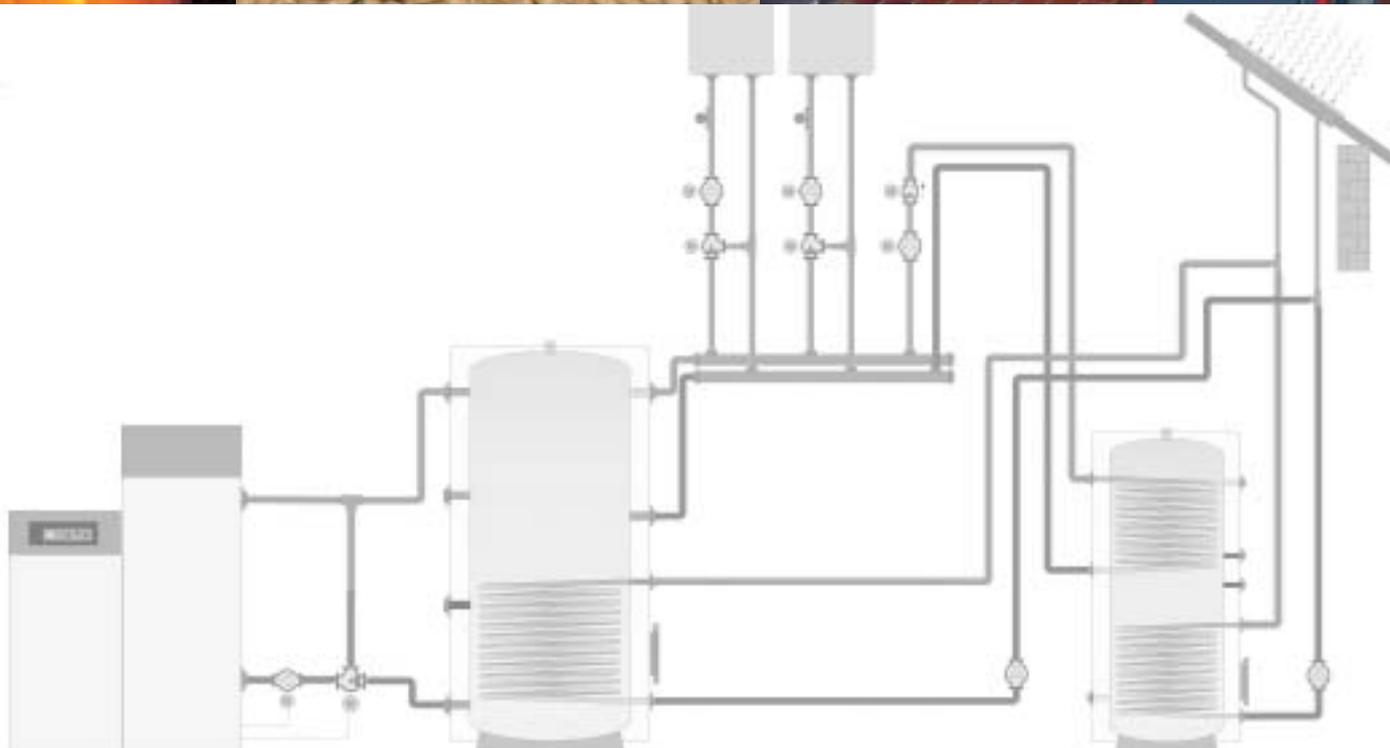


Pelletheizungen – Technik und bauliche Anforderungen



Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3	7	Energieeinsparverordnung (EnEV)	24
2	Brennstoff Holzpellets	4	7.1	Bedeutung für Um- und Neubauten	24
2.1	Herstellung	4	7.2	Berechnung des Primärenergiebedarfs	25
2.2	Vorteile von Holzpellets	4	8	Kosten, Förderung	26
2.3	Versorgungssicherheit	5	9	Beispielprojekte	29
2.4	Vertrieb, Preise und Preisentwicklung	6	9.1	Einfamilienhaus, Kombination Pelletofen/ Solaranlage (Neubau)	29
2.5	Qualität und Qualitätssicherung	6	9.2	Einfamilienhaus, Pelletkessel mit Pufferspeicher (Neubau)	30
2.5.1	Produktion	7	9.3	Einfamilienhaus, Kombination Pelletkessel/Solaranlage (Altbau)	31
2.5.2	Transport	8	9.4	Mikrowärmenetz für fünf Reihenhäuser, Pelletkessel mit Solaranlage (Neubau, Contracting)	32
2.5.3	Lagerung	8	9.5	Hotel, Kombination modifizierter Hack- schnittkessel/Solaranlage (Altbau)	33
3	Technik der Pelletheizung	8	10	Literatur	34
3.1	Typen von Pelletfeuerungen	8	11	Ansprechpartner	35
3.1.1	Pelletöfen	9		Bildnachweis	36
3.1.2	Pelletkessel, modifiz. Hackschnittkessel ..	9			
3.1.3	Kombikessel	9			
3.1.4	Zukünftige Entwicklungen	9			
3.2	Emissionen	10			
3.2.1	Regelungstechnik	10			
3.2.2	Emissionswerte	11			
3.3	Anlagenreinigung und -wartung	11			
3.3.1	Wärmetauscherreinigung	11			
3.3.2	Entaschung	11			
3.3.3	Überprüfung/Wartung	11			
4	Anforderungen an die Pelletlagerung	12			
4.1	Größe des Pelletlagers	12			
4.2	Möglichkeiten der Pelletlagerung	13			
4.3	Anforderungen für die Pelletanlieferung ..	13			
4.4	Bautechnische Anforderungen an den Heiz- und Lagerraum	14			
4.4.1	Brandschutz	14			
4.4.2	Feuchteschutz	14			
4.4.3	Befüllsystem	14			
4.4.4	Spezielle Anforderungen an Sacksilos/ Lagertanks	15			
4.4.5	Spezielle Anforderungen an Erdtanks	15			
4.4.6	Anforderungen an Lagerräume	16			
4.5	Austragungssysteme	17			
5	Luftzufuhr und Abgasabfuhr	20			
5.1	Verbrennungsluftzuführung	20			
5.2	Schornstein	20			
6	Wärmespeicher und Heizungsergänzung ..	21			
6.1	Pufferspeicher	21			
6.2	Kombination mit Solarenergie	23			

Impressum

Herausgeber:

Absatzförderungsfonds der deutschen Forst-
und Holzwirtschaft
- HOLZABSATZFONDS -
Godesberger Allee 142 – 148
D-53175 Bonn

Projektleitung:

Wilfried Schneider, Bonn

Bearbeitung:

Barbara Pilz
Konrad Raab
Dr. Joachim Fischer
Dr. Ludger Eltrop

**Institut für Energiewirtschaft
und Rationelle Energieanwendung,
Uni Stuttgart**

Energietechnische Anfragen an:

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR)
Tel.: 0 38 43 / 69 30 - 199
info@bio-energie.de
www.bio-energie.de

Bautechnische Anfragen an:

Infoline: 01802 / 46 59 00
(0,06 Euro/Gespräch)
fachberatung@infoholz.de
www.infoholz.de

Hinweise zu Änderungen, Ergänzungen und Errata unter:

www.informationsdienstholz.de

Die technischen Informationen dieser Schrift entsprechen zum Zeitpunkt der Drucklegung den anerkannten Regeln der Technik. Eine Haftung für den Inhalt kann trotz sorgfältigster Bearbeitung und Korrektur nicht übernommen werden.

In diese Broschüre sind Ergebnisse aus zahlreichen Forschungsprojekten eingeflossen.

Gestaltung:

Schöne Aussichten, Oliver Iserloh, Düsseldorf
www.schoene-aussichten.com

Erschienen: 4 / 2004

ISSN-Nr. 0466-2114

holzbau handbuch

Reihe 6: Ausbau und Trockenbau

Teil 10: Haustechnik

Folge 2: Pelletheizungen –

Technik und bauliche Anforderungen

1 Einführung

Das Interesse der Bevölkerung an den Themen Energieeinsparung und regenerative Energien hat in den vergangenen Jahrzehnten deutlich zugenommen. Dies ist auf vermehrte Diskussionen um den vom Menschen verursachten Treibhauseffekt mit all seinen klimatischen Auswirkungen zurückzuführen. Dazu beigetragen haben aber auch die prognostizierte Ressourcenknappheit fossiler Brennstoffe verbunden mit erwarteten Preiserhöhungen sowie die Abhängigkeit von Erdgas und Erdöl fördernden Ländern.

Bei anstehenden Um- und Neubauten lag das Hauptaugenmerk primär auf dem Einsatz von verschiedenen Wärmedämmmaßnahmen sowie der Installation thermischer Solaranlagen. Informationsdefizite hemmten dagegen bislang den großflächigen Einsatz von Holz als regenerativen Brennstoff. Dabei steht Holz aufgrund neuer Aufbereitungsformen und Feuerungstechnologien herkömmlichen Energieträgern wie Heizöl und Erdgas in Sachen Effizienz und Bedienkomfort in keiner Weise nach. Durch die Entwicklung von Holzpellets und Pelletheizungen steht heute ein Heizsystem zur Verfügung, das ganzjährig eine automatisch gesteuerte, regenerative Wärmeversorgung sicherstellt.

Neben dem wachsenden Interesse an regenerativen Energien in der Bevölkerung machen auch gesetzliche Vorgaben den Einbau von Pelletheizungen zukünftig bei An- und Neubauten interessant. So besteht die Möglichkeit beim Nachweis des Jahres-Primärenergiebedarfs nach Energieeinsparverordnung (EnEV), die Energieversorgung mit Hilfe erneuerbarer Energieträger positiv in Ansatz zu bringen. Damit erhält der Planer zur Erfüllung der Anforderungen mehr Möglichkeiten, die Balance zwischen notwendiger energiesparender Bauweise und umweltfreundlicher Energieversorgung zu finden.

Die Einführung der EnEV wird in den kommenden Jahren zu einer großen Welle von Umbaumaßnahmen und Heizungserneuerungen führen. So sind laut Schornsteinfegerstatistik (2000) rund 2,12 Mio. Heizungsanlagen vor 1978 eingebaut worden und damit nach EnEV nachrüstpflichtig. Da damit zu rechnen ist, dass ein gewisser Anteil dieser Heizungsanlagen durch regenerative Heizsysteme ersetzt werden soll, ist es für Architekten und Ingenieure wichtig, sich frühzeitig mit neuen, regenerativen Techniken auseinanderzusetzen.

Ziel dieses Heftes ist es daher, Architekten und Ingenieure das System der Pelletheizung zu erläutern und wichtige Informationen über Einbau und Betrieb der Anlage, die Gestaltung von Heiz- und Lagerräumen sowie zu den Anforderungen an den Kamin zu liefern. Hierbei wird in einzelnen Kapiteln näher darauf eingegangen, was Architekten, Ingenieure und Bauherren bei den einzelnen Schritten von der Planung bis zur Inbetriebnahme der Anlage zu beachten haben. Auf diese Weise sollen Fehler und dadurch bedingte Störungen des Anlagenbetriebs zukünftig bereits bei der Planung vermieden werden. Ergänzt wird das Heft durch die Darstellung einiger bereits realisierter Projekte, wobei darauf geachtet wurde, eine möglichst große Bandbreite an Variationen darzustellen.

2 Brennstoff Holzpellets

Holzpellets werden aus naturbelassenen Hobelspänen oder Sägemehl erzeugt, die in der Holzverarbeitenden Industrie als Nebenprodukt anfallen. Der Durchmesser des verdichteten Brennstoffes beträgt ca. 4 - 10 mm und besitzt eine Länge von 20 - 50 mm (für Kleinanlagen sind Durchmesser von 6 mm und Längen von maximal 30 mm üblich). Pellets weisen einen Heizwert von knapp 5 kWh/kg auf, so dass der Energiegehalt von einem Kilogramm Pellets ungefähr dem von einem halben Liter Heizöl entspricht (Tab. 1).

Tab. 1:
Pelletcharakteristika gemäß der DINplus [9]

Durchmesser	4 - 10 mm
Länge	≤ 20 - 50 mm
Wassergehalt	≤ 10 %
Aschegehalt	≤ 0,5 %
Rohdichte	≥ 1,12 kg/dm ³
Schüttgewicht	650 kg/m ³
Heizwert (wasserfrei)	≥ 5 kWh/kg
Presshilfsmittel	max. 2 %
Abrieb	≤ 2,3 %

2.1 Herstellung

Die Herstellung der Pellets erfolgt ohne Zugabe von Bindemitteln, erlaubt sind lediglich max. 2 % Presshilfsmittel natürlicher Herkunft (z. B. Stärke). Die Bindung der Pellets wird durch das holzeigene Lignin und durch hohen Druck während des Pelletiervorgangs erzielt. Hierbei werden die Späne, deren Wassergehalt bei der Bearbeitung maximal 15 % betragen sollte, durch eine Matrize gepresst (Abb. 2). Nach Verlassen des Presskanals werden die Pellets in der gewünschten Länge abgeschnitten und können anschließend als Klein-Sackware (Abb. 3), in großen „Big Bags“ (Abb. 4) oder lose per Tankwagen (Abb. 6) dem Verbraucher zugestellt werden.

Der Energieaufwand für die Herstellung und Bereitstellung der Pellets aus trockenem Industriestholz ist mit 2,7% des Energieinhaltes im Vergleich zur Bereitstellung fossiler Energieträger (Erdgas 10%, Heizöl 12%) gering (Abb. 1). Bei Verwendung von feuchtem Industrie- oder Waldrestholz steigt der Energieaufwand aufgrund des höheren Wassergehaltes an [11].

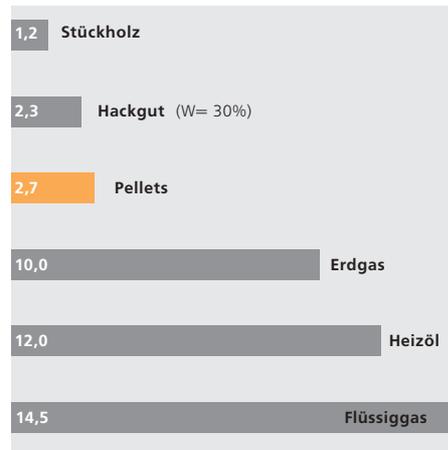


Abb. 1
Energieaufwand zur Bereitstellung verschiedener Energieträger in % der Endenergie [11]

2.2 Vorteile von Holzpellets

Neben den geringeren Energieaufwendungen weisen Pellets insbesondere bezüglich der CO₂-Emissionen gegenüber fossilen Energieträgern deutliche Vorteile auf. Pellets werden im Gegensatz zu fossilen Energieträgern als CO₂-neutral bezeichnet. Das bedeutet, dass bei der Verbrennung der Pellets die Menge an Kohlenstoffdioxid (CO₂) freigesetzt wird, die der Baum zuvor beim Wachsen aufgenommen hat und bei der Verrottung wieder freisetzen würde (geschlossener Kohlenstoffkreislauf). Bei der Verbrennung von fossilen Energieträgern wird dagegen CO₂ freigesetzt, das seit Millionen von Jahren gespeichert ist. Diese Freisetzung führt zu einer Erhöhung des CO₂-Gehaltes in unserer Atmosphäre und ist maßgeblich für den vom Menschen verursachten Treibhauseffekt verantwortlich.

Die CO₂-Emissionen verschiedener Heizungssysteme inklusive der Vorkette für ein Einfamilienhaus sind in Abbildung 5 dargestellt [35]. Wie ersichtlich ist, kann bei einem Jahreswärmebedarf von 16 MWh durch den Einbau einer neuen Pelletheizung der CO₂-Ausstoß im Vergleich zu einer Heizölheizung um rund 4,3 t/a reduziert werden (bzw. 2,5 t/a bei Austausch einer Gasheizung).

Den Vorteil der CO₂-Neutralität weisen auch andere Holzbrennstoffe auf. Dennoch existieren einige Vorteile, die den im Vergleich zu Hackschnitzeln und Stückholz geringfügig höheren Energieaufwand der Pelletherstellung sinnvoll machen:



Abb. 2:
Matrizenpresse mit Holzpellets



Abb. 3:
Pellets-Sackware



Abb. 4:
Pellets in Big Bags auf Paletten

Lagerungsfähigkeit:

Holzpellets benötigen aufgrund ihrer hohen Energiedichte ein deutlich geringeres Lagervolumen. In Kombination mit dem geringen Wassergehalt ist hierdurch eine problemlose Vorratshaltung für eine Heizperiode möglich.

Transportfähigkeit:

Die hohe Energiedichte, die Rieselfähigkeit der Pellets und die Normierung der Größe ermöglichen eine einfache Handhabung, einen leichten Transport sowie den Einsatz automatischer Fördersysteme. Dadurch können Pellets problemlos mit dem Tankwagen geliefert (siehe z.B. Abbildung 6), in den Vorratskeller gepumpt und von dort automatisch in den Brenner befördert werden. Die Brennstoffanlieferung für Pelletheizungen steht damit Heizöllieferungen in puncto Komfort in keiner Weise nach.

Emissionen:

Pellets weisen insbesondere auch im Teillastbereich niedrige Emissionen (CO und Staub) auf [12]. Dies ist vor allem auf die durch Normen garantierte gleichbleibende Zusammensetzung und Qualität (z.B. Restfeuchte) sowie den automatisierten Verbrennungsprozess zurückzuführen.

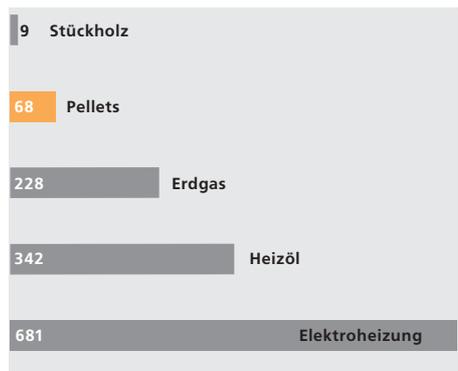


Abb. 5
CO₂-Emissionen inklusive der Vorketten
(in kg/MWh)



Abb. 6:
Die Pellet-Lieferung erfolgt, dem Heizöl ähnlich, mit einem Tankwagen

2.3 Versorgungssicherheit

Eine wichtige Voraussetzung für die stärkere Verbreitung von Pelletheizungen ist die Versorgungssicherheit mit Pellets. Obwohl der deutsche Markt anfänglich weitgehend mit Pellets aus österreichischer Produktion versorgt wurde, hat die Anzahl der Hersteller in Deutschland kontinuierlich zugenommen. Im Jahr 2003 gibt es in Deutschland 20 Pelletproduzenten mit einer Produktionskapazität von rund 140.000 t/a (Abb. 7). Aufgrund der Konkurrenzsituation werde die Kapazitäten jedoch nicht vollständig ausgenutzt, dass 2003 voraussichtlich nur rund 62.500 t auch tatsächlich produziert werden.

Legt man einen durchschnittlichen Verbrauch von rund 5 t pro Haushalt zugrunde, könnten durch die deutschen Produktionskapazitäten ca. 28.000 Haushalte mit Pellets versorgt werden. Somit ist die Versorgung der in Deutschland bis Ende 2003 voraussichtlich installierten 20.000 Pelletheizungen allein durch die Ausnutzung der deutschen Produktionskapazitäten gesichert.

Umfragen des Biomasse Info-Zentrums unter bestehenden Pelletproduzenten haben ergeben, dass auch für die kommenden Jahre mit einem weiteren Ausbau der Produktionskapazitäten zu rechnen ist (Abb. 7). Neben einem Ausbau der Kapazitäten ist das allgemeine Interesse der Industrie an der Pelletproduktion sehr groß. Der noch relativ kleine Absatzmarkt sowie dessen unklare zukünftige Entwicklung führt jedoch bei vielen Investoren zu einer Zurückhaltung. Ausgehend von diesen Tendenzen ist in Zukunft nicht mit einem Versorgungsengpass auf dem deutschen Pelletmarkt zu rechnen.

Derzeit gibt es in Deutschland ein Netz aus rund 330 Pellethändlern, dessen Dichte vor allem in den süddeutschen Regionen sehr ausgeprägt ist. Eine Anzahl überregionaler Händler bietet ihre Ware in ganz Deutschland an, so dass Pellets grundsätzlich an jedem Ort erhältlich sind. Darüber hinaus ist ein verstärktes Interesse des allgemeinen Brennstoffhandels an Holzpellets festzustellen, so dass für die Zukunft mit einer weiteren Zunahme der Versorgungsdichte zu rechnen ist.

Übersichten mit Adressen von Pellethändlern sind bei den in Kapitel 11 auf Seite 35 genannten Institutionen erhältlich.

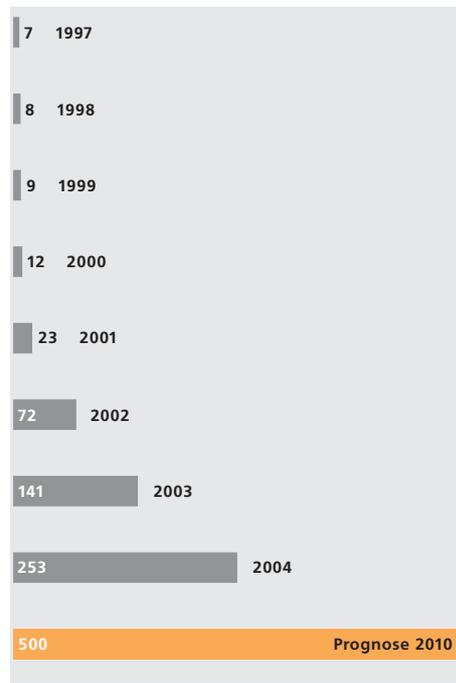


Abb. 7
Pellet-Jahres-Produktionskapazitäten in Deutschland
(in 1000 t/a)
Ergebnisse einer Umfrage des Biomasse Info-Zentrums 2003

2.4 Vertrieb, Preise und Preisentwicklung

Pellets werden auf dem deutschen Markt grundsätzlich in zwei unterschiedlichen Formen angeboten: lose oder als Sackware. Die lose Ware wird dem Kunden mit einem Tankwagen angeliefert und direkt in das hierfür vorgesehene Lager geblasen. Sackware kann dagegen entweder mit dem eigenen Wagen beim Händler abgeholt oder auf einer Palette geliefert werden. Hierbei sind im allgemeinen zwei Sackgrößen üblich: Säcke mit rund 15 - 25 kg Pellets und so genannte Big Bags mit bis zu 1 t Pellets. Klein-Sackware wird in erster Linie von Pelletofen-Nutzern bezogen und ist deutlich teurer als lose Ware. Liegt der durchschnittliche Preis für lose Ware in Deutschland derzeit bei ca. 180 Euro pro Tonne (Abb. 8), kann er bei Sackware bis zu 250 Euro pro Tonne betragen.

