

5. Anlagen für die Landwirtschaft

Die energetische Nutzung von Stroh in größerem Ausmaß in der Landwirtschaft begann aufgrund der Energiekrise in den 70er Jahren und zog Subventionsordnungen und großzügigere Abschreibungsregeln für Strohverbrennungsanlagen nach sich. Mitte der 80er Jahre waren schätzungsweise 14.000 Strohverbrennungsanlagen installiert, 1997 wird ihre Zahl in der Landwirtschaft auf ca. 10.000 geschätzt. Die Ursache für diesen Rückgang ist, daß es sich bei den ersten Anlagen um kleine, primitive, portionsweise befeuerte Kessel handelte, die bei der Auswechslung nicht alle durch eine Strohverbrennungsanlage ersetzt wurden.

Man unterscheidet zwischen portionsweise befeuerten und automatisch befeuerten Kesseln. Die portionsweise befeuerten Kessel werden immer mit einem Speicher installiert, der die Wärmeenergie von einer Beschickung (1-4 Ballen) aufnehmen kann. Der Energiegehalt des Strohs wird besser ausgenutzt, weil der Kessel mit Vollast arbeiten kann. Bei den automatischen Anlagen wird beispielsweise eine Transportbahn ca. einmal täglich mit Strohballen beladen, die Verbrennung erfolgt dann automatisch entsprechend dem Wärmeverbrauch.

Beide Anlagentypen wurden in den letzten 10-15 Jahren weiterentwickelt, um einen höheren Wirkungsgrad und eine geringere Rauchgasbelastung zu erreichen. Am ausgeprägtesten war die Entwicklung bei den portionsweise befeuerten Kesseln, hier ist der Wirkungsgrad von 35-40% 1980 auf 77-82% 1997 gestiegen. Ursache hierfür ist insbesondere eine bessere Steuerung der Luftzufuhr für den Verbrennungsprozeß. Die Rauchgasbelastung verringert sich erheblich, wenn die Verbrennungsqualität steigt.

Portionsweise befeuerte Kessel

Waren früher die kleinen Strohballen marktbeherrschend, sind heute die meisten portionsweise befeuerten Kessel für große Strohballen ausgelegt (Rundballen, Minigroßballen oder Großballen). Die Kessel werden oft mit Speicher als fertige Einheit für das Aufstellen im Freien geliefert. Die Feuergefahr verringert sich dadurch erheblich.

Die portionsweise befeuerten Kessel werden in vielen Größen hergestellt,



foto: maskinfabrikken faust

Mit einem Traktor wird ein portionsweise befeuerter Kessel mit einem Rundballen beschickt. Der Kessel ist im Gebäude untergebracht, es besteht ausreichend Platz für das Befeuern und Ascheentfernen mit Hilfe des Traktors.

der Feuerraum hat ein Fassungsvermögen von einem Minigroßballen bis zu drei Großballen. Am weitesten verbreitet sind Kessel für einen Minigroßballen oder alternativ 8-10 Kleinballen.

Abgesehen von der Befuerung mit Kleinballen erfolgen Befuern und Aschenentnahme in der Regel mit einem Traktor mit Frontlader.



foto: maskinfabrikken faust

Portionsweise befeuerter Kessel für Rund- oder Großballen in eigenem Kesselhaus. Feuergefahr für die übrigen Gebäude des Hofes besteht dadurch nicht.

Steuerung der Verbrennungsluftzufuhr

Alle portionsweise befeuerten Kessel sind heute mit einem Verbrennungsluftgebläse ausgerüstet, wo die Luftmenge und die Verteilung zwischen Primär- und Sekundärluft von einer elektronischen Steuereinheit gesteuert wird. Als Steuerungsparameter dienen die Rauchgastemperatur und der Sauerstoffgehalt. Außerdem ist der Feuerraum der Kessel in der oberen Hälfte mit isolierendem und feuerfestem Mauerwerk ausgekleidet, damit eine hohe Verbrennungstemperatur sichergestellt ist.

