

Da die Datenbasis insbesondere von Feldmessergebnissen bei Holzpelletkesseln gering ist, wurde eine Studie initiiert, deren Ziele und erste Ergebnisse vorgestellt werden. Die Studie wird in der zweiten Jahreshälfte 2008 abgeschlossen. Anhand einer Systemuntersuchung und Messungen an Holzpelletkesseln, Heizöl- und Erdgas-Brennwertkesseln für Wohngebäude wird der heutige Stand der Technik aufgezeigt. Bei der Nutzung von Holzpellets werden die Brennstoffqualität, Schadstoffemissionen und Wirkungsgrade analysiert.

Die Motivation zu diesem Projekt ist die immer stärker werdende Bedeutung des Einsatzes regenerativer Wärmetechniken im privaten Wohnungsbau. Im Jahr 2006 wurden rund 660 000 Heizkessel neu verkauft. Davon waren etwa 55 000 Holzkessel, darunter 26 000 Pelletkessel. Im Rahmen der Studie wird eine Systemanalyse für

## Systemuntersuchung an Heizungsanlagen

Holzpelletkessel, Heizöl-Brennwert- und Erdgas-Brennwertkessel im Vergleich

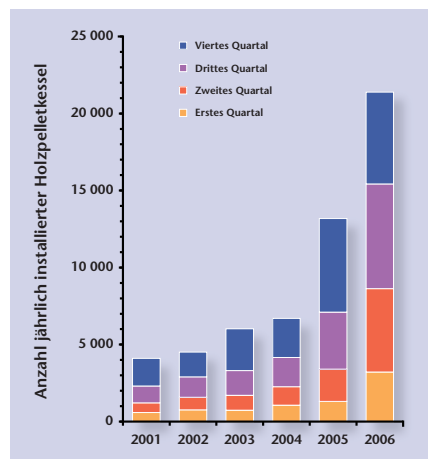


Bild 1

Anzahl der pro Jahr in Deutschland im Rahmen des Marktanreizprogrammes geförderten Pelletheizungen in den Jahren 2001 bis 2006.

Holzpelletkessel, Heizöl-Extra-Leicht-(EL-)Brennwert- sowie Erdgas-Brennwertkessel durchgeführt. Dabei liegt der Schwerpunkt der Untersuchungen bei gasförmigen und festen Emissionen, Jahresnutzungsgraden, Systemkosten und der Kundenzufriedenheit. Ziel ist vor allem eine verbesserte Analyse und Bewertung der Holzpellet-Technologie im kleinen Leistungsbereich von etwa 8 bis 25 kW Leistung. Typischer Anwendungsbereich ist die Beheizung von Ein- und Zweifamilienhäusern.

### Marktsituation

Insgesamt gab es im Jahr 2006 nach einer Erhebung des Schornsteinfegerhandwerkes in Deutschland etwa 16,5 Millionen Feuerstätten zur Wärmeherzeugung im häuslichen Bereich. Diese beinhalten rund 8,2 Millionen Gas- und 6,8 Millionen Ölfeuerstätten. Die Preise

### Autoren

Dipl.-Ing. **Matthias Gaderer**, Jahrgang 1968, Studium der Verfahrenstechnik an der TU Graz, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Arbeitsgruppe Biomasse der Abteilung Technik für Energiesysteme und erneuerbare Energien beim Bayerischen Zentrum für angewandte Energieforschung e.V. (ZAE Bayern), Garching.

Gaderer@muc.zae-bayern.de

Dipl.-Ing. **Robert Kunde**, Jahrgang 1975, Studium des Maschinenbaus an der TU München, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Arbeitsgruppe Biomasse der Abteilung Technik für Energiesysteme und erneuerbare Energien beim ZAE Bayern.

Prof. Dr.-Ing. **Hartmut Spliethoff**, Jahrgang 1960, Studium des Maschinenbaus in Kaiserslautern und Stuttgart, Promotion und Habilitation an der Universität Stuttgart, ist zurzeit wissenschaftlicher Leiter und Vorstand des ZAE Bayern sowie Inhaber des Lehrstuhls für Energiesysteme der Fakultät Maschinenwesen an der TU München.

für fossile Brennstoffe sind seit dem Jahr 2000 signifikant gestiegen. So verteuerte sich der Gaspreis in diesem Zeitraum um etwa 70 % [1]. Der Einsatz alternativer Brennstoffe wird daher immer interessanter. Seit Mitte der 90er Jahre sind Holzpellets in Deutschland als Regelbrennstoff zugelassen, wodurch der Einsatz von Holzpellettheizungen möglich wurde. Bisher spielen Pellettheizungen mit derzeit rund 57 000 Stück (0,35 % der installierten Feuerstätten) nur eine untergeordnete Rolle. Die Nachfrage nach Pellettheizungen stieg von 2001 bis Ende 2006 kontinuierlich an, wie die Anzahl der beim BAFA [2] eingegangenen Förderanträge für Pellettheizungen verdeutlicht (**Bild 1**). Insgesamt wurde seit 2001 rund 1 Mrd. € in Pellettheizungen investiert [3].

Nach einer Marktanalyse [4] ging der Absatz in der Heizungsbranche in der ersten Hälfte 2007 um 23 % zurück. Davon betroffen sind Erdgaskessel und Erdgasbrennwertkessel mit einem Rückgang von 29 %, Ölkessel mit einem Rückgang von 3 % und Biomassekessel mit einem Minus von 67 %, und auch bei der Solarthermie erfolgte ein Rückgang um 24 %. Lediglich Elektrowärmepumpen konnten mit +30 % eine positive Marktentwicklung erzielen. Der Markteinbruch war vor allem das Resultat der starken Preisanstiege bei den Brennstoffen in den Jahren 2006 und 2007. Insbesondere die Holzpelletpreise stiegen in diesem Zeitraum je nach Region um 30 bis 40 %, während der Gaspreis nur um etwa 10 % anstieg [1]. Mittlerweile sind die Preise für Holzpellets zwar wieder gesunken, trotzdem reagierte die Politik auf diesen Markteinbruch mit einer Verdopplung der Förderung des Einsatzes von Biomasse-Heizungsanlagen auf 1500 € pro Pelletkessel im Rahmen des BAFA-Marktanreizprogramms.

Baden-Württemberg legte im Juli 2007 als erstes Bundesland einen Entwurf für ein Erneuerbare-Wärme-Gesetz (EWärmeG) vor [5]. Das Gesetz soll 2008 in Kraft treten und für einen verstärkten Einsatz erneuerbarer Energien auf dem Wärmemarkt für Wohngebäude sorgen. Es ist vorgesehen, den Anteil erneuerbarer Energien im Neubaubereich auf 20 % festzuschreiben, im Altbestand sollen ab 2010 10 % der zur Beheizung notwendigen Wärme regenerativ bereitgestellt werden.

