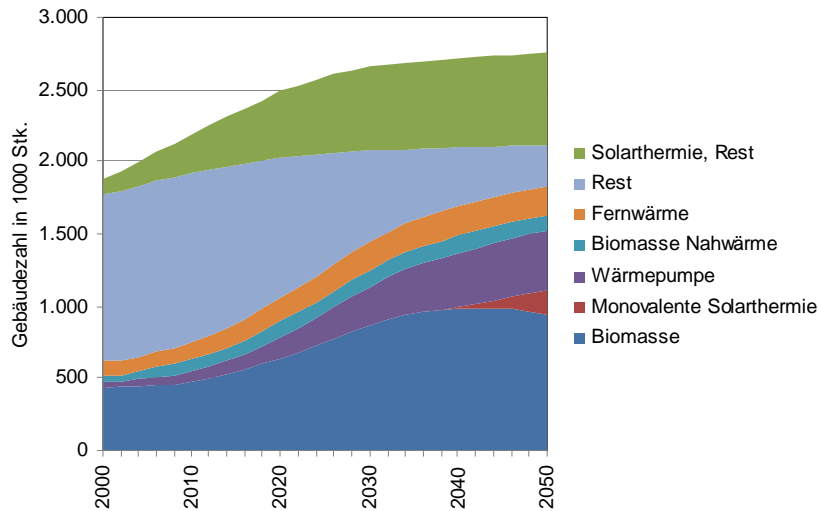


Abbildung 3.2: Ausstattung der österreichischen Gebäude mit Heizungstechnologien bis 2050 im Basisszenario. Achtung: Solaranlagen sind in der Darstellung zusätzliche Systeme. Quelle: Berechnungen EEG.

Der Energiebedarf für Raumwärme und Brauchwassererwärmung in österreichischen Gebäuden erreichte in der Dekade 2000 bis 2010 sein Maximum mit ca. 103 TWh. Die Modellergebnisse zeigen ab diesem Zeitpunkt eine Reduktion des Energiebedarfs, welche auf die fortschreitende Sanierung des Gebäudebestandes zurückzuführen ist. Bis 2050 wird auf diese Weise der Energiebedarf um 50% auf einen Wert von ca. 52 TWh/a reduziert, wie dies in Abbildung 3.3 dargestellt ist. Der Energiebedarf aus fossilen Energieträgern und Strom wird von einem Anteil von 64,5% im Jahr 2000 auf einen Anteil von 10% im Jahr 2050 reduziert

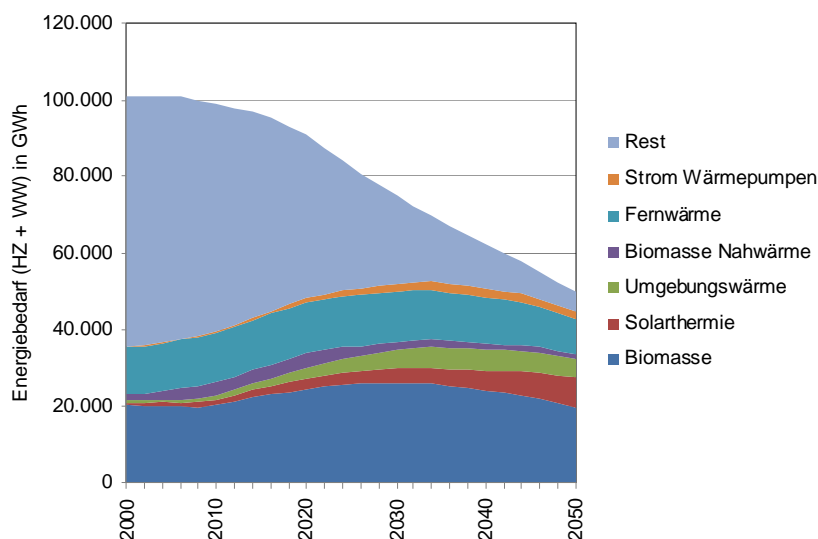


Abbildung 3.3: Entwicklung des Energieverbrauchs nach Heizungssystemen im Basisszenario. Quelle: Berechnungen EEG.

Die Entwicklung des Anteiles erneuerbarer Energie im Sektor Heizenergie und Energie für die Brauchwassererwärmung ist vor allem im Zeitraum rund um das Jahr 2030 sehr stark von den Rahmenbedingungen abhängig, die während des gesamten Betrachtungszeitraumes herrschen, wie dies in Abbildung 3.4 veranschaulicht wird. Das Szenario BAU1 ist hierbei im wesentlichen durch die Fortschreibung der Rahmenbedingungen im Jahr 2010 gekennzeichnet, im Szenario BAU2 werden auch noch die im Jahr 2010 vorhandenen anreizorientierten Mechanismen ausgesetzt, es sind somit in diesem Szenario überhaupt keine energiepolitischen Maßnahmen installiert. Die besten Ergebnisse in Hinblick auf den Anteil erneuerbarer Energie im Energiemix werden in den Szenarien 2a und 2e erreicht, wobei die Szenariengruppe a durch Nutzungsverpflichtungen in Bezug auf Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energie gekennzeichnet ist und die Szenariengruppe e ein ausgewogenes Maßnahmenbündel aus Förderungen (Biomasse, Fernwärme und Wärmepumpen bis 20% der Investitionskosten, Solarthermie bis 30%), einer moderaten CO<sub>2</sub>-Steuer (2020: 30 €/tCO<sub>2</sub>, 2050: 85 €/tCO<sub>2</sub>), sowie eine moderate Nutzungsverpflichtung für Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energie vorsieht. Die weiteren Szenariengruppen definieren sich im Fall der Gruppe b durch reine Investitionszuschüsse, c durch eine hohe CO<sub>2</sub>-Steuer (300€/tCO<sub>2</sub>) als Einzelmaßnahme und d durch hohe Energiepreise (Ölpreis 2030: 125 \$/bar; 2050: 175 \$/bar).

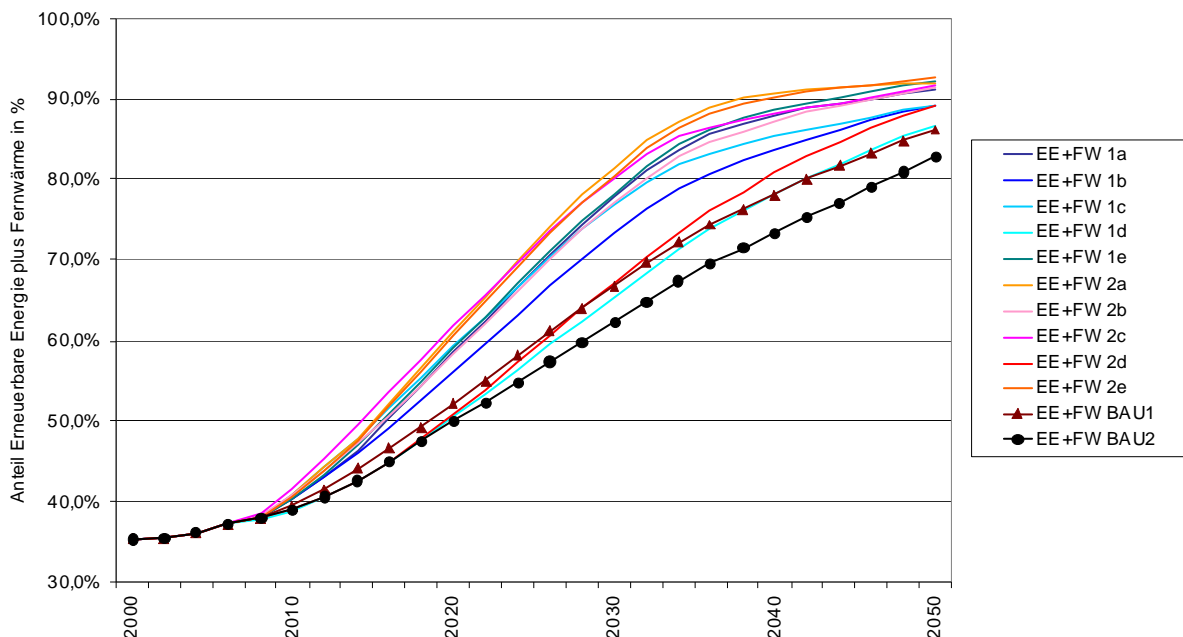


Abbildung 3.4: Entwicklung des Anteils von Erneuerbarer Energie plus Fernwärme in den unterschiedlichen Szenarien. Quelle: Berechnungen EEG.

Die CO<sub>2</sub>-Steuern in den Szenariengruppen c und e verursachen Steuereinnahmen, die trotz progressiver Gestaltung des Steuersatzes im Szenario e (die Steuer wird über die Zeit immer höher) über die Zeit deutlich abnehmen. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen sinken dabei bis zum Jahr 2030 sehr stark, danach durch das sich erschöpfende Einsparpotenzial entsprechend flacher. Abbildung 3.5 veranschaulicht die Verläufe

der Steuereinnahmen für die 4 relevanten Szenarien. Die meisten Einnahmen mit einem Startwert im Jahr 2010 etwa 5 Mrd. Euro erbringt das Szenario 2c, welches die Tonne CO<sub>2</sub> über den Betrachtungszeitraum mit konstant 300 €/tCO<sub>2</sub> bepreist.

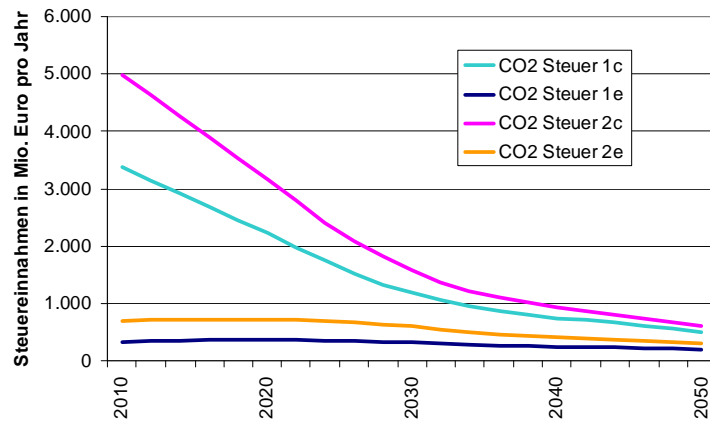


Abbildung 3.5: Steuereinnahmen durch die CO<sub>2</sub>-Steuern in den Szenarien.  
Quelle: Berechnungen EEG.

Die Förderungskosten der Szenariengruppen b, e und BAU1 sind in Abbildung 3.6 dargestellt. Das BAU1 Szenario verursacht dabei gemeinsam mit dem Szenario 1e aber auch mit dem Szenario 2e vergleichsweise geringe Förderkosten, welche im Fall der Szenariengruppe e durch die ja gleichzeitig generierten Einnahmen aus der CO<sub>2</sub>-Steuer bei weitem überdeckt sind. Damit lässt sich in den gemischten Energiepolitiskszenarien der Aufwand der Förderungen innerhalb des Gesamtprogrammes jedenfalls auch finanzieren. Die Szenariengruppe b verursacht deutlich höhere Kosten, ohne dabei eine hervorragende Position bei den Auswirkungen zu erreichen (siehe Abbildung 3.4).

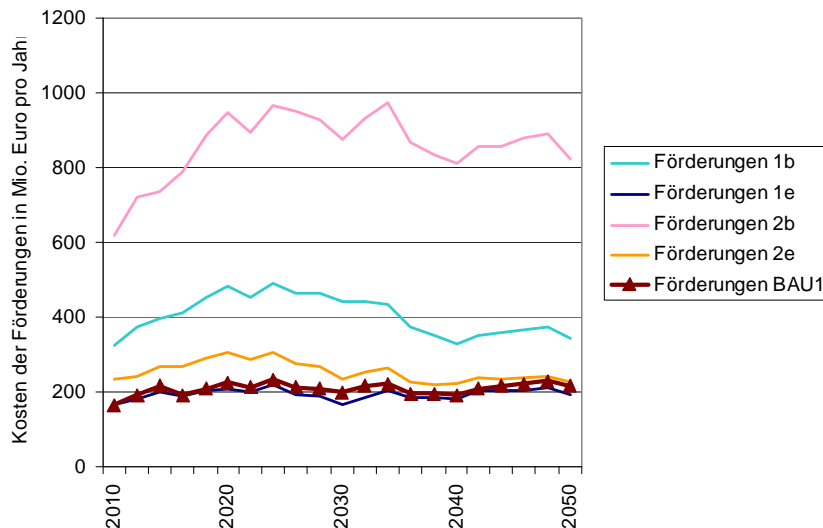


Abbildung 3.6: Kosten der Förderungsmaßnahmen in den Szenarien.  
Quelle: Berechnungen EEG.

Die Investitionen, welche in den einzelnen Szenarien in Heizungstechnologien getätigt werden, sind in Abbildung 3.7 dargestellt. Dabei ist auffällig, dass gerade die



Szenariengruppe mit den höchsten Förderungskosten (Gruppe b) die geringsten Investitionseffekte bewirkt, nämlich geringere als in den BAU-Szenarien.

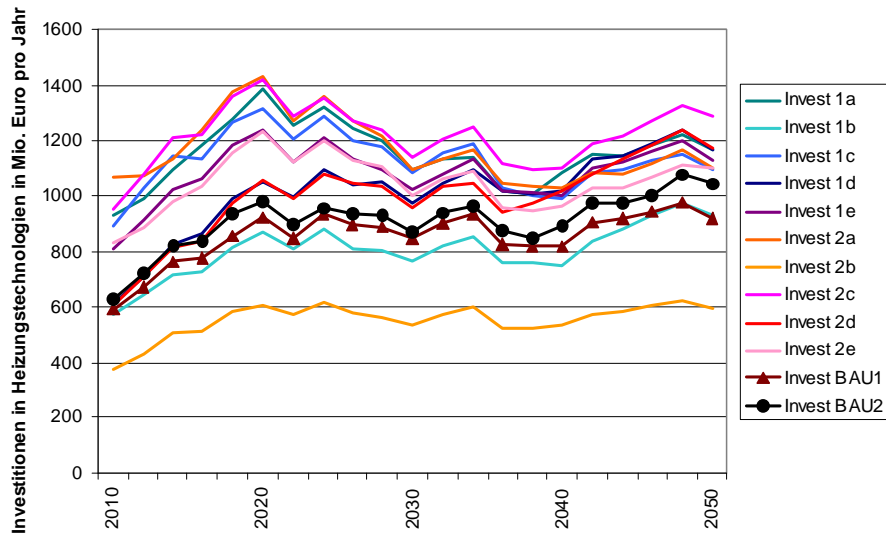


Abbildung 3.7: Investitionen in die Heizungstechnologien.  
Quelle: Berechnungen EEG.

Werden nur die Investitionen in Technologien zur Nutzung fossiler Energie betrachtet, so resultieren die höchsten Zahlen aus dem BAU2-Szenario, wie dies in Abbildung 3.8 dargestellt ist. Werden also keinerlei energiepolitische Maßnahmen vorgesehen, so erfolgen in die Technologien zur Nutzung fossiler Energieträger die größten Investitionen. Die geringsten Investitionen in diese Technologien erfolgen im Szenario 2a, also der alleinigen Nutzungsverpflichtung für Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energieträger.

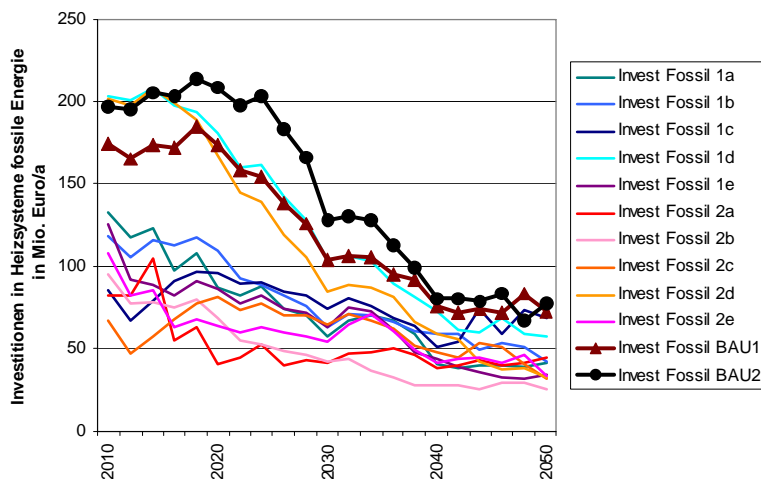


Abbildung 3.8: Investitionen in die Heizungstechnologien.  
Quelle: Berechnungen EEG.

Der Einfluss der globalen Klimaerwärmung wurde anhand der Auswirkungen von 3 IPCC Szenarien untersucht. Dabei stellt sich heraus, dass sich der in Heizen 2050 untersuchte Energiebedarf für Heizung und Brauchwassererwärmung je nach Szenario um 8% bis 15% reduziert, siehe auch Abbildung 3.9.

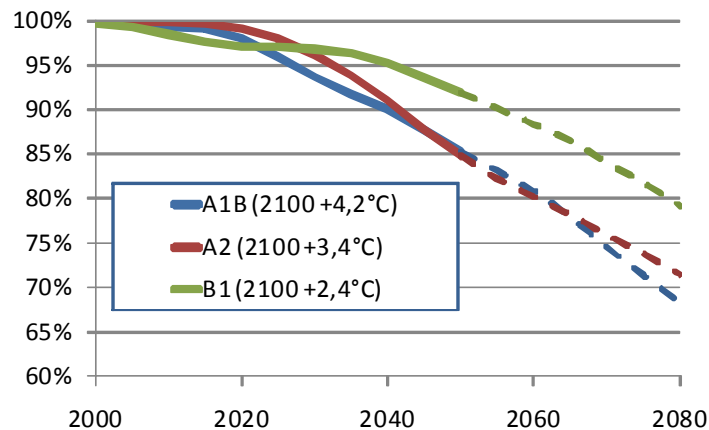


Abbildung 3.8: Einfluss der globalen Klimaerwärmung auf den Energiebedarf für Heizung und Brauchwassererwärmung für 3 IPCC-Szenarien.  
Quelle: Berechnungen EEG.

Der Strombedarf für Klimatisierung steigt im Betrachtungszeitraum von 0,4 TWh auf 0,8-11 TWh (2050). Diese Szenarienbandbreite beruht auf großen Unsicherheiten in der Datenlage des Status quo und im großen Einfluss zukünftiger energiepolitischer Regelungen auf den Bedarf. Der Einfluss der Klimaszenarien auf das Ergebnis beträgt ca. 33%, der restliche Bedarf kann mit den Rahmenbedingungen in einem großen Spielraum variiert werden.

### 3.3 Schlussfolgerungen

Aus den Ergebnissen, die im Forschungsprojekt Heizen 2050 gewonnen werden konnten, lassen sich folgende wesentliche Schlussfolgerungen ableiten:

#### 3.3.1 Entwicklung des Gebäudebestandes und zukünftiger Energiebedarf

- Der Großteil der im Jahr 2010 bestehenden Gebäude wird auch im Jahr 2050 noch bestehen. Das bedeutet, dass bis zu 80% des Energiebedarfes für Heizung und Brauchwassererwärmung im Jahr 2050 in Gebäuden angesiedelt sein wird, die auch heute schon bestehen. Der zentrale Ansatzpunkt zur Reduktion des Energiebedarfs ist somit die Gebäudesanierung.
- Die im Jahr 2010 bestehenden und in großer Zahl noch nicht sanierten Gebäude aus den Bauperioden der Jahre 1945 bis 2000 stellen das Effizienzpotenzial bzw. das Einsparpotenzial für die Zeitspanne bis 2050 dar. Um dieses Potenzial bestmöglich auszuschöpfen, muss jede Sanierung in bestmöglicher thermischer Qualität ausgeführt werden. Jede suboptimale Sanierung bewirkt ein nicht realisiertes Potenzial, das in den nächsten 40 Jahren nicht mehr umgesetzt werden kann, weil ein neu saniertes Gebäude in der Regel in dieser Zeitspanne nicht noch einmal saniert wird. Diesen "Lock in Effekt" gilt es mit allen Mitteln zu vermeiden.
- Im Falle von z.B. mangelnder Kapitalverfügbarkeit ist es in diesem Sinne die

bessere Strategie, Sanierungen einige Jahre später zu realisieren als suboptimale Sanierungen sofort umzusetzen.

- Kurz- bis mittelfristige Ziele, wie z.B. der 34% Anteil erneuerbarer Energie im nationalen Energiemix im Jahr 2020 können prinzipiell entweder durch eine Steigerung der Sanierungsrate bei gleichbleibender (schlechter bis mittelmäßiger) Sanierungsqualität oder durch eine deutliche Verbesserung der Sanierungsqualität erreicht werden. Die bloße Steigerung der Sanierungsraten bewirkt durch den "Lock in Effekt" jedoch einen schwerwiegenden strategischen Nachteil für die Zeit nach 2020. Längerfristige Ziele können nur durch die Umsetzung optimaler Sanierungsqualität erreicht werden. Die bloße Steigerung der Sanierungsrate führt hier zu einem Verfehlen der Ziele.
- Eine Reduktion des Energiebedarfs für Heizen und die Brauchwassererwärmung um 45% bis 55% bis 2020 ist möglich. Randbedingung ist jedoch, dass die entsprechenden Sanierungsraten und die Qualität der Sanierungen ausgeführt werden.
- Die Entwicklung des Energiebedarfs für die Raumklimatisierung ist in einem weiten Bereich möglich und kann bis zum Jahr 2050 das 2- bis 30-fache des Strombedarfs für die Klimatisierung im Jahr 2010 betragen. Der größte Einflussfaktor hierbei sind die energiepolitischen Rahmenbedingungen. Wenn eine energiepolitische Regulierung der Sommertauglichkeit von Wohn- und Nicht-Wohngebäuden auch weiterhin ausbleibt, wird sich der Strombedarf für die Raumklimatisierung bis 2050 stark erhöhen, wenn Regelungen erlassen werden, kann der Anstieg des Bedarfs auf ein minimales Maß begrenzt werden.

### **3.3.2 Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energie**

- Die inländischen Potenziale erneuerbarer Energie und die im Jahr 2010 bereits zur Verfügung stehenden Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energie sind prinzipiell ausreichend, um eine nachhaltige Wärmebereitstellung in den österreichischen Gebäuden bis 2050 zu bewerkstelligen.
- Es werden für eine nachhaltige Wärmebereitstellung alle zur Verfügung stehenden Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energie benötigt. Eine nachhaltige Wärmebereitstellung basierend auf einer einzelnen Technologie-Strategie ist nicht möglich, da sich die Anforderungen an die Technologien durch die unterschiedlichen Gebäudetypen bis 2050 noch weiter diversifizieren und maßgeschneiderte Lösungen für alle Gebäudetypen vom nicht sanierbaren denkmalgeschützten Gründerzeitbau bis zum Passivhaus und vom freistehenden Einfamilienhaus bis zum urbanen großvolumigen Wohnhaus erforderlich sein werden. Die technologiespezifischen Stärken der unterschiedlichen Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energie können dabei den unterschiedlichen Anforderungen durch die verschiedenen Gebäudetypen zugeordnet werden.
- Eine nachhaltige Wärmebereitstellung unter Beibehaltung des Energiedienstleistungsniveaus von 2010 ist bis 2050 nur zu erreichen, wenn das Effizienzpotenzial durch optimale Gebäudesanierung realisiert wird.

- Wärmebereitstellungstechnologien auf Basis fossiler Energie sind Auslaufmodelle. Ölheizungen sowie Stromheizungen werden bis 2050 in allen Szenarien deutlich reduziert

### **3.3.3 Schlüsseltechnologien und Qualitätssicherung**

- Die Verfügbarkeit von Wärmespeichern mit hohen Wärmedichten (Stichwort Faktor 8 Wärmespeicher) ist die Schlüsseltechnologie für die Realisierung einer monovalenten solarthermischen Wärmeversorgung. Wird im Betrachtungszeitraum ein solcher Speicher zu wirtschaftlich vertretbaren Preisen am Markt verfügbar, so wird eine sehr rasche Marktdiffusion entsprechender Systeme im energieeffizienten Gebäudesegment (Niedrigenergiehäuser und Passivhäuser) einsetzen.
- Die Entwicklung von Biomassefeuerungsanlagen kleinster Leistung und die Reduktion der Emissionen dieser Anlagen werden neue Marktsegmente für Biomassefeuerungen eröffnen. Entsprechende Marktsegmente liegen vor allem im Bereich der Niedrigstenergiehäuser, aber auch ein dezentraler Einsatz in Geschoßwohnbauten wäre aus technischer Sicht prinzipiell möglich.
- Im Bereich der Wärmepumpentechnologie ist die Qualitätssicherung in Hinblick auf die Effizienz im System ein wesentlicher Punkt. Die Qualitätssicherung von Systemen sollte dabei mit einem Kriterienkatalog und einer Verpflichtung zur messtechnischen Erfassung und dem Nachweis der ja hochgradig systemabhängigen Jahresarbeitszahl unterstützt werden.
- Die Messung der Erträge bzw. der Effizienz von solarthermischen Anlagen ist im Sinne einer Qualitätssicherung vorzusehen. Der optimale Betrieb von solarthermischen Anlagen ist durch Einregulierung der Anlagen sicherzustellen.

### **3.3.4 Die Zukunft der Wärmenetze**

- Die gesellschaftlich unbedingt erforderliche drastische Verbesserung der Gebäudequalität durch optimale Gebäudesanierung und Neubau von Niedrigstenergie- und Passivhäusern stellt für Wärmenetzbetreiber wegen der, bis 2050 stark sinkenden Leistungsbelegung der Wärmenetze, ein strategisches Wirtschaftlichkeitsproblem dar.
- Große bestehende Wärmenetze in dichten urbanen Bereichen mit hoher Leistungsbelegung und einem hohen Anteil an technisch oder aus Denkmalschutzgründen nicht sanierbaren Gebäudebestand werden voraussichtlich auch langfristig wettbewerbsfähig bleiben können.
- Wärmenetzbetreiber, welche bereits im Jahr 2010 am Rande der Wirtschaftlichkeit agieren werden voraussichtlich spätestens bei erforderlichen Reinvestitionen in wirtschaftliche Probleme geraten. Diese Wärmenetze müssen dann entweder stark subventioniert oder stillgelegt werden.
- Kritisch anzumerken ist, dass Wärmenetzbetreiber in jedem Fall einen Anreiz haben, Verbesserungen der Gebäudeenergieeffizienz zu verzögern oder zu

verhindern.

- Die Errichtung von gänzlich neuen Wärmenetzen wird in Zukunft nur dort wirtschaftlich vertretbar sein, wo entsprechende Abnahmedichten über die Abschreibungsdauer der Investition garantiert werden können. Dies kann z.B. bei denkmalgeschützten Gebäuden oder neu errichteten oder neu sanierten Gebäuden mit sehr hoher Dichte der Fall sein. Die Errichtung von neuen Wärmenetzen in Streusiedlungsbereichen oder mit unsicherer Entwicklung des Wärmebedarfs (nicht sanierter Bestand) wird in Zukunft aus wirtschaftlicher Sicht nicht mehr möglich sein.
- Die Reduktion des Vorlauftemperaturniveaus in Wärmenetzen und damit die Reduktion der Netzverluste ist schwierig durchführbar, da in Netzen mit sanierten und nicht sanierten Gebäuden aus versorgungstechnischer Sicht immer der hohe Vorlauftemperaturbedarf der nicht sanierten Gebäude relevant ist. Hohe Vorlauftemperaturen verhindern in der Regel auch eine effiziente Einbindung von solarthermischer Wärme in Wärmenetze.

### **3.3.5 Energiepolitische Empfehlungen**

- Die Realisierung von optimaler Sanierungsqualität muss mit Hilfe von energiepolitischen Instrumenten abgesichert werden.
- Regelungen des Mieterschutzes, die eine Qualitätssanierung verhindern (z.B. den Einbau von Niedertemperatur-Wärmeverteilsystemen) müssen überarbeitet werden. In diesen Bereichen sind auch soziale Innovationen und erforderlich.
- Die Bauwirtschaft muss sich in den kommenden 10 bis 20 Jahren großteils vom Neubau auf den Bereich der Gebäudesanierung umstellen. Das entsprechende Know-how und das erforderliche Humankapital müssen in absehbarer Zeit bereitgestellt werden. Dies ist bei Bildungskonzepten in der Schul- und Erwachsenenbildung, in spezifischen Lehrgängen etc. zu berücksichtigen.
- Aktionen der Wirtschaft wie die Förderung von Ölkessel durch die österreichische Mineralölindustrie ab dem Jahr 2009 sind in gravierender Weise prozessschädigend und müssen mit allen zur Verfügung stehenden politischen Mitteln unterbunden werden. Die tatenlose Duldung einer entsprechenden Aktion stellt angesichts der ambitionierten und verpflichtenden nationalen Ziele ein Politikversagen dar. Wenn solche Aktionen nicht schon im Vorfeld verhindert werden können, so wäre dafür zu sorgen, dass die Anreize z.B. mittels CO<sub>2</sub>-Abgagen ähnlich der Normverbrauchsabgabe bei KFZ sofort kompensiert werden.
- Szenarien mit einem energiepolitischen Maßnahmenmix bestehend aus Investitionszuschüssen für Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energie, einer moderaten CO<sub>2</sub>-Steuer, die zur Finanzierung der Anreize herangezogen werden kann und einer moderaten Nutzungsverpflichtung für Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energie zeigen im Betrachtungszeitraum bis 2050 sehr gute Entwicklungspfade hinsichtlich des Anteils erneuerbarer Energie im Energiemix und weiterer Kriterien wie z.B. die Investitionen in Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energie. Zusätzliche Effekte wie die informatorische Komponente

bei der Vergabe von Förderungen unterstützen den Gesamteffekt. Entsprechende energiepolitische Ansätze können empfohlen werden und haben den budgettechnischen Vorteil dass sie die erforderlichen Mittel selbst generieren, was in Zeiten knapper Budgetmittel eine Notwendigkeit zur Gewährleistung stabiler Rahmenbedingungen ist.

- Der Einsatz von normativen Instrumenten ist budgetneutral und stellt bei entsprechender Ausformulierung einen effektiven Ansatz dar. Zur Definition und Implementierung solcher Instrumente sind jedoch tiefgehendes Fachwissen und oftmals politischer Mut erforderlich, da durch den Einsatz der Instrumente am Markt zumeist Gewinner und Verlierer geschaffen werden. Ein klassisches Beispiel hierbei ist die historische Entwicklung der Bauordnung, ohne der die Marktdiffusion des Wärmeschutzes wesentlich langsamer verlaufen wäre.
- Geringe Kapitalverfügbarkeit wurde vor allem in den Zeiten der Wirtschaftskrise zu einem hemmenden Faktor bei der Diffusion von Gebäudesanierungen. Innovative Finanzierungsmodelle (vgl. Auto-Leasing) wären hier erforderlich.
- Informatorische Instrumente wie der Gebäudeenergieausweis wären auch im Bereich von Technologien eine wirkungsvolle Maßnahme um Effizienz zu oder ökologische Qualität (z.B. Abgaswerte bei Biomassekessel) zu fördern.
- Zur optimalen Entwicklung der inländischen Industrie im Bereich der Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energie sind eine stabile Marktentwicklung und langfristig kalkulierbare energiepolitische Rahmenbedingungen bei Investitionsentscheidungen hinsichtlich der Produktionskapazitäten, aber auch im Bereich der Forschung und Entwicklung von großer Bedeutung. Entsprechende Instrumente sollten verlässliche Rahmenbedingungen über mehrere Legislaturperioden gewährleisten, wobei dynamische Komponenten des energiepolitischen Modells technische und ökonomische Lerneffekte der Technologien berücksichtigen müssen.
- Kurzfristig Förderaktionen, die keinen langfristigen Bestand über viele Jahre haben, haben im allgemeinen keinen strategischen Effekt sondern führen nur zu einer kurzfristigen Anhebung der Marktdiffusion, wobei diese oftmals durch Vorzieheffekte zu einem Marktrückgang nach der kurzfristigen Maßnahme führt. Auf der Produzentenseite führen entsprechende Maßnahmen zur Verunsicherung bezüglich der Marktentwicklung und zur strategischen Zurückhaltung was Investitionen in Produktionskapazitäten und in F&E-Projekte betrifft.
- Impulsförderungen sind nur bei Schlüsselkomponenten oder bei definierbarem Innovationsbedarf effektiv.
- Bildungs- und ausbildungspolitisch ist die Verfügbarkeit entsprechenden Fachpersonals auf allen Ebenen abzusichern. Die relevanten Themen sind sowohl in den Schulunterricht zu integrieren als auch in allen Stufen der Ausbildung bis hin zur Erwachsenen- und Expertenbildung zu integrieren. Die Gründung entsprechender Lehrgänge, Studienrichtungen, Fachrichtungen an höheren technischen Lehranstalten und Fachhochschulen sollte massiv angeregt und gefördert werden. Ein guter Teil der momentan verfügbaren Experten und Expertinnen sollten im Bereich der Aus- und Weiterbildung als Multiplikatoren und

Multiplikatorinnen eingesetzt werden.

### **3.3.6 Themen für die zukünftige Forschung und Entwicklung**

- Systemeffizienz in der Praxis: die angekündigten Jahresarbeitszahlen von Wärmepumpen, die theoretisch möglichen Erträge von Solaranlagen oder die Prüfstand-Wirkungsgrade von Biomassekessel werden im Systemverbund in der Praxis nicht erreicht, was in aller Regel einen negativen Einfluss auf das Image der Technologien hat. Die Frage ist, wie eine systemgerechte Planung, eine optimale Einregulierung des Gesamtsystems und eine Betriebsoptimierung von Anlagen in Zukunft auf breiter Basis gewährleistet werden kann. Welche Instrumente oder Mechanismen können diese Qualitätssicherung bewirken?
- Systemstandardisierungen und vorgefertigte Systemeinheiten welche die möglichen Installationsfehler minimieren sollten für unterschiedliche Technologielinien entwickelt werden.
- Im Bereich von Schlüsselkomponenten können neue langfristige Chancen für nationale Technologieführerschaften und Kompetenzschwerpunkte bestehen. Verstärkte F&E-Bemühungen in diesen Bereichen wären wünschenswert.

### **3.3.7 Empfehlungen für Technologieproduzenten**

- Technologieplattformen sind ein wirksames Instrument, um eine Technologiestrategie zu erstellen, das in der Folge von einer ganzen Branche getragen werden kann. Forschungsbemühungen können koordiniert und Synergien zwischen den Betrieben genutzt werden. Was den für österreichische Produzenten sehr wichtigen Exportmarkt betrifft, verleiht eine Technologieplattform der Branche eine bessere Sichtbarkeit und damit auch größere Chancen. Für verschiedene Projekte können Mittel gebündelt werden, was auch kleineren Unternehmen neue Möglichkeiten eröffnen kann. Aus diesem Grund wird die Gründung von Technologieplattformen empfohlen.
- Angegebene Qualitätsmerkmale von Technologien wie die technische Effizienz müssen in der Praxis im System vor Ort bestehen. Auftretende Differenzen zwischen Herstellerangaben und Ergebnissen von Feldtests können der Technologie massiven Schaden zufügen, wobei nicht davon auszugehen ist, dass ein potenzieller Nutzer einer Technologie sehr stark zwischen den Qualitäten einzelner Hersteller differenziert. Eine entsprechende Qualitätsethik ist mittel bis langfristig für eine Technologie überlebenswichtig.
- Stetige technologische Weiterentwicklung und Anpassung an sich verändernde Anforderungen und Märkte sind wesentlich um Marktpositionen absichern zu können.
- Strategisch weitsichtige Planung und Vorbereitung des Marktes bei stark diffundierenden Technologien ist wesentlich. Die durchaus vermeidbare Preisspitze der Holzpellets im Jahre 2006 hat den Diffusionsverlauf dieser jungen Technologie dauerhaft gedämpft. Technologieplattformen können auch dazu

dienen, strategische Konzepte zu entwickeln um solche Fehler zu vermeiden.

- Die Ausbildung bzw. Zertifizierung von Installateuren stellt eine wirksame Maßnahme zur Qualitätssicherung dar. Die Initiative zur Etablierung solcher Systeme muss von den Technologieproduzenten ausgehen. Entsprechende Ausbildungen können z.B. von einer Plattform aus organisiert werden.
- Technologieproduzenten sollten in Hinblick auf den zukünftigen Fachkräftebedarf durch entsprechende politische Lobbyarbeit die Ausbildung des erforderlichen Personals einfordern. Hier sind weitreichende Strukturänderungen in den Lehrplänen und Ausbildungsstätten von der Schulbildung bis zur Erwachsenenbildung erforderlich. Die Trägheiten beim Aufbau der nötigen Infrastrukturen sind erheblich.
- Etablierte Technologien welche nicht weiter entwickelt werden laufen Gefahr, von Innovationen eingeholt und vom Markt verdrängt zu werden. So könnte z.B. der klassische Kupferkollektor bei steigenden Kupferpreisen leicht von Kollektoren aus Polymerwerkstoffen überholt werden. Auch in Hinblick auf den aufkommenden Wettbewerb mit den aufstrebenden fernöstlichen Ökonomien ist ständige Weiterentwicklung und Innovation erforderlich.



## **4. Einleitung**

### **4.1 Aufgabenstellung und Motivation**

Die Energiedienstleistungsbereiche Raumheizung, Brauchwassererwärmung und Raumklimatisierung trugen im Jahr 2008 mit einem Endenergieverbrauch von ca. 100 TWh/a zum österreichischen Gesamt-Endenergieverbrauch von 302 TWh bei, was einem Anteil von ca. 33% entspricht. Vor diesem Hintergrund und wegen der technisch und auch politisch greifbaren Zugänge werden diese Energiedienstleistungsbereiche in nationalen Strategien für die Erreichung von Energie- und Klimazielen zumeist an prominenter Stelle angeführt.

Die Entwicklung der genannten Energiedienstleistungsbereiche ist jedoch durch lange Zeitkonstanten geprägt, welche durch die langen Lebensdauern der eingesetzten Technologien, durch die nötigen hohen Investitionsaufwände aber auch durch bestimmte kulturelle Aspekte wie z.B. durch Bautraditionen bedingt sind. Darüber hinaus befinden sich zahlreiche innovative Gebäude- und Heizungstechnologien wie z.B. die Passivhaustechnologie oder Pelletskessel kleinster Leistung, um nur zwei Beispiele zu nennen, noch in einem sehr frühen Stadium der Technologiediffusion, in dem hohe Marktdurchdringungsraten aus diffusionstheoretischer Sicht schwierig erreichbar sind.

Vor diesem Hintergrund scheint es schwierig einschätzbar, inwieweit innovative Technologien zur Erhöhung der Energieeffizienz und zur Nutzung erneuerbarer Energieträger einen großen Beitrag zu mittelfristigen und langfristigen Zielen wie z.B. jene für das Jahr 2020 und darüber hinaus, leisten können. Die qualitative und quantitative Darstellung zukünftiger Entwicklungspfade und deren Randbedingungen wurde deshalb zum Thema des Forschungsprojektes "Heizen 2050".

### **4.2 Schwerpunkte des Projektes**

Der Schwerpunkt des Forschungsprojektes Heizen 2050 liegt in der Darstellung und Diskussion zukünftiger Entwicklungspfade der Energiedienstleistungssektoren Raumheizung, Brauchwassererwärmung und Raumklimatisierung in Szenarien. Hierbei werden technologische Aspekte und die Auswirkungen der Entwicklungspfade auf Technologiemitx, Energieträgermix, Energieverbrauch, CO<sub>2</sub>-Emissionen und weitere Aspekte erörtert. Aus technologischer Sicht fokussiert Heizen 2050 auf die Technologiebereiche feste Biomasse, Solarthermie und Wärmepumpen. Weiters wird die Zukunft der Wärmenetze, der Technologien zur Nutzung fossiler Energie und die Entwicklung des Gebäudebestandes an sich untersucht.

Die Projektergebnisse und die abgeleiteten Schlussfolgerungen richten sich an die Projektzielgruppen energie- und forschungspolitische EntscheidungsträgerInnen, Technologieproduzenten und an Institutionen aus dem Bereich der Forschung und Entwicklung (F&E). Beispielhafte Projektfragen welche in Heizen 2050 erörtert

werden sind:

- Was sind die Gebäude-Heizungstechnologien der Zukunft und warum?
- Gibt es Schlüsseltechnologien oder –komponenten welche das Gebäude-Heizenergiesystem der Zukunft maßgeblich verändern können?
- Welche Technologien sind Auslaufmodelle und warum?
- Wie verläuft die Marktdiffusion der Heiz- u. Klimatechnologien bis 2050 in den unterschiedlichen Szenarien?
- Welcher Energieträgermix, welcher Energiebedarf und welche CO<sub>2</sub>-Emissionen stellen sich in den unterschiedlichen Szenarien ein?
- Welche Energieeffizienz weisen Systeme zur Raumkonditionierung und Brauchwassererwärmung im Jahr 2050 auf?
- Wo liegt der zukünftige F&E-Bedarf zur Beschleunigung eines nachhaltigen Wärmebereitstellungssystems?
- Welche Schlussfolgerungen sind für die unterschiedlichen Projektzielgruppen zu ziehen?

### **4.3 Einordnung in das Forschungsprogramm**

Ziel des Forschungsprogramms „Energiesysteme der Zukunft“ ist es (Zitat): Technologien und Konzepte für ein solches, auf der Nutzung erneuerbarer Energieträger aufbauendes, energieeffizientes und flexibles Energiesystem zu entwickeln, das langfristig in der Lage ist, unseren Energiebedarf zu decken (Zitat Ende). Im Sinne dieser Definition versteht sich das Forschungsprojekt Heizen 2050 als Grundlagenforschung im mittel- bis langfristigen strategischen Bereich. Heizen 2050 beschäftigt sich dabei mit der zukünftigen Bereitstellung von Energiedienstleistungen im Gebäudebereich (Raumkonditionierung und Brauchwassererwärmung). In Form der Ergebnisse und Schlussfolgerungen aus Heizen 2050 werden energie-, forschungs- und unternehmenspolitische Entscheidungs- und Planungsgrundlagen bereitgestellt. Die Projektzielgruppen sind nunmehr aufgefordert, die dokumentierten Erkenntnisse zu verwerten und bei der Umsetzung von mittel- und langfristigen Strategien einzusetzen. Um diesen Prozess der Anwendung der Projektergebnisse zu unterstützen, wurden und werden Maßnahmen zur Verbreitung der Erkenntnisse in Form von Informationsveranstaltungen, Publikationen und Präsentationen durchgeführt.

### **4.4 Übersicht über verwendete Methoden und Daten**

Zur Untersuchung der dargestellten Themen wird in Heizen 2050 ein integrativer Modellansatz umgesetzt, der in Abbildung 1 dargestellt ist. Das zentrale Modul und Herz des integrativen Ansatzes ist ein Multinomial Logit Modell mit gekoppeltem logistischem Wachstumsmodell, im Weiteren auch einfach “Simulationsmodell“ genannt. Der Aufbau dieses Simulationsmodells wird im nachfolgenden Abschnitt 5 (Methode und Daten) detailliert erläutert. Die Wurzeln des Gebäudemodells gehen hierbei auf Schrieffl (2007) zurück, der zum Zwecke von Simulationsrechnungen ein

nicht rekursives betriebswirtschaftliches Optimierungsmodell umgesetzt hatte.

Der integrative Modellansatz vereint im ersten Schritt Daten der österreichischen Wohngebäude, der österreichischen Nicht-Wohngebäude, deren Ausstattung mit Heizsystemen sowie die in Abbildung 3.1 unter "Soft skills" zusammengefassten Aspekte des Nutzerverhaltens. Im letzten genannten Bereich finden auch die Servicefaktoren bzw. Rebound-Effekte Berücksichtigung, wobei die empirischen Quantifizierungen von Biermayr (1999) und Biermayr et al. (2004) hierbei bedeutende Grundlagen darstellen.

Eine wesentliche Kategorie von Eingangsparametern in das zentrale Simulationsmodell wird durch die Gruppe der "Exogenen Faktoren" repräsentiert. Hier sind jene Parameter zusammengefasst, welche Rahmenbedingungen darstellen, die den Lösungsraum des Simulationsmodells beeinflussen und nicht selbst aus dem Modell heraus generiert werden. Vertreter dieser Parametergruppen sind die Potenziale erneuerbarer Energie, die Preise von Technologien oder Energieträgern bzw. auch Lernkurven, welche die zeitliche Entwicklung der ökonomischen und technologischen Parameter bis zum Jahr 2050 beschreiben.

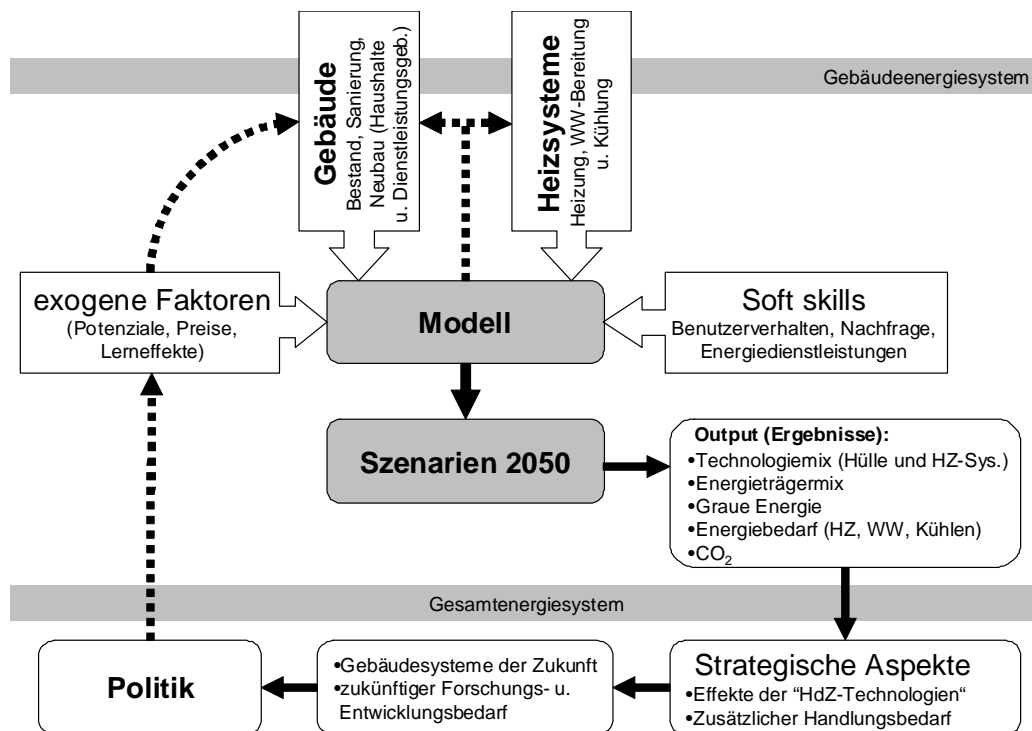


Abbildung 3.1: Integrativer Modellansatz von Heizen 2050.

Die Ergebnisse des Simulationsmodells werden als Szenarien dargestellt, die durch die Annahme von wesentlichen Szenarienparametern (z.B. verschiedene energiepolitische Strategien) definiert werden. Ein Szenario wird wiederum als Gesamtbild einer Entwicklung bis zum Jahr 2050 dargestellt, wobei vor allem der Technologiemix (Gebäudehülle und Heizsystem), der eingesetzte Energieträgermix samt entsprechendem Energieverbrauch und weitere Parameter wie z.B. der

resultierende Treibhausgasausstoß dargestellt werden.

Aus den Szenarienergebnissen werden strategische Ergebnisse generiert, welche in weiterer Folge die Planungs- und Entscheidungsgrundlagen für die Projektzielgruppen darstellen. Schlussendlich werden durch die Simulation unterschiedlicher energiepolitischer Maßnahmen im Simulationsmodell gleichsam auch verschiedene energiepolitische Strategien "getestet" und effektive Strategien im Sinne der Programmintention ausgewiesen. Aus den Ergebnissen der Modellläufe wird weiters ein zukünftiger technologischer Forschungs- und Entwicklungsbedarf abgeleitet der vor allem Schlüsseltechnologien und –komponenten definiert, welche im Zuge der Entwicklung des nationalen Gebäude-Energiesystems eine bedeutende Rolle einnehmen können.

Ein weiterer methodischer Zugang von Heizen 2050 ist durch die Beschreibung von Technologie-Storylines gegeben. In diesen Storylines erfolgt jeweils die epische Beschreibung des Entwicklungsraumes einer einzelnen Technologielinie, wobei auch hier auf die "Haus der Zukunft – Technologien" energetische Nutzung der festen Biomasse, Solarthermie und Wärmepumpen fokussiert wird. Es wird in Heizen 2050 bei der Darstellung der Technologie-Storylines von technologiespezifischen Expertengruppen ein Entwicklungsraum der Technologien bis 2050 aufgespannt, wobei auf wesentliche Faktoren, welche die langfristige Technologieentwicklung und –diffusion beeinflussen, eingegangen wird.

## **4.5 Aufbau der Arbeit**

Der vorliegende Bericht gliedert sich im Weiteren in die folgenden inhaltlichen Abschnitte: In Kapitel 5 erfolgt eine detaillierte Beschreibung des zentralen Simulationsmodells, mit dem die Ergebnisse der vorliegenden Forschungsarbeit generiert wurden. Das Modelldesign, der wissenschaftliche Hintergrund der einzelnen Modellbereiche und die Algorithmen werden erläutert. Kapitel 6 beschäftigt sich mit der Entwicklung des Wärmebedarfs österreichischer Gebäude bis 2050, wobei auf die Entwicklung der Gebäudezahlen, auf die Entwicklung der Gebäudesanierungen sowie auf die Entwicklung des resultierenden Wärmebedarfs eingegangen wird. Technologiestrategische Überlegungen beschließen diesen Abschnitt. In Kapitel 7 erfolgt die Präsentation von Technologieszenarien, welche aus den Modellläufen resultieren. Dabei wird ein Szenarienraum aufgespannt und die Auswirkungen der jeweiligen Technologiediffusion werden erläutert. Der große Abschnitt 8 befasst sich schlussendlich mit technologischen Storylines bis 2050, in denen auf qualitativer aber auch auf quantitativer Ebene in technologiespezifische Zukunftsräume geblickt wird. Hierbei wird auf die "Haus der Zukunft - Technologien" zur Nutzung fester Biomasse, Solarthermie und Wärmepumpen fokussiert, aber auch die Zukunft der Technologien zur Nutzung fossiler Energie, Wärmenetze, Mikro Kraft Wärme Kopplungen und Systeme zur Kühlung und Klimatisierung werden thematisiert.

