

## 8. Fernwärmewerke

**Unter Fernwärmewerken werden Werke mit selbständiger Wärmeproduktion, aber ohne Stromproduktion verstanden. Die Wärme wird in ein Fernwärmenetz eingespeist, an das alle Verbraucher im Einzugsbereich des Netzes angeschlossen werden können.**

Seit Inbetriebnahme der ersten Anlagen Anfang der 80er Jahre hat die Nutzung von Waldhackschnitzel markant zugenommen. 1984 gab es nur drei hackschnitzelbefeuerte Fernwärmewerke, heute ist ihre Zahl auf ca. 50 gestiegen. Der Hackschnitzelverbrauch ist im gleichen Zeitraum auf ca. 725.000 Raummeter pro Jahr gestiegen, das entspricht einer Energiemenge von ca. 1.800 TJ. Auf den letzten Seiten dieser Publikation findet sich eine Liste der hackschnitzelbefeuerten Fernwärmewerke in Dänemark.

International gesehen hat die Nutzung von Hackschnitzel in Fernwärmewerken in relativ kurzer Zeit einen ungewöhnlich großen Umfang erreicht. Nur in wenigen anderen Ländern, z.B. in Schweden, Finnland und Österreich, wird Hackschnitzel in Fernwärmewerken noch intensiver genutzt als in Dänemark.

Hackschnitzelbefeuerte Fernwärmewerke werden entweder als Ersatz für frühere öl- oder kohlebefeuerte Fernwärmewerke mit einem älteren Fernwärmenetz errichtet oder ganz neu angelegt (Werk und Netz). Die Hackschnitzelkessel in den dänischen Fernwärmewerken haben eine Wärmeleistung von 1 bis 10 MW, durchschnittlich 3,5 MW.

Nach dem dänischen Gesetz über staatliche Zuschüsse zur Förderung dezentraler Kraftwärme und der Nutzung von Biobrennstoffen ("Lov om statstilskud til fremme af decentral kraftvarme og udnyttelse af biobrændsler") (57) werden Zuschüsse gewährt, die natürlich die Wirtschaftlichkeit dieser Projekte verbessern. Den Zuschüssen wird große Bedeutung für den weiteren Ausbau der Fernwärmeversorgung mit Biomasse zugemessen. Bei Projekten, die von Grund auf neu errichtet werden, müssen ein Heizwerk, ein Fernwärmenetz sowie Verbraucherinstallationen etabliert werden. Diese Werke, die ein erhebliches Investitionsvolumen erfordern, sind typisch in

kleineren Orten angelaufen, d.h. die Hackschnitzelkessel sind hier etwas kleiner als der erwähnte Durchschnittswert von 3,5 MW.

Es gibt 7 - 9 dänische Lieferanten von schlüsselfertigen, hackschnitzelbefeuerten Fernwärmeanlagen sowie eine große Zahl von Firmen, die kleinere Anlagen für Landwirtschaftsbetriebe und Institutionen sowie Komponenten für Anlagen liefern (siehe Herstellerliste).

Industrie- und Gewerbebetriebe zeigen steigendes Interesse an Fernwärme aus Biomasse, denn die Energie- und Umweltabgaben für die Beheizung von Räumen können nicht mehr steuerlich geltend gemacht werden. Außerdem können die Betriebe bei der dänischen Energiebehörde Zuschüsse beantragen für Anlageninvestitionen in Projekte, die u. a. zu einer Minderung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes beitragen (58, 59).

### Wahl der Anlagengröße

Wenn die Größe einer neuen Hackschnitzelfeuerungsanlage in einem Fernwärmewerk festgelegt werden soll, muss der jährliche Wärmebedarf des Fernwärmenetzes bekannt sein. Bekannt sein muss außerdem, wie sich der Wärmebedarf des Fernwärmenetzes über den Tag und das Jahr verändert.

Die Publikation (60) beschreibt, wie die Kesselgröße im Verhältnis zum Wärmebedarf des Netzes festgelegt wird. Das Verfahren ist für stroh- und hackschnitzelbefeuerte Werke gleich, das Beispiel in (60) kann daher direkt auf Hackschnitzelheizwerke übertragen werden.

