

## Holzenergie

Thomas Nussbaumer, PD Dr. sc. techn.  
 Hochschule Luzern – Technik & Architektur  
 Verenum, Langmauerstrasse 109, CH-8006 Zürich

### Teil 3: Pelletheizungen

1 Potenzial und Herstellung von Holzpellets	2
2 Eigenschaften von Holzpellets	3
3 Energiedichte und Lagervolumen	3
4 Lieferformen	4
5 Normen	4
6 Transportaufwand und graue Energie	5
7 Anwendungsgebiete	6
8 Pellethandling und -lagerung	8
9 Verbrennung von Holzpellets	10
10 Typen von Pelletheizungen	10
11 Kosten	12
12 Anwendungsbeispiel	13
13 Zusammenfassung und Ausblick	15
14 Literatur	16
15 Adressen	16

### Teil 3: Pelletheizungen

Pelletheizungen erreichen dank der Homogenisierung des Brennstoffs zu einem Granulat mit konstantem Heizwert eine emissionsarme Verbrennung und einen hohen Wirkungsgrad. Im Weiteren verfügen sie über eine automatische Zündung und ermöglichen damit bereits für kleine Leistungen einen bequemen und vollautomatischen Heizbetrieb. Holzpellets werden meist aus Sägemehl oder Hobelspänen hergestellt und erlauben damit eine sinnvolle Verwertung von Restholz aus der Holzverarbeitung.

Für Pelletöfen werden Holzpellets in Säcken angeliefert und von Hand in ein Tagessilo gefüllt. Ein Pelletofen im Wohnbereich ist eine interessante Alternative zu einem handbeschilderten Ofen und kann mit einem Sichtfeuer auch optische Akzente setzen. Pelletkessel werden mechanisch beschickt und verfügen über ein Brennstoffsilos, welches meist für einen Jahresbedarf ausreicht. Ein Pelletkessel dient somit als Zentralheizung mit vergleichbarem Komfort wie eine Ölheizung. Zur Bedienung ist lediglich eine periodische Reinigung und Entaschung notwendig. Dank der hohen Energiedichte der kompaktierten Pellets ist der Platzbedarf für die Brennstofflagerung geringer als für Stückholz oder Holzschnitzel. Im Vergleich zu handbeschilderten Holzfeuerungen ist bei Pelletheizungen zudem eine Fehlbedienung durch falsches Anfeuern weitgehend ausgeschlossen und gleichzeitig gewährleistet, dass weder Abfall noch zu feuchter Brennstoff mit entsprechend hoher Umweltbelastung eingesetzt werden.

## Energie-bois

Thomas Nussbaumer, privat-docent, Dr. sc. techn.  
 Haute Ecole Spécialisée de Lucerne – ingénierie et architecture  
 Verenum, Langmauerstrasse 109, CH-8006 Zurich

### Partie 3: installations de chauffage à granulés/pellets de bois

1 Potentiel et production de granulés/pellets de bois	2
2 Caractéristiques des granulés/pellets de bois	3
3 Densité énergétique et volume de stockage	3
4 Formes de livraison	4
5 Normes	4
6 Frais de transport et énergie grise	5
7 Domaines d'application	6
8 Handling et stockage des granulés/pellets de bois	8
9 Combustion des granulés/pellets de bois	10
10 Types de poêles et chaudières à granulés/pellets de bois	10
11 Coûts	12
12 Exemple d'application	13
13 Récapitulation et perspectives	15
14 Bibliographie	16
15 Adresses	16

### Partie 3: installations de chauffage à granulés/pellets de bois

Grâce à l'homogénéisation du combustible sous forme de granulés/pellets à pouvoir calorifique constant, ce type d'installation de chauffage garantit une combustion pauvre en émissions polluantes et un rendement élevé. Il dispose en outre d'un allumage automatique et assure ainsi une exploitation pratique et intégralement automatisée même pour de faibles puissances. Les granulés/pellets sont généralement produits à partir de sciure ou de copeaux, permettant ainsi un recyclage judicieux des résidus ligneux provenant de l'usinage du bois.

Pour alimenter un poêle, les granulés/pellets sont livrés en sacs et introduits manuellement dans un silo journalier intermédiaire. Un poêle à granulés/pellets d'appartement peut s'utiliser en lieu et place d'un poêle à bois à alimentation manuelle et permettre de créer ainsi différents accents optiques moyennant une flamme apparente. Les chaudières à granulés/pellets sont par contre alimentées mécaniquement et disposent d'un silo à combustible généralement capable de couvrir les besoins annuels de l'installation. Une chaudière à granulés/pellets peut donc assurer un service de chauffage central de confort comparable à celui d'une installation de chauffage central au mazout. La maintenance de l'installation se limite en l'occurrence à un nettoyage et une évacuation périodiques des cendres. Grâce à la densité énergétique élevée des granulés/pellets, le volume de stockage indispensable pour stocker le combustible est moindre que celui nécessitant par des bûches ou des plaquettes de bois. Comparativement à une installation de chauffage au bois à alimentation manuelle, une installation à granulés/pellets est en outre beaucoup moins sujette à une fausse manœuvre consécutivement à un allumage défectueux; elle garantit par ailleurs simultanément de ne pas utiliser de combustible trop humide susceptible d'engendrer une pollution importante ou excessive.

# 1 Potenzial und Herstellung von Holzpellets

Für die Herstellung von Pellets eignen sich in erster Linie trockenes Sägemehl und Hobelspäne aus der Holzverarbeitenden Industrie. Zusätzlich ist auch die Herstellung von sogenannten Waldpellets aus getrockneten Holzschnitzeln in Diskussion und für grössere Anlagen kommt auch der Einsatz von Industriepellets mit grösseren Dimensionen in Frage. Die Produktionskapazität für Pellets in der Schweiz betrug im Jahr 2006 ca. 80 000 t/a, der Verbrauch an Pellets betrug rund 60 000–70 000 t/a. Mit einem Bedarf von zum Beispiel 4 t Pellets (entsprechend 2000 Liter Heizöl) pro Jahr können damit rund 17 000 Einfamilienhäuser versorgt werden. Wenn die in der Schweiz anfallende Menge an Sägemehl und Hobelspänen für die Pelletproduktion genutzt wird, könnte die Produktionskapazität rund verdoppelt werden. Das Potenzial von Waldpellets ist zurzeit nicht abschätzbar, es wird aber das Potenzial von Holzschnitzeln entsprechend vermindern. Zusätzlich ist auch der Import von Pellets aus dem nahen Ausland möglich. Der Trend zu Pelletheizungen zeigt sich auch beim verfeuerten Holz. Aktuell weisen Holzpellets mit einem Brennstoffumsatz von etwa 0,1 Millionen Kubikmeter Holzfestmasse noch einen relativ geringen, aber in den letzten Jahren stark gestiegenen Anteil (1% im Jahr 2002; 3% im Jahr 2005) am gesamten Energieholzanteil auf [1].

# 1 Potentiel et production de granulés/pellets de bois

Pour produire des granulés/pellets, on utilise principalement de la sciure sèche, des copeaux/plaquettes de bois ou des résidus ligneux provenant de l'industrie transformatrice du bois. Des résidus ligneux d'origine forestière dûment séchés peuvent également entrer en ligne de compte, notamment pour produire des granulés/pellets de type industriel de grandes dimensions destinés à l'alimentation de grosses installations. En 2006, la capacité de production de granulés/pellets de la Suisse était d'environ 80 000 tonnes par année, la consommation de granulés/pellets se situant à environ 60 000–70 000 tonnes par année. A raison de 4 tonnes de granulés/pellets par année par exemple (soit l'équivalent de 2000 litres d'huile de chauffage), il est ainsi possible d'approvisionner environ 17 000 villas familiales. En réservant la quantité de sciure et de copeaux/plaquettes produite en Suisse à la production de granulés/pellets, il devrait être possible de doubler approximativement ladite capacité de production. Il n'est actuellement pas possible d'estimer le potentiel des granulés/pellets d'origine forestière, mais il est évident que celui des copeaux/plaquettes et autres déchets diminuera en conséquence. Il est en outre aussi possible d'importer des granulés/pellets à partir des pays limitrophes. La tendance positive constatée en faveur des installations de chauffage à granulés/pellets se manifeste par ailleurs également à travers la quantité de bois de feu consommée. Actuellement, avec une part d'environ 0,1 million de mètres cubes par rapport au total du bois utilisé à des fins de production énergétique, les granulés/pellets représentent certes encore un pourcentage modeste, mais en forte croissance au cours de ces dernières années (1% en 2002; 3% en 2005) [1].

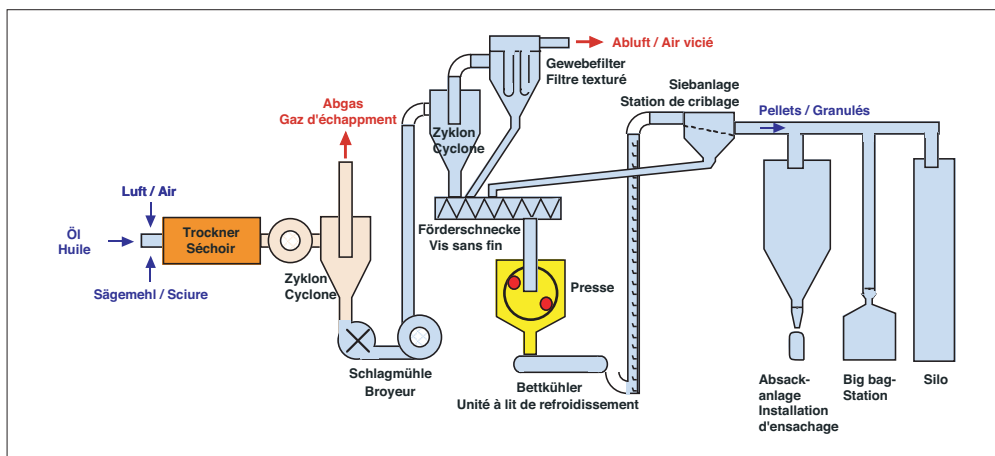


Bild 1 / figure 1

Holzpelletieranlage mit Trockner und Ringmatrizenpresse mit einer Leistung von rund 3 t/h [2]. In Grossanlagen kann zur Trocknung auch Holz statt Heizöl eingesetzt werden.

Installation de production de granulés/pellets avec séchoir et presse matricielle annulaire d'un débit d'environ 3 tonnes/heure [2].

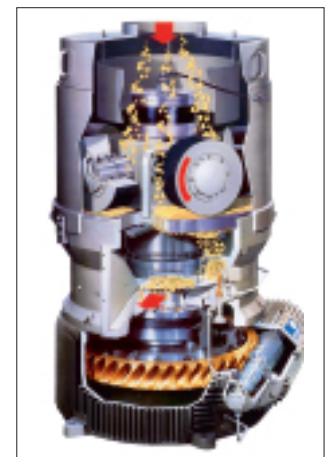


Bild 2 / figure 2

Beispiel einer Pelletiermaschine (Kahl).

Exemple de presse à granulés/pellets (Kahl).

Zur Herstellung von Pellets aus Sägemehl ist eine Trocknung des Rohmaterials erforderlich, während Hobelspäne trocken anfallen und direkt verferret werden können. Beide Materialien fallen bereits in zerkleinerter Form an, so dass höchstens noch eine Feinzerkleinerung erforderlich ist. Zur Herstellung von Pellets aus Waldholz ist eine Trocknung und Zerkleinerung notwendig. Bild 1 zeigt den Aufbau einer Pelletieranlage mit vorgeschaltetem Trockner für feuchtes Rohmaterial. Die Pelletierung erfolgt in einer Matrize unter Druck, wie am Beispiel einer Pelletiermaschine in Bild 2 gezeigt ist.

Pour produire des granulés/pellets à partir de sciure, il est indispensable de sécher celle-ci, alors que des copeaux/plaquettes sont en principe secs et peuvent généralement se densifier directement. Les deux matières de base se présentent en l'occurrence sous une forme déjà déchiquetée, de sorte que seul un broyage fin est tout au plus nécessaire. La figure 1 présente une installation de production de granulés/pellets avec séchoir en amont pour le séchage d'une matière première humide. Les granulés/pellets eux-mêmes sont confectionnés sous pression dans une presse à granulés/pellets selon figure 2.

## 2 Eigenschaften von Holzpellets

Holzpellets sind zylindrische Presslinge, die unter Druck aus trockenem Holz gepresst werden. Der Durchmesser beträgt meist zwischen 4 mm und 10 mm, in der Schweiz sind Durchmesser zwischen 5 mm und 7 mm üblich. Die Länge beträgt 10 mm bis 50 mm. Im Vergleich zu Holzschnitzeln und Stückholz weisen Holzpellets folgende Vorteile auf:

- homogene Eigenschaften
- geringe Feuchte (Wassergehalt < 10%)
- hoher und konstanter Heizwert (17–18 MJ/kg = 5 kWh/kg)
- dank hoher Energiedichte geringes Transport- und Lagervolumen (drei- bis viermal kleinerer Volumenbedarf als Holzschnitzeln)
- gute Riesel- und Einblaseigenschaften
- gute Dosierbarkeit
- kleine Leistungen möglich
- einfache automatische Zündung möglich
- definierter Brennstoff verhindert unzulässige Brennstoffe.

Pelletöfen und kleine Pelletkessel stellen besonders hohe Anforderungen an die Qualität der Pellets. Für den Einsatz von Pellets sind deshalb folgende Punkte zu beachten:

- durch mechanische Einwirkung können Pellets zu Abrieb und Staubeentwicklung führen, was den Verbrennungsvorgang beeinträchtigt und zu erhöhtem Verschleiss und Reinigungsaufwand führen kann
- Pellets sind hygroskopisch und nehmen rasch Feuchtigkeit auf, weshalb sie bei nicht sachgemässer Lagerung aufquellen können (Bild 3)
- im Feuerraum besteht eine erhöhte Gefahr der Verschlackung, da hohe Temperaturen im Glutbett erreicht werden.



Bild 3 / figure 3

Zerfall von Pellets in Wasser: Links: frische Pellets, Mitte: Beginn des Zerfalls nach 30 Sekunden, rechts: Nach 1 bis 2 Minuten sind die Pellets vollständig aufgelöst.

Désagrégation de granulés/pellets dans de l'eau; à gauche: granulés/pellets à l'état frais; au centre: début de la désagrégation après 30 secondes; à droite: les granulés/pellets sont complètement désagrégés après 1 à 2 minutes.

## 3 Energiedichte und Lagervolumen

Durch die Verdichtung unter Druck wird eine Kompaktierung des Holzes auf eine Dichte von rund 1,2 kg/dm<sup>3</sup> erzielt. Pellets weisen damit eine deutlich höhere Dichte auf als das eingesetzte Rohmaterial. Das Schüttgewicht von Holzpellets beträgt rund 650 kg/m<sup>3</sup>. Der Energieinhalt ist mit 3200 kWh pro Schüttkubikmeter rund drei- bis viermal grösser als von Holzschnitzeln. Dank der Pelletierung können somit im Vergleich zu Holzschnitzeln Platz- und Kosteneinsparungen beim Silo und Transport erzielt werden. Der Energieinhalt von 2 kg Pellets entspricht 1 Liter Heizöl, womit im Vergleich zu Heizöl ein rund dreimal grösseres Lagervolumen erforderlich ist (Bild 4). Die Verbindung des Holzes zu Pellets erfolgt unter Druck und durch im Holz natürlich vorhandene Stoffe wie Lignin. Der Pressvorgang wird teilweise durch Zugabe von Wasserdampf unterstützt. Im Weiteren können zur Verbesserung der Pelleteigenschaften geringe Mengen an rein biogenen Zusatzstoffen wie zum Beispiel Stärke zugegeben werden.

## 2 Caractéristiques des granulés/pellets de bois

Les granulés/pellets sont des éléments comprimés cylindriques à base de copeaux/plaquettes secs. Leur diamètre est généralement compris entre 4 et 10 mm, resp. entre 5 et 7 mm sur le marché suisse. Leur longueur peut varier entre 10 et 50 mm. Comparativement à des copeaux/plaquettes et du bois bûché, les granulés/pellets présentent les avantages suivants:

- Caractéristiques homogènes
- Faible teneur en humidité (teneur en eau < 10%)
- Pouvoir calorifique élevé et constant (17–18 MJ/kg = 5 kWh/kg)
- Faible volume de transport et de stockage grâce à une densité énergétique élevée (volume 3–4 fois inférieur à celui de copeaux/plaquettes de bois)
- Bonnes caractéristiques de ruissellement et d'insufflation
- Bonne aptitude au dosage
- Possibilité de travailler avec de faibles puissances
- Possibilité de prévoir un allumage automatique simple
- Combustible extrêmement bien défini excluant toute utilisation d'un combustible prohibé.

Les poêles et les petites chaudières à granulés/pellets doivent répondre à de très hautes exigences quant à la qualité du combustible utilisé. Il convient notamment de veiller aux points suivants:

- Par action mécanique, les granulés/pellets peuvent se désagréger et dégager des poussières susceptibles de perturber le processus de combustion, de favoriser l'usure et d'occasionner des frais de maintenance supplémentaires.
- Les granulés/pellets sont hygroskopiques et absorbent rapidement l'humidité, raison pour laquelle ils peuvent gonfler s'ils ne sont pas stockés dans les règles de l'art.
- Il existe un risque accru de scorification dans le foyer, car il est possible d'atteindre de très hautes températures dans le lit incandescent.

	Energiedichte Densité énergétique MWh/m <sup>3</sup>		Lagervolumen Volume de stockage
		(-)	
Holzschnitzel Plaquettes	0,7 – 1	1	██████████
Stückholz Bois bûché	1,5 – 2	2	██████
Holzpellets Granulés/pellets	3,2	3 – 4	████
Heizöl Huile de chauffage	10	10	█

Bild 4 / figure 4

Vergleich von Energiedichte und Lagervolumen.

Comparaison de la densité énergétique et du volume de stockage.

## 3 Densité énergétique et volume de stockage

L'homogénéisation sous pression permet de parvenir à une densité d'environ 1,2 kg/dm<sup>3</sup>. Les granulés/pellets présentent ainsi une densité nettement supérieure à celle de la matière première ligneuse utilisée. Le poids en vrac de granulés/pellets de bois est de l'ordre de 650 kg/m<sup>3</sup>. Avec 3200 kWh par mètre cube de granulés en vrac, leur teneur énergétique est trois à quatre fois supérieure à celle de copeaux. Comparativement à des copeaux, l'homogénéisation des granulés/pellets permet ainsi de réaliser des économies sur les frais de transport et d'ensilage. La teneur énergétique de 2 kg de granulés/pellets correspond en l'occurrence à celle de 1 litre d'huile de chauffage, ce qui nécessite un volume de stockage à peu près trois fois supérieur comparativement à de l'huile de chauffage (figure 4). L'agglomération de la matière première ligneuse sous forme de granulés/pellets s'effectue sous pression moyennant l'exploitation de substances naturelles déjà présentes dans le bois telles que la lignine. Le processus d'homogénéisation est partiellement assisté par un apport de vapeur d'eau. Pour améliorer les caractéristiques des granulés/pellets, il est en outre possible de leur additionner de faibles quantités d'adjuvants purement biogènes tels que de l'amidon par exemple.

## 4 Lieferformen

Zum Vertrieb von Holzpellets kommen verschiedene Varianten zum Einsatz. Für Pelletöfen im Wohnbereich erfolgt die Lagerung in leicht handhabbaren Säcken mit 15 kg bis 20 kg Inhalt. Für Zentralheizungskessel erfolgt dagegen die Anlieferung von losen Pellets ab Lastwagen in ein Silo im Gebäude oder in einen Tankraum ausserhalb des Gebäudes. Für kleine Heizanlagen wird der Inhalt meist auf etwas mehr als einen Saisonbedarf ausgelegt, bei grösseren Heizzentralen kann das Silo dagegen auch auf kürzere Lieferintervalle ausgelegt werden. Wenn Lastwagen mit Einblas- bzw. Pumpvorrichtungen zur Verfügung stehen, kann die Befüllung mit Luftförderung durch einen Schlauch erfolgen. Für besondere Situationen kommt auch die Anlieferung in sogenannten Big bags mit rund 0,5 t bis 1 t Inhalt in Frage.



## 4 Formes de livraison

Différentes variantes de granulés/pellets entrent en ligne de compte au niveau de la commercialisation. Pour des poêles d'appartement, la livraison des granulés/pellets intervient dans des sacs très pratiques de 15 à 20 kg. Pour des chaudières de chauffage central, la livraison s'effectue par contre en vrac et les granulés/pellets sont stockés dans un silo à l'intérieur ou à l'extérieur du bâtiment. Pour de petites installations de chauffage, la capacité du silo est généralement dimensionnée pour couvrir un peu plus des besoins d'une saison de chauffage. Pour de grosses installations de chauffage, le silo peut par contre aussi se dimensionner en fonction d'intervalles de remplissage plus courts. Si l'on dispose d'un camion doté d'un équipement d'insufflation ou de pompage, le remplissage du silo s'effectue à l'aide d'un flexible et d'air comprimé. Dans certaines circonstances particulières, la livraison peut également s'effectuer en big-bags de 0,5 à 1 tonne.

Bild 5 / figure 5

Lieferformen: Pellets in Säcken für Feuerungen im Wohnbereich, Pellets in Big bags oder lose Pellets ab Silopumpwagen für Pelletkessel mit Silo.

Formes de livraison: granulés/pellets en sacs pour poêles d'appartement, granulés/pellets en big-bags ou granulés/pellets livrés en vrac par camion pour chaudière et silo.

## 5 Normen

Für Brennstoffe ist in der Schweiz die Luftreinhalte-Verordnung (LRV) einzuhalten. Holzpellets fallen in die Kategorie der Holzbrennstoffe in Form von naturbelassenem, nicht stückigem Holz. Als Rohmaterial ist somit naturbelassenes Holz zu verwenden. Die Verwendung von Presshilfsmitteln in Form von rein biogenen Stoffen wie Stärke ist erlaubt, während die Zugabe anderweitiger Zusatzstoffe nicht gestattet ist.

In Ergänzung zur LRV dienen Normen der Sicherstellung der Pelletqualität, denn das Zerfallen der Pellets und die Freisetzung von Staub ist unerwünscht, da dies bei Transport, Lagerung und Verbrennung zu Staubemissionen und Störungen führt. Die Normen regeln beispielsweise den Gehalt an Fremdstoffen und Presshilfsmitteln, die physikalischen Eigenschaften der Holzpellets sowie die entsprechenden Prüfbestimmungen. Massgebend für die Herstellungsqualität von Holzpellets ist die ÖNORM M 7135. Unter dem Label DIN plus ist die ursprünglich weniger restriktive Norm DIN 51731 inzwischen der ÖNORM M 7135 angepasst worden (Tabelle 1). Während in der ÖNORM M 7135 keine Grenzwerte für Schwermetalle und Halogene aufgeführt sind, sind diese in der Norm DIN 51731 bzw. in DIN plus festgehalten (Tabelle 2).

## 5 Normes

En Suisse, il convient de respecter l'Ordonnance sur la protection de l'air (Opair) en matière de combustibles. Les granulés/pellets tombent dans la catégorie des combustibles ligneux, c'est-à-dire celle du bois aggloméré laissé à l'état naturel. Comme matière première, on utilise donc des déchets ligneux laissés à l'état naturel. L'adjonction de matières purement biogènes telles que de l'amidon est autorisée, alors que l'emploi d'autres substances est strictement prohibé.

En complément à l'Opair, des normes garantissent la qualité des granulés/pellets, car leur désagrégation ou un dégagement de poussières lors de leur transport, leur stockage ou leur combustion peut être à l'origine d'émissions polluantes ou de vices de fonctionnement. Ces normes régissent par exemple la teneur en matières étrangères et en produits auxiliaires de pressage, les caractéristiques physiques des granulés/pellets ainsi que les modalités d'essai correspondantes. La norme ÖNORM M 7135 fait foi en ce qui concerne la qualité de la production des granulés/pellets. Sous le label DIN plus, l'ÖNORM DIN 51731 primitivement plus restrictive a entre-temps été adaptée pour devenir l'ÖNORM M 7135 (tableau 1). Alors que l'ÖNORM M 7135 ne mentionne pas de valeurs limites pour les métaux lourds et les halogènes, ces substances sont précisées dans la norme DIN 51731, resp. DIN plus (tableau 2).



**Tabelle 1**

Anforderungen an Holzpellets  
gemäss ÖNORM M 7135 bzw. DIN plus.  
Anmerkungen: <sup>1)</sup> Toleranz ±10%; <sup>2)</sup> max. 20 Gew.-% dürfen Längen von bis zu 7,5 x d aufweisen; <sup>3)</sup> chemisch nicht veränderte Produkte aus primären land- und forstwirtschaftlichen Biomassen (z.B. Maisschrot, Maisstärke, Roffenmehl). wf: wasserfreier Zustand.

Parameter	ÖNORM M7135 bzw. DIN plus	Einheit	
Durchmesser d	$4 \leq d < 10$	mm	<sup>1)</sup>
Länge	$\leq 5 * d$	mm	<sup>2)</sup>
Abriebfestigkeit	$\leq 2,3$	%	
Rohdichte $\rho$	$\geq 1,12$	kg/dm <sup>3</sup>	
Wassergehalt	$\leq 10,0$	%	
Aschegehalt (wf)	$\leq 0,50$	%	
Heizwert (wf)	$\geq 18,0$	MJ/kg	
Heizwert (wf)	$\geq 5,0$	kWh/kg	
Stickstoffgehalt (wf)	$\leq 0,30$	%	
Schwefelgehalt (wf)	$\leq 0,04$	%	
Chlorgehalt (wf)	$\leq 0,02$	%	
Presshilfsmittel bzw. Bindemittel	$< 2,0$	%	<sup>3)</sup>

**Tabelle 2**

Anforderungen an Holzpellets bezüglich Schwermetalle und Halogene gemäss DIN 51 731 bzw. DIN plus. wf: wasserfreier Zustand.

Parameter	DIN 51 731 bzw. DIN plus	Einheit
Arsen (wf)	$< 0,8$	mg/kg
Cadmium (wf)	$< 0,5$	mg/kg
Chrom (wf)	$< 8$	mg/kg
Kupfer (wf)	$< 5$	mg/kg
Quecksilber (wf)	$< 0,05$	mg/kg
Blei (wf)	$< 10$	mg/kg
Zink (wf)	$< 100$	mg/kg
EOX (extr. org. geb. Halogene) (wf)	$< 3$	mg/kg

Damit die Qualität der Pellets auch beim Endverbraucher den Anforderungen der Verbrennungsaggregate genügt, regelt die ÖNORM M 7136 die Anforderungen an Transport und Zwischenlagerung, ergänzend regelt die ÖNORM M 7137 die Anforderungen für die Ausführung und Ausstattung von Pelletlagern beim Verbraucher bzw. Endkunden.

## 6 Transportaufwand und graue Energie

Die Herstellung von Pellets ist mit Vorleistungen an grauer Energie und Umweltbelastungen verbunden, die bei einer gesamtheitlichen Betrachtung berücksichtigt werden müssen. Die Pelletierung selbst verursacht nur einen geringen Verbrauch an elektrischer Energie in der Größenordnung von 1 bis 2 Prozent des Heizwerts der Holzpellets [2]. Dieser Zusatzenergieaufwand wird durch den höheren Wirkungsgrad der Heizanlage und den geringeren Aufwand zur Brennstofflagerung weitgehend kompensiert. Ein deutlich höherer Fremdenergieaufwand ergibt sich dagegen im Falle von feuchtem Ausgangsmaterial, welches vor der Pelletierung zuerst getrocknet werden muss. Für die Trocknung von nassem Sägemehl mit 40% bis 50% Wassergehalt wird rund 10% bis 15% des Pelletheizwerts aufgewendet. Diese Energie ist zum Grossteil im erhöhten Heizwert der trockenen Holzpellets enthalten und wird somit nicht nutzlos aufgewendet. Sofern jedoch die Trocknung mit fossiler Energie erfolgt, ist der Trocknungsaufwand als nicht-erneuerbare Energie anzurechnen, die Holzpellets sind dann zu rund 85% erneuerbar und zu 15% nichterneuerbar [2]. In grossen Sägereien steht allerdings für die Trocknung meist Rinde als Restholz zur Verfügung, so dass auch die Trocknungsenergie durch Holz aufgewendet wird. Bei der Pelletierung von trockenem Rohmaterial wie Hobelspänen ist die Trocknung im Rahmen des Fertigungsprozesses erfolgt und nicht der Pelletherstellung anzurechnen. Der Anteil grauer Energie sinkt für trockenes Rohmaterial somit auf gegen 2% des Heizwerts. Bei der Herstellung von Waldpellets ist neben dem Energieaufwand für die Trocknung auch derjenige für die Zerkleinerung (Hacken) und Feinzerkleinerung (Mahlen) zu berücksichtigen.

**Tableau 1**

Exigences requises pour granulés/pellets de bois selon ÖNORM M 7135, resp. DIN plus.

Remarques: <sup>1)</sup> Tolérance ±10%; <sup>2)</sup> une longueur jusqu'à 7,5 D doit présenter jusqu'à max. 20% en poids; <sup>3)</sup> produits chimiquement inchangés provenant de biomasses agricoles et forestières primaires (par exemple maïs moulu, amidon de maïs, farine de seigle). wf: à l'état déshydraté.

Paramètre	ÖNORM M7135 ou DIN plus	Unité	
Diamètre D	$4 \leq d < 10$	mm	<sup>1)</sup>
Longueur	$\leq 5 * d$	mm	<sup>2)</sup>
Résistance à l'abrasion	$\leq 2,3$	%	
Masse volumique apparente $\rho$	$\geq 1,12$	kg/dm <sup>3</sup>	
Teneur en eau	$\leq 10,0$	%	
Teneur en cendres (wf)	$\leq 0,50$	%	
Pouvoir calorifique (wf)	$\geq 18,0$	MJ/kg	
Pouvoir calorifique (wf)	$\geq 5,0$	kWh/kg	
Teneur en azote (wf)	$\leq 0,30$	%	
Teneur en soufre (wf)	$\leq 0,04$	%	
Teneur en chlore (wf)	$\leq 0,02$	%	
Produit auxiliaire de pressage ou liant	$< 2,0$	%	<sup>3)</sup>

**Tableau 2**

Exigences requises pour granulés/pellets de bois concernant les métaux lourds et les halogènes selon DIN 51 731 ou DIN plus. wf: à l'état déshydraté.

Paramètre	DIN 51 731 ou DIN plus	Unité
Arsenic (wf)	$< 0,8$	mg/kg
Cadmium (wf)	$< 0,5$	mg/kg
Chrome (wf)	$< 8$	mg/kg
Cuivre (wf)	$< 5$	mg/kg
Mercuré (wf)	$< 0,05$	mg/kg
Plomb (wf)	$< 10$	mg/kg
Zinc (wf)	$< 100$	mg/kg
EOX (composés organo-halogénés extractibles (wf)	$< 3$	mg/kg

Pour que la qualité des granulés/pellets soit également conforme aux exigences requises pour l'installation de chauffage auprès du consommateur final, l'ÖNORM M 7135 règle par ailleurs les exigences de transport et de stockage intermédiaire, alors que l'ÖNORM M 7137 règle parallèlement les exigences relatives à l'exécution et l'équipement de l'installation de stockage des granulés/pellets auprès du consommateur final.

## 6 Frais de transport et énergie grise

La production de granulés/pellets est liée à des prestations préliminaires nécessitant de l'énergie grise et impliquant une pollution de l'environnement, paramètres dont il faut tenir compte dans le contexte d'une approche globale. L'homogénéisation proprement dite des granulés/pellets n'occasionne qu'une faible consommation d'énergie électrique se situant dans un ordre de grandeur de 1 à 2% du pouvoir calorifique des granulés/pellets confectionnés [2]. Cette dépense d'énergie supplémentaire est en grande partie compensée par le rendement plus élevé de l'installation de chauffage et la dépense moindre consentie pour le stockage du combustible. La dépense d'énergie grise est par contre nettement plus importante s'il faut tout d'abord sécher la matière première avant de l'homogénéiser parce qu'elle était humide. Pour sécher de la sciure humide présentant une teneur en eau de 40 à 50%, on utilise de l'énergie à raison de 10 à 15% du pouvoir calorifique des granulés/pellets confectionnés. Cette énergie est en majeure partie comprise dans le pouvoir calorifique supérieur des granulés/pellets secs et n'est donc pas dépensée inutilement. Si le séchage s'effectue à l'aide d'une énergie fossile, la dépense doit s'imputer sous forme d'énergie non renouvelable, car les granulés/pellets sont renouvelables à raison de 85% environ et non renouvelables à raison de 15% [2]. Dans des grandes scieries, on utilise généralement des écorces pour procéder au séchage de la sciure, de sorte que l'énergie de séchage s'impute aussi au bois. Pour homogénéiser de la matière première sèche telle que des copeaux, le séchage s'opère dans le cadre du processus d'usinage des pièces et ne s'impute pas à la production des granulés/pellets. Pour de la matière première sèche, la quote-part d'énergie grise tombe donc à 2% environ du pouvoir calorifique. Pour produire des granulés/pellets d'origine forestière, il faut également tenir compte de l'énergie indispensable pour procéder à la fragmentation et au broyage en plus de l'énergie nécessaire pour le séchage.

Für Holzpellets beträgt der Transportaufwand rund 0,5% des Heizwerts pro 100 km Fahrstrecke, sofern Lastwagen mit einer Ladekapazität von 23 m<sup>3</sup> oder 15 t Pellets und einem Verbrauch von 35 l Diesel pro 100 km eingesetzt werden. Bei grösserer Ladekapazität sinkt der Transportanteil entsprechend. Wird dagegen nasses Sägemehl transportiert, beträgt der Transportaufwand rund 2% des Heizwerts pro 100 km, da die Ladekapazität zwar 34 m<sup>3</sup> beträgt, dies jedoch lediglich 7,5 t feuchtem Sägemehl entspricht. Dieser Faktor vier zwischen Sägemehl und Pellets zeigt den Vorteil der Pellets im Vergleich zu anderen Holzbrennstoffen und er zeigt auch auf, dass die Distanz zwischen dem Ort des Sägemehlansfalls und der Pelletproduktion wichtiger ist als die Transportdistanz der Pellets. Im Falle von nassem Sägemehl erfolgt die Pelletierung deshalb idealerweise direkt in der Sägerei. Obwohl unnötige Strassentransporte zu vermeiden sind, ist somit der Energieaufwand für die Pelletanlieferung auch im Rahmen einer überregionalen Versorgung verhältnismässig. Dabei ist insbesondere zu beachten, dass vor allem für den Betrieb von Trocknungsanlagen eine gewisse Mindestgrösse erforderlich ist, um eine hohe Energieeffizienz und vertretbare Kosten zu ermöglichen. Während sich für Stückholz und Holzschnitzel somit eine lokale Versorgung anbietet, kann bei Holzpellets auch eine Versorgung mit längeren Transportdistanzen sinnvoll sein.

## 7 Anwendungsgebiete

Wie bei handbeschickten Feuerungen wird auch bei Pelletheizungen zwischen Öfen und Kesseln unterschieden. Bei Pelletöfen erfolgt die Wärmeabgabe durch Strahlung und Konvektion (in der Regel mit Luftumwälzung) an den Raum, während in Kesseln eine Wärmeübertragung auf Wasser erfolgt. Daneben existieren auch Öfen mit nachgeschaltetem Kessel. Diese verbinden beide Merkmale und werden auch als Zentralheizungsöfen oder Wohnzimmerkessel bezeichnet. Damit ergeben sich für Pelletheizungen die nachfolgend beschriebenen Einsatzgebiete nach Bild 6.

### Pelletofen als Einzelraumheizung oder als Luftheizung im Passivhaus

Die Heizleistung von Pelletöfen beträgt 2 kW bis 12 kW. Die Öfen verfügen über einen Pelletbehälter von 30 kg bis 50 kg Inhalt, der mit Säcken befüllt wird. Als Leistungsregelung kommen der Ein/Aus-Betrieb und auch kontinuierliche Leistungsregelungen zum Einsatz. Der Einsatz von Pelletöfen bietet sich vor allem als Ergänzungsheizung an. Bei Passivhaus-Standard und einer Heizleistung bis etwa 2 kW kann die Wärmeverteilung auch mit Luft erfolgen. Unter dieser Voraussetzung kann auf ein Wassernetz verzichtet und ein Zimmerofen als Gesamtheizung eingesetzt werden. Eine Luftheizung kann aus Kostengründen attraktiv sein, da die hydraulische Wärmeverteilung entfällt. Voraussetzung ist, dass eine Luftwechselrate von maximal 0,6 h<sup>-1</sup> mit Zulufttemperaturen von 35 °C bis 40 °C ausreicht [3]. Dazu sollten die Wärmeverluste weniger als 12 W/m<sup>2</sup> betragen. Der Minergie-Standard entspricht etwa 15 W/m<sup>2</sup> und reicht somit nicht aus für eine komfortable Luftheizung, während der Passivhaus-Standard mit etwa 10 W/m<sup>2</sup> die genannte Forderung erfüllt.

### Zentralheizungsöfen

Ein Zentralheizungsofen ist eine Kombination aus Ofen und Kessel, bei dem die Wärmeabgabe teilweise an den Raum und teilweise im Kessel erfolgt. Der Leistungsbereich beträgt 1 kW bis 6 kW Wärmeabgabe an den Raum und 2 kW bis 10 kW wasserseitige Leistung. Zentralheizungsöfen verfügen über ein Zwischensilo mit einem Inhalt bis zu 100 kg, so dass in der Regel alle zwei bis drei Tage eine Befüllung notwendig ist. Solche Systeme eignen sich als Etagenöfen oder als Gesamtheizung in energieoptimierten Häusern mit Wasserzentralheizung. Für Zentralheizungsöfen wird der Einsatz eines Wärmespeichers empfohlen, was auch die Kombination mit einer Solaranlage attraktiv macht.

Pour des granulés/pellets de bois, il faut également tenir compte du coût du transport à raison d'environ 0,5% du pouvoir calorifique par 100 kilomètres de distance parcourue, chiffre valable pour un camion d'une capacité de chargement de 23 m<sup>3</sup> ou 15 tonnes de granulés/pellets consommant 35 litres de Diesel aux 100 km. Si la capacité de chargement est plus importante, le coût du transport diminue proportionnellement. Si l'on transporte par contre de la sciure humide, le coût du transport se monte environ à 2% du pouvoir calorifique aux 100 km, car si la capacité de chargement est bel et bien de 34 m<sup>3</sup>, cela ne correspond toutefois qu'à 7,5 tonnes de sciure humide. Ce facteur de quatre entre la sciure et les granulés/pellets fait ressortir l'avantage des granulés/pellets comparativement à d'autres combustibles ligneux et met également en évidence que la distance entre le lieu de production de la sciure et celui de la production des granulés/pellets est plus importante que la distance de transport des granulés/pellets. Si la sciure est humide, la solution idéale consistera donc à produire les granulés/pellets directement sur le site de la scierie. Quand bien même il convient d'éviter des transports routiers inutiles, la consommation d'énergie nécessaire pour livrer les granulés/pellets doit s'inscrire dans le cadre d'un concept d'approvisionnement suprarégional raisonnable. En l'occurrence, il faut tout spécialement veiller à ce que l'exploitation d'une installation de séchage nécessite une certaine taille minimale pour assurer une efficacité énergétique élevée et des coûts raisonnables. Alors que du bois bûché et des plaquettes conviennent pour un approvisionnement local, des granulés/pellets peuvent constituer une solution judicieuse pour assurer un approvisionnement assorti de longues distances de transport.

## 7 Domaines d'application

Comme pour les installations de chauffage à alimentation manuelle, on fait la distinction entre poêles et chaudières pour les installations de chauffage à granulés/pellets de bois. Avec des poêles, l'émission de chaleur s'opère par rayonnement et convection dans le local (en règle générale avec circulation de l'air). Avec une chaudière, la transmission de la chaleur s'opère par voie hydraulique. Il existe par ailleurs aussi des poêles avec chaudière raccordée en aval. Ces derniers allient les deux systèmes et sont également dénommés poêles de chauffage central ou chaudières d'appartement. Les installations de chauffage à granulés/pellets conviennent donc pour les domaines d'application suivants conformément à la figure 6.

### Poêle à granulés/pellets de bois comme chauffage pièce par pièce ou chauffage à air chaud dans maison passive

La puissance calorifique d'un poêle à granulés/pellets est de 2 à 12 kW. Le poêle est doté d'un réservoir à granulés/pellets de 30 à 50 kg de capacité dont le remplissage s'effectue au moyen de marchandise conditionnée en sacs. Comme système de régulation de la puissance, on utilise un commutateur en/hors ou un dispositif de régulation en continu. L'utilisation de poêles à granulés/pellets se justifie surtout comme chauffage d'appoint. Pour un standard de maison passive et une puissance calorifique jusqu'à 2 kW environ, la distribution de la chaleur peut également s'effectuer par voie aérienne. Dans ces conditions, il est possible de renoncer à un réseau hydraulique et d'utiliser un poêle d'appartement comme chauffage intégral. Une installation de chauffage à air chaud peut se révéler intéressante pour des raisons économiques, car le circuit hydraulique de distribution thermique est supprimé. En l'occurrence, la condition préalable indispensable consiste à pouvoir compter sur un taux de renouvellement d'air de max. 0,6 h<sup>-1</sup> avec température de l'air frais de 35 à 40 °C [3] et déperditions thermiques inférieures à 12 W/m<sup>2</sup>. Le standard Minergie correspond approximativement à 15 W/m<sup>2</sup> et ne suffit donc pas pour répondre aux exigences requises par une installation de chauffage à air chaud, alors que le standard de la maison passive répond pour sa part aux dites exigences avec environ 10 W/m<sup>2</sup>.

### Poêle de chauffage central

Un poêle de chauffage central combine un poêle et une chaudière, l'émission de chaleur s'opérant en partie dans le local et en partie dans la chaudière. La plage de puissance varie de 1 à 6 kW pour l'émission de chaleur dans le local et de 2 à 10 kW pour la puissance d'émission du côté du circuit hydraulique. Les poêles de chauffage central disposent d'un silo intermédiaire d'une capacité maximale de 100 kg, de sorte qu'un remplissage n'est généralement nécessaire que tous les deux ou trois jours. De pareils systèmes conviennent comme poêle d'étage ou comme chauffage général dans une maison énergétiquement optimisée avec chauffage central à eau chaude. Avec des poêles de chauffage central, il est recommandé d'utiliser un accumulateur thermique, solution également intéressante en combinaison avec une installation solaire.

### Pelletkessel für Zentralheizung

Der Platzbedarf eines Pelletkessels mit Silo entspricht etwa demjenigen einer Ölheizung mit Tankanlage. Der Leistungsbereich typischer Pelletheizungen reicht von 5 kW bis 50 kW, so dass ein Pelletkessel zur Beheizung konventioneller Ein- und Mehrfamilienhäuser geeignet ist. Die Beschickung ab Silo erfolgt mittels Schnecke direkt in die Feuerung oder noch mehr eingesetzt. Dabei handelt es sich um Anlagen, die mit automatischen Holzfeuerungen für Holzschnitzeln vergleichbar sind und die über Wärmenetze ganze Gebiete mit Wärme versorgen. Im Vergleich zu einem Betrieb mit Holzschnitzeln können jedoch das Silo sowie die Fördereinrichtungen kleiner dimensioniert und kostengünstiger ausgeführt werden.

### Chaudière à granulés/pellets de chauffage central

L'encombrement d'une chaudière à granulés/pellets avec silo de stockage correspond approximativement à celui d'une installation de chauffage à mazout avec citerne. La plage de puissance d'installations de chauffage à granulés/pellets typiques s'étend de 5 à 50 kW, de sorte qu'une chaudière à granulés/pellets convient parfaitement pour le chauffage de villas familiales et petits locaux de type conventionnel. L'alimentation à partir du silo s'effectue directement par une vis sans fin aboutissant dans le foyer ou par une soufflerie jusqu'à un silo intermédiaire placé à proximité immédiate de la chaudière. Etant donné leur plus faible encombrement et leur plus faible coût d'exploitation comparativement à des plaquettes de bois, on utilise aussi désormais de plus en plus de grosses installations de chauffage à granulés/pellets de 500 kW de puissance ou plus. Il s'agit en l'occurrence d'installations comparables à des installations de chauffage à plaquettes de bois à alimentation automatique, mais dont le silo de stockage et le dispositif de transport des granulés/pellets sont plus modestement dimensionnés et plus économiquement conçus.

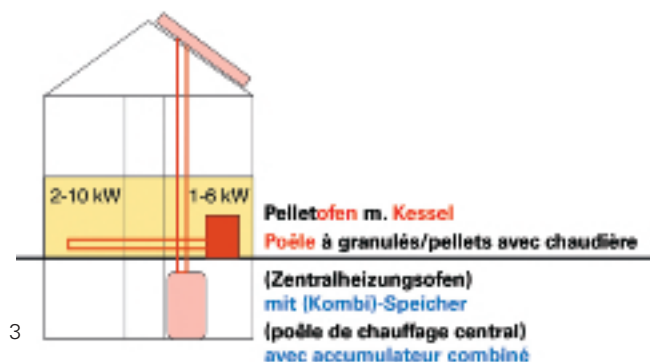
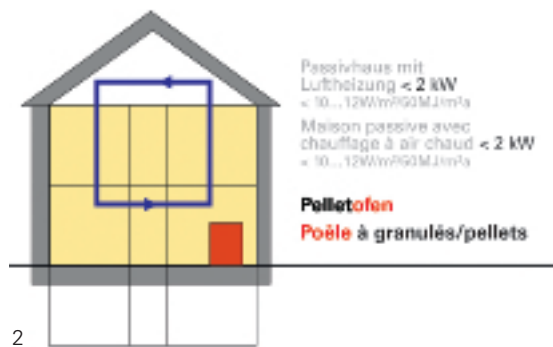
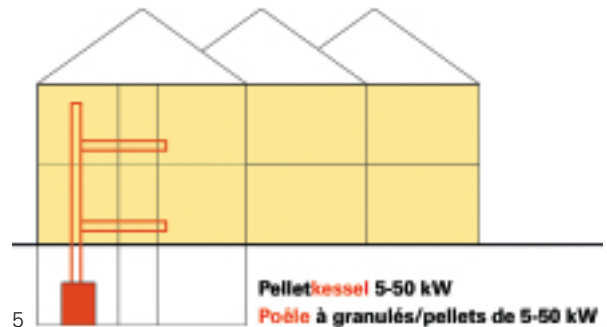
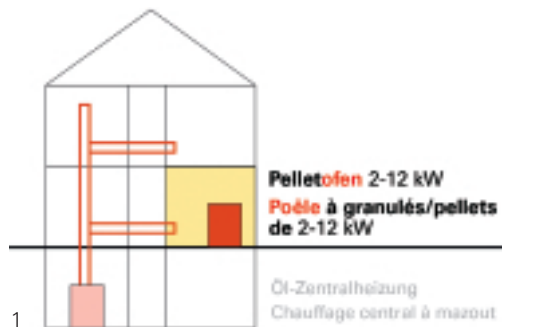


Bild 6 / figure 6

Einsatzgebiete von Pelletheizungen:

- 1: Pelletofen als Einzelraumheizung in Gebäude mit konventioneller Zentralheizung.
- 2: Pelletofen als Gesamtheizung in Passivhaus mit Luftzentralheizung.
- 3: Pelletofen mit nachgeschaltetem Kessel als Etagenheizung, hier in Kombination mit einem Wärmespeicher und einer thermischen Solaranlage.
- 4: Pelletofen mit nachgeschaltetem Kessel als Gesamtheizung im Minergiehaus mit Wasserzentralheizung.
- 5: Pelletkessel als Zentralheizung in Ein- oder Mehrfamilienhaus mit typischen Leistungen bis zu rund 50 kW. Daneben kommen auch automatische Heizanlagen für Holzpellets mit Leistungen bis zu über 500 kW zum Einsatz, welche für grössere Gebäude oder kleine Wärmeverbände geeignet sind.

Domaines d'application pour installations de chauffage à granulés/pellets

- 1: Poêle à granulés/pellets comme chauffage pièce par pièce dans un bâtiment à chauffage central conventionnel
- 2: Poêle à granulés/pellets comme chauffage général dans une maison passive avec chauffage central à air chaud
- 3: Poêle à granulés/pellets avec chaudière raccordée en aval comme chauffage d'étage, ici en combinaison avec un accumulateur thermique et une installation thermique solaire
- 4: Poêle à granulés/pellets avec chaudière raccordée en aval comme chauffage général dans une maison Minergie avec chauffage central à circuit hydraulique
- 5: Chaudière à granulés/pellets comme chauffage central dans une villa familiale ou un petit local, puissance typique maximale env. 50 kW. Parallèlement, il existe également des installations de chauffage à granulés/pellets à alimentation automatique d'une puissance maximale de 500 kW et plus pour de gros bâtiments ou de petites associations de chauffage à distance.

## 8 Pellethandling und -lagerung

Zur Lagerung von Holzpellets kommen meist Pelletsilos (Bild 7) zum Einsatz, die unter Einhaltung der Brandschutzvorschriften in einem Nebenraum installiert werden. Um zu verhindern, dass die Pellets beim Einblasen auf die Silowand prallen und dadurch zerfallen oder die Silowand beschädigen, werden Prallmatten aus Gummi eingesetzt (Bild 8). Als Alternative zu festen Silos kommen auch Gewebe- oder Sacksilos aus atmungsaktivem Stoff zum Einsatz, die in ein Traggstell eingehängt werden und bis zu 3 Tonnen Pellets aufnehmen (Bild 9). Im Weiteren werden auch erdverlegte Pellettanks angeboten, bei denen der Raumbedarf im Gebäude entfällt.

Damit bei der Silobefüllung und -austragung möglichst wenig Feinanteil entsteht, sind die Pellets schonend und auf kurzen Wegen zu transportieren. Zur Siloaustragung kommen Transporteinrichtungen mit Förderschnecken sowie pneumatische Förderanlagen zum Einsatz (Bild 10). Ein Pellettransport mit Schnecken setzt eine kurze Verbindung mit geringer Höhendifferenz zwischen Silo und Heizraum voraus, während mittels Luftförderung nahezu beliebige Anordnungen über Distanzen bis zu 20 m möglich sind und auch Stockwerke überwunden werden können.

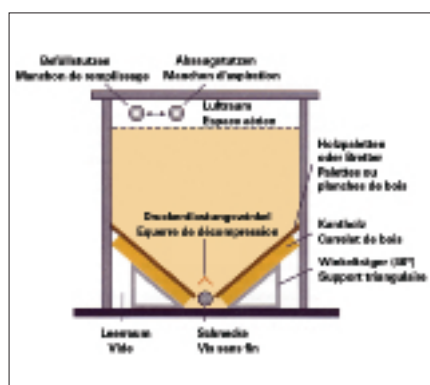


Bild 7 / figure 7

Pelletsilo mit Einblas- und Absaugstutzen und Schrägboden (40° bis 45°) und Austragungs-schnecke [4].

Silo à granulés/pellets avec manchon d'aspiration, manchon de remplissage, fond conique inversé avec angle de 40 à 45° et vis sans fin de décharge [4].

## 8 Handling et stockage des granulés/pellets de bois

Pour stocker les granulés/pellets, on utilise généralement des silos (figure 7) qui s'installent dans un local annexe conformément aux directives de protection contre le feu en vigueur. Pour éviter que des granulés/pellets ricochent sur la paroi du silo lors de l'insufflation et endommagent celle-ci ou tombent à côté du silo et se désagrègent, on utilise des nattes de protection en caoutchouc (figure 8). En variante à des silos fixes, on peut aussi utiliser des silos constitués par des sacs ou emballages en matière textile capable de respirer activement, les sacs ou emballages étant en l'occurrence suspendus à un châssis capable de supporter jusqu'à 3 tonnes de granulés/pellets (figure 9, silo en matière textile pour granulés/pellets) [4]. Le marché propose également des réservoirs enterrés, ce qui évite tout gaspillage de place à l'intérieur du bâtiment.

Pour remplir et vider un silo en faisant le moins de poussières possible, il convient de transporter et manipuler les granulés/pellets avec ménagement et sur de très courtes distances seulement. Pour décharger le silo, on utilise des équipements à vis sans fin et/ou de convoyage pneumatique (figure 10). Un transport par vis sans fin présuppose une faible distance et une faible différence de hauteur entre le silo et le foyer, alors qu'un convoyage pneumatique permet de franchir des distances jusqu'à 20 mètres et même de franchir un étage.



Bild 8 / figure 8

Einblasstutzen für Pellets am Gebäude. Zusätzlich ist im Silo eine Prallmatte aus Gummi vorzusehen, um zu verhindern, dass Pellets an die Silowand aufprallen und so zerfallen sowie die Wand beschädigen.

Manchon pour insufflation de granulés/pellets dans un silo intérieur. Une natte de protection en caoutchouc est en outre prévue à l'intérieur du silo pour éviter que des granulés/pellets rebondissent sur sa paroi et l'endommagent.



Bild 9 / figure 9

Gewebesilo für Holzpellets [4].

Silo à granulés/pellets en matière textile [4].



Bild 10 / figure 10

Austragungssysteme für Pelletsilo: Schnecke, Luftförderung und Kombination beider Systeme (Hager).

Systèmes de déchargement pour silo à granulés/pellets: vis sans fin, convoyage pneumatique et combinaison des deux systèmes (Hager).



### Hinweise zu Pelletverbrauch und Silodimensionierung

Für eine monovalente Heizung eines Einfamilienhauses mit Holzpellets gelten folgende Richtwerte:

- Lagermenge an Holzpellets = 0,7- bis 1,5-facher Jahresbedarf
- Pelletverbrauch in m<sup>3</sup> pro Jahr = 0,6 x Wärmeleistungsbedarf in kW
- Lagervolumen = 0,9 m<sup>3</sup> bis 1 m<sup>3</sup> pro kW Wärmeleistungsbedarf
- Mindestgrösse des Pelletsilos = 6 m<sup>3</sup> (entspricht rund 4 t) mit einer Mindestfläche von 2 m auf 3 m
- Das Nutzvolumen eines Raums mit Schrägboden beträgt rund zwei Drittel des Gesamtvolumens
- Da die Lieferkapazität eines Lastwagens rund 25 m<sup>3</sup> beträgt, ist bei Überschreitung der 10-m<sup>3</sup>-Grenze ein Silo von 30 m<sup>3</sup> ideal.

### Remarques relatives à la consommation de granulés/pellets et aux dimensions du silo

Les valeurs indicatives suivantes font foi pour le chauffage monovalent d'une villa familiale avec des granulés/pellets:

- Stock de granulés/pellets = 0,7 à 1,5 fois les besoins annuels
- Consommation de granulés/pellets en m<sup>3</sup> par année = 0,6 x puissance calorifique nécessaire en kW
- Volume de stockage = 0,9 m<sup>3</sup> à 1 m<sup>3</sup> par kW de puissance calorifique nécessaire
- Grandeur minimale du silo = 6 m<sup>3</sup> (soit env. 4 tonnes) avec surface minimale de 2 x 3 m
- Le volume utile d'un local à fond incliné correspond environ à deux tiers de son volume total
- Comme la capacité de livraison d'un camion est d'environ 25 m<sup>3</sup>, un silo de 30 m<sup>3</sup> est idéal si l'on dépasse la limite de 10 m<sup>3</sup>.

### Hinweise zur Pelletlagerung

- Auf geprüfte Pelletqualität mit Einhaltung der Normen achten.
- Verhindern von Feuchtigkeitsaufnahme, da dies zu einem Aufquellen und Zerfallen der Pellets führt. Die Sprengkräfte können bis zur Zerstörung von Silos führen. Als Massnahmen bei Silos dienen doppelte Böden, Vorwände und feuchtigkeitshemmende Anstriche, keine Kaltwasserleitungen und keine feuchte Luft ins kalte Pelletlager führen.
- Bei der Erstbefüllung müssen das Silo vollständig trocken und die Bauaustrocknung abgeschlossen sein, da sonst eine erhöhte Feuchtigkeitsaufnahme möglich ist.
- Verhindern des Zerfallens durch mechanische Belastung: schonender Transport in Schnecken und in Transportluft. Bei pneumatischem Transport Aufprallen dämpfen, auch um Erosion an Aufprallwand zu vermeiden (Bild 8).
- Verhindern von biologischem Abbau durch Verhinderung von unzulässig langer Lagerdauer der Pellets sowie von Totzonen im Silo. Dazu werden Schrägböden mit einer Neigung von mindestens 35° oder sogar 45° installiert (Bild 7).
- Lärmemissionen durch Pellettransport begrenzen, bei pneumatischer Fördereinrichtung durch Zwischensilo bei Pelletfeuerung, das durch Zeitschaltuhr während zwei kurzen Phasen tagsüber befüllt werden kann.
- Gewährleistung hoher Zuverlässigkeit und Störungsarmut bei Pellettransport durch Vermeiden von Hindernissen (enge Winkel, Verjüngungen), Totzonen und Feuchtigkeitseintritt.
- Bei der Pelletlagerung sind die feuerpolizeilichen Vorschriften einzuhalten.
- Sicherheit gegen Rückbrand und Austreten von Gasen. Bei Pelletöfen im Wohnbereich muss gewährleistet werden, dass Küchenabzug oder kontrollierte Lüftung nicht zu einem unzulässig hohen Unterdruck im Aufstellungsraum führen (nach Feuerungsverordnung in Deutschland maximal 4 Pa). Dazu wird die Feuerung mit Unterdrucküberwachung ausgerüstet oder eine elektrische Sperrung des gleichzeitigen Betriebs von Ofen und Lüftung eingerichtet.
- Bei Pelletsilos ist auf Staubdichtheit zu achten, damit der Staub beim Befüllen nur durch den Entlüftungsstutzen entweicht. Zur Befüllung kommt eine Luftrückführung in den Lastwagen oder das Ausblasen über einen Filtersack in Frage.
- Für Pelletöfen wird ausschliesslich die Sacklagerung empfohlen, da dadurch ein geringer Staubanteil beim Beschieken und für die Verbrennung sichergestellt werden kann. Bei der Sacklagerung ist zu beachten, dass Polyethylen-Säcke die Feuchtigkeitsaufnahme verhindern, während in Papiersäcken eine Feuchtigkeitsaufnahme erfolgen kann.

### Remarques relatives au stockage des granulés/pellets

- Veiller au strict respect des normes en vigueur concernant la qualité des granulés/pellets.
- Eviter toute absorption d'humidité, celle-ci pouvant entraîner un gonflement et une désagrégation des granulés/pellets. Le pouvoir explosif des granulés/pellets peut occasionner des dommages au silo. A titre préventif, il est possible de prévoir un double fond, un doublage de la paroi ou l'application d'une peinture intérieure hydrofuge. Ne pas tirer de conduites d'eau froide ou d'air humide dans le silo.
- Lors du premier remplissage, on veillera à ce que le silo soit parfaitement sec, c'est-à-dire à ce que son séchage soit complètement terminé, sans quoi une absorption d'humidité est possible.
- Eviter toute désagrégation des granulés/pellets par des sollicitations mécaniques: transporter avec ménagement par vis sans fin ou système pneumatique. En cas de transport pneumatique, amortir les impacts, y compris pour éviter une érosion de la paroi du silo (figure 8).
- Empêcher une biodégradation des granulés/pellets en évitant un stockage prolongé ou dans des zones mortes. Prévoir un fond à pans inclinés avec pente minimale de 35 ou même 45° (figure 7).
- Limiter les nuisances acoustiques provoquées par le transport des granulés/pellets moyennant un silo intermédiaire et un système de transport pneumatique; remplissage diurne du silo pendant deux brèves périodes avec asservissement à une horloge de commande.
- Garantie d'une haute fiabilité de transport des granulés/pellets par suppression des obstacles (angles serrés, rétrécissements, zones mortes et infiltrations d'humidité).
- Respecter les directives de la police du feu pour le stockage des granulés/pellets.
- Sécurité contre les retours de flamme et le dégagement de gaz. Avec des poêles d'appartement, on veillera à ce que la hotte d'aspiration de la cuisine ou une ventilation contrôlée n'engendre pas une dépression exagérément élevée dans le local du poêle (au maximum 4 Pa en Allemagne conformément à la législation locale en vigueur). A cet effet, l'installation sera équipée d'un dispositif de contrôle de dépression ou d'un système d'arrêt électrique du poêle et de la ventilation.
- Avec des silos à granulés/pellets, il convient de veiller à la densité du poussier pour éviter qu'il s'échappe par la tubulure d'évent pendant le remplissage du silo. Pour remplir le silo, utiliser une rétroprise d'air sur le camion ou à une installation d'insufflation avec sac de filtration intermédiaire.
- Avec des poêles à granulés/pellets, il est recommandé d'opter exclusivement pour un stockage en sacs afin de garantir une faible proportion de poussière lors du chargement et de la combustion. En l'occurrence, il convient de relever que des sacs en polyéthylène empêchent toute absorption d'humidité, alors que des sacs en papier sont susceptibles d'absorber cette même humidité.

## 9 Verbrennung von Holzpellets

Holz oder Holzpellets werden bei der Erwärmung in gasförmige Stoffe und den als Holzkohle zurückbleibenden Feststoff zersetzt. Da rund 85 Gew.-% des Holzes bei der Erwärmung in Gase umgewandelt werden, muss der vollständige Ausbrand der freigesetzten Gase sicher gewährleistet sein. Dies erfordert eine grosse Brennkammer und eine hohe Verbrennungstemperatur von rund 850 °C sowie eine vollständige Vermischung der Gase mit der Verbrennungsluft. Zur Gewährleistung einer hohen Temperatur wird der Brennraum schamottiert und wärmegeämmt. Zur Vermischung von Luft und brennbaren Gasen erfolgt meist eine Eindüsung von Sekundärluft oberhalb des Brennstoffbetts in einer Zone guter Durchmischung. Da Holzpellets dank des geringen Wassergehalts leicht zu entzünden und dank der homogenen Eigenschaften gut zu dosieren sind, können die Bedingungen für einen vollständigen Ausbrand in Pelletfeuerungen sicher eingehalten werden. Die gute Dosierbarkeit erlaubt zudem eine Verbrennung bei tiefem Luftüberschuss, was Voraussetzung für einen hohen Wirkungsgrad ist.

Bei geeigneter Konstruktion und korrektem Betrieb weisen Pelletheizungen somit tiefe Emissionen an Schadstoffen aus unvollständiger Verbrennung (Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffe und unverbrannter Kohlenstoff) auf. Bei vollständiger Verbrennung sind als Schadstoffe vor allem die Stickoxide (NO<sub>x</sub>) und die Staubemissionen (PM10 = Feinstaub kleiner als 10 Mikrometer) hauptverantwortlich für die Umweltbelastung. Die Stickoxide werden vorwiegend aus dem Holzstickstoff gebildet, während die Feinstäube aus Mineralstoffen und Russ bestehen. Beide Schadstoffe sind bei Pelletheizungen höher als bei Öl- oder Gasfeuerungen, jedoch tiefer als bei Feuerungen mit Stückholz oder Holzschnitteln. Die Emission von Schwermetallen oder weiteren Verunreinigungen im Brennstoff kann bei Pellets vermieden werden durch eine Qualitätssicherung bei der Herstellung und die Einhaltung der Pelletnormen. Bei korrektem Betrieb weisen Pelletfeuerungen damit typische Emissions- und Wirkungsgrade nach Tabelle 3 auf.

Tabelle 3

Typische Emissionswerte und Wirkungsgrade moderner Pelletfeuerungen.

$\eta_F$  = feuerungstechnischer Wirkungsgrad,  $\eta_K$  = Kesselwirkungsgrad

	CO	Staub	NO <sub>x</sub>	$\eta_F$	$\eta_K$
	[mg/m <sup>3</sup> ] bei 13 Vol.-% O <sub>2</sub>			[%]	[%]
Pelletkessel	20–200	10–30	80–120	85–92	> 80
Pelletöfen	100–500	10–50	80–100	80–92	–

## 10 Typen von Pelletheizungen

Zur Beschickung von Pelletheizungen dient ein Fallrohr oder eine Schnecke. Zur Verbrennung kommt eine Vielzahl von Feuerungstypen zum Einsatz, die wie folgt unterschieden werden können:

### Beschickung

- von oben durch Fallrohr
- von oben durch Schnecke
- von unten mit Schnecke (Unterschub)

### Verbrennung

- Schalenbrenner oder Brennteller
- Retorte (Mulde)
- Rost (vor allem für grössere Leistungen).

Um einen vollautomatischen Betrieb zu ermöglichen, verfügen Pelletheizungen meist über eine Zündung mittels Heissluftgebläse (Bild 11). Damit ist ein bedarfsgesteuertes Anfahren und Abschalten der Feuerung möglich, so dass ein manuelles Anfeuern wie bei handbeschickten Feuerungen entfällt. Zur Verhinderung von Rückbrand werden rückbrandsichere Zuführungen, Zellradschleusen, Unterdrucküberwachungen oder thermostatisch kontrollierte Löscheinrichtungen eingesetzt. Die Verbrennung der Pellets erfolgt unter Zufuhr von Verbrennungsluft durch Schale, Retorte oder Rost. In den meisten Fällen wird zusätzlich

## 9 Combustion des granulés/pellets de bois

En brûlant, le bois ou les granulés/pellets se décomposent pour engendrer des matières gazeuses et une matière solide résiduelle, à savoir le charbon de bois. Comme environ 85% du poids du bois se transforme en gaz lors de la combustion, il convient de garantir une combustion intégrale des gaz libérés. Cette combustion intégrale nécessite une grande chambre de combustion, une température de combustion élevée de l'ordre de 850 °C ainsi qu'un mélange complet des gaz et de l'air comburant. Pour garantir une température élevée, le foyer est doublé et isolé par des briques réfractaires. Pour mélanger l'air et les gaz combustibles, on prévoit généralement une injection d'air secondaire au-dessus du lit de combustible dans une zone de bonne miscibilité. Comme les granulés/pellets s'enflamment facilement grâce à leur faible teneur en eau et qu'ils peuvent aisément se doser grâce à leur homogénéité, il est relativement simple de respecter les conditions indispensables à une combustion intégrale dans un poêle ou une chaudière à granulés/pellets. La bonne aptitude au dosage des granulés/pellets permet en outre de garantir une bonne combustion même avec un faible excédent d'air, condition préalable indispensable pour s'assurer d'un rendement élevé.

Moyennant une architecture judicieuse et une exploitation correcte, les installations de chauffage à granulés/pellets présentent de très faibles émissions de substances polluantes en cas de combustion incomplète (monoxyde de carbone, hydrocarbures et carbone non brûlé). En cas de combustion complète, les principales substances polluantes émises et nocives pour l'environnement sont les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) et les émissions de poussier (PM10 = poussier fin inférieur à 10 micromètres). Les oxydes d'azote se forment principalement à partir de l'azote du bois, alors que le poussier fin provient de matières minérales et de la suie. Avec des installations de chauffage à granulés/pellets, ces deux substances polluantes sont présentes à des taux plus élevés qu'avec des installations de chauffage au mazout ou au gaz, mais à des taux moindres qu'avec des installations de chauffage à bois bûché ou à plaquettes de bois. Avec des granulés/pellets, il est possible d'éviter l'émission de métaux lourds ou autres impuretés moyennant une garantie de leur qualité au niveau de la production et du respect des normes. En cas d'exploitation correcte, les installations de chauffage à granulés/pellets présentent donc des taux typiques d'émission et de rendement conformément au tableau 3.

Tableau 3

Valeurs d'émission et de rendement typiques pour des installations de chauffage modernes à granulés/pellets

$\eta_F$  = rendement technique de combustion,  $\eta_K$  = rendement de la chaudière.

	CO	Poussière	NO <sub>x</sub>	$\eta_F$	$\eta_K$
	[mg/m <sup>3</sup> ] pour 13% vol. O <sub>2</sub>			[%]	[%]
Chaudières à granulés/pellets	20–200	10–30	80–120	85–92	> 80
Poêles à granulés/pellets	100–500	10–50	80–100	80–92	–

## 10 Types de poêles et chaudières à granulés/pellets

Pour alimenter une installation de chauffage à granulés/pellets, on utilise un conduit de descente ou une vis sans fin. En ce qui concerne la combustion proprement dite, plusieurs solutions peuvent entrer en ligne de compte. On mentionnera en l'occurrence les variantes suivantes:

### Alimentation

- Alimentation par le haut au moyen d'un conduit de descente
- Alimentation par le haut au moyen d'une vis sans fin
- Alimentation par le bas au moyen d'une vis sans fin (propulsion inférieure)

### Combustion

- Brûleur à coquille ou tasse de combustion
- Cornue (auge)
- Grille (surtout pour de grandes puissances).

Pour permettre un service entièrement automatique, les installations de chauffage à granulés/pellets disposent d'un dispositif d'allumage à air surchauffé (figure 11). Il est ainsi possible de faire démarrer et de stopper la combustion en fonction des besoins, l'allumage manuel et l'alimentation manuelle étant dès lors supprimés. Pour éviter des retours de flamme, on utilise des conduits appropriés, des sas à roue cellulaire, des dispositifs de contrôle de dépression ou des systèmes d'extinction à contrôle thermostatique. La combustion des granulés/pellets s'effectue moyennant un apport d'air comburant par une co-

Sekundärluft oberhalb des Brennstoffbetts zugeführt. Die Brennschalen verfügen über Vorrichtungen zur Entaschung und Schlackeaustragung. Die einfachsten Systeme fangen die Asche in der Brennschale auf und müssen periodisch geleert werden. Daneben existieren manuell betätigte Schieber, automatische Klapp- oder Schieberoste bis zu automatischer Schalenumdrehung sowie rotierenden Kratzeinrichtungen.

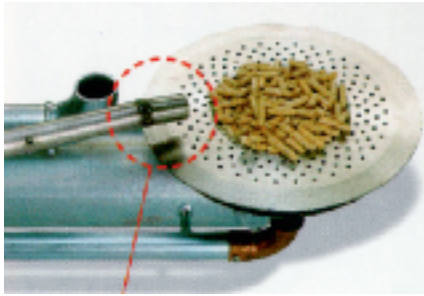


Bild 11 / figure 11  
Automatische Zündung mit Heissluft (Oek-Ofen).

Allumage automatique à air surchauffé (Oek-Ofen).



Bild 12 / figure 12  
Pelletofen mit Warmluftabgabe und integriertem Pelletbehälter, 2,5 bis 10 kW. Verbrennung in einer Retorte mit Beschickung durch Fallrohr (Wodtke).



Poêle à granulés/pellets à air chaud avec réservoir intégré, 2,5 à 10 kW. Combustion dans une cornue alimentée par un conduit de descente (Wodtke).

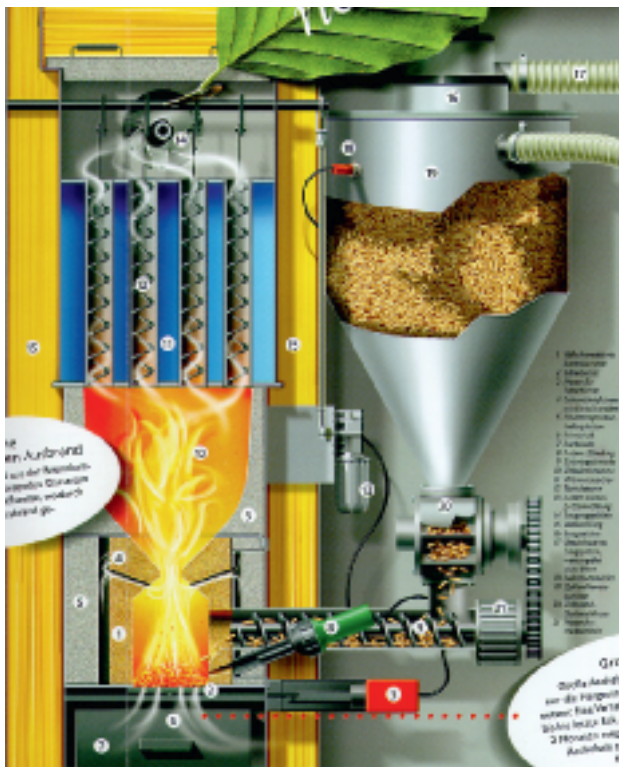


Bild 13 / figure 13

Pelletkessel mit integriertem Zwischensilo, das pneumatisch ab Silo beschickt wird. Beschickung über Schnecke von oben auf eine Retorte bzw. Rost (Hargassner).

1 Schamottierte Brennkammer, 2 Schieberrost, 3 Motor für Rostantrieb, 4 Sekundärluft in Einlasskanälen, 5 Hochtemperaturisolerplatten, 6 Primärluft, 7 Aschelade, 8 Automatische Zündung, 9 Einbringschnecke, 10 Zirkulationszone, 11 Wärmeübertrager, 12 Turbulatoren, 13 Reinigungshebel, 14 Saugzuggebläse, 15 Isolierung, 16 Sauggebläse für Pelletförderung, 17 Geschlossenes Saugsystem für Pellets, 18 Füllstandsmelder, 19 Zyklon-Vorratsbehälter, 20 Zellrad-Dosierschleuse.

Chaudière à granulés/pellets avec silo intermédiaire intégré alimenté pneumatiquement à partir d'un silo principal. Alimentation par vis sans fin et par le haut sur une cornue ou une grille (Hargassner).

1 Foyer doublé de briques réfractaires, 2 Grille coulissante, 3 Moteur d'entraînement de la grille, 4 Air secondaire dans gaines d'admission, 5 Panneaux isolants pour hautes températures, 6 Air primaire, 7 Cendrier, 8 Allumage automatique, 9 Vis sans fin d'alimentation, 10 Zone de circulation, 11 Caloporteur, 12 Turbulateurs, 13 Levier de nettoyage, 14 Ventilateur de tirage par aspiration, 15 Isolation, 16 Ventilateur aspirant pour transport des granulés/pellets, 17 Système d'aspiration fermé pour granulés/pellets, 18 Avertisseur de plein, 19 Réservoir à cyclone, 20 Sas de dosage à roue cellulaire.



Bild 14 / figure 14

Pelletkessel mit Beschickung über Fallrohr auf Rost mit automatischer Rostreinigung (Fischer).

Chaudière à granulés/pellets avec alimentation par conduit de descente sur grille à nettoyage automatique (Fischer).



Einfachere Pelletheizungen verfügen zum Teil über eine einzige Luftzuführung, und der Betrieb erfolgt mit einer Leistungssteuerung. Daneben sind auch Feuerungen erhältlich, die über getrennte Primär- und Sekundärluft verfügen und mit einer Leistungs- und Verbrennungsregelung ausgerüstet sind. Da die Verbrennung der Holzpellets bei korrekter Einstellung unproblematisch ist, kann auch in einfacheren Feuerungen ein guter Ausbrand erzielt werden. Im Praxisbetrieb wird dennoch der Einsatz einer Leistungs- und Verbrennungsregelung empfohlen, da damit auch bei schwankendem Leistungsbedarf sowie bei variablen Pelleteigenschaften zum Beispiel infolge von Abrieb eine optimale Verbrennung sicher gewährleistet werden kann. Eine Verbrennungsregelung setzt die Messung mindestens einer geeigneten Kenngröße voraus. In Frage kommen der Luftüberschuss  $\lambda$ , der CO-Gehalt oder die Verbrennungstemperatur. Bild 12 bis Bild 16 zeigen Beispiele moderner Pelletheizungen, weitere Beispiele finden sich in der aktuellen Marktübersicht in [5].

Les installations de chauffage à granulés/pellets les plus simples disposent parfois d'une seule arrivée d'air et l'exploitation s'effectue par commande de la puissance. Il existe également des installations qui disposent de circuits séparés pour l'air primaire et l'air secondaire ainsi que d'une régulation de la puissance et de la combustion. Comme la combustion des granulés/pellets ne présente aucun problème si le réglage est correct, celle-ci est également possible dans des installations relativement simples. Dans la pratique, il est toutefois recommandé d'utiliser un dispositif de régulation de la puissance et de la combustion, de manière à garantir une combustion optimale même si les besoins calorifiques varient ou si les caractéristiques des granulés/pellets fluctuent pour cause d'abrasion par exemple. Une régulation de la combustion présuppose au moins la mesure d'une valeur caractéristique appropriée. Peuvent en l'occurrence entrer en ligne de compte l'excédent d'air  $\lambda$ , la teneur en CO ou la température de combustion. Les figures 12 à 16 présentent des exemples d'installations de chauffage modernes à granulés/pellets. D'autres exemples sont par ailleurs présentés dans le cadre du programme commercial général [5].

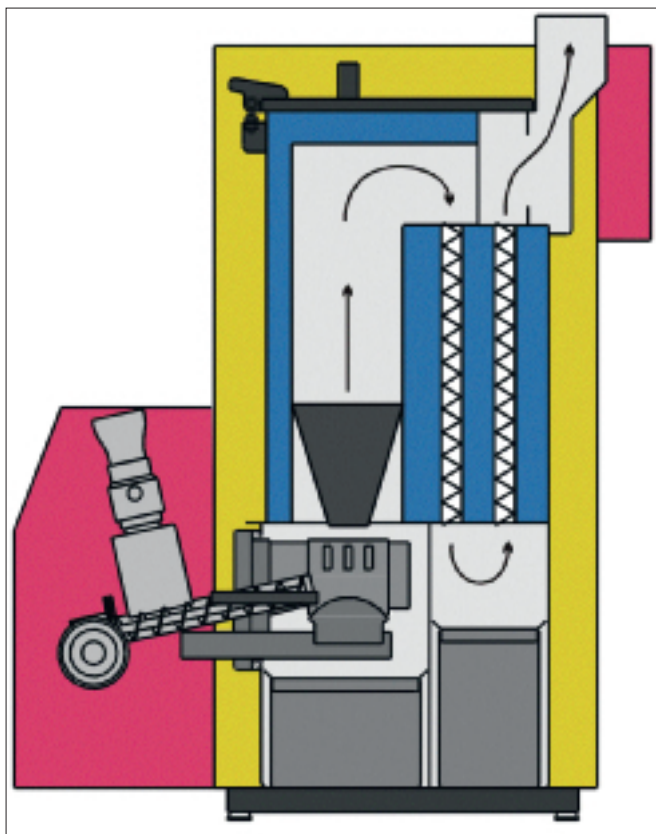


Bild 15 / figure 15

Pelletkessel mit Schneckenbeschickung auf halb-kugelförmigen Rost mit Abreinigung durch periodische Rostdrehung (Liebi LNC).

Chaudière à granulés/pellets à vis sans fin d'alimentation sur grille semi-sphérique, nettoyage périodique de la grille par rotation (Liebi LNC).

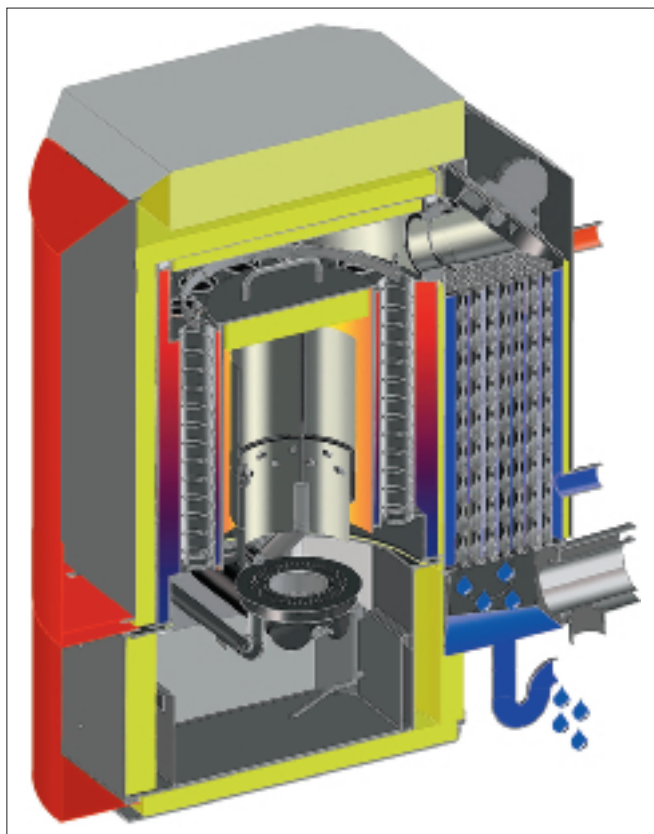


Bild 16 / figure 16

Pelletkessel mit Unterschubbeschickung und Verbrennung in Brennschale (Oekofen). Dieser Kessel ist als Brennwertkessel mit teilweiser Rückgewinnung der Kondensationswärme ausgeführt, wozu eine Rücklauftemperatur des Heizungswassers von unter 35 °C notwendig ist.

Chaudière à granulés/pellets avec alimentation à propulsion inférieure et combustion dans une coquille (Oekofen). Cette chaudière est une chaudière à condensation à récupération partielle de la chaleur de condensation, une température de retour de l'eau du circuit de chauffage inférieure à 35 °C étant en l'occurrence indispensable.

## 11 Kosten

Die Kosten für einen Pelletofen betragen rund Fr. 5000.– bis 15000.– (ohne Kamin). Für einen Pelletkessel mit Brennstoffsilos ist mit Fr. 20000.– bis 25000.– (ohne Wärmeverteilung und Kamin) zu rechnen. Letzteres entspricht etwa den Kosten einer Stückholzzentralheizung mit Speicher und ist rund 20% teurer als eine Ölheizung mit Tankanlage. Der Raumbedarf ist vergleichbar oder geringfügig grösser als für eine Ölheizung.

Die Brennstoffkosten sind wie bei Heizöl abhängig von der Liefermenge. Bei Holzpellets ist zudem zu unterscheiden zwischen Anlieferung loser Pellets, welche für Zentralheizungen mittels pneumatischer Förderung in ein Silo eingeblasen werden, sowie dem Einsatz von Holzpellets in Säcken, welche meist für die Versorgung von Pelletöfen ver-

## 11 Coûts

Le prix d'un poêle à granulés/pellets est de l'ordre de Fr. 5000.– à Fr. 15000.– (sans le conduit de fumée). Pour une chaudière à granulés/pellets avec silo à combustible, il faut compter un investissement de l'ordre de Fr. 20000.– à Fr. 25000.–, ce qui correspond approximativement au prix d'une installation de chauffage à bois bûché avec accumulateur, respectivement à 20% de plus que le prix d'une installation de chauffage au mazout avec citerne. L'encombrement de l'installation est comparable ou légèrement supérieur à celui d'une installation de chauffage au mazout.

Le coût du combustible dépend de la quantité livrée, comme pour le mazout. Avec des granulés/pellets, il faut en outre faire la différence entre de la marchandise en vrac stockée dans un silo pour une installation de chauffage central alimentée par transport pneumatique et de



wendet werden. Da der Markt und die Versorgungskapazitäten für Holzpellets in den vergangenen Jahren erst aufgebaut wurden, ist es im Jahr 2006 zu einer vorübergehenden Verknappung mit einem kurzfristigen Anstieg der Pelletpreise gekommen. Inzwischen wurden die Versorgungskapazitäten ausgebaut, so dass sich der Pelletmarkt stabilisiert hat. Derzeit kosten Holzpellets für Zentralheizungen rund 7 Rappen pro Kilowattstunde, was einem Kostenvorteil von rund 15% gegenüber Heizöl zu rund 8 Rappen pro Kilowattstunde entspricht (Tabelle 4). Bei Holzpellets ist allerdings darauf zu achten, dass eine Anlieferung im Sommer eingeplant wird, da im Winterhalbjahr höhere Kosten verrechnet werden, um die Lager- und Produktionskapazitäten optimal auszulasten. Für die Anlieferung von Pellets in Säcken ist mit höheren Preisen zu rechnen (Tabelle 5). Die Sackanlieferung kommt allerdings nur für Pelletöfen in Frage, welche tiefere Investitionskosten als eine Zentralheizung aufweisen.

Im Vergleich zu einer Ölheizung entsteht für den Betreiber einer Pelletheizung ein Mehraufwand für die Reinigung und Ascheentsorgung. Demgegenüber sind die Kosten für Wartung und Unterhalt tiefer, da die Tankrevision und die Feuerungskontrolle entfallen. Insgesamt ist somit eine Pelletheizung derzeit auf ähnlichem Preisniveau wie eine Ölheizung.

Tabelle 4

Vergleich der Brennstoffpreise für Zentralheizungen mit Heizöl und Holzpellets. Die Angaben gelten für per Lastwagen angeliefertes Heizöl franko Tank und für per Lastwagen angelieferte und pneumatisch eingeblasene Holzpellets franko Silo, Stand Juni 2007 inklusive Mehrwertsteuer. Im Winter sind die Preise für Holzpellets je nach Lieferant zwischen Fr. 20.– bis 80.– pro Tonne höher als angegeben, weshalb eine Anlieferung im Sommer empfohlen wird.

Brennstoff	Anlieferung	Liefermenge	Preis pro Liefereinheit	Preis in Rp./kWh
Lose Holzpellets	Per Lastwagen pneumatisch eingeblasen	ab 9 t 4 bis 6 t	Fr. 345.– pro Tonne	6,9
			Fr. 360.– pro Tonne	7,2
Heizöl	Per Lastwagen franko Tank	10 000 l 1000 l	Fr. 80.– pro 100 l	8,0
			Fr. 85.– pro 100 l	8,5

Tabelle 5

Brennstoffpreise für Holzpellets in Säcken für den Einsatz in Holzöfen.

Form	Anlieferung	Liefermenge	Preis pro Liefereinheit	Preis in Rp./kWh
Holzpellets in Säcken à 15 kg	Selbstabholung	15 kg	Fr. 5.90 bis 760 pro Sack oder Fr. 400.– bis 500.– pro Tonne	7,9 bis 10,2
Holzpellets in Säcken à 15 kg	Per Lastwagen auf Paletten zu 66 Säcken	2 t	Fr. 505.– pro Tonne	10,0
		1 t	Fr. 515.– pro Tonne	10,3

## 12 Anwendungsbeispiel: Zweifamilienhaus in Inwil mit Pelletheizung

Das 1999 fertiggestellte Zweifamilienhaus in Inwil wurde nach baubiologischen Kriterien gebaut. Eine hinterlüftete Fassade aus sägeroher Douglasie aus der Region prägt das Erscheinungsbild. Das Haus mit einer Wohnfläche von 260 m<sup>2</sup> ist aufgeteilt in eine 5 1/2-Zimmer-Wohnung im Erd- und eine 3 1/2-Zimmer-Wohnung im Obergeschoss. Die Bauherrschaft wünschte sich eine umweltfreundliche Heizung mit erneuerbaren Energieträgern. Gleichzeitig sollte das Gebäude wegen der Einliegerwohnung auch bei Abwesenheit der Besitzer vollautomatisch beheizt werden können. Aus diesem Grund fiel die Wahl auf eine Pelletheizung, welche durch eine Solaranlage unterstützt wird. Im Untergeschoss ist ein 10-m<sup>3</sup>-Pelletlager untergebracht. Die Holzpellets werden aus der Region bezogen und per Lastwagen angeliefert. Die Befüllung erfolgt pneumatisch durch einen an der Aussenfassade angebrachten Stutzen mit Entlüftungsöffnung für das geschlossene Pel-

la marchandise en sacs généralement utilisée pour alimenter des poêles. Comme le marché et les capacités d'approvisionnement en granulés/pellets n'ont été adaptés qu'au cours de ces dernières années, l'année 2006 a été marquée par une pénurie temporaire assortie d'une augmentation de prix à court terme. Entre-temps, les capacités d'approvisionnement ont été améliorées, de sorte que le marché des granulés/pellets s'est stabilisé. Actuellement, des granulés/pellets destinés à une installation de chauffage central coûtent approximativement 7 centimes par kilowatt-heure, ce qui correspond à un avantage d'environ 15% par rapport à de l'huile de chauffage vendue au prix d'environ 8 centimes par kilowatt-heure (tableau 4). Avec des granulés/pellets, il faut bien sûr veiller à planifier la livraison pendant la période estivale, car les prix pratiqués en hiver sont plus élevés afin de mieux tenir compte des capacités saisonnières de stockage et de production. Le prix des granulés/pellets conditionnés en sacs est naturellement plus élevé (tableau 5). Le conditionnement en sacs n'entre en l'occurrence en ligne de compte que pour des poêles dont le prix de revient est inférieur à celui d'une installation de chauffage central.

Comparativement à une installation de chauffage au mazout, l'exploitant d'une installation à granulés/pellets est appelé à effectuer un travail supplémentaire au niveau des opérations de nettoyage et d'évacuation des cendres, mais les frais d'entretien et de maintenance sont moindres, car l'inspection de la citerne et le contrôle de la combustion sont supprimés. Globalement, le niveau de prix d'une installation de chauffage à granulés/pellets est actuellement similaire à celui d'une installation de chauffage au mazout.

Tableau 4

Comparaison de prix du combustible pour des installations de chauffage central à mazout et à granulés/pellets. Les prix s'appliquent à de l'huile de chauffage livrée franco citerne par camion et à des granulés/pellets livrés franco silo par camion, état juin 2007, y compris TVA. En hiver et en fonction du fournisseur, le prix de la tonne de granulés/pellets est de Fr. 20.– à Fr. 80.– supérieur, raison pour laquelle il convient de passer commande pendant la période estivale.

Combustible	Livraison	Quantité	Prix par tonne	Prix en ct./kWh
Granulés / pellets en vrac	par camion, soufflage pneumatique	à partir de 9 tonnes 4 à 6 tonnes	Fr. 345.– par tonne	6,9
			Fr. 360.– par tonne	7,2
Huile de chauffage	par camion franco citerne	10 000 litres 1000 litres	Fr. 80.– par 100 l	8,0
			Fr. 85.– par 100 l	8,5

Tableau 5

Prix de granulés/pellets en sacs pour poêles.

Combustible	Livraison	Quantité	Prix par tonne	Prix en ct./kWh
Granulés / pellets en sacs de 15 kg	self-service	15 kg	Fr. 5.90 à 760 par sac	7,9 à 10,2
			Fr. 400.– à 500.– par tonne	
Granulés / pellets en sacs de 15 kg	par camion sur palettes de 66 sacs	2 tonnes 1 tonne	Fr. 505.– par tonne	10,0
			Fr. 515.– par tonne	10,3

## 12 Exemple d'application: maison jumelle à Inwil avec installation de chauffage à granulés/pellets

La maison jumelle édifée en Inwil en 1999 a été réalisée conformément à des critères biologiques. Son allure générale est marquée par une façade ventilée en Douglas indigène brut de sciage. La maison d'une surface habitable de 260 m<sup>2</sup> comprend un appartement de 5 1/2 pièces au rez-de-chaussée et un appartement de 3 1/2 pièces au premier étage. Le maître d'ouvrage désirait une installation de chauffage écologique basée sur des vecteurs énergétiques renouvelables. Simultanément, le bâtiment devait pouvoir être chauffé d'une manière entièrement automatique en l'absence du propriétaire pour garantir l'indépendance complète du deuxième appartement. Le choix s'est donc porté sur une installation de chauffage à granulés/pellets combinée à une installation solaire. Le sous-sol abrite un local de stockage de granulés/pellets de 10 m<sup>3</sup>. Les granulés/pellets proviennent de la région et sont livrés par camion. L'approvisionnement s'effectue pneumatiquement moyen-

letlager. Pro Heizperiode reicht eine Befüllung mit 6 Tonnen Pellets. Aus dem Lagerraum werden die Pellets zweimal pro Tag pneumatisch in den Zwischenbehälter beim Heizkessel gefördert. Um eine Befüllung während der Nacht zu vermeiden, werden die Befüllungszeiten durch eine Schaltuhr vorgegeben. Die Bewohner schätzen den hohen Komfort und die Gewissheit, dass ihr Haus mit erneuerbarer Energie beheizt wird.

nant un manchon en façade doté d'une bouche de ventilation et d'un clapet de fermeture. La consommation de granulés/pellets est basée sur une quantité de 6 tonnes par période de chauffage. Deux fois par jour, des granulés/pellets sont prélevés pneumatiquement dans le local de stockage pour passer dans le réservoir intermédiaire de la chaudière. Pour éviter un remplissage durant la nuit, les fenêtres d'approvisionnement sont asservies à une horloge de commande. Les habitants de la maison apprécient son confort élevé et l'assurance de savoir qu'elle est chauffée avec une énergie renouvelable.

Bauherrschaft: Isidor und Cornelia Elmiger-Schmid, Inwil  
 Architektur: Bachmann Langenick & Partner, Urswil  
 Heizungsplanung: KWP Energieplan, Hochdorf  
 Holzheizung: Gschwind Heiztechnik AG, Obergösgen  
 Fabrikat: Hargassner Pellet-Heizkessel HSV 3–15 kW

Maître de l'ouvrage: Isidor et Cornelia Elmiger-Schmid, Inwil  
 Architecte: Bachmann Langenick & Partner, Urswil  
 Planification de l'installation de chauffage: KWP Energieplan, Hochdorf  
 Installation de chauffage au bois: Gschwind Heiztechnik AG, Obergösgen  
 Modèle: chaudière à granulés/pellets Hargassner HSV 3–15 kW



Bild 17 / figure 17  
 Zweifamilienhaus in Inwil mit horizontaler Holzschalung.

Maison jumelle à Inwil avec lambrissage horizontal en bois.



Bild 18 / figure 18  
 Pelletkessel im Heizraum (Hargassner).

Chaudière à granulés/pellets installée dans la chaufferie (Hargassner).



Bild 19 / figure 19  
 Befüllungsstützen für Pellets und Entlüftungsöffnung für Lagerraum.

Manchon d'approvisionnement pour granulés/pellets et bouche de ventilation pour local de stockage.

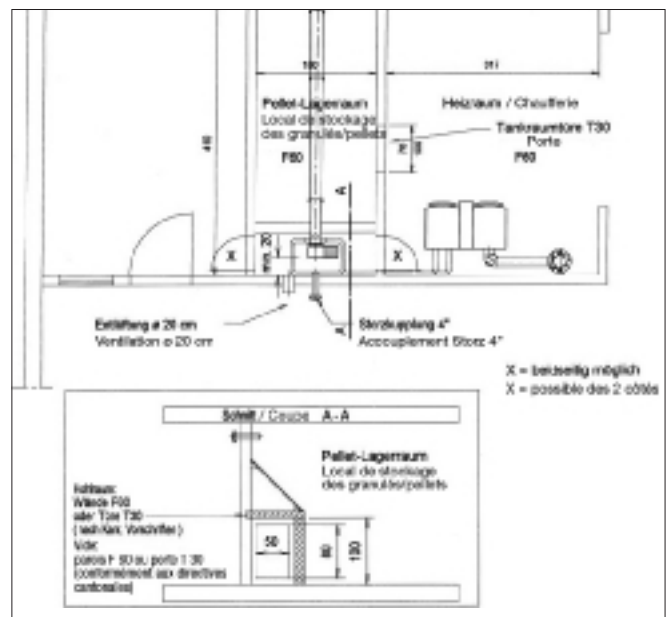


Bild 20 / figure 20  
 Anordnung von Pelletlager und Heizkessel.

Disposition du local de stockage des granulés/pellets et de la chaudière.

### 13 Zusammenfassung und Ausblick

Pelletheizungen sind eine attraktive Möglichkeit zur Nutzung erneuerbarer Energien mit hohem Bedienungskomfort. Sie sind als Öfen und Kessel verfügbar und können als Ergänzungs- oder Gesamtheizung eingesetzt werden. Dank der Homogenisierung des Brennstoffs erzielen Pelletheizungen geringe Emissionen. Zudem sind sie für kleine Leistungen erhältlich, was dank sinkendem Wärmebedarf immer wichtiger wird. Holzpellets sind eine ökologisch sinnvolle Ergänzung zu Stückholz und Holzschnitzeln, da die Vorleistungen für die Pelletherstellung durch die tieferen Emissionen im Betrieb mehr als kompensiert werden. Aus naturbelassenem Restholz ist noch ein grosses Potenzial für die Herstellung von Holzpellets vorhanden, weshalb in den kommenden Jahren eine starke Zunahme der Pelletheizungen erwartet wird. Die wichtigsten Einsatzgebiete sind in Tabelle 6 zusammengestellt. Im Wohnbereich steht der Einsatz eines Pelletofens in Konkurrenz zur Wahl eines handbeschickten Holzofens, während mit Pelletkesseln alle Anwendungen von Zentralheizungen erschlossen werden. Daneben ergeben sich in energetisch optimierten Gebäuden neue Anwendungsgebiete für Pelletheizungen. Interessant sind der Einsatz eines Zentralheizungsofens mit Wasserzentralheizung in Minergie-Häusern oder der Einsatz eines Pelletofens in einem Passivhaus mit Luftheizung.

Um im Praxiseinsatz hohe Wirkungsgrade und tiefe Emissionen sicherzustellen, ist auf gute Wartung und Reinigung der Anlagen zu achten. Um zu verhindern, dass unerwünschte Verschlackung auftritt und Luft- oder Brennstoffzuführung durch Asche beeinträchtigt werden, ist eine regelmässige Entaschung notwendig. Für die Qualitätssicherung der Holzpellets ist auf die Einhaltung der entsprechenden Normen für Pellets zu achten. Als Praxiskriterien dienen dazu die Pelletdimensionen, der Feuchtegehalt, der Staubabrieb sowie die Pelletzusammensetzung. Daneben muss auch sichergestellt werden, dass die Pellets nicht durch unsachgemässe Lagerung oder Transporteinrichtungen Feuchtigkeit aufnehmen oder beschädigt werden. Dazu sind eine optimale Planung sowie ein korrekter Betrieb der Anlage zu gewährleisten. Bei der Lagerung von Pellets sollte die Aufnahme von Wasser sicher vermieden und ein Aufquellen sowie ein starker mechanischer Abrieb ausgeschlossen werden.

In der Schweiz wurde in den vergangenen Jahren ein flächendeckendes Vertriebsnetz für Holzpellets aufgebaut, was einen breiten Einsatz von Pelletheizungen ermöglicht. Auch bei einer Pelletheizung sollte in der Planung das Energiesparen als übergeordnetes Ziel verfolgt werden. Zur Deckung des verbleibenden Wärmebedarfs mit erneuerbaren Energieträgern bietet sich dann eine Pelletheizung in geeigneter Weise an, wobei auch eine Kombination mit Solarenergienutzung in Frage kommt.

Tabelle 6  
Einsatzgebiete von Pelletheizungen.  
Zahlenwerte: Anteil am gesamten Heizwärmebedarf  
Gelbe Flächen: Hauptanwendungen  
+ Ergänzungsheizung  
++ Hauptheizung ohne Warmwasser  
+++ Hauptheizung und Warmwasser (Warmwasser in der Regel bivalent)

Baustandard	Konventionell	Niedrigenergie	Minergie- oder Passivhaus	Passivhaus
Lüftung	natürlich		kontrolliert	
Wärmeverteilung	Wasser			Luft
<b>Ofen</b>	+ < 30%	+ < 50%	+ bis 50%	++ bis 100%
<b>Zentralheizungs- ofen</b>	+++ bis 100%	+++ 100%	+++ 100%	
<b>Kessel</b>	+++ 100%	+++ 100%	+++ 100%	

### 13 Récapitulation et perspectives

Les installations de chauffage à granulés/pellets constituent une possibilité intéressante pour exploiter des énergies renouvelables tout en profitant d'un confort de service élevé. Elles sont disponibles sous forme de poêles ou de chaudières et peuvent s'utiliser comme chauffage d'appoint ou chauffage intégral. Grâce à l'homogénéisation du combustible, les installations à granulés/pellets se distinguent par un faible taux d'émissions polluantes. Elles sont de plus également disponibles pour couvrir de faibles puissances, paramètre toujours plus important en raison de la contraction des besoins calorifiques. Les granulés/pellets constituent un complément écologiquement intéressant pour remplacer du bois bûché et des plaquettes, car les prestations préliminaires nécessaires à leur production sont plus que compensées par de plus faibles émissions polluantes au cours de leur exploitation. Il existe actuellement un énorme potentiel pour produire des granulés/pellets à partir de déchets ligneux laissés à l'état naturel, raison pour laquelle il faut s'attendre à voir le nombre d'installations à granulés/pellets fortement s'accroître au cours de ces prochaines années. Les principaux domaines d'application figurent dans le tableau 6. Dans le secteur du logement, l'utilisation d'un poêle à granulés/pellets est en concurrence avec celle d'un poêle à bois à alimentation manuelle, alors que toutes les applications de chauffage central sont envisageables avec des chaudières à granulés/pellets. Parallèlement, de nouveaux domaines d'application s'ouvrent aux installations de chauffage à granulés/pellets dans des bâtiments optimisés énergétiquement. Il est par exemple intéressant d'utiliser un poêle de chauffage central à granulés/pellets dans une maison Minergie à circuit hydraulique ou un poêle à granulés/pellets dans une maison passive à chauffage à air chaud.

Pour garantir un rendement élevé et de faibles émissions de l'installation, il convient de veiller à sa bonne maintenance et son nettoyage irréprochable. Pour éviter une scorification indésirable et une perturbation de l'alimentation en air et en combustible par les cendres, il est absolument indispensable d'évacuer régulièrement ces dernières. Pour garantir la qualité des granulés/pellets, il convient de respecter les normes correspondantes en vigueur.

Comme critères pratiques, on se base en l'occurrence sur les dimensions des granulés/pellets, leur composition, leur teneur en humidité et le poussier abrasif dégagé. Il faut aussi s'assurer que les granulés/pellets ne puissent pas absorber de l'humidité ou s'endommager en raison d'un stockage ou d'équipements de transport inappropriés. Il convient en l'occurrence de garantir une planification optimale et une exploitation dans les règles de l'art de l'installation. En ce qui concerne le stockage des granulés/pellets, on veillera à éviter absolument toute absorption d'eau ou d'humidité, resp. tout gonflement ou toute sollicitation mécanique abrasive.

Au cours de ces dernières années, la Suisse a mis en place un réseau national de commercialisation de granulés/pellets, ce qui favorise une large diffusion de ce système de chauffage. La planification d'une installation de chauffage à granulés/pellets doit en l'occurrence toujours se fonder prioritairement sur les économies d'énergie réalisables. Pour couvrir des besoins calorifiques résiduels avec des vecteurs énergétiques renouvelables, une installation de chauffage à granulés/pellets peut parfaitement entrer en ligne de compte, éventuellement en combinaison avec une installation solaire.

Tableau 6  
Domaines d'application des installations de chauffage à granulés/pellets  
Valeurs chiffrées: pourcentage des besoins calorifiques totaux de chauffage  
Surfaces jaunes: utilisations principales  
+ chauffage d'appoint  
++ chauffage principal sans préparation d'eau chaude  
+++ chauffage principal et préparation d'eau chaude (eau chaude en principe en bivalence)

Standard architectural	conventionnel	basse énergie	Minergie ou maison passive	Maison passive
Ventilation	naturelle		contrôlée	
Distribution de la chaleur	eau			air
<b>Poêle</b>	+ < 30%	+ < 50%	+ jusqu'à 50%	++ jusqu'à 100%
<b>Poêle de chauffage central</b>	+++ jusqu'à 100%	+++ 100%	+++ 100%	
<b>Chaudière</b>	+++ 100%	+++ 100%	+++ 100%	

## 14 Literatur

- [1] Primas, A., Kessler, F., Knechtle, N.: «Schweizerische Holzenergiestatistik, Erhebung für das Jahr 2005 mit modifizierter Erfassungsmethodik», Bundesamt für Energie, Bern 2006
- [2] Hasler, P., Nussbaumer, T.: «Herstellung von Holzpellets – Einfluss von Presshilfsmitteln auf Produktion, Qualität, Lagerung, Verbrennung sowie Energie- und Ökobilanz von Holzpellets», Bundesamt für Energie, Bern 2001
- [3] Huber, H.: «Kombination von kontrollierter Lüftung und Speicherofen im Minergie-Wohnhaus», 6. Holzenergie-Symposium, Bundesamt für Energie, Bern 2000, 109–124
- [4] Hansen, H.; Raab, K.; Pilz, B.; Fischer, J.: «Holzpellets, komfortabel, effizient, zukunftssicher», Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Gülzow (D), [www.fnr.de](http://www.fnr.de) und [nachwachsende-rohstoffe.de](http://nachwachsende-rohstoffe.de), 5. Auflage, Gülzow 2006
- [5] Hansen, H.; Raab, K.; Pilz, B.: «Marktübersicht Pellet-Zentralheizungen und Pelletöfen», Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Gülzow (D), [www.fnr.de](http://www.fnr.de) und [nachwachsende-rohstoffe.de](http://nachwachsende-rohstoffe.de), 4. Auflage, Gülzow 2007

## 15 Adressen

Holzenergie Schweiz führt auf der Homepage eine aktuelle Liste der wichtigsten Vertreiber von Holzpellets in der Schweiz als Download, welche derzeit rund 30 Anbieter umfasst:

[www.holzenergie.ch](http://www.holzenergie.ch) oder [www.energie-bois.ch](http://www.energie-bois.ch)

Im Weiteren erfolgt in der ganzen Schweiz ein Vertrieb von Holzpellets durch die Fenaco (Landi). Informationen dazu sind unter [www.holz-pellet.com](http://www.holz-pellet.com) verfügbar.

## 14 Bibliographie

- [1] Primas, A., Kessler, F., Knechtle, N.: «Schweizerische Holzenergiestatistik, Erhebung für das Jahr 2005 mit modifizierter Erfassungsmethodik», (en allemand seulement), Office fédéral de l'énergie, Berne, 2006
- [2] Hasler, P., Nussbaumer, T.: «Herstellung von Holzpellets – Einfluss von Presshilfsmitteln auf Produktion, Qualität, Lagerung, Verbrennung sowie Energie- und Ökobilanz von Holzpellets» (production de granulés/pellets de bois – influence des additifs d'homogénéisation sur la production, la qualité, le stockage, la combustion, le bilan énergétique et l'écobilan des granulés/pellets de bois). Office fédéral de l'énergie, Berne, 2001
- [3] Huber, H.: «Kombination von kontrollierter Lüftung und Speicherofen im Minergie-Wohnhaus» (combinaison de ventilation contrôlée et de poêle à accumulation dans une maison d'habitation Minergie), 6<sup>e</sup> Symposium bois-énergie, Office fédéral de l'énergie, Berne, 2000, 109–124
- [4] Hansen, H., Raab, K., Pilz, B., Fischer, J.: «Holzpellets, komfortabel, effizient, zukunftssicher» (granulés/pellets de bois, confortables, efficaces, sûrs), Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Gülzow (D), [www.fnr.de](http://www.fnr.de) et [nachwachsende-rohstoffe.de](http://nachwachsende-rohstoffe.de), 5<sup>e</sup> édition, Gülzow, 2006
- [5] Hansen, H., Raab, K., Pilz, B.: «Marktübersicht Pellet-Zentralheizungen und Pelletöfen» (aperçu du marché des installations de chauffage central et poêles à granulés/pellets de bois), Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Gülzow (D), [www.fnr.de](http://www.fnr.de) et [nachwachsende-rohstoffe.de](http://nachwachsende-rohstoffe.de), 4<sup>e</sup> édition, Gülzow, 2007

## 15 Adresses

Sur sa page d'accueil, Energie-Bois Suisse propose une liste des principaux marchands suisses de granulés/pellets de bois pour téléchargement (actuellement une trentaine de marchands):

[www.holzenergie.ch](http://www.holzenergie.ch) ou [www.energie-bois.ch](http://www.energie-bois.ch)

Le groupe fenaco/LANDI commercialise en outre des granulés/pellets de bois dans toute la Suisse. Renseignements: [www.holz-pellet.com](http://www.holz-pellet.com)