Die Rauchgastemperatur wird gemessen, um sicherzustellen, daß die Kesselleistung innerhalb bestimmter festgelegter Grenzen liegt. Eine hohe Rauchgastemperatur z.B. zeigt eine Überlastung des Kessels an, d.h. bei der Verbrennung wird mehr Wärme abgegeben, als vom Kesselwasser aufgenommen werden kann. Dementsprechend ist eine zu niedrige Rauchgastemperatur ein Zeichen für eine zu geringe Kesselleistung.

Der Sauerstoffgehalt im Rauchgas wird gemessen, um den Luftüberschuß der Verbrennung durch Öffnen und Schließen der Primär- und Sekundärluftzufuhr feinabzustimmen. Angestrebt wird ein Sauerstoffgehalt im Rauchgas von 6-7%, das entspricht einer Luftüberschußzahl lambda von ca. 1,5.

Der Sauerstoffgehalt wird kontinuierlich mit Hilfe einer Sauerstoffsonde

gemessen, die den Sonden ähnelt, die die Benzinmenge in modernen Automotoren steuern. Die Signale von der Sonde werden von der elektronischen Steuereinheit in Öffnungs- und Schließimpulse für motorgetriebene Luftklappen umgewandelt. Bei einem zu hohen Sauerstoffprozent wird die Primärluftzufuhr leicht geöffnet, die Sekundärluftzufuhr etwas gedrosselt. Dementsprechend wird die Primärluftzufuhr etwas gedrosselt und die Sekundärluftzufuhr etwas geöffnet, wenn der Sauerstoffprozent zu niedrig ist.

Die elektronische Steuereinheit muß den Sauerstoffprozent konstant halten können, da Schwankungen zu hohe CO-Werte und einen zu geringen Kesselwirkungsgrad nach sich ziehen. Deshalb arbeitet man im Augenblick daran, die Strohkessel zu verbessern und ein sehr präzises und zuverlässiges Sauerstoffsteuerungssystem zu entwickeln. Wichtig ist außerdem, daß die Luftdüsen so ausgeformt und angebracht sind, daß in der Verbrennungszone eine angemessene Turbulenz entsteht.

Um eine gute Verbrennung mit einem niedrigen CO-Gehalt im Rauchgas zu erzielen, kommt es zudem entscheidend darauf an, daß qualitativ gutes Stroh verwendet wird. Das heißt vor allem, daß das Stroh vor dem Pressen trocken und trocken gelagert sein muß. Darüber hinaus sollte das Stroh vor dem Pressen gut auf dem Feld verwittert sein (d.h. es sollte Regen ausgesetzt gewesen und grau geworden sein). Früh geborgenes "gelbes" Stroh hat normaler-