Besonders bei neuen Fernwärmewerken ist der Wärmeverlust aus dem Fernwärmenetz zu beachten. Aus der Statistik 1995/96 des Verbandes der Dänischen Fernwärmewerke (Danske Fjernvarmeværkers Forening) gehen die Netzverluste von 19 Hackschnitzelheizwerken hervor. Der durchschnittliche Netzverlust in diesem Zeitraum betrug 26%; der höchste lag bei 36%, der geringste bei 19%. 1995/96 gab es ca. 3300 Gradtage, nach Berichtigung auf ein Normaljahr beträgt der durchschnittliche Netzverlust der 19 Werke ca. 28%.

### Anlagentechnik

Das typische Hackschnitzelwerk ist um einen Festbrennstoffkessel mit Treppen- oder Wanderrost herum aufgebaut. Der Kessel ist mit feuerfestem Mauerwerk ausgemauert, um bei dem relativ feuchten Brennstoff eine hohe Verbrennungstemperatur zu gewährleisten. Die Werke sind stark automatisiert; so wird beispielsweise das Hackschnitzel mit einem



foto: biopress/forben skøtt

*Der Wald rückt etwas näher an die Stadt, wenn ein Heizwerk – wie hier in Ebeltoft – ein eigenes Lager im Freien hat. Das ist vorteilhaft für Betrieb und Wirtschaftlichkeit, erfordert aber ausreichend Abstand zu Wohngebieten.*

computergesteuerten Kran vom Lager auf den Rost befördert. Der Kran registriert automatisch die vorrätige Hackschnitzelmenge.

Alle Anlagen bestehen aus den gleichen Hauptkomponenten:

- Brennstofflager
- Kran oder andere Ausrüstung zur Hackschnitzelhandlung
- Beschickungssystem
- Feuerraum und Kessel
- Rauchgasreinigung
- Rauchgaskondensierung
- Kamin
- Aschehandlung

Im Folgenden wird die normalerweise in den hackschnitzelbefeuerten Fernwärmewerken eingesetzte Technik in Hauptzügen beschrieben.

## Brennstofflager

Die Größe des Brennstofflagers hängt u.a. davon ab, was mit dem Brennstofflieferanten vereinbart wurde. Allerdings muss im Hinblick auf den Betrieb an Wochenenden sowie auf die Versorgungssicherheit bei extremen Witterungsverhältnissen immer eine Hackschnitzelmenge vorrätig sein, die mindestens dem maximalen Verbrauch von 5 Tagen entspricht. Die meisten Werke richten ein geschlos-

senes Lager in einer Halle o.ä. ein und überlassen die Handlung größerer Partien dem Hackschnitzellieferanten. Einzelne Werke haben jedoch auch ein Lager im Freien und können in der Regel Rabatte erzielen. Wegen der Gefahr einer Selbstentzündung darf der Hackschnitzelhaufen höchstens 7-8 Meter hoch sein - das gilt auch bei der Lagerung unter Dach. Mehr über die Lagerung von Hackschnitzel in Kap. 3.

Bei Arbeiten im Hackschnitzellager besteht die Gefahr, allergieauslösenden Staub und Mikroorganismen wie Pilze und Bakterien einzusatmen. Einzelpersonen sollten nie unüberwacht in Hackschnitzelsilos arbeiten. Mehr über gesundheitliche Belastungen und Arbeitsschutz im Abschnitt 5.2.

## Brennstoffhandlung

Das System für den Transport des Hackschnitzels vom Lager zum Beschickungssystem ist erfahrungsgemäß am anfälligsten für Betriebsstörungen. Das gesamte Transportsystem vom Lager zum Kessel ist als Kette zu betrachten, bei der ein Glied genauso betriebssicher sein muss wie das andere. Fällt nur ein Glied der Transportkette aus, z.B. wegen eines defekten Drahtkabels am Kran, stoppt das ganze Fernwärmewerk.