## Brennstoffqualitäten

Die Vorgaben und Einhaltung der Brennstoffqualitäten sind für alle Brennstoffe die Basis für niedrige Schad-

Eigenschaft		DIN 51731	Ö-Norm M 7135	DINplus
Länge	[cm]	< 5	≤ 5 · d	≤ 5 · d
Durchmesser	[mm]	4 bis 10	4 bis 10	4 bis 10
Dichte	[g/cm <sup>3</sup> ]	1,0 bis 1,4	≥ 1,12	≥ 1,12
Heizwert <sup>1)</sup>	[kWh/kg]	4,9 bis 5,4	≥ 5	≥ 5
Wassergehalt	[%]	≤ 12	≤ 10	≤ 10
Aschegehalt	[%]	≤ 1,5	≤ 0,5	≤ 0,5
Schüttgewicht	[kg/m <sup>3</sup> ]	650	650	–
Presshilfs-/Bindemittel	[%]	keine	≤ 2	≤ 2
Stickstoffgehalt	[%]	≤ 0,30	≤ 0,30	≤ 0,30
Chlorgehalt	[%]	≤ 0,03	≤ 0,02	≤ 0,02
Schwefelgehalt	[%]	≤ 0,08	≤ 0,04	≤ 0,04
Abrieb	[%]	–	≤ 2,3	2,3

<sup>1)</sup> bezogen auf die Trockenmasse

stoffemissionen, zuverlässigen Anlagenbetrieb und gute Wirkungsgrade bei der Verbrennung.

## Erdgas

Aufgrund der verschiedenen Bezugsquellen werden Erdgase mit unterschiedlichen Gasbeschaffenheiten über die Gasnetze verteilt. Für Deutschland sind die Bandbreiten der Gase im DVGW-Arbeitsblatt G 260 „Gasbeschaffenheit“ festgeschrieben (Wobbe-Index, Brennwert, relative Dichte) [6]. Methanhaltige Gase sind danach in die Gruppe H mit dem Wobbe-Index-Bereich von 12,8 bis 15,7 kWh/m<sup>3</sup> (Nennwert 15,0 kWh/m<sup>3</sup>) und in die Gruppe L mit dem Wobbe-Index-Bereich von 10,5 bis 13,0 kWh/m<sup>3</sup> (Nennwert: 12,4 kWh/m<sup>3</sup>) eingeteilt. In örtlichen Versorgungsgebieten darf der Wobbe-Index im Erdgas-L-Gebiet um +0,6 kWh/m<sup>3</sup> und im Erdgas-H-Gebiet um +0,7 kWh/m<sup>3</sup> nach oben und in beiden Gebieten um –1,4 kWh/m<sup>3</sup> nach unten abweichen.

## Heizöl-EL

Für Heizöl gelten Mindestanforderungen nach DIN 51603. Von Interesse sind insbesondere der Schwefelgehalt, der Heizwert, das Kälteverhalten, der Koksrückstand und Ascheanteil. Heizöl EL wird je nach Schwefelgehalt in unterschiedlichen Qualitäten angeboten:

- Heizöl EL Standard, mit einem Schwefelgehalt von mehr als 50 bis maximal 2000 mg/kg,
  - Heizöl EL schwefelreduziert, mit einem Schwefelgehalt von mehr als 50 bis maximal 500 mg/kg,
  - Heizöl EL schwefelarm, mit einem Schwefelgehalt unterhalb von 50 mg/kg.
- Für Brennwertgeräte wird schwefelarmes Heizöl empfohlen. Gründe dafür sind die geringeren Schwefelemissionen im Abgas und Kondensat sowie geringe-

Tabelle 1

## Qualitätsanforderungen an Holzpellets.

re Korrosion in der Brennwertanlage. Das Kondensat von Heizöl-EL-Brennwertkesseln hat je nach Schwefelgehalt des Heizöls einen pH-Wert von 1,8 (Heizöl EL Standard mit 2000 mg/kg) bis 4,5 (Heizöl EL schwefelarm). Bei schwefelarmem Heizöl ist der pH-Wert ähnlich dem des Kondensats von Gas-Brennwertkesseln [7]. Der pH-Wert des Kondensats aus Holzfeuerungen liegt im Vergleich je nach Chlorgehalt im Holz üblicherweise bei Werten zwischen 5 und 8. Gemäß Arbeitsblatt ATV-DVWK-A 251 „Kondensate aus Brennwertkesseln“ ist bei Verwendung von Erdgas, schwefelarmem Heizöl und Holzpellets bis 200 kW Kessel-Nennwärmeleistung in der Regel eine Neutralisation des Kondensats nicht erforderlich [8; 9].

## Holzpellets

Holzpellets sind ebenfalls als genormter Brennstoff erhältlich. Als Grundlage dienen die Normen Ö-Norm M 7135, DIN 51731 und prCEN/TS 14961 [10 bis 12]. Genormt sind beispielsweise Größe, Zusammensetzung, Zuschlagsstoffe, Heizwert und Festigkeit. Darüber hinaus enthalten die Normen auch Richtlinien zur selbstverantwortlichen und betriebsinternen Qualitätssicherung.

Über die Normkriterien hinausgehende Qualitäten können mit Zertifizierungs- und Verbandszeichen sowie Gütesiegeln versehen werden, die jedoch nicht verpflichtend vorgeschrieben sind. Hier ist vor allem das deutsche DINplus Zertifikat der DIN Certco GmbH zu nennen. DINplus stellt dabei keine DIN-Norm dar, sondern ein so genanntes Zertifizierungsprogramm. Das seit 2002 existierende Zertifikat DINplus verbind-

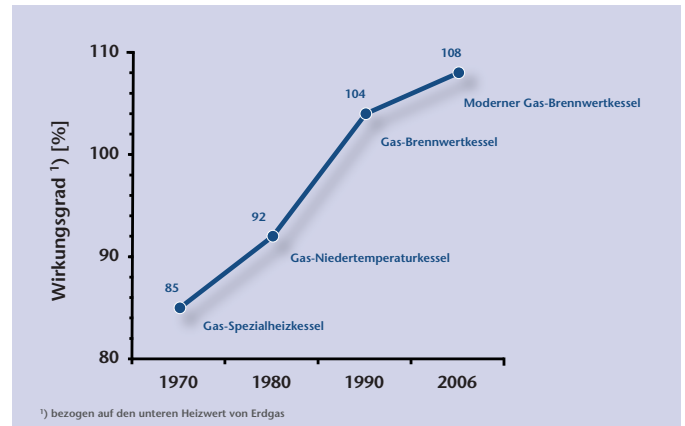
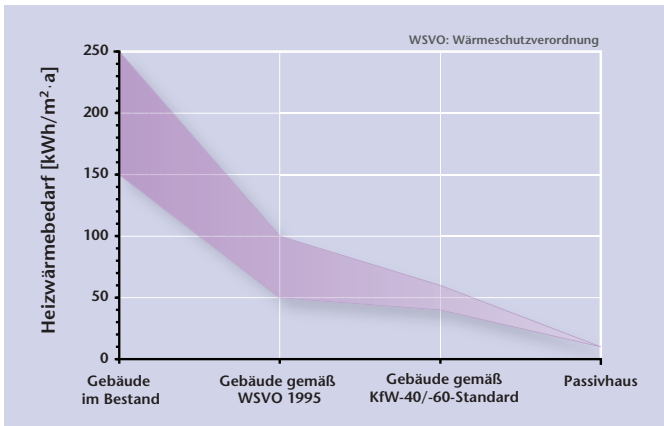


Bild 2

### Entwicklung des Wärmeverbrauchs bei Wohngebäuden.

det Inhalte der DIN 51731 und der Ö-Norm M 7135. Bei DINplus sind Qualitätskriterien enthalten, die über die Forderungen der DIN 51731 hinausgehen und die im Wesentlichen aus der Ö-Norm M 7135 stammen. Die verschiedenen Anforderungen an die Pellets sind in **Tabelle 1** vergleichend dargestellt.

