

# 7. Fernwärmewerke



foto: biopressforben skraft

Das Strohheizwerk in Sabro westlich von Århus. Das Werk wurde 1991 errichtet mit einer Leistung von 3,2 MW. Rechts im Bild das Strohlager. Links Kesselhaus, Kontrollraum, Werkstatt und Aschecontainer-Raum. Der jährliche Strohverbrauch beträgt ca. 4000 Tonnen.

**Strohbeheizte Fernwärmewerke werden seit 1980 errichtet, in Betrieb sind insgesamt 58 Werke. Ursprünglich waren es 61 Werke, in den letzten Jahren sind 3 aber auf anderen Brennstoff (Holzhackschnitzel) umgestellt oder im Zusammenhang mit der Umstellung auf Erdgas und müllbeheizte Kraft-Wärme-Kopplung geschlossen worden.**

Mit "Fernwärmewerken" sind immer Werke gemeint, die Wärme, aber keinen Strom erzeugen. Die maximale Kesseltemperatur beträgt 120°C und der maximale Druck 6 bar. Die Durchschnittsgröße liegt bei 3,7 MW. Die größte Anlage hat eine Leistung von 9 MW, die kleinste von 0,6 MW. Alle Anlagen verwenden Großballen mit den Abmessungen 2,40 x 1,20 x 1,30 m. Das Durchschnittsgewicht eines Ballens beträgt 520 kg.

## Kesselgröße

Die Kesselgröße wird nach der maximalen Wärmemenge festgesetzt, die am kältesten Tag des Jahres in das Fernwärmenetz eingespeist werden soll. Die Wärmemenge kann unterteilt werden in den Nettowärmebedarf der Wohnungen (Raumwärme und Warmwasser) sowie die Leitungsverluste im Netz. Die Sum-

me dieser beiden Zahlen ergibt die Wärmeerzeugung ab Werk. Als Beispiel kann eine maximale Fernwärmebelastung für einen Ort berechnet werden, wo die Wärmeerzeugung ab Werk 40,7 TJ/Jahr oder 11.200 MWh/Jahr beträgt. Dies entspricht dem Heizbedarf in 400-450 Einfamilienhäusern.

Der Leitungsverlust beträgt 30% der Wärmeproduktion, der Warmwasserverbrauch beträgt 10%. Diese Zahlen können als Richtwerte für ein Normaljahr mit 3112 ELO-Gradtagen (ELO = Energi LedelsesOrdningen) und ein Leitungsnetz für kleinere Ortschaften mit Strohheizwerken verwendet werden. Aus der Statistik 1995/96 des Verbandes der Dänischen Fernwärmewerke (Danske Fjernvarmeværkers Forening) gehen die Netzverluste von 37 Strohheizwerken hervor. Der durchschnittliche Netzverlust betrug 28%; der höchste lag bei 42%, der geringste bei 16%. 1995/96 gab es ca. 3300 Gradtage, nach Berichtigung

auf ein Normaljahr beträgt der durchschnittliche Netzverlust ca. 30%. Die maximale Kesselleistung kann nach (40) berechnet werden.

Der Faktor 3,2 ist ein Erfahrungswert für den maximalen Raumheizungsbedarf am kältesten Tag des Jahres. Die 8760 Stunden sind die Jahresstundenzahl. Die Belastung eines Fernwärmewerkes im Laufe eines Jahres kann auf einer Dauerkurve (Schaubild 17) dargestellt werden.

Normalerweise wird ein ölbefeuert Kessel installiert, der den gesamten Leistungsbedarf von 3 MW bei Spitzenlast, Reparaturen oder einem Ausfall des Strohkessels decken kann.

Der Strohkessel hat normalerweise eine Kapazität von 60-70% der Spitzenlast (hier 66%, entsprechend 2 MW). Mit dieser Kesselgröße beträgt die Sommerlast von 0,5 MW ca. 25% von 2 MW, dies kann einen verbrennungsmäßig angemessenen Sommerbetrieb ergeben.

$$\text{Leistung, max.} = \frac{3,2 \times 6.720 \text{ MWh} + 4.480 \text{ MWh}}{8.760 \text{ Stunden}} = 3 \text{ MW}$$

Der Wärmeanteil für Raumheizung beträgt 60% = 6.720 MWh.  
Der Wärmeanteil für Leitungsverluste und Warmwasser beträgt 40% = 4.480 MWh

Wenn ein Kessel mit einer Leistung von 2 MW gewählt wird, kann gut 1000 Stunden jährlich Höchstlast gefahren werden.

Auf der Dauerkurve ist die Belastung in MW pro Stunde im Jahr - insgesamt 8760 Stunden - angegeben (Spitzenlast links oben, danach die übrigen Belastungen in abnehmender Reihenfolge von links nach rechts).

Auf der Dauerkurve kann folgendes abgelesen werden:

- Die gesamte Fläche unter der Kurve entspricht einer Jahresproduktion von 11.200 MWh.
- Die gelbe Fläche gibt die Produktion des Strohkessels an. Sie macht 93% der Fläche unter der Kurve aus, dies entspricht 10.400 MWh oder 37.400 GJ. Mit einem Jahreswirkungsgrad des Kessels von 84% und einem Stroh-brennwert von 14,5 GJ/Tonne werden pro Jahr etwa 3000 Tonnen Stroh benötigt.
- Die Wärmeproduktion mit Öl beträgt ca. 800 MWh, davon entfallen 550 MWh auf Spitzenlastbetrieb und 250 MWh auf einen dreiwöchigen Sommerstopp für Wartungsarbeiten am Strohkessel (die braune Fläche). Der Energieverbrauch beträgt 87.000 Liter Öl pro Jahr.
- Der Sommerverbrauch umfaßt nur Netzverluste und Warmwasser. Der Leistungsbedarf beträgt 0,5 MW (unten rechts auf der Kurve). Sommerlast

dauert  $8760 - 6500 = 2260$  Stunden. Zu erkennen ist auch die dreiwöchige Sommerpause für Wartungsarbeiten, in der mit Öl gefeuert wird.

Die Statistik für die Werke zeigt, daß der Strohanteil an der gesamten Wärmeproduktion zwischen 85 und 93% liegt (9).

## Anlagentypen

Die Anlagen haben unterschiedliche Befuerungssysteme, die unterschiedliche Ausrüstung für das Hantieren und den Transport des Stroh vom Lager zum Kessel erfordern.