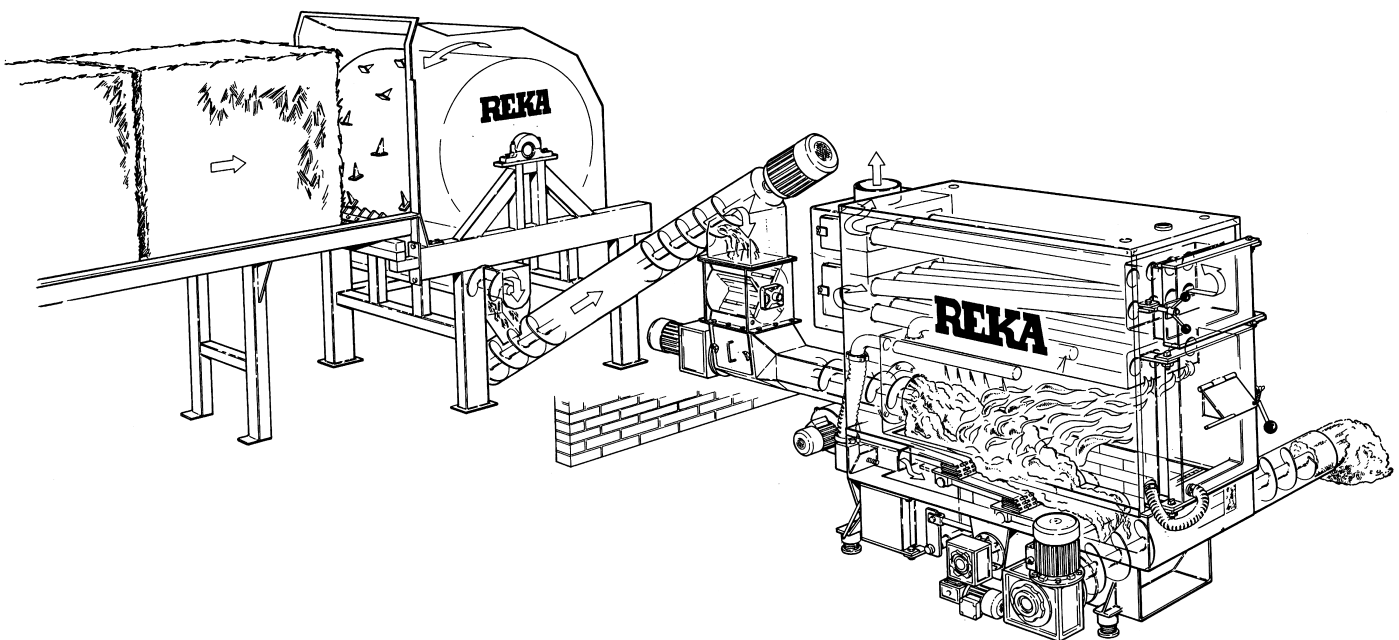
foto: maskinfabrikken reka

Die Tür zum Feuerraum in einem automatisch befeuerten Kessel ist geöffnet (siehe auch Abb. 14). Das Stroh wird mit einer Schnecke hinter den Flammen verfeuert, die Rauchgase ziehen durch die 4 Rohre und weiter durch den Kessel. Unten rechts der Getriebemotor für die Aschenschnecke.

weise schlechte Verbrennungseigenschaften (vgl. Kapitel 2).

Damit der Kessel bei Höchstlast während der gesamten Verbrennungsperiode ohne Unterbrechungen eine stabile Verbrennungsgeschwindigkeit aufrechterhalten kann, sind alle portionsweise befeuerten Strohkessel mit einem Speicher ausgerüstet. Dieser Speicher enthält normalerweise 60-80 Liter Was-

ser pro kg Stroh, das der Feuerraum enthalten kann. Dies entspricht einem Temperaturanstieg von 30-40°C im Speicher bei einer Befuerung, sofern nicht gleichzeitig Speicherwärme verbraucht wird. Der Speicher ist oft ein Behälter oben auf dem Kessel, der Kessel kann aber auch in den Speicher eingebaut sein. Das Prinzip bei einem getrennten Tank geht aus Schaubild 15 hervor.



graphik: maskinfabrikken reka

Schaubild 14: Automatische Anlage. Das Stroh wird von einer langsam laufenden Auflöserwalze aufgelöst und über Schnecken auf den Rost transportiert, wo es verbrennt. Die vor- und zurückgehenden Bewegungen des Rostes führen die Asche zum Aschenschacht und weiter zur Aschenschnecke. Die Rauchgase durchziehen mehrere Rauchzüge, in denen die Rohre von Kesselwasser umgeben sind, und werden dabei gekühlt.



foto: linka maskinfabrik

Eine automatische Anlage. Das gehäckselte Stroh wird durch das untere blanke Rohr in den Zyklon gesaugt. Das obere Rohr ist für die Abluft vom Zyklon. Das Stroh wird im Zyklon von der Transportluft getrennt und über eine Zellen-schleuse unter dem Zyklon in die Stokerschnecke befördert, die den Kessel mit Stroh beschickt. Auf der Kesselrückseite ist die Rauchgasabsaugung zu erkennen.

Automatisch befeuerte Kessel

Die ersten automatisch befeuerten Kessel wurden hauptsächlich entwickelt, um die Arbeit beim Befeuern mit Kleinballen zu erleichtern. Die ursprünglichen, einfachen, portionsweise befeuerten Kessel konnten oft nur 2-4 Kleinballen aufnehmen.