## Schaufellader

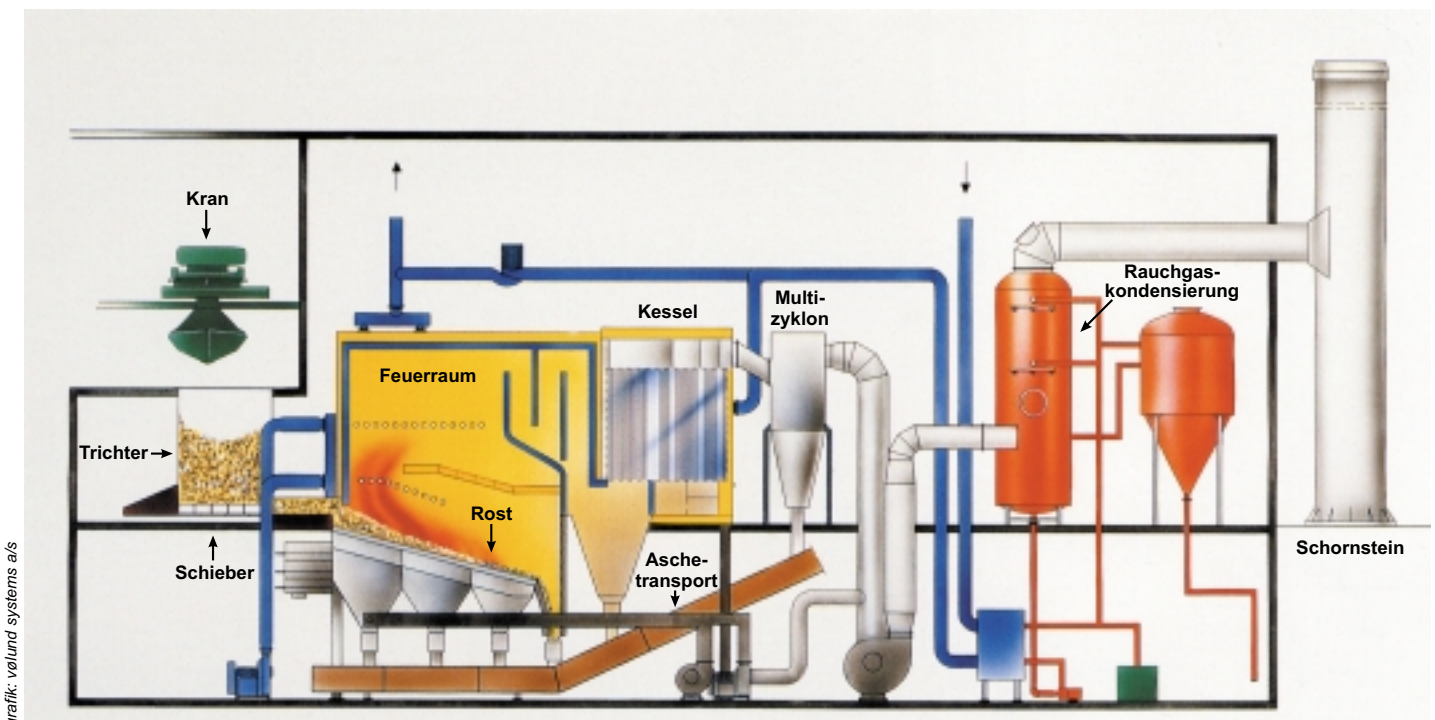
In Werken mit einem Lager im Freien wird für den Hackschnitzeltransport in das Lager im Gebäude oft ein Schaufellader mit einer großen Schaufel benutzt.

## Krantransport

Um das Hackschnitzel vom Lager zum Beschickungssystem zu transportieren, wird normalerweise ein Kran benutzt. Ein Kran ist flexibel, leistungsfähig und zugleich das Transportgerät, das eine schlechte Hackschnitzelqualität am besten toleriert. Es ist wichtig, dass die Kranschaukel Zähne hat, da sie sonst schwer zu füllen ist und außerdem leicht auf dem Haufen umkippt, d.h. das Hackschnitzel nicht aufnehmen kann. Bei größeren Anlagen ist ein Kran außerdem eine relativ preisgünstige Lösung, bei den ganz kleinen Anlagen ist ein Kran zu teuer.