Bei den 58 Anlagen kann zwischen 5 Typen unterschieden werden (9):

- Anlagen für gehäckseltes Stroh: 7
- Anlagen für aufgelöstes Stroh: 24
- Anlagen für aufgeschnittene Ballen: 3
- Anlagen für Zigarrenfeuerung: 11
- Anlagen für ganze Ballen: 13

Der Markt wird von 2-3 Lieferanten bedient, die Gesamtanlagen liefern (vgl. Kapitel 14). Die Hauptkomponenten werden zum Teil selbst hergestellt, teils von Zulieferern gekauft, z.B. Filter, Schornstein, Kran, elektrische Komponenten u.a.

Alle Anlagen bestehen aus den gleichen Hauptkomponenten:

- Strohlager und Strohwage

- Strohkran und Transportbahn (Stroh-tisch)
- Häcksler / Auflöser / Schneider (bei den drei erstgenannten Typen)
- Befuerungssystem und Kessel
- Verbrennungsluftgebläse
- Rauchgasreinigung und Asche-/Schlackentransport
- Schornstein und Rauchgasabsaugung
- Steuer- und Regelausrüstung

## Anlagen für gehäckseltes und aufgelöstes Stroh

Dieser Abschnitt beschreibt auch die Teile, die allen 5 Anlagentypen gemeinsam sind.

### Lager

Das Strohlager erfordert Platz. Die Werke haben im Durchschnitt ein Lager für 8 Tage Spitzenbelastung, für ein Werk durchschnittlicher Größe (3,7 MW) entspricht das gut 400 Großballen. Die gesamte Lagerfläche einschl. Platz für die Anlieferung u.a. beträgt bei dieser Strohmenge etwa 600 m<sup>2</sup>. Das Stroh wird vom Strohlieferanten mit Lkw oder Traktor mit Anhänger(n) angeliefert und vom Werk mit Gabelstapler abgeladen. Beim Abladen werden die Ballen gewogen, und der Feuchtegehalt wird bestimmt. Von den Werken wird Stroh mit einem Feuchtegehalt bis zu ca. 20% angenommen. Ballen mit einem höheren Feuchtegehalt werden zurückgeschickt, da sie zu ungleichmäßig verbrennen, besonders bei Teillastbetrieb.

Bei der Arbeit im Strohlager besteht die Gefahr, Strohstaub einzusatmen, der allergene Pilzkeime und Mikroorganismen enthält. Als Richtschnur für Grenzwerte kann der Bericht Nr. 10/1990 des dänischen Arbeitsumweltdienstes benutzt werden, der Arbeitsumweltprobleme bei der Müllbehandlung behandelt.

### Wiegen und Feuchtegehalt

Gewogen wird entweder auf einer Brücken- oder einer Plattformwaage. Nicht zulässig ist die Abrechnung mit dem Lieferanten über eine am Gabelstapler montierte Wiegezelle. Mit einer Brückenwaage geht das Wiegen am schnellsten, da nur zwei Wiegevorgänge ausgeführt werden müssen (Brutto und Tara des Lkw). Beim Wiegen mit einer Plattformwaage fahren die Gabelstapler mit den Vorderrädern auf die Plattform, gewogen wird jedes Mal, wenn ein Ballen geholt wurde. Diese Art des Wiegens kostet Zeit. Eine Brückenwaage ist zwei- bis dreimal so teuer wie eine Plattformwaage; bei der Entscheidung für einen Typ müssen die höheren Anschaffungskosten gegen die längere Bedienungszeit abgewogen werden. Die Waage muß alle vier Jahre von einem staatlich

Leistungsbedarf in MW

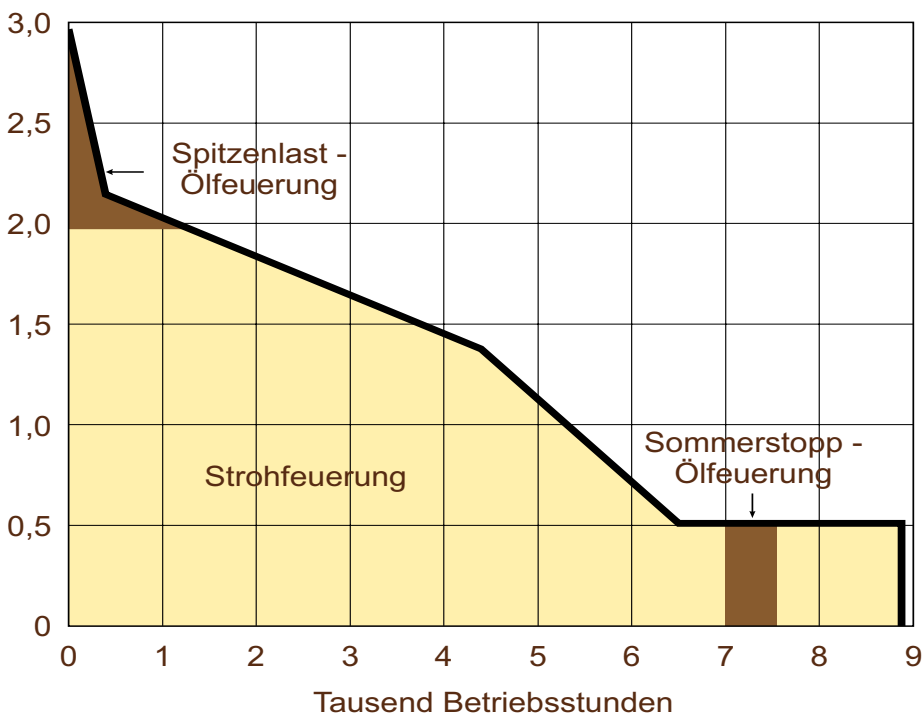


Schaubild 17: Dauerkurve für ein 3 MW-Werk mit einem 2 MW-Strohkessel. Spitzen- und Reservelast werden von einem 3 MW-Ölkessel gedeckt.



foto: biopress/farben skött

*Im Heizwerk wird der Feuchtegehalt in Großballen bestimmt.*

(im Rahmen der dänischen Akkreditierungsordnung - DANAK) anerkanntes Laboratorium geeicht werden.

Der Feuchtegehalt wird mit einem Meßinstrument mit Sonde bestimmt, die in den Strohbällen gestochen wird. Der Widerstand über zwei Elektroden wird gemessen und auf einem Anzeigeelement als Feuchteprozent angezeigt. Normalerweise werden drei Messungen an einem Ballen vorgenommen und ein Durchschnittswert berechnet. Ballen mit mehr als 20% Feuchtigkeit werden normalerweise abgewiesen. Je nach Praxis und Wortlaut des Vertrages werden einzelne Ballen oder die gesamte Ladung abgewiesen.

