

Wie umweltverträglich sind Holzfeuerungen?

von Martin Dehli

E-Mail: Martin.Dehli@energie-fakten.de

Hier die Fakten – vereinfachte Kurzfassung

Angesichts stark gestiegener Preise für leichtes Heizöl und Erdgas gewinnt Holz als erneuerbarer Energieträger wieder an Bedeutung – vor allem für die Wärmeerzeugung. Holzfeuerungen werden von kleinen handbeschickten Zimmeröfen bis zu automatisch beschickten Großanlagen angeboten. Waldholz, Restholz, Altholz, Rinde und andere Holzbrennstoffe werden in größeren Kesseln z. B. in Form von Rundholz, Stückholz und Holzhackschnitzeln genutzt, wobei nicht nur Wärme, sondern in Heizkraftwerken auch Strom und Wärme gekoppelt erzeugt werden kann. Daneben hat sich ein Markt für kleinere Holzkessel und Holzöfen für die Gebäude-Wärmeversorgung entwickelt, in denen häufig Holzpellets verfeuert werden. Im Jahr 2008 wurden in Deutschland bereits 100.000 Pelletkessel betrieben. Es gibt auch kleinere Kessel und Öfen für Stückholz (Scheitholz).

2008 wurde in Deutschland Holz im Umfang von umgerechnet rund 10,1 Millionen Tonnen Steinkohleeinheiten (Mio. t SKE) für die Wärmeversorgung eingesetzt; damit wurden – nicht bzw. kaum subventioniert – etwa 2,1 % der Primärenergieversorgung gedeckt; dies ist angesichts teilweise sehr hoher Subventionen z. B. für Windenergie, Sonnenenergie und Biogas bzw. Bioerdgas zur Stromerzeugung hervorzuheben.

Verschiedene Hölzer unterscheiden sich im vollständig trockenen und aschefreien Zustand nur geringfügig: Diese bestehen im Mittel zu 50 Gewichtsprozent aus Kohlenstoff (chemisches Kurzzeichen C), zu 6 Gewichtsprozent aus Wasserstoff (H) und zu 44 Gewichtsprozent aus Sauerstoff (O). Unterschiede der Brennstoffeigenschaften betreffen den Wasser-, Mineralstoff- und Stickstoffgehalt. Der Wassergehalt bestimmt maßgeblich den Energiegehalt – also den Heizwert. Der Wassergehalt kann weniger als 10 Gewichtsprozent (lufttrockenes Holz) bis über 50 Gewichtsprozent (Rinde oder Waldhackschnitzel ohne Vortrocknung) betragen. Bei lufttrockenem Holz liegt der Heizwert durchschnittlich bei etwa 4,3 bis 5 Kilowattstunden Wärmeenergie je Kilogramm. Der Mineralstoffgehalt beeinflusst die anfallenden Aschemengen, deren Verschlackungsneigung sowie die Partikel- und Aerosolemmissionen, während der Stickstoffgehalt für den Stickoxidausstoß von Bedeutung ist.

Holz ist ein Festbrennstoff mit hohem Gehalt an flüchtigen Bestandteilen. Wird Holz ohne Sauerstoff (O_2) bzw. Luftzufuhr erwärmt, werden rund 80 % bis 90 % Gewichtsprozent der trockenen Holzmasse als Gase freigesetzt, nämlich als Kohlenmonoxid (CO), Wasserstoff (H_2) und Kohlenwasser-

stoffe (C_nH_m). In einer Feuerungsanlage müssen diese Gase vollständig verbrannt werden, da sie sonst als Schadgase in die Umwelt gelangen; dabei werden zwei Drittel des Heizwerts frei. Da die Gase in einer langen Flamme schnell ausbrennen, wird Holz als langflammiger Brennstoff bezeichnet. Die zurückgebliebene Holzkohle im Glutbett brennt dagegen langsam mit geringer Flammenbildung ab, wobei die Holzkohle durch Vergasung mit Sauerstoff, Wasserdampf und Kohlendioxid (CO_2) vorher u.a. zu Kohlenmonoxid umgesetzt wird; dabei wird das restliche Drittel des Heizwerts frei.

Unvollständig verbrannte Stoffe (Schadstoffe), also Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffe (C_nH_m), Teer, Ruß und unverbrannte Partikel, lassen sich durch eine geeignete nachgeschaltete Verbrennung vermeiden; dafür sind eine ausreichend hohe Temperatur, genügend Sauerstoff (O_2) sowie eine gute Vermischung der Gase mit der Verbrennungsluft notwendig. Die Erzielung einer hohen Temperatur ist dann schwierig, wenn Holz mit hohem Wassergehalt verbrannt wird.