Naturgemäß sind bei Festbrennstoffen größere Schwankungsbreiten in der Qualität zu erwarten. Im Rahmen der Studie werden daher zu Beginn und gegen Ende der Heizperiode Pelletproben aus Pelletlagern bei Endnutzern entnommen und auf Veränderungen hin untersucht.

### Gerätetechnik

Neben der Brennstoffqualität spielt auch die Feuerungstechnik hinsichtlich des Emissionsverhaltens eine signifikante Rolle. Für einen effizienten und damit umweltfreundlichen Endenergieeinsatz ist der Jahresnutzungsgrad eine entscheidende Größe zur Charakterisierung einer Heizungsanlage. Da der Energiebedarf zur Beheizung der Wohngebäude mit zunehmendem Wärmeschutz sinkt, reichen heute zur Beheizung eines Niedrigenergiehauses je nach Gebäudestandard Leistungen von 20 bis 50 W/m<sup>2</sup> (**Bild 2**).

### Erdgas-Brennwertkessel

Die Verfügbarkeit von Erdgas in Deutschland ab Mitte der 60er führte zu einer intensiven Weiter- und Neuentwicklung von Gasgeräten zur Wärmezeugung für die Heizung und Warmwasserbereitung. Die Heizgeräteindustrie entwickelte für den Einsatz von Erdgas neben den bis dahin vorhandenen Gas-Spezialheizkesseln effizientere und umweltverträgliche Gas-Niedertemperaturkessel und Gas-Brennwertkessel. Dies

führte zu steigenden Kessel-Wirkungsgraden und geringen Emissionen (**Bild 3**).

Erdgas-Brennwertkessel sind heute Stand der Technik und können überall dort effizient eingesetzt werden, wo eine Niedertemperaturheizung vorhanden ist. Der Wasserdampftaupunkt im Abgas von Gasfeuerungen beträgt etwa 57 °C. Die Brennwerttechnik ermöglicht bei Unterschreitung der Taupunkttemperatur die zusätzliche Nutzung der Kondensationswärme. Dadurch ist ein Wirkungsgrad bis 108 % bezogen auf den unteren Heizwert erreichbar [7].

Die Möglichkeit, die Feuerung in Teillast betreiben zu können, ist von Bedeutung für einen hohen Jahresnutzungsgrad. Durch den Teillastbetrieb werden Stillstandszeiten und Taktbetriebe, die mit Stillstands- und Bereitschaftsverlusten verbunden sind, reduziert. Gas-Brennwertgeräte können zwischen 30 % und 100 % Last betrieben werden, wodurch sich hohe Jahresnutzungsgrade ergeben. Ein Pufferspeicher zum Lastausgleich ist nicht erforderlich. In Einfamilienhäusern können an der Wand installierte Erdgas-Brennwertkessel mit kurzen Abgasleitungswegen realisiert werden. Die Abgastemperatur eines Erdgas-Brennwertgerätes liegt unter 50 °C, so dass in der Regel kostengünstige Abgasleitungen aus Kunststoff installiert werden können.

Bild 3

### Entwicklung des Wirkungsgrades bei Gasheizgeräten.

### Heizöl-EL-Brennwertkessel

Heizöl-EL-Brennwertkessel sind erst seit wenigen Jahren zu marktgerechten Preisen erhältlich. Haupthindernis für eine frühere Einführung war der vergleichsweise hohe Schwefelgehalt im Heizöl. Erst schwefelarmes Heizöl ermöglichte eine Brennwertnutzung. Zusätzlich förderte der zeitweise sehr hohe Heizölpreis die Einführung der Brennwertnutzung. Der Wasserdampftaupunkt im Abgas von Ölfeuerungen beträgt aufgrund des geringeren Wasserstoffgehalts im Brennstoff und des höheren CO<sub>2</sub>-Gehalts im Abgas etwa 47 °C. Im Vergleich zu Gasfeuerungen sind mit dieser Technologie etwas geringere Wirkungsgrade bis 104 % erreichbar. Die Gerätetechnik ist der Technik der Erdgas-Brennwertgeräte sehr ähnlich. Aufgrund des Schwefels sind Korrosionsprobleme bei der Brennwertnutzung jedoch kritischer im Vergleich zu Erdgas. Im Flammenbereich kam es in der Vergangenheit bei der Verwendung von schwefelarmen Heizöl manchmal zu einer speziellen Form der Hochtemperaturkorrosion („Metal Dusting“). Heizöl-EL-Brenner mussten daher in der Vergangenheit für schwefelarmes Heizöl freigegeben sein. Mittlerweile wird schwefelarmes Heizöl für alle Ölheizkessel und Ölbrenner von den Herstellern als geeignet eingestuft.

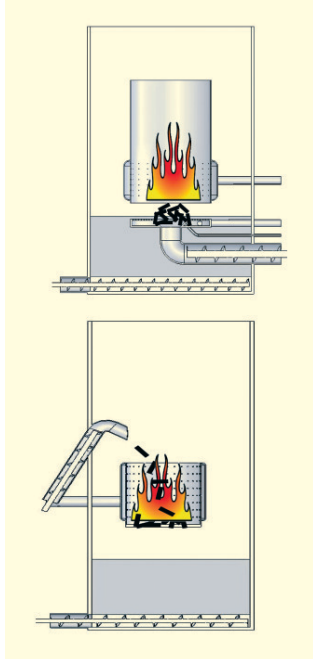
**Wir vermieten Dampfessel**

mit Leistungen bis 28,0 t/h bzw. 20,0 MW zur zeitweisen Dampf- oder Heißwasserversorgung.

**Fordern Sie unsere Informationsschrift F an!**

**STÖCKEL** Dampfesselvermietung seit 1894

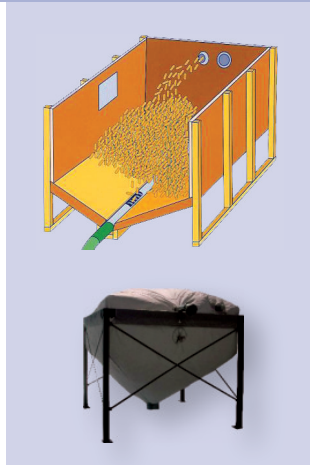
Gebrüder Stöckel, Pf. 11 05 32, D-64220 Darmstadt  
 Telefon (0 61 51) 89 17 61, Fax (0 61 51) 89 55 56  
 oder im Internet unter [www.stoeckel-dampf.de](http://www.stoeckel-dampf.de)