## 5. Methode und Daten

### 5.1 Modell ERNSTL/EE-LAB

Zur Beantwortung der Fragestellung nach der Entwicklung des Energieeinsatzes für den Bereich der Wärmebereitstellung wurde das an der Technischen Universität Wien, Energy Economics Group (EEG) entwickelte Modell ERNSTL/EE-Lab herangezogen. Die von diesem Modell adressierten Themen sind der Energiebedarf und –verbrauch von Gebäuden zur Heiz- und Warmwasserbereitstellung einerseits, andererseits wird im Modell ein Entscheidungsverhalten von Investoren abgebildet. Damit kann das Modell durch die Auswahl von Heizungssystemen und Gebäudesanierungen in Abhängigkeit von exogen gewählten Rahmenbedingungen die Auswirkungen auf den zukünftigen Energieverbrauch für die hier betrachteten Energiedienstleistungen abbilden. Der grundsätzliche methodische Ansatz ist ein techno-ökonomischer Bottom-up Ansatz der zwischen unterschiedlichen Kohorten differenziert. Der Energieeinsatz wird über Gebäudekenngrößen wie der thermischen Qualität der Außenhülle und den klimatischen Bedingungen berechnet. Querschnittsdaten (im Gegensatz zu Zeitreihendaten) stellen den überwiegenden Dateninput für das Modell dar. Bei der Berechnung der Investitionsentscheidungen wird ein multinominaler Logit Ansatz verwendet.

Um die Entwicklungen hinsichtlich des Wärmebedarfes abzuschätzen werden zwei Szenarien unter der Annahme konstanter klimatischer Bedingungen gezeichnet.

#### 5.1.1 Methodik

##### Gebäudebestand:

Als Datenbasis für den aggregierten, bestehenden Gebäude- und Heizungsbestand und den damit einhergehenden nationalen Energieverbrauch werden die vorhandenen Publikationen der Statistik Austria herangezogen. Im Bereich disaggregierter Daten werden Datenbanken der Autoren verwendet (Biermayr, 1999; Schriefl, 2007), wobei der Abgleich aller verwendeten Daten mittels nationaler Statistiken erfolgt. Zusammenfassend können folgende wesentlichen Quellen angegeben werden:

- Gebäudedaten: Statistik Austria, 2004, "Gebäude- und Wohnungszählung 2001"; Statistik Austria, 2006, Schriftenserie "Wohnungen 2002" bis „Wohnen 2009“; Statistik Austria, 2003-2010, "Arbeitsstättenzählung 2001", Statistik Austria: „Blick auf die Gemeinde: 4.27 Fertiggestellte Gebäude mit Wohnungen“ und „Merkmale: Gebäude und Wohnungen“; Statistik Austria, 2009, „Errichtung von Gebäuden und Wohnungen: Baubewilligungen und Fertigstellungen 2002-2009“, Statistik Austria, 2009, „Heizungen 2003/2004, 2005/2006 und 2007/2008“.

- Energieverbrauch und Energieverbrauchsstrukturen: Statistik Austria, 2005, "Nutzenergieanalyse 2008"; Statistik Austria, 1997, "Energieverbrauch der Haushalte 1996/1997", Mikrozensusserhebungen der Statistik Austria; Statistik Austria, 2009, „Energieeinsatz der Haushalte 2003/2004, 2005/2006 und 2007/2008“

Tabelle 5.1 zeigt die aktuelle Anzahl der Gebäude und Wohneinheiten, aufgeschlüsselt nach 3 Bauperioden sowie deren Sanierungszustand in der verwendeten Modellkalibrierung.

Tabelle 5.1: Anzahl an Gebäuden und Wohneinheiten von 2000 – 2008. Quelle: Statistik Austria und Berechnungen der EEG.

	2000	2002	2004	2006	2008	2000	2002	2004	2006	2008
	(1000 Gebäude)					(1000 Wohneinheiten)				
WG, vor 1945, unrenoviert	255	247	239	231	226	557	539	522	504	496
WG, vor 1945, renoviert	116	120	125	129	130	281	291	302	313	312
WG, 1945-1980, unrenoviert	611	592	572	553	535	1291	1250	1210	1169	1130
WG, 1945-1980, renoviert	99	109	119	129	146	232	255	277	300	337
WG, 1981-2000, unrenoviert	479	479	479	479	479	914	914	914	914	914
WG, 2001-2020, unrenoviert	0	49	106	146	173	0	97	213	292	351
NWG, vor 2010	186	190	195	199	201					

Zur Abschätzung der Entwicklung des zukünftigen Wohngebäudebestandes wurde auf die österreichische Raumordnungskonferenz (ÖROK, 2005): „ÖROK-Prognosen 2001-2031, Teil 2: Haushalte und Wohnungsbedarf nach Regionen und Bezirken Österreichs“ zurückgegriffen. Diese Publikation beschreibt die Entwicklungen des gesamten Wohnungs- und Haushaltsbestandes wie auch den Rückgang an Wohnungen in Gebäuden der Altersklasse „vor 1918“ und „1918-1944“.

Die in diesem Projekt unterstellte Entwicklung der Bruttogeschoßflächen zeigt die Abbildung 5.1. Bei Wohngebäuden wird, ausgehend von etwa 380 Mio. m<sup>2</sup> in 2000, von einem Anstieg auf 476 Mio. m<sup>2</sup> ausgegangen. Für die Nicht-Wohngebäude werden beheizungsrelevante Flächen von 176 Mio. m<sup>2</sup> im Jahr 2000 unterstellt. Diese steigen im dargestellten Szenario auf 232 Mio. m<sup>2</sup>. Der Zeitraum bis 2020 orientiert sich an der Wertschöpfung des Dienstleistungs- bzw. Industriesektors (Müller et al., 2009), ab 2020 wurden die Flächen der Nicht-Wohngebäude direkt an die Flächenentwicklung des Gebäudebestandes gekoppelt.

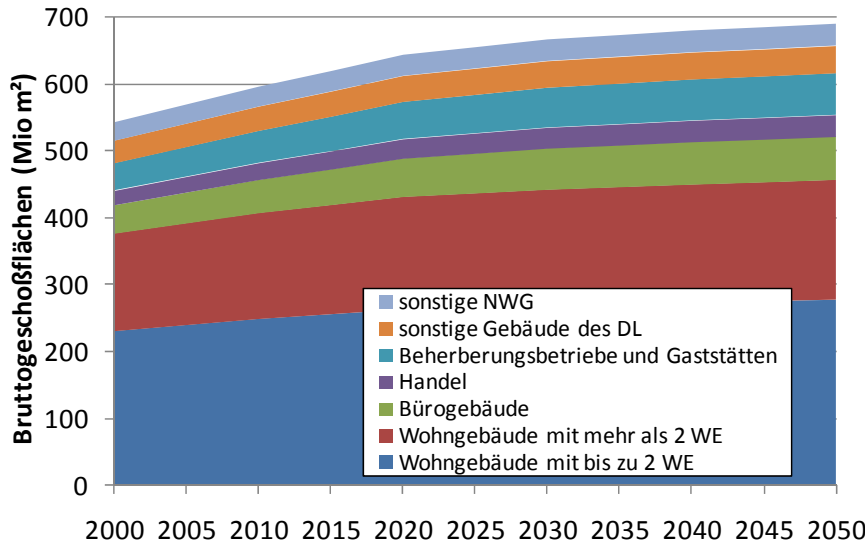


Abbildung 5.1: Entwicklung der Bruttogeschoßflächen von 2000 – 2050.  
Quelle: ÖROK (2005) und Berechnungen EEG.

Referenzszenario:

Zukünftige Sanierungsaktivitäten werden vom verwendeten Modell ERNSTL/EE-LAB primär anhand des Alters der zu sanierenden Bauteile errechnet. Den verschiedenen Bauteilen liegen Lebensdauern zugrunde, die sich entsprechend einer Weibullverteilung verhalten. Als Grundlage dafür dienen Meyer et al. (1994): „Alterungsverhalten von Bauteilen und Unterhaltskosten: Grundlagendaten für den Unterhalt und die Erneuerung von Wohnbauten“ sowie Hansen (2009): „Entwicklung eines energetischen Sanierungsmodells für den europäischen Wohngebäudesektor unter dem Aspekt der Erstellung von Szenarien für Energie- und CO<sub>2</sub>-Einsparpotenziale bis 2030“. Den Zusammenhang zwischen den Anteilen an (gesamt-)sanierteren Gebäuden und deren Alter stellt Abbildung 5.2 dar.

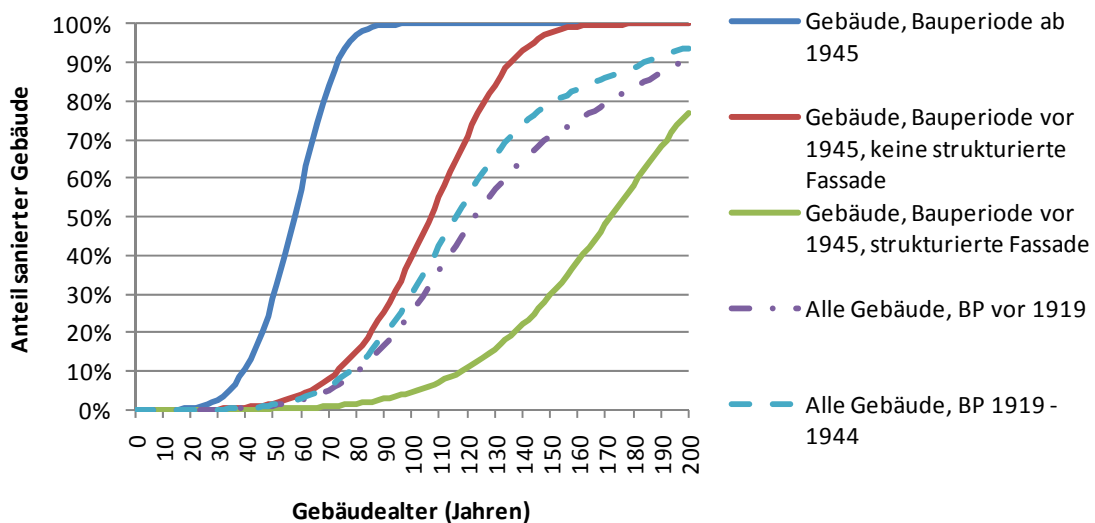


Abbildung 5.2. Anteil sanierter Gebäude in Abhängigkeit vom Gebäudealter.  
Quelle: Berechnungen EEG.

Unter diesen Prämissen kommt es zu dem in Abbildung 5.3 dargestellten Gebäudebestandsszenario. Dabei geht der Anteil der Wohngebäude die vor 1945 errichtet wurden im Zeitraum zwischen 2000 und 2050 um 35% zurück. Der Anteil der sanierten Gebäude liegt bei etwa 50%. Die Anzahl der Wohngebäude, welche zwischen 1945 und 1980 erbaut wurden, reduziert sich um etwa 25%. Der verbleibende Bestand aus dieser Bauperiode wird in diesem Szenario bis 2030-2035 nahezu vollständig saniert. Ab diesem Zeitraum werden zunehmend Gebäude der Bauperiode zwischen 1980 und 2000 saniert. Deren Sanierung ist im 2050 zu großen Teilen abgeschlossen. Der Wohngebäudebestand in 2050 wird in diesem Szenario zu mehr als 70% von Gebäuden gestellt, die vor 2008 errichtet wurden. Ähnlich sieht es im Nicht-Wohngebäudebestand aus. Unter der Prämisse, dass weniger schwer sanierbare, schützenswerte Gebäude vorhanden sind, wird dessen Sanierung bis 2050 nahezu vollständig abgeschlossen sein.

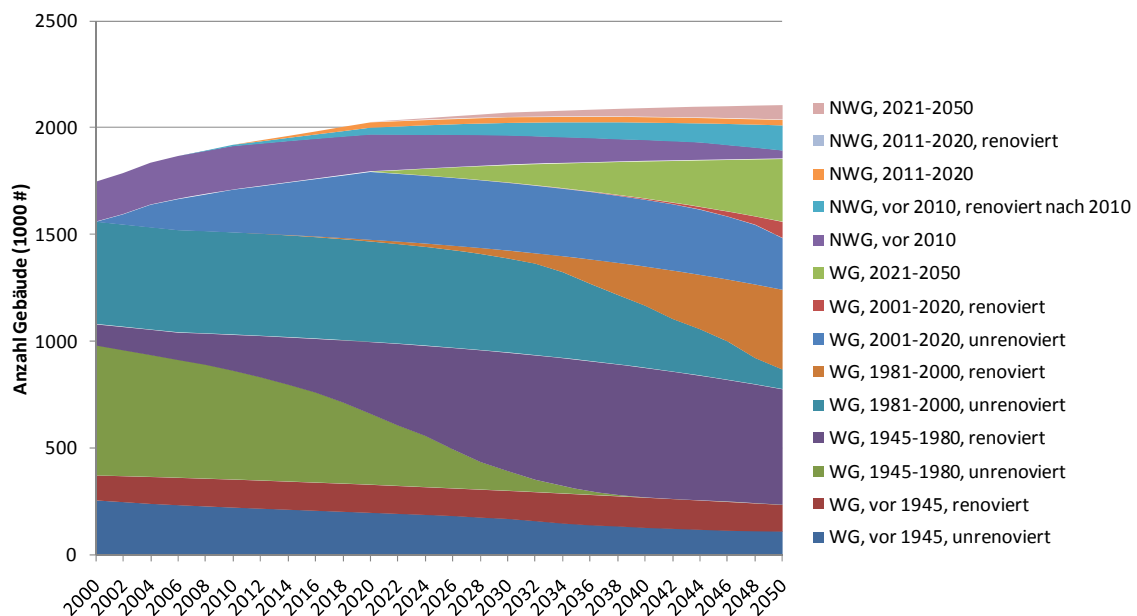


Abbildung 5.3: Entwicklung von Gebäuden: 2000 – 2050.

Quelle: Berechnungen EEG.

Der Energiebedarf von neuen bzw. sanierten Gebäuden ändert sich dynamisch über die Zeit. Dessen Bandbreite wird in diesem Projekt dem Modell als Inputvariable zur Verfügung gestellt. Dabei wird unterstellt, dass der durchschnittliche Heizwärmebedarf HWB von neuen Gebäuden für den Zeitraum bis 2020 im Bereich von 35-40 kWh/m<sup>2</sup>a liegt, ab 2020 bei 20-25 kWh/m<sup>2</sup>a und reduziert sich bis 2040 auf 10 kWh/m<sup>2</sup>. Gebäude der Bauperiode nach 1945 werden in den Szenarien bis 2020 auf 55-80 kWh/m<sup>2</sup>a saniert, danach wird die Sanierungsqualität sukzessive auf 10-15 kWh/m<sup>2</sup>a im Jahr 2050 angehoben. Gebäude der Bauperiode vor 1945 gelten als schwieriger zu sanieren. Die zugrundeliegende Annahme unterstellt, dass eine mittlere Sanierungsqualität von 90-125 kWh/m<sup>2</sup>a im Zeitraum bis 2020 vor liegt und diese auf 50-55 kWh/m<sup>2</sup>a bis 2050 angehoben wird.



### Ambitioniertes Sanierungsszenario

Das oben skizzierte Szenario legt bereits höherwertige Sanierungen als diese in der Vergangenheit beobachtet wurden zu Grunde und erfordert daher zur Realisierung bereits umfassende energiepolitische Rahmenbedingungen. Zusätzlich zu dem oben dargestellten Referenzszenario wird ein noch ambitioniertes Szenario berechnet. Dieses, alternativ gezeigte Ambitionierte Sanierungsszenario zeigt ein, aus unserer heutigen Sicht, mögliches „realisierbares Maximalszenario“ auf. Es unterstellt höhere durchschnittliche Sanierungsqualitäten (20-30 kWh/m<sup>2</sup>a für Gebäude der Bauperiode nach 1945 bis 2020, ab 2030: 10kWh/m<sup>2</sup>a; 60-85 kWh/m<sup>2</sup>a für Gebäude der Bauperiode vor 1945 bis 2020, kontinuierliche Verbesserung auf 30 kWh/m<sup>2</sup>a bis 2050) sowie forcierte Sanierungszyklen (45 anstatt 55 Jahre).

#### **5.1.1.1 Heizenergiebedarf**

Die Auswirkungen des Klimawandels auf den Heizendenergieeinsatz werden in einem 2-stufigem Verfahren ermittelt. In der ersten Stufe wird für den betrachteten Zeithorizonts 2000-2050 der Endenergieeinsatz unter konstantem Klima ermittelt. Bei einer räumlichen Auflösung von 3 Hauptregionen: Wien, verbleibenden städtisch geprägten Räume und ländlich geprägten Räume) sowie mehrere Subregionen die sich hinsichtlich der Energieträgerverfügbarkeit unterscheiden, werden im Modell ERNSTL/EE-LAB die Veränderungen des betrachteten Energieverbrauches aufgrund der Änderungen des Gebäudebestandes (Abriss, Neubau, Sanierungen) sowie der eingesetzten Gebäudetechnik (Tausch von Heizungssystemen) abgebildet.

In einer nachfolgenden Stufe erfolgt unter der Annahme konstanter Entscheidungen – sowohl in Bezug auf Sanierungen, Wahl des Heizungssystems als auch Gebäudeabriss – eine Berechnung des Energieeinsatzes mit einer räumlichen Auflösung auf Gemeindeebene. Dazu werden die Daten der GWZ 2001 auf Gemeindebasis (Statistik Austria, Blick auf die Gemeinde), Entwicklung der Gebäudebestandsdaten auf Bezirksebene (ÖROK, 2005) sowie die Entwicklung der Klimadaten auf Gemeindeebene aus Arbeitspaket 1 herangezogen.

Die Berechnung des Heizwärmebedarfes erfolgt entsprechend der für den Energieausweis relevanten ÖNORM B 8110-5, die Verluste des Wärmebereitstellungs- und Wärmeverteilungssystem werden auf Basis der ÖNORM H 8055 ermittelt. Diese Vorgehensweise wurde sowohl für Wohn- wie auch Nicht-Wohngebäude gewählt. Die Methode ist damit mit der Methode zur Berechnung der Kenngrößen für den Energieausweis von Wohngebäuden konsistent. Der Endenergiebedarf  $EEB_{Norm}$  bei dieser Vorgehensweise entspricht einem theoretischen Energiebedarf der sich durch eine Normbeheizung des Gebäudes ergeben würde. Dieser stimmt aber in der Regel nicht mit den real gemessenen Energieverbräuchen von Gebäuden überein. Um eine Konsistenz mit dem tatsächlichen kumulierten Energieeinsatz  $EEB_{EB}$ , wie er in den Energiebilanzen ausgewiesen wird, herbeizuführen, wird für Wohngebäude zusätzlich ein Servicefaktor definiert. Diese Variable, methodisch basierend auf Loga et al. (2003),

Born et al. (2003) sowie Biermayr (1999), definiert die Gebäude- und Wärmebereitstellungsabhängige Differenz zwischen Norm- und Realbeheizung.

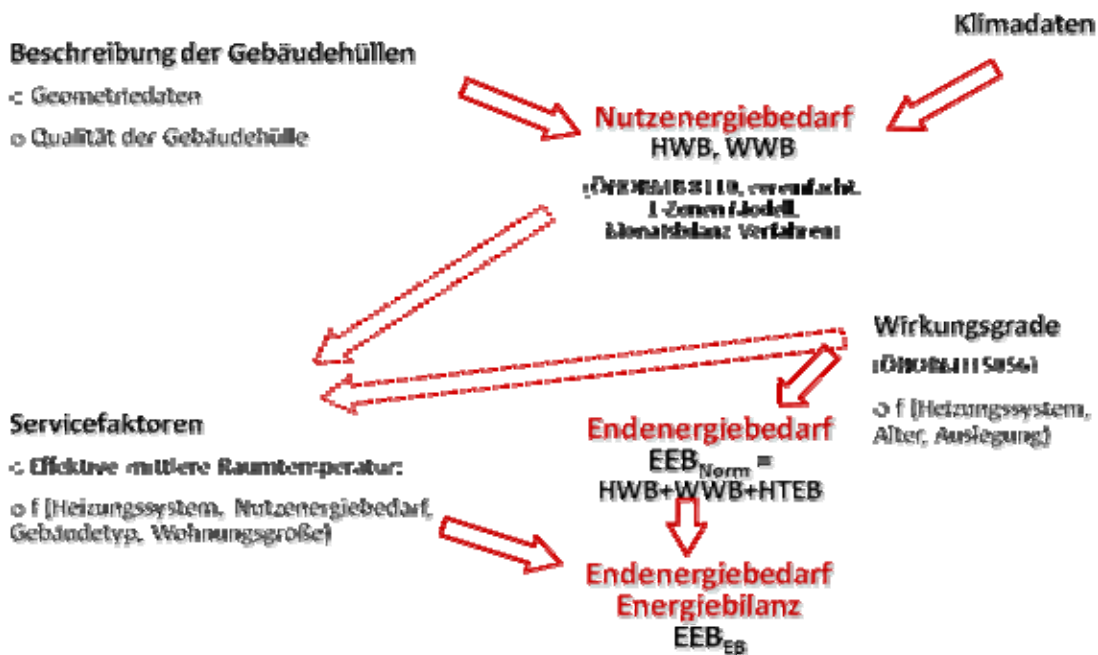


Abbildung 5.4: Darstellung der prinzipiellen Methode zur Berechnung des Endenergiebedarfes im Modell ERNSTL/EE-LAB. Quelle: EEG.

Der normierte, spezifische Endenergiebedarf  $EEB_{Norm}$  pro  $m^2$  Bruttogeschosßfläche(BGF) errechnet sich dabei aus:

$$EEB_{Norm} = HWB + WWB + HTEB \left[ \frac{kWh}{m^2a} \right]$$

- mit  $EEB_{Norm}$  spez. Endenergiebedarf nach ÖNORM H 5056  
 $HWB$  spez. Heizwärmebedarf nach ÖNORM B 8110  
 $WWB$  spez. Warmwasserwärmebedarf  
 $HTEB$  spez. Heiztechnik-Energiebedarf

Im Gegensatz zur Normberechnung, bei welcher der Endenergieeinsatzes  $EEB_{Norm}$  die Energieeinträge aktiver solarthermischer Bauteile sowie den Umgebungswärmeanteil der durch Wärmepumpen aktiviert wird, nicht enthält, werden diese in den nachfolgenden Darstellungen sehr wohl ausgewiesen. Dies gilt nicht für Energieeinträge passiver Bauteile (solarthermische Einträge über transparente Bauteile und innere Lasten).

$$EEB_{ERNSTL/EE-LAB} = EEB + \frac{Q_{Sol} + Q_{Umgebung,Wärmepumpen}}{BGF}$$

$Q_{Sol}$ ... jährlicher solarthermischer Energieeintrag  $\left[ \frac{kWh}{a} \right]$

$Q_{Umgebung,Wärmepumpen}$ ... jährlicher Energieeintrag aus Umgebungswärme  $\left[ \frac{kWh}{a} \right]$

### Berechnung des Heizwärmebedarfes HWB:

Bei der Berechnung des Heizwärmebedarfes von Gebäuden können drei Methoden unterschieden:

- Dynamische Verfahren (Gebäudesimulation)
- Quasi-stationäre Verfahren (Monats-Bilanzverfahren)
- Stationäre Verfahren (Heizperioden-Bilanzverfahren)

Quasistationäre Verfahren verwenden die monatlichen Durchschnittstemperaturen als wesentliche klimatologische Eingangsgröße. Damit wird der Nachteil der stationären Heizperiodenbilanzverfahren, nämlich die Länge der Heizperiode, methodeninhärent adressiert und damit eliminiert. Der zusätzliche Aufwand des Verfahrens ist überschaubar. Deshalb hat man sich in Österreich darauf geeinigt, als Mindestanforderung für den Energieausweis das Monatsbilanzverfahren zu fordern. Das quasistationäre Verfahren ist jenes Verfahren, welches im ERNSTL/EE-LAB Modell und damit auch in der vorliegenden Arbeit zu Anwendung kommt. Gebäude sind im Modell als 1-Zonen Gebäudemodelle abgebildet. Für die Innenraumtemperaturen, die monatlichen Nutzungsdauern und Luftwechselraten der Gebäude wurden die Normvorgaben gemäß ÖNORM B 8110-5 herangezogen.

### Berechnung des Warmwasserwärmebedarfes WWWB

Zur Berechnung des erforderlichen Warmwasserbedarfs von Gebäuden wurden die Kenngrößen gemäß ÖNORM B 8110-5 verwendet. Diese beziehen sich auf die beheizte Geschoßfläche und liegen für Wohngebäude, Kindergarten, Schulen sowie Hotels und Pensionen bei 35 Wh/m<sup>2</sup>d, bei Verkaufsstätten und Bürogebäude wird ein Kennzahl von 17,5 Wh/m<sup>2</sup>d herangezogen, für Sportstätten, Krankenhäuser und Pflegewert liegt diese bei 70 Wh/m<sup>2</sup>d.

### Servicefaktor:

Wie eingangs erwähnt entspricht der Endenergieeinsatz, wie er sich bei einer Berechnung nach Norm ergibt, nicht dem real gemessenen Energieeinsatz. Das ist durchaus im Sinne der dem Gebäudeausweis hinterlegten Idee, das Gebäude nicht aber das Nutzerverhalten abzubilden und damit zu bewerten. Naturgemäß können die exakten Verhalten aller Nutzer nicht abgebildet werden. Sofern es zu keiner durchschnittlichen statistischen Abweichung kommen würde, hätte dies für die hier betrachtete Fragestellung auch keine Relevanz. Tatsächlich lässt sich aber eine systematische Abweichung zwischen dem berechneten und dem real gemessenen

Endenergieeinsatz bestimmen. Für das Nutzerverhalten lässt sich eine Abhängigkeit von den folgenden Eigenschaften erkennen:

- Thermische Qualität der Gebäudehülle
- Größe der Wohneinheit
- Zentralisierungsgrad des Heizungssystems
- Standortklima

Der Einfluss der thermischen Qualität der Gebäudehülle auf den Servicefaktor lässt sich durch höhere spezifische Heizkosten und einem damit einhergehenden bewussteren Umgang mit dem Thema Heizen erklären. Das bedeutet wiederum, dass Energiepreise wie auch das Standortklima einen ähnlichen Effekt zeigen sollten. Biermayr (1999) zeigt auf Basis einer ökonometrischen Analyse auf, dass es sich beim Einfluss der Energiepreise auf den Energieverbrauch nicht um eine kontinuierliche sondern um eine Variable mit Schwellwertcharakter handelt. Eine Kalibrierung des Modells hinsichtlich dieser Größe kann im Rahmen von diesem Projekt nicht durchgeführt werden. Der Einfluss dieser Variable auf den Servicefaktor wird daher vernachlässigt. Einen ähnlichen Einfluss sollte das Standortklima auf den Servicefaktor haben. Höhere Jahrestemperaturen führen zu einem niedrigeren Heizenergiebedarf und damit ceteris paribus zu niedrigeren Heizkosten. Diese Variable wird – mit ähnlicher Wirkung wie die Qualität der thermischen Gebäudehülle – bei der Berechnung des Servicegrades mit aufgenommen.

Der Einfluss des Servicegrades spiegelt sich in einer geänderten mittleren Innenraumtemperatur wider. Dazu wird von Loga et al. (2003) eine Berechnungsgrundlage zur Verfügung gestellt mit welcher der Einfluss des Nutzerverhaltens durch ein Nutzermodell abgebildet werden kann. Demnach weicht die durchschnittliche Innenraumtemperatur von der Raumsolltemperatur von 21 °C („... empfundene (operative) Temperatur von 21 °C (Schwerpunkt des „Behaglichkeitsfeldes“)...“) durch folgenden Faktoren ab:

- zeitlich eingeschränkte Beheizung
- räumlich eingeschränkte Beheizung
- „Nutzungsfaktor“ per se

#### Berechnung der Innenraumtemperatur nach Loga et al. (2003):

$$\bar{\vartheta}_{i,Loga} = \bar{\vartheta}_e + f_{ze,Loga} f_{re} f_{n,Loga} (\bar{\vartheta}_{i,Soll} - \bar{\vartheta}_e)$$

mit  $\bar{\vartheta}_e$  mittlere Außentemperatur (°C)

$\bar{\vartheta}_{i,Loga}$  mittlere Innentemperatur (°C)

$\bar{\vartheta}_{i,Soll}$  Soll-Innentemperatur (°C)

$f_{ze,Loga}$  Reduktionsfaktor zeitlich eingeschränkte Beheizung

$f_{re}$  Reduktionsfaktor räumlich eingeschränkte Beheizung

$f_{n,Loga}$  "Nutzungsfaktor"

Die Auswirkung der zeitlich eingeschränkten Beheizung (Nachtabsenkung) wurde auf Basis von Loga et al. (1999) mittels dynamischer Simulation in Abhängigkeit des Transmissions- und Lüftungsleitwertes  $L = L_T$  und  $L_V$  wie folgt ermittelt.

$$l = \frac{L}{A_{BF}}$$

mit  $A_{BF}$  beheizte Gebäudefläche (0,7 - 0,8 BGF) [m<sup>2</sup>]

$$f_{ze,Loga} = 0,9 + \frac{0,1}{1+l}$$

Die räumlich eingeschränkte Beheizung bestimmt sich auf Basis von Loga et al. (1999) und Loga et al. (2001) wie folgt.

$$f_{re} = \frac{1}{0,5\sqrt{l} \cdot n_{re}^2 + 1}$$

mit  $n_{re}$  nicht direkt beheizter Raumanteil

$$n_{re} = 0,25 + 0,2 \arctan \frac{A_{WE} - 100}{50}$$

$$A_{WE} = \frac{A_{BF}}{n_{WE}}$$

mit  $n_{WE}$  Anzahl der Wohneinheiten pro Gebäude

Der Nutzerfaktor wird bei Loga et al. (2003) wie folgt definiert:

$$f_{n,Loga} = 0,5 + \frac{1}{1 + 0,5 \cdot l}$$

Erweiterungen bzw. Änderung des Nutzermodells von Loga et al. (2003):

$$\bar{\vartheta}_i = \bar{\vartheta}_e + f_{ze} f_{re} f_n (\bar{\vartheta}_{i,Soll} - \bar{\vartheta}_e)$$

mit  $\bar{\vartheta}_i$  mittlere Innentemperatur entsprechend ERNSTL/EE-LAB (°C)

$f_n$  "Nutzungsfaktor" Implementierung entsprechend ERNSTL/EE-LAB

$f_{ze}$  Reduktionsfaktor zeitlich eingeschränkte Beheizung ERNSTL/EE-LAB

Einfluss des Standortklimas:

Wie bereits diskutiert, kann auf Basis von Plausibilitätsannahmen unterstellt werden, dass das Standortklima auf den Benutzerfaktor einen ähnlichen Einfluss wie die thermische Qualität der Gebäudehülle, ausgedrückt im Leitwert, hat. Damit dies im Modell repräsentiert werden kann, wird für die Berechnung des Servicefaktors ein klimakorrigierter spezifischer Leitwert verwendet.

$$l_{HGTkorr} = \frac{HGT_{Standort} \cdot l}{3240}$$

mit  $HGT_{Standort}$  Orts- und zeitspezifische Heizgradtage  
 3240 mittlere HGT Deutschland 1980-2004

Nutzerfaktor  $f_n$ :

Ein Vergleich der Ergebnisse mit Schrieffl, 2007 (auf Basis von Biermayr, 1999) zeigt, dass der Einfluss des Nutzerfaktors  $f_{n,Loga}$  eventuell überschätzt wird und die Kalibrierung des Nutzerfaktors nach Born et al. (2003) besser übereinstimmt. Daher wird im hier eingesetzten Modell der Nutzerfaktor mit

$$f_n = 0,5 + \frac{2}{3 + 0,6 \cdot l_{HGTkorr}}$$

abgebildet.

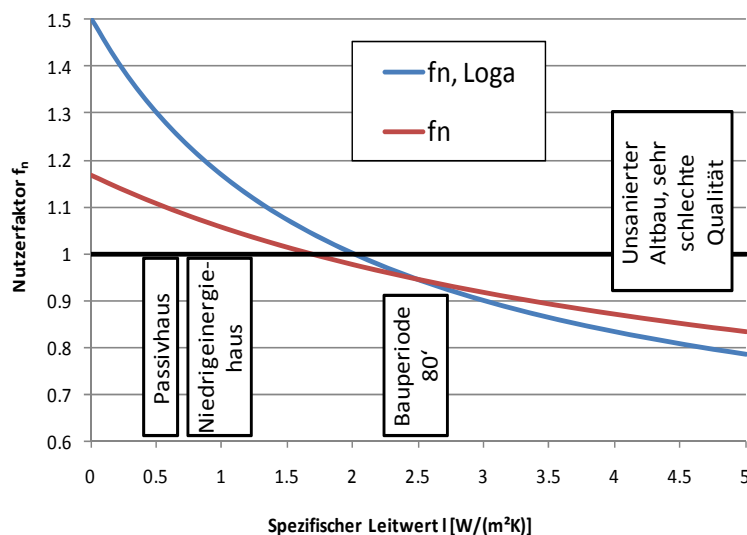


Abbildung 5.5: Vergleich des Nutzerfaktors  $f_{n,Loga}$  nach Loga et al. (2003) mit dem in ERNSTL/EE-LAB abgebildeten Nutzerfaktors  $f_n$ .

Einfluss des Heizungssystems:

Biermayr (1999) zeigt auf, dass der Zentralisierungsgrad des Heizungssystems einen wesentlichen Einfluss auf den Endenergieeinsatz für Heizen und Warmwasser hat. Aus den Daten abgeleitet, wird der Korrekturfaktor für den Fall eines Einzelheizungssystems auf 0,75, für alle anderen Systeme auf 1 gesetzt.

Für Nicht-Wohngebäude wird der Servicefaktor auf 1 gesetzt, d.h. die Energieverbräuche werden anhand der Norm-Innenraumtemperatur berechnet.

$$f_{HS} = \begin{cases} 0,75 \text{ (HS: Einzelofen)} \\ 1 \text{ (Gebäude-/Wohnungszentralheizung)} \end{cases}$$

$$EEB_{HS,korr} = f_{HS} \cdot EEB$$

mit  $EEB$  Endenergieeinsatz

$f_{HS}$  Korrekturfaktor für Heizungssystem

### 5.1.1.2 Tausch des Heizungssystems: Entscheidungsfindung

Zur Entscheidungsfindung beim Tausch des Heizungssystems wird ein multinominales Logit Modell, welches mit einem Logistischen Substitutionsmodell verschnitten ist, eingesetzt. In Abhängigkeit der Kosten der unterschiedlichen Optionen, die Verfügbarkeit der damit verbundenen Energieträger an den verschiedenen Standorten, deren historischen Anteile an Verkäufen, sowie das bereits bestehende Heizungssystem wird der Anteil der unterschiedlichen möglichen Heizungssysteme berechnet. Sofern keine Restriktionen betrachtet werden gilt, dass die günstigste Technologie die größten Marktanteile hält, jedoch auch den teureren Technologien gewisse Anteile zugeschrieben werden. Das Logit Modell für den einfachsten Fall: 1 Gebäude, n Technologien aus n Technologiegruppen, keine Restriktionen zeigt die nachfolgende Formel:

$$s_{Tech,i,t} = \frac{e^{-\delta \frac{c_{Tech,i,t}}{c_{m,t}}}}{\sum_{j=1}^n e^{-\delta \frac{c_{Tech,j,t}}{c_{m,t}}}}$$

$$c_{m,t} = \sum_{j=1}^n c_{Tech,j,t} \cdot s_{Tech,j,t}$$

$c_{Tech}$  ... Kosten der Technologien (Annuitätenmethode)

$c_m$  ... Durchschnittliche Kosten

$s$  ... Anteil der Technologie i an Gesamtinstallationen

Den Zusammenhang zwischen Kostenrelation,  $s$  und den Marktanteilen für ein System mit zwei Technologien zeigt Abbildung 5.6.

Tatsächlich kommen im Modell viele Technologien, eingesetzt in unterschiedlichen Gebäuden unter Berücksichtigung der oben dargestellten Restriktionen zum Einsatz. Dies führt zu einem bestimmten Ausgleich der Einflüsseffekte. Den Einfluss von  $s$  unter Berücksichtigung aller Technologien, Gebäude und Restriktionen auf den betrachteten Endenergieeinsatz nach 30 Simulationsperioden zeigt Abbildung 5.7. Für die weiteren Berechnungen wurde ein  $\delta$  von 7,5 gewählt.

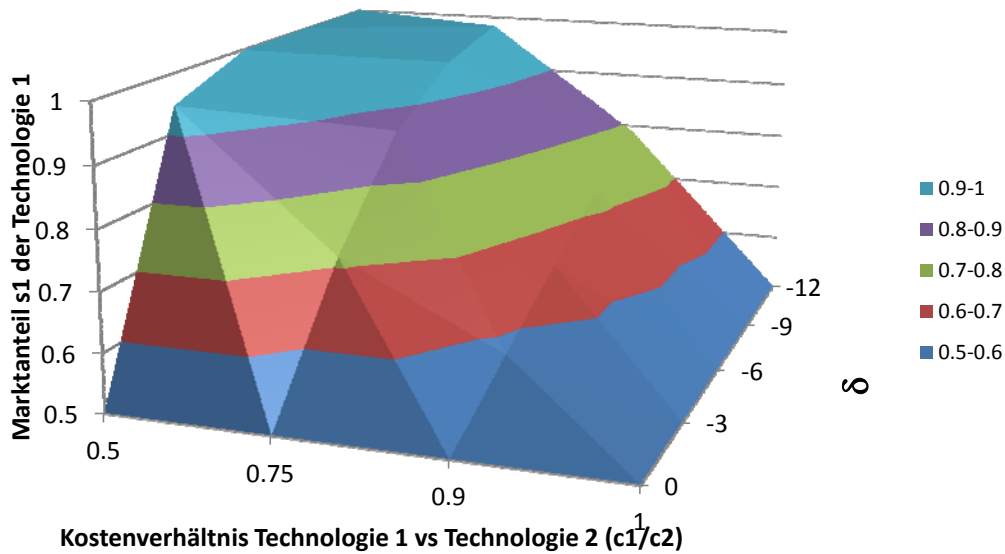


Abbildung 5.6. Marktanteile in Abhängigkeit der Kostenverhältnisse und des Parameters  $\sigma$  für den einfachsten Fall: zwei Optionen ohne Restriktion. Quelle: EEG.

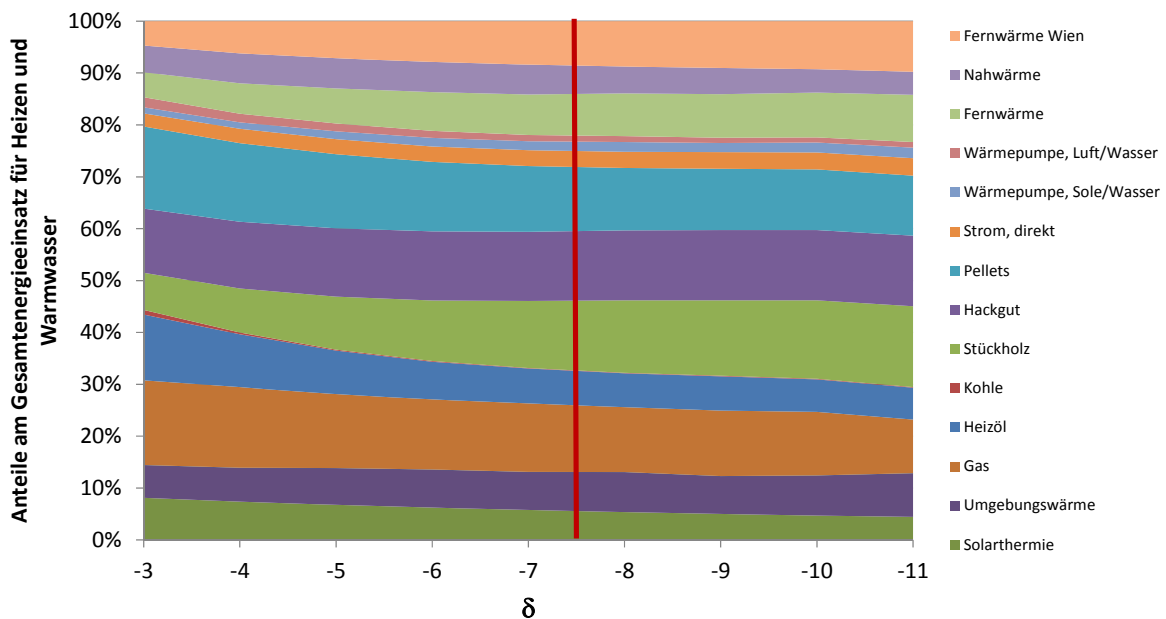


Abbildung 5.7: Einfluss des Parameters  $\sigma$  unter Berücksichtigung aller Heizungssysteme und Gebäude nach 30 Simulationsperioden auf den betrachteten Endenergieverbrauch. Quelle: EEG.

## 5.2 Energiepreisentwicklung

Der oben dargestellte Modellalgorithmus entscheidet unter zahlreichen Randbedingungen betriebswirtschaftlich, wobei sowohl Investitions- und Betriebskosten kalkuliert werden. Die Investitionskosten der Technologien sind in als Technologiedatenbank integriert, die Betriebskosten der Systeme resultieren weitestgehend aus den Brennstoffkosten der eingesetzten Energieträger. Die



Potenziale erneuerbarer Energie sind in diesem Zusammenhang als dynamische Potenzial-Preiskurven abgebildet. Die prinzipielle angenommene Entwicklung der Energiepreise ist in Abbildung 5.8 dargestellt.

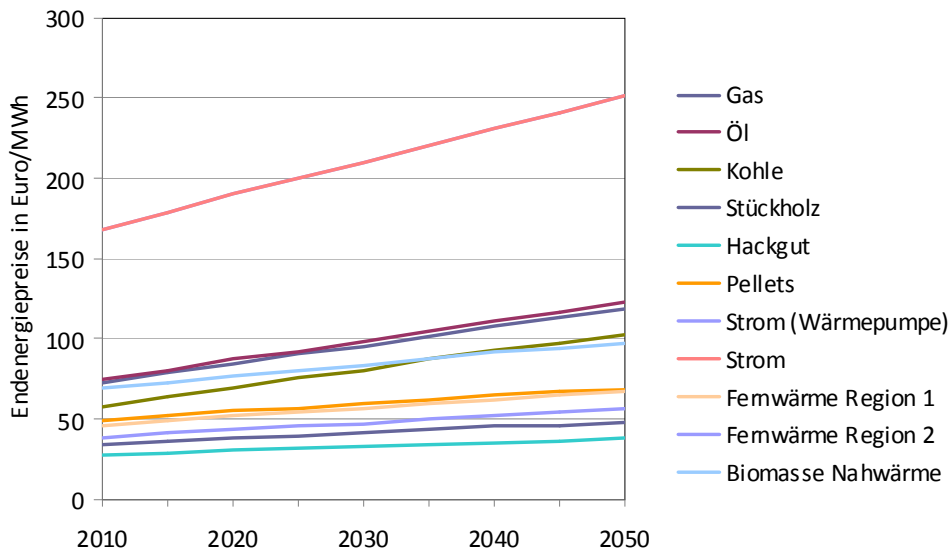


Abbildung 5.8: Angenommene Entwicklung der Energiepreise von 2010 bis 2050.  
Quelle: EC, DG TREN, PRIMES Model, 2006 u. 2007; EEG.

Beispiele für die implementierten dynamischen Potenzial-Preiskurven sind in den folgenden Abbildungen anhand der Energieträger Stückholz, Hackschnitzel, Pellets und Biomasse Nahwärme dokumentiert. Die Kurven in den Diagrammen gelten dabei jeweils für ein bestimmtes Jahr, die Potenziale erweitern sich über den Betrachtungszeitraum bei den Energieträgern Hackschnitzel, Pellets und Biomasse Nahwärme durch verbesserte Erschließung und erweiterte Produktionskapazitäten.

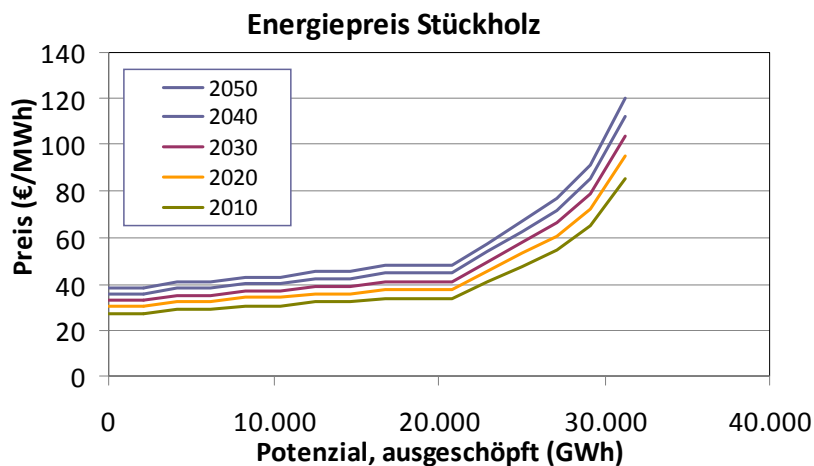


Abbildung 5.9: Dynamische Potenzial-Preiskurve für Stückholz von 2010 bis 2050.  
Quelle: Berechnungen EEG.

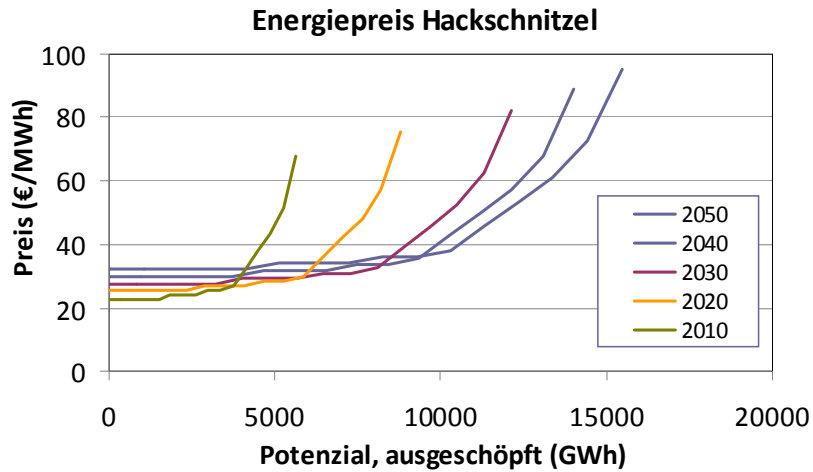


Abbildung 5.10: Dynamische Potenzial-Preiskurve für Hackschnitzel von 2010 bis 2050. Quelle: Berechnungen EEG.

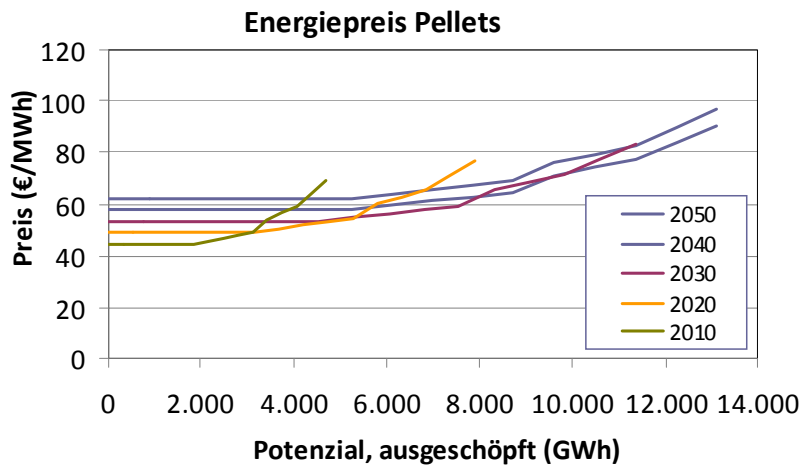


Abbildung 5.11: Dynamische Potenzial-Preiskurve für Pellets von 2010 bis 2050. Quelle: Berechnungen EEG.

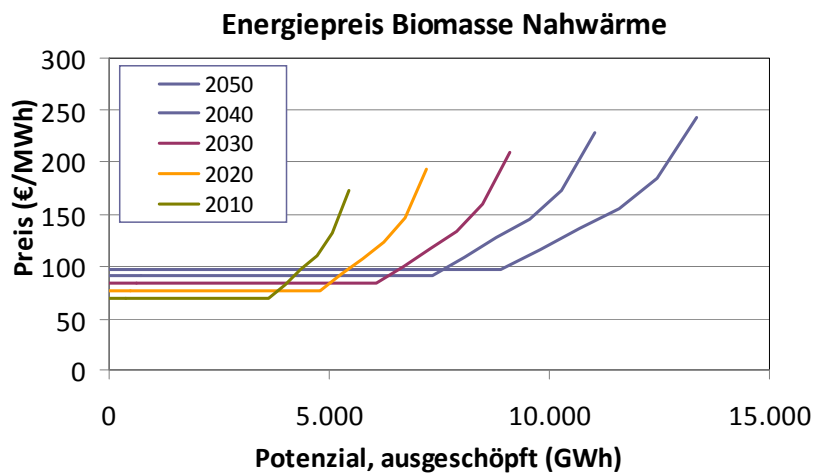


Abbildung 5.12: Dynamische Potenzial-Preiskurve für Biomasse Nahwärme von 2010 bis 2050. Quelle: Berechnungen EEG.