Weil Holz einen hohen Gehalt an flüchtigen Bestandteilen aufweist und die Gase sowie der feste Kohlenstoff getrennt oxidieren, wird im Hinblick auf einen vollständigen Ausbrand die Verbrennungsluft in Primär- und Sekundärluft aufgeteilt. Die

Primärluft wird für die Vergasung benötigt, während die Sekundärluft den Ausbrand der Gase unterstützt. Für eine vollständige Verbrennung ist in der Praxis Luft im Überschuss nötig. Ist die Luftzufuhr andererseits viel zu hoch, so wird die Flamme durch die unnötig zugeführte Luft gekühlt, so dass die Verbrennung infolge zu niedriger Temperatur ebenfalls unvollständig wird. Da die richtige Zufuhr und das richtige Ausmaß von Primär- und Sekundärluft entscheidend sind, verfügen moderne Feuerungsanlagen über Regelsysteme hierfür. Damit ist ein Betrieb mit etwa der 1,5-fachen Luftmenge, die für die vollständige Verbrennung mindestens notwendig ist, möglich; dabei entsteht nur wenig Kohlenmonoxid.

Die Begrenzung von Stickoxidemissionen NO_x (NO und NO_2) ist wichtig. Quelle des Stickstoffs sind der Stickstoff der Luft sowie der im Brennstoff gebundene Stickstoff. Bei der Verbrennung von Holz werden Stickoxide vor allem aus dem Brennstoffstickstoff gebildet; die Stickoxidemissionen sind deshalb höher als bei Öl- und Gasfeuerungen. Sofern im Brennstoff Chlor, Schwefel u. ä. enthalten sind, können zusätzliche Schadstoffe gebildet werden.

Partikel- und Aerosolemissionen treten als Folge einer unvollständigen Umsetzung des Brennstoffs und als Flugaschepartikel aus den mineralischen Bestandteilen auf. Auf den Oberflächen von Partikeln können zudem unverbrannte Kohlenwasserstoffe angelagert sein, weshalb Aerosole toxikologisch relevant und die lungengängigen Aerosole mit einer Größe von unter 0,001 mm von Bedeutung sind.

Bei der Wohngebäude-Wärmeversorgung mit Holz haben sich Pelletfeuerungen durchgesetzt. Sie ermöglichen eine automatisierte Heizung mit Holz für Leistungen zwischen etwa 2 kW und 500 kW mit niedrigen Emissionen und hohem Wirkungsgrad. Holzpellets sind zylinderförmige kleine Presslinge. Den Rohstoff für Pellets bildet naturbelassenes Holz (Restholz wie Sägemehl, Hobelspäne u. ä. sowie Holzhackschnitzel und Rundholz). Pellets sind trocken, bindemittelfrei, enthalten wenig Schwefel und Asche und sind rieselfähig. Der Energieinhalt von 1 kg Pellets entspricht rund 0,5 Litern Heizöl. Das Lagervolumen ist dreimal so groß wie von Heizöl und ein Drittel so groß wie von Holzhackschnitzeln (Angaben jeweils auf den Heizwert bezogen).

Die Anschaffung einer Pelletheizung mit Brennstoffsilo ist gegenüber einer Ölheizung mit Tankanlage rund 15 bis 25 % teurer. Die Brennstoffkosten sind abhängig von der Liefermenge; sie betragen für lose Ware im Jahr 2009 etwa 215 bis 230 Euro/t; heizwertbezogen waren dies etwa 60 bis 70 % der Kosten für leichtes Heizöl.

Bei richtiger Konstruktion und gutem Betrieb weisen Pelletfeuerungen niedrige Emissionen an Schadstoffen aus unvollständiger Verbrennung (an Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffen und unverbranntem Kohlenstoff) auf. Bei vollständiger Verbrennung sind als Schadstoffe die Stickoxide und die Staubemissionen entscheidend. Die Emission von Schwermetallen oder weiteren Verunreinigungen im Brennstoff wird bei Pellets durch eine Qualitätssicherung vermieden. Bei einwandfreiem Betrieb weisen Pelletkessel typischerweise Emissionen an Kohlenmonoxid von 20 bis 200, an Stickoxiden von 80 bis 120, an Staub von 20 bis 75 Milligramm je Normkubikmeter Abgas auf; der feuerungstechnische Wirkungsgrad beträgt zwischen 88 und 94 Prozent.

Wie umweltverträglich sind Holzfeuerungen?

von Martin Dehli

E-Mail: Martin.Dehli@energie-fakten.de

Hier die Fakten – Langfassung

Energieholz aus dem Wald und aus der Holzverarbeitung sowie Altholz können zu einer nachhaltigen Energieversorgung beitragen. Angesichts stark gestiegener Preise für leichtes Heizöl und Erdgas gewinnt Holz als erneuerbarer Energieträger wieder zunehmend an Bedeutung. Obwohl inzwischen auch die Erzeugung von Strom und Treibstoff aus Holz und anderen biogenen Energieträgern von Interesse ist, kommt vor allem der Wärmeerzeugung Bedeutung zu. Holzfeuerungen werden dazu im Leistungsbereich von kleinen handbeschickten Zimmeröfen bis zu automatisch beschickten Großanlagen angeboten.