**Bild 4**  
**Unterschub- (oben) und Abwurfheizung (rechts) für Holzpellets.**

## Holzpelletkessel

Mit Pellet-Zentralheizungskesseln kann der Wärmebedarf von Wohnhäusern sowie größeren Gebäuden heute problemlos gedeckt werden. Zu einer vollständigen Pellet-Zentralheizungsanlage gehören Brennstofflager, Brennstoffzuführung, Pelletkessel und eine Abgasanlage. Zusätzlich werden Pufferspeicher empfohlen, um die Betriebszeit der Feuerung im Teillastbereich zu verringern. Üblich sind Pellet-Zentralheizungsanlagen, die automatisch aus einem Pelletlagerraum mit Holzpellets versorgt werden. Der Brennstofftransport erfolgt bedarfsgerecht durch eine Schnecke oder mittels einer Pelletansaugung. Die meisten Holzpelletkessel können ebenfalls zwischen 30 % Teillast und Volllast betrieben werden. Das Emissionsverhalten im Teillastbereich hat sich in den letzten Jahren deutlich verbessert, so dass heutige Kessel in Teillast ähnliche niedrige Emissionen wie unter Volllast erzielen. Ähnlich der Brennwerttechnik bei Gasfeuerungen ist die Kondensation des Wasserdampfes im Abgas für Pelletfeuerungen ab etwa 10 kW Leistung mittlerweile verfügbar. Dazu liegen jedoch noch keine umfangreichen Erfahrungen vor. Der Kesselwirkungsgrad kann bei Holzpellets mit Abgaskondensation von etwa 90 auf bis zu 103 % gesteigert werden. Zusätzlich erhofft man sich mit der Abgaskondensation eine teilweise Reduktion von Staubemissionen. Für den Schornstein sind aber bei Holzpellets zwingend Edelstahl- oder Schamottwerkstoffe erforderlich.



**Bild 5**  
**Pelletlager in einem bereits vorhandenen Raum (oben) oder Pellet-Sacksilo (unten).**

Die Feuerungstechnik kann man unterscheiden in Unterschub-, Seiteneinschub- und Abwurfheizung, wobei Unterschub- und Abwurfheizungen einen Marktanteil von über 80 % haben. Bei einer Unterschubheizung werden die Pellets mit einer Förderschnecke von unten in eine Feuermulde (Retorte) transportiert. Bei der Abwurfheizung erfolgt die Brennstoffzufuhr auf das Brennstoff- bzw. Glutbett von oben (Bild 4).

Zur Lagerung von Holzpellets sind unterschiedliche Systeme verfügbar. Im Gebäudebestand wird häufig der ehemalige Öllagerraum umgebaut und den Anforderungen entsprechend gestaltet. Einfachere Systeme sind Sacksilos (Bild 5). Nach der FeuV [13] dürfen Holzbrennstoffe bis 15 t im Aufstellraum des Pelletkessels gelagert werden, wenn die installierte Kesselleistung unter 50 kW liegt. Da von Holzpellets keine Gefahr für die Umwelt ausgeht, bestehen keine

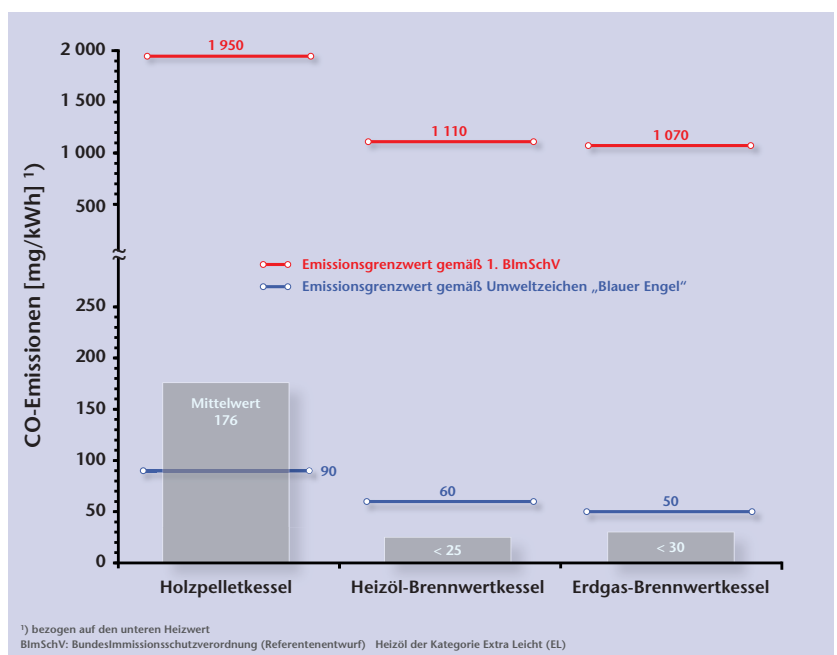
umweltrelevanten Lagerungsvorschriften, beispielsweise in Bezug auf wasserrechtliche Belange.

## Wärmespeicher (Pufferspeicher)

Um Teillastzustände- und Ein-Aus-Taktungen zu reduzieren, können Wärmespeicher eingesetzt werden. Da Heizungsanlagen möglichst günstig errichtet werden sollen, ist der Einbau eines Wärmespeichers aus Sicht der Kunden ein Nachteil. Denn aufgrund der vergleichsweise hohen Anschaffungspreise für Pelletkessel wirkt sich ein zusätzlicher Pufferspeicher wirtschaftlich ungünstig aus. Aus rein technischer Sicht ist die Einbindung eines Pufferspeichers allerdings sinnvoll. Mit einem Pufferspeicher sind weniger Brennerstarts erforderlich, die sich sowohl auf Brennstoffverbrauch (Nutzungsgrad), Emissionsniveau (An- und Abschaltvorgänge mit hohen Emissionen) und auch auf die Lebensdauer des Kessels positiv auswirken. Außerhalb der Heizperiode wird der Pelletkessel in der Regel einmal täglich zum Aufheizen des Warmwasserspei-

**Bild 6**

**Vergleich der CO-Prüfstandsemissionen mit Grenzwerten gemäß Umweltzeichen „Blauer Engel“ und Referentenentwurf der 1. BImSchV. Mittelwerte aus Prüfstandsmessungen für Pelletkessel [15], Heizöl-EL- [18; 20] und Erdgas-Brennwertkessel [17].**



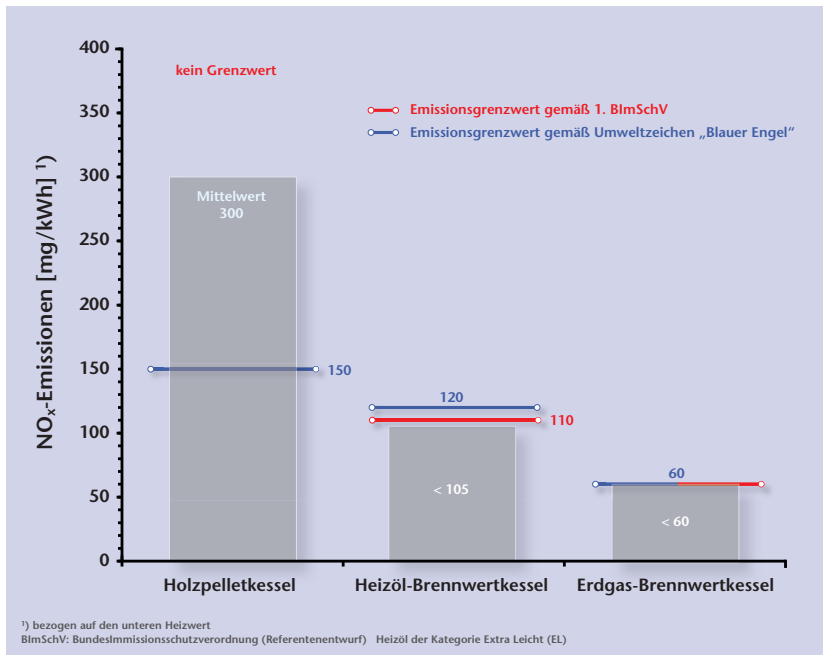


Bild 7

Vergleich der NO<sub>x</sub>-Prüfstandemissionen mit Grenzwerten gemäß Umweltzeichen „Blauer Engel“ und Referentenentwurf der 1. BImSchV. Mittelwerte aus Prüfstandsmessungen für Pelletkessel [15], Heizöl-EL- [18; 20] und Erdgas-Brennwertkessel [17].