Ein Vergleich der Preise und, bei losen Pellets, auch der beinhaltenen Leistungen ist unbedingt empfehlenswert. Grundsätzlich sollten folgende Punkte mit dem Händler geklärt werden:

- Mindestabnahmemenge
- Preis in Abhängigkeit von der Liefermenge (die Kosten sinken wie bei Heizöl mit steigender Menge des bestellten Brennstoffs)
- zusätzliche Transportkosten
- zusätzliche Einblaspauschalen bei Lieferung mit dem Pumpwagen [12]

Die Entwicklung der Pelletpreise in Deutschland über die letzten 1,5 Jahre ist in Abbildung 8 dargestellt. Hieraus geht hervor, dass die durchschnittlichen Pelletpreise bis auf die im Brennstoffbereich üblichen Sommer/Winter-Schwankungen weitgehend konstant sind. Mit großen preislichen Änderungen wird in der Branche auch in den kommenden Jahre nicht gerechnet.

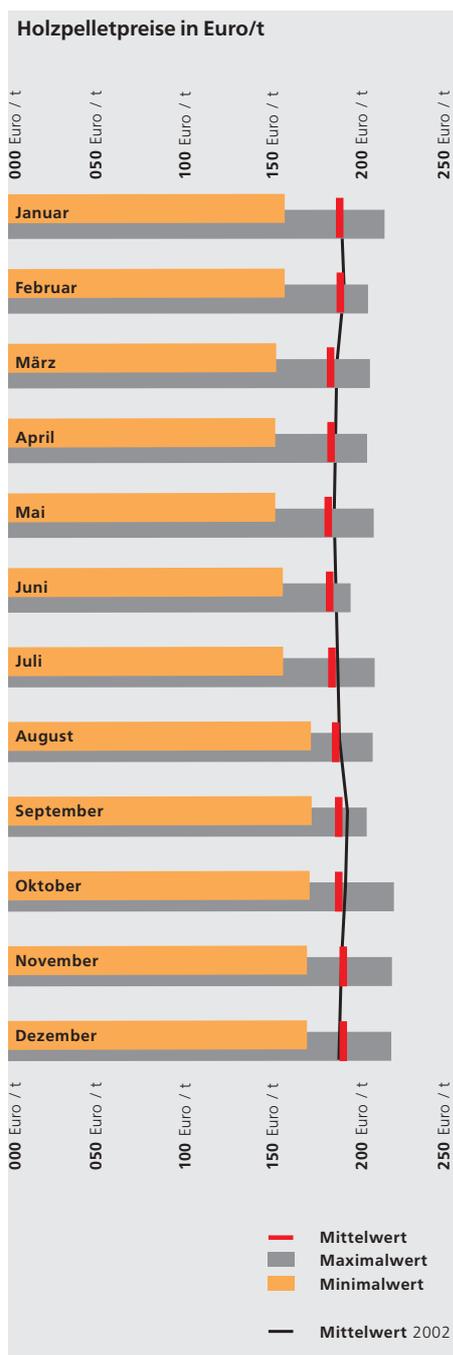


Abb. 8:
 Entwicklung der Pelletpreise für die Jahre 2002 und 2003 [13]
 (Lieferung von 5 Tonnen im Umkreis von 50 km; alles inklusive)

2.5 Qualität und Qualitätssicherung

Hochleistungsheizsysteme erfordern zum störungsfreien Betrieb einen entsprechend standardisierten und hochwertigen Brennstoff. Daher sind die Anforderungen an Holzpellets für derartige Kleinfeuerungen sehr hoch. Um die Zufriedenheit des Kunden mit seinem zukünftigen Heizungssystem sicherstellen zu können, ist es daher wichtig, den zukünftigen Betreiber auf das Thema Pelletqualität in aller Deutlichkeit hinzuweisen. Damit wird vermieden, dass der Verbraucher lediglich „Pellets“ kauft, ohne über die Qualität des bezogenen Brennstoffs weitere Auskunft vom Lieferanten zu verlangen. Die Sicherstellung einer hohen Pelletqualität muss auf folgenden drei Ebenen gewährleistet sein:

1. bei der Produktion,
2. beim Transport und
3. bei der Lagerung.

Tab. 2:
 Regelungsinhalte der ÖNORM M 7135, der
 DIN 51731 und der DINplus (grau hinterlegte Felder)

Spezifikation

Physikalische Parameter

Durchmesser d

Länge

Rohdichte/Schüttdichte

Wassergehalt

Aschegehalt

Heizwert

Natürliche Presshilfsmittel

Abrieb

Chemische Parameter

Schwefel

Stickstoff

Chlor

Arsen

Cadmium

Chrom

Kupfer

Quecksilber

Blei

Zink

EOX

2.5.1 Produktion

Bei Holzpellets handelt es sich um einen natürlichen Brennstoff, der ganz normalen Schwankungen unterliegt. Um den hohen Anforderungen von Technik und Nutzer Rechnung zu tragen, wurden zur Sicherung der Produktqualität auf dem deutschen Markt Gütesiegel eingeführt: die DIN 51731, die ÖNORM M 7135 des Österreichischen Normungsinstituts, sowie das Zertifikat DINplus, dessen Anforderungen an die Qualitätssicherung bei der Pelletherstellung über die der ersten beiden hinausreicht. Die wichtigsten Regelungsinhalte dieser Gütesiegel sind in Tabelle 2 dargestellt.

Die DIN 51731 hat ihren Ursprung in den frühen 90er Jahren, als die Verwendung von Holzpresslingen zur Energieerzeugung in Kleinanlagen noch keine Rolle spielte. Aus diesem Grund sind die in der DIN festgelegten physikalischen Parameter für die Anforderungen moderner Pelletfeuerungen häufig nicht ausreichend (z. B. Abrieb, Aschegehalt, Wassergehalt). Eine schärfere Festlegung, insbesondere des für den zulässigen Feinanteils maßgeblichen Parameters „Abrieb“ trifft die Mitte der 90er Jahre aufgelegte ÖNORM, weshalb sich die meisten Pellethersteller heutzutage an dieser Regelung orientieren.

Die Aussage, dass es sich bei einem Produkt um DIN- oder ÖNORM-Pellets handelt, stellt alleine jedoch

noch kein ausreichendes Qualitätsmerkmal dar, da keine Fremdkontrolle der Normkonformität erfolgt. Als Normen enthalten beide Vorschriften nämlich keine weitergehenden Festlegungen hinsichtlich Überwachung, Qualitätskontrolle oder Qualitätsmanagement. Anders dagegen, wenn es sich um „Geprüfte DIN-Pellets“ handelt, da hier über die Zertifizierungsstelle des DIN, der DINcertco, eine jährliche Fremdkontrolle der Produkte in zugelassenen Prüflabors erfolgt. Da sich diese Zertifizierung aber nur auf die Regelung der DIN 51731 bezieht, ist der damit verbundene Qualitätsstandard vergleichsweise niedrig. Einen höheren Qualitätsstandard verspricht demnach das entsprechende Prüfzeichen für „Geprüfte ÖNORM-Pellets“ (Tab. 3).

Neu ist seit dem Herbst 2002 das über die DINcertco angebotene Zertifikat DINplus, das sowohl Inhalte der DIN als auch der ÖNORM umfasst und die jeweils strengeren bzw. ergänzenden Regelungen kombiniert. Die Anforderungen dieses Gütezeichens sind in Tabelle 2 grau hinterlegt.

Nach einhelliger Ansicht der Branche stellt dieses Gütezeichen, das neben einer jährlichen Fremdkontrolle erstmals auch den Aufbau eines firmeninternen Qualitätsmanagements mit regelmäßiger Eigenüberwachung und Aufzeichnungspflicht vor-

sieht, die derzeit beste Regelung dar. Das DINplus-Zertifikat stellt sicher, dass hochwertige Holzpellets hergestellt werden, die einen störungsfreien und emissionsarmen Betrieb der Anlagen garantieren. Das Interesse der Branche an diesem Zertifikat ist sehr groß. Es ist daher zu erwarten, dass sich dieses Gütezeichen in den nächsten Jahren in Deutschland etablieren wird.

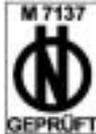
In eine ähnliche Richtung wie bei der DINplus gehen die Bestrebungen des Pelletverbands Austria/ Deutschland. Auch hier wird versucht, durch die Vergabe eines eigenen Qualitätssiegels, das strengere Vorschriften bezüglich Abrieb und Dichte sowie Überwachungen der Produktion vorsieht, eine hohe Produktqualität zu garantieren.

Unterschiedliche Qualitätsnormen und Prüfsiegel (Tab. 3) tragen nicht zur Vertrauensbildung beim Endverbraucher bei. Weitere Anstrengungen zur Vereinheitlichung werden bereits unternommen.

Tab. 3:
Kennzeichnung für geprüfte Pellet-Qualitäten

ÖNORM M 7135	DIN 51731 – HP 1
$4 \leq d < 10$	5 Längensklassen, HP 5: 4 – 10 mm
$\leq 5 \times d$	< 50 mm
$\geq 1,12 \text{ g/cm}^3$	1 - 1,4 g/cm ³
$\leq 10 \%$	$\leq 12 \%$
$\leq 0,5 \%$	$\leq 1,5 \%$
$\geq 18 \text{ MJ/kg}^*)$	17,5 – 19,5 MJ/kg [*])
$\leq 2 \%$	unzulässig
$\leq 2,3 \%$	
$\leq 0,04 \%$	$\leq 0,08 \%$ *)
$\leq 0,3 \%$	$\leq 0,3 \%$ *)
$\leq 0,02 \%$	$\leq 0,03 \%$ *)
	$\leq 0,8 \text{ mg/kg}^*)$
	$\leq 0,5 \text{ mg/kg}^*)$
	$\leq 8 \text{ mg/kg}^*)$
	$\leq 5 \text{ mg/kg}^*)$
	$\leq 0,05 \text{ mg/kg}^*)$
	$\leq 10 \text{ mg/kg}^*)$
	$\leq 100 \text{ mg/kg}^*)$
	$\leq 3 \text{ mg/kg}^*)$

*) bezogen auf die wasserfreie Substanz

	Kennzeichnung für „Geprüfte DIN Pellets“ [16] Pellets entsprechen DIN, Einhaltung der Qualität wird jährlich überprüft Teilweise veralteter Qualitätsstandard	
	Zertifikat DINplus [18] Pellets entsprechen den jeweils strengeren Regelungen der DIN und der ÖNORM, Qualität wird durch DINcertco jährlich überprüft, zusätzlich Aufbau eines firmeninternen Qualitätsmanagements Hochwertiger Qualitätsstandard	
	Qualitätssiegel des PVA/PVD, Güterrichtlinie für Verbandsmitglieder [19] Die PVA/D-Güterrichtlinie ist eine sehr strenge Qualitätsrichtlinie bzgl. Pelletsproduktion. Die Einhaltung wird mehrmals jährlich unangemeldet durch staatl. Prüfanstalten überprüft Hochwertiger Qualitätsstandard	
		Kennzeichnung für „Geprüfte ÖNORM-Pellets“ [17] Pellets entsprechen DIN oder ÖNORM, Einhaltung der Qualität wird jährlich überprüft Guter Qualitätsstandard
		
		Kennzeichnung, dass der Transport gemäß dieser Richtlinie durchgeführt wird
	Qualitätssiegel des DEP [20] Pellets entsprechen DINplus Transport der Pellets wird entsprechend den Vorgaben des Verbandes durchgeführt, Reklamationsmanagement Hochwertiger Standard für Pelletproduktion und -handel	
		Kennzeichnung, dass die Lagerung gemäß dieser Richtlinie vorgenommen wird

2.5.2 Transport

Die Qualitätsanforderungen der DINplus als auch der DIN 51731 und der ÖNORM M 7135 beziehen sich ausschließlich auf die Produktion. Weiterführende Regelungen, die auch den Transport berücksichtigen, finden sich in der im Juni 2002 veröffentlichten ÖNORM M 7136, eine auf umfangreichen Untersuchungen basierende Richtlinie.

Darüber hinaus hat auch der Deutsche Energie-Pellet-Verband Richtlinien für eine Art „Pelletführerschein“ erarbeitet, die es dem Transporteur erlauben, sein Personal sachgerecht zu unterweisen. Derartige Pellets werden in Zukunft durch ein eigenes Gütesiegel gekennzeichnet (Tab. 3 links unten).

Da sich diese Regelungen in der Branche gut zu etablieren scheinen, sollte auch der sachgerechte Transport in absehbarer Zeit keine Probleme mehr bereiten.

2.5.3 Lagerung

Ein wichtiges Aufgabengebiet für die Qualitätssicherung stellt die Lagerung beim Kunden dar. So können falsch konstruierte Lagerräume zu einer Beeinträchtigung qualitativ hochwertiger Pellets führen. Bei Fehlen einer Prallschutzmatte besteht z.B. die Möglichkeit, dass beim Einblasen der Pellets Lagerwände beschädigt oder die Qualität der Pellets beeinträchtigt wird. Um diese Fehler zu vermeiden, gibt es von verschiedensten Einrichtungen Hinweise und Richtlinien zur richtigen Gestaltung von Lagerräumen. Darüber hinaus gibt es in Österreich mit dem Entwurf zur ÖNORM M 7137 erstmals Ansätze für eine Norm zur richtigen Lagerung von Pellets. Eine Zusammenfassung der wichtigsten Lagerräumenanforderungen ist in Kapitel 4 dargestellt.

3 Technik der Pelletheizung

3.1 Typen von Pelletfeuerungen

Die Pellet-Heizungssysteme können unterteilt werden in Pelletöfen mit einem Leistungsbereich von 6 bis 14 kW, in Pelletkessel mit einer Leistung von 10 bis 300 kW und in modifizierte Hackschnitzelkessel für den Leistungsbereich von 80 bis ca. 1000 kW. Als Sonderform stehen Kombikessel zur kombinierten Verfeuerung von Pellets und Stückholz (teilweise auch von Hackschnitzeln) zur Verfügung. Tabelle 4 zeigt eine Übersicht über die verschiedenen Feuerungssysteme und Einsatzmöglichkeiten (ausführliche Informationen zu den verschiedenen Feuerungstechniken sind z.B. unter [23] und [24] zu finden).

3.1.1 Pelletöfen

Pelletöfen werden wie Stückholz-Kaminöfen im Wohnraum des Hauses aufgestellt. Sie besitzen einen vom Brennraum abgetrennten, integrierten Vorratsbehälter, der in der Regel manuell befüllt wird (Abb. 9).

Tab. 4:
Übersicht über die verschiedenen Pelletfeuerungssysteme

	Pelletofen ohne Wassertasche	Pelletofen mit Wassertasche	Pelletkessel	Modifizierter Hackschnitzelkessel	Kombikessel für Pellets und Stückholz
Nenn-Wärmeleistung (kW)	6 – 12	9 – 14	10 – 300	80 – 1000	14 – 60
Brennstofflagerung, Brennstoffzufuhr	kleiner integrierter Vorratsbehälter, manuell zu befüllen, höher liegender Lagerraum mit Schwerkraftförderung möglich		per Schnecke oder Saugförderung aus Lagerraum/Silo/Erdtank		Pellets aus Lager, Stückholz manuell
Eignung	Einzelraum, nur Wärmeversorgung	Etagenwohnung, Niedrigenergiehaus, Vollheizsystem nur in Verbindung mit weiterem Heizsystem	Ein- bis Mehrfamilienhaus, Büros, Schulen	MFH, Büros, Schulen, Hotels, kleine Nahwärme	EFH und MFH bei günstigem Stückholzbezug
Reinigung der Wärmetauscher	–	manuell	manuell, mechanisch, automatisch		manuell, mechanisch
Rostreinigung	manuell	manuell	häufig automatisch	häufig automatisch	Stückholz manuell, Pellets je nach Bauart
Ascheentnahme	manuell	manuell	manuell oder automatisch	manuell oder automatisch	manuell
Preis in Euro	2.000 – 5.000	4.000 – 6.000	ab 5.000	ab 15.000	5.000 – 15.000
Vorteile	keine Wärmeverluste an Heizraum, kostengünstig		universell einsetzbar	universell einsetzbar	Brennstoffunabhängigkeit
Nachteile	keine Vollheizung, Verschmutzungsgefahr und Geräuschentwicklung (Gebläse) am Aufstellort	Verschmutzungsgefahr und Geräuschentwicklung (Gebläse) am Aufstellort			bei guter Technik hoher Preis
zu beachten	Aufstellung nicht raumluftunabhängig, deshalb Wechselwirkungen mit Dunstabzug und Lüftungsanlagen beachten				für häufigen Stückholzeinsatz nur Unterbrandkessel sinnvoll

Durch den Einbau einer Wassertasche und den Anschluss an ein Zentralheizungssystem können Pelletöfen auch zur Beheizung weiterer Räume und ganzer Häuser einschließlich der Brauchwasserbereitstellung verwendet werden. Aufgrund der geringen Größe des Brennstoff-Vorratsbehälters und der deshalb häufig notwendigen Neubefüllung eignet sich dieses Heizsystem jedoch nur bei geringem Wärmebedarf (Etagenwohnung, kleinere Büroetage, Niedrigenergiehaus).

Da mindestens 20 % der erzeugten Wärme als Strahlungs- und Konvektionswärme an den Aufstellraum abgegeben wird, ist für die Brauchwassererwärmung im Sommer auf jeden Fall eine Kombination mit einem weiteren Heizsystem, in der Regel Solar Kollektoren, notwendig.

3.1.2 Pelletkessel, modifizierte Hackschnitzelkessel

Pelletkessel (Abb. 10) werden im Keller oder in einem Heizraum aufgestellt. Sie eignen sich als alleinige Heizquelle für Ein- und Mehrfamilienhäuser, größere Einzelobjekte (Kindergarten, Schule, Büros)

sowie für kleinere Nahwärmesysteme (Tab. 4). Pelletkessel werden automatisch mit Brennstoff versorgt – entweder aus einem Vorratsbehälter oder aus einem Vorratsraum. Für den größeren Leistungsbedarf stellen nur wenige Firmen spezielle Pelletkessel her. Meist werden hierfür an bestehenden Hackschnitzelkesseln entsprechende Anpassungen vorgenommen (Änderungen bei Größe und Taktung der Zufuhrschnecke, bei Steuerung und Regelung).

3.1.3 Kombikessel

Neben ausschließlich für Pellets geeigneten Kesseln werden von einigen Firmen so genannte Kombikessel angeboten, die neben dem Betrieb mit Pellets auch eine Verfeuerung von Stückholz (in seltenen Fällen auch von Hackschnitzeln) zulassen. Das Spektrum reicht von Stückholzeinsatz im Notfall (für einige Stunden) über Kessel mit oberem Abbrand (Stückholzeinsatz auf kurze Zeiträume beschränkt) bis hin zu echten Holzvergaserkesseln mit unterem Abbrand, in denen durch aufwändige Technik sowohl Pellets als auch Stückholz auf optimale Art verfeuert werden können.

3.1.4 Zukünftige Entwicklungen

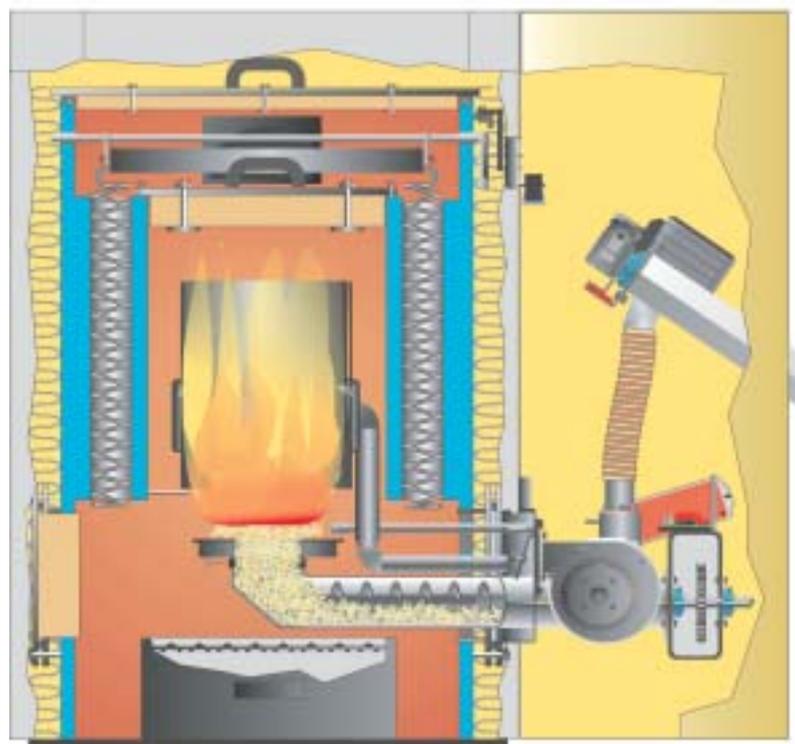
Pelletkessel haben bereits ein recht hohes Niveau bezüglich Komfort, Wirkungsgrad und Umwelteffizienz erreicht. Um auch weiterhin der Konkurrenz von Öl- und Gaskesseln standhalten zu können, werden von den Herstellern einige zusätzliche Anstrengungen unternommen. So geht die Entwicklung von den heute noch verbreiteten Konstanttemperaturkesseln (Vorlauftemperatur konstant bei ca. 85° C) hin zu Niedertemperaturkesseln (Vorlauftemperatur nach Bedarf gleitend zwischen 35 und 85° C), die bereits von einigen Firmen angeboten werden. Es sind aber auch schon Entwicklungsarbeiten für die Nutzung der Brennwerttechnik bei Pelletkesseln in Gange, diese Technik dürfte in wenigen Jahren zur Verfügung stehen.

Neben einer Weiterentwicklung der Effizienz ist ein weiterer wichtiger Punkt die Anpassung an den geringen Energieverbrauch moderner Häuser. Viele gut gedämmte Neubauten haben eine Heizlast von deutlich unter 10 kW. Hier wollen die Kesselhersteller mit Entwicklungen kleinerer Kessel mitziehen, in naher Zukunft sollen Kessel mit einer Nennleistung von ca. 7 kW angeboten werden. Damit stehen zukünftig auch für hochwärmegedämmte Häuser geeignete Pelletheizungen zur Verfügung.

Abb. 9:
Schnittbild eines Pelletofens



Abb. 10:
Schnittbild eines Pelletkessels mit Unterschubfeuerung



3.2 Emissionen

Voraussetzung für geringe Emissionen sind vor allem geeignete und wirksame Regelungstechniken.

3.2.1 Regelungstechnik

Grundsätzlich sind zwei Regelungstechniken zu unterscheiden. Über die Leistungsregelung kann die Wärmeleistung der Pelletfeuerung an den geforderten Wärmebedarf angepasst werden. Über die Vorgaben der Außentemperatur und Tageszeit sowie durch Messung der Vor- und Rücklauftemperatur kann über eine Variation der eingebrachten Brennstoffmenge die Feuerungsleistung dem erforderlichen Bedarf angepasst werden. Meist ist eine Leistungsrosselung bis auf ca. 25 - 30 % der Volllast möglich.

Ziel der Verbrennungsregelung ist es, die Emission von Schadstoffen in allen Betriebszuständen möglichst gering zu halten. Da über die Leistungsregelung die eingebrachte Brennstoffmenge variiert wird, muss die jeweils notwendige Luftmenge diesen wechselnden Bedingungen angepasst werden. Die Bestimmung der erforderlichen Luftmenge geschieht durch Messung der Verbrennungstemperatur, durch Luftmengensensorik oder mit Hilfe einer Lambda-Sonde.