### Kran

Alle größeren Anlagen haben einen automatischen Kran, der die Ballen vom Strohlager zum Strohtisch befördert. Der Kran ist so programmiert, daß die Ballen in einer bestimmten Reihenfolge geholt werden. Beim Abladen müssen die Ballen daher in markierten Feldern abgesetzt werden. Einige kleinere Anlagen haben keinen Kran, sondern ein langes Förderband, auf dem die Ballen vom Gabelstapler abgesetzt werden. Die Ballen werden zum Strohtisch befördert, die Bänder werden zerschnitten, und der Ballen läuft weiter zu einem Häcksler oder Ballenauflöser.

### Häckseln, Auflösen und Befeuerung

Strohhäcksler verbrauchen mehr Strom und sind teurer in der Wartung als Strohauflöser. Sie werden in den Werken daher nach und nach ausgewechselt.

Im Auflöser wird das Stroh in den Zustand vor dem Pressen zurückge-

bracht. Die Ballen laufen vom Strohtisch zum Auflöser, der mit bis zu 30 Umdrehungen pro Minute läuft. Die Kapazität kann von 15-1000 kg/Std. eingestellt werden.

Ein anderer Auflösertyp wird als "Straw Divider" bezeichnet. Die Ballen laufen zu einer Reihe auf- und abgehender Zahnstangen und werden von diesen aufgelöst. Das Stroh fällt durch einen Trichter und wird von einer Stokerschnecke oder einem Kolben in den Kessel ausgetragen. Bei allen Befeuersystemen sitzt vor dem Kessel eine Sicherheitsschleuse, die verhindern soll, daß sich das Stroh außerhalb des Kessels entzündet (Rückbrand).

### Kessel

Mit Hilfe der Stokerschnecke oder des Kolbens wird das Stroh unten in den Kessel ausgetragen. Der Kesselboden besteht aus einem kräftigen, gußeisernen Rost, auf dem die Verbrennung erfolgt. Der Rost ist normalerweise in mehrere Verbrennungszonen unterteilt, ein Gebläse in jeder Zone führt Verbrennungsluft durch den Rost zu (Primärluft). Die Verbrennung kann in jeder Zone gesteuert werden, dadurch brennt das Stroh gut aus. Gleichzeitig kann sich der Rost vor- und zurückbewegen, wodurch das brennende Stroh durch den Kessel zur Ascheentnahme transportiert wird. Der Energiegehalt des Strohs besteht zu einem großen Teil aus flüchtigen Gasen (ca. 70%), die bei Erwärmung freigesetzt werden und im Feuerraum über dem Rost verbrennen. Damit die Gase genügend Verbrennungsluft bekommen, wird aus zahlreichen, strategisch richtig in der Kesselwand sitzenden Düsen Sekundärluft zugeführt. Die Luftgeschwindigkeit

muß hoch sein, damit die Gase gut mit der Verbrennungsluft verwirbelt werden. Bei einem unzureichenden Sekundärluftsystem entstehen hohe Kohlenmonoxidprozent im Rauchgas, und es kommt zu Geruchsbelästigung (unverbrannte Kohlenwasserstoffe). Der Wirkungsgrad wird schlechter, da unverbrannte Gase durch den Schornstein entweichen.

Vom Feuerraum werden die Rauchgase zum Konvektionsteil geleitet. Der Konvektionsteil besteht in der Regel aus Reihen senkrechter Rohre, durch die die Rauchgase passieren. Die meisten Anlagen haben einen Economizer, d.h. einen Wärmetauscher nach dem Konvektionsteil. Hier geben die Rauchgase zusätzlich Wärme an das Kesselwasser ab, der Gesamtwirkungsgrad erhöht sich weiter.

### Anlagen für in Scheiben geschnittene Ballen

Ein hydraulisches Messer schneidet Scheiben von dem Ballen, und ein Kolben schiebt die Scheibe in den Kessel. Bevor der Ballen in Scheiben geschnitten wird, wird er senkrecht gestellt, und das Messer schneidet die Scheiben vom unteren Ende.

### Anlagen für das kontinuierliche Verfeuern von ganzen Ballen

Statt die Bänder zu zerschneiden und den Strohbällen aufzulösen, werden die ganzen Ballen in einer endlosen Reihe in den Kessel geschoben und verbrennen dort von einem Ende (wie eine Zigarre). Der Kran legt den Ballen in einen Speisekasten, und ein hydraulischer Kolben schiebt den Ballen in einen Be-



foto: biopress/farben skött

*Der Gabelstapler legt die Großballen in markierten Feldern ab, so daß der automatische Kran sie finden kann. Es werden vier Ballen übereinandergestapelt. Die Automatik sorgt dafür, daß der Kran einen Ballen auf dem Strohtisch ablegt, von hier aus wird der Ballen dann in den Auflöser vorgeschoben.*

schickungstunnel, wo er von Mitnehmern zum Brenner in der Kesselwand weiterbefördert wird. Die flüchtigen Gase werden im Brenner freigesetzt und mit Hilfe einer größeren Anzahl Sekundärluftdüsen verbrannt. Der Ballen wird weitergeschoben, dabei fallen Asche und nicht verbranntes Stroh auf einen wassergekühlten Rost und brennen dort aus.

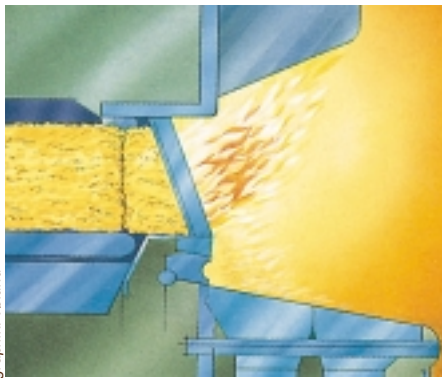
## Anlagen für das stückweise Verfeuern von ganzen Ballen

Der Kran legt den Ballen in einer Sicherheitsschleuse ab, von dort wird er zu einer Befuerungsschleuse transportiert, dann wird die Tür zur Vorverbrennungs-



foto: biopress/torben skott

Der automatische Kran steht in Warteposition und wartet, daß die Kesselautomatik Stroh anfordert. Der Kran hebt den Ballen zum Strohauflöser und legt ihn links ab, wo die Tür automatisch geöffnet wird. Die auf- und abgehenden Zahnstangen sind ganz rechts im Strohauflöser montiert.



graphik: volund

Das "Zigarrenfeuerungs-Prinzip". Großballen werden nach und nach in den Feuerraum geschoben und brennen dort von einem Ende ab (wie eine Zigarre). Die Verbrennungsluft wird durch Düsen in der schrägen Brennerfront zugeführt. Asche und teilweise verbranntes Stroh fallen auf einen schrägen Rost und brennen dort aus, bevor sie zum Schlackenschacht rechts im Bild weitergeschoben oder -gerüttelt werden.

anlage geöffnet und der Ballen eingeführt. In der Vorverbrennungsanlage - einer Art Vergasungskammer - wird der Ballen von der vorhandenen Brennstoffmenge entzündet und brennt teils von vorn, teils von oben ab, je nachdem, wo Verbrennungsluft zugeführt wird. Die Luftzufuhr wird je nach Rauchgastemperatur und Sauerstoffprozent reguliert. Am Boden der Vorverbrennungsanlage sitzen Mitnehmer, die den brennenden Ballen langsam zur Ascheentnahme weitertransportieren.