Bild 8

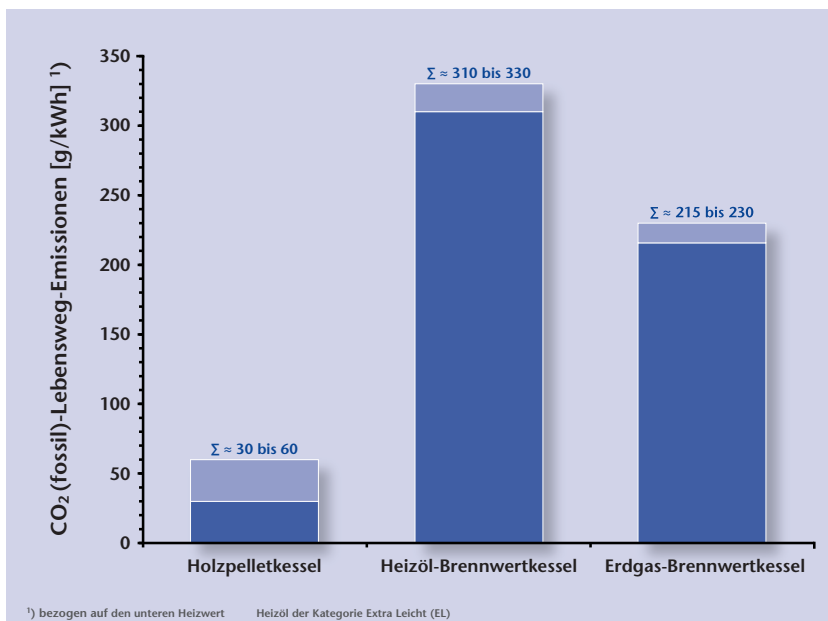
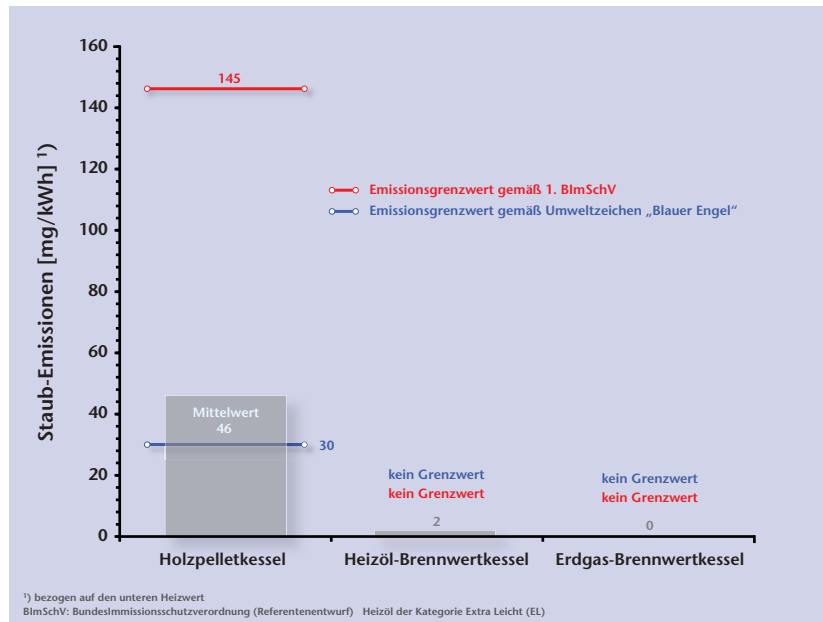
Vergleich der Staub-Prüfstandemissionen mit Grenzwerten gemäß Umweltzeichen „Blauer Engel“ und Referentenentwurf der 1. BImSchV. Mittelwerte aus Prüfstandsmessungen für Pelletkessel [15] und Heizöl-EL-Brennwertkessel [16].

chers eingeschaltet. Bei Einbindung einer solarthermischen Anlage ist ein Pufferspeicher zumindest für die solare Wärmespeicherung obligatorisch.

## Schadstoffemissionen

Die zulässigen Emissionsgrenzwerte für Kleinf Feuerungsanlagen und deren Überwachung sind in der 1. BImSchV [14] geregelt, die derzeit novelliert wird und in neuer Fassung voraussichtlich Mitte 2008 in Kraft tritt. Der bisher vorliegende Referentenentwurf sieht vor, dass die Grenze für die Durchführung der wiederkehrenden Überprüfung von 15 auf 4 kW gesenkt wird. Der Überwachungszeitraum wird bei Gasgeräten auf drei Jahre vergrößert, während er bei Pelletheizungen ein Jahr beträgt.

Heizkessel werden von den einzelnen Herstellern und von verschiedenen Prüf-



instituten an Prüfständen vermessen. In den **Bildern 6 bis 8** sind die Mittelwerte aller Vollast-Prüfstandwerte der Pelletkessel von 15 bis 30 kW aus der Marktübersicht Pelletheizungen [15] dargestellt. Neben Prüfstandsmessungen sind jedoch die Emissionen an Bestandsanlagen für eine Beurteilung des Einflusses unterschiedlicher Feuerungssysteme auf die Umwelt von Interesse. Bislang ist die Datenbasis von Feldmessun-

Bild 9

CO<sub>2</sub> (fossil)-Lebensweg-Emissionen der Energieträger, bezogen auf die eingesetzte Brennstoffenergie, eigene Berechnungen und [22].

Kenndaten für den Systemvergleich		
Typ	[-]	Einfamilienhaus
Verbrauchsklasse	[-]	Niedrigenergie
Heizflächen	[-]	Fußbodenheizung
Wohnfläche	[m <sup>2</sup> ]	125
Bewohnerzahl	[-]	2 Erwachsene plus Kind
Warmwasserbedarf	[kWh/a]	1 895
Heizwärmebedarf	[kWh/a]	10 000
– spezifisch	[kWh/(m <sup>2</sup> a)]	80
<b>Gesamtwärmebedarf</b>	<b>[kWh/a]</b>	<b>11 895</b>

gen insbesondere für Pelletheizungen ungenügend. Das ZAE Bayern führt deswegen in der Heizperiode 2007/08 Emissionsmessungen an Bestandsanlagen durch, die die Erkenntnisse aus bisherigen Arbeiten [16] erweitern sollen.