Waldholz, Restholz, Altholz, Rinde und andere Holzbrennstoffe werden in größeren Kesseln z. B. in Form von Rundholz, Stückholz und Holzhackschnitzeln genutzt, wobei nicht nur Wärme, sondern in Heizkraftwerken auch Strom und Wärme gekoppelt erzeugt werden. Daneben hat sich ein Markt für kleinere Holzkessel für die Gebäude-Wärmeversorgung entwickelt. In diesem Marktsegment wurden im Jahr 2008 in Deutschland bereits 100.000 – vor allem kleinere – Holzkessel zum Heizen und zur Trinkwassererwärmung betrieben, die mit schätzungsweise rund 650.000 Tonnen Qualitäts-Holzpresslingen (Holzpellets) befeuert wurden. Es gibt auch Feuerungen für Industrie-Pellets (Jahresverbrauch 2008: etwa 260.000

Tonnen), für Stückholz (Scheitholz) und andere Holzbrennstoffe.

Insgesamt wurde 2008 in Deutschland Holz im energetischen Umfang von umgerechnet rund 10,1 Millionen Tonnen Steinkohleeinheiten (Mio. t SKE) für die Wärmeversorgung eingesetzt; damit konnten etwa 2,1 % der Primärenergieversorgung gedeckt werden. Im Wärmemarkt stellen die Holzfeuerungen – vor den elektrischen Wärmepumpen und den thermischen Solarkollektoren – die bedeutendste Technik zur Nutzung erneuerbarer Energien für die Wärmeversorgung dar. Die energetische Verwendung von Holz wird kaum subventioniert; dies ist angesichts teilweise sehr hoher Subventionen z. B. für die Nutzung von Windenergie, Sonnenenergie und Biogas bzw. Bioerdgas zur Stromerzeugung hervorzuheben.

Holz als Brennstoff

Die Zusammensetzung verschiedener Hölzer unterscheidet sich im vollständig trockenen und aschefreien Zustand nur geringfügig: Diese bestehen im Mittel zu 50 Gewichtsprozent aus Kohlenstoff (chemisches Kurzzeichen C), zu 6 Gewichtsprozent aus Wasserstoff (H) und zu 44 Gewichtsprozent aus Sauerstoff (O). Wichtige Unterschiede der Brennstoffeigenschaften betreffen den Wasser-, Mineralstoff- und Stickstoffgehalt. Der Wassergehalt bestimmt maßgeblich

den Energiegehalt – also den Heizwert. Der Wassergehalt kann weniger als 10 Gewichtsprozent (lufttrockenes Holz) bis über 50 Gewichtsprozent (Rinde oder Waldhackschnitzel ohne Vortrocknung) betragen. Bei lufttrockenem Holz liegt der Heizwert durchschnittlich bei etwa 4,3 bis 5 Kilowattstunden Wärmeenergie je Kilogramm. Zum Vergleich: Der Heizwert von Steinkohle beträgt etwas mehr als 8 Kilowattstunden je Kilogramm, der von leichtem Heizöl rund 10 Kilowattstunden je Liter und der von Erdgas H etwa 10 Kilowattstunden je Normkubikmeter. Der Gehalt an Mineralstoffen beeinflusst die anfallenden Aschemengen, die Verschlackungsneigung der Asche sowie die Partikel- und Aerosolemmissionen, während der Stickstoffgehalt für den Stickoxidausstoß von Bedeutung ist.

Teilprozesse der Holzverbrennung

Holz ist ein Festbrennstoff mit hohem Gehalt an flüchtigen Bestandteilen. Wird Holz ohne Sauerstoff- (O_2) bzw. Luftzufuhr erwärmt, werden rund 80 % bis 90 % Gewichtsprozent der trockenen Holzmasse als Gase freigesetzt, nämlich als Kohlenmonoxid (CO), Wasserstoff (H_2) und Kohlenwasserstoffe (C_nH_m). In einer Feuerungsanlage müssen diese Gase in der Brennkammer vollständig verbrannt werden, da sie sonst als Schad-

LANGFASSUNG

gase in die Umwelt gelangen; dabei werden etwa zwei Drittel des Heizwerts frei. Da die Gase in einer langen Flamme schnell ausbrennen, wird Holz als langflammiger Brennstoff bezeichnet. Die zurückgebliebene Holzkohle im Glutbett brennt dagegen langsam und mit geringer Flammenbildung ab, wobei die Holzkohle zuvor durch Vergasung mit Sauerstoff (O_2), Wasserdampf (H_2O) und Kohlendioxid (CO_2) vor allem zu Kohlenmonoxid (CO) umgesetzt wird; dabei wird das restliche Drittel des Heizwerts freigesetzt.