## 6. Der Wärmebedarf österreichischer Gebäude bis 2050

In diesem Abschnitt erfolgt die Darstellung der Entwicklung des Wärmebedarfes der Gebäude in Österreich. Zunächst wird die ermittelte Entwicklung der Gebäudezahlen dokumentiert, darauf Aufbauend erfolgt die Darstellung der Wärmebedarfszahlen. Hierbei wird auch die Diffusion der Gebäudesanierung über den Betrachtungszeitraum vom Jahr 2000 bis zum Jahr 2050 thematisiert.

### 6.1 Die Entwicklung der Gebäudezahlen bis 2050

Die in Heizen 2050 angenommene Entwicklung der Gebäudezahlen in Österreich vom Jahr 2000 bis zum Jahr 2050 ist in Tabelle 6.1 und in Abbildung 6.1 dokumentiert. Der methodische Hintergrund der Zahlen wurde bereits im Abschnitt 5, Unterabschnitt 5.1.1 erläutert.

In Abbildung 6.1 wird deutlich, dass die überwiegende Zahl der österreichischen Gebäude vom Typ Ein- und Zweifamilienhaus ist. Die zweitgrößte Rubrik ist jene der Mehrfamilienhäuser. Wohngebäude (alle Klassen) nehmen somit bezüglich ihrer Anzahl im Jahr 2000 einen Anteil von 89,3% aller Gebäude ein. Dieser Anteil sinkt bis zum Jahr 2050 unwesentlich auf 87,9%. Die absoluten Zahlen der Gebäude steigen bis zum Jahr 2020 merklich, im Zeitraum von 2020 bis 2050 erfolgt eine weitgehende Stagnation der Gebäudezahlen.

Tabelle 6.1: Entwicklung der Gebäudezahlen in Österreich von 2010 bis 2050 nach Gebäudekategorien. Quelle: Berechnungen EEG.

Gebäudekategorie	Jahr, Anzahl der Gebäude in 1000					
	2000	2010	2020	2030	2040	2050
Wohngebäude EFH u. ZFH	1387,2	1520,1	1593,7	1621,5	1635,8	1644,8
Wohngebäude MFH (klein)	54,5	59,3	62,4	63,8	64,6	65,1
Wohngebäude MFH (groß)	118,1	131,5	138,5	141,5	143,3	144,6
Gebäude des Handels (groß)	14,6	16,9	19,6	21,0	21,7	22,0
Hotels und Gastronomie (groß)	1,5	1,7	2,0	2,1	2,2	2,2
Krankenhäuser	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5
Bürogebäude (groß)	5,9	6,8	7,9	8,5	8,8	8,9
Schulen und Bildung	17,8	19,1	20,2	20,6	20,8	21,0
Gebäude für Sport und Freizeit	1,8	2,1	2,4	2,6	2,7	2,7
Bürogebäude (klein)	16,8	19,5	22,7	24,3	25,0	25,4
Hotels und Gastronomie (klein)	23,0	26,7	31,0	33,3	34,3	34,8
Gebäude des Handels (klein)	37,5	43,5	50,4	54,1	55,7	56,6
Büros in Wohngebäuden	7,4	8,6	9,9	10,7	11,0	11,2
Werkstätten u. Industrie (groß)	19,7	21,2	22,3	22,8	23,1	23,3
Werkstätten u. Industrie (klein)	39,6	42,5	44,7	45,7	46,3	46,7
Summen	1745,8	1919,8	2028,3	2072,8	2095,6	2109,8

Abkürzungen: EFH: Einfamilienhaus; ZFH: Zweifamilienhaus; MFH: Mehrfamilienhaus.

Die dargestellte Entwicklung veranschaulicht deutlich, dass die Zukunft der Bauwirtschaft langfristig nur in der Gebäudesanierung liegen kann. Die stagnierenden Gebäudezahlen ab 2020 enthalten natürlich auch den Abbruch von Altbauten und den Neubau zur Substitution des Abbruchs. Diese hier nicht explizit sichtbaren Neubauraten liegen jedoch deutlich unter jenen des Zeitraumes von 2000 bis 2020.

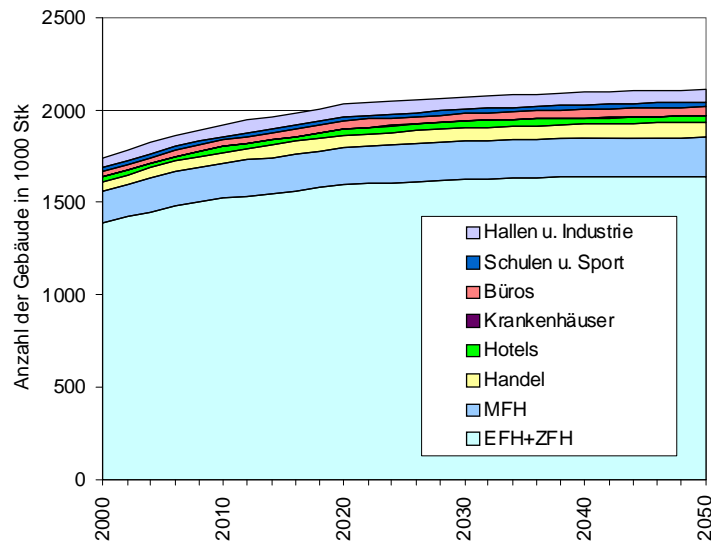


Abbildung 6.1: Entwicklung der Gebäudezahlen in Österreich von 2000 bis 2050 nach groben Gebäudeklassen. Quelle: Berechnungen EEG.

Die Veränderung der Gebäudezahlen in Österreich vom Jahr 2000 bis zum Jahr 2050, bezogen auf die Zahl von 2000, ist in Tabelle 6.2 dokumentiert. Das Wachstum der Anzahl der Wohngebäude liegt dabei deutlich unter jenem mancher Servicegebäude-Kategorien. Die größten Wachstumszahlen sind bei den Gebäuden des Handels, bei Hotels und Gaststätten und bei Bürogebäuden zu erwarten.

Tabelle 6.2: Wachstum der Anzahl der Gebäude von 2000 bis 2050 bezogen auf das Jahr 2000. Quelle: Berechnungen EEG.

Gebäudekategorie (grob)	Wachstum der Anzahl von 2000 auf 2050
Ein- und Zweifamilienhäuser	18,6%
Mehrfamilienhäuser	21,5%
Gebäude des Handels	51,1%
Hotels und Gastronomie	51,1%
Krankenhäuser	17,9%
Bürogebäude	51,0%
Schulen, Sportstätten und Freizeiteinrichtungen	20,9%
Werkstätten und Industriegebäude	17,9%
Total	20,8%

## 6.2 Die Entwicklung der Gebäudesanierung bis 2050

Die Entwicklung der Gebäudesanierung in Österreich bis zum Jahr 2050 ist in Abbildung 6.2 dargestellt. Der methodische Hintergrund der Berechnung wurde in Abschnitt 5.1.1 erläutert. In Abbildung 6.2 wird die Entwicklung der Sanierung nach Bauperioden und einer groben Kategorisierung der Gebäude in Wohngebäude und Nicht-Wohngebäude dargestellt. Wird die Abbildung von unten nach oben betrachtet, so wird ersichtlich, dass die Anzahl der Wohngebäude aus der Bauperiode vor 1945 (sanierte und nicht sanierte Gebäude) im Zeitraum vom Jahr 2000 bis zum Jahr 2050 durch Abbruch deutlich reduziert werden. Bereits im Jahr 2000 war ein markanter Anteil dieses alten Bestandes bereits saniert, die weitere Sanierungsrate ist jedoch sehr gering, da zahlreiche Gebäude aus dieser Bauperiode aus technisch-ökonomischer Sicht nicht sanierbar sind und/oder unter Denkmalschutz stehen. Nicht denkmalgeschützte Gebäude aus dieser Bauperiode werden tendenziell saniert oder abgerissen.

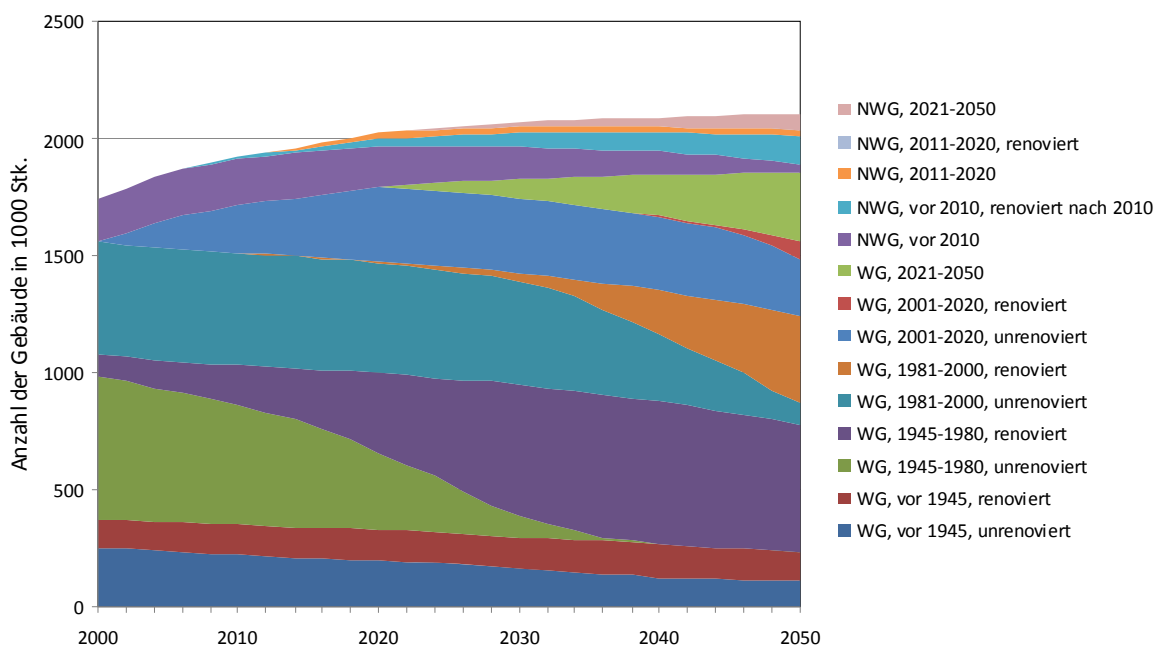


Abbildung 6.2: Entwicklung der Gebäudesanierung in Österreich bis 2050 nach Bauperioden und Gebäudeklassen. Quelle: Berechnungen EEG.  
Abkürzungen: NWG: Nicht-Wohngebäude; WG: Wohngebäude;

Wohngebäude der Bauperiode 1945 bis 1980 werden im Betrachtungszeitraum quasi zur Gänze saniert, ein geringer Anteil wird jedoch auch abgerissen. Diese Gebäude sind mehrheitlich aus technisch-ökonomischer Sicht sanierbar, der Denkmalschutz verhindert die Sanierungen bei Gebäuden dieser Bauperiode nur in Einzelfällen. Wohngebäude aus der Bauperiode 1981-2000 werden im Betrachtungszeitraum größten Teils, jedoch nicht mehr vollständig saniert. Es verbleibt 2050 ein geringer Anteil noch nicht sanierter Gebäude aus dieser Bauperiode. Die Hauptsanierungsphase in dieser Gebäudegruppe findet ab dem Jahr 2030 statt und schließt damit an

die Hauptsanierungsphase der Bauperiode 1945-1980 an, welche von 2000 bis 2030 angesiedelt ist. Wohngebäude der Bauperiode von 2001 bis 2020 werden im Betrachtungszeitraum nur zu einem geringen Anteil saniert. Sanierungen dieser Bauperiode setzen im Jahr 2040 mit einer geringen Sanierungsrate ein. Die nach 2020 errichteten Gebäude werden im Betrachtungszeitraum nur in Einzelfällen saniert, was jedoch auch angesichts der geringen Neubauraten nach 2020 nicht mehr von Bedeutung ist. Entsprechende Zahlenwerte sind in Tabelle 6.3 dokumentiert.

Tabelle 6.3: Entwicklung der Gebäudesanierung in Österreich von 2000 bis 2050.  
Quelle: Berechnungen EEG.

Gebäudetyp und Bauperiode	Jahr, Anzahl der Gebäude in 1000					
	2000	2010	2020	2030	2040	2050
WG, vor 1945, unrenoviert	254,6	221,4	196,3	168,2	126,7	109,4
WG, vor 1945, renoviert	116,0	130,1	130,9	130,7	140,6	124,2
WG, 1945-1980, unrenoviert	610,7	510,6	332,9	92,5	1,1	0,0
WG, 1945-1980, renoviert	99,4	169,0	336,7	555,7	606,8	541,3
WG, 1981-2000, unrenoviert	479,1	478,6	470,1	440,7	290,8	91,7
WG, 1981-2000, renoviert	0,0	0,5	8,8	37,0	183,6	373,9
WG, 2001-2020, unrenoviert	0,0	200,7	319,0	318,4	314,4	242,0
WG, 2001-2020, renoviert	0,0	0,0	0,0	0,6	4,4	75,9
WG, 2021-2050	0,0	0,0	0,0	82,9	175,3	296,0
NWG, vor 2010	186,0	201,9	172,6	136,6	97,7	37,7
NWG, vor 2010, renoviert nach 2010	0,0	7,1	32,8	60,6	83,5	118,8
NWG, 2011-2020	0,0	0,0	25,5	25,5	25,5	25,4
NWG, 2011-2020, renoviert	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
NWG, 2021-2050	0,0	0,0	0,0	19,2	40,3	67,5

Abkürzungen: WG: Wohngebäude; NWG: Nicht-Wohngebäude;

Wurden bisher Gebäudezahlen dargestellt, so dokumentieren die nachfolgende Abbildung 6.3 und die nachfolgende Tabelle 6.4 die Entwicklung der Wohngebäudesanierung nach Bauperioden in Wohnungszahlen. Da vor allem in großen Mehrfamilienhäusern zahlreiche Wohneinheiten angesiedelt sind, kommen die Verhältnisse hierbei besser zum Ausdruck. Die Nicht-Wohngebäude sind hierbei nicht dargestellt.

Die Gesamtzahl der Wohnungen wächst im Betrachtungszeitraum von ca. 3.273.500 Wohnungen im Jahr 2000 auf ca. 3.918.200 Wohnungen im Jahr 2050 an. Dabei wächst die Wohnungszahl vom Jahr 2000 bis zum Jahr 2010 um 9,6% (in 10 Jahren), in der Dekade 2010 bis 2020 um 5,1%, in der Dekade von 2020 bis 2030 nur noch um 2,0% und in den folgenden Dekaden um 1,1% bzw. um 0,8%. Die Zahl der Wohnungen steigt damit (wie dies auch schon bei den Gebäudezahlen zu beobachten war) ab dem Jahr 2020 nur noch unwesentlich an und stagniert gegen das Ende des Betrachtungszeitraumes.

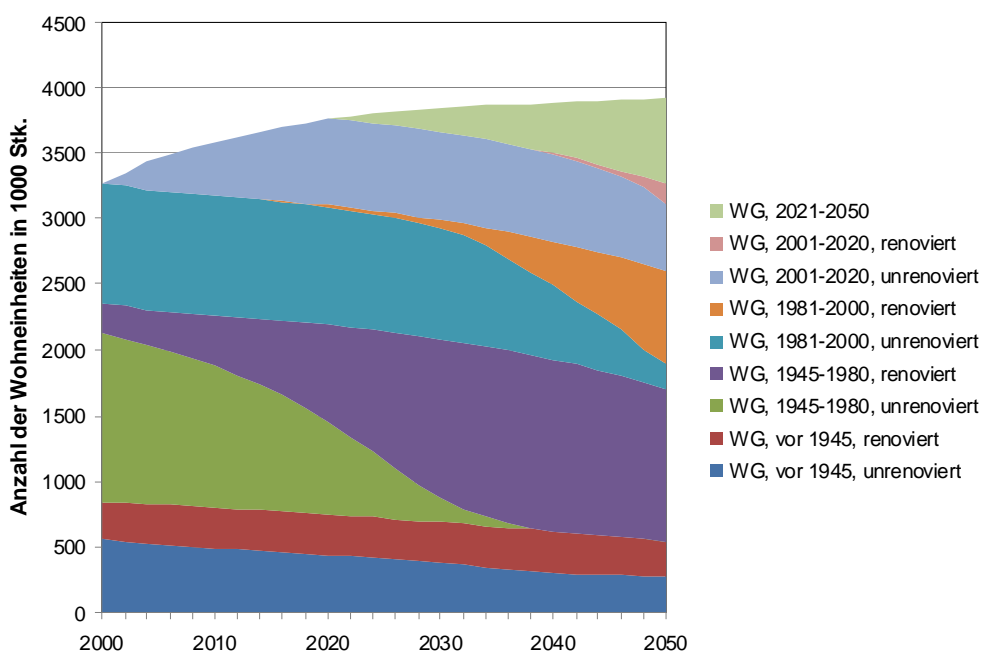


Abbildung 6.3: Entwicklung der Wohngebäudesanierung in Österreich bis 2050 nach Bauperioden in Wohneinheiten. Quelle: Berechnungen EEG.

Tabelle 6.4: Entwicklung der Wohngebäudesanierung in Österreich bis 2050 nach Bauperioden in Wohneinheiten. Quelle: Berechnungen EEG.

Bauperioden und Sanierungszustand	Jahr, Anzahl der Wohneinheiten in Wohngebäuden in 1000					
	2000	2010	2020	2030	2040	2050
WG, vor 1945, unrenoviert	556,5	486,0	436,9	378,7	302,6	271,5
WG, vor 1945, renoviert	280,5	312,6	309,2	305,8	313,1	270,4
WG, 1945-1980, unrenoviert	1290,7	1078,3	702,2	193,5	2,1	0,0
WG, 1945-1980, renoviert	232,0	386,2	740,7	1203,3	1307,7	1166,0
WG, 1981-2000, unrenoviert	913,8	913,0	898,7	845,9	563,6	178,4
WG, 1981-2000, renoviert	0,0	0,8	14,7	65,5	341,4	710,4
WG, 2001-2020, unrenoviert	0,0	410,9	669,5	667,8	659,6	516,1
WG, 2001-2020, renoviert	0,0	0,0	0,0	1,6	9,4	151,1
WG, 2021-2050	0,0	0,0	0,0	184,2	389,2	654,2
Summen	3273,5	3587,9	3772,0	3846,4	3888,8	3918,2

### 6.3 Die Entwicklung des Wärmebedarfs der Gebäude bis 2050

Der Wärmebedarf für die Raumheizung und Brauchwassererwärmung in österreichischen Gebäuden hat in der vorliegenden modellhaften Abbildung sein Maximum mit 98.313 GWh/a im Jahr 2006 erreicht. Seither wird der Wärmebedarf durch fortlaufende Gebäudesanierung und der Realisierung energieeffizienter Neubauten sukzessive reduziert, wobei sich dieser Trend bis zum Jahr 2020 jährlich verstärkt und danach eine mehr oder weniger konstante jährliche Reduktion bis zum Jahr 2050 zu beobachten ist. Sättigungseffekte der jährlichen Reduktion werden

gemäß der Modellergebnisse erst nach dem Jahr 2050 zu erwarten sein. Abbildung 6.4 veranschaulicht diese Vorgänge für einen Zeitraum bis zum Jahr 2050, in Tabelle 6.5 sind die zugehörigen Zahlenwerte in 10-Jahres Schritten bis 2050 dokumentiert.

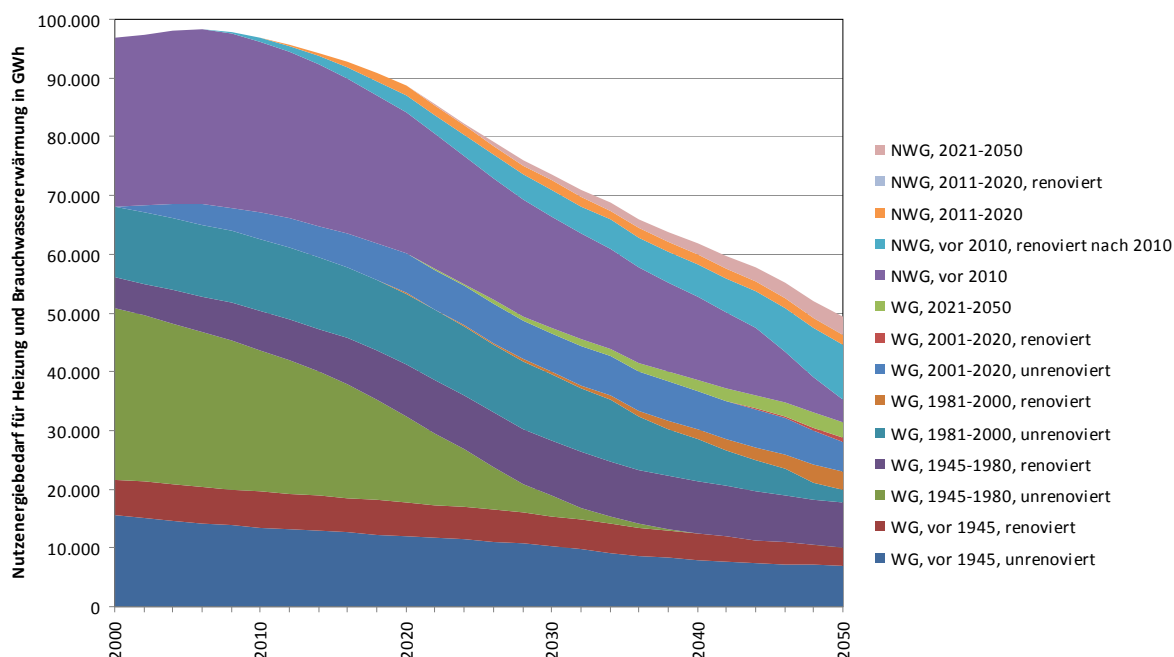


Abbildung 6.4: Entwicklung des Wärmebedarfs für die Raumkonditionierung und Brauchwassererwärmung in österreichischen Gebäuden bis zum Jahr 2050. Quelle: Berechnungen EEG.

Tabelle 6.5: Entwicklung des Wärmebedarfs für die Raumkonditionierung und Brauchwassererwärmung in österreichischen Gebäuden bis zum Jahr 2050. Quelle: Berechnungen EEG.

Gebäudetyp, Bauperiode und Sanierungszustand	Jahr, Wärmebedarf der Gebäude in GWh					
	2000	2010	2020	2030	2040	2050
WG, vor 1945, unrenoviert	15.533	13.514	12.018	10.320	7.984	6.982
WG, vor 1945, renoviert	6.152	6.151	5.757	5.138	4.483	3.152
WG, 1945-1980, unrenoviert	29.195	24.088	14.556	3.376	36	0
WG, 1945-1980, renoviert	5.138	6.647	9.020	9.506	8.829	7.526
WG, 1981-2000, unrenoviert	12.204	12.192	11.969	11.181	7.138	2.146
WG, 1981-2000, renoviert	0	7	132	421	1.673	3.281
WG, 2001-2020, unrenoviert	0	4.508	6.706	6.690	6.594	4.891
WG, 2001-2020, renoviert	0	0	0	8	48	698
WG, 2021-2050	0	0	0	930	1.807	2.828
NWG, vor 2010	28.735	29.143	23.947	18.931	14.080	3.803
NWG, vor 2010, renoviert nach 2010	0	596	2.909	4.387	5.528	9.242
NWG, 2011-2020	0	0	1.656	1.656	1.655	1.649
NWG, 2011-2020, renoviert	0	0	0	0	0	0
NWG, 2021-2050	0	0	0	994	1.991	3.183
Summen	96.958	96.845	88.670	73.539	61.847	49.380

Abkürzungen: WG: Wohngebäude; NWG: Nicht-Wohngebäude



In Abbildung 6.4 wird deutlich, dass die von 2006 bis 2050 stattfindende starke Reduktion des Wärmebedarfs von -9,8% im Jahr 2020, bezogen auf das Jahr 2006 und -49,8% im Jahr 2050, ebenfalls bezogen auf das Jahr 2006, vor allem auf die Sanierung der Wohngebäude der Bauperiode 1945 bis 1980 und der Sanierung des heutigen Bestandes an Nicht-Wohngebäuden zurückzuführen ist. Alle weiteren Gebäudeklassen erbringen zwar auch Beiträge zum Gesamteffekt, können die Größenordnung der zuvor genannten tragenden Säulen der Reduktion aber nicht annähernd erreichen. Voraussetzung für eine derartige Reduktion des Wärmebedarfs ist natürlich, dass die angenommenen (durchaus realistisch machbaren) und in Abschnitt 5 erläuterten Sanierungsraten und -qualitäten in Zukunft auch tatsächlich statt finden. Wenn die Gebäudesanierung beispielsweise im Nicht-Wohngebäudebereich nicht greift, sind die dargestellten Ergebnisse auch nicht zu erreichen.

In Zusammenhang mit der Darstellung in Abbildung 6.4 ist gut vorstellbar, welche Konsequenzen es hätte, wenn z.B. die kalkulierte Qualität der Sanierungen nicht realisiert wird. Schlechte Sanierungsqualität hätte nicht nur den Effekt einer geringeren Reduktion des Wärmebedarfs, sondern würde diese geringere Reduktion auch für den gesamten Betrachtungszeitraum manifestieren, da ein neu saniertes Gebäude in der Regel in den, der Sanierung folgenden Dekaden nicht noch einmal saniert wird. Dieser strategisch sehr bedeutsame Effekt wird im Weiteren mit "Lock in Effekt" bezeichnet. Daraus resultiert die Schlussfolgerung, dass aus strategischer Sicht eine Verzögerung von Sanierungen um einige Jahre einen deutlich geringeren Einfluss auf das langfristige Gesamtergebnis hat, als eine Durchführung von qualitativ schlechten Sanierungen. Dieser Umstand muss im Weiteren beim Design von Regelwerken und Instrumenten im Bereich der Sanierung Berücksichtigung finden, um Lock in Effekte zu minimieren.

## **6.4 Strategische Überlegungen zur Deckung des Wärmebedarfes**

In den vorangegangenen Abschnitten ist klar zum Ausdruck gekommen, dass Heizen auch noch im Jahr 2050 ein zentrales Thema im Gebäudebereich sein wird. Es ist auch dargestellt worden, dass das Spektrum der Anforderungen an zukünftige Heizsysteme immer komplexer werden wird. War in den 1970er Jahren die Anforderung an ein Heizsystem für ein beliebiges Einfamilienhaus durch eine sehr eng eingrenzbare Leistungsgröße, ein mehr oder weniger einheitliches Vorlauftemperaturniveau und Heizöl oder Festbrennstoffe als Energieträger gekennzeichnet, so liegt bereits im Jahr 2010 eine breite Palette an Anforderungen durch unterschiedlichste Gebäudetypen vom nicht sanierbaren Gründerzeitbau bis hin zum Passivhaus vor. Bis 2050 wird sich diese Vielfalt in Hinblick auf die Häufigkeit der einzelnen Typen verändern und um bestimmte Sanierungssegmente erweitern. In den Abbildungen 6.5 und 6.6 sind die Verteilungen der Gebäude im Jahr 2010 dargestellt. Jeder Balken ist einer Bauperiode zuordenbar und besteht aus

einer Säule mit einem kräftigen Farbton (je Bauperiode links angesiedelt) und einer niedrigeren Säule mit einem schwächeren Farbton. Die kräftiger gefärbten Balken

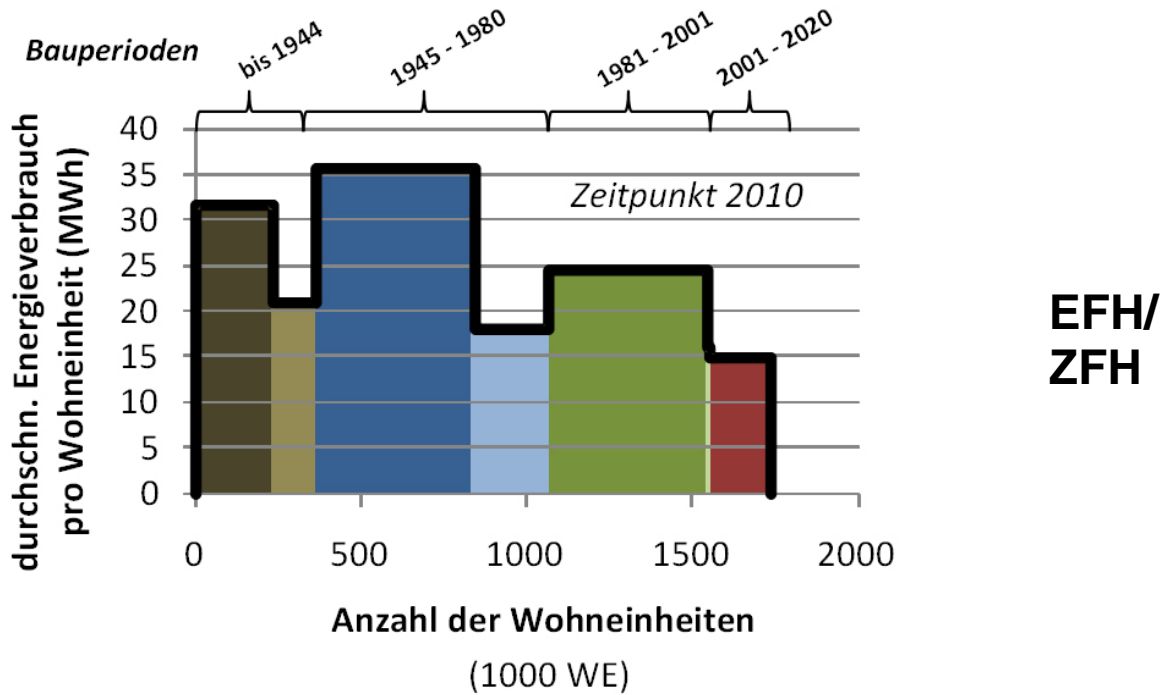


Abbildung 6.5: Blockdiagramm für die Verteilung der Energieverbräuche der Ein- und Zweifamilienhäuser im Jahr 2010. Quelle: Berechnungen EEG.

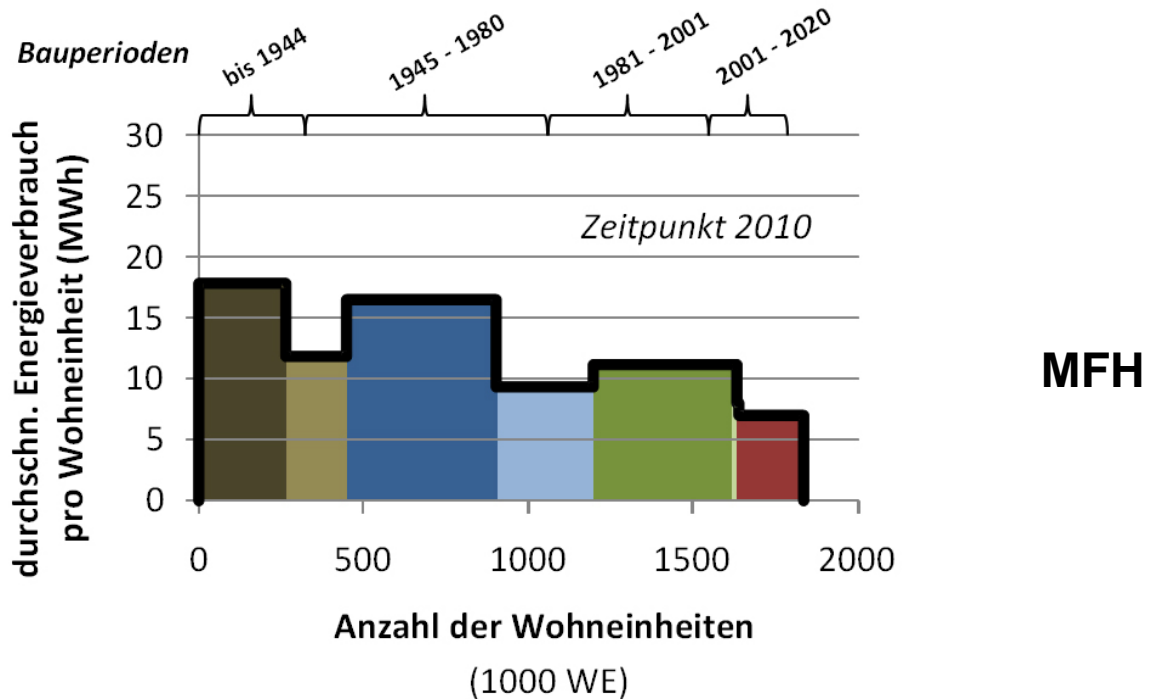


Abbildung 6.6: Blockdiagramm für die Verteilung der Energieverbräuche der Mehrfamilienhäuser im Jahr 2010. Quelle: Berechnungen EEG.

kennzeichnen die nicht sanierten Gebäude der jeweiligen Bauperiode, die schwächer gefärbten Balken kennzeichnen die bereits sanierten Gebäude. Die Höhe der Balken ist ein Maß für den durchschnittlichen (=Mittelwert) Energieverbrauch pro Wohneinheit dieser Gruppe. Auf der x-Achse ist die kumulierte Zahl der Wohneinheiten aufgetragen. Die Fläche unter der Hüllkurve ist somit ein Maß für den Energieverbrauch im Wärmebereich der Ein- und Zweifamilienhäuser (Abbildung 6.5) und der Mehrfamilienhäuser (Abbildung 6.6), jeweils im Jahr 2010.

Die folgenden Abbildungen 6.7 und 6.8 veranschaulichen die Situation im Jahr 2050 wobei die Ausgangssituation im Jahr 2010 zum Vergleich grafisch farblich schwach hinterlegt wurde. Die älteren Bauperioden erscheinen dabei hinsichtlich ihrer Stückzahl durch den Abbruch von Gebäuden reduziert, die Sanierungen sind stark fortgeschritten. Im Jahr 2050 noch nicht sanierte Gebäude aus den Bauperioden bis 1980 sind im Allgemeinen aus technischen Gründen oder aus Gründen des Denkmalschutzes nicht sanierbar. Noch nicht sanierte Gebäude aus der Bauperiode von 1981 bis 2000 sind in einer gewissen Zahl vorhanden, stellen aber schon eine Minorität in dieser Bauperiode dar.

Im Bereich der Mehrfamilienhäuser fällt auf, dass sich die Zahl der Wohneinheiten der ältesten Bauperiode bis 1944 deutlich reduziert und der durchschnittliche Energieverbrauch der nicht sanierten Wohneinheiten signifikant erhöht. Diese Effekte werden durch Wohnungszusammenlegungen ausgelöst, bei denen tendenziell kleinere Nachbarwohnungen zu größeren Einheiten zusammengelegt werden. Die Reduktion der Anzahl der Wohneinheiten ist zusätzlich durch den Abbruch von Gebäuden bedingt.

Die Reduktion des Energieverbrauches ist in einem Vergleich der Situation im Jahr 2010 und im Jahr 2050 den einzelnen Bauperioden gut zuordenbar. Das größte energetische Sanierungspotenzial (Flächen unter den Kurven) stellen die jeweils im Jahr 2010 noch nicht sanierten Wohneinheiten der Bauperioden 1945-1980 und 1981-2000 dar. Es kann dieses Potenzial auch als Ressource interpretiert werden, die in Hinkunft mit einer gewissen Effizienz (= Sanierungsqualität) genutzt werden kann. Wird dieses Potenzial vergeudet, indem schlechte oder mittelmäßige thermische Sanierungen durchgeführt werden, so steht selbiges in der Betrachtungsperiode bis 2050 nicht mehr zur Verfügung. Die mögliche kumulierte Energie- u. CO<sub>2</sub>-Einsparung über die Lebensdauer der jeweiligen Sanierungsmaßnahmen wäre damit unwiederbringlich vergeben und die nächste Chance zur Hebung des Restpotenzials (bis zum Abbruch des Gebäudes) wäre um Dekaden in die Zukunft verschoben.

Die Geschwindigkeit mit der das dargestellte Sanierungspotenzial realisiert werden kann ist durch die Sanierungsraten gegeben. Diese lassen sich zwar durch gewisse Maßnahmen und Anreize beeinflussen, in der Praxis besteht jedoch eine sehr große Systemträgheit, die aus limitierten privaten Kapitalflüssen, aus begrenzten Budgets der Wohnbauförderungen, aus den langen Abschreibedauern von Investitionen und der langen Lebensdauer der Technologien in diesem Bereich resultiert.

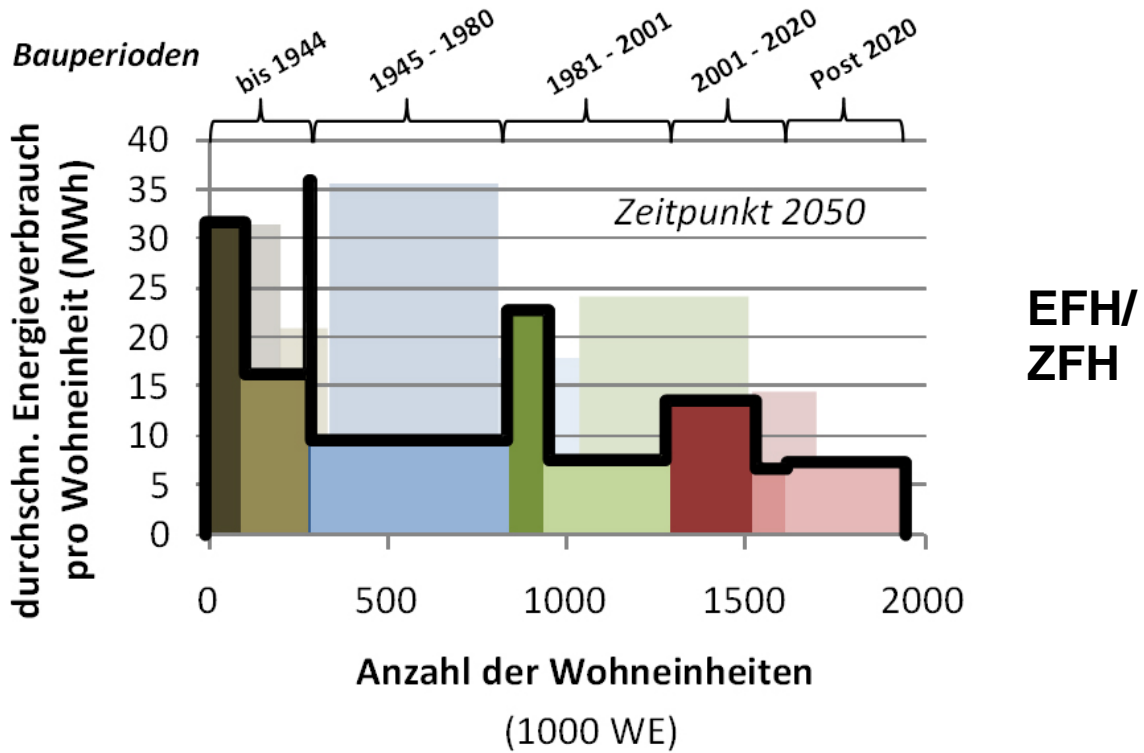


Abbildung 6.7: Blockdiagramm für die Verteilung der Energieverbräuche der Ein- und Zweifamilienhäuser im Jahr 2050. Quelle: Berechnungen EEG.

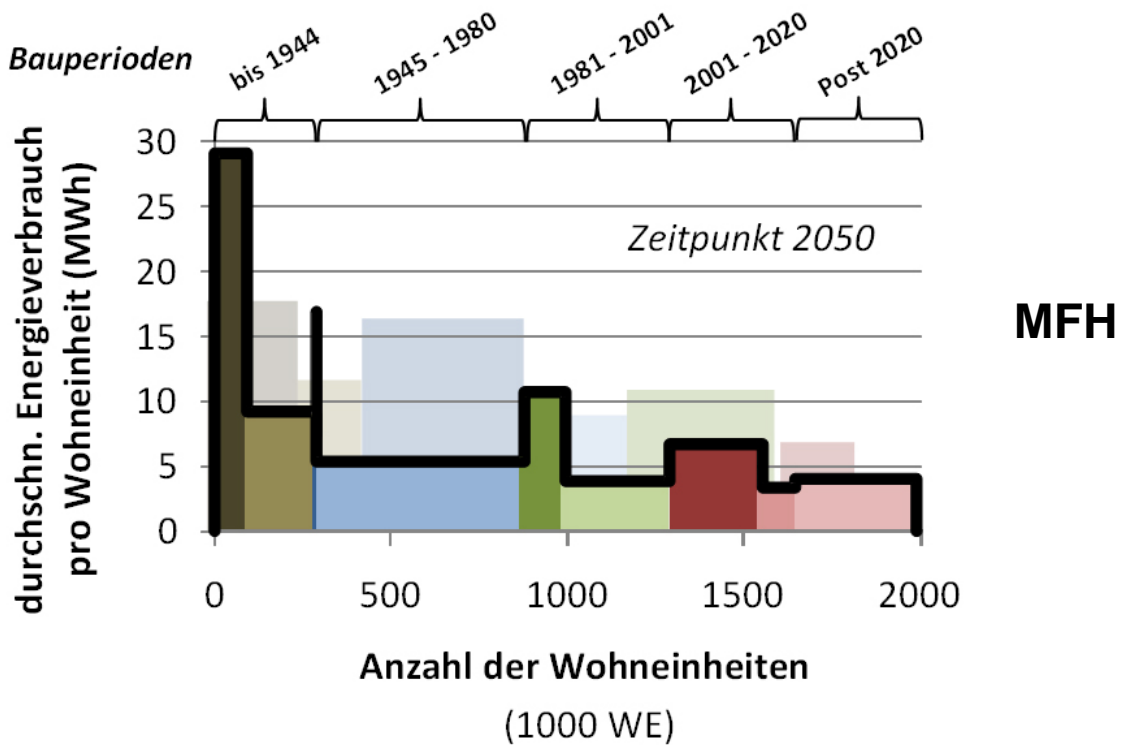


Abbildung 6.8: Blockdiagramm für die Verteilung der Energieverbräuche der Mehrfamilienhäuser im Jahr 2050. Quelle: Berechnungen EEG.

Anhand der dargestellten Diagramme kann in weiterer Folge die Eignung der in Heizen 2050 im Vordergrund stehenden "Haus der Zukunft – Heizungstechnologien" zur zukünftigen Wärmebedarfsdeckung auf qualitativer Ebene diskutiert werden.

Betrachtet werden somit Heizsysteme zur Nutzung fester Biomasse, Wärmepumpen und solarthermische Systeme. Zur Diskussion stehen vorerst nur monovalente betriebene Systeme, das heißt, es muss ein einzelnes System alle erforderlichen Energiedienstleistungen bereitstellen können.

Abbildung 6.9 veranschaulicht die Situation für Systeme zur Nutzung fester Biomasse (Stückholz, Hackschnitzel und Pellets). Es zeigt sich, dass mit den im Jahr 2010 zur Verfügung stehenden Biomasse Technologien aus technischer Sicht das gesamte zukünftige Anforderungsprofil im Bereich der Heizwärmebereitstellung abgedeckt werden kann. Die verfügbaren Leistungsgrößen können, abgesehen vom Passivhaussegment, das gesamte benötigte Leistungsspektrum abdecken. Ein Effizienz- und auch Emissionsproblem stellt der Sommerbetrieb zur Brauchwassererwärmung dar. Dieser kann zwar aus technischer Sicht bewerkstelligt werden, jedoch wäre auch angesichts der weiteren technologischen Optionen die sommerliche Brauchwasserbereitstellung mittels fester Biomasse zu hinterfragen.

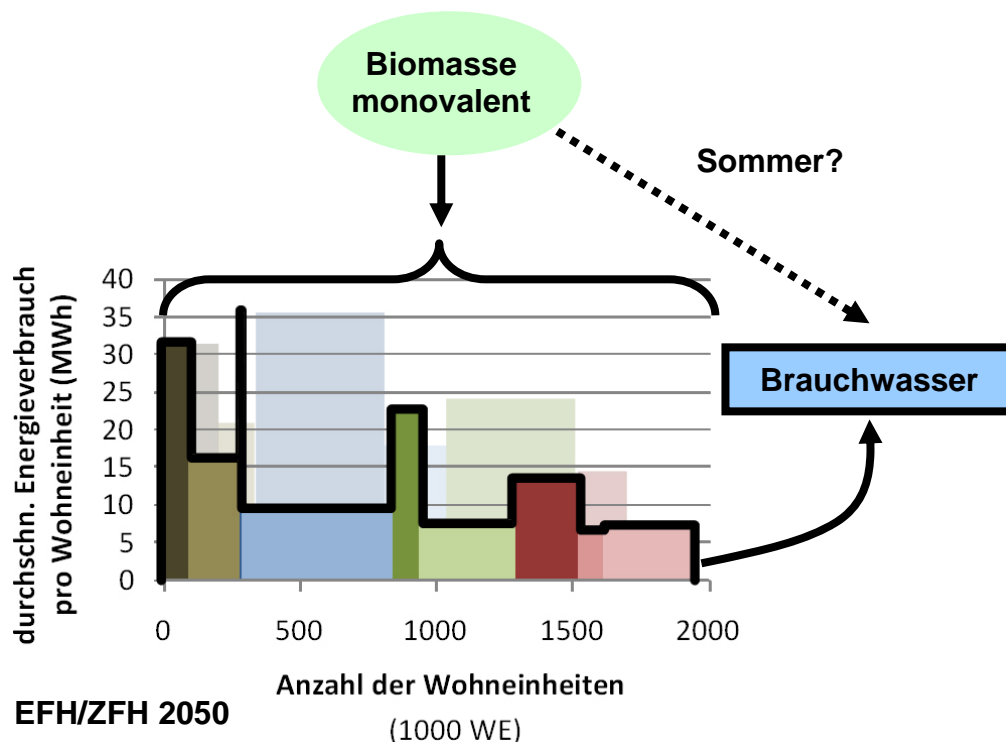


Abbildung 6.9: Eignung von Biomassesystemen zur Wärmebedarfsdeckung 2050.  
Quelle: EEG.

In Hinblick auf unterschiedliche Nachfragestrukturen (urbane und ländliche Bereiche, Einfamilienhaus, Mehrfamilienhaus) treten weitere Aspekte hinzu, welche die oben getätigte generelle Aussage relativieren. Vor allem in urbanen Strukturen mit dicht verbauten Räumen kann die forcierte dezentrale Nutzung der Biomasse Probleme

mit Emissionen und Immissionen (z.B. Staub, CO,...) mit sich bringen. Außerdem wäre auch die Brennstofflogistik in diesem Bereich bei dezentraler Anwendung eine besondere Herausforderung. Denkbar sind jedoch größere zentrale Einheiten mit wärmenetzgebundener Wärmeverteilung, wobei die strategischen Probleme von Wärmenetzen in der Zukunft an dieser Stelle noch nicht thematisiert werden sollen (siehe hierzu Abschnitt 8.5 "Wärmenetze").

Abbildung 6.10 veranschaulicht die Situation der Wärmepumpe im monovalenten Betrieb. Heizungswärmepumpen können den Wärmebedarf von energieeffizienten Gebäuden mit geringem Heizwärmebedarf, einem niedrigen Heizungsvorlauf-Temperaturniveau und einem hochwertigen Wärmequellensystem (Grundwasser oder horizontale bzw. vertikale Erdwärmetauscher) mit einer vertretbaren Jahresarbeitszahl bewerkstelligen. Im Bereich der in Abbildung 6.10 dargestellten Einfamilienhäuser sind dies vor allem die sanierten älteren Bauperioden sowie die nach 2020 errichteten Gebäude mit exzellenter Gebäudequalität. Weiters ist das hier nicht extra ausgewiesene Marktsegment der Passivhäuser für eine Wärmeversorgung mit Wärmepumpen bestens geeignet.

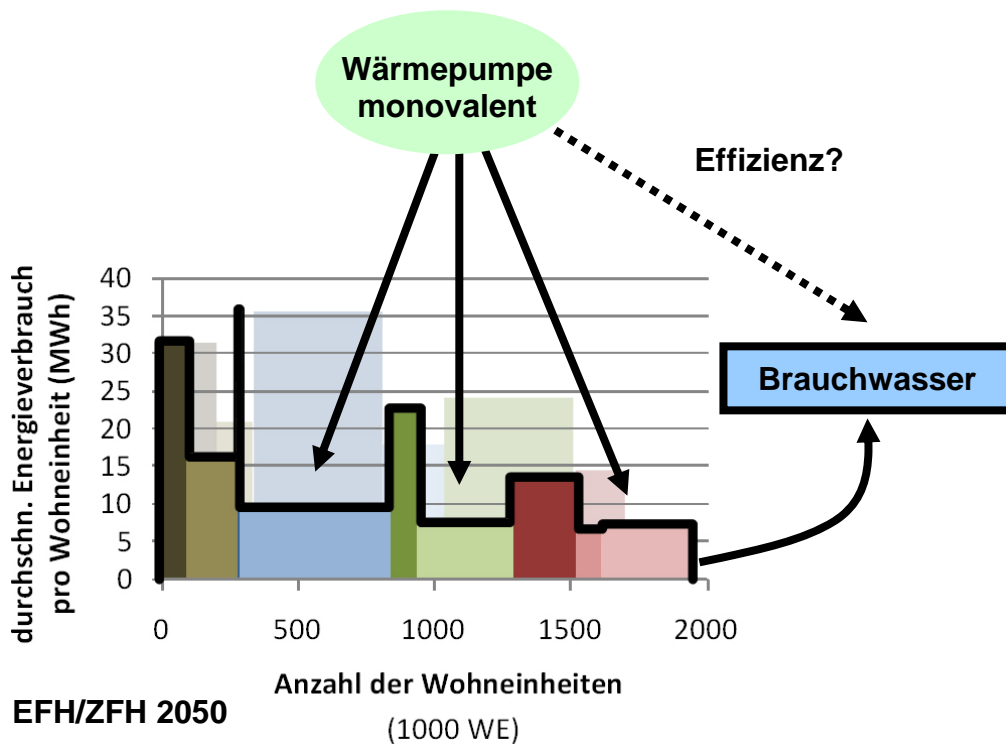


Abbildung 6.10 Eignung von Wärmepumpen zur Wärmebedarfsdeckung 2050.

Quelle: EEG.