Tab. 5:
Leistungs- und Emissionswerte von Pelletzentralheizungsanlagen (Prüfstandergebnisse aus den Jahren 1999 - 2003) [21]

		Pelletkessel			Pelletöfen		
		min.	max.	Durchschnitt	min.	max.	Durchschn.
Nennwärmeleistung	kW	10	95	23,2	9	14	10,5
Kleinste Wärmeleistung	kW	2,3	29	7,0	2	4,4	2,7
Wirkungsgrad Volllast	%	82	94,9	90,8	85,1	94,2	91,3
Wirkungsgrad Teillast	%	79	93,9	89,1	85,3	95,6	92,9
Abgastemperatur Volllast	°C	96,5	227	143,4	78	197	141,9
Abgastemperatur Teillast	°C	64	185	90,2	31	100	65,0
CO Volllast	mg/m ³ *	6	242	71,5	65	279	154,1
CO Teillast	mg/m ³ *	33	789	250,2	246	620	369,2
Staub Volllast	mg/m ³ *	5	38	17,6	15	63	25,8
Staub Teillast	mg/m ³ *	7	50	25,5	15	43	36,4
NO _x Volllast	mg/m ³ *	42	312	126,6	75	163	98,4
NO _x Teillast	mg/m ³ *	44	259	136,5	42	172	90,7
org. C Volllast	mg/m ³ *	< 1	17	2,3	2	10	7,3
org. C Teillast	mg/m ³ *	< 1	15	4,3	9	12	10,4

* bezogen auf 13% O₂

Anzahl der erfassten Kessel: 96
Anzahl der erfassten Öfen: 10
nicht für alle Parameter Daten von allen Anlagen verfügbar

Tab. 6:
Ergebnisse von Vor-Ort-Emissionsmessungen bei Nennlast an fünf bestehenden Pelletfeuerungen [22]

		Pellet-Zentralheizungskessel				Pellet-Warmluftofen
		1999	2000	2001	2002	2000
Baujahr des Kessels						
Wirkungsgrad	%	90	83	91	91	56
Abgastemperatur	°C	122	130	136	128	193
Luftzahl		1,9	4,1	1,6	1,7	6,1
CO	mg/m ³	559	210	26	266	121
Staub	mg/m ³	25	33	32	24	50

Tab. 7:
Emissionsgrenzwerte bei der Verfeuerung von naturbelassenem Holz [8], [36]

	Leistung	CO	Staub
		bei Nennwärmeleistung	
	kW	mg/Nm ³	mg/Nm ³
1. BlmSchV	bis 15	keine Begrenzung (außer „heller als Grauwert 1“) *	
	> 15 - 50	4000	150
	> 50 - 150	2000	150
	> 150 - 500	1000	150
	> 500 - 1000	500	150
Marktanzreizprogramm	bis 1000	250	50

* Allgemeine Anforderung der 1. BlmSchV: Abgasfahne muss heller sein als Grauwert 1 (Grauwertskala in Anlage 1 zur 1. BlmSchV)

3.2.2 Emissionswerte

Aufgrund des genormten, bezüglich Stückigkeit und Wassergehalt weitgehend homogenen Brennstoffs und durch aufwändige Feuerungstechniken ist es gelungen, die Emissionen auf ein sehr niedriges Niveau zu drücken – besonders im Vergleich mit anderen Feststoff-Feuerungen. Tabelle 5 zeigt eine Zusammenfassung der Prüfstandsmessungen am Markt befindlicher Pelletkessel und Pelletöfen, wobei eindeutige Baugleichheiten unberücksichtigt geblieben sind. Die Pelletöfen liegen beim Wirkungsgrad im Durchschnitt etwas besser, da hier die Abstrahlung der Öfen nicht als Verlust gerechnet wird.

Bei den Emissionswerten liegen in der Regel die Pelletkessel deutlich vor den Pelletöfen. Hier sind aufgrund der größeren Bauform wesentlich günstigere Voraussetzungen zur Optimierung des Brennraumes, der Verweildauer der Holzgase und der Wärmetauscherflächen vorhanden. Ein Zeichen von guter und vollständiger Verbrennung sind niedrige Werte bei den CO-Emissionen und hier vor allem im Teillastbetrieb, da dieser in der Regel den üblichen Betriebszustand darstellt.

Tabelle 6 zeigt Emissionswerte, die sich bei Praxismessungen an fünf verschiedenen Pelletfeuerungen in der Schweiz ergeben haben. Es wird deutlich, dass speziell Kessel aus jüngeren Baujahren auch in der Praxis gute bis sehr gute CO-Werte erzielen und dass beim Staub alle Kessel in einem guten Bereich liegen. Gleichzeitig ist erkennbar, dass bei nicht optimal eingestellter Steuerung der Wirkungsgrad aufgrund zu hoher Luftzahlen deutlich verschlechtert ist, während korrekt eingestellte Kessel sehr gute Wirkungsgrade erreichen.

In Tabelle 7 sind zum Vergleich die gesetzlichen Anforderungen dargestellt, die für Kleinfeuerungsanlagen bei der Verfeuerung von naturbelassenem Holz (inkl. Pellets) entsprechend der 1. BImSch [36] gelten. Es zeigt sich sehr deutlich, dass Pelletfeuerungsanlagen die geforderten Grenzwerte sowohl für CO als auch für Staub weit unterschreiten, meist sogar um das 10- bis 100-fache. In Tabelle 7 sind deshalb zusätzlich die Grenzwerte aufgeführt, die gemäß dem Marktanreizprogramm Erneuerbare Energien [8] für eine Förderung der Anlagen verlangt werden (siehe Kap. 8). Hier werden den technischen Möglichkeiten entsprechend deutlich schärfere Grenzwerte gefordert. Auch diese Werte werden von allen am Markt befindlichen Pelletkesseln und fast allen Pelletöfen problemlos eingehalten.

3.3 Anlagenreinigung und -wartung

3.3.1 Wärmetauscherreinigung

Bei der Verbrennung der Pellets entsteht eine geringe Menge Flugasche, die sich auf den Flächen des Wärmetauschers niederschlägt. Eine regelmäßige Reinigung der Wärmetauscherflächen (automatisch/mechanisch per Rüttelhebel oder mit Bürste von Hand) ist für einen Betrieb mit optimalem Wirkungsgrad notwendig.

3.3.2 Entaschung

Der Ascheanfall ist bei Pelletheizungen relativ gering. Bei einem durchschnittlichen Einfamilienhaus fallen etwa 20 kg Asche pro Jahr an, die im Garten ausgebracht oder über die Biomülltonne entsorgt werden kann. Bei den einfacheren Modellen muss der Rost/Brennraum in regelmäßigen Abständen manuell mit Bürste oder Staubsauger entascht werden, bei aufwändigeren Konstruktionen erfolgt die Entaschung automatisch. Je nach Größe muss die Aschelade in Abständen von ein bis mehreren Wochen entleert werden. Durch den Einbau einer Aschekompression können die Abstände bis auf ein Jahr verlängert werden.

3.3.3 Überprüfung/Wartung

Pelletkessel mit einer Nennwärmeleistung von mehr als 15 kW unterliegen laut 1. Bundes-Immissionschutz-Verordnung (BImSchV, [36]) einer jährlichen Messpflicht durch den Bezirksschornsteinfeger, bei der die Staub- und CO-Emissionen bestimmt werden. Die 1. BImSchV befindet sich derzeit in Überarbeitung, entsprechend werden von verschiedenen Seiten Forderungen für die Novellierung gestellt. Diskutiert wird sowohl die Einbeziehung auch der kleineren Kessel in die Messpflicht wie auch eine weitreichende Befreiung aller Pelletkessel.

Da derzeit Anlagen unter 15 kW nicht dieser Messpflicht unterliegen, sollte hier auf freiwilliger Basis jährlich eine technische Überprüfung des Kessels durchgeführt werden, um eventuell fehlerhafte Einstellungen zu erkennen und zu korrigieren (Emissionsmesswerte Tab. 6).

Außerdem muss auch bei der Wahl von automatischen Reinigungssystemen der Kessel einmal im Jahr einer Komplettreinigung unterzogen werden. In diesem Zusammenhang kann der Abschluss eines Wartungsvertrages hilfreich sein, der neben einer jährlichen Grundreinigung und Funktionsüberprüfung in der Regel auch die erforderlichen Ersatzteile umfasst. Je nach Ausgestaltung des Vertrages sind die Kosten für die genannten Punkte bereits abgegolten, Kosten für Reparatur-Arbeitszeit werden meist getrennt berechnet.

4 Anforderungen an die Pelletlagerung

Um einen störungsfreien Betrieb der Pelletheizung gewährleisten zu können, ist die richtige Auslegung des Lagerraumes von entscheidender Bedeutung. Da in diesem Bereich Planungsfehler zu Ausfällen des Heizsystems führen können, soll nachfolgend auf die für die Planer und Architekten wichtigen Anforderungen an die Lager- und Heizraumgestaltung näher eingegangen werden.

4.1 Größe des Pelletlagers

Zu Beginn der Planung stellt sich prinzipiell erst einmal die Frage nach der benötigten Größe des Pelletlagers. Pellets können ohne Probleme längere Zeit gelagert werden, eine Lagerung über zwei Jahre ist jedoch nicht empfehlenswert. Die Größe des Lagers richtet sich daher im Allgemeinen nach dem Jahresheizwärmebedarf eines Gebäudes, optimalerweise sollte das Lager so ausgelegt sein, dass es das 1,2 bis 1,5-fache des Jahresbedarfs fassen kann.

Zur Berechnung der Lagergröße kann entweder der Jahreswärmebedarf oder die Heizlast eines Gebäudes herangezogen werden. Hierbei gelten folgende Faustregeln:

- **1 kW Heizlast entspricht 0,9 m³ Lagerraum (inkl. Leerraum)**
- **1 m³ Lagerraum fasst 650 kg** bzw.
- **1 t benötigt 1,5 m³ Lagerraum**
- **Energieinhalt Pellets ≈ 5 kWh/kg**

Da Sacksilos bzw. Erdtanks in der Regel in bestimmten Volumengrößen verkauft werden, empfiehlt sich bei ihnen die Volumenberechnung mit Hilfe des Jahreswärmebedarfs. Die Berechnung der Größe von Lagerräumen innerhalb eines Gebäudes erfolgt dagegen in der Regel mit Hilfe der Heizlast (Beispiele in der nächsten Spalte).

Grundsätzlich sollte das Pelletlager länglich-rechteckig sein, wobei die Breite – wenn möglich – 2 m nicht übersteigen soll (z. B. 2 m x 3 m oder 1,8 m x 3,2 m). Zusätzlich gilt: je schmaler der Raum, desto geringer der nicht zur Lagerung nutzbare Leerraum ([25], vgl. Abb. 7). Aus diesem Grund ist ein länglicher Lagerraum einem quadratischen vorzuziehen.

Bei Gebäuden mit einem großen Jahreswärmebedarf (z. B. Mehrfamilienhaus) kann sich die Größe des Lagerraums nach der maximalen Zuladung eines Tanklastzuges richten, die bei ca. 20 - 25 t liegt. Ab einer Lagermenge von 15 t sind dabei die speziellen Vorschriften der Feuerungsanlagenverordnungen zu beachten (siehe Kapitel 4.4.1). Zusätzlich muss die maximal zulässige Schütthöhe des Austragungs-systems berücksichtigt werden.

Beispiel zur Berechnung der Größe eines Pelletlagers:

- Ein durchschnittlich gut gedämmtes Einfamilienhaus
- von 150 m² Wohnfläche weist
- eine Heizlast von ca. 10 kW und
- einen Jahreswärmebedarf von ca. 16.000 kWh auf.
- Der Pelletkessel hat einen Nutzungsgrad von 87 %.

Berechnung für die Größe eines Sacksilos/Erdtanks:

Aus dem Nutzungsgrad des Kessels und dem Jahreswärmebedarf des Hauses ergibt sich ein Jahresbrennstoffbedarf von

$$16.000 \text{ kWh} : 87 \% = 18.400 \text{ kWh}$$

Dies entspricht einer Pelletmenge von

$$18.400 \text{ kWh} : 5 \text{ kWh/kg} = 3.680 \text{ kg}$$

Hieraus resultiert ein benötigtes Volumen von

$$3.680 \text{ kg} : 650 \text{ kg/m}^3 = 5,7 \text{ m}^3$$

Das Sacksilo/der Erdtank sollte zur sicheren Deckung des Jahresbedarfs ein Fassungsvermögen von rund

$$6 - 7 \text{ m}^3 \text{ aufweisen.}$$

Berechnung für einen Lagerraum im Gebäude:

Laut Faustformel ergibt sich ein Lagervolumen von

$$10 \text{ kW Heizlast} \times 0,9 \text{ m}^3 = 9 \text{ m}^3$$

(inkl. Leerraum)

Dies entspricht einer Lagerraumgrundfläche von

$$9 \text{ m}^3 : 2,5 \text{ m (Raumhöhe)} = 3,6 \text{ m}^2$$

Hieraus resultiert ein Lagerraum mit einer Grundfläche von z. B.

$$1,8 \text{ m} \times 2 \text{ m.}$$

Da nur rund 2/3 des Raumvolumens auch tatsächlich zur Lagerung genutzt werden können, ergibt sich ein nutzbares Lagervolumen von:

$$(3,6 \text{ m}^2 \times 2,5 \text{ m}) \times 2/3 = 6 \text{ m}^3$$

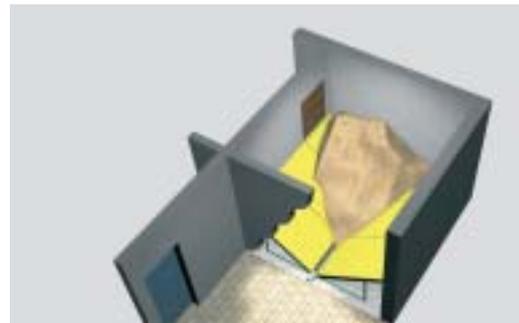
Das entspricht einer Pelletmenge von

$$6 \text{ m}^3 \times 650 \text{ kg/m}^3 = 3.900 \text{ kg}$$

Tab. 8:
Verschiedene Möglichkeiten der Pelletlagerung

Lagermöglichkeiten

Gebautes Lager im Gebäude



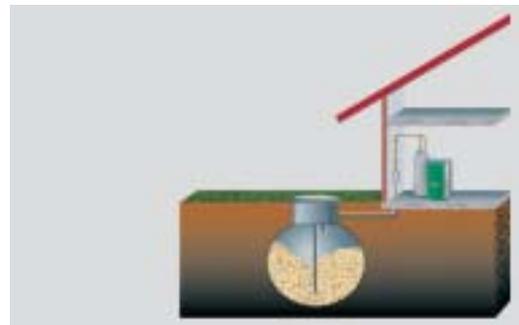
Sacksilo



Lagertank



Erdtank



Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> • kostengünstig • geringerer Raumbedarf als bei Aufstellung eines Sacksilos/ Lagertanks im Gebäude 	<ul style="list-style-type: none"> • trockener Raum innerhalb des Gebäudes erforderlich • Gefahr der Staubausbreitung • gute Planung und Bauausführung notwendig
<ul style="list-style-type: none"> • schnelle und einfache Montage • montagefertige Lieferung, keine baulichen Maßnahmen erforderlich • Aufstellung sowohl innerhalb als auch außerhalb des Gebäudes möglich • unproblematische Entnahme • Austragungssystem ist für Wartungs- und Reparaturarbeiten frei zugänglich • aktueller Füllstand von außen fühl- und / oder sichtbar • staubdicht 	<ul style="list-style-type: none"> • höhere Kosten gegenüber Lagerraum • größerer Raumverlust gegenüber Lagerraum • je nach Hersteller geringe Flexibilität in der Geometrie (z. T. aber auch individuelle Raumanpassung möglich)
<ul style="list-style-type: none"> • schnelle und einfache Montage • montagefertige Lieferung, keine baulichen Maßnahmen erforderlich • Aufstellung sowohl innerhalb als auch außerhalb des Gebäudes möglich • unproblematische Entnahme • Austragungssystem ist für Wartungs- und Reparaturarbeiten frei zugänglich 	<ul style="list-style-type: none"> • höhere Kosten gegenüber Lagerraum • bei größerem Lagerbedarf sind mehrere Batteriesilos notwendig • bei Tankbatterien müssen Einblas- und Entlüftungsstutzen bei Befüllung umgesteckt werden
<ul style="list-style-type: none"> • Raumgewinn / keine Brennstofflagerung im Gebäude • keine Probleme mit Staubentwicklung / Brandgefahr im Gebäude 	<ul style="list-style-type: none"> • hohe Kosten • angesaugte Außenluft kann zu Kondenswasserbildung führen • Austragungssystem schlecht zugänglich

4.2 Möglichkeiten der Pelletlagerung

Ist die Frage der benötigten Größe des Pelletlagers geklärt, stellt sich anschließend die Frage, wo dieses Lager untergebracht werden kann. Hierfür bieten sich generell zwei Möglichkeiten, die ihrerseits die Art der Pelletlagerung beeinflussen:

- Lagerung innerhalb des Gebäudes (z. B. Keller oder Dachboden) in einem Lagerraum, Sacksilo oder Lagertank
- Lagerung außerhalb des Gebäudes in einem Sacksilo, Lagertank oder Erdtank

Der Umbau von alten Heizöltanks zur Lagerung von Pellets hat sich in der Praxis als untauglich erwiesen und sollte daher auch nicht in Betracht gezogen werden.

Gründe, die für eine Lagerung außerhalb des Gebäudes sprechen, sind neben Raummangel vor allem die Kostenersparnisse durch Raumgewinn.

Grundsätzlich können folgende Arten der Pelletlagerung unterschieden werden:

- gebautes Lager im Gebäude
- Sacksilo
- Lagertank
- Erdtank

Die Vor- und Nachteile der einzelnen Lagerungsarten sind Tabelle 8 zu entnehmen.

4.3 Anforderungen für die Pelletanlieferung

Bei der Suche nach einem geeigneten Ort für das Pelletlager sind einige wichtige Punkte zu beachten, die je nach Bedingung vor Ort den Einsatz einer Pelletheizung ggf. unmöglich machen können. Eine Berücksichtigung dieser Punkte in der Planungsphase ist für den Erfolg des Projektes daher unabdingbar.

Pellets werden in der Regel mit Hilfe eines Silowagens angeliefert. Es muss daher gewährleistet sein, dass der Zufahrtsweg zum Gebäude/Lager für einen LKW geeignet ist.

Da die meisten Silowagen über einen Pumpschlauch mit einer maximalen Länge von 30 m verfügen, dürfen das Lager bzw. die Befüllstutzen maximal 30 m von der Hauszufahrt entfernt sein (Abb. 11). Sind längere Pumpschlauchlängen zu erwarten, ist bereits während der Planung Rücksprache mit potenziellen Lieferanten zu halten, um deren technischen Möglichkeiten abzuklären.

Für das Absauggebläse wird ein Stromanschluss benötigt. Daher muss in der Nähe der Befüllstutzen eine 230 V Steckdose angebracht sein (Abb. 12).

Die Befüllstutzen selbst müssen von außen frei zugänglich sein. Bei einer Lagerung im Gebäude ist es daher von Vorteil, wenn der Lagerraum an eine Außenmauer des Hauses grenzt. Ist dies nicht der Fall, sollte dafür gesorgt werden, dass die Einblas- und Absaugrohre bis an die Außenmauern geführt werden. Hierbei sind die geltenden Brandschutzbestimmungen zu beachten.

Bei der Befüllung ist darauf zu achten, dass die Heizungsanlage aus sicherheitstechnischen Gründen abgeschaltet ist.

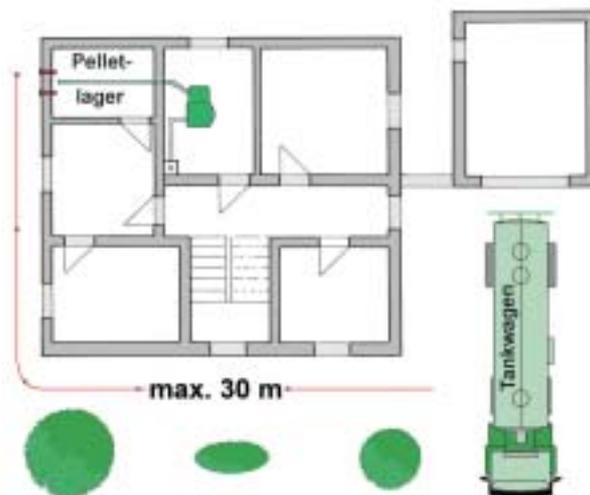


Abb. 11: Anforderung an die Pelletlieferung



Abb. 12: Befüllstutzen mit Pumpschlauch (rechts), Absaugschlauch und Steckdose für das Absauggebläse

4.4 Bautechnische Anforderungen an den Heiz- und Lagerraum

4.4.1 Brandschutz

Grundlage für die Lagerung von Brennstoffen bilden in Deutschland die jeweils bundeslandspezifischen „Verordnungen über Feuerungsanlagen und Brennstofflagerung“ (FeuVO). Diese enthalten jedoch keine für Pellets spezifischen Lagervorschriften. Im Allgemeinen werden daher die Lagervorschriften für feste Brennstoffe herangezogen. Nach dieser Auslegung gelten in den meisten Bundesländern bis zu einer Menge von 15 t keine Auflagen. Daher kann die für ein Ein- oder Zweifamilienhaus benötigte Menge an Pellets in der Regel ohne zusätzliche Brandschutzvorkehrungen sowohl im Keller als auch auf dem Dachboden gelagert werden [12]. In Hessen und im Saarland sind bis zu einer Kesselleistung von 150 kW keine Anforderungen einzuhalten. Bei Mehrfamilienhäusern bzw. Nahwärmenetzen mit einer benötigten Lagermenge von mehr als 15 t müssen die in Tabelle 9 angeführten feuerungstechnischen Anforderungen eingehalten werden. Die Anforderung an den Aufstellraum des Pelletkessels sind Tabelle 10 zu entnehmen.