### CO-Emissionen

Die schadstoffarme Verbrennung mit modernen Erdgas-Vormischbrennern und Ölbrennern sorgt dafür, dass die CO-Emissionen von Erdgas- und Heizöl-EL-Brennwertgeräten unter 50 mg/kWh Brennstoff liegen [17; 18] und damit die Grenzwerte aller bestehenden Vorschriften unterschreiten (z. B. Umweltzeichen „Blauer Engel“, Bild 6 [15; 17 bis 20]). Auch die CO-Emissionen moderner Holzpelletkessel liegen heute bei Volllast am Prüfstand zu über 70 % unter 150 mg/kWh Brennstoff, gute Pelletkessel erreichen auch geringere Emissionen [15]. An fünf Pelletkesseln im Betrieb (keine Prüfstandsbedingungen) wurden vom ZAE Bayern bisher CO-Emissionen ermittelt. Die CO-Emissionen lagen bei Volllastbetriebszuständen zwischen 25 und 2 450 mg/kWh Brennstoff [16]. In der kommenden Heizperiode 2007/08 werden weitere Emissionsmessungen an Pelletkesseln durchgeführt. Die Ergebnisse werden voraussichtlich in der zweiten Jahreshälfte 2008 vorliegen.

### NO<sub>x</sub>-Emissionen

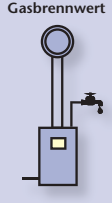
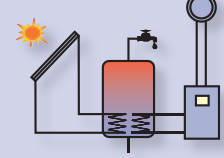
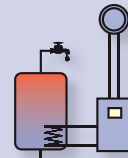
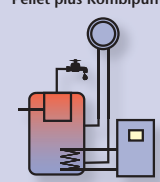
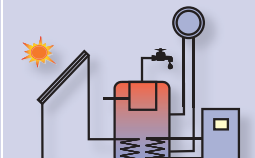
Stickoxidemissionen werden unter dem Begriff NO<sub>x</sub> zusammengefasst. Bei Strahlungsbrennern moderner Gas-Brennwertkessel wird ein hoher Anteil der entstehenden Wärme durch Infrarot-Wärmestrahlung aus der Reaktionszone abgeführt, wodurch die thermische NO<sub>x</sub>-Bildung maßgeblich gesenkt werden kann. Da im Heizöl und im Holz im Vergleich zu Erdgas mehr Stickstoff enthalten ist, kommt es bei der Verbrennung zu vergleichsweise höheren NO<sub>x</sub>-Emissionen. Ein Vergleich ist in Bild 7 dargestellt [15; 17; 18; 20].

**Tabelle 2**

**Randbedingungen des für den Systemvergleich zugrunde gelegten Gebäudes.**

**Tabelle 3**

**Technische Daten der betrachteten Heizsysteme.**

Heizungssystem		Kenndaten
GBW	 <p>Gasbrennwert</p>	<input type="checkbox"/> 8 kW Heizleistung <input type="checkbox"/> 98 % Kesselnutzungsgrad
GBWS	 <p>Gasbrennwert plus Solar</p>	<input type="checkbox"/> 8 kW Heizleistung <input type="checkbox"/> 4 m <sup>2</sup> Flachkollektoren <sup>1)</sup> <input type="checkbox"/> 98 % Kesselnutzungsgrad
HELBW	 <p>Heizöl-EL-Brennwert</p>	<input type="checkbox"/> 8 kW Heizleistung <input type="checkbox"/> Brauchwasserspeicher <input type="checkbox"/> 95 % Kesselnutzungsgrad
HP	 <p>Pellet plus Kombipuffer</p>	<input type="checkbox"/> 8 kW Heizleistung <input type="checkbox"/> 750-Liter-Pufferspeicher <input type="checkbox"/> 85 % Kesselnutzungsgrad
HPS	 <p>Pellet plus Kombipuffer plus Solar</p>	<input type="checkbox"/> 8 kW Heizleistung <input type="checkbox"/> 4 m <sup>2</sup> Flachkollektoren <sup>1)</sup> <input type="checkbox"/> 750-Liter-Pufferspeicher <input type="checkbox"/> 85 % Kesselnutzungsgrad

GBW: Gasbrennwertkessel GBWS: Gasbrennwertkessel mit Solarkollektoren HELBW: Heizöl-EL-Brennwertkessel HP: Holzpelletkessel HPS: Holzpelletkessel mit Solarkollektoren <sup>1)</sup> zur Warmwasserbereitung

### Staubemissionen

Spätestens seit Inkrafttreten der EU-Feinstaubrichtlinie 1999/30/EG [21] ist Feinstaub Diskussionsgegenstand in der Öffentlichkeit. Generell sind alle Verbrennungsprozesse Feinstaubemissionsquellen, da bei unvollständiger Verbrennung Ruß emittiert wird. Insbesondere bei der Verbrennung aschehaltiger Brennstoffe können zusätzlich mineralische Stäube an die Umgebung freigesetzt werden. Die Partikelemissionen aus modernen Heizöl-EL-Kesseln liegen auf einem sehr niedrigen Niveau. Da Erdgas keine Aschebestandteile enthält, kann man davon ausgehen, dass Erdgas-Brennwertkessel bis auf sehr geringe Rußemissionen keinen Staub emittie-

ren. Der Mittelwert der Staubemissionen von Holzpelletkesseln mit 15 bis 30 kW Leistung beträgt gut 46 mg/kWh Brennstoff [15]. Um den „Blauen Engel“ für Pelletfeuerungen zu erlangen, sind Staubemissionen von 30 mg/kWh Brennstoff vorgeschrieben (Bild 8) [15; 16]. Fünf Pelletkesselhersteller führen laut [19] dieses Zeichen. Die 1. BImSchV fordert einen Wert von etwa 145 mg/kWh Brennstoff, die sich aus 60 mg/kWh (13 % O<sub>2</sub>) ergeben. Bei den bisher vom ZAE Bayern durchgeführten Feldmessungen [16] lagen die Staubemissionen zwischen 35 und 100 mg/kWh Brennstoff. Der Feinstaubanteil (PM<sub>10</sub>) lag dabei bei 85 bis 95 % der Gesamtstaubmenge.

Kostenart		GBW	GBWS	HELBW	HP	HPS
Kessel und Regelung <sup>1)</sup>	[€]	3 200	3 200	5 800	9 780	9 780
Warmwasserspeicher <sup>2)</sup>	[€]	800	800	800	–	–
Pufferspeicher <sup>2)</sup>	[€]	–	–	–	2 100	2 100
Abgasanlage <sup>3)</sup>	[€]	1 200	1 200	1 200	2 000	2 000
Gasanschluss/Lager <sup>3)</sup>	[€]	1 730	1 730	2 000	2 250	2 250
Installation Kessel <sup>1)</sup>	[€]	1 109	1 109	1 218	1 480	1 480
Solar Kollektoren <sup>4)</sup>	[€]	–	2 200	–	–	2 200
Solarregler <sup>4)</sup>	[€]	–	300	–	–	300
Solarspeicher <sup>2)</sup>	[€]	–	424	–	–	424
Solarinstallation <sup>4)</sup>	[€]	–	950	–	–	950
<b>Gesamtinvestition</b>	<b>[€]</b>	<b>8 039</b>	<b>10 963</b>	<b>11 018</b>	<b>17 610</b>	<b>20 534</b>
Spezifische Kosten <sup>5)</sup>	[€/kW]	1 005	1 370	1 377	2 201	2 567
Brennstoff-Arbeitspreis <sup>6)</sup>	[€]	0,0607	0,0607	0,55	185	185
Grundpreis/Liefergebühr	[€/a]	98	98	20	20	20
<b>Brennstoffkosten <sup>7)</sup></b>	<b>[Ct/kWh]</b>	<b>6,07</b>	<b>6,07</b>	<b>5,48</b>	<b>3,9</b>	<b>3,9</b>