## Rauchgasreinigung

Das Rauchgas von der Verbrennung muß gereinigt werden, damit die behördlichen Auflagen eingehalten werden. Die dänische Umweltbehörde hat folgende

Richtwerte für Strohverbrennungsanlagen über 1 MW vorgeschlagen (42):

Partikelemission: max. 40 mg/Nm<sup>3</sup> (Nm<sup>3</sup> = Normalkubikmeter, d.h. bei 0°C). Kohlenmonoxid: max. 0,05% (Volumenprozent bei 10% Sauerstoff im Rauchgas).

Für Anlagen unter 1 MW gibt es keine genau festgelegten Anforderungen, die genehmigenden Behörden wenden aber bei Fernwärmewerken unter 1 MW normalerweise die oben angegebenen Werte an.

Bei der Rauchgasreinigung muß die Flugaschemenge gesenkt werden, so daß Partikel aus dem Rauchgas nicht über die umliegenden Gebäude niedergehen. Der Kohlenmonoxidgehalt wird im Abschnitt "Umweltaspekte" näher behandelt.

Rauchgasreinigungsausrüstung kann sein:

- Multizyklon: Die Rauchgase werden in senkrechten Rohren "geschleudert", dabei werden die Partikel abgeschieden.
- Gewebefilter (Schlauchfilter): Die Rauchgase werden durch feinmaschige Schläuche geleitet, in denen die Partikel abgefiltert werden.
- Elektrofilter: Die Rauchgase werden durch ein elektrisches Feld geleitet, und die Partikel werden an Elektroden abgeschieden.
- Rauchgaswaschanlage: Die Rauchgase werden durch einen "Wasserfall" geleitet, dabei werden die Partikel im Wasser gebunden.
- Rauchgaskondensierung: Die Rauchgase werden unter den Taupunkt abgekühlt, die Partikel werden in den Tropfen gebunden.

Normalerweise wird ein Multizyklon als Funkenfang und für grobe Partikel, ge-

Material	Betriebstemperatur °C	Chemische Widerstandsfähigkeit			Flex	Preis/m <sup>2</sup>
		Säuren	Laugen	Hydrolyse		
Polyester	150	+++	+	-	++	1
Dralon T	125	+	++	+	++	1,5
Nomex	210	0 zu +	+++	0	+++	4
Teflon	230	+++	+++	++	0	20

- Instabil
- 0 Mäßig stabil
- + Stabil
- ++ Sehr stabil
- +++ Außerordentlich stabil

Flex: Stabilität gegen Einwirkungen bei Handtierung  
Der Preis pro m<sup>2</sup> ist ein relativer Preis (Polyester = 1)

Tabelle 4: Eigenschaften von Gewebefiltern und Preisverhältnisse (11 und 43). Hydrolyse ist eine Wärme erfordernde Reaktion, bei der sich Wasser chemisch mit organischem Material (Gewebefiltern) verbindet und das Material zersetzt wird.

folgt von einem Schlauchfilter, benutzt. Im Multizyklus wird das Rauchgas von 1000-2000 mg Staub/Nm<sup>3</sup> auf 500-600 mg Staub/Nm<sup>3</sup> gereinigt. Ein Großteil der Flugasche aus der Strohverbrennung ist so feinkörnig (unter 0,01 mm), daß ein Schlauchfilter die beste und billigste Lösung ist, um die Auflage von 40 mg Staub/Nm<sup>3</sup> einzuhalten. Der Staubgehalt nach dem Filter beträgt bei Normalbetrieb 20-30 mg Staub/Nm<sup>3</sup> bei intakten Schläuchen. Siehe auch den Abschnitt "Umweltaspekte".

Elektrofilter können bei strohbefeuerten Anlagen zu Problemen führen. Zwei ursprünglich mit Elektrofiltern ausgerüstete Anlagen arbeiten jetzt mit Schlauchfiltern.

Die Staubpartikel lassen sich im Elektrofilter schwer ionisieren, außerdem fallen sie wegen der geringen Masse nur schwer von den Elektroden ab und in das Aschesystem. Ein Teil der Partikel setzt sich als Belag im Schornstein ab, und besonders beim Anfahren der Anlage kommt es dazu, daß Rußklümpchen aus dem Schornstein geschleudert werden und in der Umgebung des Werkes niedergehen.

Einige Werke haben eine Rauchgaswaschanlage installiert. Dabei werden die Rauchgase durch einen "Wasserfall" aus vernebeltem Wasser geleitet, der die Partikel auffängt und mit dem Wasser ableitet. Statt eines Aschedepositionsproblems entsteht bei diesem Verfahren ein Abwasserproblem.

Als Neuheit hat "Hals Fjernvarme" eine Rauchgaskondensierung installiert. Trotz des geringen Wassergehaltes in Stroh sind die Betriebserfahrungen der ersten Jahre gut. Die Betriebskosten für Strom sind für die gesamte Anlage ca. 5% niedriger. Die Wartungskosten liegen verglichen mit einem Schlauchfilter bei einem Drittel bis einem Viertel.

### Schornstein

Das gereinigte Rauchgas wird durch den Schornstein in die Atmosphäre geleitet. Jeder Kessel verfügt über ein separates Rauchgasabzugsrohr. Die Schornsteinhöhe muß in jedem Einzelfall nach den umweltbehördlichen Vorschriften festgelegt werden. Für strohbefeuerte Werke gilt die Richtlinie 6/1990 der dänischen Umweltbehörde "Begrenzung der Luftverschmutzung durch Betriebe" (Begrænsning af Luftforurening fra Virksomheder). Darin werden auch Anleitungen für die Berechnung von Schornsteinhöhen gegeben (42).