Bei der automatischen Befuerung wird eine Strohbahn von beispielsweise 10-20 m Länge einmal pro Tag mit Strohballen gefüllt. Die Ballen werden dann von hier aus langsam zum Kessel vorgezogen. Vor dem Verfeuern wird das Stroh von einem rotierenden Ballenauf-löser / Häcksler aufgelöst. Bei dem Transportsystem zwischen Ballenauf-löser und Kessel kann es sich entweder um eine Schnecke oder ein Gebläsesystem handeln. Am weitesten verbreitet ist das Gebläsesystem, da es die größte Flexibilität beim Plazieren des Ballenauf-löser im Verhältnis zum Kessel erlaubt und außerdem einen guten Schutz gegen Rückbrand aus dem Kessel zum Ballenauflöser bietet. Allerdings hat ein Gebläsesystem einen höheren Energieverbrauch als ein Transportschnecken-system, bei dem das Stroh von einer Schnecke, oft als Stokerschnecke bezeichnet, in den Kessel befördert wird.

Die kontinuierliche Befuerung führt zu einer stabileren Verbrennung im Kessel, die wiederum in einem höheren Wirkungsgrad und einer geringeren Rauchgasbelastung als bei portionsweise befeuerten Kesseln resultiert.

Die Wärmeabgabe aus dem Kessel wird durch Ein/Aus-Betrieb geregelt und von einem Thermostat gesteuert, das auf die Kesselwassertemperatur anspricht.

Steuerung der Befuerung

Für eine gute Verbrennung muß die verfeuerte Strohmenge auf die von einem Gebläse zugeführte Menge Verbrennungsluft abgestimmt werden. Um eine konstante Strohdosierung zu gewährleisten, sind die neuesten automatischen Anlagen daher mit einer sauerstoffge-steuerten Strohdosierung ausgerüstet, d.h. die verfeuerte Strohmenge wird automatisch auf den Sauerstoffgehalt der Rauchgase aus dem Kessel abge-stimmt. Der Sauerstoffgehalt im Rauchgas wird von einer Sauerstoffsonde registriert (vom gleichen Typ wie oben unter "Portionsweise befeuerte Kessel" beschrieben), und die Strohdosierung erfolgt durch Starten und Stoppen der Stokerschnecke in kurzen Intervallen.

Gesteuert wird normalerweise nach einem Sauerstoffgehalt im Rauchgas von ca. 7%. Übersteigt der Sauerstoffgehalt diesen Wert stark, läuft die

Stokerschnecke ununterbrochen, bis der Wert wieder auf etwa 7% gefallen ist. Danach sorgt die automatische Stepfunktion dafür, daß dieser Sauerstoffprozent beibehalten wird und stoppt daher die Stokerschnecke in kurzen Intervallen. Fällt der Sauerstoffgehalt weit unter 7%, stoppt die Stokerschnecke, bis der Sauerstoffgehalt wieder anzusteigen beginnt.

Mit einer Sauerstoffsteuerung läßt sich der Kesselwirkungsgrad bei einer automatischen Anlage um schätzungsweise 5-10 Prozentpunkte verbessern, weil die Verbrennungsbedingungen besser sind. Gleichzeitig verringert sich der CO-Gehalt der Rauchgase, und die Rauchgasbelastung aus dem Kessel nimmt ab.