<sup>1)</sup> 18 Jahre Nutzungsdauer <sup>2)</sup> 25 Jahre Nutzungsdauer <sup>3)</sup> 35 Jahre Nutzungsdauer <sup>4)</sup> 20 Jahre Nutzungsdauer <sup>5)</sup> 8 kW  
<sup>6)</sup> je kWh Erdgas (unterer Heizwert), je Liter Heizöl, je Tonne Holzpellets <sup>7)</sup> bezogen auf den unteren Heizwert des jeweiligen Brennstoffes GBW: Gasbrennwertkessel GBWS: Gasbrennwertkessel mit Solarkollektoren HELBW: Heizöl-EL-Brennwertkessel HP: Holzpelletkessel HPS: Holzpelletkessel mit Solarkollektoren

**Tabelle 4**

**Verwendete Investitionen und Brennstoffkosten, alle Daten ohne Mehrwertsteuer.**

**Tabelle 5**

**Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsberechnung, alle Daten ohne Mehrwertsteuer.**

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

Angesichts der aktuellen Diskussion um den Klimawandel ist Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) als ein wichtiges Treibhausgas in den Vordergrund gerückt. In diesem Zusammenhang sind die gesamten CO<sub>2</sub>-Lebensweg-Emissionen eines Systems von entscheidender Bedeutung. Bei der Berechnung der CO<sub>2</sub>-Lebensweg-Emissionen werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Brennstoffvorkette (Aufbereitung des Brennstoffs), der Anlagenherstellung, der Verbrennung sowie der Hilfsenergie für den Betrieb der Anlage berücksichtigt. Ein Vergleich zeigt, dass die fossilen CO<sub>2</sub>-Lebensweg-Emissionen von Pelletheizungen deutlich niedriger sind als beim Einsatz von Erdgas oder Heizöl (Bild 9) [22]. Da der Brennstoff Holzpellets als CO<sub>2</sub>-neutral angesehen wird, stammen die wesentlich niedrigeren CO<sub>2</sub>-Emissionen von Holzpelletkesseln aus der Brennstoffvorkette, also aus der Brennstoffgewinnung, -aufbereitung, dem Transport und dem Stromverbrauch beim Anlagenbetrieb.

## Kostenvergleich

Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Heizsystemen ist die Darstellung der Kosten zur Wärmebereitstellung bzw. der Wärmegestehungskosten sinnvoll. Die Berechnung erfolgt entsprechend VDI 2067 [23] nach einer preisdynamischen Annuitätenmethode. Nachfolgend werden fünf typische Heizsysteme untersucht, die dem heutigen Stand der Technik entsprechen. Als beheiztes Gebäude wird ein Niedrigener-

Fördermittel und Kosten		GBW	GBWS	HELBW	HP	HPS
Bafa-Förderung	[€]	–	412	–	1 500	1 912
Annuität Investition <sup>1)</sup>	[€/a]	861	1 160	1 190	1 862	2 162
Annuität Instandsetzung <sup>2)</sup>	[€/a]	153	209	210	335	391
Annuität Betriebsstrom	[€/a]	46	53	53	66	73
Annuität Brennstoff	[€/a]	1 093	983	923	746	659
Annuität Kaminreinigung	[€/a]	37	37	44	65	50
<b>Gesamtkosten</b>	<b>[€/a]</b>	<b>2 190</b>	<b>2 442</b>	<b>2 417</b>	<b>3 083</b>	<b>3 343</b>
<b>Wärmekosten <sup>3)</sup></b>	<b>[€/MWh]</b>	<b>184</b>	<b>205</b>	<b>203</b>	<b>259</b>	<b>281</b>
<b>CO<sub>2</sub>-Emission</b>	<b>[kg/a]</b>	<b>2 915</b>	<b>2 630</b>	<b>4 107</b>	<b>707</b>	<b>680</b>

<sup>1)</sup> abzüglich Fördermittel <sup>2)</sup> inklusive Ersatz <sup>3)</sup> auf den Gesamtwärmebedarf bezogen GBW: Gasbrennwertkessel GBWS: Gasbrennwertkessel mit Solarkollektoren HELBW: Heizöl-EL-Brennwertkessel HP: Holzpelletkessel HPS: Holzpelletkessel mit Solarkollektoren

gie-Einfamilienhaus mit 125 m<sup>2</sup> Wohnfläche angenommen. Die Daten des Gebäudes sind in Tabelle 2 dargestellt.

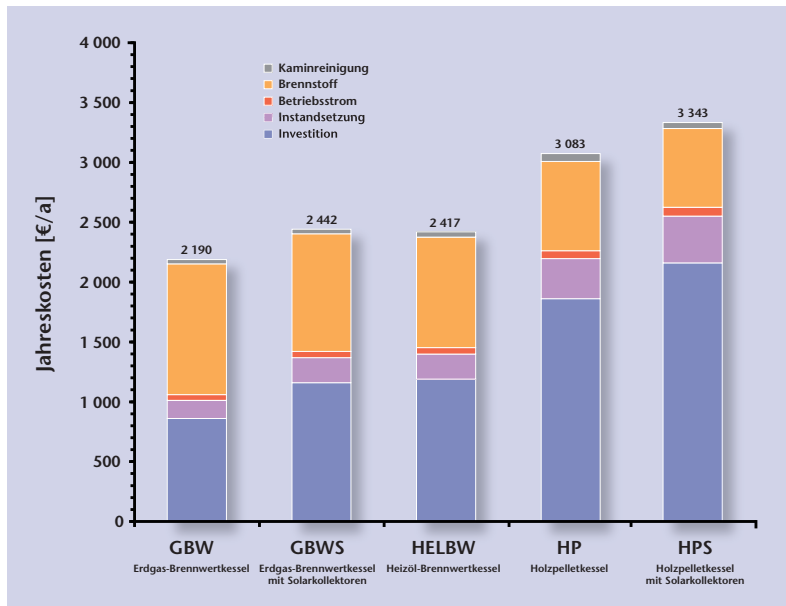
Abgedeckt wird jeweils der Energiebedarf für Heizwärme und Warmwasser. Verglichen werden je zwei Systeme auf Erdgas- und Holzpelletbasis und ein System auf Heizölbasis (Tabelle 3). Ergänzungen mit thermischen Solarkollektoren sind ebenfalls berücksichtigt. Als Solarkollektoren werden handelsübliche Flachkollektoren angenommen.

Die wichtigsten Basisdaten sind in der Tabelle 4 aufgelistet. Die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung sind in der Tabelle 5 zusammengefasst und die Jahreskosten im Bild 10 dargestellt. Als Betrachtungszeitraum wurden für die Berechnungen 20 Jahre angenommen. Die Kostensteigerungen wurden einheitlich mit 3 % pro Jahr für alle Brennstoffe angesetzt, für den Zinsfaktor wurden 6 % angenommen. Das Ergebnis in der Tabelle 5 zeigt vergleichsweise hohe Wärmekosten von 259 bis 281 €/MWh

bei Holzpelletkesseln. Die absolute Emission von fossilem CO<sub>2</sub> ist beim Holzpelletkessel mit 707 kg pro Jahr deutlich geringer als die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Heizöl-EL-Brennwertkessels (4 107 kg/a) und des Erdgas-Brennwertkessels (2 915 kg/a).