Tab. 9:
Feuerungstechnische Anforderungen an den Lagerraum [24], [33]

Pellet-Lagermenge ≤ 15 t (≈ 23 m³)

- Keine Anforderungen an Wände, Decken, Türen und die Nutzung

Pellet-Lagermenge > 15 t

- Wände und Decken F 90
- keine Leitungen durch Wände
- keine anderweitige Nutzung
- Türen selbstschließend und feuerhemmend T 30

Tab. 10:
Feuerungstechnische Anforderungen an den Feuerstättenaufstellraum [24], [33]

Nennwärmeleistung des Kessels ≤ 50 kW (Feuerstättenaufstellraum)

- Kein gleichzeitiger Betrieb der Feuerstätte und von luftsaugenden Anlagen
- Verbrennungsluftversorgung d. Feuerstätte von außen (min. 150 cm² gr. Öffnung)
- Abstand der Feuerstätte zum Brennstofflager 1 m oder Strahlungsblech
- Pellets bis 15 t dürfen im Aufstellraum gelagert werden

Nennwärmeleistung des Kessels > 50 kW (Heizraum)

- Eigener Heizraum notwendig, keine anderweitige Nutzung
- Wände und Decken F 90
- Türen selbstschließend, nach außen öffnend und feuerhemmend T 30
- zur Raumlüftung eine obere und untere Öffnung ins Freie von min. je 150 cm² oder Leitungen ins Freie mit strömungstechnisch äquivalenten Querschnitten
- Pellets bis 15 t dürfen im Aufstellraum gelagert werden
- Abstand Feuerstätte zum Pelletlager 1 m oder Strahlungsblech

4.4.2 Feuchteschutz

Pellets sind stark hygroskopisch, so dass sie bei Kontakt mit Wasser oder feuchten Untergründen bzw. Wänden aufquellen, zerfallen und damit unbrauchbar werden. Die Auslegung des Pelletlagers muss daher eine ganzjährige trockene Lagerung sicherstellen. Bei Gefahr von zeitweise feuchten Wänden (z. B. Altbau) empfiehlt es sich, eine hinterlüftete Vorsatzschale auf die Wände anzubringen. Alternativ bietet sich unter solchen Umständen auch die Lagerung in Sacksilos oder Lagertanks an [25].

4.4.3 Befüllsystem

Zum Befüllen des Pelletlagers werden außer beim Einsatz von Sacksilos zwei Stützen benötigt. Einer dient dem Einblasen der Pellets, am anderen wird zur Vermeidung von Überdrücken im Lagerraum während des Einblasvorgangs das Absauggebläse angeschlossen. Hierfür werden Kupplungsstutzen System Storz Typ A mit einem Durchmesser von 100 mm verwendet, die fest mit dem Mauerwerk verbunden werden müssen. Bei Erstellung des Rohbaus wird empfohlen, bauseits einen Wanddurchbruch von 125-150 mm herzustellen. Hierfür hat sich in der Praxis ein PE- oder KG-Rohr bewährt, das in die Wand eingemauert wird. Der Einbau der Befüllstutzen erfolgt gemäß Abbildung 13. Um elektrostatische Aufladungen beim Befüllvorgang zu vermeiden, sind die Befüllkupplungen abschließend zu erden [25].

Die Stützen sollten einen Abstand von mindestens 50 cm aufweisen, da sonst die Gefahr besteht, dass die eingeblasenen Pellets sofort wieder abgesaugt

werden. Ist ein Abstand von 50 cm nicht möglich, sollte der Einfüllstutzen ca. 50 cm länger als der Absaugstutzen angefertigt werden [26]. Um eine gleichmäßige und optimale Befüllung des Raumes zu gewährleisten, sollte der Befüllstutzen in der Mitte der schmalen Seite unterhalb der Decke montiert werden [23].

Für das Befüllsystem dürfen ausschließlich Metallrohre verwendet werden. Da Pellets beim Befüllen mit hohem Druck und hoher Geschwindigkeit in das Befüllsystem eingeblasen werden, sollte es zum Schutz der Pellets möglichst wenige Bögen aufweisen, innen glattwandig sein und nicht zu lang werden. Sind Bögen unabdingbar, sollten sie einen Radius von mindestens 20 cm aufweisen [25] und maximal mit 45° [23] ausgeführt werden. Das Befüllsystem sollte nicht mit einem Bogen enden, sondern mit einem geraden, ca. 50 cm langen Beruhigungsrohr abschließen [25].

Soll das Pelletlager im Obergeschoss des Gebäudes errichtet werden, muss als erstes geprüft werden, ob die Statik der Geschosdecke den Belastungen durch das Gewicht der Pellets standhält. Für die Lage des Befüllsystems gibt es zwei Möglichkeiten: entweder innerhalb des Gebäudes (z.B. durch einen Schacht) oder außerhalb des Gebäudes entlang der Fassade. In beiden Fällen ist zum Schutz vor Verstopfungen darauf zu achten, dass das vertikale Rohr direkt im Befüllstutzen endet und nicht horizontal verlängert wird. Die Rohre sind so lang auszuführen, dass sie bei der Befüllung ohne Hilfsmittel (Leiter) erreichbar, jedoch nicht länger als 25 m sind (Abb. 14).

4.4.4 Spezielle Anforderungen an Sacksilos/Lagertanks

Sacksilos, die luftdurchlässig und staubdicht sind, benötigen in der Regel keinen Absaugstutzen, es sei denn, es wird vom Anbieter empfohlen [23]. Für Behälter ohne Absaugstutzen ist im Aufstellraum eine Ableitung der Förderluft vorzusehen, z. B. durch eine geöffnete Tür oder ein Fenster beim Befüllvorgang [27]. Sacksilos, die staub- und luftdicht sind, benötigen auf jeden Fall auch einen Absaugstutzen.

Sacksilos, die im Freien aufgestellt werden, sind vor Regenwasser und direkter Sonnenstrahlung beispielsweise durch einen Carport oder Holzverschlag zu schützen. In feuchten Kellern darf das Gewebe nicht an den nassen Wänden anliegen.

Die Tragfähigkeit des Bodens muss für eine Punktlast von mindestens 1.500 kg geeignet sein. Bei Außenaufstellung ist die Schaffung eines gut ausgerichteten Betonfundaments für die Verankerung der Bodenfüße notwendig (Sicherung gegen Windbelastung).

4.4.5 Spezielle Anforderungen an Erdtanks

Bei Erdtanks müssen alle leitfähigen Teile des Tanks und der Anschlussarmaturen geerdet sein. Die Wandungen des Tanks sind so auszuführen, dass sie den statischen Belastungen beim und nach dem Einbau des Tanks standhalten. Die Verbindung von Tank und Heizungskeller hat über ein Schutzrohr zu erfolgen, das in einer Tiefe von mindestens 30 cm verlegt wird [27]. Bei Gefährdung durch Wasserauftrieb ist für den Erdtank eine Auftriebssicherung vorzusehen.

Wird bei Erdtanks durch die Saugaustragung wärmere Außenluft in den kalten Tank gesaugt, besteht die Gefahr, dass Kondenswasser ausfällt. Aus diesem Grund ist bei Erdtanks ein geschlossener Luftkreislauf durch Verwendung eines Doppelschlauchs empfehlenswert.

Pelletseinblasstutzen – Ausführung und Einbau

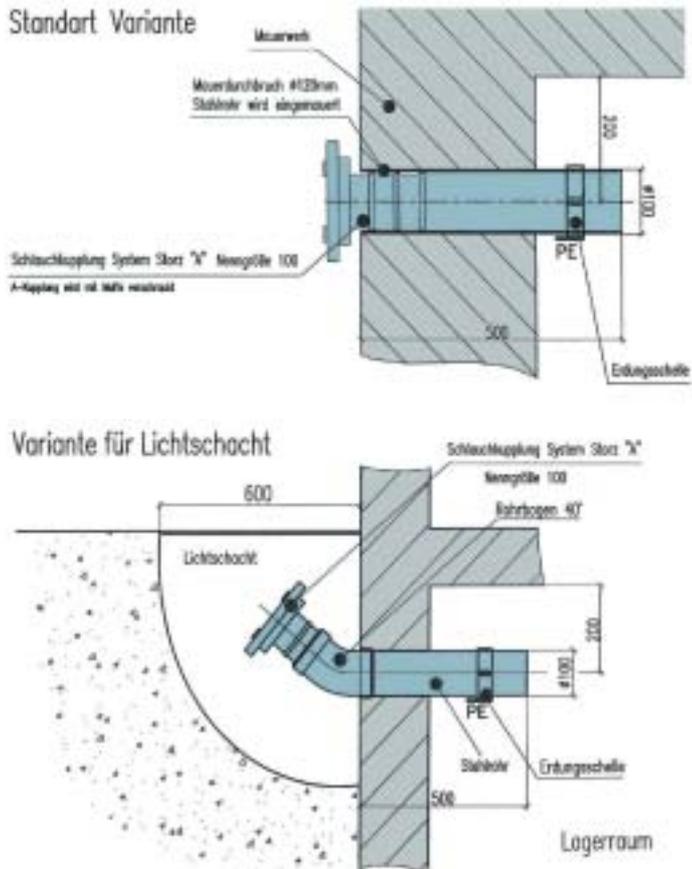
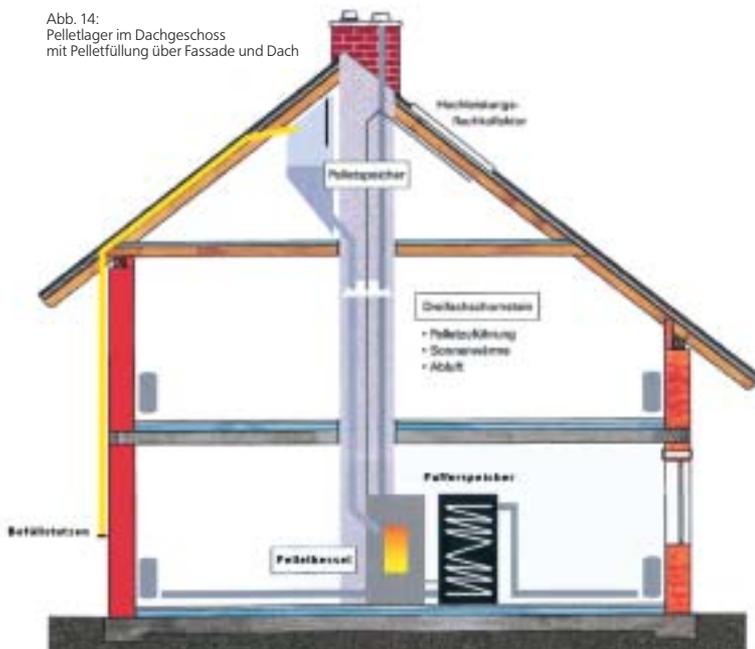


Abb. 13: Einbau der Befüllstutzen, Rohrbögen sollten zum Schutz der Pellets maximal 45° aufweisen

Abb. 14: Pelletlager im Dachgeschoss mit Pelletfüllung über Fassade und Dach



4.4.6 Anforderungen an Lagerräume

Bei der Auswahl bzw. Konstruktion von Lagerräumen innerhalb des Gebäudes ist darauf zu achten, dass die Umschließungswände den statischen Anforderungen der Gewichtsbelastung durch die Pellets (650 kg/m^3) standhalten. In der Praxis haben sich folgende Materialien bewährt:

- mittelschwerer Hochlochziegel, 11,5 cm, beidseitig verputzt
- Beton, 10 cm, bewehrt
- Porenbeton, 11,5 cm, beidseitig verputzt
- Holzständerwände aus 12 cm Balken, Abstand 62,5 cm, beidseitig mit Holzwerkstoffen 15 - 20 mm beplankt, konstruktiver Anschluss an Decke, Boden und Wände

Die Wandlänge sollte hierbei maximal 5 m und die Höhe 2,5 m betragen [25].

Türen bzw. Luken zum Pelletlager müssen gegen den Druck der Pellets geschützt werden. Hierfür können z. B. auf der Innenseite Holzbretter in Profile (Z-Winkel) eingeschoben werden (Abb. 15). Zusätzlich ist darauf zu achten, dass die Türen nach außen aufgehen und zum Schutz gegen Staubaustritt mit einer umlaufenden Dichtung versehen werden.

Eine feuergeschützte Ausführung der Lagerraumwände und Türen ist erst ab einer Pelletlagermenge von mehr als 15 t notwendig.

Um den Füllstand des Lagerraumes kontrollieren zu können, können beispielsweise mit Plexiglas ge-

schützte Sichtfenster in die Holzbretter eingebracht werden.

Da die Pellets mit Überdruck in den Lagerraum eingeblasen werden, kann der Aufprall zur Beschädigung des Mauerwerkes und der Pellets selbst führen. Um dies zu verhindern, muss auf der dem Befüllstutzen gegenüber liegenden Seite des Lagerraums eine Prallschutzmatte in einem Abstand von etwa 20 cm zur Wand an der Decke angebracht werden (Abb. 16). Sie muss aus einem abriebfesten und alterungsstabilen Kunststoff (z. B. $125 \times 150 \text{ cm}$ große, 1 mm dicke HDPE-Folie) bestehen [25].

Um einen vollständigen Austrag der Pellets zu ermöglichen, ist der Lagerraum mit einem Schrägboden zu versehen. Damit die Pellets selbstständig nachrutschen, muss der Winkel des Schrägbodens zwischen $40 - 45^\circ$ betragen. Für die Schrägstellung des Bodens eignen sich z. B. Winkelträger (Abb. 17). Der Schrägboden ist vorzugsweise aus Holzwerkstoffen mit einer glatten Oberfläche zu fertigen (z.B. beschichtete/unbeschichtete Spanplatten) und muss den statischen Anforderungen der Gewichtsbelastung durch die Pellets (Dichte: 650 kg/m^3) standhalten [25]. Bei einer Schütthöhe von 2 m kann diese immerhin 1.300 kg/m^3 betragen [26].

Um Schallübertragungen zu verhindern, darf der Schrägboden nicht direkt am Fördersystem anliegen. Es wird daher empfohlen, einen Blechstreifen am un-

teren Ende des Schrägbodens zu befestigen, der bis kurz vor das Austragssystem reicht und mit einem 2 - 3 mm dicken Moosgummi an diesem anschließt [23]. Der Blechstreifen muss hierbei etwa 10 mm unterhalb der Förderkanalöffnung anstoßen. Dies dient zur Druckentlastung der Förderspirale [25]. Auch der Förderkanal selbst sollte zur Vermeidung von Schallübertragung auf einer Gummiunterlage aufliegen (Abb. 17).

Um zu vermeiden, dass die Last der Pellets direkt auf das Fördersystem drückt, wird oberhalb des Fördersystems ein Winkeleisen zur Druckentlastung montiert (Abb. 17). Damit die Pellets ungehindert zum Fördersystem durchrutschen können, sollte der Abstand zwischen Schnecke und Winkel mindestens 6 - 8 cm betragen.

Die Installation eines Schrägbodens kann entfallen, wenn anstelle einer mittigen Schneckenaustragung eine Pendelschnecke oder eine Federblatt-Raumaustragung („Rührwerk“) installiert wird, wie sie bei Raumaustragung von Hackschnitzeln üblich sind (Tab. 10). Diese Austragungssysteme eignen sich v. a. für die Lagerung großer Pelletmengen, wie dies beispielsweise zur Beheizung von Mehrfamilienhäusern der Fall ist. Bei der Wahl eines solchen Austragungssystems sind zwei Dinge zu beachten: die Grundfläche des Lagerraums sollte quadratisch sein und die vom Hersteller genannte maximal zulässige Schütthöhe für Pellets (diese ist bei Pellets aufgrund

Abb. 15:
Anforderung an die Lagertür

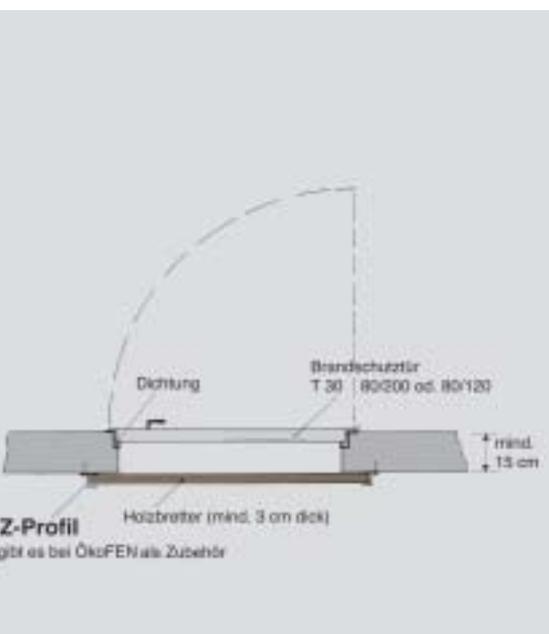
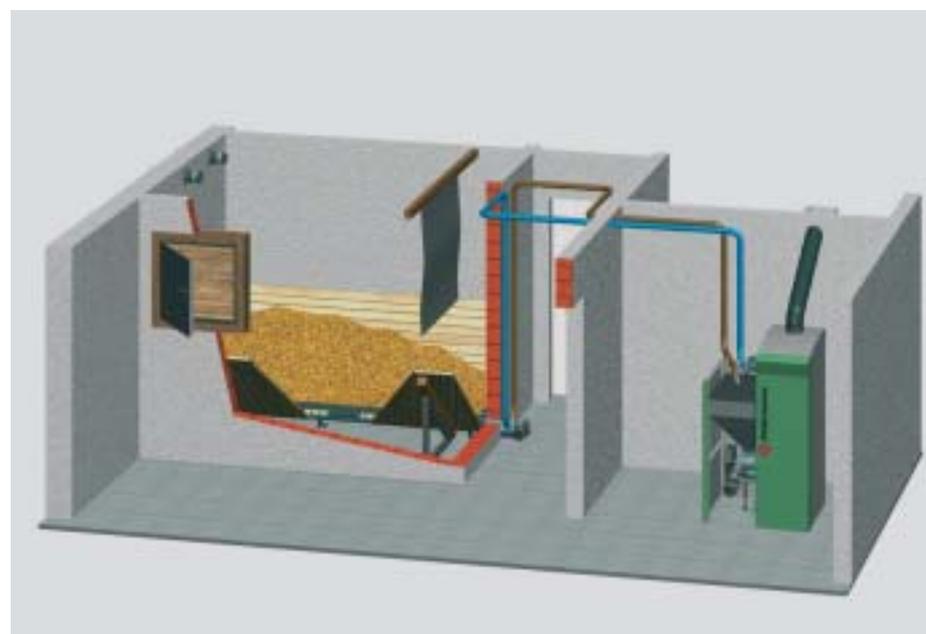


Abb. 16:
Querschnitt eines Pelletraums mit Schrägboden, Schneckenaustragung, Lagertür



4.5 Austragungssysteme

der höheren Dichte niedriger als die für Hackschnitzel) muss in der Planung berücksichtigt werden [23].

Im Lagerraum bereits bestehende und nur mit nicht vertretbarem Aufwand zu entfernende Rohrleitungen oder Abflussrohre, die die Flugbahn der Pellets beim Einblasen kreuzen, sind strömungs- und bruch-sicher zu verkleiden. Hierbei ist beispielsweise durch schräg anstatt rechteckig angebrachte Verkleidungen darauf zu achten, dass die Pellets nicht beschädigt werden [25].

Im Pelletlagerraum selbst dürfen sich aus brandschutzrechtlichen Gründen keine Elektroinstallati-onen wie Lichtschalter, Steckdosen, Lichtlampen oder Verteilerdosen befinden. Sind Beleuchtungskörper im Lagerraum erwünscht, ist eine explosionsge-schützte Variante zu wählen. Zusätzlich ist ein Not-Aus-Schalter in Griffweite der Lagerraumtür für die Heizanlage zu montieren.

Des Weiteren ist darauf zu achten, dass der Lager-raum frei von kleinen Steinen oder Holzteilchen ist, da diese die Ansaugsonde verstopfen, die Förder-schnecke blockieren oder die Brennerschalen-Ent-aschung behindern können [12].

Grundsätzlich können Pellets aus einem dem Kessel zugeordneten Vorratsbehälter oder aus einem separaten Lagerraum (Silo, Tank) entnommen werden. Für die Pelletentnahme aus dem Lagerraum ist ein Austragungssystem erforderlich. Je nach Lage des Lagerraumes können verschiedene Austragungs-systeme verwendet werden.

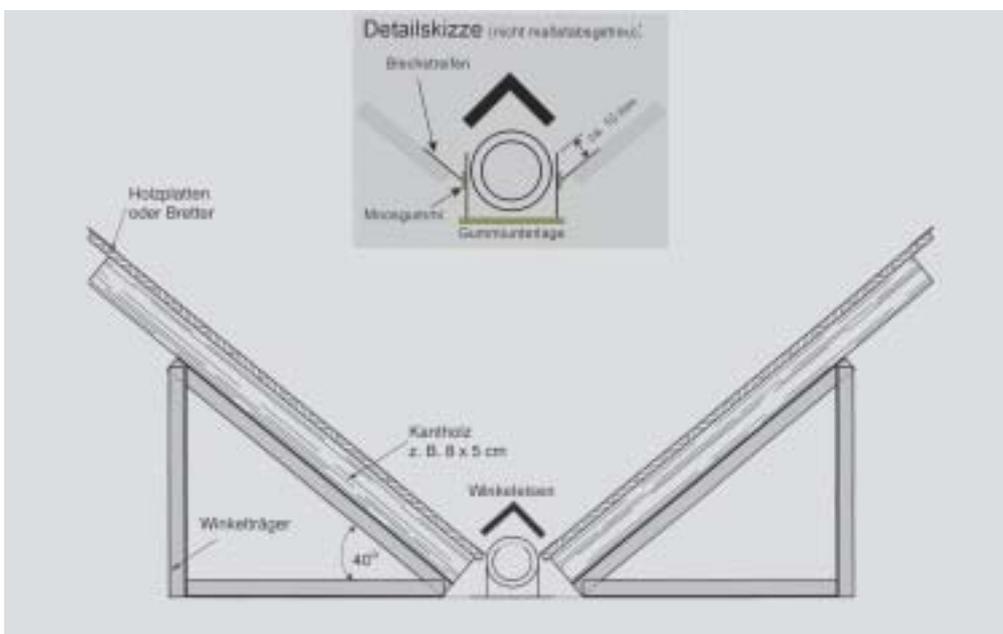
Schneckensysteme arbeiten beim Brennerbetrieb meist kontinuierlich (Lagerraumschnecke übergibt über Zellenradschleuse an Brennrumschnecke), während Schwerekräftsysteme und Saugaustragung einen Zwischenvorratsbehälter am Kessel besitzen (aus dem über Zellenradschleuse die Brennrumschnecke beschickt wird). Dieser Zwischenvorrats-behälter kann bei Störungen auch von Hand befüllt werden.

Werden Schnecken in einem Lagerraum eingesetzt, sollten diese möglichst mittig und in Längsrichtung installiert werden. Quer sowie seitlich eingebaute Schnecken bedingen unnötig große Leerräume oder zu kleine Winkel des Schrägbodens. Bei komplizierten Einbauverhältnissen ist in der Regel der Saugaus-tragung der Vorzug zu geben.

Sonderformen der Pelletaustragung stellen die Federblattaustragung und das System Sonnen-Pellet Maulwurf® dar. Bei der Federblattaustragung fördert ein mit flexiblen Federblättern versehener Kreisels die Pellets zur Schnecke. Auf Einlauftrichter kann des-

halb verzichtet werden. Beim System Maulwurf er-folgt die Entnahme von oben. Dabei sorgt ein an der Spitze eines Saugschlauches sitzender Kopf („Maul-wurf“) für die Fortbewegung im Pellethaufen und für die Aufnahme der Pellets. Auch hier werden an die Form des Lagerraumes keine Anforderungen ge-stellt. Tabelle 10 zeigt eine Übersicht über die ver-schiedenen Varianten, über ihre Einsatzmöglichkei-ten und nennt Vor- und Nachteile der einzelnen Sys-teme.