Die Wärmeversorgung der nicht sanierten Altgebäude kann zwar aus rein technischer Sicht auch mit Wärmepumpen bewerkstelligt werden, dies würde jedoch keine sinnvolle Klimaschutzmaßnahme darstellen und wäre selbst aus betriebswirtschaftlicher Sicht kaum umsetzbar, da die in der Praxis in solchen Gebäuden erreichbaren Jahresarbeitszahlen gering sind. Dies liegt darin begründet, dass bei

diesen Gebäuden in der Regel große Heizlasten in Kombination mit Hochtemperatur-Wärmeverteilssystemen ( $T_{VL} = 55...80^{\circ}\text{C}$ ) vorliegen, das heißt, es müssten große Wärmemengen mit geringen Jahresarbeitszahlen bereitgestellt werden.

Die Brauchwassererwärmung mittels Wärmepumpen stellt wegen der geringen erreichbaren Jahresarbeitszahlen ebenfalls einen kritischen Punkt dar. Hierbei ist das hohe Temperaturniveau relevant, welches im Zuge der Brauchwassererwärmung erreicht werden muss. Im Gegensatz zum Heizungsvorlauf-Temperaturniveau ist dieses jedoch aus hygienischen Gründen (Legionellenprävention etc.) und aus technischen Gründen (benötigtes Boilervolumen etc.) kaum reduzierbar.

Abbildung 6.11 veranschaulicht die Situation bei der Anwendung von solarthermischen Anlagen zur Wärmebereitstellung. Wegen des Jahresganges der Wärmeproduktion kann jedoch zurzeit weder der Raumwärmebereich noch der Brauchwasserbereich monovalent abgedeckt werden. In Ermangelung von geeigneten Wärmespeichern ist zurzeit kein saisonaler Ausgleich der Wärmeproduktion und der –nachfrage möglich. Die wenigen in der Praxis realisierten Pilot- u. Demonstrationsanlagen mit großvolumigen Wasserspeichern beweisen zwar die technische Machbarkeit des Konzepts, sind jedoch betriebswirtschaftlich nicht argumentierbar.

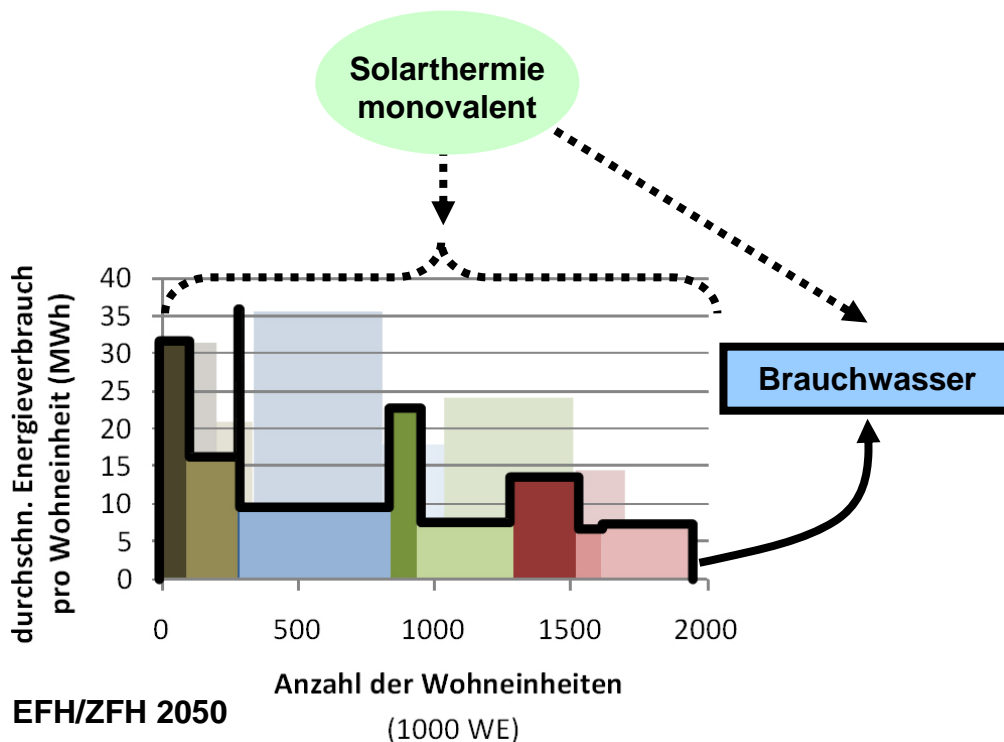


Abbildung 6.11 Eignung von solarthermischen Anlagen zur Wärmebedarfsdeckung 2050. Quelle: EEG.

Bei einer hypothetischen Verfügbarkeit von wirtschaftlichen Wärmespeichern mit hoher Wärmedichte (Stichwort Faktor 8 Wärmespeicher) wären prinzipiell alle Gebäudeklassen mit geringem Wärmebedarf und geringen Heizungs-Vorlauf-

temperaturniveaus (also dieselben Klassen wie bei den Wärmepumpen) für eine Anwendung prädestiniert.

Bei der Betrachtung der einzelnen Technologien zeigt sich, dass unter ambitionierten wirtschaftlichen und ökologischen Rahmenbedingungen keine der Technologien alle Anforderungen von Heizen 2050 alleine erfüllen kann. Bei einer gemeinsamen Darstellung (siehe Abbildung 6.11) zeigt sich jedoch, dass durch Kombinationen der Technologien Schwachstellen beseitigt oder deutlich reduziert werden können und die drei dargestellten Technologien gemeinsam das gesamte Anforderungsprofil sehr gut abdecken können. Günstige Kombinationen sind dabei vor allem bei der Kombination von Biomasse und Solarthermie und bei der Kombination von Wärmepumpen mit Solarthermie gegeben.

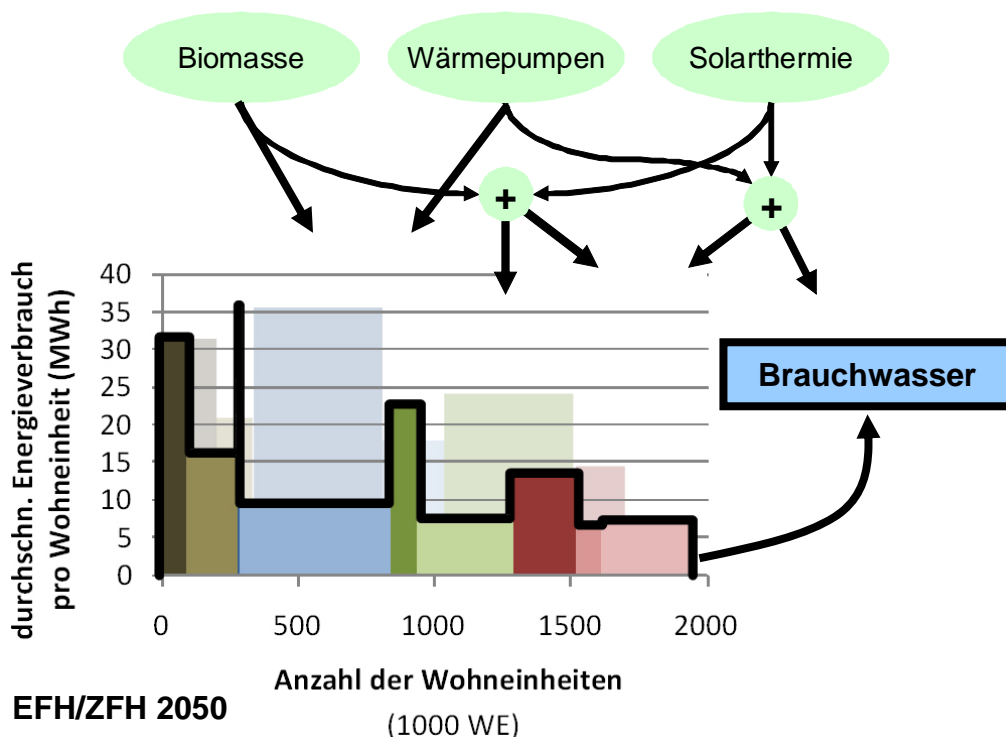


Abbildung 6.12 Eignung von solarthermischen Anlagen zur Wärmebedarfsdeckung 2050. Quelle: EEG.

Die Abbildungen 6.10 bis 6.12 nahmen jeweils auf die Situation im Bereich der Einfamilien- und Zweifamilienhäuser Bezug. Für den Bereich der Mehrfamilienhäuser wurden beim Thema Biomasse bereits Probleme in dichten urbanen Strukturen adressiert. In dichten urbanen Strukturen mit großvolumigen mehrgeschoßigen Wohnbauten ist der Ansatz von dezentraler Wärmebereitstellung auf Wohnungsebene in Hinblick auf die dargestellten Technologien generell als problematisch zu betrachten. Dezentrale Wärmebereitstellungen auf Wohnungsebene sind in diesen Strukturen momentan vor allem durch den Einsatz von erdgasbasierten Wärmeerzeugern etabliert. Bei den zuvor diskutierten "Haus der Zukunft Technologien" sind zwar technologische Lösungen verfügbar, diese weisen jedoch auch eindeutige Nachteile auf (Emissionen und Brennstofflogistik bei der Biomasse,



Jahresarbeitszahlen bei Luft-Wasser Wärmepumpen und Hochtemperatur-Wärmeverteilssystemen, keine monovalenten Lösungen bzw. limitiertes Flächenpotenzial bei der Solarthermie).

Es ist daher naheliegend, in dichten urbanen Strukturen noch nicht fernwärmeversorgte Wohnungen zu größeren Einheiten (z.B. Blockheizung, Mikronetze,...) zusammenzufassen und diese Einheiten dann mit den "Haus der Zukunft Technologien" mit Wärme zu versorgen. Die aus einer allgemeinen Sicht heraus nicht unkritische Zukunft von Wärmenetzen (siehe auch Kapitel 8.5) spielt dabei keine besondere Rolle, da die für einen wirtschaftlichen Betrieb erforderlichen Leistungsbelegungen der Netze in sehr dichten Strukturen gegeben sein werden. Die Errichtung entsprechender Systeme ist aus strategischer Sicht (Erschließung des Sanierungspotenzials) jedoch immer im Zuge einer thermischen Generalsanierung durchzuführen im Zuge derer auch ein Niedertemperatur-Wärmeverteilssystem installiert werden sollte.

## 7. Technologieszenarien

### 7.1 Definition der Szenarien

Um Aussagen hinsichtlich der zukünftigen Entwicklung des Endenergie-trägereinsatzes sowie der eingesetzten Heizungssysteme unter unterschiedlichen Rahmenbedingungen treffen zu können, wurden zahlreiche Szenarien definiert. Die Ergebnisse sind in diesem Kapitel zusammengefasst. Wie in Kapitel 5 dargestellt, wurde dazu das Modell ERNSTL/EE-LAB herangezogen. Die Vorgehensweise wurde konzeptionell wie folgt gewählt: Als Referenz für die Szenarien mit ausgewählten Politikmaßnahmenpakete dienen zwei Business-as-usual (BAU) Szenarien sowie ein Frozen Technology Referenz Szenario (FTRS). Das Szenario BAU1 analysiert die zukünftige Entwicklung unter den bestehenden Förderbedingungen. Das Szenario BAU2, ein hypothetisches Szenario untersucht die Entwicklung unter der Prämisse, dass zukünftig keine monetären Förderungen vergeben werden. Das Szenario unterstellt dennoch, dass die nicht monetären Anreize (Steigerung des Bekanntheitsgrades,...) weiterhin anhalten werden. Ein weiteres hypothetische Szenario, das FTRS, analysiert die Entwicklung unter der Annahme, dass (a) Wärmebereitstellungstechnologien auf einem historischen Entwicklungsstand (Mitte 1990er) festgefroren werden, (b) die Energiepreise über die gesamte Zeitperiode dem Stand von 2000 entsprechen, (c) Infrastruktur (Verfügbarkeit von Erdgas, Wärmenetze) ausgebaut wird und (d) keine Investitionszuschüsse vergeben werden. Aus der Differenz von FTRS und BAU 1 können die Auswirkungen der, dem Modell exogen vorgegebenen, Parametern wie Energiepreise und Technologieentwicklungen abgelesen werden.

Als Kern der Analyse hinsichtlich politischer Maßnahmen wurden Szenarien mit ausgewählten Politikpaketen erstellt. Für jedes Instrumentenpaket wurden wiederum zwei Ambitioniertheitsgrade unterschieden: Szenario 1 unterstellt einen moderaten ambitionierten, Szenario 2 einen (sehr) ambitionierten Pfad. Bei den Szenarien der Gruppe a-d handelt es sich um Szenarien, bei welchen jeweils ein energiepolitisches Instrument angewendet wird, die Szenarien e stellen eine mögliche Kombination der Instrumente dar.

Maßnahmenpaket a besteht aus einer Einsatzpflicht von erneuerbaren Energieträgern im Falle eines Kesseltausches. Ist ein solcher gegeben, muss – sofern der Heizwärmebedarf einen Mindestwert von 10 kWh/m<sup>2</sup> im Neubau, bzw. 30 kWh/m<sup>3</sup> im Bestand überschreitet – ein Mindestanteil der eingesetzten Endenergie durch erneuerbare Energieträger oder Fernwärme gedeckt werden. Ausgehend von einem Anteil von 0% im Jahr 2010 wird ein zunehmend höherer Anteil bis 2050 gefordert (Tabelle 7.1). Alle weiteren Politikinstrumentenpakete wurden so gewählt, dass sich ein ähnlicher Anteil an nicht fossilen Energieträgern wie in diesen Szenarien 1a bzw. 2a einstellt.

Tabelle 7.1: Szenario a, Nutzungsverpflichtung: Anforderungen hinsichtlich des Endenergieanteiles aus erneuerbaren Energieträgern und Fernwärme im Zuge eines Kesseltausches.

	Szenario 1		Szenario 2	
	Neubau	Bestand	Neubau	Bestand
2010	0%	0%	0%	0%
2015	8%	4%	15%	11%
2020	15%	8%	30%	23%
2025	23%	11%	45%	34%
2030	30%	15%	60%	45%
2035	35%	18%	63%	47%
2040	40%	20%	65%	49%
2045	45%	23%	68%	51%
2050	50%	25%	70%	53%

Maßnahmenpaket b analysiert das Politikinstrument der Investitionszuschüsse für Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energieträger bzw. Fernwärme. Untersuchungsgegenstand ist die Höhe der zu vergebenden Förderungen um ein mit Szenario a vergleichbares Ergebnis zu erhalten. Die Ergebnisse bezüglich der erforderlichen Förderniveaus zeigt Tabelle 7.2.

Tabelle 7.2: Szenario b, Investitionsförderungen: Förderhöhen um mit Szenario a vergleichbare Ergebnisse hinsichtlich des Anteils nicht fossiler Energieträger zu erhalten.

	Szenario 1			Szenario 2		
	bis 2030	2040	2050	bis 2030	2040	2050
Stückholz	34%	25%	18%	60%	60%	60%
Hackgut / Pellets	43%	31%	23%	75%	75%	75%
Wärmepumpen	34%	25%	18%	60%	60%	60%
Fernwärme	43%	31%	23%	75%	75%	75%
Solaranlagen, Warmwasser	20%	20%	20%	20%	20%	20%
Solarthermie, Kombianlagen	45%	45%	45%	60%	60%	60%

Das dritte Politikinstrument (Szenario c) quantifiziert die Wirkung einer CO<sub>2</sub> Steuer. Mit Szenario a vergleichbare Ergebnisse stellen sich bei CO<sub>2</sub>-Preisen von 200 €/t CO<sub>2</sub> bzw. 300 €/t CO<sub>2</sub> ein.

Die Szenariengruppe d stellt die Auswirkungen von höheren Energiepreisen dar (siehe Abbildung 7.1). Dabei unterstellt das Szenario 1d die dieser Arbeit zugrundeliegende Energiepreiskopplungsfaktoren für Biomasse (0,7) und Fernwärme (0,75) bezogen auf die durchschnittliche Preissteigerungsrate der fossilen Energieträger. Szenario 2d bezieht sich auf eine stärkere Entkopplung von biogenen Endenergieträger Fernwärme und unterstellt einen reduzierten Kopplungsfaktor von 0,5. Im Szenario 1d ergibt sich eine ähnliche Endwicklung wie in Szenario BAU 1,

allerdings ohne Förderungen. Die Ergebnisse von Szenario 2d liegen im Bereich des Szenarios 1a.

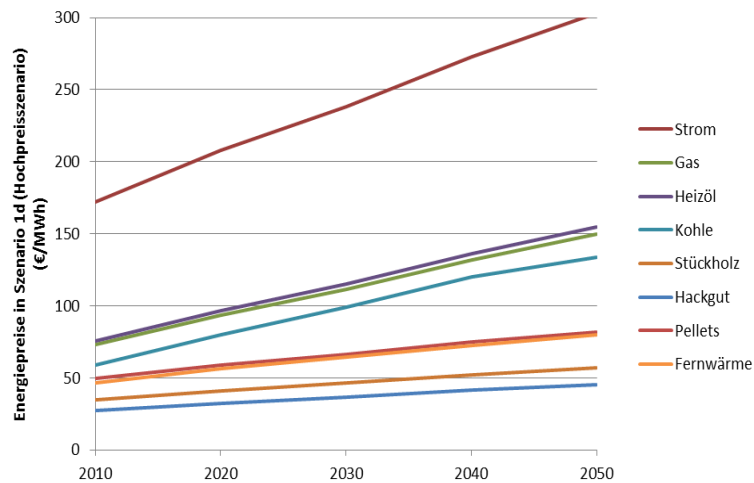


Abbildung 7.1: Energiepreise in Szenario 1d.

Die Szenarien 1e und 2e zeigen eine – aus der Sicht der Autoren – sinnvolle Kombination der analysierten Instrumente. Diese Kombination sollte neben Elementen wie Informations- und Schulungsmaßnahmen folgende drei Komponenten aufweisen:

- Einsatzpflicht für Heizungssysteme mit nachhaltigen Energieträger: Die Einsatzpflicht garantiert eine hohe Marktdurchdringung unabhängig von den Präferenzen der einzelnen Investoren und verhindert bzw. reduziert allzu große Free Rider Effekte. Einsatzpflicht ist sowohl effektiv als auch ökonomisch effizient.
- Ausgabenseitige Politikinstrumente: Die Investition in wünschenswerte Technologien sollte gefördert werden, sofern es zu höheren (Investitions-) Kosten kommt. Damit wird eine höhere Akzeptanz des Gesamtpaketes erreicht und soziale Härtefälle werden abgefedert.
- Einnahmenseitige Politikinstrumente: Der Einsatz von unerwünschten (fossilen) Energieträgern sollte entsprechend – durch Energieabgabe und CO<sub>2</sub>-Steuer – besteuert werden. Im Sinne der Budgetneutralität der Maßnahmenpakete sind auch einnahmenseitige Maßnahmen erforderlich.

Die Anteile, die die unterschiedlichen Maßnahmen beitragen, sollte davon abhängig gemacht werden, ob es sich beim betrachteten Objekt um einen Neubau oder Bestand handelt. Im Neubau sollte die Einsatzpflicht – eventuell gekoppelt an die Wohnbauförderung – das Hauptinstrument darstellen. Ausgabenseitige Instrumente sollten eine begleitende Rolle spielen. Im Gegensatz dazu, lassen sich beim Gebäudebestand strenge Einsatzpflichten realpolitisch kaum umsetzen, sofern diese nicht auch mit entsprechenden ausgabenseitigen Instrumenten verknüpft werden. Dennoch sind auch hier – sofern ambitionierte Ziele erreicht werden sollten - ordnungspolitische Instrumente erforderlich.

Tabelle 7.3: Szenario e: CO<sub>2</sub>-Steuer sowie Investitionsförderungen für Heizungskessel in bestehenden Gebäuden. Im Neubau werden um 50% reduzierte Fördersätze vergeben. Die Höhe der CO<sub>2</sub>-Steuer ist Gebäude unabhängig.

	Szenario 1					Szenario 2				
	2010	2020	2030	2040	2050	2010	2020	2030	2040	2050
Stückholz	10%	10%	10%	10%	10%	15%	10%	10%	10%	10%
Hackgut	15%	15%	15%	15%	15%	20%	20%	20%	20%	20%
Pellets	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	20%
Wärmepumpen	10%	10%	10%	10%	10%	20%	20%	20%	20%	20%
Fernwärme	15%	15%	15%	15%	15%	30%	30%	30%	30%	30%
Biomasse-Nahwärme	20%	20%	20%	20%	20%	35%	35%	35%	35%	35%
Solaranlagen, Warmwasser	20%	10%	10%	0%	0%	20%	10%	10%	0%	0%
Solarthermie, Kombianlagen	30%	30%	30%	25%	25%	30%	30%	30%	25%	25%
CO <sub>2</sub> -Steuer (€/t <sub>CO2</sub> )	20	32	52	66	84	40	64	104	115	126

Tabelle 7.4: Szenario e: Anforderungen hinsichtlich des Endenergieanteiles aus erneuerbaren Energieträgern und Fernwärme im Zuge eines Kesseltausches

	Szenario 1		Szenario 2	
	Neubau	Bestand	Neubau	Bestand
2010	0%	0%	0%	0%
2020	8%	4%	15%	11%
2030	15%	8%	30%	23%
2040	23%	11%	48%	36%
2050	30%	15%	65%	49%

Die Unterschiede hinsichtlich grauer Energie und grauen Emissionen in den verschiedenen Szenarien werden mit folgenden nicht dargestellt. Diese sind marginal, einerseits da bei den betrachteten Technologie der Energieeinsatz in der Produktion sehr klein bezogen auf den Energieumwandlungseinsatz im Betrieb ist (< 5%-10%). Andererseits kommt es vorwiegend zu einer Substitution von Heizungssystemen (mit Ausnahme nicht monovalenter Solaranlagen), weshalb nur die, nochmals wesentlich geringe Differenz zwischen Heizungssysteme zu betrachten ist.

## 7.2 Ergebnisse des BAU1-Szenarios

Im nachfolgendem sind die Ergebnisse des BAU1 Szenarios: die Weiterführung bisheriger Maßnahmen zur Steuerung der Installation von Heizanlagen, dargestellt.

### 7.2.1 Ausstattung der Gebäude mit Technologien

Abbildung 7.2 zeigt die Entwicklung der Ausstattung der österreichischen Gebäude mit Heizungstechnologien im Zeitraum von 2000 bis 2050 im Basisszenario. Die Ausstattung mit Systemen zur Nutzung fossiler Energie (Heizöl, Erdgas, Kohle und

Strom werden unter "Rest" zusammengefasst) wird bis 2050 deutlich reduziert, wobei der stärkste Rückgang bei Ölheizungen zu verzeichnen ist. Im Bereich der Biomasse kommt es zu einer sehr starken Steigerung der Anzahl von Pelletheizungen, die Zahl der Stückholzheizungen ist dabei leicht rückläufig. Insgesamt erhöht sich die Anzahl der Gebäude mit Biomasseheizungen bis 2040 und sinkt bis 2050 wieder ein wenig ab. Die Zahl der Gebäude mit Wärmepumpenanlagen steigt stark an, ebenso die Zahl der Gebäude mit thermischen Solaranlagen. Letztere sind in Abbildung 7.2 als zusätzliche Systeme dargestellt, deren Anzahl in der Darstellung zur Anzahl der Gebäude hinzukommt. Ab dem Jahr 2040 findet im Szenario auch eine Marktdiffusion von monovalenten solarthermischen Systemen statt, da ab diesem Zeitpunkt im Modell Wärmespeicher mit hoher Wärmedichte zur Verfügung stehen. Die Anzahl der Gebäude mit Fernwärmeversorgung steigt bis 2050 ebenfalls an, da in den bestehenden großen urbanen Netzen noch nicht versorgte Gebäude sukzessive an das Netz angeschlossen werden. Die Anzahl von Gebäuden mit Biomasse-Nahwärmeversorgung stagniert ab dem Jahr 2020.

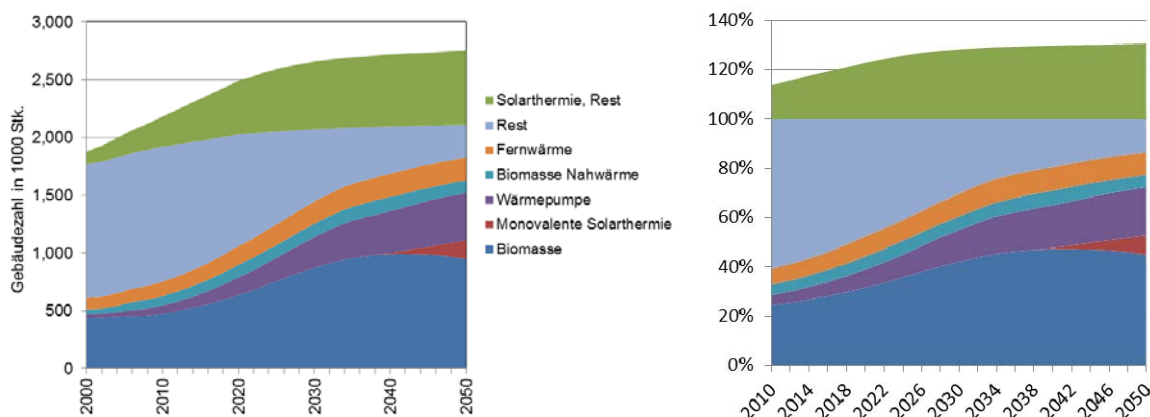


Abbildung 7.2: Ausstattung der österreichischen Gebäude mit Heizungstechnologien bis 2050 im Basisszenario. Solaranlagen (Solarthermie, Rest) sind in der Darstellung zusätzliche Systeme. Quelle: Berechnungen EEG.

### 7.2.2 Energie-Mix, Anteil erneuerbarer Energie und Selbstversorgungsgrad

Der Energiebedarf für Raumwärme und Brauchwassererwärmung in österreichischen Gebäuden erreichte in der Dekade 2000 bis 2010 sein Maximum mit etwa 103 TWh. Die Modellergebnisse zeigen ab diesem Zeitpunkt eine Reduktion des Energiebedarfs, welche auf die fortschreitende Sanierung des Gebäudebestandes zurückzuführen ist. Bis 2050 wird auf diese Weise der Energiebedarf ca. 50% auf einen Wert von ca. 52 TWh/a reduziert, wie dies in Abbildung 7.3 dargestellt ist. Der Energiebedarf aus fossilen Energieträgern und Strom wird von einem Anteil von 64,5% im Jahr 2000 auf einen Anteil von 10% im Jahr 2050 reduziert

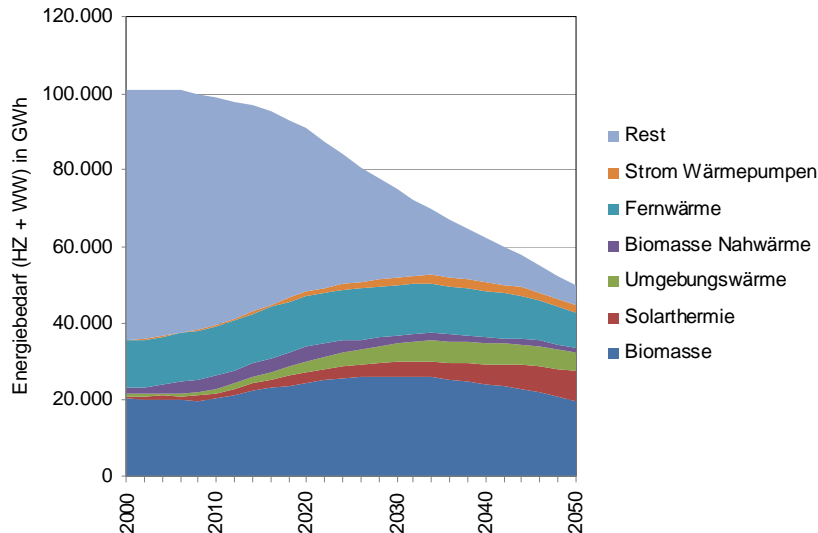


Abbildung 7.3: Entwicklung des Energieverbrauchs nach Heizungssystemen im Basisszenario. Quelle: Berechnungen EEG.

In diesem Szenario kommt es zu einem erheblichen Anstieg des Anteils von erneuerbaren Energieträgern und Fernwärme. Damit einhergehend steigt auch der Anteil des Selbstversorgungsgrades. Mit Ausnahme der Fernwärme, die zumeist durch importierte fossile Energieträger gespeist wird, entstammen diese Energieträger der heimischen Produktion. Die Entwicklung der Anteile an Erneuerbaren Energieträgern und Fernwärme sowie die Selbstversorgungsgrades sind in Tabelle 7.5 dargestellt.

Tabelle 7.5: Szenario BAU1: Anteil an erneuerbaren Energieträgern und Fernwärme am betrachteten Endenergieeinsatz und der damit korrespondierende Selbstversorgungsgrad.

	2000	2010	2020	2030	2040	2050
Erneuerbare Energieträger, Selbstversorgungsgrad	23%	26%	37%	49%	59%	67%
Fernwärme	12%	13%	15%	17%	19%	19%
Fossile Energieträger	65%	60%	48%	33%	22%	14%

Der deutliche Rückgang der fossilen Heizanlagen im Basisszenario BAU1 ist im Wesentlichen auf drei Faktoren zurückzuführen:

1. Gegenüber der Vergangenheit sind zusätzliche moderne, ausgereifte Heizungssysteme für nicht fossile Energieträger verfügbar.
2. Die Energiepreise sind innerhalb der vergangenen 10 Jahre substantielle gestiegen.
3. Für zahlreiche Heizungssysteme auf nicht fossiler Basis werden Investitionsförderungen vergeben.

Die Auswirkungen dieser Faktoren zeigt die Abbildung 7.4. Ausgehend von einem fossilen Anteil von über 60% würde dieser in einem FTRS auf etwa 80% ansteigen. Durch die substantielle Energiepreissteigerung, neue moderne Heizungssysteme auf

Basis erneuerbarer Energieträger sowie die derzeitigen Förderungsbedingungen kommt es im BAU1 Szenario zu einem erheblichen Rückgang der fossilen Energieträger.

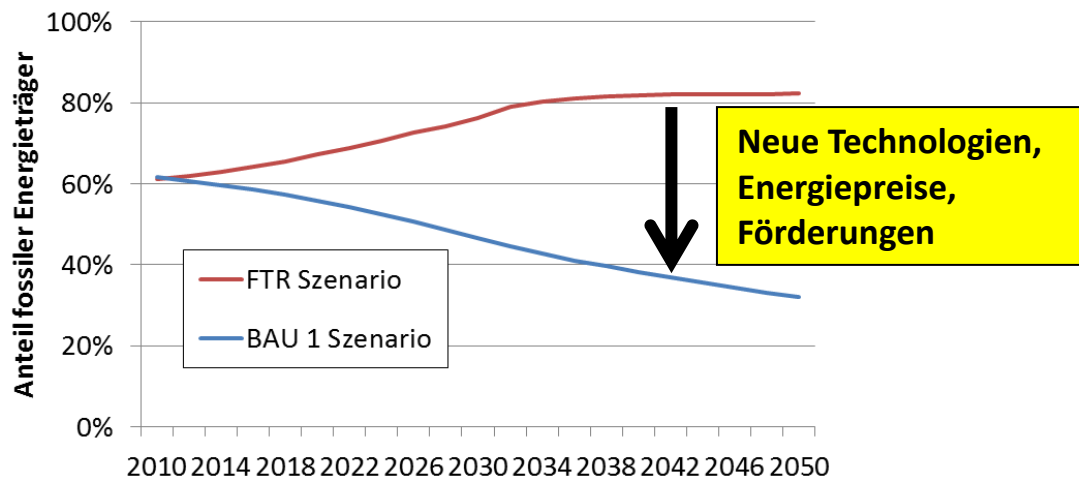


Abbildung 7.4: Unterschied zwischen Frozen Technology Reference Szenario (FTRS) und BAU1 Szenario. Quelle: Berechnungen EEG.

### 7.2.3 CO<sub>2</sub>-Emissionen

Aus den oben dargestellten Entwicklungen ergibt sich, dass sich aufgrund der sinkenden Anteile fossiler Energieträger sowie des Rückgangs in der Wärmenachfrage die einhergehenden CO<sub>2</sub> Emissionen massiv reduzieren. Ausgehend von Emission von etwa 19 Mt CO<sub>2</sub> im Jahr 2008 sinken diese auf 14,3 Mt CO<sub>2</sub> im Jahr 2020, 9,4 Mt CO<sub>2</sub> im Jahr 2030 und schließlich 4,3 Mt CO<sub>2</sub> in 2050.

### 7.2.4 Investitionen in Technologien

Die jährlichen Investitionen in Wärmebereitstellungssysteme zeigt die Abbildung 7.5. Diese liegen im Bereich von 1 bis 1,2 Milliarden €. Davon entfallen etwa 40% bis 45% auf Heizungssysteme für biogene Energieträger. Solarthermie hält einen Anteil von etwa 25%-35% der mit dem Aufkommen monovalenter Solaranlagen auf 50% und mehr ansteigt. Wärmepumpen verantworten ein Anteil von etwa 20%, die gebäudeseitige Investitionen für Fern- und Nahwärmanlagen etwa 15%. Vergleicht man diese Investitionen mit den jährlichen Ausgaben für Energieträger zur Wärmebereitstellung, so zeigt sich, dass die Investitionen wesentlich niedriger als die jährlichen Energiekosten sind. Bis 2020 liegen die jährlichen Ausgaben für Energieträger im Bereich von etwa 7 Milliarden €. Davon verantworten die fossilen Energieträger: Strom, Gas, Öl und Kohle etwa 5 Milliarden €. Bis 2050 sinken die jährlichen laufenden Energieausgaben – trotz steigender Energiepreise – auf etwa 4 Milliarden €. Dies ist einerseits auf den Rückgang des Wärmebedarfes, andererseits die Substitution von Energieträger durch Investitionen zurückzuführen.



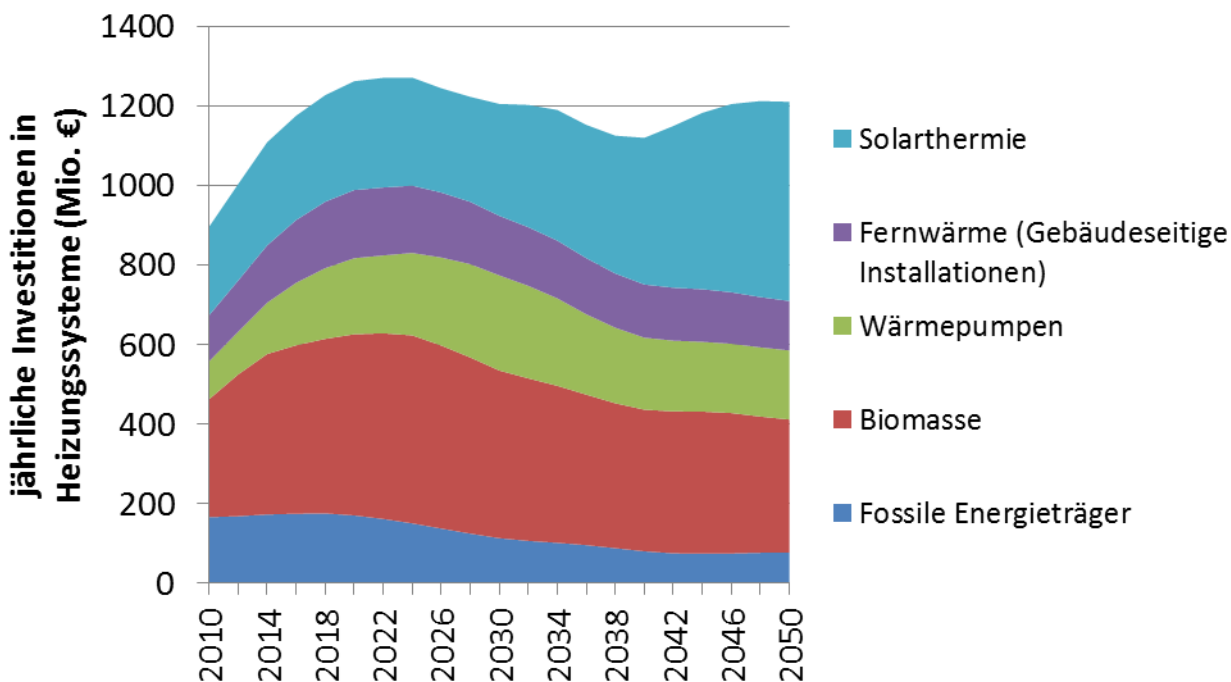


Abbildung 7.5: Entwicklung der jährlichen Investitionen in Heizungssysteme im Szenario BAU1. Quelle: Berechnungen EEG.

### 7.2.5 Nicht-CO<sub>2</sub> Emissionen

Neben den treibhausrelevanten Emissionen von Kohlendioxid werden im Zusammenhang mit der Bewertung von Heizsystemen auch weitere Gase und Partikel thematisiert. Das Umweltbundesamt führt als Grundlage für die österreichische Luftschadstoff-Inventur in der Publikation Umweltbundesamt (2004) für den Sektor der Kleinverbraucher folgende relevante Gase bzw. Stoffe an:

- Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>)
- Stickoxide (NO<sub>x</sub>)
- Organisch gebundener Kohlenstoff (TOC, Total Organic Carbon)
- Kohlenmonoxid (CO)
- Staub
- Kohlenwasserstoffe (C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>)

In der zitierten Publikation werden empirisch ermittelte Emissionsfaktoren für die Heizsystemkategorien Festbrennstoff-Einzelöfen, Festbrennstoff-Zentralheizungen, Öl-Feuerungsanlagen und Gas-Feuerungsanlagen für den Anlagenbestand der 1990er Jahre dokumentiert. Das Erhebungsdatum variiert hierbei je nach Heizsystemtyp zwischen 1993 und 1998. Die in der Publikation dargestellten Daten werden in der Folge unverändert als Startwerte für das Jahr 2000 herangezogen.

Eine Forschungsarbeit von Moser et al. (2010), die sich mit Produktlabels für Biomasse-Kleinf Feuerungen beschäftigt, dokumentiert Messergebnisse von Nicht-CO<sub>2</sub> Emissionen zum Status quo und zur jeweils besten, im Jahr 2010 am Markt verfügbaren Technologie. Dokumentiert werden hierbei Scheitholzkessel (Naturzug und gebläseunterstützt), Pelletkessel, Hackgutkessel, Pelletöfen und Scheitholzöfen.

In der Studie werden neben den Emissionen auch weitere Bewertungskriterien wie die Konstruktionsmaterialien und deren Masse dokumentiert, wobei diese Daten hier nicht weiter betrachtet werden.

Eine weitere thematisch relevante Literaturstelle ist die Publikation Umweltbundesamt (2006), in der das Thema des Schwebstaubs in Österreich sehr detailliert erörtert wird. Neben den großen Staubemittenten Verkehr und Industrie wird in diesem Bericht auch der Hausbrand als Verursacher von Staubemissionen dargestellt und analysiert. Das Thema des Feinstaubes aus Pelletheizungen wird weiters von Schwarz (2007) aufgegriffen und in einem Kurzbericht dargestellt. Es erfolgt hierbei auch die Dokumentation von aktuellen Messergebnissen der zertifizierten Prüfstelle BLT Wieselburg.

Die dargestellten Publikationen bilden im Weiteren die Datengrundlage für die Abschätzung der Entwicklung der Nicht-CO<sub>2</sub> Emissionen aus dem Energiedienstleistungsbereich der Raumwärmebereitstellung und der Brauchwassererwärmung. Wie bereits oben dargestellt, werden die Startwerte der Emissionskoeffizienten für die Nicht-CO<sub>2</sub> Emissionen gemäß Umweltbundesamt (2004) definiert. Die weitere Entwicklung der Emissionskoeffizienten über den Szenarienzeitraum bis 2050 stützt sich auf folgende Annahmen:

Prinzipiell wird davon ausgegangen, dass bei den etablierten Technologien zur Nutzung fossiler Energieträger nur noch marginale Reduktionen im Emissionsbereich stattfinden können. Einerseits sind die technologischen Lernkurven wegen der langen Entwicklungsgeschichte und der hohen Marktdurchdringung bereits nahe der Sättigung und andererseits erfolgt bei manchen Technologien (speziell bei dezentralen Kohlefeuerungen) kaum eine Weiterentwicklung, da nur geringe zukünftige Marktchancen erwartet werden können. Im Bereich der Gasfeuerungen ist die Reduktion der Luftschadstoffe weit fortgeschritten und auch durch die chemischen und verbrennungstechnischen Eigenheiten des fossilen Brennstoffes bedingt. Auch bei Ölfeuerungen wurden verbrennungstechnische Reduktionspotenziale zum guten Teil bereits umgesetzt, weitere Reduktionen können jedoch auch über die Brennstoffqualität erzielt werden. Fokus der Betrachtung ist somit die Entwicklung der Emissionen von Biomasse-Feuerungsanlagen.

Bestand 2000: Zur Definition der Startwerte werden die unveränderten Daten aus der Luftschadstoff-Inventur des Umweltbundesamtes (2004) herangezogen. Diese Daten werden lediglich im Bereich der Holzheizsysteme um die Werte für die C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> Emissionen ergänzt, die mit dem 4-fachen Werten der Prüfstandergebnisse der FJ-BLT (2010) für Biomassefeuerungen im Jahr 2010 angesetzt wurden. Die nicht differenziert angegebenen Werte für unterschiedliche Holzheizsysteme werden unverändert auf die jeweils verwandten Systeme übertragen.

Bestand 2010: Der Bestand 2010 wird durch eine lineare Interpolation der Werte für den Bestand im Jahr 2000 und dem Bestand im Jahr 2030 ermittelt.

Bestand 2030: Der Bestand 2030 wird im Bereich der Holzheizsysteme durch die Prüfstandkennwerte der im Jahr 2010 am Markt verfügbaren neuen Kessel bzw.

Öfen dargestellt. Weiters wird davon ausgegangen, dass im Bereich der Stückgutkessel nur noch Kessel mit Saugzug mit entsprechend geringeren Emissionswerten im Bestand verfügbar sind.

Bestand 2050: Es wird davon ausgegangen, dass die im Jahr 2010 besten gemessenen Einzel-Emissionswerte den Anlagenbestand 2050 charakterisieren können. Aufgrund der langen Anlagenlebensdauer bzw. aufgrund der technischen Herausforderungen, die sich durch die Kombination der besten Einzelwerte in ein und demselben Gerät ergeben, kann diese Annahme für den Bestand 2050 als ambitioniertes Szenario gesehen werden. Diese Annahme bedeutet in der Folge, dass die entsprechende Technologie bereits geraume Zeit vor 2050 die Durchschnittsqualität der am Markt verfügbaren Anlagen repräsentieren muss.

Eine weitere Reduktion der spezifischen Luftschadstoffe über 2050 hinaus scheint jedoch aus technischen Gründen immer schwieriger umsetzbar. Die tatsächlichen Emissionen in der Praxis sind auch sehr stark von der Qualität der eingesetzten Brennstoffe abhängig. In diesem Bereich haben auch nicht technische Ansätze wie die allgemeine Bildung und die Bewusstseinsbildung bezüglich der Bereitstellung von und dem Umgang mit biogenen Brennstoffen ihre Berechtigung und sind vermutlich sogar dringend erforderlich, um die Prüfstandmessergebnisse auch in der Praxis erreichen zu können. Die Entwicklung der spezifischen Emissionsfaktoren für die unterschiedlichen Heizsysteme ist in Tabelle 7.9 dargestellt.

Weitere relevante Kenngrößen sind jene aus dem Bereich elektrischer Strom und Wärme aus Heizwerken. Bei diesen zentralen Großanlagen wurden bereits in der Vergangenheit umfangreiche Maßnahmen zur Reduktion der Luftschadstoffe getroffen. Weitere signifikante Reduktionen werden deshalb für die Zukunft nicht erwartet und die in den Tabellen 7.7 und 7.8 dokumentierten Kennwerte werden im Weiteren für die Berechnung im Szenarienzeitraum als konstant definiert. Dies erscheint auch deshalb argumentierbar, da bei einer detaillierteren Kalkulation konsequenter Weise ein Szenario für die zukünftige Stromgestehung bzw. den zukünftigen Mix an Energieträgern in Heizwerken entwickelt werden müsste, was nicht Gegenstand der vorliegenden Untersuchung war.

Tabelle 7.7: Durchschnittliche Emissionsfaktoren 1999/2000 der österreichischen Kraftwerke (>50MW) bezogen auf den Brennstoffeinsatz. Datenquelle: Umweltbundesamt 2004..

Brennstoff	Luftschadstoffe						Datenquelle
	SO <sub>2</sub> kg/TJ	NO <sub>x</sub> kg/TJ	TOC kg/TJ	CO kg/TJ	Staub kg/TJ	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> kg/TJ	
Bestand 2000 (Luftschadstoff Inventur)							
Steinkohle	38	71	k.A.	5	3	1	UBA (2004)
Braunkohle	97	69	k.A.	63	10	1	UBA (2004)
Heizöl schwer	63	45	k.A.	5	5	3	UBA (2004)
Erdgas	1	29	k.A.	2	1	1	UBA (2004)
Gewichtetes Mittel	29	41	k.A.	12	2	1	UBA (2004)

Abkürzungen: k.A. ...keine Angabe

Tabelle 7.8: Durchschnittliche Emissionsfaktoren für Heizwerke >50MW<sub>th</sub> und für Heizwerke <50MW<sub>th</sub>. Datenquelle: Umweltbundesamt 2004..

Heizsystem	Luftschadstoffe						Datenquelle
	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	TOC	CO	Staub	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	
	kg/TJ	kg/TJ	kg/TJ	kg/TJ	kg/TJ	kg/TJ	
Heizwerke >50MW <sub>th</sub> , Bestand 2000 (Luftschadstoff Inventur)							
Steinkohle	21	53	k.A.	4	1	1	UBA (2004)
Heizöl schwer	74	69	k.A.	6	2	6	UBA (2004)
Erdgas	1	28	k.A.	8	1	2	UBA (2004)
Gewichtetes Mittel	26	48	k.A.	5	1	2	UBA (2004)
Heizwerke <50MW <sub>th</sub> , Bestand 1996 (Luftschadstoff Inventur)							
Holz und Biomasse	11	143	k.A.	72	2	7	UBA (2004), EEG
Heizöl extra leicht	45	65	k.A.	10	1	6	UBA (2004), EEG
Heizöl leicht	92	159	k.A.	10	1	1	UBA (2004), EEG
Heizöl mittel	196	159	k.A.	15	1	10	UBA (2004), EEG
Heizöl schwer	398	317	k.A.	15	2	10	UBA (2004), EEG
Erdgas	1	41	k.A.	5	1	2	UBA (2004), EEG
Öl (Mix)	125	175	k.A.	11	1	2	UBA (2004), EEG
Gewichtetes Mittel	47	100	k.A.	13	1	3	UBA (2004), EEG

Abkürzungen: k.A. ...keine Angabe

Tabelle 7.9: Entwicklung der spezifischen Luftschadstoff-Emissionen unterschiedlicher Heizsysteme bis 2050. Datenquelle: siehe Tabelle.

Heizsystem	Luftschadstoffe						Datenquelle
	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	TOC	CO	Staub	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	
	kg/TJ	kg/TJ	kg/TJ	kg/TJ	kg/TJ	kg/TJ	
<b>Bestand 2000 (Luftschadstoff Inventur)</b>							
Stückholz-EO	11	106	664	4463	148	148	UBA (2004), EEG
Holzpellet-EO	11	106	664	4463	148	20	UBA (2004), EEG
Stückholz-ZH	11	107	448	4303	90	116	UBA (2004), EEG
Hackgut-ZH	11	107	448	4303	90	4	UBA (2004), EEG
Holzpellet-ZH	11	107	448	4303	90	4	UBA (2004), EEG
Kohle-EO	340	132	341	3705	153	0	UBA (2004)
Kohle-ZH	543	78	288	4206	94	0	UBA (2004)
Heizöl-EO (HEL)	45	19	0	150	1	2	UBA (2004)
Heizöl-ZH (HEL)	45	42	0	67	1	1	UBA (2004)
Gas-EO	0	51	0	37	0	1	UBA (2004)
Gas-EH	0	43	0	44	0	1	UBA (2004)
Gas-ZH	0	42	0	37	0	1	UBA (2004)
<b>Bestand 2010</b>							
Stückholz-EO	9	94	455	3222	105	111	Berechnungen EEG
Holzpellet-EO	9	98	444	2992	104	15	Berechnungen EEG
Stückholz-ZH	9	101	305	2992	64	83	Berechnungen EEG
Hackgut-ZH	10	105	299	2880	66	3	Berechnungen EEG
Holzpellet-ZH	9	98	299	2880	64	3	Berechnungen EEG
Kohle-EO	329	125	341	3458	153	0	Berechnungen EEG
Kohle-ZH	525	74	288	3926	94	0	Berechnungen EEG
Heizöl-EO (HEL)	42	18	0	150	1	2	Berechnungen EEG
Heizöl-ZH (HEL)	42	40	0	67	1	1	Berechnungen EEG
Gas-EO	0	48	0	37	0	1	Berechnungen EEG
Gas-EH	0	41	0	44	0	1	Berechnungen EEG
Gas-ZH	0	40	0	37	0	1	Berechnungen EEG
<b>Bestand 2030 (Prüfstandwerte neue Geräte Marktschnitt 2010)</b>							
Stückholz-EO	6	71	37	740	19	37	Moser et al. (2010)
Holzpellet-EO	4	82	5	50	15	5	Moser et al. (2010)
Stückholz-ZH	6	88	17,5	371	11	17,5	Moser et al. (2010), EEG
Hackgut-ZH	7	102	1	34	17	1	Moser et al. (2010)
Holzpellet-ZH	4	79	1	35	12	1	Moser et al. (2010)
Kohle-EO	306	119	341	2964	153	0	UBA (2004), EEG
Kohle-ZH	489	70	288	3365	94	0	UBA (2004), EEG
Heizöl-EO (HEL)	35	17	0	150	0,5	2	UBA (2004), EEG
Heizöl-ZH (HEL)	35	38	0	67	0,5	1	UBA (2004), EEG
Gas-EO	0	46	0	37	0	1	UBA (2004), EEG
Gas-EH	0	39	0	44	0	1	UBA (2004), EEG
Gas-ZH	0	38	0	37	0	1	UBA (2004), EEG
<b>Bestand 2050 (beste Einzelwerte am Prüfstand 2010)</b>							
Stückholz-EO	6	34	16	276	10	19	Moser et al. (2010)
Holzpellet-EO	3	80	5	22	14	5	Moser et al. (2010)
Stückholz-ZH	6	50	1	7	5	4	Moser et al. (2010), EEG
Hackgut-ZH	7	61	1	4	4	1	Moser et al. (2010)
Holzpellet-ZH	3	48	1	1	3	1	Moser et al. (2010)
Kohle-EO	245	113	341	2964	153	0	UBA (2004), EEG
Kohle-ZH	391	67	288	3365	94	0	UBA (2004), EEG
Heizöl-EO (HEL)	30	16	0	150	0,5	2	UBA (2004), EEG
Heizöl-ZH (HEL)	30	36	0	67	0,5	1	UBA (2004), EEG
Gas-EO	0	44	0	37	0	1	UBA (2004), EEG
Gas-EH	0	37	0	44	0	1	UBA (2004), EEG
Gas-ZH	0	36	0	37	0	1	UBA (2004), EEG

Abkürzungen: EO..Einzelofen, ZH..Zentralheizung, EH..Etagenheizung, HEL..Heizöl Extraleicht;

Unter den oben dargestellten Berechnungsannahmen lässt sich die Entwicklung der kumulierten Luftschadstoffemissionen für den Szenarienzeitraum bis 2050 in unterschiedlichen Szenarien berechnen und darstellen. Die Ergebnisse der Berechnungen für das BAU1-Szenario sind in Tabelle 7.10 in absoluten Zahlen und in normierten Zahlen dargestellt. Abbildung 7.6 veranschaulicht die Entwicklungen.