Typprüfung kleinerer Bio-brennstoffkessel

In Dänemark war die systematische Typprüfung von Feuerungsanlagen für

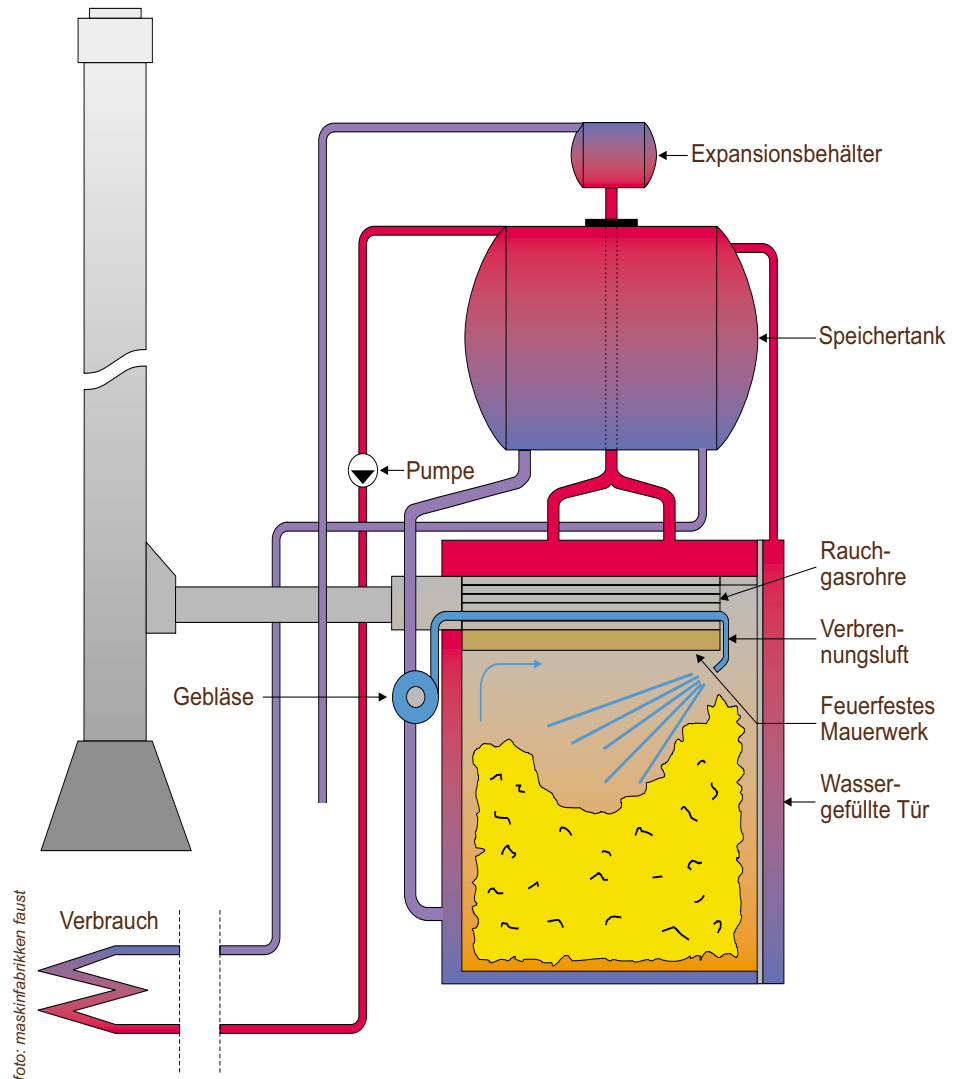


foto: maskinfabriken faust

Schaubild 15: Prinzipdiagramm für einen portionsbefeuerten Kessel. Der Speichertank ist groß genug, um die bei der Verbrennung des im Feuerraum befindlichen Strohs freiwerdende Energie aufzunehmen.

Festbrennstoffe nicht üblich - abgesehen von Strohkesseln, die im Zusammenhang mit früheren Subventionsregelungen im Forschungszentrum Bygholm in Horsens typgeprüft wurden. Der Markt für kleine Feuerungsanlagen war nicht geregelt, d.h. es war nie gesetzlich vorgeschrieben, die energie-, umwelt- und sicherheitsmäßigen Eigenschaften prüfen zu lassen. Die einzigen behördlichen Anforderungen betreffen die Sicherheit und sind in der Veröffentlichung Nr. 42 des dänischen Arbeitsumweltministeriums (Arbejdstilsynet) festgehalten, die Sicherheitssysteme für befeuerte Heißwasseranlagen behandelt, hierunter die Forderung nach einer Druckprobe.

Mit der Einführung genereller Subventionsmöglichkeiten für kleinere Biobrennstoffkessel im Jahr 1995 gewann die Typprüfung für die Hersteller an Aktualität. Von der dänischen Energiebehörde wurde als Bedingung für die Subventionsberechtigung verlangt, daß die Feuerungsanlage typgeprüft ist und damit eine Reihe von Anforderungen bezüglich Emissionen und Energieverwertung erfüllt. Die Typprüfung wird von der Prüfstation für kleinere Biobrennstoffkessel nach einer Prüfvorschrift vorgenommen, die detaillierte Richtlinien für die Prüfung und die zur Erlangung der Bauartgenehmigung zu erfüllenden Voraussetzungen enthält. Die Vorschrift wurde nach einem Vorschlag für einen gesamteuropäischen Standard für Festbrennstoffanlagen ausgearbeitet. Allerdings sind die Anforderungen bezüglich Wirkungsgrad und Emissionen strenger und nach Feuerungstechnologie (portionsweise oder automatisch) und Brennstofftyp (Stroh oder Holz) untergliedert. Die Anforderungen wurden gemeinsam von den Herstellern der Biobrennstoffkessel, der Prüfstation für kleinere Biobrennstoffkessel, der dänischen Energiebehörde und der dänischen Umweltbehörde festgelegt.