Abb. 17:
Querschnitt für die Konstruktion eines Schrägbodens



Tab. 11:
Lagerräume und Austragungssysteme

Vorratsbehälter

Pellets werden aus einem Vorratsbehälter direkt der Feuerung übergeben; bei Pelletöfen die verbreitete Lösung

Vorteil:
kostengünstig

Nachteil:
Vorratslager muss von Hand befüllt werden

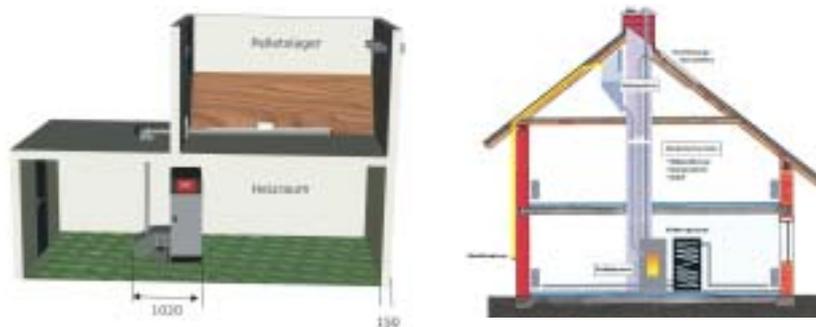


Schwerkraftförderung

Voraussetzung ist ein Lagerraum oberhalb der Feuerungsanlage; für Pelletöfen ermöglicht dieses System einen automatischen Betrieb

Vorteil:
kostengünstiges Austragungssystem

Nachteil:
erhebliche bauliche Aufwendungen



Standardschnecke

Einfachstes Schneckensystem; besonders geeignet für Siloaustragung

Vorteil:
technisch einfach, robust, kostengünstig

Nachteil:
bei Einsatz in Lagerraum schwierige Anpassung mit hohen Raumverlusten



Knickschnecke

Verbreitetes System bei günstiger Lage von Pelletkessel zu Lagerraum (gerade Linie Schnecke-Kessel), häufig werden hier auch flexible Schnecken eingesetzt

Vorteil:
gute Ausnützung des Lagerraums

Nachteil:
weniger robust

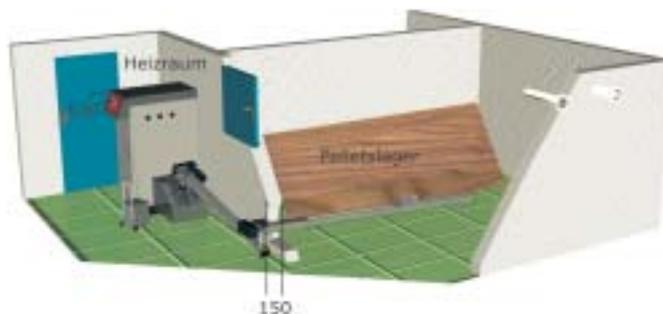


Gewinkelte Steigschnecke

System bei ungünstiger Lage von Kessel zu Lagerraum; bei geringen Abweichungen von der Gerade sind auch flexible Schnecken einsetzbar

Vorteil:
Nutzung schwieriger Lagerraumsituationen

Nachteil:
technisch komplizierter, kostenintensiv



Saugaustragung

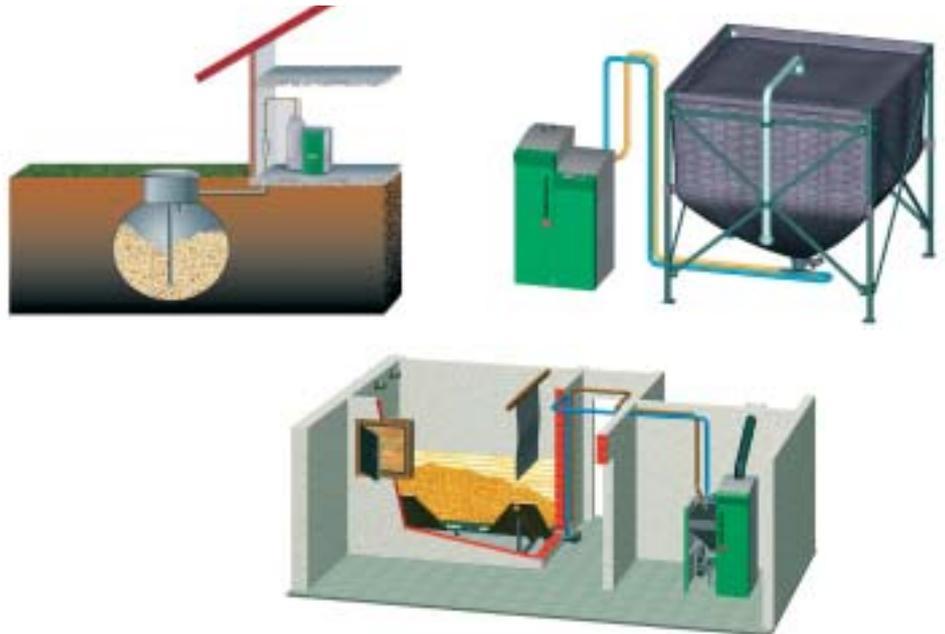
Lösung für alle Systeme, bei denen Kessel und Lager nicht unmittelbar benachbart liegen, aber auch bei allen schwierigeren Einbauverhältnissen. Häufig in Verbindung mit Schnecke (die die Vorlieferung aus Lagerraum, Silo oder Tank übernimmt)

Vorteil:

Nutzung aller Lagerraumsituationen möglich, durch Zwischenvorratsbehälter am Kessel nur zeitweise Betrieb nötig (5 – 10 min/Tag)

Nachteil:

höherer Geräuschpegel, Gefahr von erhöhtem Staubanfall (wird bei Verwendung von Luftkreislaufsystemen mit Doppelrohr vermieden)



Federblattaustragung

Vor allem bei Hackschnitzeln verbreitetes System, bei Pellets besonders bei größeren Lagerräumen verwendet

Vorteil:

Nutzung größerer quadratischer oder runder Lagerräume

Nachteil:

höhere Kosten



„Maulwurf“-Austragung

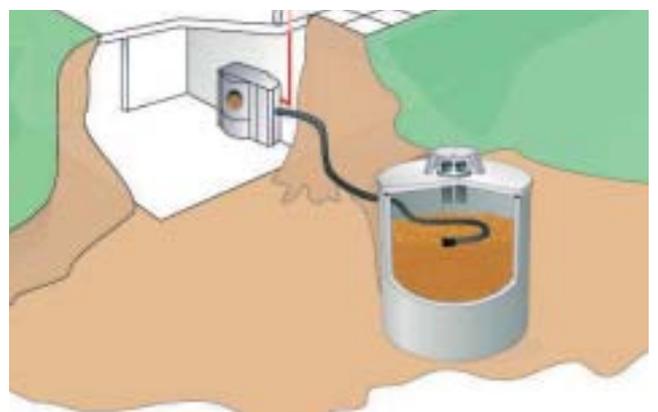
Im Gegensatz zu allen sonstigen Systemen Entnahme von oben, Lage und Form des Lagerraumes frei wählbar

Vorteil:

beliebige Form des Lagers, geringe Entmischung, keine Höhlenbildung

Nachteil:

Durch Entnahme von oben muss Lager immer komplett entleert werden, bevor neue Pellets nachgefüllt werden können



5 Luftzufuhr und Abgasabfuhr

Jede Feuerstätte benötigt für ihren Betrieb eine geregelte Zufuhr der Verbrennungsluft sowie einen zuverlässigen Abtransport der Abgase. Auf Besonderheiten für eine Pelletheizung wird im Folgenden näher eingegangen.

5.1 Verbrennungsluftzuführung

Für den problemlosen Betrieb einer Pelletheizung ist eine geregelte Verbrennungsluftzuführung unerlässlich. Für Pelletöfen oder -kessel bis 35 kW Nennwärmeleistung reicht bei Aufstellung in Räumen mit einem Rauminhalt von 4 m^3 je kW eine Tür oder ein Fenster ins Freie. In kleineren Räumen ist eine Öffnung mit einem lichten Querschnitt von mindestens 150 cm^3 vorgeschrieben [33].

Da Pelletöfen meist in Wohnräumen aufgestellt werden, werden sie von weiteren druckverändernden Lüftungsanlagen (Dunstabzugshauben, aktive Be- und Entlüftung) beeinflusst. Hier ist eine raumlufturnabhängige Verbrennungsluftzuführung zwingend erforderlich.

Eine exakte Planung von Lage und Dimensionierung der notwendigen Zuluftschächte ist von großer Bedeutung, Vorteile können hier im Schornstein integrierte Zuluftschächte bieten, die damit einen Luft-Abgas-Schornstein bilden.

Um bei Pelletöfen eine möglichst hohe Sicherheit gegen Zurückschlagen des Feuers aus dem Ofen und gegen Rauchgasanreicherungen im Wohnraum zu erreichen, werden häufig zusätzliche Sicherheits-schaltungen eingesetzt, z.B. Dunstabzugshaubenbetrieb nur bei geöffnetem Fenster, Abstellen des Ofens über Rauchmelder und über Druckdifferenzsensoren im Falle eines auftretenden Unterdrucks. Eine enge Zusammenarbeit von Planer, Installateur und Schornsteinfeger ist bei der Aufstellung von Feuerstätten im Wohnraum unbedingt empfehlenswert.

Abb. 18:
Auftriebskraft des Schornsteins [28]

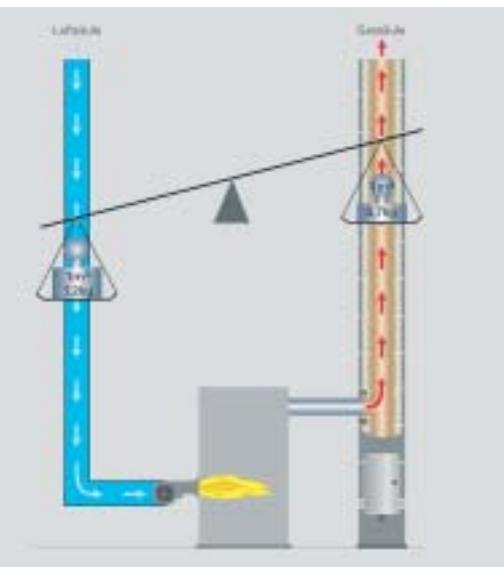
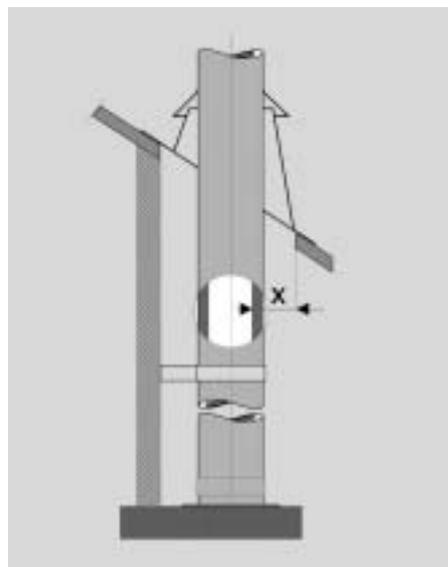


Abb. 19:
Abstand zu brennbaren Bauteilen bei gedämmten Außenkaminen [31]



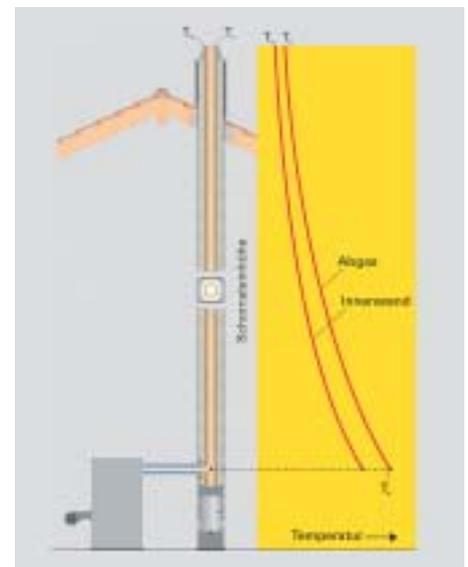
5.2 Schornstein

Der Schornstein dient der zuverlässigen Abfuhr der bei der Verbrennung entstehenden Rauchgase und ihrer Schadstoffkomponenten. Dazu wird der Heizkessel über ein Verbindungsstück an den Schornstein angeschlossen. Durch den Temperaturunterschied der heißen Rauchgase gegenüber der kühleren Außenluft entsteht eine Auftriebskraft, die den Transport der Abgase bewirkt und im Schornstein einen Unterdruck (Zug) erzeugt (Abb. 18). Um diese Verhältnisse unter allen denkbaren Verhältnissen aufrechtzuerhalten, müssen Schornsteine eine Vielzahl von Bedingungen erfüllen.

Die genauen Anforderungen an einen Hausschornstein sind in DIN 18160 [29] und DIN EN 13384-1 [30] festgelegt. Neben Angaben zu zulässigen Materialien des Schornsteins, der Befestigungselemente und des Verbindungsstückes werden hier wichtige Anforderungen zu Abständen zu brennbaren Bauteilen und zur Mündungshöhe von Schornsteinen über dem Dach festgelegt.

Für Pelletheizungen sind einige Punkte von besonderer Bedeutung. Da Pellets zu den Festbrennstoffen gehören, sind Ablagerungen von Rußteilen im Schornstein nicht auszuschließen, die im Einzelfall zu Rußbränden führen können. Der Schornstein sollte deshalb rußbrandbeständig sein. Außerdem müssen Schornsteine innerhalb von Gebäuden eine Feuerwiderstandsdauer von 90 Minuten besitzen. Für Außenschornsteine gibt es hier keine Anforderungen, hier gilt nur ein Mindestabstand von 10 cm des rauchgasführenden Schornsteins zu brennbaren

Abb. 20:
Temperaturverlauf im Schornstein [28]



Materialien bei einer Mindestdämmdicke von 2 cm (Abb. 19).

Da die Rauchgase auf ihrem Weg von der Feuerstätte über den Schornstein abkühlen (Abb. 20), droht bei Verbrennung wasserstoffhaltiger Brennstoffe eine Kondensation des entstehenden Wasserdampfes. Bei Holzfeuerungen wird diese Kondensation bei Abgastemperaturen im Schornstein von unter ca. 60°C erreicht.

Moderne Pelletheizungen werden zur Steigerung des Wirkungsgrades mit immer niedrigeren Abgastemperaturen betrieben. Im Teillastbetrieb sind Temperaturen um 100°C und darunter die Regel, es werden jedoch auch Werte von unter 60°C erreicht. Somit kann bei Pelletfeuerungen – wie auch bei anderen Brennstoffen – Wasserdampfkondensation auftreten. Die Schornsteine sollten deshalb grundsätzlich feuchtigkeitsunempfindlich ausgeführt werden. Für Pelletheizungen stehen in Neubauten folgende Schornstein-Lösungen zur Verfügung:

- innerhalb von Gebäuden:
feuchtigkeitsunempfindliche keramische Schornsteine
- außerhalb von Gebäuden:
Edelstahlschornsteine

Soll eine Pelletfeuerung in einem Altbau eingebaut werden, so ist der Zustand des Schornsteins unbedingt zu beachten. In der Regel wird eine Schornsteinsanierung (zusätzliche Wärmedämmung, Zugbegrenzung, Querschnittsverengung, Einzug von

feuchtigkeitsunempfindlichen Rohren) nötig sein, um die nötige Feuchtigkeitsunempfindlichkeit gewährleisten zu können. Das Einziehen von Edelstahlrohren hat hier gegenüber dem Einbringen keramischer Rohre einen deutlichen Preisvorteil.

Pelletkessel sind im Gegensatz zu einfachen Stückholzheizungen keine Naturzugkessel, sondern besitzen zur dosierten Zuführung der erforderlichen Primär- und Sekundärluft ein Druck- oder Saugzuggebläse. In der Regel ist jedoch zusätzlich ein gewisser Kaminzug erforderlich. Dieser Kaminzug ist von vielen Faktoren abhängig, insbesondere vom Gradienten zwischen Abgas- und Außenlufttemperatur, vom Abgasmassenstrom, von der Schornsteinhöhe und dem -querschnitt. Bei niedrigen Abgas- und hohen Außenlufttemperaturen ist eine bestimmte Schornsteinhöhe unerlässlich, um die sichere Rauchgasabfuhr zu gewährleisten. Wird eine wirksame Schornsteinhöhe von 4 m unterschritten, sollte unbedingt eine genaue Berechnung und entsprechende Anpassung der verschiedenen Parameter erfolgen.

Besonders schwierig kann es bei Pelletöfen werden, da hier ungünstige Faktoren wie niedrige Abgastemperaturen, geringe Massenströme und niedrigere Schornsteinhöhe (z.B. Aufstellung im Erdgeschoss) zusammenkommen können. Bei hohen Außentemperaturen sollte hier der Volllastbetrieb bevorzugt werden.

Grundsätzlich sollte für jede Feuerstätte ein eigener Schornsteinzug vorgesehen werden. Nur so kann der Schornstein optimal an die Erfordernisse des Brennstoffs und der Feuerungsanlage angepasst werden. Da nach DIN 18160 für Brenner mit Gebläse eine Einfachbelegung (je Schornsteinzug nur eine Feuerstätte) gefordert wird, ist diese für Pelletkessel und -öfen in der Regel verbindlich vorgeschrieben. Ausnahmen sind in Absprache mit dem Schornsteinfeger unter genau definierten Bedingungen möglich.

Der Einsatz von Zugbegrenzern im Schornstein kann bei Pelletfeuerungen von Vorteil sein. So ergaben Messungen Abgasverlustminderungen von bis zu 9% [32]. Besonders bei Anlagen ohne Lambdasonde sind Zugbegrenzer zur Minimierung der Einflüsse wechselnder Temperatur- und Druckbedingungen sinnvoll. In Kesseln mit Lambdasonde können wechselnde Bedingungen durch eine entsprechende Steuerung weitgehend ausgeglichen werden.

6 Wärmespeicher und Heizungsergänzung

6.1 Pufferspeicher

Die verfügbare Spitzenlast eines Pelletkessels wird nur in kurzen Zeitabschnitten abgerufen (z. B. zur kurzfristigen Brauchwassererwärmung), meist werden von der Heizung nur deutlich geringere Energiemengen benötigt. Dazu können Pelletkessel auf 20 – 30 % der Nenn-Wärmeleistung gedrosselt werden mit meist nur kleineren Einbußen im Wirkungsgrad und einer mäßigen Verschlechterung der Emissionswerte. Bei noch geringeren Wärmeanforderungen muss der Kessel abgestellt und später bei Bedarf wieder hochgefahren werden.

Um die Häufigkeit der Brennerstarts zu reduzieren und gleichzeitig durch längeren Volllast-Betrieb den Wirkungsgrad und die Emissionswerte sowie die Haltbarkeit des Kessels und des Schornsteins zu verbessern, ist der Einsatz eines Wärmespeichers (Puffers) zum Zwischenspeichern von überschüssigen Energiemengen sinnvoll (Tab.11). Liegt die Nennwärmeleistung des Pelletkessels deutlich über dem Leistungsbedarf des Objektes, wie dies z.B. bei einem Passivhaus regelmäßig der Fall ist, ist der Einsatz eines Pufferspeichers unumgänglich.

Tab. 12:
Überlegungen zum Einsatz eines Pufferspeichers

Vorteile

- Reduktion von Brennerstarts
- Reduktion von Kessel-Abkühlverlusten
- Erhöhung des Wirkungsgrades
- Verbesserung der Emissionswerte
- Anhebung der Kesselhaltbarkeit
- Geringere Schornsteinprobleme (Kondensatanfall)

Nachteile

- Zusätzlicher Platzbedarf
- Wärmeverluste des Speichers

Bedingungen, die den Einsatz eines Pufferspeichers erforderlich machen

- Nennwärmeleistung des Kessels deutlich höher als Heizlast des Objektes (Niedrigenergiehaus, Passivhaus)
- Kessel verfügt über schlechte Modulations-eigenschaften oder stark erhöhte Emissionswerte im Teillastbetrieb
- Einbindung einer thermischen Solaranlage
- Verwendung eines Kombikessels zur Verfeuerung von Stückholz

ohne Solarwärmenutzung

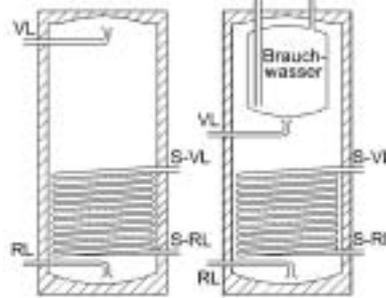
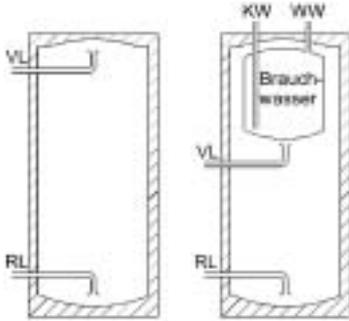
mit Solarwärmenutzung

Wärmespeicher (einfach)

Wärmespeicher mit Brauchwasserspeicher (Kombispeicher)

Wärmespeicher mit Solarkreislauf

Wärmespeicher mit Brauchwasserspeicher und Solarkreislauf (Kombispeicher)



VL = Vorlauf Heizung
RL = Rücklauf Heizung
KW = Kaltwasser
WW = Warmwasser (Brauchwasser)
S-VL = Solarkreis Vorlauf
S-RL = Solarkreis Rücklauf

Abb. 21: Varianten von Pufferspeichern [24]

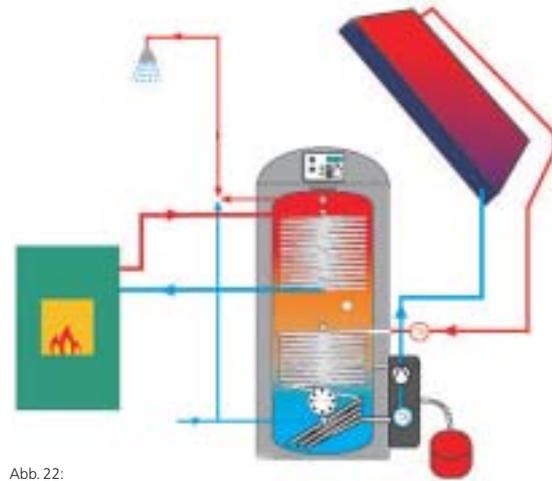


Abb. 22: Schematische Darstellung der Einbindung einer Solaranlage zur Brauchwassererwärmung

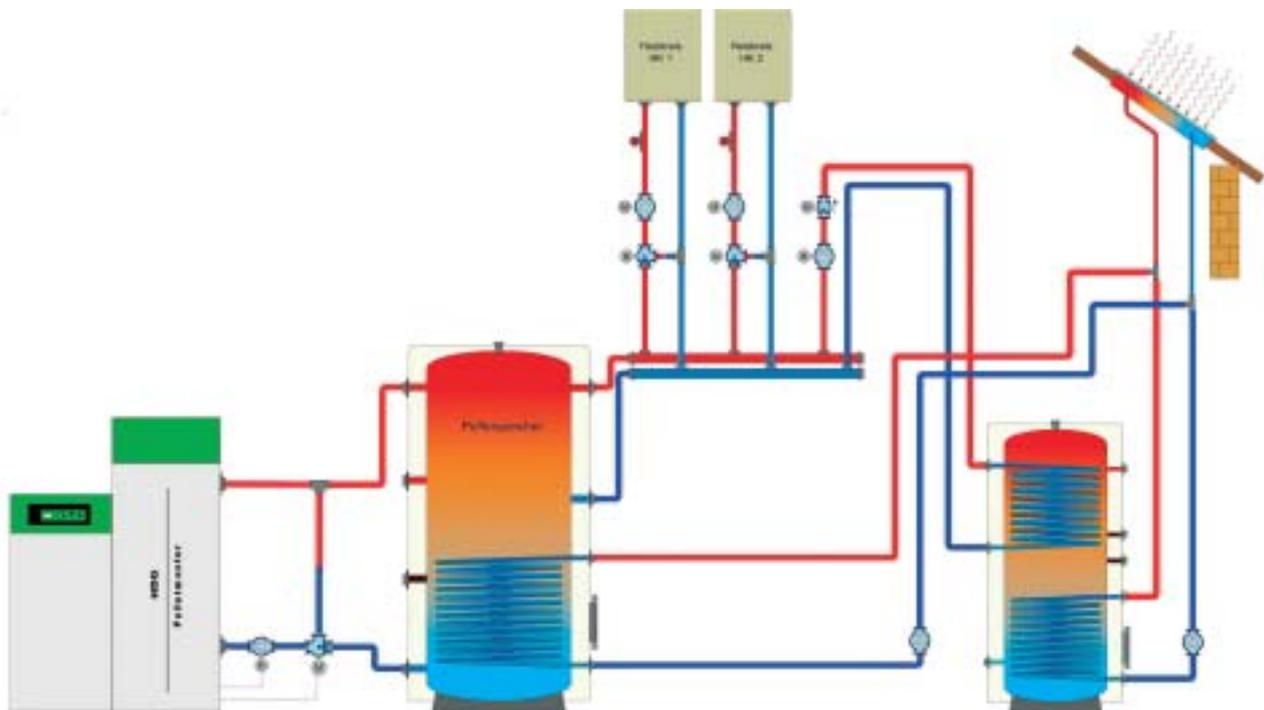
Bei einem Pufferspeicher handelt es sich in der Regel um einen wärmeisolierten Stahlbehälter, dessen Wärmeträgermedium (meist Wasser) durch Kessel oder Solaranlage beladen und durch Heizung oder Brauchwassernutzung entladen wird. Bei geschickter Anordnung und Gestaltung von Einläufen und Wärmetauschern soll sich eine möglichst ungestörte Temperaturschichtung einstellen können. In letzter Zeit hat sich der Einsatz von so genannten Schichten-

speichern durchgesetzt, in denen eine besonders gute Temperaturschichtung erzielt wird, indem das zugeführte warme Wasser aus Heizkessel oder Solaranlage nur in den Bereich mit gleichem Temperaturniveau einspeichert wird.