Tabelle 7.10: Entwicklung der Luftschadstoffemissionen im BAU-1 Szenario. Datenquelle: EEG.

Emissionsbilanz absolut (alle Werte in Tonnen)						
Jahr	2000	2010	2020	2030	2040	2050
SO <sub>2</sub>	11.554	9.557	6.274	3.333	2.273	1.603
NO <sub>x</sub>	20.519	19.781	18.532	15.141	10.649	6.732
TOC	38.850	25.968	14.492	688	267	71
CO	393.626	270.165	153.661	18.866	7.011	1.421
Staub	8.386	5.947	3.393	1.394	732	324
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	7.599	4.769	1.976	806	418	228
Emissionsbilanz normiert (alle Werte in %, das Bezugsjahr ist 2000)						
Jahr	2000	2010	2020	2030	2040	2050
SO <sub>2</sub>	100,0%	82,7%	54,3%	28,8%	19,7%	13,9%
NO <sub>x</sub>	100,0%	96,4%	90,3%	73,8%	51,9%	32,8%
TOC	100,0%	66,8%	37,3%	1,8%	0,7%	0,2%
CO	100,0%	68,6%	39,0%	4,8%	1,8%	0,4%
Staub	100,0%	70,9%	40,5%	16,6%	8,7%	3,9%
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	100,0%	62,8%	26,0%	10,6%	5,5%	3,0%

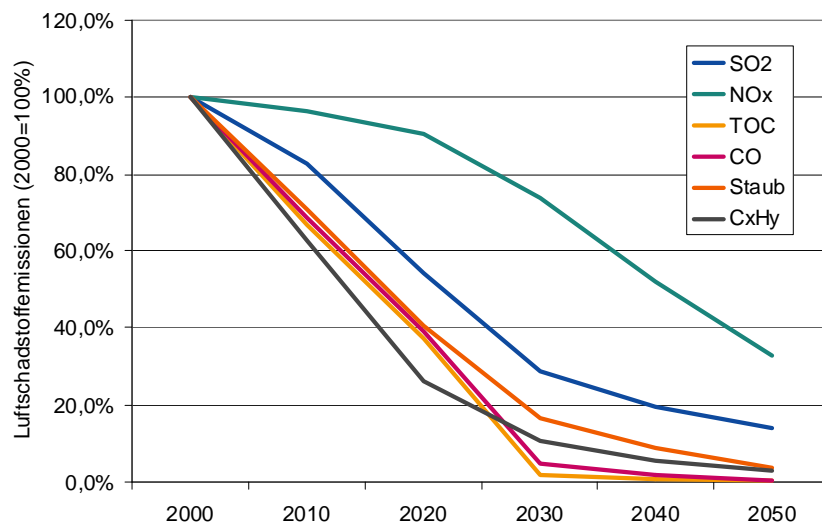


Abbildung 7.6: relative Entwicklung der Luftschadstoffemissionen im BAU1 Szenario. Datenquelle: EEG.

Die Zahlen bzw. die Darstellung zeigen deutlich das starke Absinken der Luftschadstoffemissionen im Betrachtungszeitraum. Wesentliche Faktoren hierbei sind die Weiterentwicklung der Technologien, der Wechsel von Technologien (z.B. das quasi Aussterben der Kohleheizungen) aber auch die generelle Reduktion des Heizenergieverbrauchs. In den Kategorien TOC, CO, Staub und C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> ist bis 2050 eine dramatische Reduktion der Luftbelastung zu erwarten. In diesen Kategorien liegt

die Emissionsreduktion bis 2050 mit Bezug auf das Jahr 2000 zwischen 99% und 96%. Bei den SO<sub>2</sub> Emissionen ist eine Reduktion um ca. 86% zu erwarten. Die verbleibenden SO<sub>2</sub> Emissionen stammen im Jahr 2050 aus den noch in Betrieb befindlichen Ölheizungen, den Hackschnitzelfeuerungen und zu einem großen Anteil auch aus den Fernwärmeanlagen. Die NO<sub>x</sub>-Emissionen können bis 2050 voraussichtlich um 67% reduziert werden. Dabei ist zu bemerken, dass die Reduktionen in diesem Bereich langsam einsetzen, um das Jahr 2030 intensiviert werden und auch im Jahr 2050 noch einen stark sinkenden Trend aufweisen. Die NO<sub>x</sub>-Emissionen stammen im Jahr 2050 dabei hauptsächlich aus den Holzheizsystemen und der Fernwärmebereitstellung.

Die Entwicklung der Luftschadstoffe erweist sich in Abhängigkeit des gerechneten Szenarios als relativ stabil. Tabelle 7.11 zeigt hierfür die Emissionsbilanz für das Szenario 2e, welches einen ausgewogenen Maßnahmenmix in den Bereichen CO<sub>2</sub>-Steuer, Anwendung normativer Instrumente und anreizorientierter Instrumente vorsieht. Wie gut zu erkennen ist, sind die Abweichungen zum oben präsentierten Szenario Bau1 in absoluten Zahlen sehr gering, wobei es sich auch bei den anderen Szenarien der Szenariengruppen 1 und 2 ebenso verhält.

Tabelle 7.11: Entwicklung der Luftschadstoffemissionen im Szenario 2e. Datenquelle: EEG.

Emissionsbilanz absolut (alle Werte in Tonnen)							Abweichung zum Bau1 Szenario relativ in %
Jahr	2000	2010	2020	2030	2040	2050	
SO <sub>2</sub>	11.554	9.484	5.913	2.914	2.034	1.468	-8,4%
NO <sub>x</sub>	20.519	19.829	19.319	15.891	10.876	6.633	-1,5%
TOC	38.850	26.388	16.583	886	347	74	4,6%
CO	393.626	273.976	173.205	21.359	7.169	1.013	-28,7%
Staub	8.386	6.035	3.845	1.589	816	343	5,8%
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	7.599	4.789	2.282	1.013	491	242	6,0%
Emissionsbilanz normiert (alle Werte in %, das Bezugsjahr ist 2000)							Abweichung zum Bau1 Szenario absolut in %
Jahr	2000	2010	2020	2030	2040	2050	
SO <sub>2</sub>	100,0%	82,1%	51,2%	25,2%	17,6%	12,7%	-1,2%
NO <sub>x</sub>	100,0%	96,6%	94,2%	77,4%	53,0%	32,3%	-0,5%
TOC	100,0%	67,9%	42,7%	2,3%	0,9%	0,2%	0,0%
CO	100,0%	69,6%	44,0%	5,4%	1,8%	0,3%	-0,1%
Staub	100,0%	72,0%	45,9%	18,9%	9,7%	4,1%	0,2%
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	100,0%	63,0%	30,0%	13,3%	6,5%	3,2%	0,2%

Die Reduktion der Luftschadstoffemissionen ist somit kaum von der Variation der Szenarienparameter abhängig. Vielmehr steuern zwei große Einflussparameter die weitere Entwicklung dieser Emissionen:

Der erste starke Einflussfaktor ist die technologische oder systemtechnische Reduktion der spezifischen Emissionen der einzelnen Technologien. Dass in diesem Bereich sehr große Potenziale der Emissionsreduktion umgesetzt werden können, ist vor allem im Bereich der Holzheizsysteme (Stückgut-, Hackgut- und Pelletheizsysteme) zu erkennen. Hier ist es die Aufgabe der Energiepolitik die bereits

technisch machbaren emissionsarmen Technologien am Heizungsmarkt mittels Einsatz von normativen Instrumenten einzufordern.

Der zweite Einflussfaktor ist, wie auch schon bei der Entwicklung des allgemeinen Energieverbrauchs für die Raumkonditionierung und Brauchwassererwärmung thematisiert, die generelle Senkung des Energiebedarfs für die Wärmebereitstellung mittels Effizienzmaßnahmen. Die thermische Sanierung der Gebäude aber auch die systemtechnische Sanierung der Wärmebereitstellungsanlagen stellen dabei die zentralen Herausforderungen dar. Wie ebenfalls bereits an anderer Stelle thematisiert, gilt es auch hier einer hohen Sanierungsqualität auf jeden Fall den Vorrang vor einer Steigerung der Sanierungsraten auf niedrigem Qualitätsniveau zu geben. Diese Zusammenhänge sind in den Rand und Nebenbedingungen bei der Ausformulierung von anreizorientierten energiepolitischen Instrumenten, die auf die Sanierung abzielen, zu implementieren.



### 7.3 Anteil erneuerbarer Energie – Vergleich der Szenarien

Die Entwicklung des Anteiles erneuerbarer Energie im Sektor Heizenergie und Energie für die Brauchwassererwärmung ist vor allem im Zeitraum rund um das Jahr 2030 sehr stark von den Rahmenbedingungen abhängig, die während des gesamten Betrachtungszeitraumes herrschen, wie dies in Abbildung 7.7 veranschaulicht wird. Das Szenario BAU1 ist hierbei im Wesentlichen durch die Fortschreibung der Rahmenbedingungen im Jahr 2010 gekennzeichnet, im Szenario BAU2 werden auch noch die im Jahr 2010 vorhandenen anreizorientierten Mechanismen ausgesetzt, es sind somit in diesem Szenario überhaupt keine energiepolitischen Maßnahmen installiert. Die besten Ergebnisse in Hinblick auf den Anteil erneuerbarer Energie im Energiemix werden in den Szenarien 2a und 2e erreicht, wobei die Szenariengruppe a durch Nutzungsverpflichtungen in Bezug auf Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energie gekennzeichnet ist und die Szenariengruppe e ein ausgewogenes Maßnahmenbündel aus Förderungen (Biomasse, Fernwärme und Wärmepumpen bis 20% der Investitionskosten, Solarthermie bis 30%), einer moderaten CO<sub>2</sub>-Steuer (2020: 30 €/tCO<sub>2</sub>, 2050: 85 €/tCO<sub>2</sub>), sowie eine moderate Nutzungsverpflichtung für Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energie vorsieht. Die weiteren Szenariengruppen definieren sich im Fall der Gruppe b durch reine Investitionszuschüsse, c durch eine hohe CO<sub>2</sub>-Steuer (300 €/tCO<sub>2</sub>) als Einzelmaßnahme und d durch hohe Energiepreise (Ölpreis 2030: 125 \$/bar; 2050: 175 \$/bar).

Die Entwicklung des gesamten Energieträgereinsatzes in Szenarien 1e und 2e mit ausgewogener Energiepolitik zeigt die Abbildung 7.8.

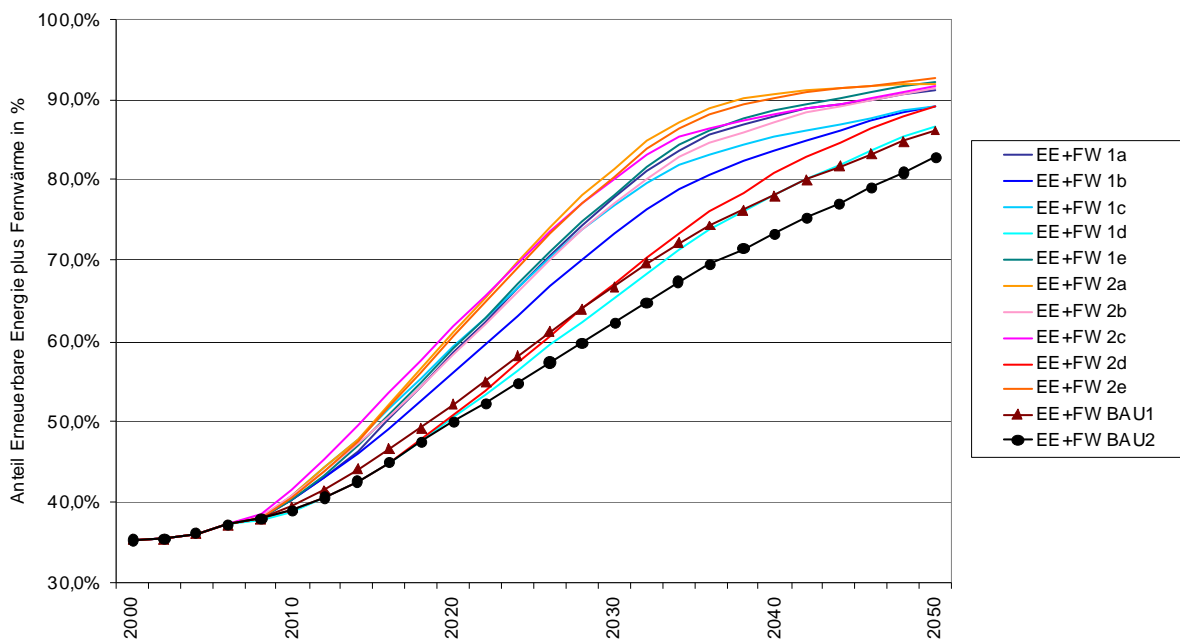


Abbildung 7.7: Entwicklung des Anteils von Erneuerbarer Energie plus Fernwärme in den unterschiedlichen Szenarien. Quelle: Berechnungen EEG.

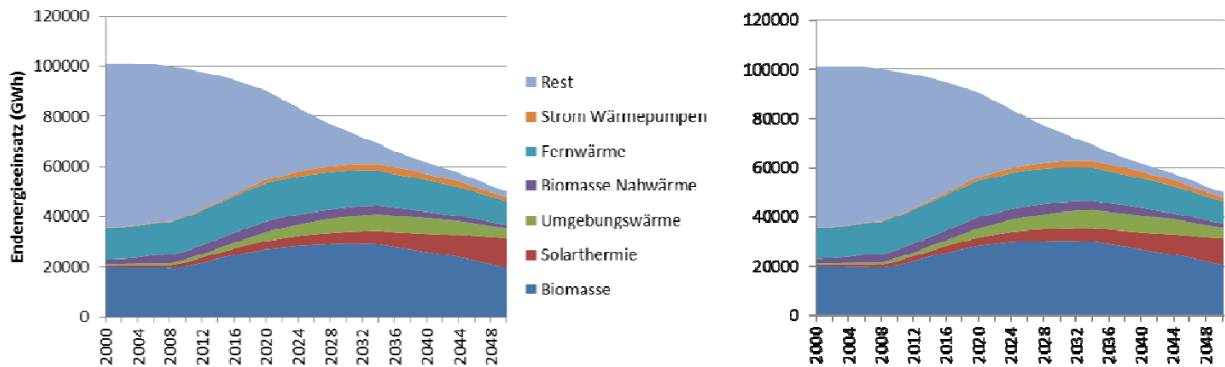


Abbildung 7.8: Entwicklung des Energieträgereinsatzes in Szenarien 1e (links) und 2e (rechts). Quelle: Berechnungen EEG.

## 7.4 Steuereinnahmen aus CO<sub>2</sub>-Steuern

Die CO<sub>2</sub>-Steuern in den Szenariengruppen c und e verursachen Steuereinnahmen, die trotz progressiver Gestaltung des Steuersatzes im Szenario e (die Steuer wird über die Zeit immer höher) über die Zeit deutlich abnehmen. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen sinken dabei bis zum Jahr 2030 sehr stark, danach durch das sich erschöpfende Einsparpotenzial entsprechend flacher. Abbildung 7.9 veranschaulicht die Verläufe der Steuereinnahmen für die 4 relevanten Szenarien. Die meisten Einnahmen mit einem Startwert im Jahr 2010 von 4,984 Mrd. Euro erbringt das Szenario 2c, welches die Tonne CO<sub>2</sub> über den Betrachtungszeitraum mit konstant 300 €/tCO<sub>2</sub> bepreist.

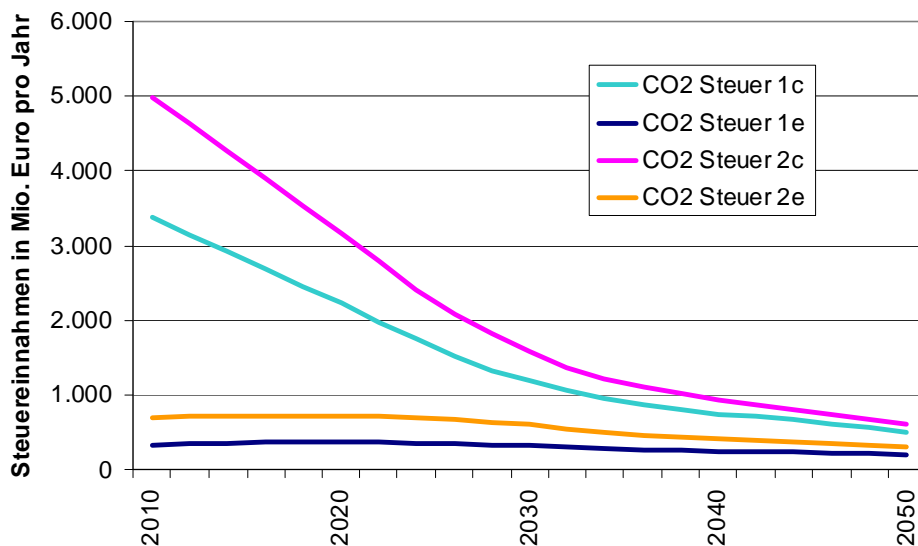


Abbildung 7.9: Steuereinnahmen durch die CO<sub>2</sub>-Steuern in den Szenarien. Quelle: Berechnungen EEG.

## 7.5 Kosten der Förderungsmaßnahmen

Die Förderungskosten der Szenariengruppen b, e und BAU1 sind in Abbildung 7.10 dargestellt. Das BAU1 Szenario verursacht dabei gemeinsam mit dem Szenario 1e aber auch mit dem Szenario 2e vergleichsweise geringe Förderkosten, welche im Fall der Szenariengruppe e durch die ja gleichzeitig generierten Einnahmen aus der CO2-Steuer bei weitem überdeckt sind. Damit lässt sich in den gemischten Energiepolitiskszenarien der Aufwand der Förderungen innerhalb des Gesamtprogrammes jedenfalls auch finanzieren. Die Szenariengruppe b verursacht deutlich höhere Kosten, ohne dabei eine hervorragende Position bei den Auswirkungen zu erreichen.

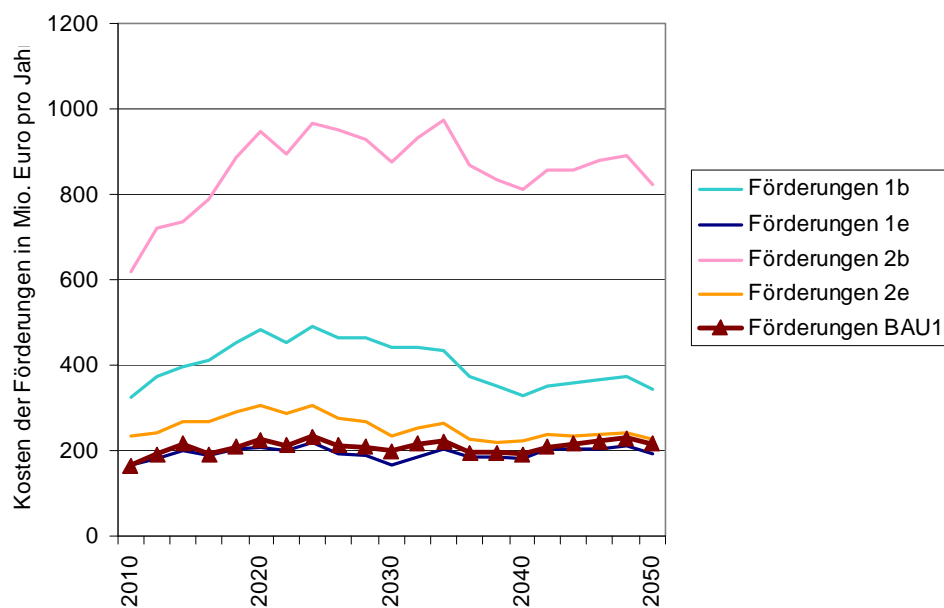


Abbildung 7.10: Kosten der Förderungsmaßnahmen in den Szenarien.  
Quelle: Berechnungen EEG.

## 7.6 Investitionen – Vergleich der Szenarien

Die Investitionen, welche in den einzelnen Szenarien in Heizungstechnologien getätigt werden, sind in Abbildung 7.11 dargestellt. Dabei ist auffällig, dass gerade die Szenariengruppe mit den höchsten Förderungskosten (Gruppe b) die geringsten Investitionseffekte bewirkt, nämlich geringere als in den BAU-Szenarien. Alle anderen Gruppen verursachen höhere Investitionen.

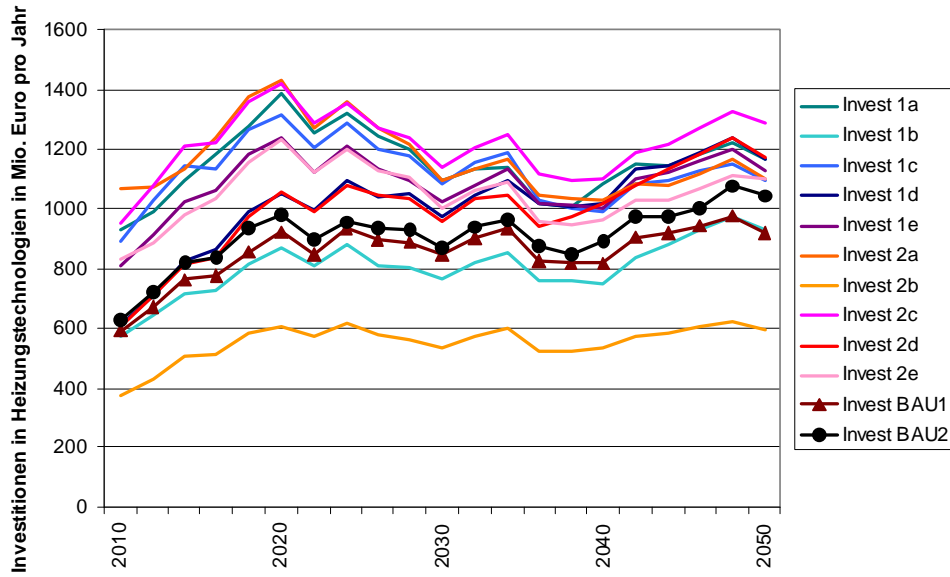


Abbildung 7.11: Investitionen in die Heizungstechnologien.  
Quelle: Berechnungen EEG.

Werden nur die Investitionen in Technologien zur Nutzung fossiler Energie betrachtet, so resultieren die höchsten Zahlen aus dem BAU2-Szenario, wie dies in Abbildung 7.12 dargestellt ist. Werden also keinerlei energiepolitische Maßnahmen vorgesehen, so erfolgen in die Technologien zur Nutzung fossiler Energieträger die größten Investitionen. Die geringsten Investitionen in diese Technologien erfolgen im Szenario 2a, also der alleinigen Nutzungsverpflichtung für Technologien zur Nutzung erneuerbarer Energieträger.

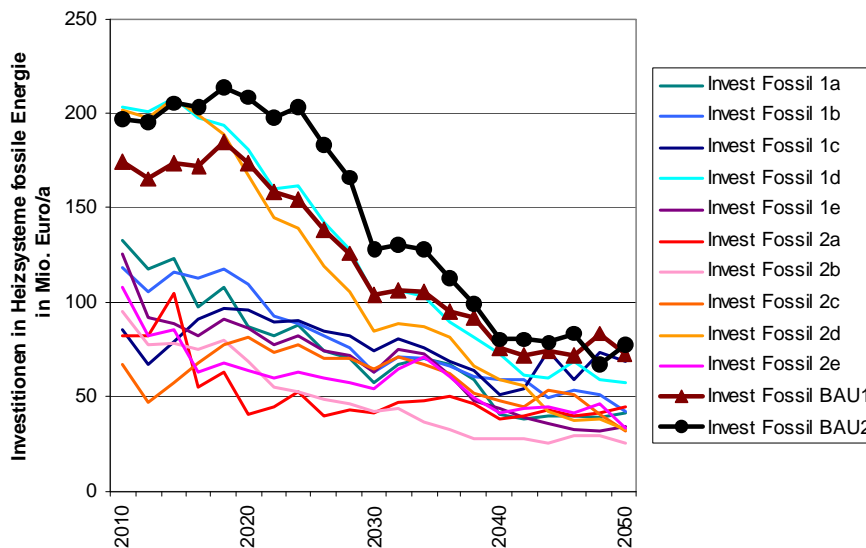


Abbildung 7.12: Investitionen in die Heizungstechnologien.  
Quelle: Berechnungen EEG.

## 8. Technologielinien 2050

In diesem Abschnitt erfolgt die Darstellung unterschiedlicher Technologielinien zur Raumwärmebereitstellung und Brauchwassererwärmung in Form von Storylines. Hierbei werden Trends und die langfristigen Entwicklungsräume ausgewählter Technologien mit einem zeitlichen Horizont bis 2050 beschrieben, wobei sowohl die technologische Entwicklung als auch die Marktdiffusion zentrale Themen darstellen.

### 8.1 Systeme zur Nutzung fester Biomasse

#### 8.1.1 Ausgangsbasis

Der Großteil der heutzutage zur Verfügung stehenden Biomassetechnologien zur Raumwärmebereitstellung und Brauchwassererwärmung nützt holzartige Brennstoffe. Davon wiederum kann nur ein kleiner Teil als moderne Technologie angesehen werden. Moderne Technologien setzen sich allerdings aufgrund der Entwicklung der gesetzlichen Emissionsgrenzwerte, des erhöhten Komforts in Betrieb, Wartung und Brennstoffzufuhr bzw. Brennstofflogistik, wie auch aufgrund der Förderungssituation immer mehr durch. Es kann also auch ohne gravierende Änderungen der politischen Rahmenbedingungen damit gerechnet werden, dass moderne Holzwärmebereitstellungstechnologien im betrachteten Zeitraum die bestehenden veralteten Technologien ersetzen werden. Dadurch sind in der Folge eine markante Reduktion der Emissionsfaktoren sowie eine Steigerung der Nutzungsgrade zu erwarten. Insbesondere die oft kritisierten Staubemissionen von Biomassegeräten werden in diesem Sinne neu zu bewerten sein. Die folgende Abbildung 8.1 zeigt die Emissionen von neu in den Markt gebrachten Holzheizungen, die an der Bundesanstalt für Landtechnik Wieselburg gemessen wurden.

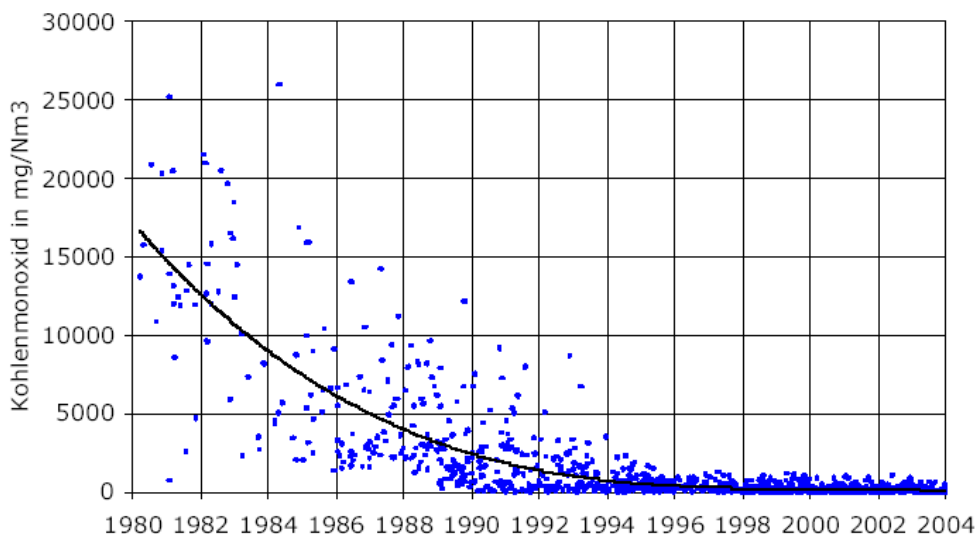


Abbildung 8.1: Emissionen jeweils neuer Biomassekleinfeuerungen am Prüfstand.  
Quelle: FJ BLT.

## 8.1.2 Schlüsseltechnologien

### Emissionsreduktion

Im Segment der Biomassekessel stellen Anlagen bzw. Technologien zur sekundären Emissionsreduktion eine der wichtigsten Schlüsselkomponenten dar. In diesem Bereich finden derzeit intensive Entwicklungstätigkeiten statt. Derartige Technologien ermöglichen zukünftig einen breiten Einsatz von Biomasse-Heizsystemen auch in dicht besiedelten Gebieten und werden je nach Entwicklungsszenario im Jahr 2020 bis 2030 am Markt verfügbar sein.

Für das Segment der Öfen und Naturzugkessel werden voraussichtlich bis zum Jahr 2020 funktionstüchtige Katalysatoreinsätze zur Reduktion von Kohlenmonoxid- und Kohlenwasserstoffemissionen zur Verfügung stehen.

Was den Einzug von nicht holzartigen biogenen Brennstoffen in den Bereich mittelgroßer Anlagen betrifft, ist ein erhöhter Entwicklungsaufwand hinsichtlich Brennstoffflexibilität und Emissionsreduktion nötig, um in absehbarer Zeit ausgereifte Produkte verfügbar zu haben. Vereinzelt sind Produkte bereits erhältlich.

### Brennwerttechnologie

Die Abgaskondensation ermöglicht einen Wirkungsgradgewinn von bis zu 10% (absolut) bei Pelletskessel und aufgrund der höheren Brennstofffeuchte von noch höheren Werten bei Hackgutsystemen. Die Kondensationstechnologie gilt somit als Schlüsseltechnologie zur Ressourceneinsparung im Biomassebereich. Die Variante der passiven Kondensation in Verbindung mit Niedertemperaturheizsystemen ist aus technologischer Sicht bereits gelöst, es besteht jedoch nach wie vor Entwicklungsbedarf für marktreife Lösungen. Dieser Umsetzbarkeit dieses Lösungsansatzes ist weiters an die Verfügbarkeit passender Gebäudesysteme gekoppelt. Hohe Gebäudeenergieeffizienz, ein geringes Heizungsrücklauf-Temperaturniveau sowie ein Niedertemperatur-Wärmeverteilsystem sind notwendige Voraussetzungen für einen energieeffizienten Einsatz der passiven Kondensationstechnologie. Diese Technologie ist somit prädestiniert für den Einsatz in energieeffizienten Neubauten oder hochqualitativen Sanierungsprojekten, bei denen auch die Installation eines Niedertemperatur-Wärmeverteilsystems vorgenommen wird.

Aktive Kondensation in Kombination mit Wärmepumpen stellt eine noch höhere Wirkungsgradsteigerung in Aussicht und ist unabhängig von der gegebenen Rücklauf-Temperatur universell einsetzbar. Bei derartigen Geräten besteht allerdings noch Entwicklungsbedarf, sodass eine Marktverfügbarkeit je nach Rahmenbedingungen (Szenarien) im Jahr 2015 bis 2025 denkbar ist.

Die durch Kondensationstechnologie erreichbaren Wirkungsgrade von unterschiedlichen Heizungstechnologien sind in den Abbildungen 8.2 und 8.3 dargestellt.

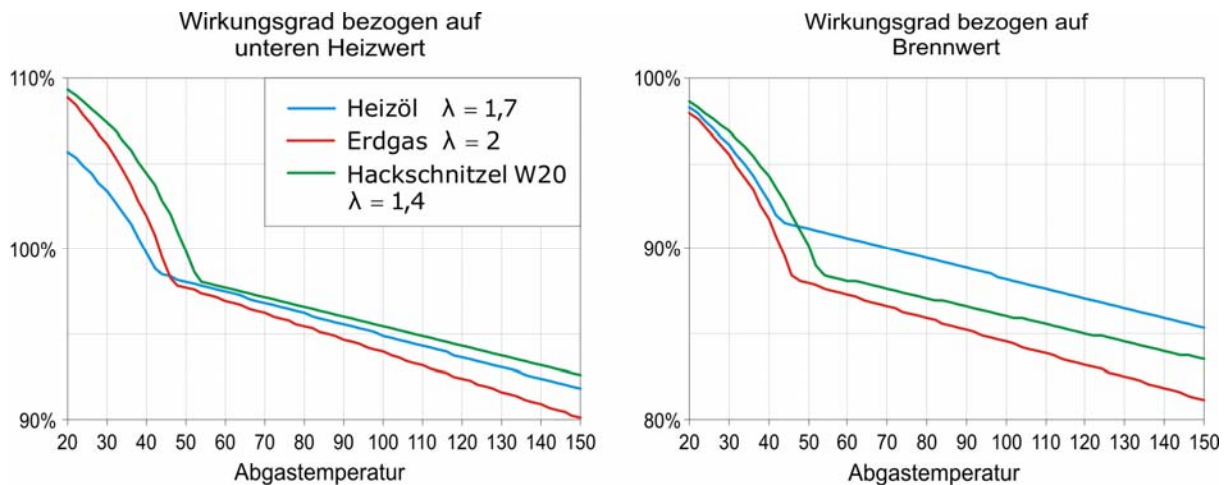


Abbildung 8.2: Erreichbare Wirkungsgrade von Heizöl-, Erdgas- und Hackschnitzelkessel in Kondensationstechnologie. Quelle: Bioenergy2020+.

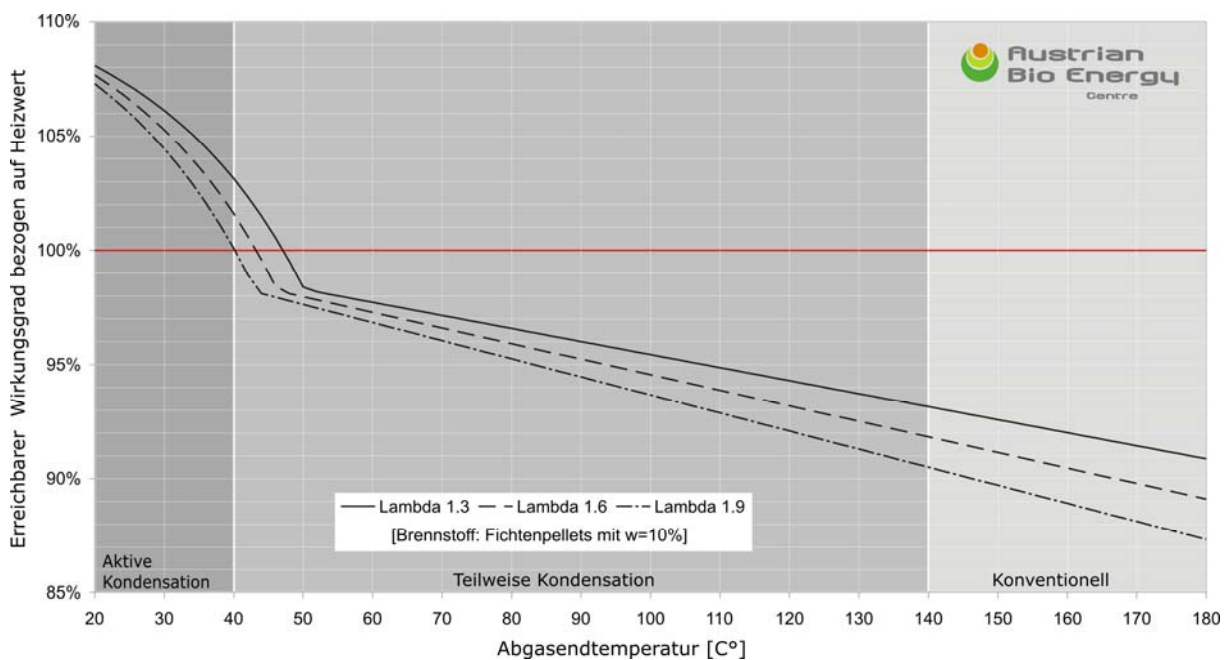


Abbildung 8.3: Erreichbarer Wirkungsgrad bei Pelletsfeuerungen durch Kondensation in Abhängigkeit vom Luftverhältnis. Quelle Bioenergy 2020+.

### Kraft – Wärme – Kälte - Kopplung

Im Sinne der Nutzung des hohen Exergiegehaltes von Biomasse und der dezentralen Bereitstellung elektrischer Energie wird die Möglichkeit der Stromerzeugung und Abwärmenutzung auch im kleinen Leistungsbereich immer attraktiver. Die Stromerzeugung mit Biomassekesseln kleiner und mittlerer Leistungen ist durch verschiedene bestehende Technologien möglich, durch die hohen spezifischen Kosten bei geringen Leistungen sind solche Anlagen allerdings

noch nicht wettbewerbsfähig. Die weitere Entwicklung dieser Schlüsseltechnologie ist stark abhängig von den gegebenen Rahmenbedingungen in einzelnen Szenarien. Starke Entwicklungstätigkeiten und vereinzelt verfügbare Geräte stellen jedoch eine breite Marktverfügbarkeit im Bereich von 2015 – 2025 in Aussicht.

Der Einsatz von biomassebefeuelten Absorptionskältemaschinen stellt eine weitere innovative Technologie zur Kälteerzeugung mit Biomasse dar, befindet sich allerdings ebenfalls noch im Entwicklungsstadium. Die zukünftige Entwicklung der Strompreise ist maßgebend für die Wirtschaftlichkeit und Markteinführung dieser Technologie.

### **8.1.3 Rahmenbedingung sinkende Heizlasten**

Durch die immer geringer werdende Heizlast neu errichteter und neu renovierter Gebäude sinkt auch die mittlere erforderliche Leistung der installierten Heizanlagen, wodurch speziell im Bereich der Einfamilienhäuser ein zunehmender Bedarf an neuen Produkten zur Raumwärme- und Brauchwasserbereitung im Segment unter  $10\text{kW}_{\text{thermisch}}$  entsteht. Dies führt dazu, dass eine hohe Brennstoffqualität erforderlich ist, um den höheren Anforderungen von Biomasseheizungen sehr kleiner Leistungen gerecht zu werden. Die hohe Brennstoffqualität wird in diesem Sektor durch den normierbaren Brennstoff Holzpellets gewährleistet. Die derzeitigen Anstrengungen im Entwicklungsbereich müssen weitergeführt werden, damit Biomassekessel in diesem Leistungsbereich die zukünftig verschärften Emissionsbeschränkungen unterschreiten können. Pelletskessel mit einer Leistung von  $3\text{kW}$  im Teillastbetrieb sind bereits am Markt verfügbar. Die technologisch machbare Untergrenze der Heizleistung liegt aus heutiger Sicht bei ca.  $2\text{kW}_{\text{thermisch}}$ . Eine Alternative zur Realisierung extrem kleiner Brennerleistungen ist durch die Installation von Pufferspeichern gegeben, die z.B. im Zusammenhang mit einer solar thermischen Anlage im System auch mehrfach genutzt werden können.

### **8.1.4 Rahmenbedingung Rohstoffsteuerung**

Die zeitliche Entwicklung der Ölpreise und der Pelletspreise sind in den Abbildungen 8.4 und 8.5 dargestellt. In beiden Darstellungen sind Preismaxima zu erkennen, welche vereinfacht betrachtet jeweils durch Verknappungssituationen hervorgerufen wurden. Bei den Pelletspreisen kam es im Jahr 2006 zu einer Verknappung des Brennstoffes durch die damals nur begrenzt zur Verfügung stehenden Produktionskapazitäten und die stark wachsende Nachfrage. In den Jahren darauf wurden Pellets-Produktionskapazitäten in großem Umfang errichtet, wodurch sich auch wieder ein stabiler Pelletspreis einstellte.

Deutlich komplexere Zusammenhänge verursachten den starken Ölpreisanstieg im Jahr 2008, wobei eine Verknappungssituation (peak oil) sicherlich auch einen Beitrag



zum Zustandekommen des maximalen Preises geleistet hat. Im Unterschied zum Pelletspreis ist beim Ölpreis jedoch ein neuerlicher Anstieg durch die steigende Nachfrage nach dem Abklingen der Wirtschaftskrise wahrscheinlich, wie sich dies in Abbildung 8.4 auch schon abzeichnet. Langfristig kann folglich damit gerechnet werden, dass Biomasse Brennstoffe ein deutlich stabileres Preisniveau aufweisen als fossile Brennstoffe, was wiederum einen strategischen Marktvorteil für die Biomassetechnologien bedeutet.

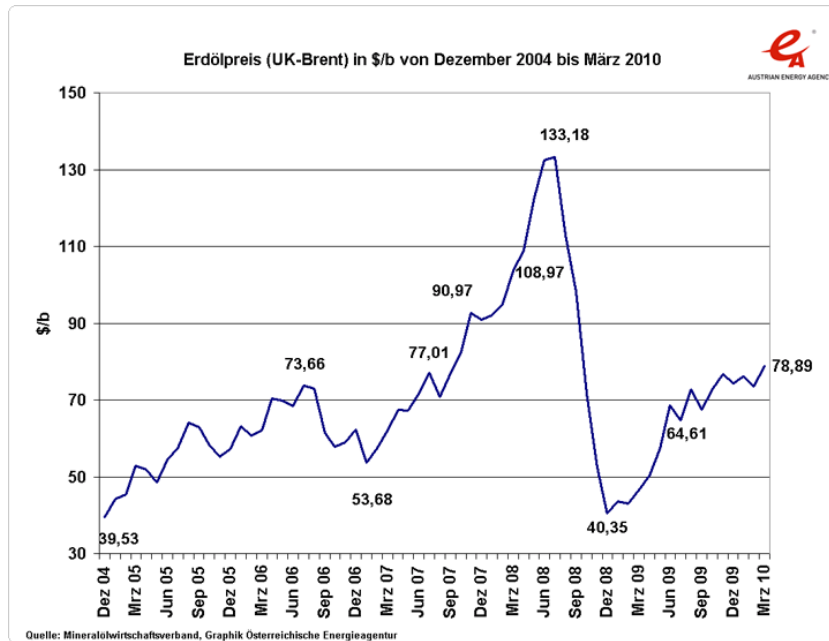


Abbildung 8.4: Entwicklung der Ölpreise von 2004 bis 2010.  
Quelle: Austrian Energy Agency.

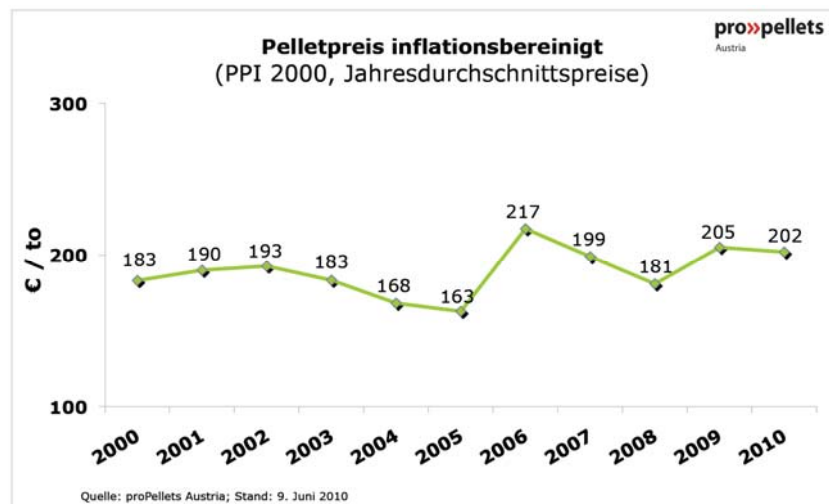


Abbildung 8.5: Entwicklung der Pelletspreise von 2000 bis 2010.  
Quelle: Pro Pellets Austria.

### **8.1.5 Verdrängte Technologien**

Im Bereich der Biomassefeuerungen gilt ein Großteil der bestehenden Systeme als veraltet. Dabei handelt es sich zumeist um einfache Holzheizungen mit vergleichsweise hohen Emissionswerten und schlechten Nutzungsgraden. Diese Technologien werden in den beiden im Folgenden dargestellten Storyline-Szenarien in absehbarer Zeit vom Markt verdrängt und durch moderne Technologien ersetzt.

### **8.1.6 Klimaerwärmung**

Die Klimaveränderung in Folge des vom Menschen verursachten Treibhauseffektes hat einen Einfluss auf die zukünftige Produktion von Biomasse Brennstoffen. Klimaveränderungen führen zu einer Veränderung des Pflanzenwachstums und beeinflussen somit die Entwicklung des Ressourcenspektrums. Weiters wirken sich klimabedingte Ernteauffälle, hervorgerufen durch Trockenperioden und Unwetter, zunehmend auch auf die Verfügbarkeit von Biomasserohstoffen aus. Obwohl die weitere Entwicklung im Detail schwer vorauszusehen ist, kann davon ausgegangen werden, dass die Klimaveränderung in Österreich bis 2050 keinen beschränkenden Parameter für die Produktion von Biomasse Brennstoffen darstellen wird.

### **8.1.7 Systemkombinationen**

Die Kombination von Biomasetechnologien und solarer Wärmebereitstellung ist bereits Stand der Technik und führt zu Ressourceneinsparung bei gleichzeitiger Versorgungssicherheit. Diese Kombination von Technologien wird sich in Zukunft vermehrt durchsetzen da auch zentrale Systemkomponenten wie die eingesetzten Wärmespeicher (Pufferspeicher und Boiler) von beiden Wärmebereitstellungstechnologien genutzt werden können.

Eine Kombination mit Wärmepumpentechnologien in Form von biomassebetriebenen Absorptionswärmepumpen gepaart mit aktiver Abgaskondensation verspricht eine deutlich höhere Brennstoffausnutzung im Heizbetrieb, und die Möglichkeit der Kälteerzeugung mit Biomasse. Diese Technologie befindet sich derzeit jedoch noch in der Entwicklungsphase.

### **8.1.8 Storyline “BAU Szenario“**

Im Weiteren werden die Storylines eines “BAU Szenarios“ (business as usual) und eines “Ambitionierten Szenarios“ dargestellt um auf qualitative Art und Weise einen Entwicklungsraum für die Biomasetechnologien zur Wärmebereitstellung aufzuspannen. Das BAU Szenario ist dabei durch eine moderate Sanierungsrate energietechnisch ineffizienter Gebäude und einem daraus resultierenden langsamen

Rückgang der mittleren Heizlasten geprägt. In der Folge wird beschrieben, wie sich einzelne Technologiebereiche unter diesen Randbedingungen voraussichtlich bis 2050 entwickeln könnten.

### Entwicklungen im kleinen Leistungsbereich (<30kW)

Der Neubauzuwachs ist durch einen Trend zur Niedrigenergiebauweise geprägt und nur vereinzelt werden Nullenergie- bzw. Passivhäuser gebaut. Die mittlere erforderliche Nennleistung von Biomasseheizsystemen für Einfamilienhäuser sinkt dadurch in diesem Bereich auf einen Bereich von unter 10kW.

Im sanierten Gebäudebestand werden alte Biomasseheizsysteme durch effizientere neue Modelle mit geringerer Leistung ersetzt, wodurch sich eine Einsparung von Biomasseressourcen durch die Wirkungsgradverbesserungen ergibt.

In Gebäuden mit fossilen Heizsystemen werden diese entweder durch effiziente Biomasseheizsysteme ersetzt, oder durch Scheitholzbeistellöfen bzw. Kessel ergänzt, woraus sich eine Erhöhung des Biomasseanteils zur Raumwärmeerzeugung ergibt.

Im Bereich Niedrigenergiehaus verstärkt sich der Trend zur Kombination von solarer Warmwassererzeugung mit Scheitholz- oder automatischen Pelletsöfen bzw. Zimmerkesseln mit Sichtscheibe und kleiner Leistung als Behaglichkeitsspender bzw. Backup-System.

Der Preis für Holzpellets wird sich in diesem Szenario nicht wesentlich erhöhen, wodurch eine attraktive Kombination aus Wirtschaftlichkeit, Komfort und Ambiente durch moderne Pelletssysteme zunehmend Verbreitung am Markt finden wird. In weiterer Folge werden sich Katalysator-Scheitholzöfen mit minimaler Leistung (2-4kW) im Bereich Nullenergie- bzw. Passivhaus als Randerscheinung etablieren.

Ein Hauptaugenmerk der F&E-Tätigkeiten wird sich in diesem Szenario auf die Einhaltung der Emissionsgrenzen und Entstaubungseinrichtungen fokussieren.

Mikro-KWK-Systeme werden zwar marktreif zur Verfügung stehen, werden sich jedoch aus wirtschaftlichen Gründen nicht durchsetzen, sondern als eine Technologie für Versorgungssicherheit und autarke energetische Vollversorgung eine Nischenstellung einnehmen.

Landwirtschaftliche Brennstoffe werden sich für den dezentralen Heiz- und Warmwasserbedarf im kleinen Leistungsbereich aus wirtschaftlichen Gründen ebenfalls nicht durchsetzen.