### Asche

Stroh enthält 3-5% Asche. Ein Teil fällt vom Rost in einen Trichter unter dem

Kessel und wird über einen Redler in einen Aschecontainer ausgetragen. Der Redler liegt normalerweise in einem Wasserbad. In dem Maße, in dem das Wasser verdampft und mit der Asche in den Container geleitet wird, wird automatisch neues Wasser zugeleitet. Der Transport von Naßasche ist das gebräuchlichste Verfahren in den Werken, ein Wasserbad im Redler ist darüber hinaus ein effektives Mittel, um zu verhindern, daß dem Kessel durch das Aschetransportsystem Luft falsch zugeführt wird.

Die Flugasche ist der Teil, der den Rauchgasen durch den Kessel folgt und in Zyklon und Filter abgeschieden wird. Über Förderschnecken wird die Asche dann zum Redler transportiert. Zur Nutzung der Asche als Dünger vgl. Kapitel 11.

### Speicher

In 23 Heizwerken ist ein Speicher von durchschnittlich 400 m<sup>3</sup> installiert. Der Preis für einen Speichertank dieser Größe liegt bei ca. 1 Mill. DKK (1995-Preise). Ein Speicher bietet folgende Vorteile:

- Die Spitzenbelastung morgens und abends im Winterhalbjahr kann ausgeglichen werden, so daß nicht mit Öl befeuert werden muß.
- Bei einer Betriebsunterbrechung kann der Wärmeverbrauch aus dem Speicher gedeckt werden, so daß nicht mit Öl befeuert werden muß. Ein 400 m<sup>3</sup>-Tank kann Wärme für 7 Stunden Vollast in einem Durchschnittswerk liefern.
- Bei Schwachlast im Sommer kann der Kessel kurze Zeit Vollast fahren, während der Speicher gefüllt wird, und da-

nach heruntergefahren werden. Das ergibt einen besseren Wirkungsgrad und geringere Emissionen, verglichen mit ständigem Schwachlastbetrieb.

- Die Bereitschaftspläne für das Personal können flexibler gestaltet werden, u.a. weil der Kessel an Wochenenden im Sommer ausgeschaltet werden kann.

Nachteilig sind höhere Kosten für Anschaffung und Wartung, außerdem muß Stroh gekauft werden, um den Wärmeverlust aus dem Speicher zu decken.

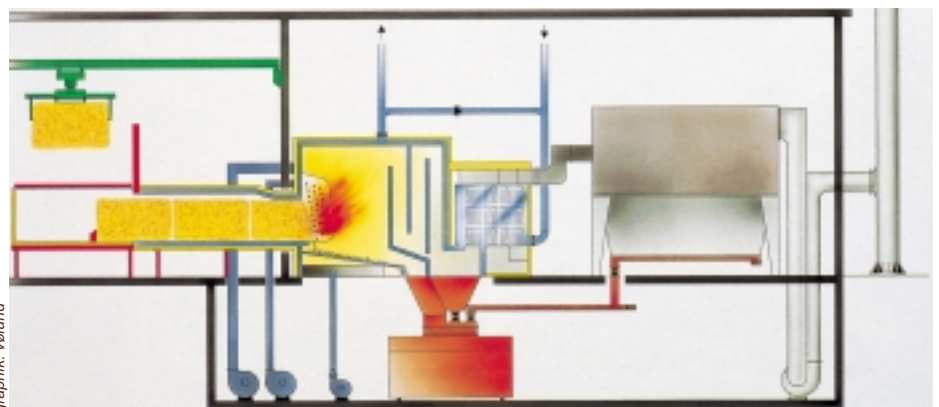
### Steuerung, Regulierung, Überwachung

Steuerung, Regulierung und Überwachung eines Werkes werden als SRO-System bezeichnet (dänisch: Styring, Regulering, Overvågning). Normalerweise gehören zwei Rechner zu dem System :

- Eine SPS, die Betriebsdaten der Anlage registriert und dafür sorgt, daß die Sollwerte für Druck, Temperatur, Flow u.a. eingehalten werden.
- Ein normaler PC, auf dem die aktuellen Betriebsdaten von der SPS auf dem Schirm angezeigt und ausgedruckt werden können. Die Sollwerte können auf dem PC geändert werden, der Betriebszustand der Anlage kann über die SPS geändert werden.

Das System ist aufgeteilt in drei Hauptfunktionen, die folgendes decken:

- Die Steuerung sorgt dafür, daß der gesamte Prozeß in einer im voraus festgelegten Reihenfolge abläuft, z.B. holt der Kran erst dann einen neuen Bal-



*Ein Fernwärmewerk mit Zigarrenfeuerung. Der automatische Kran legt die Großballen im Speisekasten ab, von dort werden sie zur Verbrennung weitertransportiert. Die Rauchgase ziehen durch die 4 leeren Züge des Kessels in den aus senkrechten Rauchgasrohren bestehenden Konvektionsteil. Die Asche fällt durch Trichter in den Aschecontainer. Das Rauchgas zieht weiter in das Gewebefilter, und über die Rauchgasabsaugung im Keller wird das gereinigte Rauchgas durch den Schornstein emittiert. Aus Lärmschutzgründen sind alle Gebläse im Keller untergebracht.*

len, wenn der vorige verfeuert ist und das Betriebsthermostat des Kessels mehr Wärme anfordert.

- Die Regulierung sorgt dafür, daß die Sollwerte für Druck, Temperatur u.a. eingehalten werden.
- Die Überwachung löst bei Betriebsstörungen Alarm aus. Der Diensthabende kann über einen Personensucher im Werk oder zu Hause benachrichtigt werden. Das Werk ist normalerweise an den 5 Werktagen von 8-16 Uhr bemant.

## Umweltaspekte

Die Umweltbelastung durch Energieerzeugung steht im Blickpunkt von Behörden und Öffentlichkeit. Stroh ist CO<sub>2</sub>-neutral, und das ist der wichtigste Grund für den politischen Wunsch, die energetische Nutzung von Stroh zu fördern.

In 13 Werken wurden von 1987-93 Emissionsmessungen vorgenommen (Tabelle 5). Dabei konnten keine Unterschiede bei den Emissionen aufgrund unterschiedlicher Befeuersprinzipien festgestellt werden (11, Infoblatt 61).

In Tabelle 5 beträgt der CO-Wert 1200 mg/Nm<sup>3</sup> entsprechend 0,096%, dieser Wert liegt über dem Grenzwert der dänischen Umweltbehörde von 0,05%. Der CO-Gehalt des Rauchgases hängt davon ab, wie gut die Verbrennung ist. Der Gehalt muß so gering wie möglich sein, denn:

- CO ist giftig.