Abbildung 21 zeigt verschiedene Varianten von Pufferspeichern, mit und ohne Solarwärmenutzung. Die Brauchwassererwärmung erfolgt hier in sogenann-

ten Kombispeichern, was aber nur bei kalkarmem Trinkwasser empfehlenswert ist, da sonst die schnelle Verkalkung des innenliegenden Speichers droht. Alternativ kann die Brauchwassererwärmung auch durch einen integrierten Wärmetauscher, in einem separaten Brauchwasserspeicher (Abb. 22 und 23) oder durch einen außen liegenden Wärmetauscher (Abb. 24) erfolgen.

Abb. 23: Hydraulisches Anschluss-Schema in einem kombinierten Holz-Solar-Heizsystem



6.2 Kombination mit Solarenergie

Wird eine Pelletheizung um eine thermische Solaranlage erweitert, wird ein regenerativer Brennstoff (Holzpellets) durch ein zweites regeneratives System (Solarenergie) ergänzt. Hierdurch ergibt sich der Vorteil, dass der Pelletkessel im Sommerhalbjahr weitgehend ausgeschaltet bleiben kann. Brennerstarts nur zur Erwärmung des Brauchwassers fallen damit weg. Auch eventuelle Probleme durch schlechten Schornsteinzug während heißer Sommertage werden vermieden. Nötig wird die Einbeziehung von Solarenergie bei Einsatz von Pelletöfen: da diese im Wohnbereich aufgestellt werden und nicht wärmeisoliert sind, würden sich bei der Brauchwassererwärmung im Sommer unerwünschte Aufheizungen durch die immer vorhandene Wärmeabstrahlung ergeben.

Die einfachste Form der Solarenergienutzung ist die ausschließliche Brauchwassererwärmung. Die Größe der Solarkollektoren und des Brauchwasserspeichers wird so gewählt, dass für die jeweilige Anzahl der Personen die Brauchwassererwärmung während des Sommerhalbjahres in der Regel durch die Sonne gedeckt wird. Abbildung 22 zeigt die Einbindung der Solarkollektoren und des Pelletkessels. Der Heizungsvorlauf wird direkt vom Pelletkessel beladen (in Abbildung 22 nicht dargestellt).

Soll die Solarenergie neben der Brauchwassererwärmung auch zur Heizungsunterstützung verwendet werden, bildet der Pufferspeicher das Bindeglied zwischen Kessel und Solarkollektoren. Die Größe des Speichers muss dabei auf eine Vielzahl von Parametern abgestimmt werden:

- Fläche der Solarkollektoren
- Leistung des Pelletkessels
- benötigte Vorlauftemperaturen
- Temperaturen im Speicher

Zusätzlich muss eine sehr effektive Regelung Solar-kreislauf, Pelletkessel, Heizkreislauf und Brauchwassererwärmung steuern, um möglichst hohe solare Gewinne bei möglichst kurzen, effektiven Kessel-laufzeiten zu ermöglichen. Dies erfordert eine sehr genaue, wohlgedachte Planung. Lösungen „aus einer Hand“ können hier sinnvoll sein.

Abbildung 23 zeigt ein System mit Pufferspeicher und separatem Brauchwasserspeicher. Pelletkessel als auch Solarkollektoren können in den Pufferspeicher einspeisen. Der Heizkreis wird aus dem Pufferspeicher bedient, während der Brauchwasserspeicher direkt von den Solarkollektoren oder alternativ aus dem Puffer beladen wird.

Abbildung 24 zeigt eine Anlage mit einem Schichtenspeicher, in den Solarkollektoren und Pelletkessel ihre gesamte Energie abgeben. Der Heizkreislauf wird vom Pelletkessel oder aus dem Puffer bedient, die Warmwasserbereitung erfolgt im Direktdurchlauf über einen externen Plattenwärmetauscher. Solarvorlauf und Heizungsrücklauf werden zur Vermeidung von Verwirbelungen über einen Schichtenlader in die jeweilige Temperaturzone eingespeist.

Eine noch weitergehende Integration von Speicher und Pelletkessel stellen Anlagen dar, bei denen Speicher und Heizkessel kombiniert werden, indem der Brenner an den Speicher angeflanscht wird und der Wärmetauscher ins Innere des Speichers verlegt wird (Abb. 25). Ziel ist dabei ein erhöhter Wirkungsgrad durch geringere Leitungs- und Abkühlverluste, einfache Installation sowie geringer Platzbedarf. Sie wurden in jüngster Zeit von mehreren Herstellern vorgestellt. Die Einbindung von Solarkollektoren sowie Heizkreislauf und Brauchwassererwärmung erfolgt meist ähnlich wie in Abbildung 24 dargestellt.

Abb. 24:
Schematische Darstellung der Einbindung eines Solar-Schichtenspeichers mit außenliegendem Brauchwasser-Wärmetauscher in den Heizkreislauf

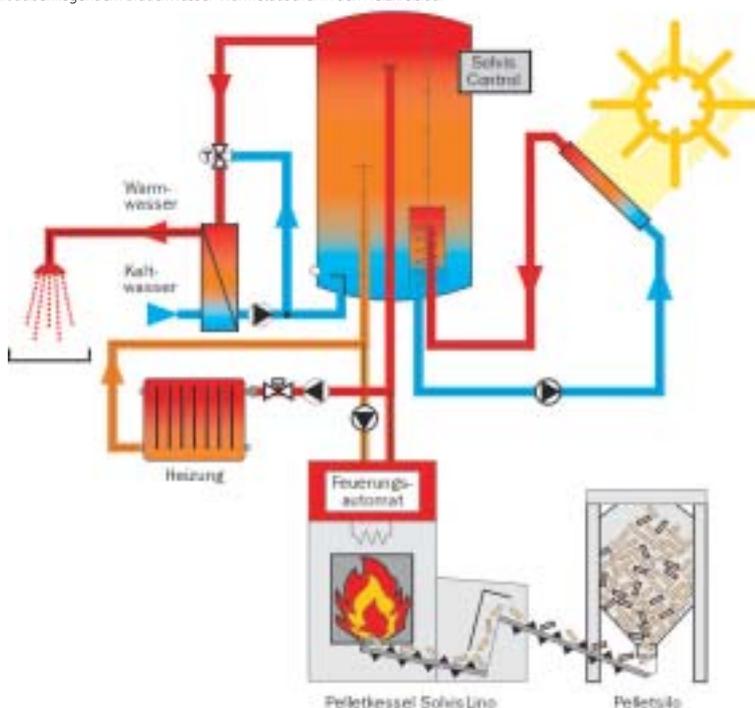
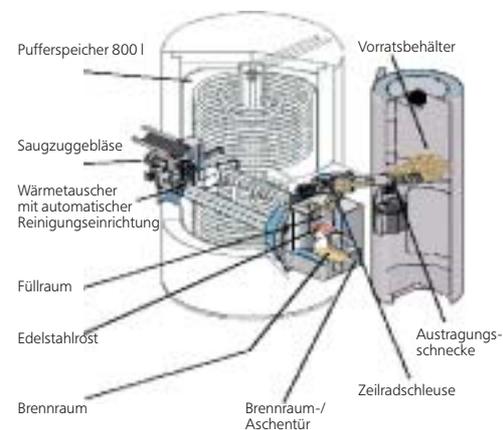


Abb. 25:
In Pufferspeicher integrierte Pelletheizanlage



7 Energieeinsparverordnung (EnEV)

7.1 Bedeutung für Um- und Neubauten

Am 01.02.2002 trat die Energieeinsparverordnung (EnEV) in Kraft, die die Wärmeschutzverordnung und die Heizungsanlagenverordnung ersetzt und erstmals in einem Regelwerk die Anforderungen für den Energieverbrauch eines Gebäudes zusammenfasst. Die Verordnung ist durch mehrere neue Aspekte gekennzeichnet:

- Die EnEV begrenzt nicht mehr den zulässigen Heizwärmebedarf, sondern den zulässigen Primärenergiebedarf für die Heizung und die Warmwasserbereitung. Erstmals werden dadurch bei der Erstellung einer Energiebilanz für Wohngebäude auch die primärenergetische Effizienz der verschiedenen Energieträger sowie die Effizienz der Anlagentechnik berücksichtigt.
- Die EnEV verknüpft Gebäude- und Anlagentechnik. Verbesserter Wärmeschutz und effiziente Wärmeerzeugung sind fortan gleichwertige Maßnahmen, um den in der EnEV geforderten Energieverbrauch eines Gebäudes zu erreichen. Architekten und Bauherren schafft die EnEV größere Freiräume für integrierte Lösungen zwischen Gebäudehülle und Gebäudetechnik.
- Die Ausstellung eines Energiebedarfsausweises schafft mehr Markttransparenz für Mieter, Eigentümer und für den Immobilienmarkt. Somit wird es möglich, den Wert eines Gebäudes zukünftig auch aufgrund des Energieverbrauches zu beurteilen.

Der Vorteil der EnEV für Architekten und Ingenieure liegt somit in der größeren Gestaltungsfreiheit bei der Realisierung von Neu- und Anbauten. Dieser ist jedoch untrennbar mit einem erhöhten Sachkenntnisstand verbunden, außer zur Baugestaltung und Wärmedämmung auch speziell im Bereich Heiz- und Raumlufttechnik. Architekten und Ingenieure haben nun deutlich mehr Festlegungen (Berechnungsverfahren, Baustoffe, Heizsysteme) zu treffen und diese

zu einem früheren Zeitpunkt, als es bislang der Fall war. Die Komplexität der Zusammenhänge und die gegenseitige Abhängigkeit von Dämmung, Lüftung und Wärmeerzeugung in Bezug auf den Primärenergiebedarf eines Hauses machen eine intensive Auseinandersetzung mit der Thematik und die Zuhilfenahme von Sachverständigen, Fachplanern und Computerprogrammen notwendig. Für Holzhäuser sind die wesentlichen Gesichtspunkte in den Handbüchern des Informationsdienstes Holz „Holzbau und die Energieeinsparverordnung“ [37] sowie „Innovative Haustechnik im Holzbau“ [38] ausgearbeitet.

Bei den umfangreichen Planungsarbeiten bietet jedoch der Einsatz von Pelletheizungen deutliche Vorteile. Die EnEV legt Grenzwerte zum einen für den Jahres-Primärenergiebedarf und zum anderen für den Transmissionswärmeverlust von Neubauten fest. Der Grenzwert für den Transmissionswärmeverlust ist grundsätzlich einzuhalten. Werden mindestens 70 % des Heizwärmebedarfs durch selbsttätig arbeitende Biomassekessel erzeugt, können Erleichterungen bei der Berechnung des Jahres-Primärenergiebedarfs in Anspruch genommen werden [1].

Damit entfällt für Pelletheizungen der Nachweis und die Einhaltung des Jahres-Primärenergiebedarfs für Neubauten. Dies gilt auch für Kombikessel, wenn mindestens 70 % des Heizenergiebedarfs mit Pellets erzeugt werden. Ein Bauherr muss beim Einbau einer Pelletheizung nur dafür sorgen, dass die Anforderungen an den Transmissionswärmeverlust erfüllt werden. Dies vereinfacht die Arbeit der Architekten und Ingenieure wesentlich. Auf die Erstellung des bei Neubauten geforderten Energiebedarfsausweises kann bei Einbau einer Pelletheizung im Einzelfall verzichtet werden.

Tab. 13:
Primärenergiefaktoren für verschiedene Heizsysteme [7]

Energieträger	Primärenergie-Faktoren
Brennstoffe (Bezugsgröße: unterer Heizwert H_{u})	
Heizöl EL	1,1
Erdgas	1,1
Flüssiggas	1,1
Steinkohle	1,1
Braunkohle	1,2
Holzpellets, Hackschnitzel	0,2
Nah-/Fernwärme aus KWK (Angaben sind typisch für durchschnittliche Nah-/Fernwärmesysteme)	
Fossiler Brennstoff	0,7
Erneuerbarer Brennstoff	0,0
Nah-/Fernwärme aus Heizwerken	
Fossiler Brennstoff	1,3
Erneuerbarer Brennstoff	0,1
Strom	
Strom-Mix	3,0

Tab. 14:
Vergleich der Anlagenaufwandszahl und des Primärenergiebedarfs einer Wärmeversorgung mit unterschiedlichen Wärmeerzeugern [10]

		Niedertemperaturkessel	
		Heizöl/Erdgas	Pelletfeuerung
Jahres-Heizwärmebedarf	kWh/m ³ a	69,3	69,3
Jahres-Trinkwasserbedarf	kWh/m ³ a	12,5	12,5
Jahres-Endenergiebedarf	kWh/m ³ a	119,8	145,3
Anlagenaufwandszahl		1,67	0,48
Jahres-Primärenergiebedarf	kWh/m ³ a	136,4	39,1
Höchstwert Jahres-Primärenergiebedarf nach EnEV	kWh/m ³ a	110,43	110,43
		EnEV nicht erfüllt	EnEV erfüllt
		24 % über Limit	65 % unter Limit

Grunddaten:

- Fläche: 244,8 m², Heizwärmebedarf: 69,3 kWh/m³a, A/V-Verhältnis: 0,69
- Wärmeerzeugung und Verteilstränge außerhalb der thermischen Hülle, Thermostatventile, Temperaturspreizung: 70/55°C
- gebäudezentrale Trinkwassererwärmung mit Zirkulation, Verteilung außerhalb der thermischen Hülle

7.2 Berechnung des Primärenergiebedarfs

Macht der Einbau einer Pellet-Zentralheizung die Einhaltung des Jahres-Primärenergie-Grenzwertes und die Erstellung eines Energiebedarfsausweises überflüssig, gibt es dennoch Situationen, die die Berechnung und den Nachweis des Jahres-Primärenergiebedarfs erfordern. So können beispielsweise Förderprogramme oder die Gewährung zinsgünstiger Kredite an die Einhaltung bestimmter Grenzwerte geknüpft sein.

Die Berechnung des Primärenergiebedarfs wird entsprechend den Vorgaben in der DIN V 4701-10 durchgeführt. In der ursprünglichen Fassung dieser Norm waren allerdings keine Berechnungsgrundlagen für Pelletheizungen enthalten. Dies wurde in der Neuausgabe vom August 2003 nachgeholt. Da die EnEV allerdings statische Verweise auf die alte Ausgabe der Norm enthält, muss die EnEV erst novelliert werden, damit die Änderungen wirksam werden. Eine entsprechende Reparaturnovelle mit Verweisen auf geänderte Normen ist für Anfang 2004 vorgesehen.

Der Jahres-Primärenergiebedarf setzt sich nach Definition der EnEV bzw. der DIN 4701-10 zusammen aus [4]:

$$Q_p = e_p \times (Q_{tw} + Q_h)$$

Q_p = Jahres-Primärenergiebedarf

e_p = Anlagenaufwandszahl

Q_{tw} = Trinkwasserwärmebedarf

Q_h = Heizwärmebedarf

Die Höhe der Anlagenaufwandszahl e_p hängt dabei von folgenden Einflussfaktoren ab:

- Aufwandszahl für das Wärmezeugungssystem
- Aufstellung bzw. Anordnung des Wärmezeugungssystems (innerhalb oder außerhalb der beheizten Gebäudehülle)
- Primärenergiefaktor für die verwendete Energiequelle

Die Aufwandszahl des Wärmezeugungssystems ist ein Maß für die Effektivität der Wärmezeugung und berücksichtigt die Verluste, die bei der Erzeugung, Speicherung, Verteilung und Übergabe der Wärme entstehen. Das Wärmezeugungssystem besteht in der Regel aus dem Wärmezeuger, dem Warmwasserspeicher und dem Verteilsystem. Standard-Kennwerte für die einzelnen Komponenten können der DIN V 4701-10 entnommen werden. Sinnvoller ist es jedoch, Produkt-Kennwerte der Hersteller einzusetzen, da diese in der Regel aufgrund der detaillierten Berechnungsverfahren niedriger liegen als die Tabellen-Kennwerte [5].

Der Primärenergiefaktor ist dagegen ein Maß für die Effizienz der Energieträgerbereitstellung. Er berücksichtigt die Verluste, die bei unterschiedlichen Brennstoffen während der Gewinnung und Weiterverarbeitung in den vorgelagerten Ketten auftreten (z.B. Heizöl: Förderung am Bohrloch -> Rohöltransport -> Raffinerie -> Transport von Heizöl EL zum Endverbraucher). Der Primärenergiefaktor wird allgemein aus dem Verhältnis von Primärenergieverbrauch zu Endenergieverbrauch berechnet. Um den Umweltvorteilen der Holzpellets (Brennstoff aus nachwachsenden Rohstoffen, CO₂-Neutralität) Rechnung zu tragen, fließt in den Primärenergiefaktor für regenerative Energiesysteme nur der fossile, nichtregenerative Anteil (für Herstellung und Transport) ein. Für Holzpellets ergibt sich dabei ein Wert von 0,2. Fossile Energieträger weisen dagegen Faktoren > 1, Strom sogar einen Faktor von 3 auf. Eine Zusammenstellung der Primärenergiefaktoren verschiedener Brennstoffe kann Tabelle 13 entnommen werden.

Der Primärenergiefaktor hat direkten Einfluss auf die Anlagenaufwandszahl und damit ebenfalls auf den errechneten Wert des Jahres-Primärenergieverbrauch

eines Gebäudes. Holzpellettheizungen können damit eine besondere Bedeutung für Architekten und Ingenieure erlangen. Denn der niedrige Primärenergiefaktor der Pellets hat eine kleine Anlagenaufwandszahl und damit einen bei gleichem Dämmstandard niedrigeren Jahres-Primärenergiebedarf eines Gebäudes zur Folge als der Einsatz einer Heizöl- oder Erdgasheizung. Abbildung 26 verdeutlicht diese theoretischen Zusammenhänge.

Tabelle 14 zeigt eine beispielhafte Berechnung des Primärenergiebedarfs (auf Basis der korrigierten Ausgabe 2003-8 der DIN 4701-10), aus der deutlich die Vorteile einer Pelletheizung hervorgehen. Während das Beispielhaus mit Öl- bzw. Gas-Niedertemperaturkessel die Vorgaben der EnEV um 24 % verfehlt, erreicht das ansonsten unveränderte Haus mit einer Pelletheizung einen Wert, der die Anforderungen der EnEV um 65 % unterschreitet. Mit Pelletheizung würde es sogar den Primärenergiebedarf eines KfW-Energieparhauses 40 erfüllen.

Allerdings folgt die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) nicht uneingeschränkt der EnEV. So wird ab Dezember 2003 für KfW-40 bzw. KfW-60-Häuser neben der Einhaltung des Jahresenergiebedarfs von 40 bzw. 60 kWh/m³a zusätzlich eine gegenüber den EnEV-Standardwerten um 45 bzw. 30 % verbesserte Wärmedämmung verlangt [3]. Trotzdem ermöglicht der Einsatz einer Pelletheizung bei vielen Programmen der KfW die Beantragung zinsgünstiger Darlehen (Kapitel 8).

Abb. 26:
 Theoretische Zusammenhänge zwischen Anlagentechnik, Wärmeschutz und Jahres-Primärenergiebedarf [6] geändert



8 Kosten, Förderung

Möchte man Aussagen über die Wirtschaftlichkeit von Pelletheizsystemen treffen, müssen zwei verschiedene Aspekte betrachtet werden: die reinen Brennstoffkosten und die jährlichen Gesamtkosten eines solchen Heizsystems. Betrachtet man lediglich die Brennstoffkosten, stellen Pellets heute bereits eine wirtschaftliche Alternative zu den herkömmlichen fossilen Brennstoffen dar (Abb. 27). Vergleicht man die Durchschnittspreise verschiedener Brennstoffe der letzten zwei Jahre, so liegen die Kosten für Pellets im Schnitt bei ca. 84 % der jährlichen Erdgaskosten und entsprechen in etwa den Kosten für Heizöl. Billiger als der Bezug von Pellets ist lediglich der Kauf von Scheitholz.