### Mittlerer Leistungsbereich (30kW-400kW)

In größeren Gebäuden und Mehrfamilienhäusern verstärkt sich der Trend zum Contracting, wobei im Sinne des Einsparziels der professionellen Anbieter die Wirtschaftlichkeit der verwendeten Biomassesysteme in den Vordergrund rückt. Dabei werden zunehmend fossile Heizsysteme von Biomassetechnologien ersetzt,

wobei hauptsächlich Holzpellets- und Hackschnitzelsysteme zur Anwendung kommen.

Im mittleren Leistungsbereich wird sich der Anteil von nichtholzartiger Biomasse wie Energiepflanzen, halmgutartige Rückstände und landwirtschaftlicher Nebenprodukte leicht erhöhen, da die Technologien dafür zur Verfügung stehen werden, und je nach lokalen Gegebenheiten, durch niedrige Rohstoffpreise und kurze Lieferwege auch ein wirtschaftlicher Vorteil gegeben ist. Die Anschaffungs- und Wartungskosten dieser Anlagen werden jedoch höher sein, als bei vergleichbaren Holzheizkesseln. Der Großteil an installierten Biomassekesseln wird in diesem Szenario auf konventionelle Weise mit Holzpellets bzw. Hackschnitzel betrieben werden.

In diesem Leistungsbereich entwickelt sich ein starker Trend in Richtung KWK-Systeme zur dezentralen Stromerzeugung. Vereinzelt Produkte sind bereits verfügbar, weitere werden folgen.

Durch Sekundärmaßnahmen zur Emissionsminderung, wie sie zum Beispiel aktive Entstaubungseinrichtungen darstellen, werden kleine bis mittelgroße Anlagen die zukünftigen Emissions- und Staubgrenzwerte mit mäßigem Entwicklungsaufwand einhalten können.

### Großanlagen

Die Bereitstellung von Fernwärme ist geprägt durch Großanlagen in dicht besiedelten Gebieten. Kleineren KWK-Anlagen kommt durch die höheren spezifischen Kosten und die geringeren Wirkungsgrade weniger Bedeutung zu.

### **8.1.9 Storyline “Ambitioniertes Szenario“**

In diesem Szenario ist die Sanierungsrate energetisch ineffizienter Gebäude deutlich höher, was einen beschleunigten Rückgang der mittleren Heizlasten der Bestandsgebäude zur Folge hat. Neue Gebäude werden generell als Niedrigstenergie- oder Passivhäuser und später als Plusenergiehäuser gebaut. Die steigenden Ölpreise führen zu einem generellen Umdenken in der Gesellschaft. Das Streben nach optimaler Ausnutzung der eingesetzten Primärenergie führt zu einer starken Verbreitung von Biomasse Kraft Wärme Kopplungen in allen Leistungsbereichen. Gleichzeitig verstärkt sich die Angst vor Versorgungsunsicherheiten, was zu einem Trend zur regionalen Selbstversorgung mit lokalem Brennstoffangebot führt, und auch die Verbreitung von Kleinanlagen erhöht.

### Kleiner Leistungsbereich (<30kW)

Im ambitionierten Szenario kommt es neben einer Niedrigenergiestandardbauweise zu einem verstärkten Trend zu Passiv- und Nullenergiehäusern. Der mittlere Leistungsbedarf von Biomassensystemen sinkt dadurch stark, wodurch ein

Hauptaugenmerk der Forschung und Entwicklung auf der Verbrennungsregelung sowie primärer und sekundärer Emissionsreduktion im kleinsten Leistungsbereich liegen wird.

Die Raumwärme und Warmwasserbereitstellung erfolgt in Gebieten, wo neue Fernwärmenetze unwirtschaftlich sind bzw. kein Fernwärmebestand vorliegt, zu einem Großteil durch eine Kombination aus Solarthermie und Biomassensystemen.

Durch die intensivierete Forschung und Entwicklung in diesem Szenario kommt es in absehbarer Zeit zur Marktreife von Biomasse Mikro-KWK Systemen, wobei Österreich durch die zahlreichen heimischen Hersteller moderner Biomassensysteme am internationalen Markt eine führende Rolle einnehmen wird. Die Stromerzeugung der Mikro-KWKs dient in diesem Bereich vorwiegend der Selbstversorgung des Kessels, aktiver Entstaubungseinrichtungen und Peripheriegeräten sowie der Versorgung der Wärmeverteilung, um einen autarken Betrieb des Energiesystems sicherzustellen und die Betriebskosten bei steigenden Stromkosten zu senken.

Im Bereich der Brennstoffe wird weiterhin hauptsächlich holzartige Biomasse eingesetzt. Nichtholzartige Biomasse wird sich auch in diesem Szenario im dezentralen Hauswärmebereich kleiner Leistungen nicht durchsetzen.

Zusammenfassend werden bei intensivierten F&E-Aktivitäten folgende Technologien für die dezentrale Versorgung von Einfamilienhäusern am Markt verfügbar sein:

- Katalysatoröfen für Stückholz mit Feinstaubabscheidung für Wohlfühlambiente im kleinen Leistungsbereich (Nullenergie/Passivhaus).
- Pelletöfen mit Entstaubung.
- Pellet- und Hackgutkessel sowie automatischer Scheitholzkessel mit aktiver Entstaubung und passiver bzw. aktiver Abgaskondensation für Niedertemperaturheizungssysteme.
- Mikro-KWK-Systeme (TEG, Stirling, Freikolbendampfmaschine,..)

#### Mittlerer Leistungsbereich (30kW-200kW)

Da im ambitionierten Szenario ein Großteil der Raumwärme und der Wärme für die Brauchwassererwärmung durch Biomasse abgedeckt wird und hochwertige holzartige Brennstoffe hauptsächlich in Kleinanlagen benötigt werden, greifen mittelgroße Anlagen in Zukunft vermehrt auf nichtholzartige Biomasse zurück.

Die Forschung und Entwicklung im Bereich mittelgroßer Anlagen konzentriert sich auf die Erweiterung des Brennstoffangebots hinsichtlich problematischer Brennstoffe und Abgasnachbehandlung mit Strom- und Wärmeauskopplung. Die Wirtschaftlichkeit dieser Anlagen wird durch die hohen Öl- und Gas- sowie Strompreise in Verbindung mit dem Einsatz ambitionierter energiepolitischer Instrumente zunehmend gegeben sein.

## Großanlagen

Neben einem Ausbau von Fernwärmenetzen in dicht besiedelten Gebieten, die vorwiegend mit großtechnischen Anlagen versorgt werden, kommt es auch zu einem starken Ausbau von regionalen Mikro- und Nahwärmenetzen in weniger stark besiedelten Gebieten. Diese Anlagen werden je nach lokalem Angebot mit Biogas, landwirtschaftlichen Restbrennstoffen, Waldhackgut, Kurzumtriebshackgut sowie Energiepflanzen und anderen biogenen Brennstoffen betrieben. Aufgrund der steigenden Transportkosten werden lokal zur Verfügung stehende Biomasse-Brennstoffe dort verwertet wo sie anfallen, was zu einem Zuwachs an kleineren und mittleren KWK-Systemen führt.

## 8.2 Solarthermie

### 8.2.1 Historische Entwicklung der Technologie

Die Marktentwicklung der thermischen Solaranlagen verzeichnete in Österreich seit 1975 eine ausgeprägte Entwicklung. Bis in die 1980er Jahre wurden überwiegend Systeme für die Brauchwassererwärmung in Einfamilienhäusern errichtet; aber auch die ersten größeren Kunststoff-Absorberflächen für die Erwärmung von Schwimmbecken wurden installiert. Die Fertigung der Kollektoren erfolgte dabei zu Beginn entweder in kleinen Gewerbe- und Handwerksbetrieben, die ihre Produkte zumeist nur auf einem regionalen Markt anboten, oder in organisierten Selbstbaugruppen, über die über einige Jahre hinweg mehr als 50% der installierten Kollektorfläche errichtet wurde.

Die Komponenten für eine thermische Solaranlage wurden von verschiedenen Herstellern gekauft und die Gesamtanlage vom Installateur kundenspezifisch angepasst und installiert. Nur sehr wenige Unternehmen machten den Schritt hin zum Systemanbieter. Die Kleingewerbestructur bei Fertigung und Vertrieb, sowie die kleinen Stückzahlen pro Unternehmen erlaubten kaum Innovationen und die Weiterentwicklung von Systemen. Erst seit der Spezialisierung auf Systemlösungen und den Aufbau von landesweiten Vertriebsstrukturen durch einige Unternehmen wurde eine Trendwende ab Mitte der 1990er Jahre eingeleitet. Dies spiegelte sich einerseits in der Anwendung von industriellen Fertigungsverfahren und andererseits in professionellen Vertriebsstrukturen wider.

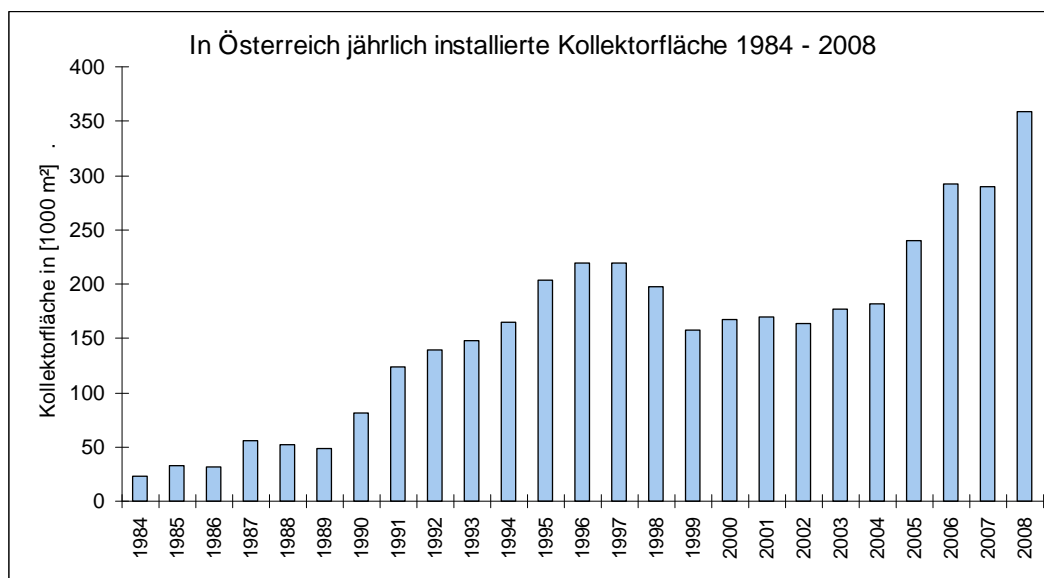


Abbildung 8.6: Installierte thermische Kollektorfläche in Österreich in den Jahren 1984 bis 2008. Quelle: Biermayr et al., (2009).

Seit dem Jahr 2004 erfuhr Österreichs Solarmarkt erhebliche Steigerungsraten von ca. 8% im Jahr 2004, 26% im Jahr 2005 und 23% im Jahr 2006. Das Jahr 2007 verzeichnete einen leichten Rückgang von ca. 3% und im Jahr 2008 konnte wieder

ein Marktwachstum von 24 % im Vergleich zum Vorjahr erzielt werden, wie dies auch in Abbildung 8.6 dargestellt ist.

Österreichische Unternehmen sind seit Mitte der 1990er Jahre auch im Export von Anlagen sehr erfolgreich. Im Jahr 2008 betrug der Exportanteil, der in Österreich gefertigten Kollektoren 78 % (1,2 Millionen m<sup>2</sup>).

Insgesamt waren mit Ende 2008 3,96 Millionen m<sup>2</sup> Kollektorfläche bei einer installierten Leistung von 2,77 GW<sub>th</sub> in Betrieb. Davon entfallen 2,3 GW<sub>th</sub> auf Flachkollektoren, 33 MW<sub>th</sub> auf Vakuumröhrenkollektoren und 437 MW<sub>th</sub> auf unverglaste Absorbermatten.

### **8.2.2 Status quo in Hinblick auf Technologie, Anwendungen und Marktdiffusion**

Unter allen verfügbaren Solarwärmeanwendungen hat bisher nur der Bereich der Brauchwassererwärmung in Ein- und Zweifamilienhäusern einen Massenmarkt erreicht. Diese Anlagen decken typischerweise zwischen 40% und 80% des jährlichen Warmwasserbedarfs.

In der Vorstufe zum Massenmarkt, also dem frühen Markt, stehen die "größeren Warmwasserbereitungsanlagen" (in Mehrfamilienhäusern, Tourismusbetrieben und Sportstätten), "Kombisysteme" zur Warmwasserbereitung und Raumheizung sowie die "Einspeisung von Solarwärme in Fernwärmenetze". Zwar potenzialträchtig aber aktuell noch in der Forschungs- und Entwicklungsphase befinden sich die Anwendungen in den Sektoren "Industrielle Prozesswärme" und "Solares Klimatisieren und Kühlen".

In Österreich lag die Marktdurchdringung von Solaranlagen im Ein- und Zweifamilienhausbereich mit Ende 2006 bei 22%. Dies bedeutet, dass 22% aller 1,3 Millionen österreichischer Hauptwohnsitze über eine Solaranlage verfügen (Warmwasserbereitung oder auch Kombisysteme). Im Bereich der Mehrfamilienhäuser lag die Marktdurchdringung bei lediglich 2,2%; im Bereich der gewerblichen Tourismusbetriebe nutzen bereits 12% der Beherbergungsbetriebe Solarwärme (Fink et.al. 2008). Die Marktdurchdringung der unterschiedlichen Einsatzbereiche von Solaranlagen ist in Abbildung 8.7 dargestellt.

Die Einspeisung von Solarwärme in Nah- und Fernwärmesysteme wurde erfolgreich demonstriert. Auch die Integration von Solarsystemen in Mikronetze hat sich in zahlreichen Projekten bewährt. Um einen weiteren Ausbau dieses Bereichs zu forcieren, sind neben systemtechnischen Verbesserungen und der Nutzung von Kostensenkungspotenzialen vor allem rechtliche Maßnahmen erforderlich.

Eine sehr erfreuliche Entwicklung ist in den Städten Graz und Wels zu verzeichnen, wo solare Großanlagen in die jeweiligen Fernwärmenetze integriert wurden. So wurden von der Energie Graz in den letzten Jahren solare Fernwärmeeinbindungen mit einer Kollektorfläche von insgesamt 7 MW<sub>th</sub> (10.000 m<sup>2</sup>) errichtet. Der Bau von



Anlagen in einem Ausmaß von weiteren 10 MW<sub>th</sub> (15.000 m<sup>2</sup>) ist in den Jahren 2009 und 2010 geplant.

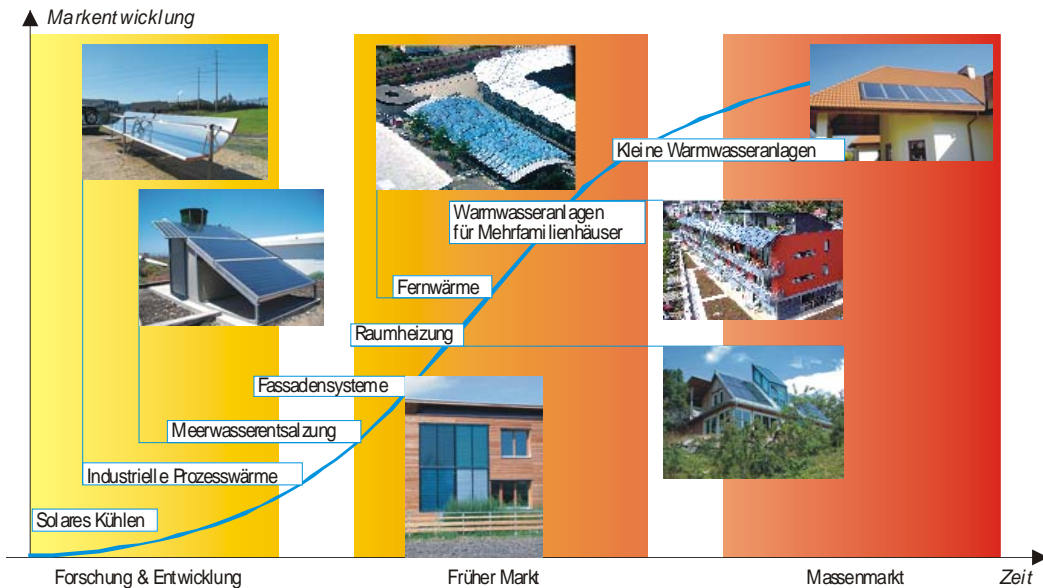


Abbildung 8.7: Stand der Marktentwicklung der einzelnen Solarwärmeanwendungen. Quelle: Fink et al 2008.

### 8.2.3 Innovationsschübe und deren Hintergründe

In der Vergangenheit hat sich mehrfach gezeigt, wie immens wichtig die zeitlich abgestimmte Kombination von unterschiedlichen Instrumenten bei der Technologieentwicklung und der darauf folgenden Markteinführung solarthermischer Systeme ist.

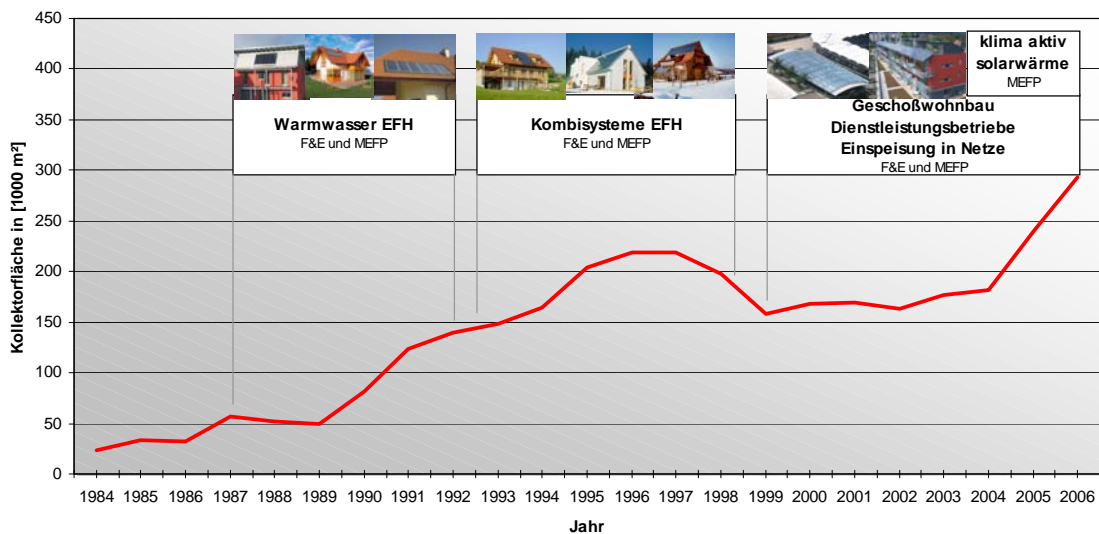


Abbildung 8.8: Die erfolgreiche Entwicklung des österreichischen Solarwärmemarktes steht in unmittelbarem Zusammenhang mit zeitlich aufeinander folgenden Aktivitäten bei Forschung & Entwicklung und Begleitprogrammen zur Markteinführung. Quelle: AEE INTEC.

Jede neue Technologieanwendung stützte sich sowohl auf Projekte im F&E Bereich, auf Ausbildungsprogramme, Begleitprogramme zur Marktstimulierung und auf monetäre Anreizförderungen. Zeitlich und inhaltlich aufeinander abgestimmte Maßnahmenpakete führten vor allem bei der solaren Brauchwassererwärmung im Einfamilienhaus (1988 bis 1993), bei Kombianlagen (1993 bis 1997), sowie bei großen Solarsystemen für Mehrfamilienhäuser und Tourismusbetriebe (1999 bis heute) zu Innovationsschüben in der Markt- und Technologieentwicklung wie dies auch in Abbildung 8.8 dargestellt ist.

#### **8.2.4 Zukünftige Chancen aus technologischer Sicht**

##### Kombianlagen mit hohen Deckungsgraden

Wenn thermische Solaranlagen in Zukunft signifikant zur Deckung des Niedertemperaturwärmebedarfs beitragen sollen, dann muss der primäre Fokus auf Kombianlagen mit hohen Deckungsgraden liegen. Die derzeit am Markt angebotenen Kombianlagen zur Warmwasserbereitung und Raumheizung erreichen typischerweise solare Gesamtdeckungsgrade von 15 - 30%. Die Limitierung auf diese Deckungsgrade ist vor allem durch die geringe Energiedichte von Wasserspeichern und die Wirtschaftlichkeit der Anlagen bedingt. Durch die Entwicklung von thermischen Speichern mit hohen Energiedichten könnten ab 2030 alle Neubauten ihren gesamten Wärmebedarf für die Raumheizung und Brauchwassererwärmung über solarthermische Anlagen decken.

##### Industrielle Wärme- und Kälteprozesse und solare Klimatisierung

Anwendungsbereiche mit großen Potenzialen, die in den kommenden Jahren erschlossen werden können, liegen in der Versorgung von industriellen Wärme- und Kälteprozessen, sowie bei der solaren Klimatisierung von Dienstleistungsgebäuden. Obwohl solare Klimatisierung und industrielle Prozesswärme in den vergangenen Jahren verstärkte öffentliche Aufmerksamkeit erregt haben, darf nicht übersehen werden, dass beide Anwendungsbereiche derzeit in den Anfängen sind. In beiden Bereichen wurden in Europa bisher je rund 100 – 200 Anlagen errichtet. Dies erfolgte vor allem durch die Nutzung von konventionellen Komponenten, wie sie in der Klimatechnik bzw. Prozesstechnik Anwendung finden. Kaum eine dieser Anlagen ist hinsichtlich solartechnischer Erfordernisse optimiert. Darüber hinaus haben diese Anlagen ein erhebliches Verbesserungspotenzial bezüglich der Gesamtenergiebilanz.

##### Fernwärme und Fernkälte

Eine Vergrößerung der Solarkollektorflächen über den heutigen Sommerwärmebedarf hinaus ermöglicht Heizungsunterstützung im Winter, wirft aber das Problem auf, wie die Überschussenergie im Sommer genutzt werden kann. Um das Potenzial der

sommerlich solar eingespeisten Fernwärme zu vergrößern, müssten derzeit überwiegend elektrisch betriebene Kälteanlagen oder auch elektrische Brauchwassererwärmungen möglichst auf thermische, fernwärmebetriebene Systeme umgestellt werden. Als besondere Herausforderung gilt die Kombination von Fernwärme mit thermisch betriebenen Kälteanlagen, die zwar einerseits eine wesentliche Vergrößerung des Sommerwärmepotentials ergeben, andererseits aber äußerst hohe Rücklauftemperaturen liefern. Hier ist in Abstimmung zwischen Solaranlage, Fernwärmenetz und Kälteerzeugung ein System zu entwickeln, sodass 2030 im Einzugsbereich von Fernwärme sämtliche Kälte solar erzeugt werden kann.

### **8.2.5 Forschungs- und Entwicklungsbedarf sowie Kostensenkungspotenziale**

Die Nutzung der technologischen Innovationspotenziale und die Einführung der industriellen Massenfertigung in allen Produktbereichen werden bis zum Jahr 2030 mindestens zur Halbierung der solaren Wärmegestehungskosten führen. Die Innovations- und Kostenreduktionspotenziale werden nachfolgend dargestellt.

#### Sonnenkollektoren

Die Herstellkosten eines Standardflachkollektors betragen im Jahr 2009 etwa 140 €/kW<sub>th</sub> (100 €/m<sup>2</sup>) und lassen sich durch eine jährliche Kostendegression von 3 % bis 2030 auf 70 €/kW<sub>th</sub> reduzieren. Dieses Kostenreduktionspotential erfordert die Ausschöpfung von Innovationspotenzialen durch Weiterentwicklung vorhandener und Entwicklung neuer Kollektorkonzepte in Kombination mit dem Aufbau einer industriellen Massenfertigung. Die Innovationspotenziale zum Erreichen dieser Ziele liegen in folgenden Bereichen:

#### Einsatz neuer Materialien

Die heute bei der Produktion von Sonnenkollektoren eingesetzten Materialien (Kupfer, Aluminium und Glas) und Fertigungsverfahren erfüllen nicht alle Anforderungen hinsichtlich Nachhaltigkeit, Recyclebarkeit sowie Eignung zur Massenfertigung und bieten daher umfangreiche Innovationspotenziale und Möglichkeiten für die Kostenreduzierung. Es ist daher zu erwarten, dass zukünftig im Niedertemperaturbereich mit Arbeitstemperaturen bis 90 °C solarthermische Systeme zu einem Großteil aus polymeren Struktur- und Funktionswerkstoffen (Kunststoffe und Werkstoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe) hergestellt werden. Polymermaterialien und Kohlenstoff-Nanoröhrchen (siehe Abbildung 8.9) eröffnen hier sowohl von Seiten der Werkstoffe aber auch hinsichtlich des Kostenreduktionspotenzials große Chancen.

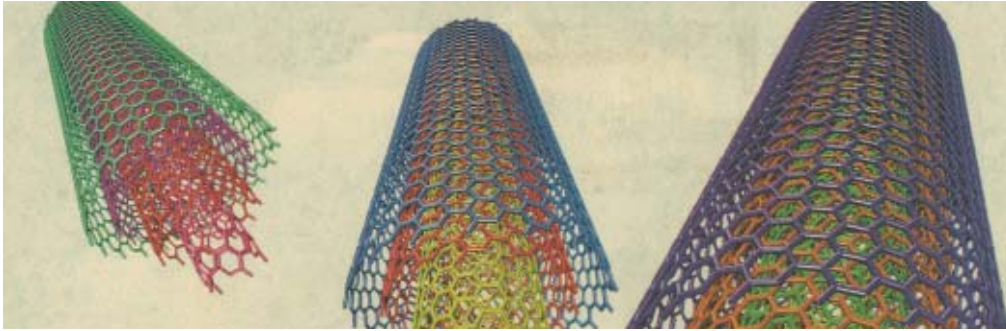


Abbildung 8.9: Kohlenstoff-Nanoröhrchen könnten aufgrund ihrer Materialeigenschaften künftig für Solarabsorber eingesetzt werden. Quelle: AEE INTEC.

### Materialveredlung

Künftige Materialveredlungen werden eine erhöhte Funktionalität von Verglasungselementen ermöglichen. Beispielsweise sind neben breittauglichen Antireflex-Beschichtungen, welche die Effizienz erhöhen, künftig auch schmutzabweisende, selbstreinigende und selbstschaltende Beschichtungen zu erwarten, die einen höheren Nutzerkomfort gewährleisten. Was die Wärmedämmung anlangt, so werden neue Wege zur Herstellung nanoporöser Polymerschäume (z.B. organische Templatsynthese) zu maßgeschneiderten Dämmstoffen führen, welche die Eigenschaftsprofile sowohl klassischer opaker Schaumstoffe als auch transparenter Aerogele übertreffen werden. Aktiv-solare Wärmeerzeuger für den Niedertemperaturbereich bis 90 °C werden künftig zu einem Großteil aus polymeren Struktur- und Funktionswerkstoffen hergestellt werden. Deutliche Verbesserungen der Langzeitbeständigkeit und des Funktionalisierungsgrades von polymeren Strukturwerkstoffen sind insbesondere durch polymere Nanocomposites (polymere Matrix mit dispers verteilten anorganischen Partikeln im Nanometergrößenordnungsbereich) zu erwarten.

### Konstruktion

Hinsichtlich der Optimierung der Verbindungstechnik zwischen Absorberblech und Absorberrohr konnten in den vergangenen Jahren große Fortschritte erzielt werden. Dennoch sind auch bei klassischen Herstellungsverfahren noch große Potenziale hinsichtlich des Materialeinsatzes und der Fertigungskosten sichtbar (voll durchströmte volumetrische Absorber, zur industriellen Fertigung geeignete Rahmenkonstruktionen etc.). Durch eine Standardisierung der Montagetechnik und Normierung der Schnittstelle Sonnenkollektor / Dach bzw. Fassade könnten die Montagezeiten und damit die Kosten erheblich gesenkt werden.

### Integration und Kombination

Ein sehr großes Innovationspotential wird in der Kombination der Funktionen traditioneller Bauteile der Gebäudehülle und der Sonnenkollektoren gesehen.

Regendichtheit, Winddichtheit, die Wärmedämmung von Dach und Fassade, die statischen Funktionen von Dachkonstruktionen und Wänden sind bisher nur in Einzelfällen im Kollektor integriert. Gerade im Neubaubereich müssen Bauelement und Sonnenkollektor zukünftig eine Einheit bilden.

### 8.2.6 Rahmenbedingung Wärmespeicherung

Entscheidend für die weitere Entwicklung in Richtung vollsolare Wärmebereitstellung im Gebäudebereich ist die Entwicklung neuer kompakter Langzeitwärmespeicher. Diese zurzeit noch nicht verfügbare Anlagenkomponente kann als Schlüsseltechnologie zur vollsolaren Wärmeversorgung zumindest im Bereich energieeffizienter Gebäude gesehen werden. Stand der Technik sind derzeit druckbeaufschlagte Stahlspeicher, deren Herstellungskosten heute bei rund 500 €/m<sup>3</sup> oder 7 €/kWh liegen<sup>1</sup>. Bis zum Jahr 2030 können sich diese Kosten auf 3 €/kWh halbieren (ESTTP 2008), bei allgemein stark steigenden Energiepreisen, welche sich in der Folge auch auf die Rohstoffpreise auswirken (Stahlbleche), ist dieser Trend jedoch zu relativieren. Ein großes Hemmnis zur Realisierung monovalenter Solarthermischer Konzepte stellt auch der umbaute Raum großer Wasserspeicher dar, welcher wiederum Baukosten verursacht. Deshalb muss es gelingen, das spezifische Speichervolumen von heute 17 m<sup>3</sup>/MWh (Wasser) durch den Einsatz von neuen Speichermaterialien um den Faktor 8 auf 2 m<sup>3</sup>/MWh (innovative Stoffe) zu reduzieren (siehe auch Abbildung 8.10). Im gleichen Maße wird der zur Aufstellung des Speichers erforderliche umbaute Raum abnehmen und somit auch die Baukosten sinken.

- **Sensible Wärme**

≈ 100 MJ/m<sup>3</sup>



- **Latentwärme**

≈ 300 - 500 MJ/m<sup>3</sup>



- **Thermo-chemische Speicher**

≈ 1000 MJ/m<sup>3</sup>



Abbildung 8.10: Energiedichten von Speichertypen. Quelle: AEE INTEC.

<sup>1</sup> Anmerkung: 1 m<sup>3</sup> Wasser speichert zwischen 30° und 95°C rund 75 kWh Wärme.

### 8.2.7 Rahmenbedingung Wärmepreise

Um alle solarthermischen Anwendungen bis 2050 in den Massenmarkt führen zu können, muss solare Wärme wettbewerbsfähig mit Wärme aus konventionellen Energieträgern sein. Hierbei stellen die Wärmepreise aus fossilen Energieträgern neben der möglichen Systeminnovation durch Wärmespeicher mit hoher Wärmedichte eine entscheidende Größe dar.

Aufgrund des hohen Qualitätsstandards bei Standardanwendungen kann von einer Lebensdauer von Solaranlagen von mindestens 25 Jahren ausgegangen werden. In den meisten europäischen Ländern ist für Solaranlagen zur Warmwasserbereitung eine Amortisation innerhalb der Lebensdauer bereits heute der Fall, wie in Tabelle 8.1 dargestellt wird. Hierin sind Erwartungswerte für die Wärmekosten aus Solarthermie, aus Erdgas und aus elektrischem Strom in den Jahren 2007, 2030 und 2050 dargestellt.

Tabelle 8.1: Wärmepreise im Vergleich, Preisbasis 2007. Quelle: Weiss (2008).

Energieträger	Wärmepreise in €cent pro kWh		
	2007	2030	2050
Solarthermie	7 - 14	3 - 6	2 - 5
Erdgas	5,0 <sup>*)</sup>	6,3 – 10,1	7 – 11
Strom	14,6 <sup>*)</sup>	18,5 – 29,6	19 – 30

\*) Durchschnittswerte EU 25 im Jahr 2007, Eurostat-Jahrbuch 2006-2007

Die angegebenen Bandbreiten der Preise sind vor allem in den verschiedenen Zinssätzen (0 – 6%) für die Investition begründet. Die Kosten für solarthermisch erzeugte Wärme für 2030 und 2050 basieren auf erwarteten Preisreduktionen bei den Solaranlagen bedingt durch die Nutzung der oben dargestellten Kostensenkungspotenziale. Im Vergleich zu den Preisen für die Wärme aus Solarthermie werden Wärmepreise für Gas und Strom als Durchschnittswerte der EU25 dargestellt. Der jeweils untere Wert von Gas und Strom 2030 unterstellt eine jährliche Energiepreissteigerung von 1% und die oberen Werte wurden auf Basis einer 3%igen jährlichen Energiepreissteigerung berechnet (in Anlehnung an die Preisentwicklung der letzten zehn Jahre).

### 8.2.8 Storyline “BAU-Szenario“

Das “Business as usual“ Szenario (BAU) basiert auf den folgenden Annahmen und Randbedingungen welche weitestgehend die Fortschreibung des Status quo bis in das Jahr 2050 vorsieht. Die in der Folge gemeinsam mit den Ergebnissen für das “Ambitionierte Szenario“ dargestellten Ergebnisse basieren auf der Studie “Potential for Solar Thermal in Europe“ (Weiss und Biermayr 2009).

Annahmen:

- Keine Verringerung des Endenergiebedarfs für Heizen und Kühlen im Vergleich zum Bezugsjahr 2006.
- Moderate politische Rahmenbedingungen: Beibehaltung der Direktförderungen für thermische Solaranlagen (20 - 30% der Systemkosten) und moderate Preisentwicklung für fossile Energieträger.
- Geringe Forschungs- und Entwicklungsrate und daher keine Wärmespeicher mit hohen Energiedichten und keine neue Kollektormaterialien verfügbar. Keine kostengünstigen Lösungen für Anlagen zur solaren Klimatisierung und Kühlung.
- Hauptanwendungen der Solarthermie bleiben die Warmwasserbereitung im Wohnbaubereich sowie solare Kombianlagen (Warmwasser und Raumheizung) mit solaren Deckungsgraden von 10 - 20%. Geringe Marktdiffusion in allen anderen Bereichen.
- Geringe Wachstumsraten der jährlich installierten Kollektorflächen

### 8.2.9 Storyline “Ambitioniertes Szenario“

Das Ambitionierte Szenario (Full R&D and Policy Szenario) basiert auf den im Folgenden angeführten Annahmen und Randbedingungen, wobei die dargestellten Ergebnisse wiederum auf die Studie “Potential for Solar Thermal in Europe“ (Weiss und Biermayr 2009) zurückzuführen sind. Die Ergebnisse der Berechnungen sind in den Abbildungen 8.11 und 8.12 sowie in Tabelle 8.2 dargestellt.

Annahmen:

- Signifikante Reduktion des Endenergiebedarfs für Heizen und Kühlen im Vergleich zum Basisjahr 2006 (-7,5% bis 2020, -20% bis 2030 und -38% bis 2050) durch Wärmedämmung der Gebäude und Effizienzmaßnahmen.
- Energiepolitische Rahmenbedingungen: Verpflichtende Errichtung von thermischen Solaranlagen für den gesamten Neubaubereich sowie für die Bereitstellung von Niedertemperaturwärme in der Industrie oder hohe Energiepreise von fossilen Energieträgern.
- Hohe Forschungs- und Entwicklungsrate, daher ab 2020 Verfügbarkeit von:
  - Wärmespeichern mit hohen Energiedichten
  - kostengünstigen Kollektormaterialien wie z.B. Polymerwerkstoffe sowie
  - kostengünstigen Lösungen für solares Klimatisieren und Kühlen.

- Hauptanwendung der Solarthermie im Wohnbau sind Kombianlagen zur Warmwasserbereitung und Raumheizung mit solaren Deckungsgraden von 10% - 20% bis 2020 und hohen solaren Deckungsgraden (50%-100%) ab 2020. Hohe Marktdiffusion in allen anderen Bereichen (Bürobau, Gewerbe und Industrie).
- Hohe Wachstumsraten der jährlich installierten Kollektorflächen (20% jährliches Wachstum bis 2020)

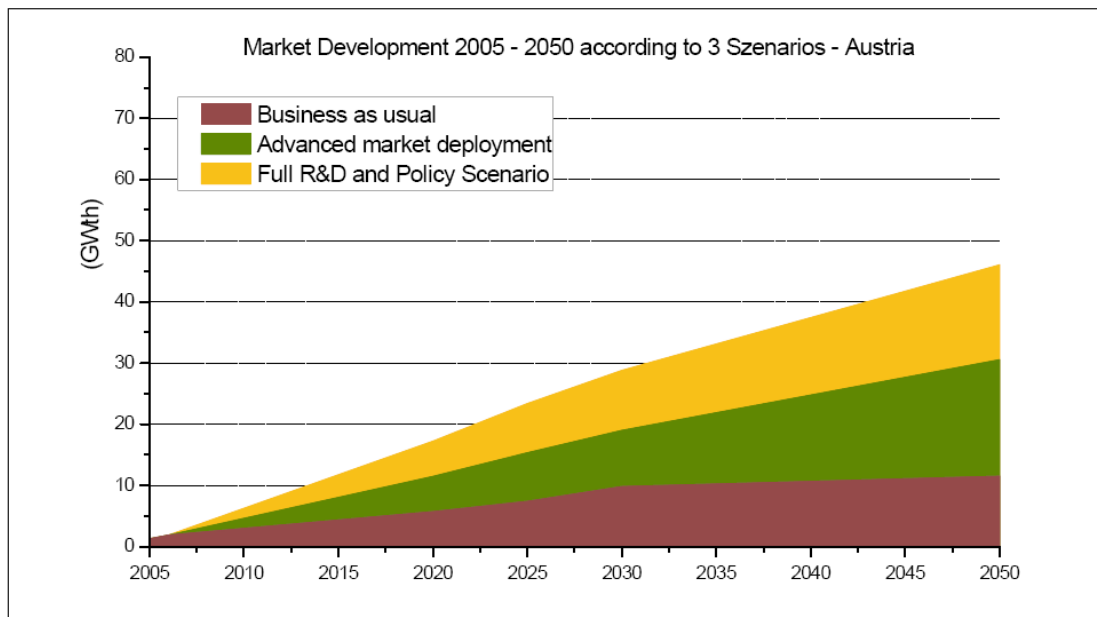


Abbildung 8.11: Das realisierbare Potenzial der Solarthermie in Österreich nach unterschiedlichen Szenarien. Quelle: Weiss und Biermayr (2009).

Entsprechend dem ambitionierten Szenario könnten thermischen Solaranlagen langfristig (2050) rund 40% des gesamten österreichischen Niedertemperaturwärmebedarfs (<250°C) decken.

Tabelle 8.2 dokumentiert neben den Ergebnissen für die solare Deckung und den solaren Ertrag auch die jeweiligen Basisannahmen für die Szenarien. Ausgehend von Status quo im Bezugsjahr 2006 mit einer spezifischen Kollektorfläche von 0,33m<sup>2</sup> pro Einwohner in Österreich steigert sich dieser spezifische Wert bis zum Jahr 2050 im BAU-Szenario auf 2 m<sup>2</sup> pro Einwohner und im ambitionierten Szenario auf 8 m<sup>2</sup> pro Einwohner. Weiters wurde im BAU-Szenario davon ausgegangen, dass der Niedertemperatur-Wärmebedarf von 108 TWh im Bezugsjahr 2006 unverändert bis 2050 bestehen bleibt, wogegen im ambitionierten Szenario eine Reduktion dieses Wärmebedarfs durch Energieeffizienzmaßnahmen bis zum Jahr 2050 auf 66 TWh erfolgt. Diese Basisannahmen haben zur Folge, dass im Jahr 2050 im BAU-Szenario ein solarer Nutzwärmeertrag von 6,6 TWh und im ambitionierten Szenario ein solarer Nutzwärmeertrag von 26,3 TWh zu verzeichnen ist. Der solare Deckungsgrad beträgt damit im BAU-Szenario 6% und im ambitionierten Szenario 40%.



### Beitrag der Solarwärme zum österreichischen Wärme- und Kühlbedarf nach Sektoren

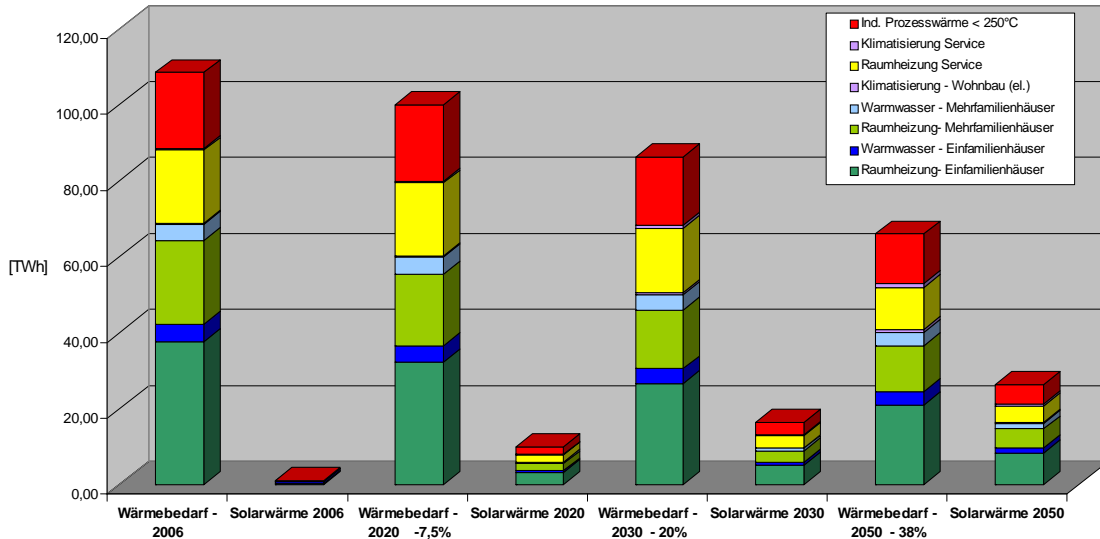


Abbildung 8.12: Entwicklung des österr. Wärmebedarfs von 2006 - 2050 im ambitionierten Szenario und der sektorale Beitrag von Solaranlagen.

Quelle: Weiss und Biermayr (2009).

Im Sinne der in diesem Abschnitt dargestellten Storylines wurde damit ein sehr breiter Entwicklungsraum aufgespannt, der nicht nur die Auswirkungen auf den resultierenden solaren Deckungsgrad im zukünftigen nationalen Energiemix dargestellt hat sondern auch die Diversifizierung der Einsatzbereiche von solar thermischen Anlagen beleuchtet hat. Wesentlich ist die Feststellung, dass in einem ambitionierten Entwicklungsszenario die gesteigerte Diffusion des Indikators Kollektorfläche (oder installierte Leistung) auch mit einer fortschreitenden Diversifizierung der Anwendungen und Innovationen in der Anlagentechnik einhergeht. Die wesentliche Schlüsselkomponente bei der zukünftigen Entwicklung der Solarthermie ist aus einer Systemsicht heraus jedoch die Verfügbarkeit von kompakten Wärmespeichern mit hoher Speicherdicht. Nur diese Technologie kann die breite Markteinführung von monovalenten solarthermischen Wärmeversorgungssystemen herbeiführen. Zusätzliche Innovationen bezüglich günstiger innovativer Kollektormaterialien würden die Wettbewerbsfähigkeit solar thermischer Systeme zusätzlich steigern.

Tabelle 8.2: Entwicklung der thermischen Solarenergie 2006- 2050 in Österreich entsprechend den dargestellten Szenarien. Quelle: Weiss und Biermayr (2009).

		BAU - Szenario	Ambitioniertes Szenario
<b>2006 (Basisdaten)</b>			
Spezifische Kollektorfläche	m <sup>2</sup> /Einw.	0,33	0,33
Gesamtkollektorfläche	Mio. m <sup>2</sup>	2,71	2,71
Installierte Leistung	GW <sub>th</sub>	1,90	1,90
Niedertemperatur Wärmebedarf 2006	TWh	108	108
Solarer Deckungsgrad	[%]	0,9%	0,9%
Solarer Ertrag	TWh/a	0,97	0,97
<b>2020</b>			
Spezifische Kollektorfläche	m <sup>2</sup> /Einw.	1,0	3
Gesamtkollektorfläche	Mio. m <sup>2</sup>	8,2	24,7
Installierte Leistung	GW <sub>th</sub>	5,8	17,3
Niedertemperatur Wärmebedarf 2020	TWh	108	100
Reduktion des Niedertemperatur Wärmebedarfs verglichen mit 2006	[%]	0,0%	8%
Solarer Deckungsgrad	[%]	3,0%	10%
Solarer Ertrag	TWh/a	3,3	9,9
<b>2030</b>			
Spezifische Kollektorfläche	m <sup>2</sup> /Einw.	1,7	5
Gesamtkollektorfläche	Mill m <sup>2</sup>	14	41
Installierte Leistung	GW <sub>th</sub>	9,8	28,8
Niedertemperatur Wärmebedarf 2030	TWh	108	86
Reduktion des Niedertemperatur Wärmebedarfs verglichen mit 2006	[%]	0,0%	20%
Solarer Deckungsgrad	[%]	5%	19%
Solarer Ertrag	TWh/a	5,6	16,5
<b>2050</b>			
Spezifische Kollektorfläche	m <sup>2</sup> /Einw.	2,0	8
Gesamtkollektorfläche	Mill m <sup>2</sup>	16	66
Installierte Leistung	GW <sub>th</sub>	11,5	46,1
Niedertemperatur Wärmebedarf 2050	TWh	108	66
Reduktion des Niedertemperatur Wärmebedarfs verglichen mit 2006	[%]	0,0%	39%
Solarer Deckungsgrad	[%]	6%	40%
Solarer Ertrag	TWh/a	6,6	26,3

## 8.3 Wärmepumpen

### 8.3.1 Historische Entwicklung

Die Geschichte der Wärmepumpen- und Kältetechnik reicht bis in die vorigen Jahrhunderte zurück. Der Engländer James Watt hat im Jahr 1765 die Niederdruck-Dampfmaschine erfunden (rechtsdrehender Kreisprozess). Durch die Weiterentwicklung der doppelwirkenden Maschine, deren Kraft in eine Drehbewegung umgesetzt wird, wurde das industrielle Zeitalter begründet. 1816 bauten die Brüder Stirling den ersten Heißluftmotor der ohne Dampfkessel auskam und von Ericsson wurde 1833 ein weiterer Heißluftmotor entwickelt.

Die Grundlagen für diese Technologien entdeckte der Franzose Sadi Carnot. In seiner Arbeit: "Über die bewegende Kraft des Feuers und die Maschinen zu deren Ausnutzung" versuchte er den Wirkungsgrad von Dampfmaschinen zu verbessern. Dabei erkannte er, dass dieser am größten ist, wenn alle Zustandsänderungen umkehrbar, d.h. reversibel, verlaufen und die vorhandene Temperaturdifferenz nicht durch Irreversibilitäten bei der Wärmeübertragung entwertet wird. Weiters hat Carnot herausgefunden, dass dieser Prozess umkehrbar sein muss, dass also mit Hilfe von Kraft Wärme von einem niedrigen auf ein höheres Temperaturniveau angehoben werden kann. Diese Tatsache bildet die Grundlage für den linksdrehenden Kreisprozess und somit für die Kältemaschine, aber auch für die Wärmepumpe.

Der Amerikaner Perkins baute 1834 die erste mechanisch betriebene Kältemaschine, wobei es sich lediglich um eine Umkehrung des Dampfmaschinenprozesses handelt. 1844 wurde vom Engländer Gorrie die Luft-Kompressionskältemaschine und 1852 von Kelvin die Luft-Kompressionswärmepumpe entworfen. Der Grund für die Entwicklung dieser Maschinen waren die in dieser Zeit verwendeten hochexplosiven Kältemittel.

Auf Basis der Arbeiten von Carnot, baute der Österreicher Ritter von Rittingen 1855 die erste Wärmepumpe in der Saline von Ebensee, eine industrielle Brüdenverdichtungsanlage. Ausschlaggebend dafür war Energiemangel. Die Wälder waren abgeholzt und die Eisenbahn noch nicht fertig, wodurch auch keine Kohle zur Verfügung stand. Der Verdichter der Anlage ist durch ein Wasserrad angetrieben worden. Der aus der Sole ausgedampfte Wasserdampf wurde verdichtet, dadurch auf ein höheres Temperaturniveau gebracht und konnte so wiederum für die Eindampfung und Vorwärmung der Sole verwendet werden.

Die Verdichter-Kältemaschine wurde von Linde weiterentwickelt, womit er der erste war, welcher beim Bau von Kälteanlagen wissenschaftliche Erkenntnisse angewendet hat. Bereits 1885 baute er die Luftverflüssigungsmaschine und 1922 wurde in Deutschland der erste Turboverdichter als Kältemittelverdichter eingesetzt. Halozan (1988) und Rieberer et al. (2007).

### 8.3.2 Marktsituation für Wärmepumpen in Österreich

In Österreich werden seit Mitte der 1970'er Jahre elektrisch angetriebene Wärmepumpen zur Brauchwassererwärmung und Gebäudeheizung eingesetzt. Darüber hinaus finden Wärmepumpen im gewerblichen und industriellen Bereich Anwendung, wo große Flüssigkeitsmengen eingedampft werden (u. a. Brauereien und Salinen). Die Abbildungen 8.13 und 8.14 zeigen dazu die Anzahl und die kumulierte Anzahl der installierten bzw. der in Betrieb befindlichen Wärmepumpen in Österreich. Unter der Annahme einer Lebensdauer von 20 Jahren waren Ende 2009 in Österreich knapp 167.000 Wärmepumpenanlagen in Betrieb. Davon dienen rund 49% zur Brauchwassererwärmung, 48% zur Raumheizung, 2% zur Wärmerückgewinnung im Zuge der kontrollierten Raumlüftung und 1% zur Schwimmbadentfeuchtung.

Insgesamt repräsentieren diese Anlagen eine installierte Heizleistung von 1.096 MW<sub>th</sub>. Davon entfallen etwa 224 MW<sub>th</sub> auf die Trinkwarmwasserbereitung, ca. 862 MW<sub>th</sub> auf die Heizung sowie etwa 6 MW<sub>th</sub> auf die Wärmerückgewinnung.

Im Jahr 2009 wurde mit den in Österreich betriebenen Wärmepumpenanlagen bei einem Verbrauch von 506 GWh an elektrischer Energie (118 GWh Trinkwarmwasser, 383 GWh Heizung, sowie 5 GWh Wärmerückgewinnung) rund 1.687 GWh<sub>th</sub> Gesamtwärme, (294 GWh Trinkwarmwasser, 1.380 GWh Heizung bzw. 14 GWh Wärmerückgewinnung) bereitgestellt. Der Anteil an Umweltwärme lag dabei mit 1.181 GWh bei etwa 70 % (was einer Jahresarbeitszahl von etwa 3,33 entspricht, siehe auch Biermayr et al. (2010).

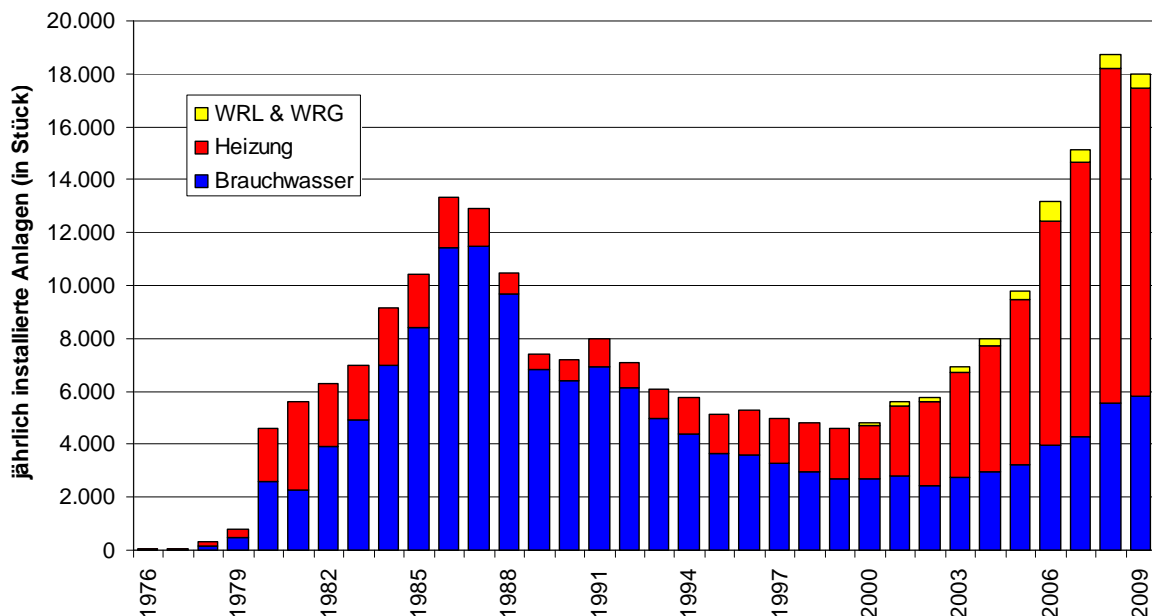


Abbildung 8.13: Wärmepumpen-Marktentwicklung in Österreich von 1976 bis 2009 (WRL&WRG..Lüftungswärmepumpen). Quelle: Biermayr et al. (2010).

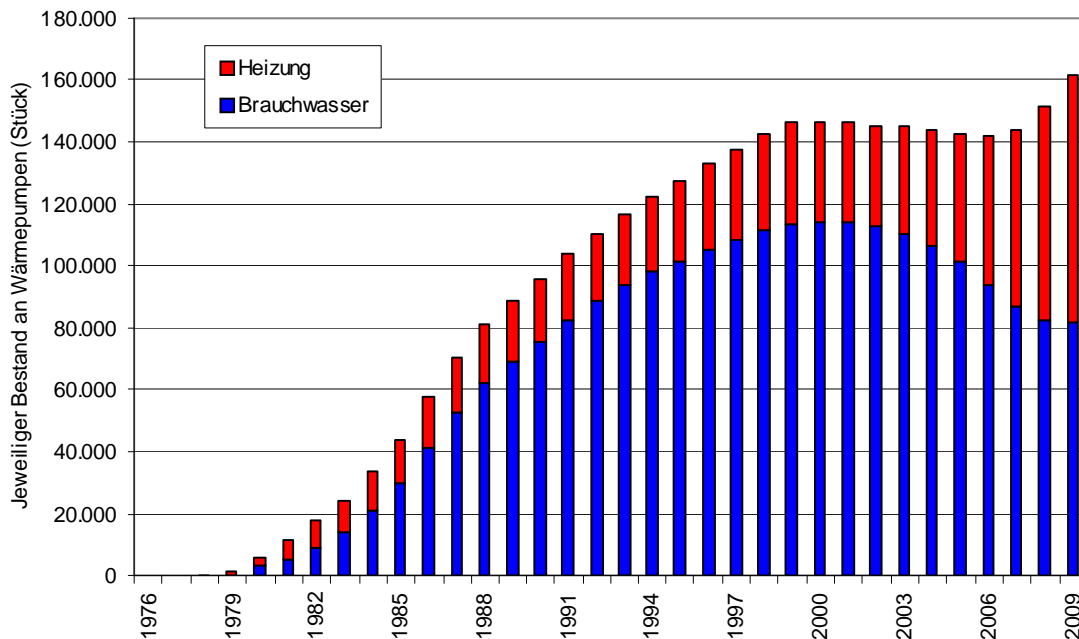


Abbildung 8.14: Kumulierter Wärmepumpenbestand in Österreich (Annahme: technische Lebensdauer = 20 Jahre). Quelle: Biermayr et al. (2010).

Bei den im Jahr 2009 installierten Heizungswärmepumpen dominieren mit ca. 42% Sole/Wasser Systeme, dicht gefolgt von Luft/Wasser Systemen mit ca. 37% wobei diese einen stark steigenden Trend aufweisen. Weitere Systeme sind Wasser/Wasser Systeme mit ca. 10%, Direktverdampfer mit ca. 8% und Luft/Luft Systeme mit ca. 4% Marktanteil. Wärmepumpen werden zunehmend als monovalente Anlagen ausgeführt, um Raumwärmebereitstellung und Brauchwassererwärmung einem Gerät zu realisieren. Reine Brauchwasserwärmepumpen werden häufig als Luft/Wasser Wärmepumpen ausgeführt, siehe hierzu auch Biermayr et al. (2010). Die Entwicklung der Marktanteile ist in Abbildung 8.15 dargestellt.

Der wachsende Anteil der Luft/Wasser Wärmepumpen ist einerseits auf die geringeren Investitionskosten der Anlagen und andererseits auf den Umstand zurückzuführen, dass Wärmepumpen zunehmend auch in Sanierungsprojekten eingesetzt werden, wo oftmals strukturbedingt nur Luft als Wärmequelle in Frage kommt. Im Bereich der Erdreich Wärmequellensysteme verringert sich der Anteil der an sich sehr energieeffizienten Direktverdampfungssysteme sukzessive. Diese Entwicklung ist auf zunehmende Restriktionen im Zusammenhang mit der Genehmigung von kältemittelführenden Erdwärmekollektoren, zurückzuführen.

Betrachtet man die in Österreich neu installierten (monovalenten) Heizungssysteme, so ist ein deutlicher Trend zu erneuerbaren Energieträgern ersichtlich. Sowohl der Bereich der Biomasse (Pellets, Stückholz und Hackgut) als auch der Bereich der Wärmepumpen verzeichneten bis zum Jahr 2008 starke Zuwächse. Im Jahr 2009 kam es aufgrund der allgemeinen Wirtschaftssituation, der sinkenden Neubauraten sowie einer Förderungsaktion der österreichischen Mineralölindustrie für neue Ölkessel zu einer Stagnation bzw. zu leichten Rückgängen. Dennoch waren von den

geschätzten 77.000 im Jahr 2009 in Österreich verkauften monovalenten Heizsystemen ca. 15% Wärmepumpen.

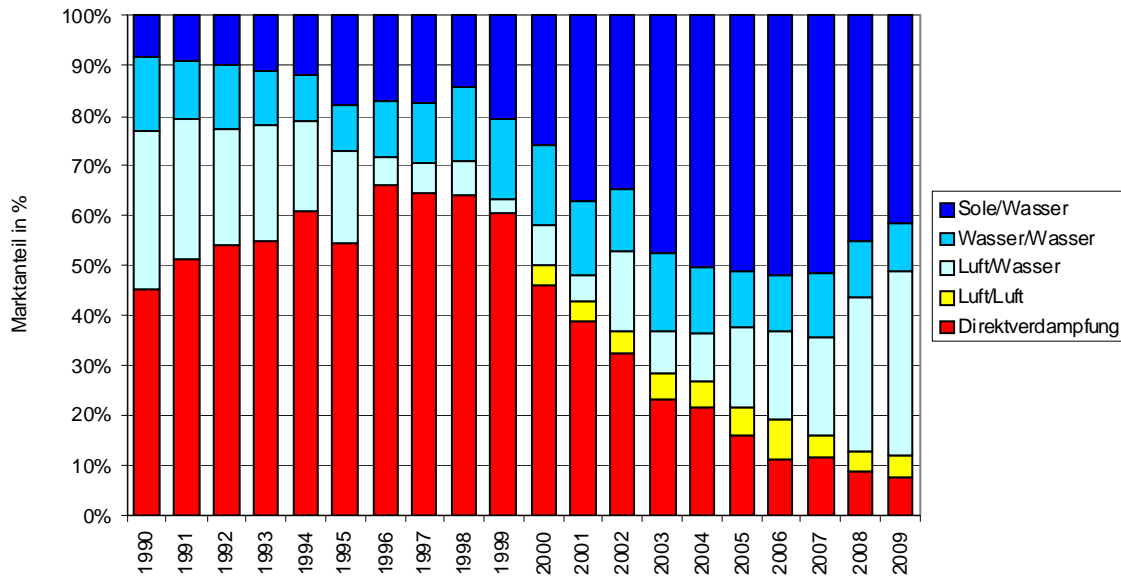


Abbildung 8.15: Entwicklung der Marktanteile der unterschiedlichen Wärmequellsysteme bei Heizungswärmepumpen im österreichischen Inlandsmarkt. Quelle: Biermayr et al. (2010).

### 8.3.3 Derzeitiger Entwicklungsstand

#### Betriebsweise:

In modernen Neubauten werden vorwiegend monovalent betriebene Wärmepumpen installiert, d.h. dass diese alleine für die Wärmeerzeugung verantwortlich sind. Dies ist vor allem bei Kleinanlagen (kleiner 50 kW) möglich, insbesondere wenn Wärmequellen ganzjährig und vor allem in der Heizperiode mit konstanten Temperaturniveaus zur Verfügung stehen. Typisch hierfür ist die Wasser/Wasser - und die Erdreich/Wasser - Wärmepumpe. Die monovalente Auslegung ist aus wirtschaftlicher und energetischer Sicht von Vorteil, da nur ein Heizgerät installiert werden muss.

#### Wärmeabgabesystem:

Um Wärmepumpen energieeffizient einsetzen zu können, ist es notwendig, sie gemeinsam mit einem Niedertemperatur- Wärmeabgabesystem zu betreiben. Hierbei erfolgt die Wärmeabgabe an das zu beheizende Objekt aufgrund der geringen Heizlast und/oder großer Wärmeabgabeflächen bei niedrigen Temperaturen (z.B. 32°C/28°C). Die Jahresarbeitszahl einer Wärmepumpe kann damit vergrößert werden, da sie umso höher wird, je kleiner die Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle und Wärmesenke ist.

### Kältekreis:

Hierbei werden der Verdichter (volumetrischer Wirkungsgrad, isentroper Wirkungsgrad), die Ventile (Druckverluste), die internen Leitungsführungen (Wärmeverluste), die Wärmeübertrager und natürlich die Elektrik (elektrische Verluste) laufend verbessert. Hinzu kommen Leistungsregelungen über die Drehzahl des Kompressors, was bewirkt, dass die Temperaturverluste in Verdampfer und Kondensator reduziert werden können. Im Stadium der Markteinführung befinden sich natürliche Kältemittel, welche die negativen Umweltauswirkungen der klassischen Kältemittel wie z.B. das Treibhauspotenzial von halogenierten Fluorkohlenwasserstoffen (HFKW's) bzw. von Fluorkohlenwasserstoffen (FKW's) vermeiden.

### **8.3.4 Zukünftige Entwicklung**

In diesem Abschnitt wird das zukünftige Entwicklungspotenzial von Wärmepumpen erörtert. Es werden Technologien und eventuelle Kombinationsmöglichkeiten von Technologien und deren Zukunftschancen aufgezeigt.

#### Bedeutung von Technologiesprüngen für andere Technologien

Um Wärmepumpen in Zukunft noch wettbewerbsfähiger zu machen, ist es einerseits notwendig, die Systemkosten insgesamt gegenüber den Mitbewerbern mittelfristig zu reduzieren. Andererseits sind Technologieentwicklungen bei Kompressoren (siehe oben), sowie Technologien wie Enthitzerschaltung und eventuell Expander statt Drosselventil zur Stromerzeugung zu erwarten, sowie der Trend zu gut gedämmten Gebäuden mit Niedertemperaturheizungen, wodurch die Jahresarbeitszahl und damit die Wirtschaftlichkeit weiter steigen werden. Eine Kombination mit gewünschten oder sogar geforderten Technologien kann weitere Argumente für die Wärmepumpe liefern. Hierbei sollten integrale Gesamtkonzepte angedacht werden, die gemeinsam ökologisch sinnvolle Gesamtsysteme mit Zusatznutzen für den Kunden versprechen. Mittelfristig sollte somit der Weg zum Nullenergiehaus und langfristig zum Plusenergiehaus geschaffen werden.

Wettbewerbsfaktoren in Bezug auf die Marktanteile der unterschiedlichen Heizsysteme sind neben den persönlichen Präferenzen eines Investors die Höhe der Investitionskosten sowie die Höhe und Stabilität der Energiepreise der Antriebsenergie (bei der Wärmepumpentechnologie elektrischer Strom).

#### Langfristig verfügbare Technologien

Öl- und Gaskessel werden aufgrund der langfristig steigenden und zunehmend volatilen Marktpreise der Energieträger deutlich an Marktanteilen verlieren, auch

wenn durch nicht staatliche Förderungsaktionen<sup>2</sup> temporäre Mehrverkäufe von z.B. Ölkessel verursacht werden. Um den Verbrauch nichtregenerativer Energien weiter zu senken ist es notwendig, regenerative Systeme miteinander zu kombinieren. So bietet es sich an, Wärmepumpen mit thermischen Solaranlagen und/oder mit Photovoltaik (PV) zu kombinieren. Die Kombination mit Solarthermie bedarf einer gründlichen Überlegung hinsichtlich des Gesamtkonzeptes um eine entsprechende Effizienz zu erreichen. Eine Kombination mit Photovoltaik ist deutlich einfacher zu realisieren, ist aber auch hinsichtlich der Investitionskosten noch nicht wettbewerbsfähig. Langfristig muss es aber möglich sein eine Kombination aus Wärmepumpe, Solarthermie und Photovoltaik zu einem energieautarken und leistbaren Gesamtsystem für energieeffiziente Gebäude zu realisieren.

Wärmepumpen, welche zum Heizen und Kühlen eingesetzt werden können, werden trotz des gesetzlich durch die Umsetzung der EU Gebäuderichtlinie vorgeschriebenen sommerlichen Überwärmeschutzes, einen Marktvorteil gegenüber den reinen Wärmeerzeugungssystemen haben. Allerdings könnten auch gasbetriebene reversible Absorptionswärmepumpen in dieses Segment vorstoßen.

Die Entwicklung von Wärmespeichern mit großer Wärmedichte könnte einen großen Einfluss auf die zukünftige Entwicklung dieser Technologie haben. Wärmepumpen mit Wärme speichernden Wärmequellen wie Erdreich- und Grundwasserwärmepumpen sowie Biomasse-, Öl- und Gaskessel können jeweils ein beliebiges Lastprofil energieeffizient abdecken. Die Effizienz von Luftwärmepumpen und besonders die Wärmebereitstellung von thermischen Solaranlagen kann durch den Einsatz von Wärmespeichern mit großer Wärmedichte deutlich erhöht werden.

#### Kombination von Wärmepumpen mit thermischen Solaranlagen:

Durch die Kombination dieser Technologien kann sich die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe deutlich erhöhen und zusätzlich werden durch den Einsatz der thermischen Solaranlage CO<sub>2</sub>-Emissionen sowie der Primärenergieeinsatz reduziert. Ein Problem bei diesem System stellt die Wirtschaftlichkeit aufgrund der höheren Investitionskosten im Vergleich zur Verminderung des Primärenergieeinsatzes und der CO<sub>2</sub>- Emissionen dar.

#### Kombination von Wärmepumpen mit Photovoltaik:

Hierbei lässt sich die Kombination zwar technisch einfach realisieren, ein Nachteil sind aber die hohen Investitionskosten für die PV-Anlage. Um den Einsatz dieser Kombination in Nullenergie- und Plusenergiehäusern der Zukunft wirtschaftlich

---

<sup>2</sup> Im Jahr 2009 wurde durch eine Förderungsaktion der österreichischen Mineralölindustrie fast eine Verdoppelung der Verkaufszahlen von Ölkessel im Vergleich zum Jahr 2008 erzielt. Die Förderungsaktion wurde über das "Institut für die wirtschaftliche Ölheizung" (IWO) abgewickelt und bestand aus einem nicht rückzahlbaren Investitionszuschuss von Euro 3.000,- für jeden neuen Ölkessel, wobei die Fördersumme für ein Jahr mit 12 Mio. Euro gedeckelt war. Für das Jahr 2010 wurde dieser Investitionszuschuss auf Euro 2.000,- reduziert. Die Förderungsaktion soll bis zum Jahr 2016 aufrecht bleiben.



durchführbar zu gestalten, müssen die Investitionskosten der PV-Anlagen reduziert und die Wirkungsgrade der PV-Anlagen erhöht werden.

### Kombination von Wärmepumpe mit thermischer Solaranlage und Photovoltaik:

Diese Kombination schließt alle Vorteile der vorangegangenen Systemkombinationen ein. Gleichzeitig können derartige Systeme aber nur dann seitens der Investitionskosten interessant werden, wenn das Heizungssystem mit dem Gebäude eine Einheit bildet. Vorbild dafür kann durchaus das luftgeführte Passivhauskonzept sein.

Alle drei Kombinationen sind hinsichtlich einer breiten Markteinführung wegen der zwangsläufig höheren Investitionskosten als problematisch zu sehen. Die Investitionskosten der zweiten bzw. auch dritten Systemkomponenten müssen quasi durch die Einsparungen an Antriebsenergie des ersten Systems finanziert werden, was bei den aktuellen Niveaus der entsprechenden Kosten schwierig erscheint.

### 8.3.5 Internationale Marktdurchdringung

Aus der Abbildung 8.16 ist zu erkennen, dass die Schweiz und Schweden die Wachstumsphase der Wärmepumpeneinführung beinahe abgeschlossen haben und in den Bereich einer Stagnation auf hohem Niveau übergehen. Wie aus der Grafik hervorgeht, befindet sich Österreich gemeinsam mit Deutschland, Norwegen und Finnland momentan in der Wachstumsphase. Daraus kann abgeleitet werden, dass in Zukunft die Verkaufspreise aufgrund des höheren Absatzes etwas sinken und sich die Jahresarbeitszahlen, aufgrund der vermehrten Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Wärmepumpentechnik weiter verbessern werden.

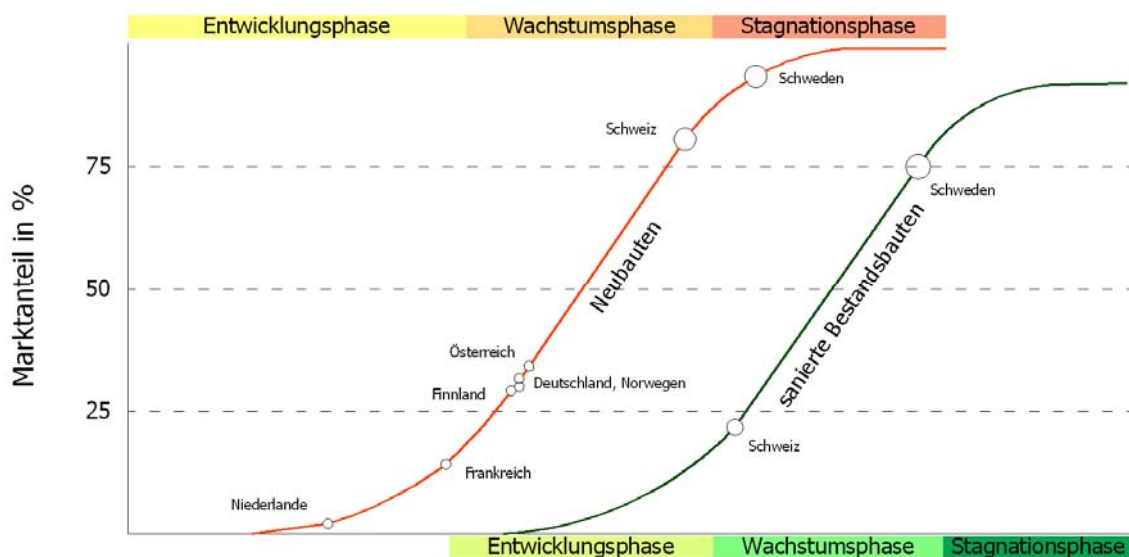


Abbildung 8.16: Marktentwicklung der Wärmepumpe für Neubauten und renovierte Altbauten, Stand 2006. Quelle: Forsen et al. (2008).

### 8.3.6 Zukünftiger Bedarf an Forschung und Entwicklung

#### Im Bereich der Wärmequelle:

Im Bereich der Wärmequelle gilt es einerseits an der Energieeffizienz zu arbeiten und andererseits die Kosten der Wärmeentzugssysteme zu verringern. Ein wichtiges Thema sind dabei die Erdwärmesonden ohne oder mit geringstem zusätzlichem Strombedarf, wie z.B. eine CO<sub>2</sub> – Sonde nach dem Wärmerohr oder Heatpipe – Prinzip. Mit derartigen antriebslosen Wärmeentzugssystemen sollten sich um 0,5 bis 1,0 höhere Jahresarbeitszahlen (JAZ) erreichen lassen. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist der thermische Bohrlochwiderstand, der die Energieentnahme aus dem Erdreich begrenzen könnte. Hier muss nach thermisch verbesserten und kostengünstigen Verfüllmaterialien gesucht werden.

Auch bei Luft/Wasser Wärmepumpen, gibt es Bedarf, Wärmequellenseitig den Lamellenluftkühler bzw. den Verdampfer hinsichtlich der Reduktion von Eis- und Frostbildung zu optimieren. Dadurch sollte es möglich sein, längere Laufzeiten der Luft/Wasser-Wärmepumpe bei 2 bis 7°C Umgebungstemperatur zu erreichen und die Ventilatorleistung durch Geometrieänderungen seitens des Wärmetauschers und des Ventilatorlaufrades zu minimieren.

#### Im Bereich der Wärmepumpe:

Bei der Wärmepumpe selbst ist Forschung und Entwicklung für die Erweiterung des Temperaturbereiches nötig. Hierzu ist es erforderlich, Systeme mit neuen natürlichen Kältemitteln (z.B. CO<sub>2</sub>) zu entwickeln oder auch in Richtung zweistufige Wärmepumpen zu gehen. Die Thematik der natürlichen Kältemittel beschäftigt die Automobilindustrie aufgrund von normativen Vorgaben bereits seit mehreren Jahren. Hierbei wird versucht, Klimaanlage zu entwickeln die mit CO<sub>2</sub> als Kältemittel betrieben werden. Die großen Stückzahlen und der ähnliche Leistungsbereich von 5 bis 10 kW lassen auf kurzfristige Technologiesprünge bei entsprechender Adaptierung der Systeme für die Raumheizung hoffen.

Weiters müssen die technischen Komponenten der Wärmepumpen optimiert werden, um bei gleicher Standfestigkeit die Kosten zu senken und die Effizienz zu steigern. Die Schallproblematik von Wärmepumpen stellt ebenfalls in manchen Bereichen eine Herausforderung dar. Die Schallproblematik könnte z.B. mittels Wärmepumpen auf Basis des magnetokalorischen Effekts, siehe auch Egolf (2006), gelöst werden. Erste Versuche ergaben vergleichbare Jahresarbeitszahlen ohne hörbare Schall-Leistung.

#### Im Bereich des Gesamtsystems:

Exergie-Analysen von bestehenden Systemen müssen auch weiterhin durchgeführt werden, um eine thermodynamisch einwandfreie Prozessbeurteilung zu erreichen. Exergie-Analysen zeigen auf, wo lohnendes Optimierungspotenzial für Forschung

und Entwicklung zu finden ist. Ebenso sollten bestehende Anlagen in Feldanalysen untersucht werden, um die vielschichtigen Gründe für niedrige Jahresarbeitszahlen in der Realität zu finden, zu analysieren und zu dokumentieren und Verbesserungspotenziale aufzuzeigen, siehe hierzu auch Erb (2003) und Miara (2007).

Ein weiterer Bereich zukünftiger Forschungs- und Entwicklungsarbeiten kann durch den Überbegriff Systemoptimierung definiert werden. Dazu zählen die Teilbereiche der Betriebsoptimierung, der Regelung, der Anlagen-Auslegung und der Anpassung der Anlage an einen veränderlichen Energiebedarf in Folge z.B. von Sanierungen oder Nutzerwechsel. Die Entwicklung von energieeffizienten leistungsgeregelten Kleinstkompressoren hat hierbei einen großen Stellenwert da heute bereits verfügbare Kleinkompressoren zumeist geringe Wirkungsgrade aufweisen. Damit ist auch eine Anpassung an den zukünftigen Markt im Bereich der Niedrigenergie- und Passivhäuser gewährleistet. Um die Investitionskosten der Gesamtsysteme zu reduzieren, gilt es nicht nur die Kosten der Einzelkomponenten zu optimieren, sondern hier gilt es auch den Automatisierungsgrad in der Herstellung zu erhöhen um das Gesamtsystem mittelfristig kostengünstiger zu Fertigen.

### **8.3.7 Storyline “BAU- Szenario“**

Der Bedarf an Heizwärme (HWB) wird mittelfristig von derzeit etwa 50 kWh/(m<sup>2</sup> a) für den Neubau auf etwa 30 kWh/(m<sup>2</sup> a) zurückgehen. Langfristig ist zu erwarten, dass der HWB im Bereich des Passivhauses < 15 kWh/(m<sup>2</sup> a) zu liegen kommt. Der Bedarf für die Warmwasserbereitung wird sich langfristig nur geringfügig ändern und wird von derzeit etwa 20 kWh/(m<sup>2</sup> a) aufgrund Einsparung und Wärmerückgewinnung auf etwa 15 kWh/(m<sup>2</sup> a) reduziert werden. Die Wärmeverteilung wird über Flächensysteme wie Fußbodenheizung, Wandheizung oder Deckenheizung realisiert, wobei die Vorlauftemperaturen im Auslegungsfall nicht über 30 – 32°C liegen werden.

Bei der Gebäudesanierung wird ebenso versucht den oben genannten Energiebedarf zu erreichen. Dadurch ergibt sich dann bei unverändertem Wärmeabgabesystem eine Reduktion der Vorlauftemperatur des Heizungssystems von derzeit 55 – 65°C auf etwa 40 – 45°C. Somit wäre eine Verwendung von Wärmepumpensystemen (z.B. Luft/Wasser) auch in diesem Bereich möglich.

Im Bereich der monovalenten Wärmepumpen wird es zu einer stetigen Weiterentwicklung in allen oben genannten Bereichen kommen. Dabei wird es aber sowohl mittelfristig als auch langfristig keinerlei massive Technologiesprünge geben. Die optionale Möglichkeit der passiven bzw. aktiven Kühlung mit dem Erdkollektor und der Wärmepumpe wird mittelfristig, aber vor allem langfristig als wichtiges Argument für den Kauf eines derartigen Systems gelten.

Die Warmwasserbereitung erfolgt mittelfristig zum Großteil mit der Wärmepumpe bzw. mit Solarthermie als eigenständiges System. Erst Langfristig werden sich Systemkombinationen aus Wärmepumpe und Solarthermie durchsetzen.

Verbreitung der Technologie:

Aus der historischen Marktdiffusion der Wärmepumpentechnologie der vergangenen Jahre wird für das BAU-Szenario abgeleitet, dass bei gleichbleibenden Zuwächsen, mittelfristig ein Anteil der jährlich verkauften monovalenten Heizsysteme von 25% bis 30% erreicht werden kann. Längerfristig wird von einem leicht reduzierten Wachstum ausgegangen, sodass mit 35% bis 40% oder 28.000 bis 33.000 verkauften Stück je Jahr zu rechnen ist. Für das Szenario wird davon ausgegangen, dass die Anteile der einzelnen Wärmequellen langfristig erhalten bleiben.

Energieeffizienz der Technologie:

Als Basis für die Beurteilung der Effizienz konnte auf langjährige Messdaten der Schweizer und der österreichischen Prüfstelle WPZ (2008) und Arsenal (2008) zurückgegriffen werden. Diese Messungen der Wärmepumpen ermitteln die Leistungszahl bzw. den "Coefficient Of Performance" (COP) für unterschiedliche Wärmepumpensysteme. Die vorliegenden Messungen wurden statistisch ausgewertet, wobei die jeweils besten 20 % der Messergebnisse als Wert für 2020 definiert wurde. Für den COP des Jahres 2050 wurde der Mittelwert der besten 5 % der derzeit verfügbaren Wärmepumpensysteme definiert. Damit erhöhen sich, im Vergleich zum Jahr 2000, die COP's langfristig um 0.55 bis 0.95 je nach Wärmequelle der Wärmepumpe.

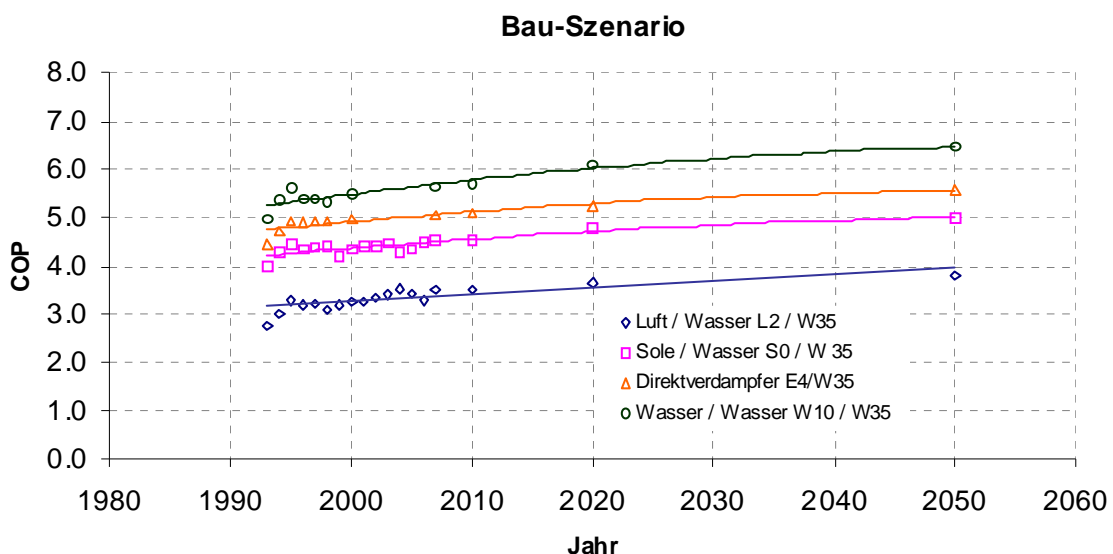


Abbildung 8.17: Annahmen für die COP's für das BAU-Szenario. Quelle: IWT.

Für den tatsächlichen Betrieb von Wärmepumpensystemen ist jedoch die Jahresarbeitszahl (JAZ) oder auch "Seasonal Performance Factor" (SPF) maßgeblich, der nicht nur den Punktuellen Betrieb der Wärmepumpe berücksichtigt. Für die Ermittlung der JAZ wurden fünf reale Gebäude definiert und je nach Leistung und Wärmepumpensystem unterschiedliche Anlagenhydrauliken definiert. Diese

Systeme wurden in der Simulationsumgebung Polysun (2008) abgebildet. Innerhalb von Polysun sind gemessene Wärmepumpenkennfelder unterschiedlichster Leistung und Wärmequellen verfügbar. Daraus konnte eine Abweichung zwischen dem COP im stationären Betriebspunkt und dem realen Jahresbetrieb (JAZ0) mit und ohne Warmwasserbereitung ermittelt werden. Diese Abweichung unterscheidet sich innerhalb der Leistungsklassen und der Wärmequellen.

Die ermittelten Abweichungen sind beträchtlich und betragen bei der Wasser/Wasser-Wärmepumpe aus der 8 kW Leistungsklasse für den Sprung von COP<sub>2050</sub> auf JAZ0<sub>2050</sub> etwa 0,7, berücksichtigt man noch den Strombedarf für alle zusätzlich notwendigen Aggregate lässt sich die JAZ3<sub>2050</sub> ermitteln, die um etwa 1,3 tiefer liegt als der COP<sub>2050</sub>.

#### Kosten der Technologie:

Für die Beurteilung der realen Kostenentwicklung (ohne Berücksichtigung der Inflation) wurde der Kostenverlauf von Wärmepumpen in der Schweiz als Grundlage herangezogen. Als derzeitige Basiskosten wurde die aktuelle Studie Baumann (2009) herangezogen, worin für die unterschiedlichen Leistungsklassen bei unterschiedlichen Herstellern detaillierte Kosten ermittelt wurden. Im Vergleich mit der Schweizer Studie zeigte sich, dass die Wärmepumpenpreise in Österreich im Jahr 2008 vergleichbar sind mit jenen in der Schweiz im Jahre 1992. Diese Beobachtung deckt sich gut mit dem Vergleich der Marktentwicklung in Österreich und der Schweiz (siehe oben).

Ausgehend von einer ähnlichen Entwicklung wie in der Schweiz, ergibt sich eine mittelfristige Kostenreduktion bei den Wärmepumpen und den Erdreichsonden von etwa 10 – 12 %. Die Kosten der sonstigen Komponenten sinken nur um etwa 2% – 4%. Langfristig sind Kostenreduktionen von 20% – 22% (WP und Erdsonde) bzw. 4% – 5% bei den Erdkollektoren, der Regelung und dem Speicher zu erwarten.

#### **8.3.8 Storyline “Ambitioniertes Szenario“**

Beim ambitionierten Szenario werden im Allgemeinen die Bedingungen des zuvor dargestellten BAU-Szenarios erfüllt. Allerdings erfolgt durch die in Zukunft stark geförderte Forschung und Entwicklung eine erhebliche Effizienzverbesserung.

Der Bedarf an Heizwärme (HWB) wird mittelfristig von derzeit etwa 50 kWh/(m<sup>2</sup> a) für den Neubau auf etwa 30 kWh/(m<sup>2</sup> a) zurückgehen. Langfristig ist zu erwarten, dass der HWB im Bereich des Passivhauses < 15 kWh/(m<sup>2</sup> a) und darunter zu liegen kommt. Der Bedarf für die Warmwasserbereitung wird sich langfristig nur geringfügig ändern und wird von derzeit etwa 20 kWh/(m<sup>2</sup> a) aufgrund Einsparung und Wärmerückgewinnung auf etwa 10 bis 15 kWh/(m<sup>2</sup> a) zurück gehen. Die Wärmeverteilung wird über Flächensysteme wie Fußbodenheizung, Wandheizung

oder Deckenheizung realisiert, wobei die Vorlauftemperaturen im Auslegungsfall nicht über 30 – 32°C liegen. Im Bereich der Gebäudesanierung wird ebenso versucht, den oben genannten Energiebedarf zu erreichen. Dadurch ergibt sich bei unverändertem Wärmeabgabesystem eine Reduktion der Vorlauftemperatur des Heizungssystems von derzeit 55 – 65°C auf etwa 40°C.

Im Bereich der monovalenten Wärmepumpen wird es zu einer stetigen Weiterentwicklung in allen oben genannten Bereichen kommen. Dabei wird es vor allem mittelfristig zu Technologiesprüngen im Bereich der natürlichen Kältemittel kommen, wodurch bei jenen Systemen, die ein hohes Temperaturniveau zur Verfügung stellen müssen (Warmwasserbereitung und Sanierung), eine deutliche Verbesserung der COPs zu erwarten ist. Weiters werden sich Wärmequellensysteme etablieren, die deutlich weniger Strom als derzeit benötigen. Auch Langfristig wird es durch verstärkte Forschung und Entwicklung deutliche COP Zuwächse geben.

Die Warmwasserbereitung erfolgt bereits mittelfristig zum Gutteil mit kombinierten Systemen, bestehend aus Wärmepumpe und Solarthermie, wobei sich diese Systeme auch langfristig am Markt durchsetzen werden. Je nach Gestaltung der Förderungsrichtlinien ist es hier auch denkbar, dass sich Photovoltaik langfristig als integrativer Bestandteil einer Systemkombination von Wärmepumpe, Solarthermie und Photovoltaik etabliert.

#### Verbreitung der Technologie:

Aus der historischen Marktdiffusion der Wärmepumpentechnologie wurde für das ambitionierte Szenario abgeleitet, dass bei gleichbleibenden Zuwächsen der letzten Jahre, mittelfristig ein Marktanteil von 30% bis 35% erreicht werden kann. Das entspricht einer Stückzahl von 25.000 bis 30.000 Heizungswärmepumpen pro Jahr. Langfristig wird von einem reduzierten Wachstum ausgegangen sodass mit 45% bis 50% oder 38.000 bis 43.000 verkauften Stück je Jahr zu rechnen sein wird. Die Anteile der einzelnen Wärmequellen werden langfristig erhalten bleiben.

#### Energieeffizienz der Technologie:

Basierend auf den Werten des BAU-Szenarios wurde durch die Etablierung von entsprechenden Technologiesprüngen ein Zuwachs am COP von mittelfristig 0,3 und langfristig 0,6 definiert. Damit erhöhen sich die COP's langfristig (2050) gegenüber dem Jahr 2000 um 1.1 bis 1.5 je nach Wärmequelle der Wärmepumpe.

Die Ermittlung der Jahresarbeitszahlen erfolgte im ambitionierten Szenario identisch wie im BAU-Szenario. Die sich ergebenden Reduktionen von den COP's zu den Jahresarbeitszahlen sind im ambitionierten Szenario ebenso gültig. Diese Reduktionen sind beträchtlich und betragen bei der Wasser/Wasser-Wärmepumpe aus der 8 kW Leistungsklasse für den Sprung von COP<sub>2050</sub> auf JAZO<sub>2050</sub> etwa 0,7, berücksichtigt man noch den Strombedarf für alle zusätzlich notwendigen Aggregate lässt sich die JAZ<sub>32050</sub> ermitteln, die um etwa 1,3 tiefer liegt als der COP<sub>2050</sub>.

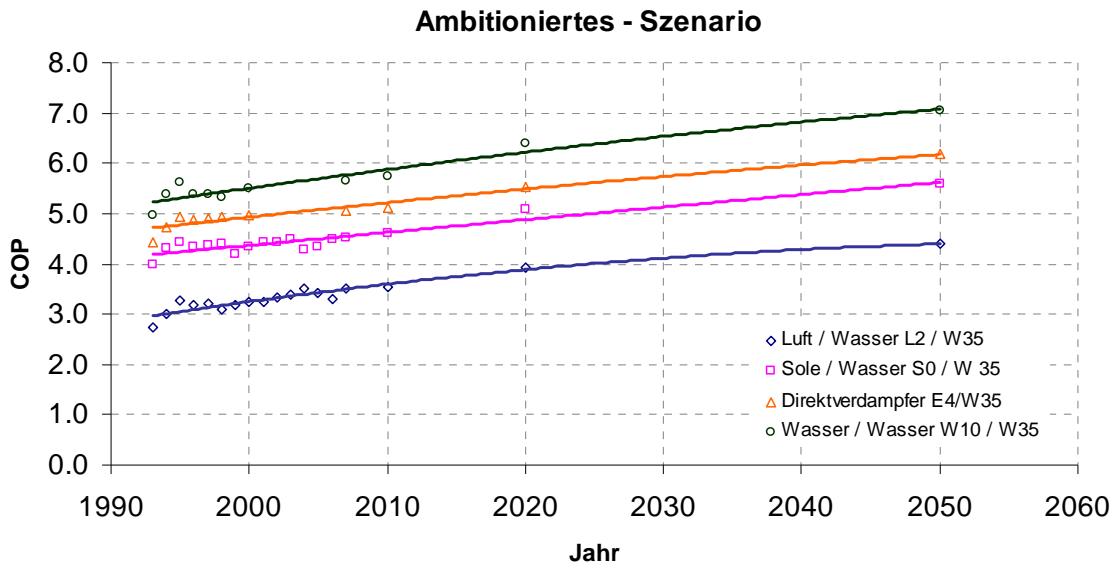


Abbildung 8.18: Annahmen für die COP's für das ambitionierte Szenario.  
Quelle: IWT.

#### Kosten der Technologie:

Der Verlauf der realen Kostenentwicklung wurde gleich dem BAU-Szenario angenommen. Hier kommt es allerdings durch vermehrte Anstrengungen im Bereich der Forschung und Entwicklung zu einer höheren mittelfristigen Kosteneinsparung bei den Kosten der Wärmepumpe und der Erdreichsonde von etwa 12% – 14%. Die sonstigen Komponenten werden mittelfristig nur um etwa 2% – 4% günstiger.

Ausgehend von einer ähnlichen Entwicklung wie der Schweiz, ergibt sich eine mittelfristige Kostenreduktion bei der Wärmepumpe und den Erdreichsonde von etwa 10% – 12%. Langfristig sind Kostenreduktionen von 20% – 22% (WP und Erdsonde) bzw. 4% – 5% bei den Erdkollektoren, der Regelung und des Speichers zu erwarten.

## 8.4 Systeme zur Nutzung fossiler Energie

Wärmebereitstellungssysteme auf Basis fossiler Energie sind kein Fokus der gegenständlichen Arbeit. Dennoch stellen Ölkessel, vor allem jedoch Gaskessel und Gasthermen Systeme dar, welche einerseits einen hohen aktuellen Bestand aufweisen und andererseits vor allem in Hinblick auf Systeme mit Erdgasfeuerung auch in Zukunft einen erheblichen Anteil am Kesselmarkt inne haben werden.

Bei einer systematischen Aufzählung sind folgende Wärmebereitstellungssysteme auf Basis fossiler Energie zu nennen:

1.) dezentrale Technologien (zur Wärmebereitstellung in einer Wohneinheit):

- Kohlekessel, Kohleöfen
- Ölkessel, Öl-Brennwertkessel, Öl-Einzelöfen
- Gaskessel u. -thermen, Gas-Brennwertkessel u. -thermen, Gas-Einzelöfen

2.) zentrale Technologien (Blockheizungen, Nah- u. Fernwärme):

- Kohlekessel
- Ölkessel, Öl-Brennwertkessel
- Gaskessel, Gas-Brennwertkessel

Alle Wärmebereitstellungssysteme auf Basis fossiler Energie sind (abgesehen von der Systeminnovation der Brennwertsysteme, welche in Verbindung mit der Entwicklung der Gebäudequalität, der Verfügbarkeit von Niedertemperatur-Wärmeverteilssystemen und des Heizungsvorlauf-Temperaturbedarfs zu sehen ist) durch stagnierende technologische und ökonomische Lernkurven geprägt. Technologische Innovationen beziehen sich meist auf die Steuer- und Regeltechnik oder auf die Anwendung von Fernwirktechniken, welche jedoch nicht systemspezifisch sind. Im Bereich der Wirkungsgrade der Feuerungstechniken sind unter wirtschaftlichen Rahmenbedingungen nur noch marginale Verbesserungen zu erwarten, die technologischen Lernkurven können als ausgereizt betrachtet werden. Die ökonomischen Lernkurven weisen aufgrund der fortgeschrittenen Marktdurchdringung ebenfalls Sättigungserscheinungen auf, zumal eine weitere Verdoppelung des kumulierten Marktaufkommens lange Zeitdauern in Anspruch nehmen wird. Allfällige ökonomische Lerneffekte werden voraussichtlich durch exogene Faktoren wie z.B. der Teuerung der Rohstoffe und Halbzeuge überkompensiert.

### 8.4.1 Wärmebereitstellungssysteme auf Kohlebasis

Der Brennstoff Kohle besitzt bei der Wärmebereitstellung in Gebäuden aus mehreren Gründen auch im Status quo keinen Stellenwert mehr. Hemmende Faktoren liegen im Bereich der Handhabungsqualitäten sowie der Automatisierbarkeit, wobei dieser Faktor durch teilautomatische und vollautomatische Beschickungseinrichtungen (wie auch z.B. bei Hackschnitzelkessel) wieder relativiert werden kann. Der Wirkungsgrad von Kohlekessel unterliegt, wie schon oben ausgeführt, einer Sättigung, wobei von



einem typischen Jahresnutzungsgrad im Jahr 2050 von 0,72 ausgegangen werden kann. Die Brennwerttechnologie stellt beim Brennstoff Kohlenstoff (in Ermangelung von Wasserstoff im Brennstoff) keine Option dar.

Der vielgestaltige Brennstoff Kohle (Steinkohle, Koks, Briketts,...) kann auch in zahlreichen "Allesbrennern" verfeuert werden, welche jedoch durch Kompromisse in der Brennraumgestaltung etc. noch geringere Jahresnutzungsgrade aufweisen. Hinsichtlich der zu erwartenden Entwicklungen bis 2050 weisen Kohlefeuerungssysteme damit den mit weitem Abstand geringsten Jahresnutzungsgrad unter allen Systemen auf und werden sich alleine aus diesem Umstand heraus kaum im Sinne einer "Renaissance der Kohlefeuerungen" durchsetzen können. Die technologische Entwicklung und die Zukunft der Kohleheizungen ist in Abbildung 8.19 dargestellt.

## Storyline Kohleheizungen

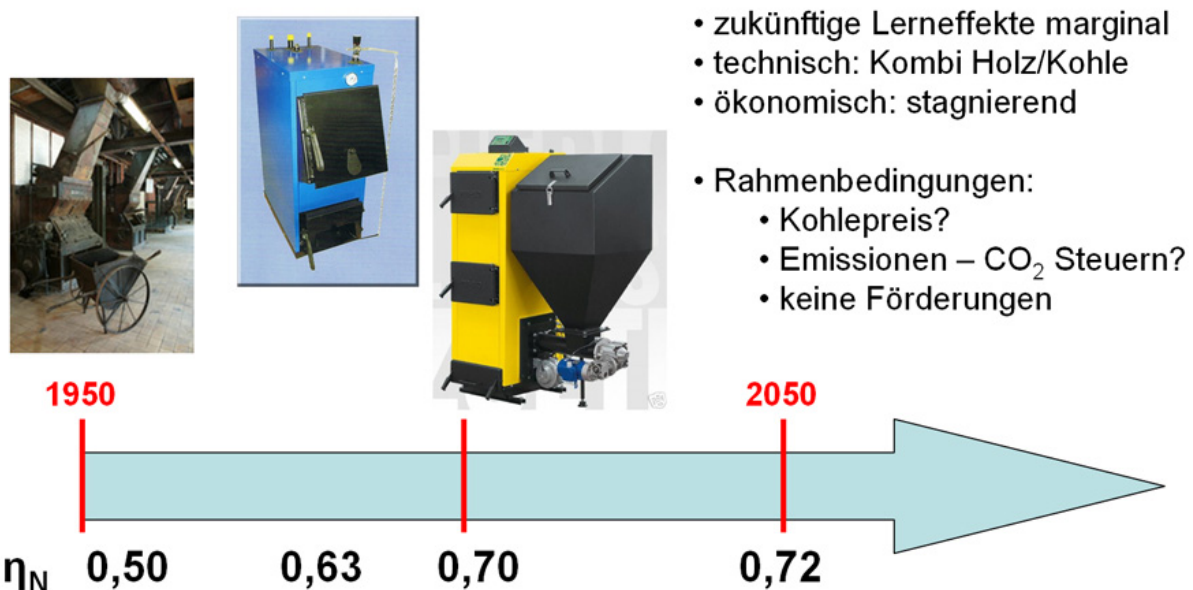


Abbildung 8.19: Storyline Kohleheizung. Die Jahresnutzungsgrade verstehen sich als Mittelwert jeweils neuer Anlagen im jeweiligen Gebäudebestand. Quelle: EEG

Die Entwicklung des Kohlepreises wird in Zukunft weitestgehend durch den Weltmarkt im Bereich der Kohleverstromung bestimmt werden und korrespondiert auch mit den Preisen anderer Energieträger. Es kann erwartet werden, dass in Hinblick auf den Betrachtungszeitraum bis 2050 Kohle auch als CO<sub>2</sub>-intensivster Energieträger mit zusätzlichen Preiskomponenten wie z.B. einer CO<sub>2</sub>-Steuer belastet wird, was die Attraktivität von Kohle zusätzlich reduzieren wird. Im Bereich der Investitionskosten ist weiters davon auszugehen, dass auch weiterhin keine Investitionsanreize (Subventionen) für Kohlesysteme verfügbar sein werden.

Abgesehen von den treibhausrelevanten CO<sub>2</sub> Emissionen werden im Betrachtungszeitraum auch weitere umweltrelevante Emissionen (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, Staub,...) mehr und mehr zum Kriterium werden. Es ist davon auszugehen, dass umweltrelevante normative Rahmenbedingungen in Hinkunft den dezentralen Einsatz von Kohle massiv erschweren oder gänzlich verhindern werden.

Zusammenfassend wird die Nutzung der Kohle zur dezentralen Bereitstellung von Raumwärme oder für die Brauchwassererwärmung als Auslaufmodell bewertet, das im Betrachtungszeitraum bis 2050 gänzlich vom Markt verschwinden wird. Im Bereich von zentralen Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen wird Kohle jedoch auch langfristig, wenn auch nur indirekt, zur Wärmebereitstellung in Fernwärmenetzen beitragen.