Die Typprüfung kann mit verschiedenen Brennstoffen vorgenommen werden: Waldscheitholz, Stroh, Holzpellets, Hackschnitzel, Getreide oder Sägemehl/-späne. Die Bauartgenehmigung gilt nur für den Brennstoff, der bei der Prüfung verwendet wurde. Die Ordnung gilt für automatische Kessel bis 200 kW und für portionsweise befeuerte Kessel bis 400 kW. Die 400 kW-Grenze ergibt eine angemessene Abbrennzeit für Großballen. Eine Liste typgeprüfter Anlagen findet sich in (39).

Prüfungsanforderungen

Bei der Typprüfung werden die Werte für CO-Emission, Staubemission und Wirkungsgrad als Mittelwert über 2 x 6 Stunden bei Nennleistung ermittelt. Die

Brennstoff	Befuerung	CO-Emission bei 10%O ₂ , 30% Last	CO-Emission bei 10% O ₂ Nennleistung	Staubemission bei 10% O ₂
Waldbrennholz, Pellets, Späne, Hackschnitzel, Getreide	Portionsweise (Manuell)	0,50%	0,50%	300 mg/Nm ³
Waldbrennholz, Pellets, Späne, Hackschnitzel, Getreide	Automatisch	0,15%	0,10%	300 mg/Nm ³
Stroh	Portionsweise	0,80%	0,80%	600 mg/Nm ³
Stroh	Automatisch	0,40%	0,30%	600 mg/Nm ³

Tabelle 3: Maximal zulässige CO- und Staubemission bei Nennleistung und Schwachlast bei Abnahmeprüfung.

Nennleistung wird oft vom Hersteller angegeben und ist ein Ausdruck für den optimalen Betriebspunkt des Kessels (hoher Wirkungsgrad, geringe Emissionen).

Außer der Prüfung bei Nennleistung umfaßt die Typprüfung auch die Prüfung bei Schwachlast (30% der Nennleistung). Die Anforderungen bezüglich CO- und Staubemission gehen aus Tabelle 3 hervor, der Wirkungsgrad muß mindestens wie auf Schaubild 16 angegeben sein.

Andere wichtige Anforderungen sind:

- Schutz gegen Rückbrennen ins Magazin (z.B. mechanische Klappe oder Überrieselung mit Wasser)

- Maximal zulässige Oberflächentemperatur
- Schutz gegen Undichtigkeiten, so daß kein Rauchgas austreten kann
- Dokumentation, z.B. technische Information, Betriebs- und Installationsanleitung u.a.

Die Subventionsordnung gilt für Biobrennstoffkessel, hierunter Strohkessel, die in Gebieten ohne kollektive Wärmeversorgung installiert werden. Der Subventionsprozentsatz wird auf der Grundlage des Prüfungsergebnisses, der Betrag im Verhältnis zu den Kosten des Verbrauchers für Kesselanlage und Installationen berechnet. Verwaltet wird

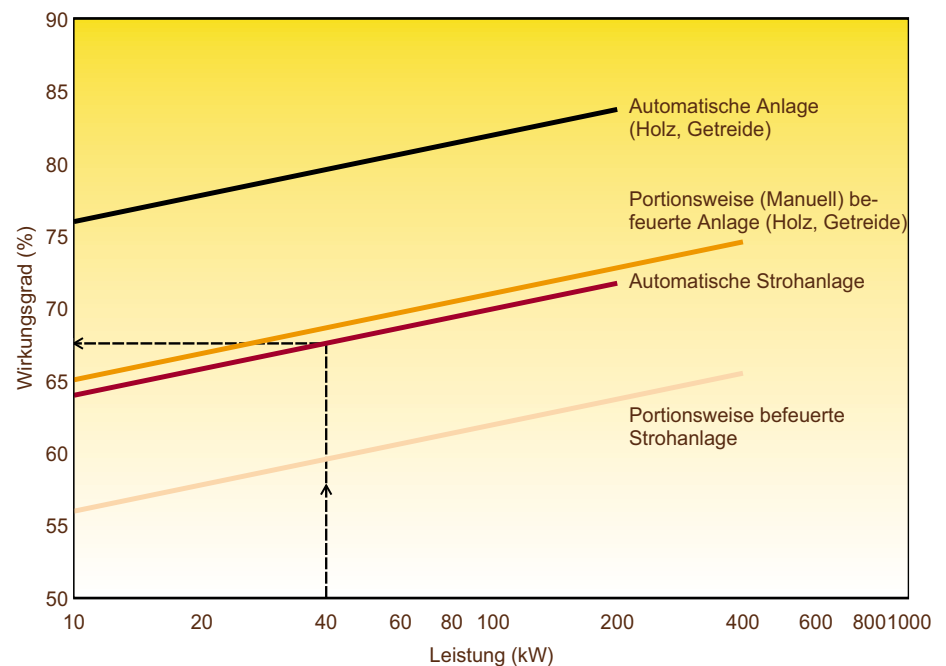


Schaubild 16: Mindestwerte für den Wirkungsgrad, abhängig vom Anlagentyp. Eine automatische Strohanlage von 40 kW muß einen Mindestwirkungsgrad von 67% haben, damit eine Bauartgenehmigung erteilt wird.

die Regelung von der dänischen Energiebehörde.

Erfahrungen und zukünftiger Entwicklungsbedarf

Seit der Aufnahme systematischer Typprüfungen im Jahr 1995 wurden viele Erfahrungen mit den kleineren Feuerungsanlagen gemacht. Anfangs wurde deutlich, daß viele Hersteller Anlagen anboten, deren Leistung den Bedarf in typischen Installationen bei weitem überstieg. Daher bestand ein deutliches Mißverhältnis zwischen dem Angebot an Feuerungsanlagen mit einer Leistung von weniger als 20 kW und der Verbrauchernachfrage. Dies hat sich seither geändert, die meisten Hersteller bieten heute Anlagen im Leistungsbereich 10-20 kW an oder arbeiten an der Entwicklung neuer Anlagen. Bei den kleinen Anlagen handelt es sich oft um Anlagen für Holzpellets, eventuell Getreide.

Der Wirkungsgrad von Strohkesseln muß auch weiterhin verbessert werden. Dafür gibt es mehrere Möglichkeiten, z.B.:

- Verbesserung des Konvektionsteils im Kessel, so daß die Rauchgastemperatur von jetzt 250-300°C auf 150-200°C gesenkt werden kann.
- Verbesserte Ausmauerung und Ausformung der Luftdüsen, wodurch der Luftüberschuß und der CO-Gehalt im Rauchgas konstant gehalten werden können. Dies kann zudem zu einer Verringerung der Staubemission beitragen, wobei bemerkt werden muß, daß die Staubemission nicht immer



foto: m. g. larsen

Die "Prüfstation für kleinere Biobrennstoffkessel" am Dänischen Technologischen Institut in Århus: Ein Kessel wird für die Abnahmeprüfung vorbereitet.

von der Verbrennung abhängen muß, sondern auch von einer schwankenden Strohqualität beeinflusst werden kann.

- Verbesserung von Vorrichtungen zur Reinigung der Rauchgasrohre und zur Aschenentnahme.
- Verbesserung der Kesselregelausrüstung, damit ein umwelt- und energiemäßig optimaler Betrieb und ein hoher Bedienungskomfort mit minimalem Zeitaufwand für die wöchentliche Wartung gewährleistet ist. Erwähnt sei, daß mehrere Anlagen technisch

fortgeschrittene Steuerungen mit mehreren Leistungsstufen und in einzelnen Fällen mit Sauerstoffsteuerung haben, die die Verbrauchsschwankungen bei einer typischen Zentralheizungsin- stallation in hohem Maß berücksichtigen. Aus dem gleichen Grund finanziert die dänische Energiebehörde ein Entwicklungsprojekt, mit dem eine preisgünstige universale Sauerstoffsteuerungseinheit entwickelt werden soll, die an die meisten kleineren Feuerungsanlagen auf dem Markt angepaßt werden kann.