Betrachtet man die Gesamtkosten, die beim Betrieb einer Heizungsanlage anfallen (d.h. Investitionskosten, Wartung, Versicherungen, Zinsen etc.), stellt sich die Kostensituation wie folgt dar: für das Heizen mit Pellets müssen aufgrund der derzeit hohen Anschaffungskosten für Pelletkessel höhere Gesamtkosten als bei konventionellen Heizsystemen in Kauf genommen werden. Die höheren Investitionskosten sind zum einen durch größeren technischen Aufwand, zum anderen jedoch auch durch die noch niedrigen Stückzahlen bedingt. Bei wachsendem Absatz von Pelletanlagen sind in Zukunft eine deutliche Kostendegression und günstigere Anschaffungskosten zu erwarten. Derzeit muss im Durchschnitt bei einem neuen Einfamilienhaus mit einem Wärmebedarf von rund 16 MWh mit jährlichen Gesamtheizkosten von rund 2.530 Euro gerechnet werden (Abb. 27, detaillierte Berechnungsgrundlagen Tabelle 15 auf Seite 28). Damit liegen die jährlichen Gesamtausgaben bei einer Pelletheizung um rund 10 % bzw. 7 % über denen einer konventionellen Erdgas- bzw. Heizölheizung.

Soll die Pelletheizung die bestehende Ölheizung eines Gebäudes ersetzen, müssen bei einem Wirtschaftlichkeitsvergleich die Mehrkosten für die Öltankentsorgung sowie den Bau des Pelletlagers berücksichtigt werden.

Der Wirtschaftlichkeitsvergleich in Tabelle 14 berücksichtigt bereits einige Fördermöglichkeiten von Pelletheizungen, auf die an dieser Stelle kurz näher eingegangen werden soll. Der Bund fördert durch das sogenannte Marktanreizprogramm [8] die Errichtung automatisch beschickter Anlagen zur Verfeuerung fester Biomasse, die an eine Zentralheizungsanlage angeschlossen sind. Unter automatischer Beschickung ist hierbei die automatische Beförderung des Brennstoffs in den Brennraum zu verstehen, wie dies sowohl bei Pelletöfen als auch bei Pelletkesseln der Fall ist. Zuschüsse werden nur für Anlagen mit einer Nennwärmeleistung von mindestens 8 und maximal 100 kW sowie einem Kesselwirkungsgrad von mindestens 88 % gewährt. Der Zuschuss beträgt 60 Euro je kW errichteter installierter Nennwärmeleistung, mindestens jedoch 1.700 Euro bei Anlagen mit einem Kesselwirkungsgrad von mindestens 90 %. Für Primäröfen ohne Wärmedämmung mit einem Kesselwirkungsgrad von mindestens 90 %, die konstruktionsbedingt auch Wärme an den Aufstellraum abgeben, beträgt der Zuschuss mindestens 1.000 Euro. Die Anlagen müssen mit einer Leistungs- und Feuerungsregelung sowie einer automatischen Zündung ausgestattet sein und bei Anlagen bis 50 kW ist erforderlich, dass es sich um eine Zentralheizungsanlage handelt.

Pelletanlagen über 100 kW erhalten anstatt des Zuschusses einen Teilschulderlass in Höhe von 60 Euro pro kW sowie zinsgünstige Darlehen. Darlehen

und Teilschulderlass müssen bei der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) beantragt werden (Anschrift siehe Kapitel 11, Seite 35)

Eine Kumulierung mit anderen Fördermitteln, z.B. mit Landesprogrammen ist möglich.

Förderungsberechtigt sind Privatpersonen, Kommunen, Zweckverbände, sonstige Körperschaften des öffentlichen Rechts sowie eingetragene Vereine, die entweder Eigentümer, Pächter oder Mieter des Grundstückes sind, auf dem die Anlage errichtet werden soll. Die Höhe der Fördermittel für öffentliche Antragsteller und Vereine sind auf 6,5 % der jährlich zur Verfügung stehenden Verpflichtungsermächtigungen begrenzt, so dass für diesen Bereich ein Windhundverfahren durchgeführt wird. Freiberuflich Tätige sowie kleine und mittlere gewerbliche Unternehmen nach der Definition der Europäischen Gemeinschaften (Abl. der EG 1996 Nr. C 213/4ff) sind erst nach erfolgter beihilferechtlicher Genehmigung der Förderrichtlinien durch die Europäische Kommission und Veröffentlichung im Amtsblatt der Europäischen Union antragsberechtigt. Die Genehmigung und Veröffentlichung ist noch nicht erfolgt. Generell nicht antragsberechtigt sind Unternehmen, bei denen es sich nicht um kleine und mittlere Unternehmen nach der Definition der Europäischen Gemeinschaften handelt.

Wichtig ist, dass vor Eingang des Antrages im BAFA keine der Ausführung des Vorhabens zuzurechnenden Lieferungs- oder Leistungsverträge abgeschlossen werden dürfen. Kostenvoranschläge und Planungsleistungen sind zulässig. Die Förderung erfolgt als Festbetragsfinanzierung durch nicht rückzahlbare Zuschüsse (Projektförderung).

Jährliche Brennstoff- und Gesamtkosten

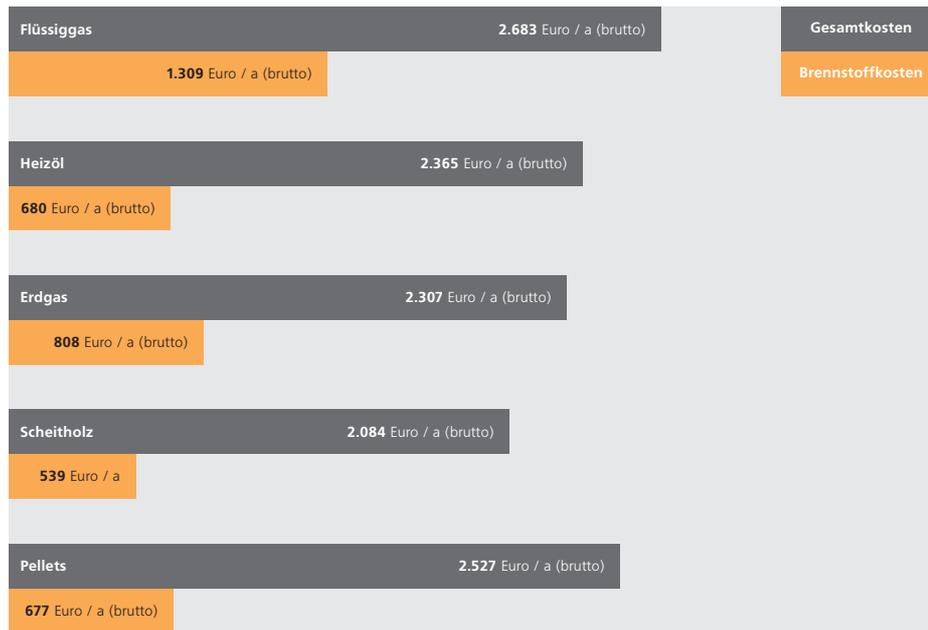


Abb. 27:
 Jährliche Brennstoff- und Gesamtkosten verschiedener Heizsysteme,
 zugrunde liegende Annahmen siehe Tabelle 14 auf der nächsten Seite.

Eine Antragstellung ist nur mit dem vorgeschriebenen Antragsvordruck zulässig und erfordert die Originalunterschrift des Antragstellers. Anträge können bis zum 15. Oktober 2006 gestellt werden.

Ansprechpartner zum Förderprogramm Erneuerbare Energien:

- Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) Anschrift siehe Kapitel 11, Seite 35

Neben dem Bund fördern auch eine Reihe von Bundesländern den Einbau von Pelletkesseln, so z.B. Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz, Sachsen, Schleswig-Holstein und Thüringen. Vor dem Kauf sollten auf jeden Fall die Förderungen der einzelnen Bundesländer abgeklärt und die aktuellen Konditionen abgefragt werden, in der Regel ist eine Kumulierung mit dem Marktanreizprogramm des Bundes möglich.

Zusätzlich zur Förderung der Pelletheizung durch das Marktanreizprogramm gewährt die Kreditanstalt für Wiederaufbau im Rahmen verschiedener KfW-Programme zinsgünstige Kredite für die Installation von Pelletheizungen in bestehenden Gebäuden. Nähere Informationen zu den einzelnen Programmen sowie Förderanträge sind erhältlich bei der

- Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW)
 Anschrift siehe Kapitel 11, Seite 35

Tab. 15:
Zusammenfassung der jährlich anfallenden Gesamtkosten verschiedener Heizungssysteme bei einem Einfamilienhaus
(Annahme: Wirkungsgrad Pelletkessel $\geq 90\%$, Heizöl/Heizkessel = Niedertemperaturkessel, Gaskessel = Brennwertkessel) –
Die angegebenen Kosten sind als Richtwerte zu verstehen!

	Einheit	Pellets		Scheitholz		Erdgas		Heizöl		Flüssiggas	
		Altbau	Neubau	Altbau	Neubau	Altbau	Neubau	Altbau	Neubau	Altbau	Neubau
Investitionskosten											
• Kessel	Euro	6.900	6.900	4.100	4.100	3.100	3.100	3.700	3.700	6.900	6.900
• Brauchwasserspeicher/Puffersp. (nur b. Scheitholz)	Euro	850	850	1.250	1.250	850	850	850	850	850	850
• Lagerung/Austragung/Tank/Gasanschluss	Euro	2.300	2.300	750	750	1.875	1.875	-	2.000	450	450
• Schornstein/Abgasleitung	Euro	1.750	1.750	1.750	1.750	1.750	1.750	1.750	1.750	1.750	1.750
• Elektroinstallationen	Euro	500	500	500	500	250	250	250	250	250	250
• Hausinterne Verteilung	Euro	-	3.250	-	3.250	-	3.250	-	3.250	-	3.250
• Entsorgungskosten Heizöltank	Euro	350	-	350	-	350	-	-	-	350	-
Summe	Euro	12.650	15.550	8.700	11.600	8.175	11.075	6.550	11.800	6.750	9.650
Förderung		-1.700 ¹	-1.700 ¹	-1.500 ¹	-1.500 ¹	-	-	-	-	-	-
Summe Investitionskosten	Euro	10.950	13.850	7.200	10.100	8.175	11.075	6.550	11.800	6.750	9.650
Nutzungsdauer											
• Kesselanlage + Zubehör	Jahre	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Jahreswärmebedarf											
• Heizung u. Warmwasser	MWh	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0	16,0
• Jahresnutzungsgrad	%	87%	87%	83%	83%	97%	97%	87%	87%	97%	97%
Jahresbrennstoffbedarf	MWh	18,4	18,4	19,3	19,3	16,5	16,5	18,4	18,4	16,5	16,5
Betriebsgebundene Kosten											
• Wartung/Reinigung/Instandhaltung	Euro/a	200	200	200	200	150	150	175	175	175	175
• Schornsteinfeger	Euro/a	100	100	100	100	50	50	50	50	50	50
• Versicherung	Euro/a	-	-	-	-	-	-	60	60	-	-
• Hilfsenergie	Euro/a	75	75	25	25	25	25	30	30	30	30
Summe betriebsgebundene Kosten	Euro/a	375	375	325	325	225	225	315	315	255	255
Kapitalgebundene Kosten											
• Zinssatz ²	%	1,3	3,5	1,3	3,5	3,5	5,0	3,5	5,0	3,5	5,0
Summe kapitalgebundene Kosten	Euro/a	808	1.203	531	877	710	1.067	569	1.137	586	930
Verbrauchsgebundene Kosten											
• Grundpreis	Euro/a	-	-	-	-	-	-	-	-	240	240
• Brennstoffpreis ³	Cent/kWh	3,4	3,4	2,6	2,6	4,2	4,2	3,2	3,2	5,4	5,4
Summe verbrauchsgeb. Kosten	Euro/a	633	633	492	492	697	697	587	587	1.128	1.128
Spez. Brennstoffkosten	Euro/MWh	34	34	26	26	42	42	32	32	68	68
Gesamtkosten (netto)	Euro/a	1.816	2.210	1.348	1.694	1.632	1.989	1.470	2.038	1.969	2.313
Gesamtkosten (inkl. MwSt.)⁴	Euro/a	2.049	2.507	1.520	1.920	1.893	2.307	1.706	2.365	2.284	2.683

1 Marktanzreizprogramm des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit. Stand: 26.11.2003, keine Landesförderungen berücksichtigt

2 Verschiedene zinsgünstige Kredite der KfW (Gebäudesanierungsprogramm, CO₂-Minderungsprogramm) sowie Annahme für ein Neubaudarlehen bei Heizöl und Gas von 5 %. Stand: 04.07.2003

3 Annahme: Pellets: 172 Euro/t, Scheitholz: 50 Euro/Rm (Lieferung frei Haus), Heizöl/Erdgas: gemittelter Preis über die Zeit von 05.2001-04.2003

4 Mehrwertsteuersatz für Brennstoffe: Pellets/Scheitholz = 7 %, Heizöl/Gas = 16 %

9 Beispielprojekte

Im Folgenden werden anhand von einigen Beispielen verschiedene realisierte Systeme vorgestellt. Neben den Besonderheiten der Anlagen und den bisher gemachten Erfahrungen werden für jedes System die jeweiligen Investitionskosten dokumentiert.

9.1 Einfamilienhaus, Kombination Pelletofen/Solaranlage (Neubau)

Baujahr des Hauses	2001 / 2002
Wohnfläche	210 m ²
Wärmebedarf	15.600 kWh
Leistung Pelletofen	10 kW (20 % Raumwärme, 80 % Warmwasser)
Fläche Röhrenkollektoren	7 m ²
Pufferspeichervolumen	720 l
Voraussichtlicher Pelletbedarf	2 t/a

Kosten inkl. MwSt.:

Pelletofen (inkl. Regelung)	5.854 Euro
Solaranlage inkl. Pufferspeicher	10.794 Euro
Hydraulik Pelletofen	228 Euro
Hydraulik Solaranlage	1.846 Euro
Lagerraum	(Sackware) –
Montagekosten Pelletofen	688 Euro
Montagekosten Solaranlage	2.233 Euro

Förderung:

Solaranlage (Land NRW + Stadtwerke Bonn)	2.400 Euro
Pelletofen (Marktanreizprogramm)	2.045 Euro

Summe Investitionskosten	17.198 Euro
---------------------------------	--------------------

Bei der Errichtung dieses Einfamilienhauses (Abb. 28) hatte sich der Bauherr folgende Ziele gesetzt:

- rationelle Energieverwendung durch entsprechende Wärmeschutzmaßnahmen und
- ressourcenschonende Energieerzeugung durch Nutzung erneuerbarer Energiequellen.

Neben einer guten Wärmedämmung des Holzständerhauses wurde eine Kombination aus einer Solaranlage mit Heizungsunterstützung und einem in einer keramischen Ummantelung integrierten Pelletofen installiert (Abb. 29). Die Vakuumröhrenkollektoren mit einer Fläche von 7 m² liefern neben dem Brauchwasser im Sommer und in der Übergangszeit noch zusätzlich Wärme zur Heizungsunterstützung, so dass ca. ein Drittel der gesamten Wärmeenergie über die Solaranlage erzeugt wird.

Der Pelletofen gibt 20 % seiner Wärme als Strahlung und Warmluft an das Wohnzimmer und 80 % über die eingebaute Wassertasche an den Pufferspeicher ab. Über Glattrohrwärmetauscher im oberen Speicherbereich wird das Brauchwasser, über einen Wärmetauscher im unteren Drittel der Heizungsanlage für die Fußbodenheizung entnommen.

Die der Temperaturschichtung entsprechende Beladung des Speichers erfolgt in erster Priorität durch die Solarkollektoren. Über Temperatursensoren im oberen und unteren Bereich wird die jeweilige Temperatur gemessen. Bei Unterschreitung der vorgegebenen Werte schaltet sich automatisch der Pelletofen zu, der im Vollastbetrieb den Puffer wieder auf die gewünschte Temperatur aufheizt. Die Steuerung der Anlage wird von einer Solarregelung und der Regelung des Pelletofens gemeinsam durchge-

führt. Die Abstimmung dieser Regelungen, die exakte Höhe der Mess-Sensoren im Speicher sowie die Festlegung der Temperaturfenster, die Ein- und Abschalten des Pelletofens bestimmen, erfordern immer noch einige Feinanpassungen. Auch die Entnahme des Heizungsvorlaufs nur aus dem unteren Drittel des Speichers erweist sich nicht als optimal, da im Bedarfsfall erst die oberen zwei Drittel durch den Pelletofen erwärmt werden müssen, bis Heizenergie zur Verfügung steht.

Der Pelletvorratsbehälter des eingesetzten Pelletofens kann über einen Teleskopauszug, der durch die keramische Verkleidung verdeckt wird, vergrößert werden und fasst dadurch ca. 50 kg Pellets. Mit dieser Menge kann das Haus bei Abwesenheit im Winter bei Temperaturabsenkung ca. eine Woche beheizt werden, obwohl zusätzlich noch eine Einliegerwohnung zu versorgen ist.

Ein längerer unbeaufsichtigter Alleinbetrieb ist nicht empfehlenswert, da die Brennerschale verschmutzungsempfindlich ist und deshalb in der Regel täglich gereinigt wird. Für längere Abwesenheit bzw. für den Notbetrieb wurde deshalb noch eine elektrische Zusatzheizung installiert. Eine Grundreinigung des Ofens einschließlich der Wärmetauscherreinigung wird im halbjährlichen Rhythmus durchgeführt.

Durch die Möglichkeit, den Pelletofen auch manuell in Betrieb zu nehmen, nützt der Betreiber den Ofen an Abenden auch als Kaminersatz. Die Geräusche von Lüfter und Schnecke werden dabei als nicht störend empfunden. Die dabei zusätzlich erzeugte, im Moment nicht benötigte Energie wird problemlos im Puffer zwischengespeichert.

Abb. 28:
Hausansicht, Dach mit Solarkollektoren



Abb. 29:
Pelletofen mit keramischer Ummantelung



9.2 Einfamilienhaus, Pelletkessel mit Pufferspeicher (Neubau)

Baujahr des Hauses	2002
Wohnfläche	205 m ²
Wärmebedarf	16.000 kWh
Leistung Pelletkessel	15 kW
Pufferspeichervolumen	750 l
Brauchwasserspeicher	300 l
Voraussichtlicher Pelletbedarf	3 - 4 t/a

Kosten inkl. MwSt.:

Pelletkessel inkl. Regelung	8.550 Euro
Austragung	1.650 Euro
Hydraulik	1.400 Euro
Pufferspeicher	1.350 Euro
Trinkwasserspeicher	820 Euro
Lagerraum (Eigenbau)	190 Euro
Prallmatte	80 Euro
Befüllkupplungen	400 Euro
Montagekosten	inkl.

Förderung:

Pelletkessel (Marktanreizprogramm)	1.500 Euro
---------------------------------------	------------

Summe Investitionskosten 12.940 Euro

In dem Neubau wurde als alleiniger Wärmeerzeuger ein Pelletkessel mit 15 kW Leistung eingebaut (Abb. 30). Obwohl das Haus als KfW-60-Haus über eine sehr gute Wärmedämmung verfügt, wurde vom Bauherrn auf eine zusätzliche Nutzung der Solarenergie verzichtet. Neben wirtschaftlichen Erwägungen werden auch ökologische Gründe genannt, die zu dieser Entscheidung beitragen: da mit der Pelletheizung bereits ein regeneratives Heizsystem verwendet wird, hat ein weiteres regeneratives System – bei Einbe-

ziehung aller Aufwendungen, die zum Bau und Betrieb der Anlagen erforderlich – sind nur noch kleine positive, eventuell sogar negative Auswirkungen.

Trotz Verzicht auf Solarenergienutzung wurde ein 750 l-Schichtenspeicher als Puffer eingebaut. Als Gründe werden überwiegend Volllastbetrieb und vor allem eine wesentlich reduzierte Häufigkeit der Brennerstarts genannt. Da diese Betriebsweise deutlich materialschonender ist, wird über eine längere Lebenserwartung des Kessels eine Amortisation des Pufferspeichers erwartet.

Der Lagerraum wurde mit wenig Aufwand selbst gebaut: in einem rechteckigen Kellerraum wurde in Längsrichtung mittig die Austragsschnecke installiert und darüber mit Kanthölzern und OSB-Platten die Schrägböden errichtet (Abb. 31). Am Ende der Schnecke werden die Pellets einem Sauggebläse übergeben (in Abbildung 30 am Boden zwischen Kessel und Speicher sichtbar) und einem ca. 60 l fassenden Zwischenspeicher zugeführt. Die Saugaustragung ist zwar deutlich lauter als eine Variante mit Schnecke, da aber nur ca. fünf Minuten pro Tag am frühen Abend gesaugt wird, spielt dies eine untergeordnete Rolle. Gleichzeitig mit der Saugaustragung findet auch die automatische Reinigung der Wärmetauscher und des Rostes statt. Die Asche wird in einen Aschekasten transportiert, der nur wenige Male pro Jahr entleert werden muss (Abb. 32). Die Asche will der Bauherr in seinem Garten als Dünger verwenden.

Der Pelletkessel übergibt seine gesamte Wärme dem Pufferspeicher. Als Stellgröße für die Regelung des

Kessels wird die Temperatur am Grund des Speichers verwendet. Erreicht diese 60 °C, schaltet der Kessel ab. Derzeit läuft der Kessel im modulierenden Betrieb zwischen 40 und 100 % der Nennwärmeleistung, an der optimalen Regelung wird vom Bauherrn noch gefeilt. Aus dem Speicher werden über Wärmetauscher und Mischer der Heizkreis und der separate Brauchwasserspeicher (Abb. 33) gespeist. Als Brauchwasserspeicher wurde kurzfristig statt dem ursprünglich vorgesehenen 400 l- nur ein 300 l-Behälter installiert. Im aktuellen Betrieb zeigt sich, dass auch dieser noch eher zu groß gewählt ist.