#### **8.4.2 Wärmebereitstellung auf Basis von Heizöl**

Heizölbasierte Heizsysteme stellten jahrzehntelang die Standardheizsysteme, bevor durch die Öl-Hochpreisphasen der 1970er Jahre weitere Technologien am Markt verfügbar wurden. Das aggregierte historische Marktvolumen ist deshalb sehr groß, was wiederum den Spielraum für weitere technologische und ökonomische Lerneffekte einschränkt. Die Jahresnutzungsgrade von Ölkessel können sowohl im Bereich der konventionellen Anlagen als auch im Bereich der Brennwertkessel als gesättigt angesehen werden. Weitere bis 2050 zu erwartende Lerneffekte sind voraussichtlich marginal. Die Technologie wird sich 2050 nicht wesentlich von den heute verfügbaren Ausführungen unterscheiden, wenn von steuer- u. regeltechnischen "add ons" wie Fernwirkeinrichtungen etc. abgesehen wird.

Den größten langfristigen Einfluss auf die weitere Marktdiffusion von Ölheizungen wird der Ölpreis selbst haben. Diesbezüglich ist der mittlere Ölpreis ebenso interessant wie die mittelfristige Volatilität des selbigen. Darüber hinaus haben Investitionsanreize wie Förderungen für Ölkessel einen signifikanten Einfluss auf die weitere Marktdiffusion, wie das jüngste Förderprogramm der österreichischen Mineralölindustrie ab dem Jahr 2009 eindrucksvoll zeigte. Hierbei wurde durch das "Institut für die wirtschaftliche Ölheizung" (IWO) ein einmaliger nicht rückzahlbarer Investitionszuschuss von Euro 3.000,- pro neu gekauftem Ölkessel vergeben, der die Verkaufszahlen von Ölkesseln im Jahr 2009 stark ankurbelte. Der Anreiz wurde im Folgejahr 2010 auf Euro 2.000,- reduziert, wird voraussichtlich seine Wirkung nicht verfehlen, zumal er auch von einem moderaten Ölpreis begleitet wird.

Wie das angeführte Beispiel zeigt, kann die kurzfristige Zukunft der Ölheizung nicht seriös prognostiziert werden. Mittel- bis langfristig wird es jedoch durch den Anstieg der globalen Nachfrage nach Erdöl, der voranschreitenden Verknappung der Ressource selbst und der deutlich höheren Zahlungsbereitschaft in anderen Energiedienstleistungsbereichen (z.B. Mobilität) zu einem Rückgang der Ölheizungen kommen. Mit Blickrichtung auf das Jahr 2050 ist davon auszugehen, dass die Ressource Erdöl einen Marktpreis erreicht, der die Anwendung zur Bereitstellung von Niedertemperaturwärme stark reduziert.

# Storyline Ölheizungen

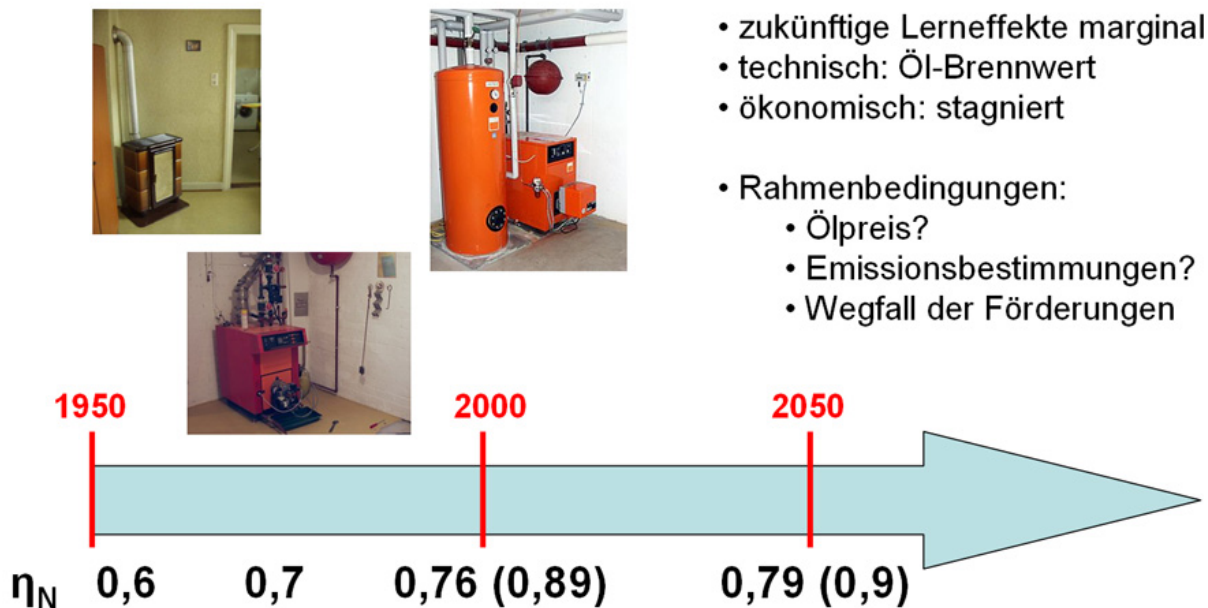


Abbildung 8.20: Storyline Ölheizung. Die Jahresnutzungsgrade verstehen sich als Mittelwert jeweils neuer Anlagen im jeweiligen Gebäudebestand, Werte in Klammern betreffen die Brennwerttechnologie. Quelle: EEG

## 8.4.3 Wärmebereitstellung auf Basis von Erdgas

Im Bereich der Heizsysteme auf Basis von fossiler Energie wird Gasheizungen die größte zukünftige Bedeutung beigemessen. Zwar weist auch diese Technologie eine Sättigung der technologischen und ökonomischen Lernkurven auf, jedoch sind im Betrachtungszeitraum bis 2050 keine derartig wirksamen Hemmnisse wie bei Kohle- oder Ölheizungen zu erwarten.

Die Brennwerttechnologie hat sich bei Erdgasheizungen etabliert und es ist davon auszugehen, dass in absehbarer Zeit neu installierte Erdgasheizungen fast ausschließlich Brennwertsysteme mit entsprechend hohen Nutzungsgraden sein werden. Ein weiterer strategischer Vorteil von Erdgasheizungen ist in der Verfügbarkeit von Heizungen in allen Leistungsklassen zu sehen. Vom nicht sanierbaren Altbestand bis hin zum Niedrigstenergiehaus sind angepasste Leistungsklassen verfügbar. Die Systeme eignen sich aufgrund der Abgaswerte auch für den Einsatz in urbanen Bereichen und können wegen des Brennstoffes  $\text{CH}_4$  im Vergleich mit Kohle- oder Ölheizungen auch auf die geringsten spezifischen  $\text{CO}_2$  Emissionen verweisen. Ein weiterer fördernder Faktor ist der übliche Einsatz für die kombinierte Bereitstellung von Raumwärme und für die Brauchwassererwärmung, wobei die Gastherme hier eine Option mit geringen System-Investitionskosten darstellt.

## Storyline Gasheizungen

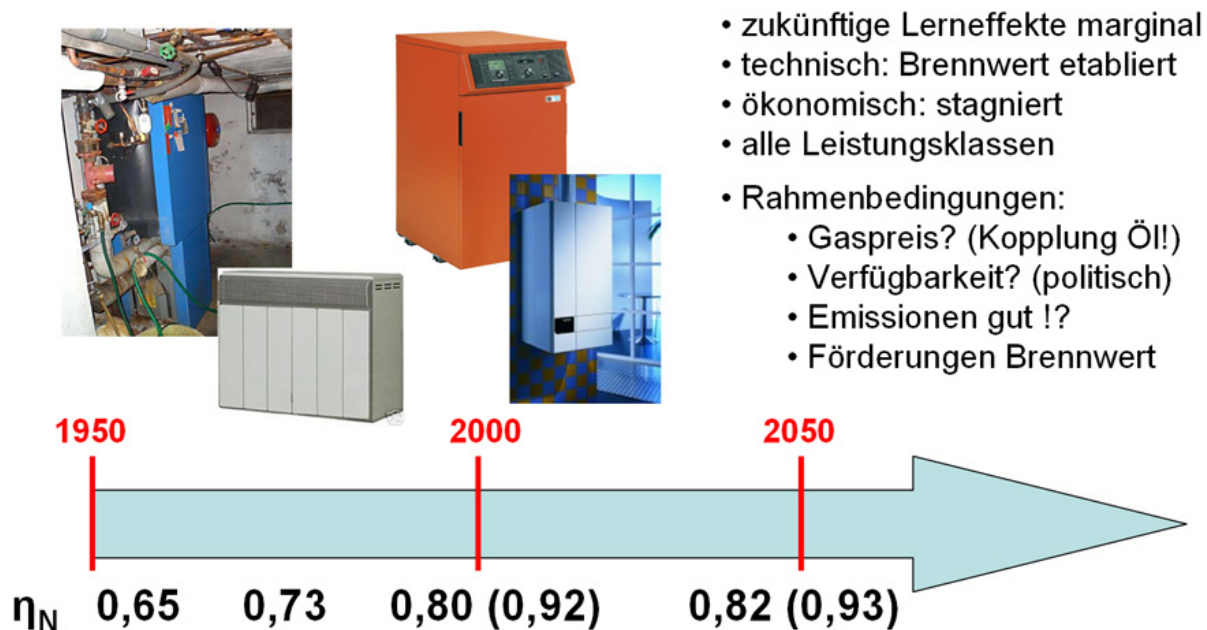


Abbildung 8.21: Storyline Gasheizung. Die Jahresnutzungsgrade verstehen sich als Mittelwert jeweils neuer Anlagen im jeweiligen Gebäudebestand, Werte in Klammern betreffen die Brennwerttechnologie. Quelle: EEG

Die zukünftige Marktentwicklung der Gasheizungen wird vor allem von der Entwicklung des Gaspreises abhängen, wobei politisch bedingte Verfügbarkeitsprobleme (z.B. das Aussetzen der Gaslieferungen aus Russland) auch eine große Signalwirkung auf den Markt haben können. Die bereits genannten geringen Emissionswerte (abgesehen von  $\text{CO}_2$ ) stellen vor allem beim Einsatz in urbanen Bereichen einen strategischen Vorteil gegenüber Heizsystemen auf der Basis von fester Biomasse dar. Weiters ist es nicht unwahrscheinlich, dass aus den genannten Gründen zumindest für Erdgas-Brennwertgeräte weiterhin Anreize in Form von Förderungen vergeben werden.

Zusammenfassend kann davon ausgegangen werden, dass Heizsysteme auf Basis von Erdgas im Betrachtungszeitraum bis 2050 eine gewisse Rolle beibehalten werden bzw. in manchen Bereichen der Anwendung (z.B. urbane Bereiche) auch noch ein Ausbaupotenzial vorhanden ist. Eine verstärkte Substitution von Ölheizungen durch Gasheizungen ist möglich, wenn in die entsprechende Versorgungsinfrastruktur (Erdgasnetz) seitens der Energieversorger investiert wird. Abseits urbaner Strukturen oder dichten Altgebäudebeständen wird die neue Erschließung von Versorgungsgebieten für den Gasversorger jedoch aufgrund der immer besseren Bausubstanz und des deutlich reduzierten Energieverbrauchs immer weniger attraktiv, da auch die korrespondierenden Absatzmöglichkeiten schrumpfen.

## 8.5 Wärmenetze

Die historische, aktuelle und zukünftige Wirtschaftlichkeit von Wärmenetzen wurde in der Vergangenheit in zahlreichen Analysen untersucht. Wesentliche Arbeiten stammen dabei von Stockinger und Obernberger (1998), Winter und Obernberger (2002), Streicher et al. (2001) und Haas et al. (2008). Weitere Erkenntnisse wurden im Gespräch mit Fernwärmebetreibern gewonnen und im Rahmen eines Workshops diskutiert. Folgende Resultate können hier zusammengefasst werden:

Bei der Frage nach dem Stellenwert von Wärmenetzen in zukünftigen nachhaltigen Energiesystemen müssen verschiedene Typen von Wärmenetzen differenziert betrachtet werden:

- Bestehende große Fernwärmenetze in dichten urbanen Strukturen und Einspeisung durch große Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen.
- Bestehende Nahwärmenetze
- Neu zu errichtende Nahwärmenetze
- Mikrowärmenetze

Alle Wärmenetztypen gemeinsam haben in Blickrichtung 2050 folgende prinzipielle strategische Probleme:

- Für einen wirtschaftlichen Betrieb eines Wärmenetzes ist eine gewisse minimale Leistungsbelegung des Netzes erforderlich. Ein typischer Schwellwert liegt hierbei bei 1 kW pro Meter Netzlänge. Ist die Abnahmedichte geringer, so werden sich tendenziell wirtschaftliche Probleme ergeben, ist sie höher, so ist ein rentabler Betrieb möglich.
- Die gesellschaftlich wünschenswerte Verbesserung der Gebäude-Energieeffizienz reduziert tendenziell die Wirtschaftlichkeit von bestehenden Wärmenetzen oder verhindert die Errichtung neuer Wärmenetze.
- Der Temperaturbedarf in Wärmenetzen (und somit auch die Höhe der Netzverluste) wird von jenem Abnehmer mit dem höchsten Vorlauf-Temperaturbedarf bzw. von der Brauchwasserbereitung definiert. Wenige Abnehmer mit hohem Vorlauf-Temperaturbedarf können somit hohe Netzverluste bewirken.
- Hohe Vorlauf- u. Rücklauftemperaturen in Wärmenetzen behindern eine effektive Einspeisung von erneuerbarer Wärme aus solarthermischen Anlagen in das Wärmenetz.

Diese prinzipiellen Probleme stellen sich für die eingangs definierten Wärmenetztypen wie folgt dar:

### **8.5.1 Bestehende große Fernwärmenetze in dichten urbanen Strukturen und Einspeisung durch große Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen.**

Dieser Typus von Wärmenetzen wird z.B. durch die großen städtischen Wärmenetze in Wien oder in Graz repräsentiert. In diesen Netzen kann auch bei fortschreitender

Verbesserung der Gebäudesubstanz durch Sanierung des Bestandes die erforderliche minimale Leistungsbelegung des Wärmenetzes erhalten bleiben. Ein weiterer Aspekt ist die Versorgung einer großen Zahl von denkmalgeschützten Gebäuden in diesen Netzen, deren deutliche wärmetechnische Verbesserung im Betrachtungszeitraum bis 2050 nicht zu erwarten ist. Die Einspeisung durch große Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen stellt einen auch gesellschaftlich erstrebenswerten Faktor dar, der zusätzlich bewertet werden muss. Reinvestitionen im Bereich der großen Fernwärmenetze werden daher auch langfristig möglich sein. Weiters bestehen im (energie)politischen Umfeld der großen Wärmenetze meist günstige Rahmenbedingungen, welche diese Netze vor dem Wettbewerb mit anderen Wärmeversorgungsoptionen schützen (öffentliche Gebäude, Wohngebäude der Gemeinde, Rahmenbedingungen bei der Ausschreibung von Neuplanungen etc.).

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass bestehende große Fernwärmenetze in dichten urbanen Strukturen voraussichtlich auch 2050 noch betrieben werden. Kritisch ist jedoch anzumerken, dass tendenziell zu erwarten ist, dass in den entsprechenden Versorgungsgebieten ein geringer Anreiz besteht, die gesellschaftlich wünschenswerte Verbesserung der thermischen Gebäudequalität voranzutreiben, zumal der Wärmenetzbetreiber zumeist in enger entscheidungstechnischer Beziehung zum potenziellen Gebäudeinvestor steht (Interessenskonflikt).

Unter einem anderen Licht ist die Angliederung von Neubaugebieten mit hoher Gebäudequalität an bestehende große Wärmenetze zu sehen (Stadterweiterung), da diese Gebiete für sich genommen nicht wirtschaftlich versorgt werden können.

### **8.5.2 Bestehende Nahwärmenetze**

Die Geschichte der bestehenden Nahwärmenetze hat gezeigt, dass nur Nahwärmenetze mit entsprechender Abnahmedichte wirtschaftlich stabil betrieben werden können. Probleme können sich dabei vor allem bei notwendig gewordenen Reinvestitionen ergeben, welche dann bis zur Stilllegung des Netzes führen können. Bestehende Nahwärmenetze, welche z.B. nicht sanierte, aber gut sanierbare Siedlungsstrukturen versorgen, können bei fortschreitender Sanierungstätigkeit der Abnehmer rasch in wirtschaftliche Bedrängnis geraten. Liegt ein kleines aber kompaktes Versorgungsgebiet mit z.B. nicht sanierbaren Gebäuden vor, ist auch ein längerfristiger wirtschaftlicher Betrieb des Nahwärmenetzes möglich.

### **8.5.3 Neu zu errichtende Nahwärmenetze**

Bei neu zu errichtenden Nahwärmenetzen muss vor allem die Größe und Stabilität der Leistungsbelegung des Wärmenetzes geprüft werden. In Einfamilienhaus-Neubaugebieten mit Niedrig- und Niedrigstenergiehäusern kann ein neues Nahwärmenetz nicht mehr wirtschaftlich errichtet und betrieben werden. Können jedoch dichte, nicht sanierbare Bestandsstrukturen mit großem Wärmebedarf

identifiziert werden, so werden auch im Betrachtungszeitraum bis 2050 noch neue wirtschaftliche Nahwärmenetze entstehen können.

#### **8.5.4 Mikrowärmenetze**

Für Mikro-Wärmenetze gelten im Prinzip dieselben Rahmenbedingungen wie für die neu zu errichtenden Nahwärmenetze. Es könnte jedoch im Rahmen von Mikronetzen leichter fallen, geeignete Konstellationen mit hoher Leistungsbelegung des Netzes zu identifizieren.

## 8.6 Mikro Kraft Wärme Kopplungen

Mikro Kraft Wärme Kopplungen, also dezentrale Kraft Wärme Kopplungen die in Wohn- oder Servicegebäuden untergebracht sind, werden in Heizen 2050 zwar nicht modellhaft abgebildet, sollen an dieser Stelle jedoch als Zukunftstechnologie thematisiert werden. Unter Mikro Kraft Wärme Kopplungen sollen hierbei Systeme verstanden werden, welche vorrangig den Wärmebedarf der entsprechenden Gebäude (eines einzelnen Gebäudes oder auch mehrerer Gebäude, welche mit einem Mikro-Wärmenetz verbunden sind) für die Raumkonditionierung und Brauchwassererwärmung bereitstellen. Die Leistungsklassen, welche hier den Begriff Mikro Kraft Wärme Kopplung definieren, bewegen sich von 2 kW<sub>el</sub> bis 60 kW<sub>el</sub>.

Folgende Technologien sind in diesem Bereich relevant:

- Gasmotore
- Mikrogasturbinen
- Stirlingmotore
- Brennstoffzellen
- Thermoelektrische Elemente

Allen Technologien ist gemein, dass ausgehend von den kleinen Leistungsgrößen bei den Investitionskosten sehr deutliche Skaleneffekte zu beobachten sind. Das heißt, dass die spezifischen Investitionskosten für die Technologie bei kleinen Leistungsgrößen stark ansteigen und deshalb in vielen Fällen kein wirtschaftlicher Betrieb von kleinen Anlagen möglich ist. Technologisch bedingt weisen größere Anlagen auch einen höheren Wirkungsgrad auf als kleine Anlagen, was den zuerst genannten Umstand noch verstärkt und kleine Anlagen zusätzlich weniger attraktiv macht. Darüber hinaus sind weitere technologie-spezifische Merkmale relevant, auf die im Folgenden kurz eingegangen werden soll.

Kurzcharakteristiken der Technologien

### Gasmotore

stellen die klassische und etablierte Kraft Wärme Kopplungstechnologie im kleinen (aber auch im großen) Leistungssegment schlechthin dar. Betrieben mit Erdgas oder auch mit Biogas ist der überwiegende Anteil bestehender Kraft Wärme Kopplungsanlagen mit dieser Technologie ausgestattet. Der kleine Leistungsbereich stellt trotzdem eine innovative Komponente dar. ASUE (2005) definiert die spezifischen Investitionskosten von Blockheizkraftwerken ohne Brennwerttechnik und Dampferzeuger mit  $4361 \cdot P_{el}^{-0,33}$  €/kW<sub>el</sub>. Für ein Modul mit 2 kW<sub>el</sub> ergeben sich damit spezifische Investitionskosten von 3500 €/kW<sub>el</sub>, die Investitionskosten eines Moduls mit 50 kW<sub>el</sub> reduzieren sich auf 1200 €/kW<sub>el</sub>. Simader (2004) führt die spezifischen Kosten von Erdgas-Blockheizkraftwerken bei einer elektrischen Nennleistung von 5 kW<sub>el</sub> mit etwa 3000 €/kW<sub>el</sub>, die von Anlagen mit 10 kW<sub>el</sub> mit 2400 €/kW<sub>el</sub> an. Die Kosten bei Nennleistungen von 50 kW<sub>el</sub> liegen bei 1250 €/kW<sub>el</sub>. Die Gesamtwirkungsgrade von Blockheizkraftwerken werden, wie Haas et al. (2008)



dokumentieren, je nach Leistungsgröße und Hersteller in einem Bereich von 70% - 98% angegeben, wobei sich die elektrischen Wirkungsgrade in einem Bereich von 22% bis 30% bewegen. Kleine Leistungsgrößen bis 5 kW<sub>el</sub> weisen dabei typischer Weise elektrische Wirkungsgrade von 20% bis 25% auf.

### Mikrogasturbinen

Mikrogasturbinen sind eine im Vergleich zu den Gasmotoren innovative Technologie, wobei die Verfügbarkeit sehr kleiner Leistungsgrößen am Markt noch nicht gegeben ist. Die spezifischen Investitionskosten von Mikrogasturbinen im Leistungsbereich von 30-80 kW<sub>el</sub> liegen um 500-1000 €/kW über denen von Gasmotoren. Simader et al. (2004) führen Gesamtwirkungsgrade für Mikrogasturbinen zwischen 72% und 89% (Herstellerangaben) an.

### Stirlingmotore

Stirlingmotore stellen eine seit langer Zeit bekannte Technologie dar, die sich jedoch bis heute nur im Bereich von Spezialanwendungen durchsetzen konnte. Einzelne Modelle für den Einsatz in Mikro Kraft Wärme Kopplungsanlagen sind am Markt verfügbar, darunter auch sehr kleine Leistungsgrößen unter 1 kW<sub>el</sub>. Die Investitionskosten von kleinen Stirlingmotoren in einem Leistungsbereich von 0,8 - 9,5 kW<sub>el</sub> belaufen sich nach Schneider (2004) auf 3000 - 5100 €/kW<sub>el</sub>. Für Stirlingmotoren mit 0,8 - 9,5 kW<sub>el</sub> werden elektrische Wirkungsgrade von 10 - 24% und Gesamtwirkungsgrade von 85% - 96% angegeben. Peht et al. (2004) geben die elektrischen Wirkungsgrade von Stirlingmotoren mit 0,8 kW<sub>el</sub> mit 10% - 12%, die eines Moduls mit 3 kW<sub>el</sub> mit 15% - 19% an.

### Brennstoffzellen

Das Prinzip der Brennstoffzelle kann, ähnlich wie jenes der Stirlingmotore, auf eine lange Entwicklungsgeschichte zurückblicken. Der Einsatz von stationären Brennstoffzellen im Sinne einer Mikro Kraft Wärme Kopplung wird in zahlreichen Demonstrationsanlagen durchgeführt. Leistungsgrößen im einige 100 kW<sub>el</sub> – Bereich konnten zumindest in Deutschland aufgrund der entsprechenden Anreize (Einspeisetarife) bereits eine gewisse Marktdiffusion erreichen. Diese Leistungsgrößen werden hier jedoch nicht mehr dem Segment der Mikro Kraft Wärme Kopplungen zugerechnet. Wagner et al. (2002) dokumentieren die spezifischen Investitionskosten von Brennstoffzellen im Leistungsbereich >1kW<sub>el</sub> mit 2500-5000 €/kW<sub>el</sub>. Steinborn (2002) prognostizierte die ökonomische Lernkurve von Brennstoffzellen im kleinen Leistungsbereich anhand des Beispiels einer 4,7 kW<sub>el</sub> Zelle von Vaillant: Investitionskosten im Jahr 2002: 4250 €/kW<sub>el</sub> (2002), im Jahr 2010: 3200 €/kW<sub>el</sub> und im Jahr 2020: 2125 €/kW<sub>el</sub>. Faktum ist jedoch, dass die spezifischen Investitionskosten für dieses System im Jahr 2010 noch immer rund 4200 €/kW<sub>el</sub> betragen, das prognostizierte ökonomische Lernen kann somit nicht attestiert werden. Der Gesamtwirkungsgrad von kleinen Brennstoffzellenanlagen beträgt ca. 90%, elektrische Wirkungsgrade bis 40% sind erhältlich. Damit weisen

Brennstoffzellen die höchsten elektrischen Wirkungsgrade unter den hier dargestellten Technologien auf.

### Thermoelektrische Elemente

Thermoelektrische Elemente stellen im Bereich der Anwendung für Mikro Kraft Wärme Kopplungen den wohl innovativsten Ansatz dar. Im Bereich der technologischen Forschung und Entwicklung werden thermoelektrische Elemente z.B. in Verbindung mit Biomassekessel getestet. Hintergrund ist aufgrund der kleinen Leistungsabgabe entsprechender Elemente beim dezentralen Einsatz aber vorerst nur die Bedeckung des Strombedarfs des Kessels selbst (Steuer- u. Regeltechnik, Brennstoff-Transport-systeme etc.). Im sehr kleinen Leistungsbereich von einigen Watt elektrischer Leistung sind zahlreiche Thermoelemente am Markt erhältlich. Der Wirkungsgrad der Thermoelemente ist von der Temperaturspreizung am Element abhängig und beträgt im Allgemeinen einige wenige Prozent. Anlagen im etwas größeren Maßstab sind ebenfalls Gegenstand laufender Forschungsvorhaben. Ein konkretes Projekt mit dem Titel "Thermoelektrischer Generator zur Ökostromerzeugung bei biomassegefeuerten Energieanlagen" wird zurzeit im nationalen Forschungsprogramm "Energiesysteme der Zukunft" bearbeitet.

Zusammenfassend zeigt sich, dass durch die dokumentierten Skaleneffekte bei den Investitionskosten ein breiter Einsatz von dezentralen Mikro Kraft Wärme Kopplungen nicht wirtschaftlich machbar ist. Unter allen untersuchten Mikro Kraft Wärme Kopplungs-Technologien weisen Gasmotore die besten Wirtschaftlichkeitszahlen auf, siehe auch Abbildung 8.22.

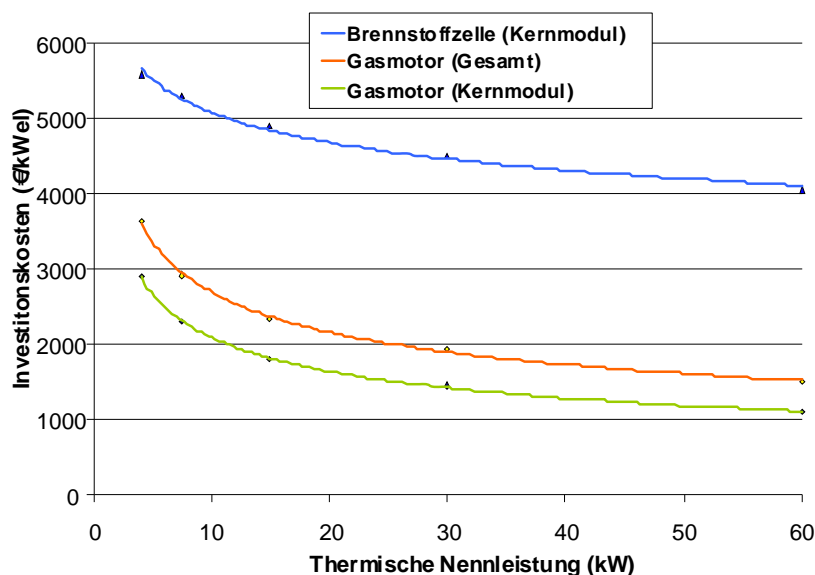


Abbildung 8.22: Investitionskosten von Mikro-KWK-Anlagen.

Quelle: Haas et al. (2008).

Aus strategischer Sicht kommt hinzu, dass in Hinblick auf den Betrachtungszeitraum von Heizen 2050 eine deutliche Senkung des Heizwärmebedarfs der Gebäude zu

erwarten ist, was die erforderlichen Leistungsgrößen bei Mikro Kraft Wärme Kopplungen nochmals reduziert und die Anlagen in unwirtschaftlichere Bereiche bringt. Bei bereits installierten Anlagen ist kritisch anzumerken, dass ein starkes Hemmnis besteht, thermische Gebäudesanierungen durchzuführen. Eine entsprechende Sanierung würde sowohl den thermischen Leistungsbedarf als auch den Energiebedarf reduzieren und würde damit den Interessen durch den Betrieb der Kraft Wärme Kopplung zuwider laufen. Bestehende Mikro Kraft Wärme Kopplungen sind somit mit thermischer Gebäudesanierung nicht vereinbar.

Die neue Errichtung von Mikro Kraft Wärme Kopplungen im Zusammenhang mit Mikro-Wärmenetzen oder Nahwärmenetzen führt auf die Thematik der Zukunft der Wärmenetze zurück, die bereits oben abgehandelt wurde.

Viel versprechende Anwendungsbereiche von dezentralen Mikro Kraft Wärme Kopplungen sind somit große Gebäude, in denen während der Lebensdauer der Kraft Wärme Kopplungsanlage keine thermischen Sanierungen des Gebäudes zu erwarten sind. Typische Anwendungsbereiche sind somit große öffentliche Gebäude, große Gebäude des Dienstleistungsbereiches sowie große Wohngebäude. Neu errichtete oder frisch sanierte Gebäude gewährleisten überdies konstante Rahmenbedingungen über die Lebensdauer der Anlage.

## **8.7 Systeme zur Kühlung und Klimatisierung**

Der Energieverbrauch für die Raumkühlung und Raumklimatisierung wird in den vorliegenden Modellrechnungen von Heizen 2050 nicht dargestellt. Aus diesem Grund werden im Folgenden die wesentlichsten Aspekte zum Thema erörtert.

Unter "Systeme zur Raumkühlung" werden im Weiteren Systeme verstanden, welche ausschließlich den Parameter Raumtemperatur direkt verändern. Im Unterschied dazu sorgen "Klimaanlagen" für ein definiertes Raumklima und beeinflussen direkt die Parameter Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftqualität (letzteres z.B. durch Luftfilterung).

Es werden weiters zentrale Anlagen zur Kühlung und Klimatisierung und dezentrale Anlagen unterschieden. Bei zentralen Anlagen bewerkstelligt ein zentrales Aggregat im (oder am) Gebäude diese Energiedienstleistung, bei dezentralen Anlagen geschieht dies für jeden Raum des Gebäudes extra.

### **8.7.1 Technologische Optionen für die Raumkühlung und -klimatisierung**

Der technologische Status quo bei der Raumkühlung und der Raumklimatisierung ist durch elektrisch betriebene Kompressionskältemaschinen mit Leistungszahlen von 3,5 bis 4 (neue Anlagen) gegeben. Weitere verfügbare Optionen wie thermisch angetriebene Absorptions- u. Adsorptionskältemaschinen sind in diesem Anwendungsgebiet zurzeit kaum vertreten.

Die zuletzt genannten thermisch angetriebenen Kältemaschinentypen eröffnen prinzipiell die Möglichkeit der solaren Kühlung und Klimatisierung. Entsprechende Kältemaschinen sind am Markt verfügbar, fertige Systeme jedoch kaum. Die solarthermische Kühlung kommt wegen der derzeit im Vergleich zu konventionellen Systemen höheren Systemkosten und dem vergleichsweise geringen nachfrage-seitigen Potenzial in Österreich jedoch kaum zur Anwendung. Die technische Funktion wurde in Pilot- und Demonstrationsanlagen nachgewiesen. Solarthermische Kühlung und Klimatisierung wäre aus systemtechnischer Sicht zunächst prädestiniert für den Einsatz in zentralen Anlagen. Prinzipiell sind aber auch dezentrale Einheiten denkbar, welche über ein Wärmeverteilsystem mit solarer Wärme versorgt werden, wobei jedoch die Wirtschaftlichkeit solcher Ansätze kaum gegeben sein dürfte.

### **8.7.2 Aktueller und zukünftiger Bedarf an Raumkühlung und -klimatisierung**

Daten oder Szenarien für den Bereich Klimatisierung in Österreich sind in der Literatur nur in geringer Zahl und ausschließlich als aggregierte Schätzung verfügbar. Wesentliche Quellen für diese Werte sind Blümel et al. (2005) welche im Projekt "COOLSAN – Kältetechnische Sanierungskonzepte für Büro- und Verwaltungsgebäude" einen Szenarienwert für den Energieverbrauch für Klimatisierung im Jahr 2010 nennen und Adnot Jerome et al. (2003), die im Projekt "Energy Efficiency and

Certification of Central Air Conditioners (EECCAC)“ Szenarienwerte bis 2020 anführen.

Angesichts der geringen Anzahl an publizierten Szenarien, aber auch des gering erscheinenden Energiebedarfs für Raumkühlung und –klimatisierung wurden die aggregierten Modellwerte mit einem Bottom-up-Modellansatz verifiziert. Der Bottom-up-Ansatz baut einerseits auf der Einschätzung des Ausstattungsgrades mit Klimaanlage im Jahr 2030 und 2050 und andererseits auf den spezifischen Energieverbräuchen für Klimatisierung auf. Eine entsprechende Methodik sowie entsprechende spezifische Kennzahlen wurden in der aktuellen Schweizer Studie von CEPE (2007) “Der Energieverbrauch der Dienstleistungen und der Landwirtschaft 1990-2035“ zur Abschätzung des zukünftigen Energieverbrauchs für die Klimatisierung herangezogen. In der zitierten Studie wird von einem spezifischen Stromverbrauch für die Teilklimatisierung von  $6,3 \text{ kWh}_{\text{el}}/\text{m}^2\text{a}$  und für die Vollklimatisierung von  $26,7 \text{ kWh}_{\text{el}}/\text{m}^2\text{a}$  ausgegangen. Diese Kennzahlen werden in der Folge zur Kalkulation des Stromverbrauches für Klimatisierung in Österreich verwendet, da sich die klimatischen Randbedingungen der Schweizer Studie auf die österreichischen Verhältnisse übertragen lassen. Der so ermittelte Energiebedarf könnte nach Einschätzung der Autoren als oberer Grenzwert angesehen werden.

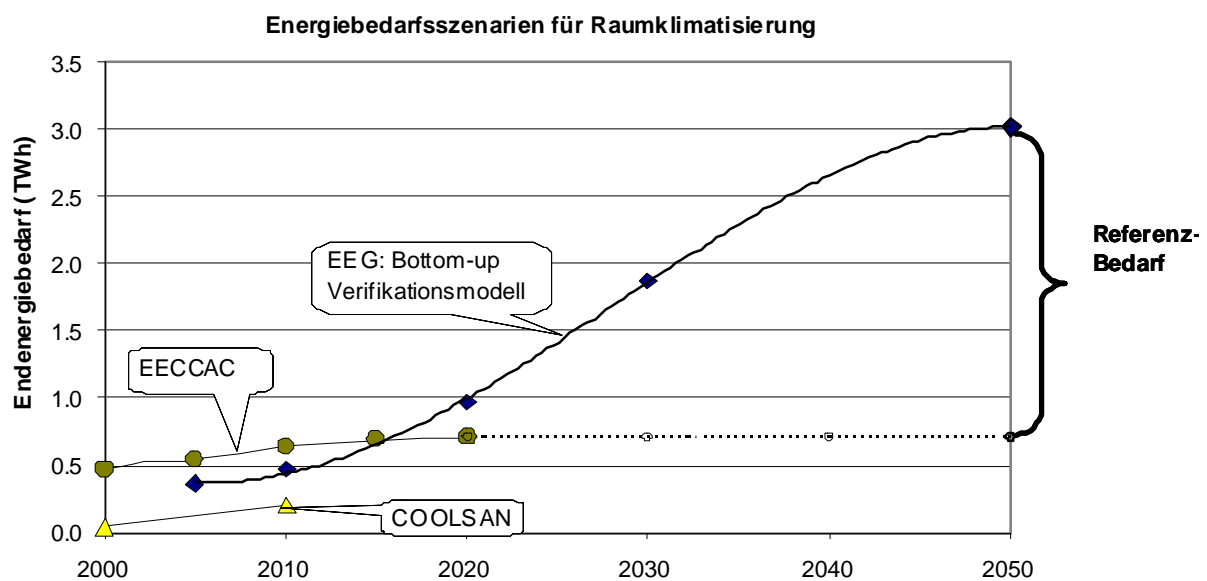


Abbildung 8.23: Energiebedarfsszenarien für Raumklimatisierung.

Quelle: Berechnungen EEG.

Der Erwartungswert des Modells für den Endenergiebedarf für Raumkühlung und Raumklimatisierung in Österreich bis 2050 liegt damit bei ca.  $3 \text{ TWh}_{\text{el}}$ . Der Wert liegt damit deutlich über den Werten der Extrapolation des EECCAC-Szenarios, eine Extrapolation des COOLSAN-Szenarios erscheint hier wegen der geringen Daten nicht sinnvoll. Die als “Referenzbedarf“ ausgewiesene Bandbreite ist somit auch gleichsam die Szenarienbandbreite, in der sich die tatsächlichen Entwicklungen mit hoher Wahrscheinlichkeit bewegen werden.

Die tatsächliche Entwicklung des Endenergiebedarfs für die Raumkühlung und Raumklimatisierung in Österreich wird wesentlich von den zukünftigen normativen Regelungen im Neubau- und Sanierungsbereich abhängen. Zu unterscheiden sind hierbei die zwei großen Gebäudekategorien Wohngebäude und Nicht-Wohngebäude.

Im Bereich der Wohngebäude liegt bei entsprechend gewissenhafter Planung und Dimensionierung von bautechnischen Maßnahmen in Österreich kein Klimatisierungsbedarf vor. Wenn doch, so liegen planerische Mängel im Bereich der Sommertauglichkeit (diese wurde z.B. nicht geprüft), oder sehr spezielle Nutzerbedürfnisse vor. Da sommerliche Überhitzungen vor allem bei Gebäuden mit hohem südseitigem Glasflächenanteil vorkommen, wäre bei entsprechenden Neubauten der Nachweis der Sommertauglichkeit in unterschiedliche energiepolitische Instrumente (z.B. Wohnbauförderung) verbindlich zu integrieren, um die Notwendigkeit von Raumkühlung und –klimatisierung in Zukunft ausschließen zu können. Damit könnte auch eine Haftung der Planer für die Sommertauglichkeit der Projekte etabliert werden.

Im Bereich der Nicht-Wohngebäude müssen die einzelnen Unterkategorien differenziert betrachtet werden. Manche Unterkategorien wie z.B. Spitäler oder spezielle Sportstätten, bedürfen jedenfalls system- oder nutzungsbedingt einer Raumklimatisierung. Andere Unterkategorien wie z.B. Bürogebäude weisen keinen prinzipiellen Klimatisierungsbedarf auf. Hier könnte durch den Einsatz entsprechender energiepolitischer Instrumente ein zukünftiger Kühl- und Klimatisierungsbedarf verhindert werden, da diese Gebäude bei entsprechendem Konzeptdesign und entsprechender Planungsqualität kühllastfrei gestaltet und gebaut werden können. Der Einsatz von wirksamen energiepolitischen Regelungen in diesem Bereich hat in Österreich jedoch keine Tradition und bedarf deshalb auch einer politischen Innovation.

## 9 Literatur

**Adnot et al. (2002)** Energy Efficiency and Certification of Central Air Conditioners (EECCAC), Final report, Study for the D.G. Transportation-Energy (DGTREN) of the Commission of the E.U.

**Arsenal Research Wien (2008)** Prüfergebnisse gemäss EN 14511 und EN 255, Internet [http://www.arsenal.ac.at/products/products\\_en\\_gt\\_wp\\_de.html](http://www.arsenal.ac.at/products/products_en_gt_wp_de.html).

**ASUE (2005)** BHKW-Kenndaten 2005. Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V., Kaiserslautern. <http://www.asue.de/veroff/bhkw/image/BHKW-Kenndaten-2005.pdf>

**Biermayr Peter (1999)** Einflussparameter auf den Energieverbrauch der Haushalte – eine empirisch ökonomische Analyse, Dissertation, Technische Universität Wien, Institut für Energiewirtschaft.

**Biermayr Peter et al. (2004)** Maßnahmen zur Minimierung von Reboundeffekten bei der Sanierung von Wohngebäuden, Endbericht zum gleichlautenden Forschungsprojekt im Rahmen des Impulsprogrammes Nachhaltig Wirtschaften, Programmlinie Haus der Zukunft, im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie.

**Biermayr Peter et al. (2009)** Erneuerbare Energie in Österreich – Marktentwicklung 2008, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Berichte aus Energie- und Umweltforschung, 16/2009.

**Biermayr Peter et al. (2010)** Innovative Energietechnologien in Österreich – Marktentwicklung 2009, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Berichte aus Energie- und Umweltforschung, 15/2010.

**Blümel E., Sumann M., Fink F., Heimrath R., Puschnig P. (2002)** COOLSAN, Kältetechnische Sanierungskonzepte für Büro- und Verwaltungsgebäude, Endbericht zum gleichnamigen Projekt in der Forschungsausschreibung „Haus der Zukunft“ im Auftrag des BMVIT, AEE INTEC, Institut für Nachhaltige Technologien, Gleisdorf.

**Born R., Diefenbach N., Loga T., (2003)** Energieeinsparung durch Verbesserung des Wärmeschutzes und Modernisierung der Heizungsanlage für 31 Musterhäuser der Gebäudetypologie, Endbericht zum gleichnamigen Projekt, Institut für Wohnen und Umwelt GmbH, Darmstadt.

**Egolf P., Gendre F., Kitanovski A., Sari O. (2006)** Machbarkeitsstudie für magnetische Wärmepumpen, Im Auftrag des Bundesamt für Energie, Forschungsprogramm Umgebungswärme, WKK, Kälte, Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen.

**Erb M., Hubacher P., Ehrbar M. (2003)** Feldanalyse von Wärmepumpenanlagen FAWA, Bundesamt für Energie BFE, 3003 Bern.

**ESTTP (2008)** Solar Heating and Cooling for a Sustainable Energy Future in Europe - Vision, Potential, Deployment Roadmap, European Solar Thermal Technology Platform (Ed.), Strategic Research Agenda, Brüssel, 2008.

**Fink et al. (2008)** Solarwärme 2020 - Eine Technologie- und Umsetzungsroadmap für Österreich, Gleisdorf, 2008.

**FJ-BLT (2010)** Heizkesselprüfungen. Franciso Josephinum Biomass Logistic Technology Wieselburg, Juni 2010, <http://blt.josephinum.at/index.php?id=653>

**Forsen M., Nowak T., Ransquin J. (2008)** EHPA – European Heat Pump Association, Outlook 2008.

**Haas Reinhard, Lukas Kranzl, Andreas Müller, Manfred Zotz, Paolo Frankl, Emanuela Menichetti (2008)** Szenarien der gesamtwirtschaftlichen Marktchancen verschiedener Technologielinien im Energiebereich.

- Halozan H. (1998)** Wärmepumpentechnik, Skriptum zur gleichnamigen Vorlesung WS 1998.
- Hansen P. (2009)** Entwicklung eines energetischen Sanierungsmodells für den europäischen Wohngebäudesektor unter dem Aspekt der Erstellung von Szenarien für Energie- und CO<sub>2</sub>-Einsparpotenziale bis 2030. Jülich. ISBN: 978-3-89336-590-6.
- Loga, T., Kahlert, C., Laidig, M., Lude, G. (1999)** Räumlich und zeitlich eingeschränkte Beheizung. Korrekturfaktoren zur Berücksichtigung in stationären Bilanzverfahren, Institut für Wohnen und Umwelt GmbH, Darmstadt.
- Loga T., Born R., Großklos M., Bially M. (2001)** Energiebilanz-Toolbox. Arbeitshilfe und Ergänzungen zum Energiepass Heizung / Warmwasser, Institut für Wohnen und Umwelt GmbH, Darmstadt.
- Loga T., Großklos M., Knissel J. (2003)** Der Einfluss des Gebäudestandards und des Nutzerverhaltens auf die Heizkosten – Konsequenzen für die verbrauchsabhängige Abrechnung. Endbericht zum gleichnamigen Projekt, Institut für Wohnen und Umwelt GmbH, Darmstadt.
- Loga T. (2004)** Die Heizperiodenbilanz im Vergleich zum Monatsbilanzverfahren. Abschätzung der Heizgrenztemperaturen und Bilanzzeiten für das Heizperiodenbilanzverfahren nach EN 832 / DIN V 4108-6, Institut für Wohnen und Umwelt GmbH, Darmstadt.
- Meyer P., Büchler M., Christen K., Waibel A. (1995)** Alterungsverhalten von Bauteilen und Unterhaltungskosten: Grundlagendaten für den Unterhalt und die Erneuerung von Wohnbauten. Impulsprogramm IP Bau, Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern.
- Miara M., Becker R., Russ C. (2007)** Wärmepumpen im Feldtest – Paper zum Monitoringprojekt “Wärmepumpen-Effizienz“ des ISE – Freiburg, KI – Kälte • Luft • Klimatechnik, Seite 24-27, September 2007.
- Moser Wilhelm et al. (2010)** Produktlabel für Biomassekleinfeuerungen. Endbericht des Forschungsprojektes BioHeatLABEL, gefördert aus den Mitteln des Klima- und Energiefonds, durchgeführt im Forschungsprogramm NEUE ENERGIEN 2020.
- Müller A., Kranzl L., Haas R. (2009)** Energieszenarien bis 2020: Wärmebedarf der Kleinverbraucher. Projektendbericht im Rahmen der Erstellung von energiewirtschaftlichen Inputparametern und Szenarien zur Erfüllung der Berichtspflichten des Monitoring Mechanisms.
- Pehnt M., Praetorius B., Schumacher K., Fischer C., Schneider L., Cames M., Voß J.P. (2004)** Micro CHP – a sustainable innovation?, Discussion Paper, Berlin/Heidelberg, [http://www.tips-project.de/DOWNLOAD/Graz\\_Innovation\\_Micro\\_CHP.pdf](http://www.tips-project.de/DOWNLOAD/Graz_Innovation_Micro_CHP.pdf)
- Polysun 4.3 (2008)** Modell zur Simulation von Solar-, Wärmepumpen- sowie Photovoltaik-Systemen, <http://www.velasolaris.com/>.
- Rieberer R., Moser H., Halozan H. (2007)** Wärmepumpentechnik, Skriptum zur gleichnamigen Vorlesung 307.052.
- Schneider L. (2004)** Ökoenthusiasmus oder lukrativer Nebenverdienst? Wirtschaftlichkeit der Mikro-KWK. Vortrag bei den Berliner Energietage, 17. Mai 2004.
- Schriefl Ernst (2007)** Modellierung der Entwicklung von Treibhausgasemissionen und Energieverbrauch für Raumwärme und Warmwasser im österreichischen Wohngebäudebestand unter der Annahme verschiedener Optimierungsziele, Dissertation, Technische Universität Wien, Institut für elektrische Anlagen und Energiewirtschaft, Energy Economics Group.
- Schwarz Markus (2007)** Aktuelle Erkenntnisse zur Emission von Feinstaub aus Pelletheizungen. Kurzbericht des Austrian Bioenergy Centre.



- Simader G., Ritter H., Benke G., Pinter H. (2004)** Mikro- und Mini-KWK-Anlagen in Österreich. Energieverwertungsagentur – the Austrian Energy Agency (AEA), Wien.
- Steinborn, F. (2002)** Auslegung von Brennstoffzellen-Blockheizkraftwerken. In: [www.bhkw-info.de/brennstoffzellen/tagung/vortrag\\_11.pdf](http://www.bhkw-info.de/brennstoffzellen/tagung/vortrag_11.pdf).
- Steiner U., Stawiarski K.H., Kirchsteiner W., Falk A. (2003)** Wärmepumpe, Beratungsordner mit Präsentationen, Fachinformationen und Serviceteil, PinguinDruck GmbH.
- Stockinger H., Obernberger I. (1998)** Systemanalyse der Nahwärmeversorgung mit Biomasse. Abteilung für Grundlagen am Institut für Verfahrenstechnik, Technische Universität Graz. Schriftenreihe Thermische Biomassenutzung, Band 2 dbv-Verlag, Graz.
- Streicher W., Fink C., Riva R., Heimrath R., Heinz A., Kaufmann H., Purkarthofer G. (2002)** Solarunterstützte Wärmenetze, Endbericht zum gleichnamigen Projekt in der Forschungsausschreibung „Haus der Zukunft“ im Auftrag des BMVIT Institut für Wärmetechnik, TU Graz.
- Umweltbundesamt (2004)** Emissionsfaktoren als Grundlage für die österreichische Luftschadstoff-Inventur. Berichte BE-254, Wien 2004.
- Umweltbundesamt (2006)** Schwebestaub in Österreich. Fachgrundlagen für eine kohärente österreichische Strategie zur Verminderung der Schwebestaubbelastung. Bericht BE-277, Wien, Februar 2006
- Weiss Werner, Biermayr Peter (2009)** Potential for Solar Thermal in Europe, Studie im Auftrag der European Solar Thermal Industry Federation ESTIF, Brüssel, 2009.
- Winter W., Obernberger I. (2002)** Netzberechnungsprogramm zur optimierten Dimensionierung und integrativen Berechnung von kleineren und mittleren unvermaschten Biomassenahwärmenetzen, Arbeitsbericht, <http://www.bios-bioenergy.at/uploads/media/Paper-Winter-Rdesign-2002-09-20.pdf>.
- WPZ Wärmepumpen-Testzentrum Töss (2008)** Prüfergebnisse gemäss EN 14511 und EN 255, Internet <http://www.ntb.ch/3895.html>.