Bei der Verbrennung von Holz lassen sich die folgenden Teilschritte unterscheiden:

- Erwärmung des Brennstoffs durch Rückstrahlung von Flamme, Glutbett und Feuerraumwänden
- Trocknung des Brennstoffs durch Verdampfung und Abtransport des Wassers (H_2O) (ab 100 °C)
- Zersetzung des Holzes (ab 250 °C)
- Vergasung des Holzes mit Sauerstoff der Verbrennungsluft zu Gasen und festem Kohlenstoff (C) (ab 250 °C)
- Vergasung des festen Kohlenstoffs C mit Kohlendioxid (CO_2), Wasserdampf (H_2O) und Sauerstoff (O_2) (ab 500 °C)
- Oxidation der brennbaren Gase zu Kohlendioxid (CO_2) und Wasser (H_2O) bei Temperaturen von 700 °C bis 1500 °C (real) bzw. maximal rund 2000 °C (theoretisch)
- Wärmeabgabe der Flamme an die umgebenden Feuerraumwände und den neu zugeführten Brennstoff

Schadstoffemissionen

Die Schadstoffbildung aus der Holzverbrennung hängt von der Brennstoffzusammensetzung und den Verbrennungsbedingungen ab. Da Holzbrennstoffe zuerst vergasen (unvollständige Verbrennung) und die Gase in einer Gasflamme ausbrennen (vollständige Verbrennung), ist die Verbrennung ein zweistufiger Prozess. Sofern im Brennstoff Chlor, Schwefel und weitere Verbindungen

enthalten sind, können zusätzliche Schadstoffe gebildet werden.

Die unvollständig verbrannten Stoffe, also Kohlenmonoxid (CO), Kohlenwasserstoffe (C_nH_m), Teer, Ruß und unverbrannte Partikel, können durch eine geeignete Verbrennungsführung vermieden werden; notwendig hierfür sind eine ausreichend hohe Temperatur, genügend Sauerstoff (O_2) sowie eine gute Vermischung der Gase mit der Verbrennungsluft. Die Erzielung einer hohen Temperatur ist dann schwierig, wenn Holz mit hohem Wassergehalt verbrannt wird. Für feuchte Brennstoffe eignen sich Feuerungen mit heißen Feuerräumen. Bei bestimmten Feuerungsarten erfolgt zudem eine Vortrocknung des eintretenden Brennstoffs durch die Rückstrahlung der heißen Flamme. Da das Verhältnis von Oberfläche zu Volumen des Brennraums mit zunehmender Anlagengröße abnimmt, sind die Strahlungsverluste durch die Seitenwände bei großen Anlagen gering, während sie bei Kleinanlagen eine entscheidende Rolle spielen können. Der Einsatz von sehr feuchten Brennstoffen ist deshalb meist nur in größeren automatischen Feuerungen sinnvoll möglich.

Aufgrund des Verbrennungsablaufs entstehen als Verbrennungsprodukte im Abgas drei Stoffgruppen:

1. Schadstoffe aus unvollständiger Verbrennung von C, H, O und N: Kohlenmonoxid (CO); Kohlenwasserstoffe (C_nH_m); Teer, Ruß und unverbrannte Kohlenstoffteilchen (brennbarer Teil der Staubemission); Wasserstoff (H_2); nicht vollständig oxidierte Stickstoffverbindungen (HCN , NH_3 und N_2O)
2. Schadstoffe und erwünschte Produkte aus vollständiger Verbrennung von C, H, O und N: Stickoxide (NO und NO_2); Kohlendioxid (CO_2); Wasserdampf (H_2O)
3. Schadstoffe aus Spurenelementen der Holzverunreinigungen: Aschepartikel im Abgas (unbrennbarer Teil der Staubemission); Schwefel- und Chlorverbindungen im Abgas (SO_2 , HCl , evtl. PCDD/F)

Aufgrund der verschiedenen Bildungsarten der Schadstoffe müssen unterschiedliche Maßnahmen zu deren Vermeidung getroffen werden. Die Emission an Kohlendioxid (CO_2) ist proportional zur Brennstoffmenge und hängt damit von der bereitzustellenden Nutzenergie und vom Anlagennutzungsgrad ab. Eine Verminderung der CO_2 -Emissionen kann somit nur durch Energiesparmaßnahmen oder eine Verbesserung des Nutzungsgrads erzielt werden. Das entstandene – als klimawirksam bekannte – Gas Kohlendioxid (CO_2) belastet die Atmosphäre nicht, weil zuvor bei der Entstehung von Holz dieselbe Menge der Atmosphäre bereits entnommen wurde.

Die Emission von Wasserdampf ist in der Regel unbedenklich, da er kein Schadstoff ist. Der entstandene Wasserdampf führt jedoch zu einem erheblichen Energieverlust in Form von Verdampfungswärme und fühlbarer Wärme. Bei Brennstoffen mit hohem Wassergehalt kommen deshalb auch Anlagen mit Abgaskondensation zum Einsatz. Dies führt gleichzeitig zu einer Verminderung der Schadstoffemissionen. Für einzelne Komponenten ist zudem eine Abscheidung in der Kondensationseinheit möglich. Ein Energiegewinn durch die Abgaskondensation (Brennwertnutzung) gelingt allerdings nur, wenn die Nutzwärme bei vergleichsweise niedrigen Temperaturen verwertet werden kann.

Bedingungen für einen vollständigen Ausbrand

Weil Holz einen hohen Gehalt an flüchtigen Bestandteilen aufweist und die Gase sowie der feste Kohlenstoff getrennt verbrennen, wird für einen vollständigen Ausbrand die Verbrennungsluft in Primär- und Sekundärluft aufgeteilt. Die Primärluft wird für die Vergasung benötigt, während die Sekundärluft den Ausbrand der Gase unterstützt. Eine Auftrennung der Verbrennungsluft ermöglicht auch eine verbesserte Regelung, indem die Primärluft vor allem die Feuerungsleistung beein-

LANGFASSUNG

flusst und die Sekundärluft den Ausbrand der Verbrennungsgase sicherstellt. Für eine vollständige Verbrennung ist die Zufuhr von Sauerstoff im Überschuss nötig. Da die richtige Zufuhr und das richtige Ausmaß von Primär- und Sekundärluft entscheidend sind, verfügen moderne Feuerungsanlagen über Regelsysteme hierfür.

Um einen vollständigen Ausbrand zu erzielen, muss die Sekundärluft möglichst homogen mit den brennbaren Gasen vermischt werden und die Bildung von Strähnen im Feuerraum vermieden werden. Durch hohe Einströmgeschwindigkeiten und hohe Turbulenz sowie Vermischungseinrichtungen im Feuerraum kann die Durchmischung verbessert werden. Für eine vollständige Verbrennung ist auch eine genügend hohe Temperatur (mindestens 850 °C) und eine ausreichende Verweilzeit der Gase in der heißen Zone (0,5 Sekunden) erforderlich. Außerdem ist eine Abkühlung der Flamme an kalten Wänden oder durch örtlich zu große Luftmengen zu vermeiden. In automatischen Feuerungsanlagen ist die Einhaltung hoher Temperaturen unproblematisch, dagegen kann die Forderung nach ausreichender Temperatur in Kleinanlagen von Bedeutung sein und den Einsatz von feuchten Brennstoffen beschränken.

Luftzufuhr und Kohlenmonoxidemissionen

Eine ausreichende – aber nicht zu hohe – Luftzufuhr ist die Voraussetzung dafür, dass Holz vollständig verbrannt wird und dabei auch der Heizwert möglichst vollständig freigesetzt wird; weiter ist genügend Luft auch für die Begrenzung von Schadstoffemissionen wichtig. Ist die Luftzufuhr andererseits viel zu hoch, so wird die Flamme durch die unnötig zugeführte Luft gekühlt, so dass die Verbrennung infolge zu niedriger Temperatur ebenfalls unvollständig wird.

Bei Feuerungen mit guter Vermischung von Luft und Gasen ist ein Betrieb bei dem 1,5-fachen an Luft und niedrigem CO-Gehalt möglich.

Bei älteren einfachen, handbeschickten Holzfeuerungen können die CO-Emissionen bei 2.000 bis 3.000 Milligramm je Normkubikmeter Abgas liegen. Bei richtiger Luftzufuhr können die Werte für Stückholzkessel mit unterem Abbrand 50 bis 1000 Milligramm, für automatische Holzfeuerungen mit älterer Verbrennungstechnik (Stand 1990) 40 bis 200 Milligramm und für automatische Holzfeuerungen mit optimierter Verbrennungstechnik (ab 1995) etwa 20 bis 50 Milligramm je Normkubikmeter Abgas betragen.

Stickoxidemissionen

Die Begrenzung von Stickoxidemissionen NO_x (NO und NO_2) ist von Bedeutung. Quelle des Stickstoffs sind der molekulare Stickstoff der Luft sowie der im Brennstoff gebundene Stickstoff. Die wichtigsten Bildungswege umfassen die thermische und die Prompt-Stickoxidbildung sowie die Bildung von Brennstoffstickoxiden:

Da Pflanzen Stickstoff enthalten, werden bei der Verbrennung von biogenen Brennstoffen Stickoxide aus dem Brennstoffstickstoff gebildet. Die Stickoxidemissionen von Holzfeuerungen sind deshalb höher als bei modernen Öl- und Gasfeuerungen. Thermische Stickoxide und Prompt-Stickoxide sind bei den – für Holzfeuerungen typischen – Temperaturen in der Regel nur von untergeordneter Bedeutung.