Abb. 30:
Pelletkessel mit Pufferspeicher



Abb. 31:
Blick v. unten a.d. Schrägboden des Lagerraumes



Abb. 32:
Aschekasten

Abb. 33:
Brauchwasserspeicher



9.3 Einfamilienhaus, Kombination Pelletkessel/Solaranlage (Altbau)

Baujahr des Hauses	1962
Wohnfläche	150 m ²
Wärmebedarf	ca. 31.000 kWh
Leistung Pelletkessel	15 kW
Fläche Röhrenkollektoren	2 x 4 m ²
Pufferspeichervolumen	800 l
Voraussichtlicher Pelletbedarf	4 – 6 t/a

Kosten inkl. MwSt.:

Pelletkessel inkl. Regelung	10.400 Euro
Austragung	1.500 Euro
Solaranlage	5.340 Euro
Hydraulik	1.720 Euro
Pufferspeicher	3.720 Euro
Lagerraum (Eigenbau) inkl. Prallmatte und Anschlusskupplungen	580 Euro
Kaminsanierung	1.440 Euro
Montagekosten	
Pelletkessel und Solaranlage	4.200 Euro
Entsorgung Heizöltank	Kostenlose Abnahme

Förderung:

Solaranlage (Marktanreizprogramm + Herstellerzuschuss)	1.000 Euro
Pelletkessel	1.500 Euro

Summe Investitionskosten 26.400 Euro

In diesem Beispiel (Abb. 34) wurde eine bestehende Ölheizungsanlage erneuert. Umweltaspekte, die Geruchsbelästigung durch die alten Plastiköltanks, die unsichere zukünftige Preisentwicklung des Heizöls sowie das fehlende Gasleitungsnetz veranlasste die Hausbesitzer zur Suche nach alternativen Energieträgern. So entschieden sie sich für einen

15 kW- Pelletkessel in Kombination mit einer 8 m³ großen Röhrenkollektoranlage (Brauchwassererwärmung + Heizungsunterstützung, Abb. 35).

Die Wärme aus den Solarkollektoren wird in den Schichtenspeicher geladen, der auch als Pufferspeicher für den Pelletkessel dient und dann bis maximal 85° C unten oder 90° C oben aufgeheizt werden kann. Das Brauchwasser wird durch einen oben im Speicher befindlichen Wärmetauscher erwärmt und über einen Mischer auf maximal 50° C eingestellt. Diese Lösung ist nur aufgrund des vorhandenen, relativ kalkarmen Trinkwassers möglich, bei kalkhaltigem Trinkwasser dürfte der Speicher nur auf ca. 55 - 60° C aufgeheizt oder das Trinkwasser müsste vorentkalkt werden.

Durch die Möglichkeit, das Pelletlager direkt im Heizraum zu errichten, konnte auf die bei dem gewählten Kesselhersteller im Vergleich zur Schneckenausstragung teurere Saugaustragung verzichtet werden und zusätzlich der ehemalige Öllagerraum als neue Nutzfläche gewonnen werden.

Den Lagerraum bauten die Hausbesitzer in Eigenleistung in Holzständerbauweise selbst (8 cm starke Holzbalken, beidseitige Verschalung mit 2 cm - OSB-Platten). Platzmangel zwang dabei zu einigen Kompromissen. So musste der Lagerraum durch eine quer verlaufende Schnecke (üblicherweise längs) erschlossen und die Neigung der Bodenschrägen von optimal 40 - 45° auf 15 - 20° reduziert werden. Dies hat zur Folge, dass ein Teil der Pellets nicht selbständig nachrutscht. Bei automatischer Leerung des Lagers bleiben in den Ecken alte Pellets liegen, und es

kann in diesem Bereich zu einer Konzentrierung von Feinmaterial kommen. Unkontrollierte Ablösungen dieses Materials können zu Störungen des Förder-systems oder des Kessels führen. Damit sind die Hausbesitzer gezwungen, die Pellets vor Neubefüllung des Lagers manuell zur Schnecke nachzuschau-feln.

Als nicht unproblematisch erwies sich bei dieser Anlage die erste Anlieferung der Pellets. Der Zu-fahrtsweg (Abb.36) befindet sich in Privatbesitz. Auf-grund einer zunächst angenommenen Maximal-belastung des Weges von 12 t wurde die Erstbeliefe-rung mit einem 3-Achser mit ca. 28 t Gesamtgewicht abgebrochen. Erst nach Klärung der tatsächlichen Belastungsgrenze war eine Belieferung möglich. Sehr geringe Straßenbreiten, die Schlauchlänge von fast 40 m sowie nicht bis an die Außenfassade ge-führte Befüllkupplungen erschweren die Anlieferung der Pellets zusätzlich. Alle diese Details sollten Be-standteil der Planung sein, um gegen solche Überra-schungen gewappnet zu sein. Im schlimmsten Fall wäre als Ausweg nur der Umstieg auf sehr viel teu-erere Sackware geblieben.

Obwohl das Haus aufgrund seines Baujahres einen erheblichen Wärmebedarf aufweist, wurde auf zu-sätzliche Dämm-Maßnahmen verzichtet. Eine hei-zungsunterstützende Solaranlage für ein solches Objekt ist allgemein unüblich, da der Solarertrag in einem recht ungünstigen Verhältnis zum Gesamt-wärmebedarf steht. Erste Angaben zum erwarteten Beitrag lassen auch auf eine deutliche Überbewer-tung des solaren Anteiles an der Wärmerzeugung schließen.

Abb. 34:
Hausansicht mit Solarkollektoren



Abb. 35:
Heizanlage auf engem Raum: Pelletkessel, Pufferspeicher und – rechts hinter der Holzwand – Lagerraum



Abb. 36:
Enge, für große LKW schwierig zu befahrende Zufahrt



9.4 Mikrowärmenetz für fünf Reihenhäuser, Pelletkessel mit Solaranlage (Neubau, Contracting)

Baujahr des Häuser	2001
Wohnfläche	570 m ²
Wärmebedarf	45.000 kWh
Leistung Pelletkessel	25 kW
Fläche Solarkollektoren	20 m ²
Brauchwasserspeicher	750 l
Pelletbedarf/Jahr	10,6 t

Kosten ohne MwSt.:

Pelletkessel	
(inkl. Regelung, Austragung, Hydraulik, Schornstein)	15.200 Euro
Solaranlage	8.000 Euro
Brauchwasserspeicher	2.300 Euro
Hydraulik	inkl.
Lagerraum (Erdtank)	2.800 Euro
Montagekosten	inkl.

Förderung:

Solaranlage	
da Contractor überwiegend in kommunaler Hand	keine
Pelletkessel (Marktanreizprogramm)	
da Contractor überwiegend in kommunaler Hand	keine

Summe Investitionskosten	28.300 Euro
---------------------------------	--------------------

Bei dieser Anlage sind zwei Besonderheiten verknüpft: Zum einen handelt es sich um eine Gemeinschaftsanlage für 5 Reihenhäuser (Abb. 37), zum anderen wurde die Anlage von einem Contractor erstellt und wird von diesem betrieben. Die Hauseigentümer bezahlen neben einer Grundgebühr nur die Kosten für die bezogene Nutzwärme.

Für die Versorgung der 5 Reihenhäuser wurde in einem der Eckhäuser ein kleiner Heizraum abgetrennt, in dem ein 25 kW-Holzpelletkessel und ein 750 l-Brauchwasserspeicher aufgestellt wurde (Abb. 38). Für die Pelletlagerung wurde im Garten desselben Hauses ein 10 m³-Erdtank (Abb. 40) eingebaut, der zweimal pro Jahr befüllt werden muss. Per Saugaustragung wird viermal pro Tag die erforderliche Pelletmenge in das kleine Zwischenlager am Kessel befördert. Zusätzlich zur Brauchwassererwärmung wurden im Sommer 20 m³ Flachkollektoren installiert.

Der Pelletkessel speist direkt modulierend in den Heizungsvorlauf und den Brauchwasserspeicher ein. Am Ausgang des Pelletkessels wird über einen Wärmemengenzähler die gesamte, durch die Pelletheizung erzeugte Wärmemenge gemessen (Abb. 39). Die einzelnen Häuser werden wie in einem Mehrfamilienhaus über gewöhnliche Heizungsrohre und Brauchwasserleitungen versorgt, abgerechnet wird über Heizkostenverteiler und Warmwasserzähler.

Die Aufgaben des Contractors umfassen folgende Leistungen:

- Planung, Finanzierung, Bau, Betrieb, Wartung und Instandhaltung der Heizanlage
- Dachnutzungsvertrag für die Installation und den Betrieb der Solaranlage unter Anwendung des Mietrechts
- Lieferung der notwendigen Nutzwärme
- Abrechnung mit der Eigentümergemeinschaft

Die Eigentümer bezahlen einen Grundpreis, der sich aus den Investitionskosten für Heizanlage, Erdtank

und Solarkollektoren errechnet, und einen Wärmepreis, der sich aus den Brennstoff- sowie Betriebs- und Wartungskosten zusammensetzt.

Die bisherigen Erfahrungen des Contractors sind insgesamt positiv. Nach anfänglichen Schwierigkeiten aufgrund schlechter Pelletqualität läuft die Pelletheizung jetzt störungsfrei. Gewisse Probleme ergeben sich aus dem Umstand, dass das Heizsystem vom Bauträger geplant wurde, ohne die zukünftigen Eigentümer zu kennen. Aufgrund der Anlaufschwierigkeiten haben die Eigentümer, die nur an Wärme interessiert sind und sich nicht mit dem regenerativen Heizsystem identifizieren, keine positive Einstellung zu dieser speziellen Lösung entwickelt. Für die Zukunft hält der Contractor eine frühere Einbeziehung der künftigen Eigentümern, die möglichst ein eigenes Interesse an einer regenerativen Energieversorgung mitbringen sollten, für notwendig.

Abb. 37:
Gesamtansicht, Dach mit Solarkollektoren



Abb. 38:
Pelletkessel und Brauchwasserspeicher



Abb. 39:
Wärmemengenzähler



Abb. 40:
Deckel des Pellet-Erdtanks



9.5 Hotel, Kombination modifizierter Hackschnitzelkessel/ Solaranlage (Altbau)

Baujahr des Hotels	1875
Baujahr Anbau	1983
Bettenanzahl	100
Wärmebedarf	450.000 kWh
Leistung Pelletkessel	300 kW
Fläche Solaranlage	30 m ²
Pufferspeichervolumen	3 x 1.200 l
Brauchwasserspeicher	2 x 600 l
Voraussichtlicher Pelletbedarf	ca. 100 t/a

Kosten ohne MwSt.

Pelletkessel inkl. Austragung u. Regelung	71.200 Euro
Pelletlager	2.000 Euro
Pufferspeicher	2.500 Euro
Brauchwasserspeicher inkl. Hydraulik	4.100 Euro
Solaranlage inkl. Regelung	12.500 Euro
Regeltechnik Mischer	6.000 Euro
Demontage Ölkessel und Öltank	7.000 Euro
Gas-Brenner (auf altem Ölkessel) inkl. Einbindung	5.500 Euro
Hydraulik, Rohrleitungen, Einbindung	19.000 Euro

Förderung:

Pelletkessel	5.000 Euro
Solaranlage	1.500 Euro

Summe Investitionskosten 123.300 Euro

Die Leitung des Hotels verfolgte das Ziel, eine moderne und zukunftsfähige Energieversorgung aufzubauen. Dafür sollte der gesamte Energieverbrauch aus erneuerbaren Energien gewonnen werden. Erreicht wurde das Ziel durch konsequente

Realisierung der Strom- und Wärmeeinsparpotenziale und den Aufbau von Energiesystemen, die auf regenerativen Energiequellen basieren. Hierfür wird Strom in einer eigenen Photovoltaikanlage (Abb. 41) produziert sowie aus Wasser- und Windkraftanlagen bezogen, an denen Beteiligungen erworben wurden.

Für die Wärmeversorgung, die in einem Hotel dieser Größenordnung erhebliche Dimensionen aufweist, wurde neben einer Solaranlage mit 30 m² Flachkollektoren (Abb. 41) eine leistungsfähige Pelletheizung installiert.

Dafür war ein erheblicher Umbaufwand erforderlich. Zunächst mussten die Öltanks entfernt und der Tankraum zum Pelletlager umfunktioniert werden. Nach einer gründlichen Reinigung dient dieser Raum mit einer Fläche von 6,5 x 5,5 m ohne größere Umbaumaßnahmen als Pelletlager, zur Austragung wurde ein Federblattsystem eingebaut. Da der Raum nicht ganz quadratisch ist, wurde als Kompromiss für die Federblattlänge ein Wert von 6 m gewählt. Das Mauerwerk auf der schmalen Seite wird durch Metallarmierungen geschützt, durch entsprechende Dämmmaßnahmen eine Schallübertragung auf die Gebäudehülle verhindert.

Von den ursprünglich zwei Ölkesseln wurde einer demontiert, der andere durch Aufsatz eines Gasbrenners zum Ersatzkessel umfunktioniert. Als Heizzentrale wurde ein Hackschnitzelkessel mit 300 kW Leistung installiert, der durch geringe Modifikatio-

nen in der Brennstoffzuführung für den Pelletbetrieb angepasst ist (Abb. 42). Da für die Anlage ein neuer Heizraum in einiger Entfernung zum alten notwendig war, waren erhebliche Aufwendungen für die Einbindung der Kessel in die bestehende Heizungsverteilung erforderlich.

Als Wärmespeicher für die Pelletheizung und die Solaranlage stehen drei Pufferspeicher mit zusammen 3.600 l Inhalt zur Verfügung. Die Verteilung auf mehrere Speicher ergab sich aus der maximalen Aufstellhöhe und den Türdurchgangsbreiten. Die Speicher sind in Reihe geschaltet, wobei Speicher 1 und 2 vorrangig vom Pelletkessel und Speicher 3 von den Solarkollektoren beheizt werden.

Aus den Pufferspeichern werden sowohl der Heizungsvorlauf als auch die beiden je 600 l fassenden Brauchwasserspeicher beladen. Ein komplexes System aus Regelelektronik, Mischern und Hydraulik steuert das Zusammenspiel von Solaranlage, Pelletkessel, Pufferspeicher, Brauchwasserspeicher und Heizungsvorlauf.

Abb. 43:
Außenansicht des Hotels



Abb. 41:
Solarenergienutzung:
im Vordergrund
Photovoltaikanlage,
im Hintergrund links
Solarkollektoren
für Wärmeerzeugung



Abb. 42:
Pelletkessel,
im Vordergrund
Austragungsschnecke mit
Zellenradschleuse



10 Literatur

- [1] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV) vom 16.11.2001
- [2] Großmann, B. (Paradigma): Vortrag auf dem 2. Industrieforum Holzenergie, Sept. 2002 in Stuttgart
- [3] Diverse Förderprogramme der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW). www.kfw.de
- [4] DIN V 4701-10: Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen – Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung
- [5] Fischer, T. (2003): Anforderungen an die Planung von Biomasse-Heizungsanlagen aus der Energieeinsparverordnung (EnEV), Vortrag auf dem 12. Symposium Energie aus Biomasse, Nov. 2003 im Kloster Banz, Bad Staffelstein
- [6] Technische Universität Kaiserslautern, www.uni-kl.de/RUN/InGa/Download/Daten/SMR01/IZES.pdf
- [7] Lambrecht, K. (2002): Die neue Energieeinsparverordnung EnEV: Auswirkung auf die Bewertung der Solarenergie, Ecoconsult, www.solaroffice.de
- [8] Richtlinie zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien. Bundesanzeiger Nr. 234 vom 26. November 2003; ausgegeben am Sonnabend, dem 13. Dezember 2003
- [9] DINplus Zertifizierungsprogramm „Holzpellets zur Verwendung in Kleinfeuerungsstätten“ nach DIN 51731 – HP5 (ÖNORM M 7135 – HP1). Stand Januar 2002.
- [10] Großmann, B. (Paradigma): Vortrag auf dem 3. Industrieforum Holzenergie, Okt. 2003 in Stuttgart
- [11] Leitgeb, A. (1998): Holzpellets-Studie Vorarlberg, Alberschwende
- [12] BIZ (2002): Holzpellets – Energie, die nachwächst
- [13] C.A.R.M.E.N. e. V., 94315 Straubing
- [14] DIN 51731 – Prüfung fester Brennstoffe: Presslinge aus naturbelassenem Holz – Anforderungen und Prüfung. Oktober 1996
- [15] ÖNORM 7135 – Presslinge aus naturbelassenem Holz oder naturbelassener Rinde. Pellets und Briquets. Anforderungen und Prüfbestimmungen. 2000
- [16] Deutsches Institut für Normung, 10787 Berlin
- [17] Umdasch AG, A-3300 Amstetten
- [18] DINcertco, 10787 Berlin
- [19] Pelletverband Austria, A-4616 Weißkirchen
- [20] DEPV, 68161 Mannheim
- [21] BIZ (2002): Pellet-Zentralheizungen & Einzelöfen – Marktübersicht
- [22] Ökozentrum Langenbruck (2002): Emissionen und Wirkungsgrad von Holz-Pelletfeuerungen – eine Praxiserhebung im Kanton Baselland, Vortrag auf dem 2. Schweizer Pelletforum, Nov. 2002 in Luzern
- [23] Krapf, G. (2002): Holzpellets und Pelletheizanlagen. Technik, Emissionen, Hersteller, Lieferanten, www.carmen-ev.de
- [24] Hartmann, H. (Hrsg.) (2003): Handbuch Bioenergie-Kleinanlagen, ISBN 3-00-011041-0
- [25] Deutscher Energie Pellet Verband e. V. (2003): Der Pelletlagerraum – Planungshinweise, Informationen zu Ihrer Sicherheit, www.depv.de
- [26] Holz, T. (2003): Holzpellet-Heizungen. Planung, Installation, Betrieb. Ökobuch Verlag
- [27] Entwurf ÖNorm M 7137: Presslinge aus naturbelassenem Holz oder naturbelassener Rinde – Anforderungen an die Pelletlagerung beim Verbraucher
- [28] Schiedel GmbH & Co.: Grundlagen der Schornsteintechnik, www.schiedel.de
- [29] DIN 18160, Abgasanlagen
- [30] DIN EN 13 384-1, Berechnung von Schornsteinabmessungen
- [31] Bundesverband des Schornsteinhandwerks – Zentralinnungsverband (2000): Brandschutz bei Abgasanlagen aus nichtrostendem Stahl
- [32] Rawe & Kuhrmann: Auswirkungen von Zugbegrenzern auf die Wirtschaftlichkeit von Pelletheizungen, Vortrag auf dem 2. Industrieforum Holzenergie, Sept. 2002 in Stuttgart
- [33] Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks (1998): Auszüge und Erläuterungen zur Muster-Feuerungsverordnung
- [34] Hartmann, H. & Kaltschmitt, M. (Hrsg.) (2002): Biomasse als erneuerbarer Energieträger, Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“, Band 3
- [35] GEMIS 4.0, Ökoinstitut Darmstadt, www.oeko.de/service/gemis
- [36] 1. BImSchV: Erste Verordnung zur Durchführung Bundes-Immissionsschutzgesetzes, 1998 (letzte Änderungen 2001)
- [37] Holzbau und die Energieeinsparverordnung (2000), holzbau handbuch, Reihe 3, Teil 2, Folge 2
- [38] Innovative Haustechnik im Holzbau (2002), holzbau handbuch, Reihe 3, Teil 2, Folge 3

11 Ansprechpartner

* Hier sind Übersichten mit Adressen von Pellethändlern, Anbietern von Feuerungsanlagen etc. erhältlich

Pelletheizung

BEN Bioenergie Niedersachsen

Rühmkorffstraße 1
30163 Hannover
Tel.: 05 11 / 965 29 15
www.ben-online.de

Bundesverband Bioenergie

Godesberger Allee 142-148
D-53175 Bonn
Tel.: 02 28 / 81 98-140
Internet: www.bioenergie.de

C.A.R.M.E.N. e.V. *

Schulgasse 18,
94315 Straubing
Tel.: 0 94 21 / 960-300
www.carmen-ev.de

Deutscher Energie-Pellet-Verband e.V. (DEPV) *

Tullastraße 18
D-68161 Mannheim
Tel.: 06 21 / 728 75 23
www.depv.de

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe *

Hofplatz 1
18276 Gülzow
Tel.: 0 38 43 / 69 30-0
www.fnr.de

Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung der Universität Stuttgart

Hessbrühlstr. 49a
70565 Stuttgart
Tel.: 07 11 / 780-6116
www.ier.uni-stuttgart.de

Landesgewerbeamt Stuttgart

Willi-Bleicher-Straße 19
70174 Stuttgart
Tel.: 0711/123-0
www.lgabw.de

Landesinitiative Zukunftsenergien NRW

c/o Ministerium für
Verkehr, Energie und Landesplanung
des Landes NRW
Haroldstraße 4
40213 Düsseldorf
Tel.: 02 11 / 866 42-0
www.energieland.nrw.de

Pelletsverband Deutschland

Am Mühlberg 20
90559 Burgthann
Tel.: 0 91 83 / 90 18 08
www.pelletsverband.de

Rhön-Hessen-Forstconsulting GbR

Geschäftsstelle Geroda
Gartenweg 3
97779 Geroda/Rhön
www.holzpellets-online.de

Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe

Schulgasse 18
94315 Straubing
Tel.: 0 94 21 / 300-210
www.tfz.bayern.de

Zentralverband Sanitär Heizung Klima

Rathausallee 6
53757 St. Augustin
Tel.: 02241/92 99-0
www.wasserwaermeluft.de

Solarsysteme

Deutsche Gesellschaft für

Sonnenenergie e.V.

Augustenstr. 79
80333 München
Tel: 089 / 52 40 71
www.dgs-solar.org

Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik der Universität Stuttgart

Pfaffenwaldring 6
70550 Stuttgart
Tel.: 07 11 / 685-3536
www.itw.uni-stuttgart.de

solid-gGmbH

Heinrich-Stranka-Str. 3-5
90765 Fürth - Poppenreuth
Tel: 09 11 / 810 27-0
www.solid.de

Förderung

Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle

– Bereich Erneuerbare Energien –

Frankfurter Straße 29 - 35
65760 Eschborn
Tel.: 0 61 96 / 9 08 - 625
Telefax: 0 61 96 / 9 08 - 800
E-Mail: solar@bafa.de
www.bafa.de
Antragsformular (Fax): 0 61 96 / 95 49 123

Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW)

Palmengartenstraße 5-9
60325 Frankfurt am Main
Tel.: 069 / 74 31-0
Informationszentrum
Tel: 01801 / 33 55 77 (Ortstarif)
Fax: 069 / 74 31 64 355
E-Mail: infocenter@kfw.de
www.kfw.de

Bildnachweis

Abb. 2, 16, 23:

HDG Bavaria GmbH, Massing

Abb. 3, 5, 12, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 39, 40:

Biomasse Info-Zentrum, IER, Uni Stuttgart

Abb. 4:

Holz-Energie-Zentrum

Olsberg GmbH, Olsberg

Abb. 9:

Calimax, A-Rankweil

Abb. 10:

Paradigma, Karlsbad

Abb. 11, 15, 17 :

Ökofen, A-Lembach

Abb. 13:

KWB, A-St. Margarethen

Abb. 14

Schiedel GmbH & Co., München

Abb. 22:

Pro Solar, Ravensburg

Abb. 24:

Solvis, Braunschweig

Abb. 25:

Solarfocus, A-St. Ulrich

Abb. 28, 29, Titelbild:

Marx, Bornheim

Abb. 37, 38:

MVV Energie AG, Mannheim

Abb. 41, 42, 43:

Hotel Victoria, Freiburg

Tab. 7:

Ökofen, A- Lembach;

Steinecke, Sachsenheim;

Roth, Bischofswerda

Tab. 10:

HDG Bavaria GmbH, Massing

Gilles, A-Gmunden

Calimax, A-Rankweil

Schiedel, München

Ökofen, A- Lembach

SHT, A-Salzburg

Mall, Donaueschingen