- CO ist ein brennbares Gas. Ein hoher CO-Gehalt verringert den Wirkungsgrad.
- Ein hoher CO-Wert und Geruchsbelästigung gehören zusammen.
- Ein hoher CO-Gehalt und das Vorhandensein von PAK und Dioxin im Rauchgas gehören vermutlich zusammen.

Die NO<sub>x</sub>-Bildung soll reduziert werden, da das Vorhandensein von NO<sub>x</sub> beiträgt zur

- Bildung von Smog in der Atmosphäre
- Versäuerung von Niederschlägen (saurer Regen).

Verantwortlich für die Bildung von NO<sub>x</sub> ist der Stickstoffgehalt der Luft und des Brennstoffs. Sie hängt außerdem davon ab, wie die Verbrennung im Feuerraum erfolgt. Wichtige Parameter für eine geringe NO<sub>x</sub>-Emission sind:

- geringer Luftüberschuß
- niedrige Flammtemperatur
- schnelle Abkühlung der Rauchgase

Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>) entsteht durch den Schwefelgehalt des Brennstoffs. SO<sub>2</sub> ist verantwortlich für:

- Versäuerung von Niederschlägen (saurer Regen)
- Korrosion an Kessel und Filter durch die Bildung von Schwefelsäure

Sowohl SO<sub>2</sub> als auch NO<sub>x</sub> können aus dem Rauchgas entfernt werden, doch sind die Prozesse für kleine Anlagen wie

Fernwärmewerke zu kostspielig. Messungen in 2 Fernwärmewerken haben ergeben, daß 57-65% des Schwefels durch den Schornstein emittiert werden, der Rest wird in der Asche gebunden (59).

Chlorwasserstoff (HCl) trägt ebenso wie SO<sub>2</sub> zur Versäuerung der Atmosphäre und zu Korrosion an der Kesselanlage bei. Der Chlorgehalt des Strohs stammt vermutlich von Kunstdünger und Pestiziden.

PAK (Polyaromatische Kohlenwasserstoffe) ist ein Sammelbegriff für eine Reihe von Kohlenwasserstoffverbindungen, die dadurch charakterisiert sind, daß sie riechen. Dioxin ist ebenfalls ein Sammelbegriff für Stoffe, die Kohlenstoff, Sauerstoff, Wasserstoff und Chlor enthalten. PAK und Dioxine entstehen bei schlechter Verbrennung und sind gesundheitsschädlich. Nachgewiesen wurde ein Zusammenhang zwischen hohem CO-Gehalt und der Bildung von PAK und Dioxinen (44,45,46).

## Lärmschutz

Im Zusammenhang mit der öffentlichen Genehmigung eines Heizwerkes können folgende Lärmgrenzwerte festgelegt werden:

- An der Grundstücksgrenze: 40 dB (A)
- An existierenden Wohnungen:
  - 45 dB (A) montags - freitags 7-18 Uhr sowie samstags 7-14 Uhr
  - 40 dB (A) montags - freitags 18-22 Uhr sowie samstags 14-22 Uhr und sonn-/feiertags 7-22 Uhr
  - 35 dB (A) täglich 22-7 Uhr

Zum Vergleich liegt der normale Geräuschpegel in einem Wohngebiet bei 31-32 dB (A). Eine wirksame Lärmschutzmaßnahme ist z.B. das Anbringen von Gebläsen, Hydraulikmotoren u.a. in einem Keller.

## Sicherheit

Die Sicherheit in einem Heizwerk umfaßt Brandschutz und Personenschutz. Vor Inbetriebnahme muß die Anlage von der örtlichen Brandschutzbehörde genehmigt werden. Das Werk muß in Brandsektionen aufgeteilt sein, z.B. in

- Strohlager
- Strohbeschickung
- Kesselraum
- Sonstige Räume: Büros, Kantine, Werkstatt u.a.

Am größten ist die Gefahr eines Brandes im Strohlager und einer Rauchgasexplosion. Wenn Rauchgase in die Räume gelangen, z.B. bei einer Betriebsstörung

Parameter	Mg/Nm <sup>3</sup> bei 10% O <sub>2</sub>	Mg/MJ
Partikel <sup>1)</sup> (Staub)	<b>80</b> (5 - 200)	<b>40</b> (3 - 100)
CO (Kohlenmonoxid)	<b>1200</b> (240 -2300)	<b>600</b> (120 - 1150)
NO <sub>x</sub> (Stickstoffoxide) <sup>2)</sup>	<b>180</b> (80 - 300)	<b>90</b> (40 - 150)
SO <sub>2</sub> (Schwefeloxide) <sup>3)</sup>	<b>260</b> (200 -340)	<b>130</b> (100 - 170)
HCl (Chlorwasserstoff)	<b>80</b> (30 -150)	<b>40</b> (15 - 80)
PAK	<b>0,35</b> (0,20 - 0,60)	<b>0,18</b> (0,10 - 0,30)
Dioxin (Nordische tox.) <sup>4)</sup>	(0,01•10 <sup>-6</sup> -0,4•10 <sup>-6</sup> )	(0,005•10 <sup>-6</sup> -4•10 <sup>-6</sup> )
Dioxin (PCDD + PCDF) <sup>4)</sup>	(0,8•10 <sup>-6</sup> -8•10 <sup>-6</sup> )	(0,4•10 <sup>-6</sup> -4•10 <sup>-6</sup> )

1) Die Zahlen gelten für Anlagen mit Gewebefilter

2) Berechnet als NO<sub>2</sub>-Äquivalente

3) Der Wert wurde daher nach dem Schwefelgehalt des Strohs berechnet. Messungen 1997 haben ergeben, daß 35-43% des Schwefels in der Asche gebunden werden (59).

4) Gemessen wurde in zwei Anlagen, ein Meßwert pro Anlage.

*Tabelle 5: In 13 Fernwärmewerken wurden von 1987-93 eine Reihe von Emissionsmessungen vorgenommen. Die hervorgehobenen Zahlen sind Mittelwerte, die Zahlen in Klammern zeigen, in welchem Intervall ca. 90% der Meßergebnisse voraussichtlich liegen werden. Die Staub- und Kohlenmonoxidemission liegt über den Grenzwerten der dänischen Umweltbehörde.*

der Beschickung, können Funken von elektrischen Schaltern oder der Verbrennungsanlage die Rauchgase entzünden und eine Explosion auslösen. Normalerweise muß die Sektion an der Strohbeschickung mit Explosionsklappen ausgerüstet sein, um die Schäden bei einer Rauchgasexplosion zu begrenzen.