## Zusammenfassung

Moderne Erdgas- und Heizöl-Brennwertkessel im kleinen Leistungsbereich sind platzsparende Kompaktgeräte, die mit einem vergleichsweise einfachen und günstigen Abgassystem betrieben werden können. Im Gegensatz zu Heizöl oder Holzpellets ist für Erdgas keine Brennstofflagerung notwendig. Der Modulationsbereich moderner Erdgas- und Heizöl-EL-Brennwertkessel ist mit dem Modulationsbereich moderner Holzpelletkessel vergleichbar. Die Schnelligkeit der Anpassung der Heizlast ist dagegen unterschiedlich. Aufgrund der höheren Wirkungsgrade sind bei Erdgas-Brenn-



wertgeräten die Nutzungsgrade und damit die Brennstoffausnutzung am höchsten. Für neue Gebäude wird die Raumluftunabhängigkeit der Wärmezeuger immer wichtiger. Für alle drei Energieträger werden dazu mittlerweile Kessel angeboten. Das Angebot bei den Holzpelletkesseln ist dazu allerdings noch vergleichsweise gering.

Der Vergleich der Emissionswerte zeigt, dass die Emissionen der Schadstoffe  $\text{NO}_x$  und  $\text{CO}$  bei Holzpellets bis zu viermal so hoch sind wie bei Heizöl-EL- und Erdgas-Brennwertkesseln. Im Gegensatz zu Erdgas-Brennwertkesseln emittieren Holzpelletkessel zusätzlich Feinstaub. Bei Holzpelletfeuerungen kann erwartet werden, dass vor allem die  $\text{CO}$ - und Staubemissionen in Zukunft noch weiter reduziert werden. Einige Pelletkessel erfüllen bereits die Vorgaben für den „Blauen-Engel“. Erste Produkte von sekundären Abscheidern wie der Abgaskondensator oder der Kleinst-Elektrofilter sind für Pelletfeuerungen erhältlich. Bei den  $\text{CO}_2$ -Emissionen haben die Holzpellets deutliche Vorteile. So sind die fossilen  $\text{CO}_2$ -Emissionen bei der Nutzung von Erdgas oder Heizöl EL etwa vier- bzw. sechsmal so hoch wie bei der Nutzung von Holzpellets.

Da der Wärmebedarf der Wohngebäude stetig abnimmt, spielen die Investitionskosten für eine Heizungsanlage bei der Kostenbetrachtung eine wichtige Rolle. Die Gesamtkosten von Holzpelletkesselanlagen betragen etwa das Doppelte der vergleichsweise günstigen Erdgas-Brennwertgeräte. Der Vorteil der deutlich niedrigeren Brennstoffkosten bei Holzpellets (derzeit etwa 36 % geringere Brennstoffkosten im Vergleich zu

**Bild 10**

### Jahreskosten der untersuchten Heizsysteme.

Erdgas) ist bei einem hohem Energiebedarf und/oder größeren Gebäuden relevant. Bei Neubauten ist der Energiebedarf jedoch sehr gering, so dass die geringeren Brennstoffkosten die Mehrkosten bei den Investitionen nicht ausgleichen können. Dadurch ergeben sich für den Betreiber einer Pelletheizung im Niedrigenergiehausbereich höhere Jahreskosten im Vergleich zu den anderen Heizungssystemen. Daran ändert auch die BAFA-Förderung nur wenig. Hier besteht Handlungsbedarf bei der zukünftigen Entwicklung der Holzpellettechnik. Geringere Anlagenkosten sind aber nur mit anderer Technik erreichbar. Auf Basis der derzeitigen Feuerungs- und Kesselbauweise sind voraussichtlich keine signifikanten Kostenreduktionen möglich. Holzpellets haben aber im kleineren Leistungsbereich von 3 bis 7 kW (Niedrigstenergiehäuser, Passivhäuser) noch Anwendungspotenzial, da damit Nutzerwünsche wie die Wärmequelle im Wohnraum und die gleichzeitige Gesamtenergiedeckung mit gewissen Kompromissen möglich sind.

### Ausblick

Da die Datenbasis für die bisherige Wirtschaftlichkeitsbetrachtung bezüglich der Holzpellettechnik noch gering ist, werden weitere Feldmessungen insbesondere zur Ermittlung des Nutzungsgrades in der Heizperiode 2007/08 durchgeführt. Bei weiteren Unter-

suchungen werden die  $\text{CO}$ -,  $\text{NO}_x$ - und Feinstaubemissionen an modernen Pellet-Zentralheizungskesseln ermittelt. Diese Werte dienen als Basis für neue Ausbreitungsrechnungen. Zusätzlich wird eine Umfrage unter Betreibern von Holzpellet-Zentralheizungskesseln bezüglich der Betriebserfahrungen, des Komforts und der Kosten durchgeführt.

## Literatur

- [1] Brennstoffspiegel.
- [2] Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA).
- [3] Daten des Marktanreizprogramms (BAFA). [www.biomasseatlas.de](http://www.biomasseatlas.de)
- [4] Bundesindustrieverband Deutschland Haus-, Energie- und Umwelttechnik e.V. (BDH), Marktanalyse 2007.
- [5] Umweltministerium Baden-Württemberg, Entwurf des Erneuerbare-Wärme-Gesetzes (EWärmeG), Stand 29.06.2007.
- [6] DVGW Arbeitsblatt G 260: Gasbeschaffenheit, 2000-01.
- [7] Viessmann, Fachreihe Brennwerttechnik.
- [8] Biedermann, F.: Fractionated heavy metal separation in biomass combustion plants. 10 th European Bioenergy Conference, 1998.
- [9] Hartmann, H.; Roßmann, P. et al.: Erprobung der Brennwerttechnik bei häuslichen Holzhackschnittel-feuerungen mit Sekundärwärmetauscher. TFZ-Bericht, Straubing, 2004.
- [10] Ö-Norm M 7135: Anforderungen und Prüfbestimmungen für Pellets, 2003-10.
- [11] DIN 51731, Prüfung fester Brennstoffe – Presslinge aus naturbelassenem Holz – Anforderungen und Prüfung, 1996-10.
- [12] prCEN/TS 14961, Feste Biobrennstoffe – Brennstoffspezifikationen und Brennstoffklassen.
- [13] FeuV: Verordnung über Feuerungsanlagen, Wärme- und Brennstoffversorgungsanlagen, März 1998.
- [14] Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (1. BImSchV), Referentenentwurf.
- [15] Marktübersicht des Biomasse-Informations-Zentrums (BIZ), Stand 2002.
- [16] Kunde, R.; Gaderer, M.: Eigene Messungen ZAE Bayern, Praxistest zur Ermittlung des Emissionsverhaltens von Pelletfeuerungen im Bestand. 2007.
- [17] Stiftung Warentest, test 8/2003, S. 68 ff.
- [18] Unveröffentlichte Messwerte von Herstellern und Unternehmen.
- [19] Blauer Engel, Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e. V., RAL-ZU 61 Gas-Brennwertgeräte.
- [20] Pischinger et al.: Emissionsvergleich HEL und Erdgas. Wärmetechnik 39 (1994) Nr. 6, S. 310-314.
- [21] EU-Richtlinie 1999/30/EG: Luftreinhalte-richtlinie.
- [22] Globales Emissionsmodell integrierter Systeme, Gemis 4.2, Ökoinstitut e.V.
- [23] VDI-Richtlinie 2067, Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen..