



## Holzenergie

PD Dr. Thomas Nussbaumer, Dipl. Masch.-Ing. ETH,  
Verenum, Langmauerstrasse 109, CH-8006 Zürich

Der Beitrag entstand mit Unterstützung des Bundesamtes für Energie.

Teil 2: Handbeschickte Holzfeuerungen und Pelletheizungen	1
Anforderungen an Holzfeuerungen	1
Zeitlicher Verlauf des Abbrands	2
Einteilung handbeschickter Holzfeuerungen	2
Einsatzgebiete	3
Regelung	6
Brennstoff	6
Typenprüfung und Gütezeichen	6
Pelletheizungen	7
Literatur	8

Übersicht und Teil 1 «Grundlagen der Holzverbrennung» im Ordner Nr. 8, Code BHMSV

## Teil 2: Handbeschickte Holzfeuerungen und Pelletheizungen

Handbeschickte Holzfeuerungen können als Haupt- oder Ergänzungsheizung in Ein- und Mehrfamilienhäusern eingesetzt werden. Die Verbrennung in handbeschickten Feuerungen umfasst einen chargenweisen Abbrand mit Anfeuern, stationärer Verbrennungsphase und Ausbrand der Holzkohle. Zur Sicherstellung eines hohen Heizkomforts und eines emissionsarmen Betriebs ist deshalb eine Wärmespeicherung und -verteilung erforderlich. Bei Zentralheizungskesseln geschieht dies mit einem Wasserspeicher, während bei Heizungen im Wohnbereich auch Speicheröfen und Luftverteilssysteme eingesetzt werden. Im vorliegenden Beitrag werden die Funktionsprinzipien von handbeschickten Holzfeuerungen vorgestellt, das Einsatzgebiet aufgezeigt und Hinweise zum Brennstoffsortiment und zur Regelung gegeben. Im Weiteren wird der Einsatz von Pelletfeuerungen aufgezeigt. Diese sind als automatische Systeme kleiner Leistung verfügbar und stellen damit eine Alternative zu handbeschickten Holzfeuerungen dar.

### Anforderungen an Holzfeuerungen

Zur Erzielung eines hohen Wirkungsgrades und zur Minimierung der Schadstoffemissionen muss die Feuerungstechnik den Eigenschaften des Brennstoffs Rechnung tragen. Die hohe Flüchtigkeit biogener Brennstoffe führt zu einer Aufteilung des Verbrennungsablaufs in die Feststoffvergasung und den anschliessenden Gasausbrand. Um eine gute Regelbarkeit der Leistung und des Verbrennungsablaufs zu erzielen, wird die Verbrennung aufgeteilt erstens in die Feststoffumsetzung mit Zuführung von Primärluft im Glutbett und zweitens den Gasausbrand mit Zuführung von Sekundärluft in der Nachbrennkammer. Die Primärluft beeinflusst die Feuerungsleistung, während die Sekundärluft in erster Linie für den vollständigen Gasausbrand verantwortlich ist.

Um eine vollständige Verbrennung zu erzielen, ist eine möglichst homogene Vermischung der brennbaren Gase mit der Verbrennungsluft notwendig. Im Weiteren ist nach Einmischung der Sekundärluft eine minimale Aufenthaltszeit der Gase in der Zone hoher Temperatur erforderlich. Die Einhaltung einer hohen Temperatur ist in den meisten Fällen möglich, sodass die Ausbrandgüte vor allem durch die Vermischungsqualität zwischen Luft und Gasen bestimmt wird. Je besser die Vermischung zwischen Luft und Gasen ist, bei umso geringerem Luftüberschuss kann die Feuerung – ohne Emission unverbrannter Gase – betrieben werden. Ein tiefer Luftüberschuss gewährleistet eine hohe Verbrennungstemperatur, und gleichzeitig ist der Wirkungsgrad bei minimalem Luftüberschuss am höchsten.

## Energie du bois

Dr. Thomas Nussbaumer, privat-docent, ingénieur-mécanicien diplômé EPF, Verenum, Langmauerstrasse 109, CH-8006 Zurich

L'article est publié avec le soutien de l'Office fédéral de l'énergie.

Partie 2: installations de chauffage au bois à alimentation manuelle et installations de chauffage à granulés de bois	
Exigences requises par des installations de chauffage au bois	1
Profil temporel de la combustion	2
Classification des installations de chauffage au bois à alimentation manuelle	2
Domaines d'application	3
Technique de combustion	3
Régulation	6
Combustible	6
Homologation et label de qualité	6
Installations de chauffage à granulés de bois	7
Bibliographie	8

Aperçu général et partie 1 «fondements de la combustion du bois» dans le classeur No 8, code BHMSV

## Partie 2: installations de chauffage au bois à alimentation manuelle et installations de chauffage à granulés de bois

Les installations de chauffage au bois à alimentation manuelle peuvent s'utiliser comme chauffage principal ou chauffage d'appoint dans des villas familiales et des bâtiments locatifs. Dans des installations à alimentation manuelle, la combustion s'opère par charges successives et comprend l'allumage, une phase stationnaire de combustion, puis la combustion du charbon de bois. Pour garantir un confort élevé et une exploitation à émissions réduites, une accumulation et une distribution de la chaleur sont donc nécessaires. Avec des chaudières de chauffage central, celles-ci s'opèrent au moyen d'un réservoir d'eau, alors qu'il est également possible d'utiliser des poêles à accumulation et des systèmes aërières de distribution pour le chauffage de logements. Le présent article traite des principes fonctionnels d'installations de chauffage au bois à alimentation manuelle, présente leur domaine d'application et fournit différentes informations relatives aux combustibles envisageables et à la régulation. Il traite par ailleurs de l'exploitation d'installations de chauffage à granulés de bois. Celles-ci sont disponibles sous forme de systèmes automatiques à faible puissance et constituent par conséquent une alternative à des installations de chauffage au bois à alimentation manuelle.

### Exigences requises par des installations de chauffage au bois

Pour parvenir à un rendement élevé et minimiser les émissions polluantes, la technique de combustion doit tenir compte des caractéristiques du combustible. La volatilité élevée de combustibles biogènes entraîne une subdivision de la combustion en une phase de gazéification du combustible solide suivie d'une phase de combustion des gaz. Pour parvenir à une bonne régularité de la puissance et du processus de combustion, la combustion elle-même se subdivise en une première phase de conversion du combustible solide en un lit de braises avec apport d'air primaire et une deuxième phase de combustion des gaz avec apport d'air secondaire dans la chambre de post-combustion. L'air primaire joue un rôle sur le rendement de la combustion, alors que l'air secondaire est en premier lieu responsable de la combustion intégrale des gaz.

Pour que la combustion soit complète, il est indispensable de réaliser un mélange aussi homogène que possible des gaz combustibles avec l'air de combustion. Après mélange avec l'air secondaire, il est en outre nécessaire que les gaz séjournent un certain laps de temps minimum dans la zone de haute température. Dans la plupart des cas, il est possible de maintenir une température élevée, de sorte que la qualité de la combustion est avant tout déterminée par la qualité du mélange d'air et de gaz. Plus le mélange d'air et de gaz est de meilleure qualité, plus la combustion s'opère avec un faible excédent d'air – sans émission de gaz non consommés. Un faible excédent d'air garantit une température de combustion élevée et le rendement est simultanément à son maximum pour un excédent d'air minimum.

Die Einhaltung dieser Grundvoraussetzungen für Holzfeuerungen ermöglicht die Erzielung eines hohen Wirkungsgrades und geringer Emissionen an unverbrannten Schadstoffen. Sie gelten sowohl für handbeschickte als auch für automatische Feuerungen. Entscheidend für die Emissionen im praktischen Betrieb ist zudem die Einhaltung optimaler Betriebsbedingungen, vor allem des optimalen Brennstoff/Luft-Verhältnisses, wozu der Einsatz einer geeigneten Regelung erforderlich ist.

#### Zeitlicher Verlauf des Abbrands

Bei automatischen Feuerungen ermöglicht die Zerkleinerung des Brennstoffs zu einem dosierfähigen Granulat und die mechanische Beschickung einen kontinuierlichen Betrieb der Feuerung mit annähernd konstanter Leistung. Bei sichergestellter Wärmeabnahme kann eine automatische Feuerung innerhalb des regelbaren Leistungsbereichs bei optimalen Bedingungen betrieben werden. Im Vergleich dazu weisen handbeschickte Feuerungen einen ausgeprägten zeitlichen Verlauf der verschiedenen Verbrennungsphasen über Anfeuern, stationäre Phase und Ausbrand auf.

Da das Anfeuern und der Ausbrand zu erhöhten Emissionen führen, ist für die Gesamtemissionen nicht nur eine hohe Verbrennungsqualität im stationären Betrieb entscheidend, sondern auch das Erzielen einer möglichst langen Phase mit optimaler Verbrennung. Durch geeignete Konstruktion wird deshalb auch bei handbeschickten Feuerungen ein Abbrand mit konstanter Leistung angestrebt. Bei Stückholzkesseln und Ofeneinsätzen mit unterem Abbrand wird die Verbrennung so geführt, dass jeweils nur die unterste Schicht des Brennstoffbetts an der Verbrennung teilnimmt. Das darüber liegende Holz dient als Brennstoffreserve, die erst beim Nachrutschen in die Glutzone verbrennt. Während der stationären Phase des Chargenabbrands erfolgt so ein quasi-automatischer Brennstoffnachschub durch die Schwerkraft.

#### Einteilung handbeschickter Holzfeuerungen

Die handbeschickten Holzfeuerungen können eingeteilt werden in die Kategorien Zimmerofen, Kaminofen, offener Kamin, geschlossener Kamin, Speicherofen (Grundofen), Holzkochherd, Zentralheizungskochherd und Stückholzkessel. Die wichtigste Unterscheidung von handbeschickten Feuerungen umfasst die Einteilung in Kessel mit Wasserwärmetauscher und Öfen, die die Wärme über Strahlung und Konvektion abgeben. Die Unterscheidung zwischen Kesseln und Öfen entscheidet über die Anwendungsmöglichkeiten und über die gesetzliche Zuordnung, da für sie unterschiedliche Prüfverfahren gelten. Allerdings sind auch Kombinationen von Kesseln und Öfen möglich, zum Beispiel bei Speicheröfen, die mit einem Wasserwärmetauscher zum Anschluss an die Zentralheizung ausgeführt werden.

Stückholzkessel werden mit einem Wasserspeicher kombiniert, in dem ein Teil der Brennstoffwärme einer Beschickung gespeichert wird. Dadurch kann sichergestellt werden, dass der Kessel nicht im Ein/Aus-Betrieb – der zu erhöhten Emissionen führt –, sondern bei Nennlast oder bei kontinuierlicher Teillast betrieben wird. Speicheröfen können mit Verputz oder mit Kacheln aus Ton, Schamotte oder Speckstein ausgeführt werden, was unterschiedlichste Gestaltungsmöglichkeiten ergibt. Entsprechend sind auch die Begriffe Kachelofen, Kachelgrundofen und Specksteinofen gebräuchlich. Weitere Arten von Holzheizungen sind Zimmer- und Kaminöfen, Kamine, Holzkochherde und Zentralheizungsherde. Aufgrund der verschiedenen Feuerungssysteme können die handbeschickten Holzfeuerungen damit nach Tabelle 1 eingeteilt werden.

Daneben können die verschiedenen Feuerungsprinzipien unterschieden werden, also Durchbrand, oberer Abbrand, unterer Abbrand und Sturzbrand, und es ist auch zwischen Feuerungen mit Naturzug und mit Ventilator zu unterscheiden.

Le respect de ces conditions préalables fondamentales en matière d'installations de chauffage au bois permet de parvenir à un rendement élevé ainsi qu'à de faibles émissions de substances polluantes non consommées. Ces conditions préalables s'appliquent aussi bien à des installations à alimentation manuelle qu'à des installations automatiques. Dans la pratique, le taux d'émissions est en outre déterminé par le respect de conditions d'exploitation optimisées et surtout d'un rapport combustible/air optimisé, ce qui nécessite une régulation appropriée.

#### Profil temporel de la combustion

Avec des installations automatiques de chauffage, la fragmentation du combustible en des granulés dosables et l'alimentation mécanisée permettent une exploitation continue de puissance quasiment constante. Si le contrôle calorifique est garanti, il est possible d'exploiter une installation automatique dans la plage de puissance programmable dans des conditions optimales. Comparativement, des installations de chauffage à alimentation manuelle présentent un profil temporel plus clair des différentes phases de combustion avec allumage, séquence stationnaire et combustion.

Comme l'allumage et la combustion entraînent des émissions accrues, les émissions globales dépendent en premier lieu non seulement d'une qualité élevée de la combustion en phase stationnaire, mais aussi de l'existence d'une phase aussi longue que possible de combustion optimale. Avec des installations de chauffage à alimentation manuelle, on s'efforce également de parvenir à une combustion de puissance constante moyennant une architecture appropriée. Avec des chaudières à bûches et des poêles à combustion inférieure, la combustion s'opère de telle sorte que seule la couche inférieure du lit de combustible y participe. Les couches de bois supérieures servent de réserve de combustible et ne se consomment qu'en arrivant dans la zone embrasée. Pendant la phase stationnaire de combustion de la charge, il s'opère ainsi un ravitaillement quasi-automatique en combustible par force de gravité.

#### Classification des installations de chauffage au bois à alimentation manuelle

Les installations de chauffage au bois à alimentation manuelle peuvent se catégoriser comme suit: poêle individuel, poêle-cheminée, cheminée ouverte, cheminée fermée, poêle à accumulation, cuisinière à bois, cuisinière de chauffage central et chaudière à bûches. La principale distinction opérée dans le secteur des installations de chauffage au bois à alimentation manuelle consiste dans la classification en *chaudières* avec échangeur de chaleur et *poêles* avec émission de la chaleur par rayonnement et convection. La distinction entre chaudières et poêles décide des possibilités d'application et de la classification légale soumise à différentes procédures d'essai. Il existe également des combinaisons de chaudières et de poêles, par exemple sous forme de poêles à accumulation qui comportent un échangeur de chaleur à eau pour raccordement sur un circuit de chauffage central.

Les chaudières à bûches sont combinées avec un accumulateur d'eau dans lequel s'accumule une partie de la chaleur produite par une charge de combustible. On a ainsi l'assurance que la chaudière ne fonctionne pas en service en/hors – qui génère des émissions polluantes accrues –, mais en service de charge nominale ou de charge partielle continue. Les poêles à accumulation peuvent être munis d'un enduit, de catelles en céramique, de carreaux réfractaires ou de pierre ollaire, ce qui procure d'innombrables possibilités configuratives. Dans ce contexte, on utilise également souvent des expressions telles que poêle en catelles, poêle en faïence et poêle en pierre ollaire. Les poêles individuels, cheminées, cuisinières à bois et cuisinières de chauffage central constituent d'autres types d'installations de chauffage au bois. Sur la base des différents systèmes, les installations de chauffage au bois à alimentation manuelle peuvent se classer conformément au tableau 1.

Parallèlement, il est possible de catégoriser les différents principes de combustion, à savoir combustion montante, combustion supérieure, combustion inférieure et combustion descendante; on fait également une distinction entre une installation de chauffage à tirage naturel et une installation équipée d'un ventilateur.

**Tabelle 1**  
Kategorien und Merkmale von handbeschickten Holzfeuerungen.

Typ	Feuerungssystem	Leistungsbereich (Heizleistung)	Verbrennungsprinzip	Merkmale
Ofen	Zimmerofen	3–10 kW	Durchbrand	Vom Wohnraum aus befeuerter Holzofen ohne feste Installation
	Kaminofen (Cheminéeofen)	4–12 kW	Durchbrand	Geschlossener Konvektionsofen
	Offener Kamin (Offenes Cheminée)	0–5 kW	Durchbrand	Ohne und mit Warmluftumwälzung ungeeignet als Heizung
	Geschlossener Kamin (Geschlossenes Cheminée)	5–15 kW	Durchbrand	Mit Warmluftumwälzung für einen oder mehrere Räume
	Speicherofen, Grundofen (z.B. Kachelofen)	2–15 kW	Durchbrand Unterer Abbrand	Lange Speicherzeit (10 bis 24 h)
	Holzkochherd	3–12 kW	Durchbrand	Wärme dient primär zum Kochen und sekundär zur Erwärmung einer Sitzbank zum Heizen
Kessel	Zentralheizungs-herd	8–30 kW	Durchbrand Unterer Abbrand	Wärme dient zum Kochen und als Zentralheizung
	Stückholzkessel	10–200 kW	Durchbrand Unterer Abbrand Sturzbrand	Mit unterem Abbrand können längere Abbrandzeiten und höhere Wirkungsgrade erreicht werden

**Tableau 1:**  
Catégories et remarques pour installations de chauffage au bois à alimentation manuelle

Type	Système	Plage de puissance (puissance calorifique)	Principe de combustion	Remarques
Poêle	Poêle individuel	3–10 kW	Combustion montante	Poêle à bois alimenté directement dans le logement sans installation fixe
	Poêle-cheminée	4–12 kW	Combustion montante	Poêle fermé à convection
	Cheminée ouverte	0–5 kW	Combustion montante	Avec ou sans circulation d'air chaud; ne convient pas comme installation de chauffage
	Cheminée fermée	5–15 kW	Combustion montante	Avec circulation d'air chaud, pour un ou plusieurs locaux
	Poêle à accumulation (par ex. poêle en catelles)	2–15 kW	Combustion montante- Combustion inférieure	Longue durée d'accumulation (10 à 24 heures)
	Cuisinière à bois	3–12 kW	Combustion montante	La chaleur sert premièrement à la cuisson et deuxièmement pour chauffer une banquette
Chaudière	Cuisinière de chauffage central	8–30 kW	Combustion montante- Combustion inférieure	La chaleur sert pour la cuisson et comme chauffage central
	Chaudière à bûches	10–200 kW	Combustion montante- Combustion inférieure Combustion descendante	Avec une combustion inférieure ou descendante, on parvient à de plus longues durées de combustion et des rendements plus élevés

### Einsatzgebiete

Offene Kamine sind als Heizsysteme ungeeignet, da dem Kamin eine unverhältnismässig grosse Luftmenge aus dem Raum zugeführt werden muss, um Gasaustritt in den Wohnraum zu vermeiden. Geschlossene Kamine, Zimmeröfen und Speicheröfen werden in der Regel zur Beheizung eines Einzelraumes eingesetzt. Die Wärme wird dabei durch Strahlung und Konvektion oder allenfalls zusätzlich durch Erwärmung von Raumlufte in einem Heizregister übertragen.

Kaminöfen können je nach Anwendungszweck in leichter oder schwerer Bauweise ausgeführt werden. In leichter Bauweise erfolgt die Wärmeabgabe in kurzer Zeit, während bei schwerer Bauweise eine verzögerte Abgabe durch Speicherung erfolgt. Speicheröfen weisen eine noch ausgeprägtere Speicherfunktion auf, sodass sie eine mehrstündige konstante Wärmeübertragung an den Raum ermöglichen. Eine Beheizung mehrerer Räume ist dabei durch eine Wärmeverteilung mit Warmluft in einem Hypokaustensystem möglich oder durch Einsatz eines Speicherofens mit nachgeschaltetem Wärmetauscher. Die Wärmeabgabe durch Strahlung führt zu einem angenehmen Raumklima, da die Lufttemperatur tiefer sein kann als bei Wärmeabgabe durch Konvektion.

Öfen und Kamine sind vor allem für die Verbrennung kleinerer Holz-mengen geeignet. Ihr Einsatzgebiet umfasst deshalb die Ergänzungs-heizung für einzelne Räume (zum Beispiel für die Übergangszeit) oder die Beheizung von Häusern mit sehr niedrigem Wärmebedarf. Für grössere Leistungen und eine ganzjährige Beheizung werden vor allem Stückholzkessel eingesetzt, bei denen die Wärmeverteilung über die Zentralheizung erfolgt.

### Feuerungstechnik

Bei handbeschickten Feuerungen wird unterschieden zwischen oberem und unterem Abbrand. Beim oberen Abbrand ist der Verbrennungsverlauf gekennzeichnet durch eine kurze und intensive Verbrennung der gesamten Holzmenge mit einer grossen momentanen Feuerungsleistung. Dies entspricht dem Verbrennungsablauf in einem kon-

### Domaines d'application

Des cheminées ouvertes ne conviennent pas comme systèmes de chauffage, car il faut leur fournir une quantité d'air véritablement hors de proportion pour éviter un dégagement de gaz dans la pièce de séjour. Des cheminées fermées, des poêles individuels et des poêles à accumulation s'utilisent en règle générale pour chauffer un seul local. En l'occurrence, la chaleur est transmise par rayonnement et convection ou à la rigueur par échauffement complémentaire de l'air ambiant dans un registre de chauffage.

Selon leur utilisation, les poêles-cheminées peuvent être exécutés en version lourde ou légère. En version légère, l'émission de chaleur s'effectue très rapidement, alors qu'en version lourde, elle s'opère avec une certaine temporisation occasionnée par le phénomène d'accumulation. Les poêles à accumulation présentent une fonction d'accumulation encore plus évidente et autorisent un transfert thermique constant dans le local pendant plusieurs heures. Il est ainsi possible de chauffer plusieurs locaux par distribution d'air chaud au moyen d'un système hypocauste ou en utilisant un poêle à accumulation raccordé à un échangeur de chaleur en aval. L'émission de chaleur par rayonnement assure un climat ambiant agréable, car la température de l'air est inférieure à celle procurée moyennant une émission de chaleur par convection.

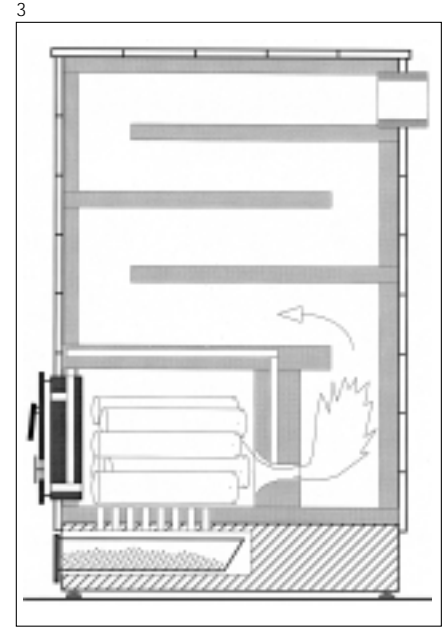
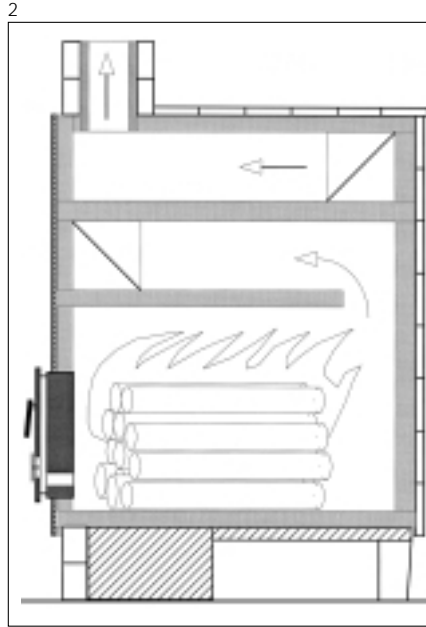
Les poêles et les cheminées conviennent surtout pour brûler de petites quantités de bois. Leur domaine d'application couvre donc le chauffage d'appoint pour divers locaux particuliers (par exemple durant la mi-saison) ou le chauffage de maisons à très faible demande calorifique. Pour des puissances importantes et un chauffage à l'année, on utilise surtout des chaudières à bûches avec lesquelles la distribution de la chaleur s'effectue par l'intermédiaire d'un circuit de chauffage central.

### Technique de combustion

En matière d'installations de chauffage à alimentation manuelle, on distingue entre combustion supérieure et combustion inférieure. Avec la combustion supérieure, le processus de combustion est caractérisé par une combustion brève et intense de toute la quantité de bois avec une puissance momentanée élevée. Cela correspond au processus de

ventionellen Speicherofen, in dem die gesamte Holzmenge gleichzeitig in Brand ist. Die meisten Zimmeröfen verfügen ebenfalls über oberen Abbrand. Abbildung 1 zeigt ein Beispiel eines Zimmerofens, der über eine dem Brennraum nachgeschaltete Ausbrandzone verfügt und zudem eine Wärmeübertragung auf Speichersteine aufweist. Abbildung 2 zeigt den Aufbau eines Speicherofens mit oberem Abbrand (Durchbrand), während in Abbildung 3 der Aufbau eines Speicherofens mit seitlichem unterem Abbrand und Zufuhr von Sekundärluft vor der nachgeschalteten Brennkammer dargestellt ist. In Abbildung 4 ist ein Beispiel eines modernen Speicherofens abgebildet, der ebenfalls über unteren Abbrand mit Nachbrennkammer verfügt und zudem einen Abgasventilator zur Optimierung und Konstanthaltung der Verbrennungsbedingungen aufweist.

combustion d'un poêle à accumulation conventionnel dans lequel toute la quantité de bois se consume simultanément. La plupart des poêles individuels fonctionnent également selon le principe de la combustion supérieure. L'illustration 1 présente un exemple de poêle individuel qui dispose d'une zone de combustion située en aval du foyer et se distingue en outre par une transmission de chaleur à des pierres d'accumulation. L'illustration 2 présente l'architecture d'un poêle à accumulation à combustion supérieure (combustion montante), alors que l'illustration 3 concerne l'architecture d'un poêle à accumulation avec combustion inférieure latérale et apport d'air secondaire avant la chambre de combustion située en aval. L'illustration 4 est un exemple de poêle à accumulation moderne avec combustion inférieure, chambre de post-combustion et ventilateur d'évacuation des gaz brûlés pour optimisation des conditions de combustion et maintien de celles-ci dans un état constant.



#### Abbildungen

- 1 Zimmerofen mit oberem Abbrand (Durchbrand), heisser Ausbrandzone oberhalb des Brennraums und nachgeschalteter Wärmeübertragung auf Speichersteine
- 2 Aufbau eines Speicherofens mit offenem Feuerraum nach dem Durchbrandprinzip
- 3 Aufbau eines Speicherofens mit unterem seitlichem Abbrand sowie Primär- und Sekundärluftzufuhr, Nachbrennkammer und Aschekasten
- 4 Speicherofen mit unterem seitlichem Abbrand und Nachbrennkammer

#### Illustrations

- 1 Poêle individuel à combustion supérieure (combustion montante); zone de combustion très chaude dans la partie supérieure du foyer et transmission de chaleur en aval à la pierre d'accumulation
- 2 Architecture d'un poêle à accumulation à foyer ouvert basé sur le principe de la combustion montante
- 3 Architecture d'un poêle à accumulation à foyer latéral inférieur, arrivée d'air primaire et secondaire, chambre de post-combustion et cendrier
- 4 Poêle à accumulation à combustion latérale inférieure et chambre de post-combustion

Bei Stückholzkesseln können grössere Holzmen gen in den Füllschacht eingebracht werden als bei Zimmeröfen. Stückholzkessel mit oberem Abbrand weisen deshalb kurzfristig eine hohe Leistung auf und müssen mit einem Wärmespeicher ausgerüstet sein, der einen Teil der Wärmemenge der Holzcharge aufnehmen kann. Die kurzfristige Leistungsfreisetzung hat zur Folge, dass eine grosse Brennkammer erforderlich ist zur Gewährleistung einer ausreichend langen Verweilzeit der Gase.

Beim unteren Abbrand nimmt nur die unterste Schicht des im Füllschacht eingebrachten Brenn stoffs momentan an der Verbrennung teil. Dadurch wird der Abbrand auf eine längere Zeitspanne mit geringerer Leistung ausgedehnt. Der Abbrand kann so bis zu fünf und mehr Stunden betragen. Um einen hohen Bedienungskomfort zu gewährleisten und das Holz mit minimalen Schadstoffemissionen zu nutzen, ist auch bei Kesseln mit unterem Abbrand ein Wärmespeicher notwendig. Da während der langen Abbrandzeit Wärme direkt dem Gebäude zugeführt wird, kann der Speicher jedoch kleiner dimensioniert werden.

Bei einem Heizsystem mit Speicher erfolgt die Beschickung der Feuerung in der kältesten Jahreszeit ein- bis zweimal täglich, während in der Übergangszeit eine Holzfüllung für mehrere Tage ausreicht. Nebst der Heizenergie kann die Stückholzheizung im Winter auch zur Warmwasseraufbereitung eingesetzt werden. Stückholzkessel mit unterem Abbrand verfügen heute über eine ausgereifte Verbrennungstechnik. Im Weiteren erlaubt die Leistungskontrolle mittels Primärluft und die Ausbrandoptimierung mittels Sekundärluft eine wesentlich bessere Regelbarkeit.

Avec des chaudières à bûches, il est possible de charger de plus grandes quantités de bois dans la trémie de remplissage qu'avec des poêles individuels. Les chaudières à bûches à combustion supérieure présentent donc une puissance élevée à court terme et doivent être équipées d'un accumulateur thermique capable d'absorber une certaine partie de la quantité de chaleur produite par la charge de bois. La libération de puissance concentrée sur un bref laps de temps se traduit par la nécessité de disposer d'une grande chambre de combustion afin de garantir une latence suffisamment prolongée des gaz.

Avec une combustion inférieure, seule la couche la plus basse du combustible déposé dans la trémie de remplissage participe momentanément à la combustion. La combustion se prolonge ainsi plus longtemps à une puissance moindre et peut durer jusqu'à cinq heures et plus. Pour garantir un confort de service élevé et utiliser le bois en occasionnant des émissions minimales de substances polluantes, un accumulateur thermique est également nécessaire avec des chaudières à combustion inférieure. Comme de la chaleur est directement transmise au bâtiment durant la longue période de combustion, l'accumulateur peut toutefois être plus faiblement dimensionné.

Avec un système de chauffage doté d'un accumulateur, l'alimentation s'effectue une à deux fois par jour pendant la saison froide, alors qu'un seul remplissage suffit pour plusieurs jours durant la mi-saison. Les chaudières à bûches à combustion inférieure bénéficient aujourd'hui d'une technique de combustion sophistiquée. Le contrôle de la puissance au moyen de l'air primaire et l'optimisation de la combustion au moyen de l'air secondaire permettent en outre de procéder à une régulation de bien meilleure qualité.

Moderne Stückholzkessel verfügen in der Regel über eine Luftzuführung, die mit einem Saugzugventilator unterstützt wird, bei einigen Kesseln kommen auch Zuluftventilatoren zum Einsatz. Der Betrieb mit einem Ventilator bietet den Vorteil, dass ein grösserer Druckverlust im Feuerraum überwunden werden kann. Dies ermöglicht eine Vermischung, die durch Überwindung eines zusätzlichen Druckverlustes mit Einbauten, Umlenkungen oder Verjüngungen unterstützt wird. Im Weiteren bietet ein Ventilator den Vorteil, dass die Feuerung weitgehend unabhängig von den Umgebungsbedingungen (Temperatur, Wind und Luftdruck) betrieben werden kann.

Bei Kesseln mit unterem Abbrand existieren zahlreiche verschiedene Bauarten. Eine Sonderbauform ist der Sturzbrand, bei dem die Gase vertikal unter dem Glutbett austreten. Bei Sturzbrandkesseln ist kein Rost und kein abgetrennter Entschungsraum vorhanden. Feuerungen mit seitlichem unterem Abbrand können demgegenüber mit einem Verbrennungsrost und einem Aschekasten ausgestattet werden.

Abbildung 5 zeigt den Aufbau eines Sturzbrandkessels, der über getrennte Primär- und Sekundärluftzuführung mittels Zuluftventilatoren verfügt. Abbildung 6 zeigt einen Sturzbrandkessel, der mit Lambda-Regelung ausgestattet ist und anstelle von Zuluftventilatoren über ein Saugzuggebläse verfügt. In Abbildung 7 ist der Aufbau eines Stückholzkessels mit seitlichem unterem Abbrand dargestellt, Abbildung 8 zeigt ein Bild des gleichen Kesseltyps. Dieser Kessel verfügt über eine Entschungs-schublade sowie einen Saugzugventilator. Primär- und Sekundärluft werden über getrennt angesteuerte Zuluftklappen geregelt. Abbildung 9 zeigt einen modernen Zentralheizungsherd, der im Winter als Heizkessel und Kochherd mit unterem Abbrand betrieben werden kann. Für den reinen Kochbetrieb im Sommer kann er mit einer reduzierten Holzmenge als Durchbrandfeuerung eingesetzt werden.

En règle générale, les chaudières à bûches modernes disposent d'une arrivée d'air assistée par un ventilateur de tirage par aspiration; quelques chaudières sont également équipées d'un ventilateur refoulant. L'exploitation d'une chaudière assistée par un ventilateur présente l'avantage de pouvoir surmonter une plus grande perte de pression dans le foyer, ce qui permet de réaliser un mélange lui-même assisté en surmontant une perte de pression supplémentaire au moyen d'encastres, chicanes et réductions. Un ventilateur présente par ailleurs l'avantage que la combustion peut s'effectuer d'une manière très indépendante des conditions environnantes (température, vent et pression atmosphérique).

Les chaudières à combustion inférieure peuvent adopter de nombreuses architectures différentes. Une forme particulière d'architecture correspond à celle de la combustion descendante avec laquelle les gaz passent verticalement sous le lit de braises. Les chaudières à combustion descendante ne comportent pas de grille et pas de compartiment séparé d'évacuation des cendres. Des installations à combustion latérale inférieure peuvent par contre s'équiper d'une grille de combustion et d'un cendrier.

L'illustration 5 présente l'architecture d'une chaudière à combustion descendante disposant d'arrivées d'air primaire et secondaire séparées et équipées de ventilateurs refoulants. L'illustration 6 présente une chaudière à combustion descendante équipée d'une régulation lambda et d'un ventilateur de tirage par aspiration en lieu et place de ventilateurs refoulants. L'illustration 7 présente l'architecture d'une chaudière à bûches à combustion latérale inférieure. L'illustration 8 présente le dessin d'un même type de chaudière. Cette chaudière dispose d'un tiroir d'évacuation des cendres et d'un ventilateur de tirage par aspiration. L'air primaire et l'air secondaire sont régulés par des clapets d'admission commandés séparément. L'illustration 9 présente une cuisinière moderne de chauffage central qui peut s'utiliser comme chaudière et cuisinière à combustion inférieure en hiver. Pour assurer un pur service de cuisson en été, la cuisinière peut s'utiliser comme installation à combustion descendante avec une quantité réduite de bois.

**Abbildung 5**  
Sturzbrandkessel  
1 Primärluftzufuhr  
2 Füllschacht  
3 Glutbett mit Vergasungszone  
4 Sekundärluftzufuhr  
5 Nachbrennkammer  
6 Wärmetauscher  
7 Abgas

**Illustration 5**  
Chaudière à combustion descendante  
1 Arrivée d'air primaire  
2 Trémie de remplissage  
3 Lit de braises avec zone de gazéification  
4 Arrivée d'air secondaire  
5 Chambre de post-combustion  
6 Echangeur de chaleur  
7 Evacuation des gaz brûlés

**Abbildung 6**  
Stückholzkessel mit Sturzbrand und Lambda-Regelung

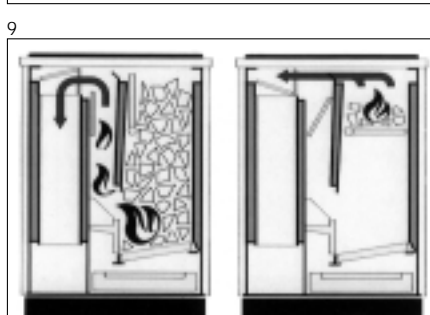
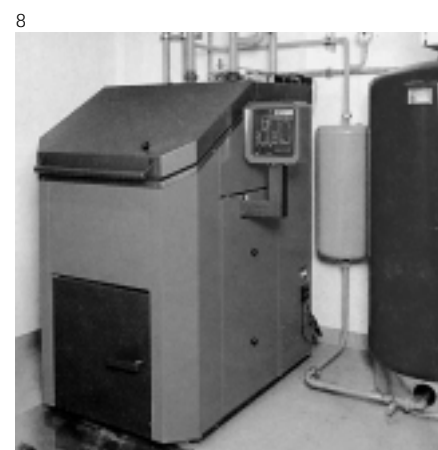
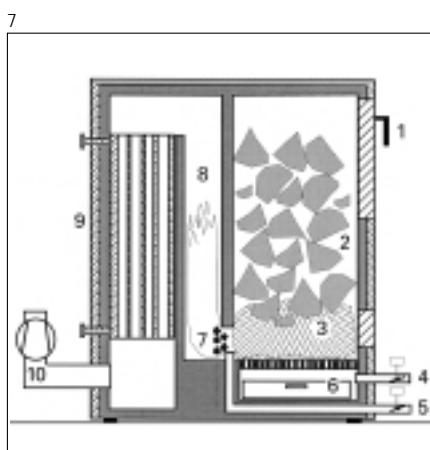
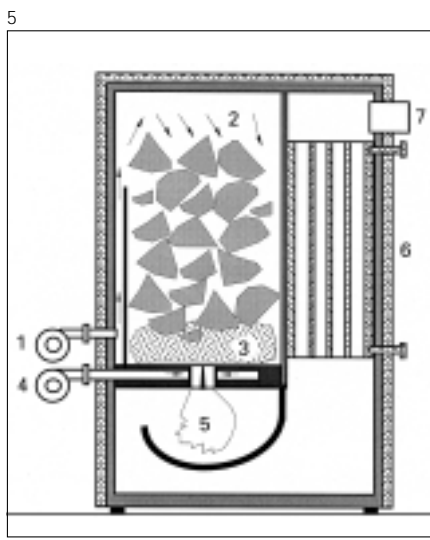
**Illustration 6**  
Chaudière à bûches à combustion descendante et régulation lambda

**Abbildung 7**  
Stückholzkessel mit seitlichem unterem Abbrand  
1 Fülltüre  
2 Füllschacht  
3 Glutbett mit Vergasungszone  
4 Primärluftzufuhr  
5 Sekundärluftzufuhr  
6 Ascheschublade  
7 Turbulenzeinrichtung  
8 Nachbrennkammer  
9 Wärmetauscher  
10 Abgasventilator

**Illustration 7**  
Chaudière à bûches à combustion latérale inférieure  
1 Porte de remplissage  
2 Trémie de remplissage  
3 Lit de braises avec zone de gazéification  
4 Arrivée d'air primaire  
5 Arrivée d'air secondaire  
6 Cendrier  
7 Equipement pour turbulences  
8 Chambre de post-combustion  
9 Echangeur de chaleur  
10 Ventilateur d'évacuation des gaz brûlés

**Abbildung 8**  
Stückholzkessel mit seitlichem unterem Abbrand

**Illustration 8**  
Chaudière à bûches à combustion latérale inférieure



**Abbildung 9**  
Moderner Zentralheizungsherd mit unterem Abbrand  
Links: Winterbetrieb zum Kochen und Heizen  
Rechts: Sommerbetrieb nur Kochen

**Illustration 9**  
Cuisinière moderne de chauffage central à combustion inférieure  
A gauche: service hivernal de cuisson et de chauffage  
A droite: service estival de cuisson exclusive-ment

## Regelung

Bei handbeschickten Holzfeuerungen erfolgt die Brennstoffzufuhr manuell. Je nach Grösse des Füllraums werden Chargen mit unterschiedlicher Brenndauer verbrannt. Der Abbrand einer Charge weist die drei Phasen Anfahrphase, stationäre Phase mit annähernd konstanter Leistung und Ausbrandphase auf. In der Anfahr- und Ausbrandphase kann die Feuerung erhöhte Emissionen aufweisen, weshalb diese Phasen durch geeignetes Anfeuern und sachgemässen Betrieb möglichst kurz gehalten werden müssen.

Bei Feuerungen mit getrennter Primär- und Sekundärluft können die Primär- und die Sekundärluftmenge als Stellgrössen für die Leistungs- und Verbrennungsregelung verwendet werden. Mit der Primärluft wird die Vergasungsrate und damit die Leistung in einem Bereich von 100 % bis auf rund 50 % beeinflusst, während mit der Sekundärluft der vollständige Ausbrand der brennbaren Gase kontrolliert wird. Die wichtigsten Regelkonzepte von handbeschickten Holzfeuerungen haben folgende Zwecke:

- Beeinflussung der Feuerungsleistung, in der Regel zur Erzielung langer Abbrandzeiten
- Optimieren der Verbrennungsbedingungen während der drei Abbrandphasen
- Bei Systemen mit Speicher: integrierte Speicherbewirtschaftung mit Restwärmenutzung

Zur Optimierung der Verbrennungsbedingungen wird im einfachsten Fall die Abgastemperatur als Regelgrösse verwendet, um die Verbrennungsluftmenge oder das Verhältnis von Primär- und Sekundärluft dem Abbrand anzupassen. Bei aufwendigeren Regelkonzepten werden auch Flammtemperaturmessung, Lambda-Sonde oder CO-Sensoren verwendet. Für solche Regelungen kann auch Fuzzy-Technologie eingesetzt werden. Bei Systemen mit Speicher wird die Feuerungsleistung des Holzkessels je nach Ladezustand des Speichers verändert. Die wichtigsten sicherheitstechnischen Funktionen bei handbeschickten Feuerungen umfassen das kontrollierte Öffnen des Beschiebungsrums zur Verhinderung austretender Gase (zum Beispiel durch Kontaktschalter und Ansteuerung des Saugzugventilators) sowie eine thermische Ablaufsicherung des Kessels bei geschlossenen hydraulischen Systemen.

## Brennstoff

Bei allen handbeschickten Holzfeuerungen ist im täglichen Gebrauch zu beachten, dass nur naturbelassenes, trockenes Brennholz verbrannt wird. Erlaubt sind zudem Holzbriketts, sofern sie bindemittelfrei sind und keine Verunreinigungen enthalten. Die Verbrennung von Spanplatten, behandeltem Holz, Holz mit Farben oder Lacken sowie brennbaren Abfällen in handbeschickten Holzfeuerungen ist verboten. Die unerlaubte Verbrennung solcher Brennstoffe in handbeschickten Feuerungen oder offenen Feuern führt zu hohen Emissionen und giftigen Ascherückständen, die bei Ausbringung der Asche im Garten zu einer Vergiftung des Bodens und der darauf angebauten Nahrungsmittel führt. Daneben wird auch die Lebensdauer der Feuerung verkürzt, da die freigesetzten Säuren Brennkammer, Wärmetauscher und Kamin angreifen.

Die zulässigen Brennstoffe sind durch die Luftreinhalte-Verordnung geregelt. Deren Vollzug obliegt den Kantonen, die eine entsprechende Stelle mit der Kontrolle beauftragen können. Die Verwendung unerlaubter Brennstoffe in handbeschickten Holzfeuerungen kann durch Untersuchung der Ascherückstände in einem Asche-Schnelltest nachgewiesen werden. Der Asche-Schnelltest kann zum Beispiel vom Kaminfeger bei der periodischen Kontrolle durchgeführt oder bei Nachbarschaftsklagen infolge Geruchsbelästigung veranlasst werden.

## Typenprüfung und Gütezeichen

Zur Sicherstellung einer hohen Qualität für neue Holzkessel und Holzöfen kommt eine freiwillige Typenprüfung der Schweizerischen Vereinigung für Holzenergie (VHe) zur Anwendung. Geprüft werden Anforderungen bezüglich Emissionen und Wirkungsgrad, die sich auf die Luftreinhalte-Verordnung und europäische Normen abstützen. Die feuerungstechnische Prüfung wird von einer akkreditierten Prüfstelle wie der EMPA durchgeführt. Im Weiteren sind Anforderungen bezüglich Sicherheit und Bedienungsanleitung einzuhalten. Die Vergabe der Typenprüfung wird mit dem VHe-Gütezeichen gekennzeichnet (Abbildung 10).

Der Einsatz typengeprüfter Feuerungen gewährleistet einen hohen Qualitätsstandard bezüglich Verbrennungstechnik und Bedienungskomfort. In einigen Kantonen wird der Einsatz typengeprüfter Holzheizungen auch finanziell unterstützt. Die aktuelle Liste der erfolgreich geprüften Holzfeuerungen ist bei der VHe erhältlich.



Abbildung 10  
Gütesiegel für typengeprüfte Stückholzkessel nach freiwilliger Typenprüfung der Schweizerischen Vereinigung für Holzenergie (VHe)

### Illustration 10

Label de qualité pour chaudière à bûches homologuée selon procédure d'homologation volontaire de l'Association suisse pour l'énergie du bois (ASEB)

## Régulation

Comme leur dénomination l'indique, le chargement d'installations de chauffage à alimentation manuelle s'effectue à la main. En fonction de l'importance du volume de remplissage, on fait brûler des charges de durée différente. La combustion d'une charge s'opère conformément aux trois phases successives d'allumage, de séquence stationnaire à puissance approximativement constante et de combustion. Les phases d'allumage et de combustion peuvent engendrer des émissions accrues, raison pour laquelle il convient de les abréger au maximum moyennant des mesures appropriées.

Avec des installations de chauffage à circuits d'air primaire et secondaire séparés, la quantité d'air primaire et la quantité d'air secondaire peuvent s'utiliser comme variables réglantes pour la régulation de la puissance et de la combustion. L'air primaire permet de faire varier le taux de gazéification et donc la puissance dans une plage de 100 % à 50 % environ, alors que l'air secondaire permet de contrôler la combustion intégrale des gaz combustibles. Les principaux concepts de régulation relatifs à des installations de chauffage au bois à alimentation manuelle visent les objectifs suivants:

- Influence sur la puissance de combustion, en règle générale pour parvenir à de plus longues durées de combustion
- Optimisation des conditions de combustion pendant les trois phases de celle-ci
- Pour les systèmes avec accumulateur: gestion intégrée de l'accumulateur avec exploitation de la chaleur résiduelle

Dans le cas le plus simple, on utilise la température des gaz brûlés comme variable commandée pour optimiser les conditions de combustion et adapter la quantité d'air comburant ou le rapport d'air primaire et d'air secondaire à la combustion. Des concepts de régulation plus onéreux peuvent également se baser sur la mesure de la température des flammes, une sonde lambda ou des capteurs CO. De pareilles régulations peuvent aussi avoir recours à la technologie «fuzzy». Pour des systèmes avec accumulateur, la puissance de combustion de la chaudière à bois varie en fonction de l'état de charge de l'accumulateur.

Avec des installations de chauffage au bois à alimentation manuelle, les principales fonctions techniques de sécurité comprennent l'ouverture dûment contrôlée de la trémie de chargement pour éviter l'échappement de gaz (par exemple moyennant un interrupteur de contact et une commande du ventilateur de tirage à aspiration) ainsi qu'une sécurité thermique contre l'écoulement sur la chaudière pour des systèmes hydrauliques à circuit fermé.

## Combustible

Avec toutes les installations de chauffage au bois à alimentation manuelle, on veillera systématiquement à n'utiliser que du bois de feu sec à l'état naturel. On peut en outre utiliser des briquettes de bois pour autant qu'elles ne contiennent pas de liants, d'impuretés et de corps étrangers. Il est interdit de faire brûler des panneaux de particules, du bois traité, du bois muni d'une couche de peinture ou de vernis ainsi que des déchets de bois combustibles dans des installations à alimentation manuelle. La combustion de pareils combustibles prohibés dans des installations de chauffage à alimentation manuelle ou des foyers ouverts entraîne des émissions excessives et des résidus toxiques cendreaux qui, s'ils sont charriés dans un jardin, provoquent un empoisonnement du sol et des denrées alimentaires cultivées sur celui-ci. Simultanément, la longévité de l'installation de chauffage est également réduite, car les acides libérés attaquent la chambre de combustion, l'échangeur de chaleur et le conduit de fumée.

L'Ordonnance sur la protection de l'air (Opair) donne la liste des combustibles autorisés. Son application relève de la compétence des cantons qui peuvent déléguer son contrôle à un office spécialisé. L'utilisation de combustibles prohibés dans des installations de chauffage au bois à alimentation manuelle peut être décelée par analyse des résidus cendreaux dans le cadre d'un test rapide des cendres. Ce test peut par exemple être exécuté par le ramoneur lors des contrôles périodiques ou réclamé sur plainte du voisinage consécutivement à des nuisances nauséabondes.

## Homologation et label de qualité

Pour garantir la qualité élevée de nouvelles chaudières à bois et de nouveaux poêles à bois, on a recours à la procédure d'homologation volontaire de l'Association suisse pour l'énergie du bois (ASEB). On examine en l'occurrence les exigences requises en matière d'émissions et de rendement, exigences qui s'appuient sur l'ordonnance sur la protection de l'air ainsi que les normes européennes. L'analyse technique est exécutée par un institut d'essai accrédité tel que l'EMPA. Il convient en outre de respecter des exigences concernant la sécurité et les instructions de service ou le mode d'emploi. L'homologation est attestée par l'attribution du label de qualité ASEB (illustration 10).

L'utilisation d'installations de chauffage homologuées garantit un standard de qualité élevé sur le plan de la technique de combustion et du confort de service. Dans quelques cantons, l'utilisation d'installations de chauffage au bois fait également l'objet de subsides financiers. La liste actuelle des installations de chauffage au bois dûment homologuées peut s'obtenir auprès de l'ASEB.

## Pelletheizungen

Nebst handbeschildeten Holzfeuerungen gewinnt der Einsatz von Pellets in Kaminöfen (Abbildung 11) und Zentralheizungskesseln (Abbildung 12) zunehmend an Bedeutung. Der Einsatz von pneumatischen Fördersystemen erlaubt bei Bedarf eine räumliche Trennung von Pelletlager und Heizung (Abbildung 13).

Pelletfeuerungen ermöglichen einen weitgehend automatisierten Betrieb. Durch die Homogenisierung des Brennstoffs zu einem förderfähigen Granulat mit konstantem Heizwert erreichen sie eine sehr emissionsarme Verbrennung. Im Weiteren ist eine Verwendung von ungeeignetem Brennstoff weitgehend ausgeschlossen. Der Einsatz grösserer automatischer Holzfeuerungen für Holzschnitzel und andere Brennstoffe wird in einem Folgebeitrag separat behandelt.

11

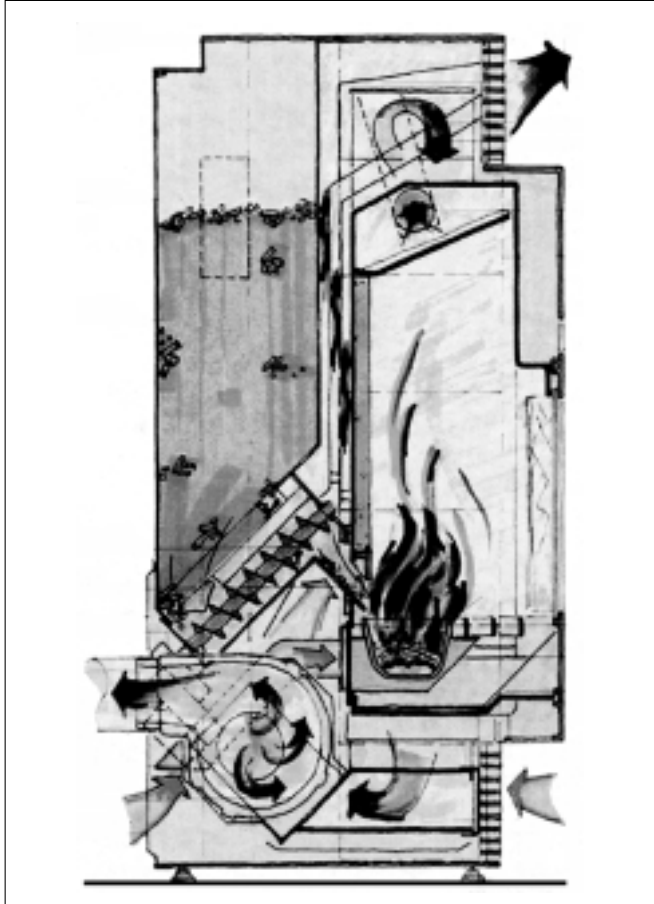
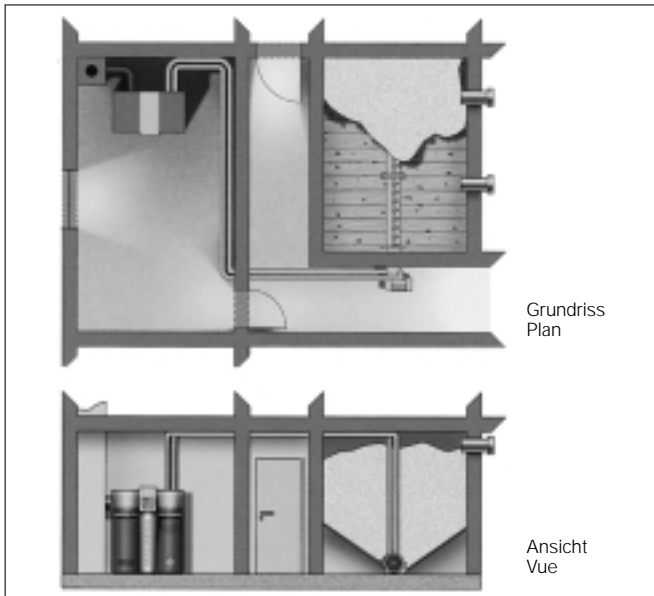


Abbildung 11  
Moderner Pelletofen

Illustration 11  
Poêle moderne à granulés de bois

13



Grundriss  
Plan

Ansicht  
Vue

## Installations de chauffage à granulés de bois

A côté des installations de chauffage au bois à alimentation manuelle, l'utilisation de granulés de bois dans des poêles-cheminées (illustration 11) et des chaudières de chauffage central (illustration 12) prend de plus en plus d'importance. Au besoin, l'utilisation de systèmes pneumatiques de transport permet de dissocier le stock de granulés de bois et la chaufferie (illustration 13).

Les installations de chauffage à granulés de bois se prêtent à une exploitation très largement automatisée. Par homogénéisation du combustible en granulés de pouvoir calorifique constant aptes au transport, on parvient à réaliser une combustion à émissions très réduites. Par ailleurs, l'utilisation d'un combustible inapproprié est en l'occurrence pratiquement exclue.

L'utilisation d'importantes installations automatiques de chauffage pour plaquettes de bois et autres combustibles sera traitée séparément dans un article à paraître.

12

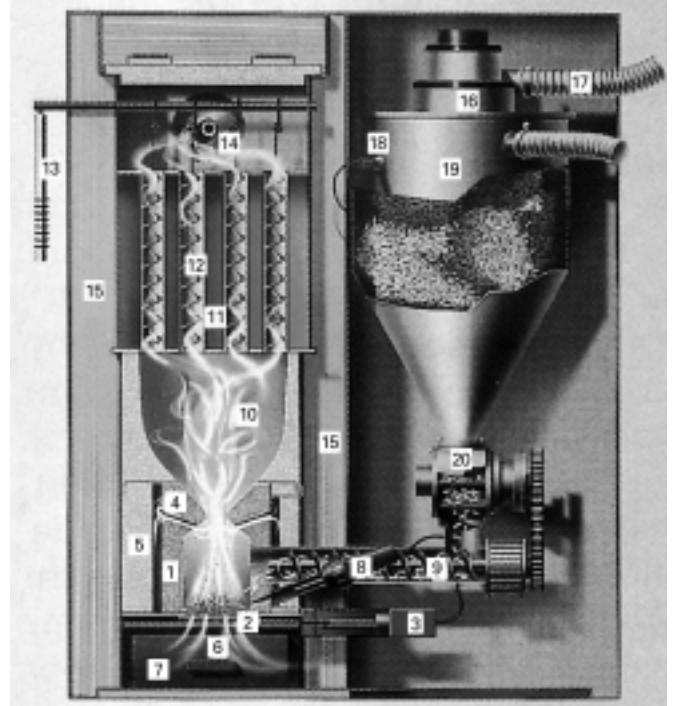


Abbildung 12  
Aufbau eines Pelletkessels mit integriertem Zwischensilo

- 1 Schamottierte Brennkammer
- 2 Schieberrost
- 3 Motor für Rostantrieb
- 4 Sekundärluft in Einlasskanälen
- 5 Hochtemperatur-Isolierplatten
- 6 Primärluft
- 7 Aschelade
- 8 Automatische Zündung
- 9 Einbringschnecke
- 10 Zirkulationszone
- 11 Wärmetauscher
- 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.

Abbildung 13

Anordnung von Pelletsilo und -kessel. Das Saugsystem nimmt die Pellets am Ende der Austragschnecke des Silos auf und fördert sie pneumatisch in den Vorratsbehälter bei der Pelletfeuerung. Der Lagerraum muss nicht direkt neben dem Heizraum sein, da ein Transport über mehr als 20 Meter Schlauchlänge möglich ist.

Illustration 12  
Architecture d'une chaudière à granulés de bois avec silo intermédiaire intégré

- 1 Chambre de combustion à revêtement réfractaire
- 2 Grille coulissante
- 3 Moteur d'entraînement de la grille
- 4 Air secondaire dans canaux 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 Echangeur de chaleur
- 12 Turbulateurs
- 13 Levier de nettoyage
- 14 Ventilateur de tirage par aspiration
- 15 Isolation
- 16 Aspiro-ventilateur pour convoyage des granulés de bois
- 17 Circuit fermé d'aspiration pour granulés de bois
- 18 Indicateur de niveau de remplissage
- 19 Réservoir à cyclone
- 20 Sas de dosage à roue cellulaire

Illustration 13

Disposition du silo et de la chaudière à granulés de bois. Le système d'aspiration prélève les granulés de bois à l'extrémité de la vis sans fin du silo et les entraîne pneumatiquement dans le réservoir placé à côté de l'installation de chauffage. Le local de stockage ne doit pas forcément se situer directement à côté de la chaufferie, car un transport est réalisable avec un flexible de plus de 20 mètres de longueur.

## Literatur/bibliographie

Gaegauf, Ch.; Salerno, B.: *Das Abbrandverhalten von Klein-Holzfeuerungen*, Bundesamt für Energie, Bern 1991

Good, J.; Nussbaumer, Th.: *Regelung einer Stückholzfeuerung mit unterem Abbrand*, Bundesamt für Energie, Bern 1993

Kerschbaumer, D.: *Regelung einer Stückholzfeuerung*, Diss. Universität Neuenburg 1990

Nussbaumer, Th.: *Schadstoffbildung bei der Verbrennung von Holz*, Diss. ETH Nr. 8838, Zürich 1989

Nussbaumer, Th.: Grundlagen der Holzverbrennung, *Wärmetechnik Versorgungstechnik*, 4 1999, 47–52

Nussbaumer, Th.; Gaegauf, Ch.; Völlmin, Ch.: 3. Kolloquium Klein-Holzfeuerungen, 20.11.98 Schmelzihof Klus, Bundesamt für Energie, Bern

Nussbaumer, Th.; Good, J.: Messtechnik für Ofenbauer, *K&L Magazin*, 2 1996, 23–30

Salzmann, R.; Meuli, M.; Good, J. und Nussbaumer, Th.: Einsatz von CO-Sensoren zur Verbrennungsregelung, *Heizung Klima*, 5 1998, 60–62

## Bildquellen:

1: Attika Feuer, 2, 3, 5, 7: Verenum, 4: Chiquet, 6: Liebi, 8: Schmid, 9: Tiba, 10: VHe, 11: Wodtke, 12, 13: Hargassner

## Source des illustrations:

1: Attika Feuer, 2, 3, 5, 7: Verenum, 4: Chiquet, 6: Liebi, 8: Schmid, 9: Tiba, 10: ASEB, 11: Wodtke, 12, 13: Hargassner