Die Personenschutzmaßnahmen müssen von der dänischen Gewerbeaufsicht abgenommen werden. Dabei geht es um Schutz gegen Verbrühen, Verbrennung, Vergiftung durch Rauchgase und Staub sowie gegen Verletzungen durch Kran, Förderbänder, Auflöser u.a.

## Kombinationsbefeuerung mit anderen Brennstoffen

Wie im Abschnitt "Dimensionierung" erwähnt, haben alle Werke einen ölbefeuerten Spitzen- und Reservelastkessel, der den gesamten Wärmebedarf des Netzes decken kann.

Durch die Diskussionen der letzten Jahre über die Strohreserven und das schlechte Stroherntejahr 1993, als es örtlich zu Strohangel kam, haben 11 Werke ihr Lager umgebaut und Beschickung und Kessel auf Kombinationsbefeuerung mit Holz umgerüstet. Verwendet werden hauptsächlich trockenes Abfallholz aus der Holzindustrie oder Holzpellets. Vier Werke können Fettschlamm und Stroh mischen (47, 48).

Das Mariager Fernwärmewerk ist eines der Werke, das auf die Verbrennung von Abfallholz und Stroh umgerüstet wurde. Es hat einen 6 MW Bio-brennstoffkessel, und 1995 war die Brennstoffverteilung wie folgt:

Stroh:	4944 Tonnen
Holz:	1310 Tonnen
Öl:	57,4 m <sup>3</sup>

Der Ölanteil an der gesamten Wärme- produktion von 23.200 MWh beträgt nur 2%.

## Investition und Betrieb

Der Bericht "Anlage- und Betriebsdaten für strohbefeuerte Heizwerke. 1996" (Anlægs- og driftsdata for halmfyrede varmegærker. 1996 - (9)) enthält Angaben über Anlagenpreise für Grundstück, Erschließung, Gebäude, Maschineninstallation und Projektierung. Alle Preise wurden aus Gründen der Vergleichbarkeit in 1995-Preise umgerechnet. Der Speicher ist nur bei ganz wenigen Werken im Preis enthalten. Schaubild 18 zeigt die Preise für die einzelnen Werke als Funktion der installierten Strohkesselleistung.

Als Beispiel werden nachstehend die Anlagekosten für einen Ort beleuchtet, in dem sowohl ein neues Werk als auch ein neues Fernwärmenetz errichtet

Mill. DKK

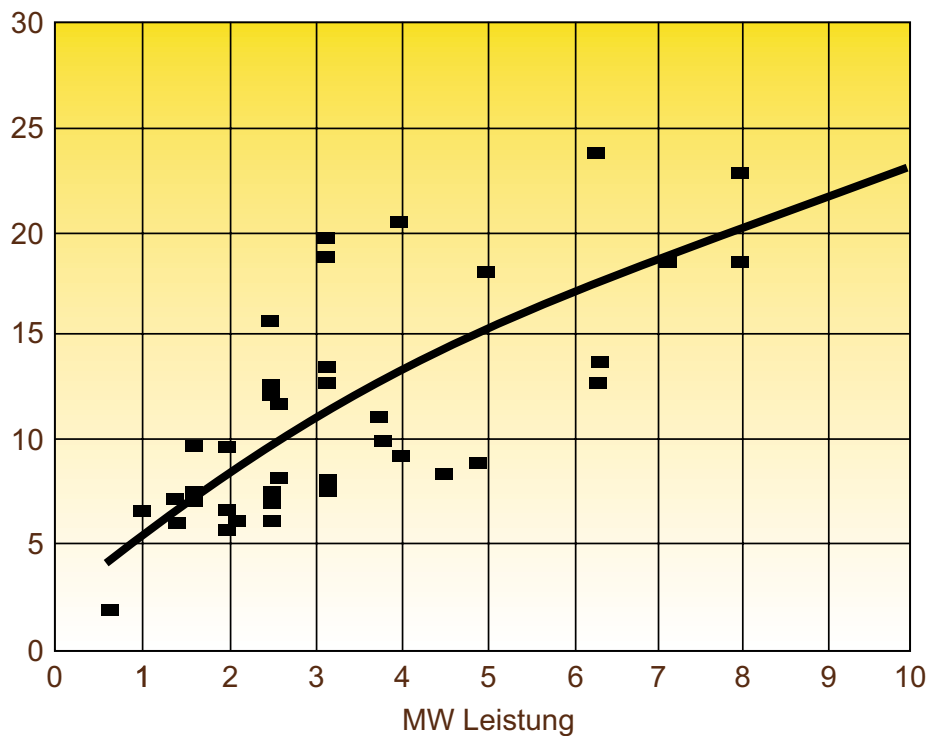


Schaubild 18: Anlagenpreise in Mill. DKK pro MW installierte Leistung, angepaßt an den Preisstand 1995. Der Preis schließt Grundstück, Erschließung, Gebäude, Maschineninstallation und Projektierung ein. Die Angaben sind von 40 Werken, die ausschließlich Stroh verwenden. Gründe für die Preisstreuung sind unterschiedliche Lagergröße, generelle Qualität der Anlage, Konjunkturschwankungen im Zeitraum 1983-1995 sowie die Tatsache, daß bei einzelnen Werken der Speicher im Preis eingeschlossen ist.

wird. Bei einem neuen Projekt kommt es auf einen guten Start an. Deshalb müssen sich bereits im ersten Jahr mindestens 80% der Ölheizkessel sowie alle öffentlichen Großabnehmer beteiligen. Öffentliche Großabnehmer sind öffentliche Stellen, Schulen, Sporthallen u.a. Industrie-/Gewerbebetrieben und freien Berufen wird die Energie- und Umweltabgabe für das Beheizen von Räumen nicht mehr wie früher erstattet, auch sie sind daher eine Zielgruppe.

Die Daten für das Beispiel (teilweise aus Schaubild 17 übernommen) sind auf Jahresbasis:

260 Einzelabnehmer	4.550 MWh
10 Großabnehmer	3.300 MWh
Netzverlust	30%
Wärmeerzeugung ab Werk	11.200 MWh
Wärmeerzeugung aus Stroh	93%
Wärmeerzeugung aus Öl	7%
Leistungsbedarf max.	3 MW
Strohkesselleistung	2 MW

Für einen Ort mit hoher Bebauungsdichte beträgt der Netzverlust in einem Jahr mit 3112 ELO-Gradtagen ca. 30%. Wenn die Häuser verstreuter liegen oder wenn kleinere Orte über eine Transmissions-

leitung verbunden werden, steigt der Netzverlust auf über 35%.