Zur NO_x -Minderung kommen sowohl Primärmaßnahmen als auch Sekundärmaßnahmen zum Einsatz. Die wichtigsten Primärmaßnahmen sind Luftstufung und Brennstoffstufung. Sofern die Anwendung von Primärmaßnahmen nicht möglich oder ihre Minderung nicht ausreichend ist, kommen – bei größeren Anlagen – als Sekundärmaßnahmen das selektive katalytische bzw. das selektive nicht-katalytische Reduktionsverfahren (SCR bzw. SNCR) zum Einsatz. Bei beiden Verfahren erfolgt die NO_x -Minderung durch Eindüsung von Ammoniak oder Harnstofflösung. Bei Feuerungsanlagen mit unbehan-

deltem Holz als Brennstoff liegen typische Werte von Stickoxidemissionen im Bereich von etwa 80 bis 120, in Einzelfällen bis zu 250 Milligramm je Normkubikmeter Abgas.

Partikel- und Aerosolemissionen

Bei der Holzverbrennung können folgende Quellen von Aerosolen unterschieden werden:

- a) Aerosole aus unvollständiger Verbrennung (unverbrannte Kohlenstoffverbindungen in Form von Aerosolen). Hierzu gehören kohlenstoffhaltige feste oder flüssige Zersetzungsprodukte aus dem Brennstoff (unverbrannte Holzbestandteile, Holzkohle oder organische Verbindungen, welche aus der thermischen Zersetzung des Brennstoffs als Pyrolyseprodukte entstehen). Daneben können auch kohlenstoffhaltige kondensierte Syntheseprodukte in Form von Ruß sowie weiterer organischer Verbindungen auftreten.
- b) Aerosole aus vollständiger Verbrennung (Aschebestandteile und Fremdstoffe). Hierzu gehören schwerflüchtige, mineralische Holzaschebestandteile (z. B. CaO , Al_2O_3 , SiO_2), Holzascheverbindungen, die durch Verdampfung und Kondensation oder Neubildung in der Feuerung entstehen, z. B. KCl , K_2SO_4 und Nitrate, schwerflüchtige Verunreinigungen im Holz wie Sand und Erde sowie Schwermetalle aus Verunreinigungen (z. B. von Farben und Beschichtungen).

Auf den Oberflächen von Partikeln können zudem unverbrannte Kohlenwasserstoffe angelagert sein, weshalb Aerosole aus Verbrennungsprozessen toxikologisch relevant und die lungengängigen Aerosole mit einer Größe von unter 0,001 mm von besonderer Bedeutung sind. Ein Großteil der Stäube aus modernen Holzfeuerungen liegt im Größenbereich unter 0,001 mm.

Unter schlechten Verbrennungsbedingungen können von Holzfeuerungen erhebliche Mengen an un-

LANGFASSUNG

verbrannten Aerosolen emittiert werden. Dies trifft eher auf einfache Öfen und offene Kamine zu. Die Partikelemissionen sind bei gut betriebenen automatischen Holzfeuerungen meist sehr niedrig; diese sind nur auf Aschebestandteile zurückzuführen, wobei die Kohlenstoffgehalte der Partikelemissionen zwischen 1 und 10 Gewichtsprozent bei Gesamtemissionen von 20 bis 150 Milligramm je Normkubikmeter Abgas betragen.

Gebäudewärmeversorgung mit Holzpresslingen (Holzpellets)

Bei der Wohngebäude-Wärmeversorgung mit Holz haben sich Pelletfeuerungen durchgesetzt. Sie ermöglichen eine automatisierte Heizung mit Holz für Wärmeleistungen zwischen etwa 2 Kilowatt (kW) und 500 kW mit niedrigen Emissionen und hohem Wirkungsgrad. Holzpellets sind zylinderförmige Presslinge bis zu 50 mm Länge und mit Durchmesser bis zu 10 mm. Den Rohstoff für Pellets bildet naturbelassenes Holz (Restholz wie Sägemehl, Hobelspäne u. ä. sowie Holzhackschnitzel und Rundholz). Vor der Pelletierung muss das Rohmaterial trocken sein; je nach Rohmaterial ist eine Trocknung erforderlich. Pellets sind bindemittelfrei, enthalten wenig Schwefel und Asche und sind rieselfähig. Da Holzpellets hygroskopisch sind und quellen, ist eine Feuchtigkeitsaufnahme zu verhindern.

Der Energieinhalt von 1 kg Pellets entspricht rund 0,5 Litern Heizöl. Das Lagervolumen ist dreimal so groß wie von Heizöl und ein Drittel so groß wie von Holzhackschnitzeln. Pellets für Zimmeröfen werden in Säcken mit 15 bis 20 kg Inhalt geliefert. Für Kessel erfolgt die Anlieferung von losen Pellets ab Lastwagen in ein Silo. Bei einer automatisierten Feuerung können Pellets z. B. in einem Silo in einem Nebenraum zum Heizungsraum gelagert werden, wobei sie mit Schnecken oder mit einer pneumatischen Fördereinrichtung zum Kessel gebracht werden. Das Silovolumen wird auf etwas

mehr als einen Saisonbedarf ausgelegt. Je Kilowatt Wärmeleistungsbedarf wird rund 1 Kubikmeter Silovolumen benötigt.

Bauarten von Pelletöfen

Pelletfeuerungen werden in Öfen und Kesseln eingesetzt. Bei Öfen erfolgt die Wärmeabgabe durch Strahlung und Konvektion an den Raum, während in Kesseln eine Wärmeübertragung auf Wasser erfolgt. Mit dem Begriff Zentralheizungsofen wird ein Ofen mit nachgeschaltetem Kessel bezeichnet.

Pelletöfen als Einzelraumheizung oder als Luftheizung im Passivhaus

Die Heizleistung beträgt 2 bis 12 kW, und die Öfen verfügen über einen Füllbehälter 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. Pelletöfen bieten sich z. B. auch als Ergänzungsheizung an. Bei einem Baustandard mit sehr niedrigem Energieverbrauch (Passivhaus) und einer Heizleistung bis etwa 2 kW kann die Wärmeverteilung auch mit Luft erfolgen; dann kann ein Zimmerofen als Gesamtheizung eingesetzt und auf ein Wassernetz verzichtet werden.

Zentralheizungsöfen

Öfen mit nachgeschaltetem Kessel (Wohnzimmerkessel) bilden eine Kombination aus Ofen und Kessel, indem die Wärmeabgabe teilweise an den Raum und teilweise im Kessel erfolgt. Der Leistungsbereich beträgt 1 bis 6 kW Raumwärme und 2 bis 10 kW wasserseitig. 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. Sie eignen sich als Etagenöfen oder als Gesamtheizung in energieoptimierten Einfamilienhäusern. Dazu wird der Einsatz eines Wärmespeichers (etwa eines Wasserspeichers) empfohlen und zum Beispiel die Kombination mit einer Solaranlage.

Pelletkessel für die Zentralheizung

Der Platzbedarf von Pelletkesseln mit Silo entspricht etwa demjenigen einer Ölfeuerung mit Tankanlage. Der Leistungsbereich reicht von 5 kW bis 50 kW, so dass Pelletkessel zur Beheizung konventioneller Gebäude geeignet sind. Die Beschickung aus dem Silo erfolgt mit einer Schnecke direkt in die Feuerung oder mit einer Gebläseförderung (in Einzelfällen auch manuell) in ein Zwischensilo beim Kessel. Es können auch größere Pelletfeuerungen mit Leistungen bis zu 500 kW eingesetzt werden. Dabei handelt es sich um Anlagen, die mit Unterschubfeuerungen für Holzhackschnitzel vergleichbar sind, sowie um Pelletbrenner mit Rost, die zum Einschub in bestehende Kessel geeignet sind.

Die Anschaffung einer Pelletheizung mit Brennstoffsilos ist gegenüber einer Ölheizung mit Tankanlage rund 15 bis 25 % teurer. Die Brennstoffkosten sind abhängig von der Liefermenge; sie betragen für lose Ware im Jahr 2009 etwa 215 bis 230 Euro/t; heizwertbezogen waren dies etwa 60 bis 70 % der Kosten für leichtes Heizöl. Im Vergleich zu einer Ölheizung entsteht für den Betreiber einer Pelletheizung ein Mehraufwand für die Kesselreinigung und Ascheentsorgung. Dafür sind die Kosten für Wartung und Unterhalt niedriger, da u. a. die Tankrevision entfällt.

Aufbau von Pelletfeuerungen

Für die Verbrennung von Holzpellets werden unterschiedliche Feuerungstypen genutzt. Zur Beschickung dient ein Fallrohr oder eine Schnecke. Die Leistungsregelung erfolgt durch getaktete Brennstoffzuführung. Um einen vollautomatischen Betrieb zu ermöglichen, verfügen Pelletfeuerungen über eine automatische Zündung mittels Heißluft oder Zündstab. Damit ist ein bedarfsgesteuertes Anfahren und Abschalten der Feuerung möglich, und das Anfeuern wie bei handbeschickten Feuerungen entfällt. Zur Verhinderung von Rückbrand

LANGFASSUNG

werden rückbrandsichere Zuführungen, Zellradschleusen oder thermostatisch kontrollierte Löscheinrichtungen eingesetzt. Die Pellets werden in einer Schale, einer Retorte oder auf einem Rost unter Zufuhr von Luft verbrannt. In den meisten Fällen wird zusätzlich Sekundärluft oberhalb des Brennstoffbetts geregelt zugeführt. Die Brennschalen verfügen über Entschungs- und Entschlackungsvorrichtungen. Bei einfachen Systemen wird die Asche in der Brennschale aufgefangen; diese muss periodisch geleert werden. Daneben gibt es manuell betätigte Schieber, automatische Klapp- oder Schieberoste, Vorrichtungen zur automatischen Schalenumdrehung sowie rotierende Kratzereinrichtungen.

Einfachere Pelletfeuerungen 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 Leistungsregelung und einer Verbrennungsregelung ausgerüstet sind. Eine Verbrennungsregelung setzt die Messung mindestens einer geeigneten Kenngröße voraus (Luftverhältnis, CO-Gehalt; Verbrennungstemperatur).

Pelletverbrennung und Emissionen

Bei geeigneter Konstruktion und gutem Betrieb weisen Pelletfeuerungen niedrige Emissionen an Schadstoffen aus unvollständiger Verbrennung (Kohlenmonoxid (CO), Kohlenwasserstoffe (C_nH_m) und an unverbranntem Kohlenstoff (C)) auf. Bei vollständiger Verbrennung sind als Schadstoffe vor allem die Stickoxide und die Staubemissionen entscheidend. Diese sind bei Pelletfeuerun-

gen höher als bei Öl- oder Gasfeuerungen, jedoch niedriger als bei Feuerungen mit Stückholz oder Holzhackschnitzeln. Die Emission von Schwermetallen oder weiteren Verunreinigungen im Brennstoff kann bei Pellets durch eine Qualitätssicherung bei der Herstellung und die Einhaltung der Pelletnormen vermieden werden. Bei einwandfreiem Betrieb weisen Pelletkessel typischerweise Emissionen an Kohlenmonoxid (CO) von 20 bis 200, an Stickoxiden (NO_x) von 80 bis 120, an Staub von 20 bis 75 Milligramm je Normkubikmeter Abgas auf; der feuerungstechnische Wirkungsgrad beträgt zwischen 88 und 94 Prozent. Die entsprechenden Emissionswerte von Pelletöfen liegen typischerweise bei Kohlenmonoxid (CO) zwischen 100 und 500, bei Stickoxiden (NO_x) zwischen 80 und 100, bei Staub zwischen 10 und 75 Milligramm je Normkubikmeter Abgas; der feuerungstechnische Wirkungsgrad beträgt zwischen 80 und 92 Prozent.

In der 1. Bundesimmissionsschutzverordnung (1. BImSchV, früher als Kleinf Feuerungsanlagenverordnung bezeichnet) sind Höchstwerte für bestimmte Emissionen festgelegt. Mit der im Frühjahr 2010 in Kraft getretenen Novelle der 1. Bundesimmissionsschutz-Verordnung werden für Biomasseanlagen – angepasst an den Stand der Technik – deutlich strengere Emissionsanforderungen für Pelletöfen und Pelletzentralheizungen (Pelletkessel) festgelegt. Die meisten Pelletzentralheizungen (Pelletkessel) erfüllen jedoch die für neu errichtete Anlagen vorgeschriebenen Grenzwerte von unter 60 Milligramm Staub je Normkubikmeter Rauchgas; dies trifft auch auf die Werte für Kohlenmonoxid (CO) (unter 800 Milligramm je Normkubikme-

ter Rauchgas für Anlagen über 4 kW bis 500 kW Leistung bzw. unter 500 Milligramm je Normkubikmeter Rauchgas für Anlagen über 500 kW Leistung) zu. Viele Pelletzentralheizungen (Pelletkessel) erfüllen sogar schon heute die ab 2015 geltenden Grenzwerte, die sich auf unter 20 Milligramm Staub und unter 400 Milligramm Kohlenmonoxid (CO) je Normkubikmeter Rauchgas belaufen. Für neu zu errichtende Pelletöfen sind teilweise noch schärfere Grenzwerte vorgesehen.

Für Pelletzentralheizungen (Pelletkessel) ab 4 kW Wärmeleistung ist die Einhaltung der Emissionsanforderungen durch Messungen im Anlagenbetrieb nachzuweisen. Künftig soll die Messung des Schornsteinfegers nur noch in jedem zweiten Jahr erfolgen. Für Pelletöfen ist der Nachweis zur Einhaltung der Emissionsanforderungen durch Typenprüfung vom Hersteller zu erbringen.

Pelletöfen und Pelletzentralheizungen (Pelletkessel) weisen im Vergleich zu anderen Holzfeuerungsanlagen nur sehr geringe Staubemissionen auf, daher sind für Pelletheizungen in der 1. Bundesimmissionsschutz-Verordnung deutlich strengere Werte als für andere Holzfeuerungen festgelegt.

Hausbesitzer sind gut beraten, wenn sie beim Kauf einer Pelletheizung gegenüber dem Hersteller die Einhaltung der zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme geltenden Emissionsanforderungen gemäß der 1. Bundesimmissionsschutz-Verordnung (1. BImSchV) zum Vertragsbestandteil erklären. Von der Novelle der 1. Bundesimmissionsschutz-Verordnung sind auch Bestandsanlagen betroffen, wobei hier allerdings sehr langfristig angelegte Übergangs- und Sanierungsregelungen gelten. ■