Die Investitionskosten verteilen sich wie folgt:

	Mill. DKK
Heizwerk einschl. Grundstück	9,0
Straßennetz	10,0
Zweigleitung zu den Abnehmern	4,0
Hausanschlüsse bei den Abnehm.	4,0
Unvorhergesehene Ausgaben	<u>1,0</u>
Anlagekosten insgesamt	28,0
Mögliche Zuschüsse	4,8
Kreditbedarf	<u>23,2</u>

Die Anlageninvestition kann in voller Höhe über ein Hypothekendarlehen mit Gleitzins finanziert werden, die Annuitäten steigen dabei im gleichen Takt wie die Inflationsrate. Solange diese 7% p.a. nicht übersteigt, ist dieser Darlehensstyp günstiger als ein normales Serien- oder Annuitätendarlehen. Näheres zur Struktur von Hypothekendarlehen siehe (41). Zuschüsse können bis zum Jahr 2000 bei der Energiebehörde beantragt werden.

## Betriebskosten und Einnahmen

Die Einnahmen des Werkes stammen aus dem Verkauf von Wärme und verteil-

len sich auf Festbeträge und wärmeverbrauchsabhängige Beträge. Der Wärmeverkaufstarif für Abnehmer kann z.B. sein:

Verbrauchsbezahlung: 350 DKK/MWh  
 Abonnementsbeitrag: 1000 DKK  
 Leistungsbeitrag, privat: 30 DKK/m<sup>2</sup>  
 Leistungsbeitrag, gewerblich: 30 DKK/m<sup>2</sup>

Dazu kommt die Mehrwertsteuer (in Dänemark z.Zt. 25%). Für einen privaten Abnehmer in einem Haus von 120-130 m<sup>2</sup> mit einem durchschnittlichen Verbrauch von 17,5 MWh ergibt das Heizkosten von DKK 13.800 pro Jahr. Diese Kosten entsprechen in etwa den Betriebskosten bei Ölfeuerung: Öl, Schornsteinfegen und Wartung. Der Tarif ergibt folgende Einnahmen:

	1.000 DKK
Verkauf von Wärme, 7850 MWh	2.748
Abonnementsbeitrag, 270 Stck.	270
Leistungsbeitrag, privat	1.014
Leistungsbeitrag, gewerblich	<u>350</u>
Gesamteinnahmen	<u>4.422</u>

Ausgaben sind:	1.000 DKK
Kauf von Stroh, 430 DKK/Tonne	1.235
Kauf von Öl, 87.000 l	295
Instandhaltung, Werk	200
Instandhaltung, Netz	200
Strom, Wasser, Chemikalien	100
Sonstige Kosten (Versicherung u.a.)	75
Personal und Verwaltung	500
Abschreibungen, linear, 20 Jahre	1.160
Indexierung der Tilgung	23
Zinsen und Beiträge	<u>620</u>
Ausgaben insgesamt	<u>4.408</u>
Nettoergebnis	<u>14</u>

Was die Rechnungslegungspraxis betrifft, ergibt eine lineare Abschreibung mit gleich großen Beträgen pro Jahr ein

korrekteres Bild vom Wertverlust der Anlage als die andere Praxis, bei der die Abschreibung mit der Darlehenstilgung gleichgesetzt wird. Bei dieser Praxis steigen die Ausgaben nach und nach, wenn die Tilgungsraten im Laufe der Tilgungsperiode steigen. Indexierung der Tilgung sind die Kosten für die jährliche Aufwertung der Tilgung um den Nettopreisindex. Der Restschuldbetrag wird gleichfalls um den Nettopreisindex aufgewertet. Dieser Posten wird in einem Kursregulierungsfonds unter dem Eigenkapital verbucht (11, Infoblatt 117).

### Organisationsformen

Strohbeheizte Heizwerke können als privatrechtliche Gesellschaften gegründet werden:

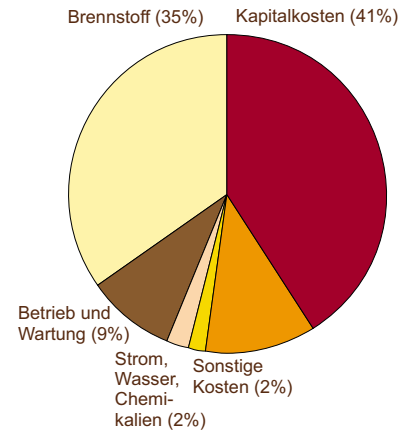
- Genossenschaft mit beschränkter Haftpflicht (eGmbH)
- ApS (Anpartsselskab, dänische GmbH)
- Aktiengesellschaft

oder als öffentlich-rechtliche Gesellschaften.

Bei den Personen hinter einer solchen Gesellschaft kann es sich handeln um:

- eine Gruppe Landwirte
- eine Strohlieferantenvereinigung
- ein existierendes Fernwärmeversorgungsunternehmen
- eine Gruppe von Abnehmern
- eine Kommune

Ein privates Strohheizwerk sollte zweckmäßigerweise die Rechtsform einer eGmbH erhalten. Die Gesellschafter haften nur mit ihrer Einlage, und jeder Abnehmer hat bei der Hauptversammlung eine Stimme. Außerdem ist die Unter-



*Schaubild 19: Kostenverteilung in % für das Durchgerechnete. Die Kosten im Zusammenhang mit der Rückzahlung von Krediten (Kapitalkosten) sowie dem Einkauf von Stroh und Öl betragen 76% der Ausgaben des Werkes.*

nehmensform bereits bei vielen bekannt. Fast alle Strohheizwerke in Dänemark haben die Rechtsform einer privaten eGmbH. Andere mögliche Rechtsformen sind die "ApS" (Gesellschaft mit beschränkter Haftung - nach dänischem Recht) und die Aktiengesellschaft. Auch bei diesen Formen haften die Anteilseigner nur bis zur Höhe ihrer Einlage.

Strohheizwerke sind nicht steuerpflichtig, sofern die Wärme an alle Einwohner des jeweiligen Versorgungsgebietes geliefert werden kann. Es ist daher wenig zweckmäßig, eine offene Handelsgesellschaft (OHG) zu gründen, da die steuerlichen Vorteile normalerweise nicht voll ausgeschöpft werden können. Außerdem haften die Gesellschafter solidarisch mit ihrem gesamten Vermögen, d.h. Gläubiger können sich an jeden Gesellschafter wenden, falls die Gesellschaft Konkurs anmelden muß.