## Schubstangenausragung

Ein hydraulisches Schubstangen-Austragungssystem wird für das Austragen aus rechteckigen Silos mit flachem Boden benutzt. Ein solches System funktioniert normalerweise nicht ganz so problemlos wie ein Kran, ist aber relativ preisgünstig und daher besonders für kleinere Anlagen geeignet (0,1-1 MW Kesselleistung).



grafik: volund systems a/s

Schaubild 21: In Thyborøn liefert ein hackschnitzelbefuertes 4 MW-Kessel Fernwärme. Der Rauchgaskondensator der Anlage leistet zusätzlich 0,8 MW Wärme bei einem Feuchtegehalt des Hackschnitzels von 50%.



foto: dk-technik/henrik haumann jakobsen

*Tropfenfang in einem frischen Blau und Isolierungskappen mit blanken Oberflächen außen am Rauchgaskondensator. Die Kesselzentrale im Heizwerk in Græsted, die hier einem ausländischen Besucher gezeigt wird, präsentiert sich sauber wie ein Wohnzimmer.*

### Runde Silos

Von runden Silos, bei denen das Hackschnitzel von einer rotierenden Schnecke ausgetragen wird, ist abzuraten. Wegen der Höhe des Silos ist das Füllen zeitaufwendig, und die mechanischen Teile am Boden des Silos sind bei Reparaturarbeiten schwer zugänglich. Technische Probleme treten in der Regel dann auf, wenn das Silo mit Hackschnitzel gefüllt ist. Vor Reparaturarbeiten muss das Silo erst entleert werden - manuell oder im besten Fall mit einer Kranschaufel. Für Holzpellets sind Futtermittel- und Getreidesilos dagegen oft gut geeignet.

### Schneckenförderer

Schneckenförderer sind billig in der Anschaffung, aber störungsanfällig bei Fremdkörpern und Spreißeln. Schnecken in einer Rinne mit aufgeschraubtem Deckel sind grundsätzlich Schnecken in einer geschlossenen Röhre vorzuziehen. Wer einmal eine durch Spreißel oder Fremdkörper blockierte Schnecke in einer geschlossenen Röhre geleert hat, wird den Grund für diese Empfehlung verstehen! Dementsprechend ist es ein Projektierungsfehler, wenn Schnecken in Böden einzementiert oder so angebracht werden, dass sie nicht repariert oder ausgewechselt werden können. Wie andere mechanische Fördereinrichtungen sind Schneckenförderer Verschleißteile, die für Wartungsarbeiten gut zugänglich sein müssen.

Bei richtiger Dimensionierung sind Schneckenförderer bei kleineren Anlagen (0,1-1 MW Kesselleistung) eine akzeptable Lösung, haben aber bei normalem Verschleiß eine relativ kurze Lebensdauer - es sei denn, es wird Schleissstahl benutzt. In größeren Fernwärmewerken werden Förderschnecken selten als Transportausrüstung benutzt.

### Förderbänder

Förderbänder sind relativ unempfindlich gegen Fremdkörper. In diesem Punkt sind sie besser als Schneckenförderer, können aber nicht ganz so hohe Steigungen bewältigen, es sei denn, das Band hat Mitnehmer. Die wesentlichsten Nachteile eines Förderbandes sind Preis und Staubbelästigung (die eine Abdeckung des Bandes erforderlich machen kann).

### Pneumatischer Transport

Generell eignet sich Hackschnitzel nicht für den Transport in pneumatischen Systemen. Sehr gleichmäßiges Hackschnitzel kann unter Umständen pneumatisch transportiert werden, doch ist dies energieaufwendig.

### Befuerungssysteme

Für hackschnitzelbefeuerte Kessel gibt es verschiedene Befuerungssysteme. Welches System man wählt, hängt von der Anlagengröße ab und davon, ob au-

ßer Hackschnitzel andere Festbrennstoffe genutzt werden sollen.

### Hydraulische Eintragung

Viele Werke arbeiten mit diesem relativ gut funktionierenden System. Aus einem Trichter fällt das Hackschnitzel in einen waagerechten viereckigen Kasten und wird von hydraulischen Schiebern auf den Rost geschoben. Die Konstruktion des Systems ist von entscheidender Bedeutung für seine Betriebssicherheit. Richtig ausgelegt - und das ist heute die Regel - gehört es zu den besten Lösungen für das Verfeuern von Hackschnitzel.

### Unterschubfeuerung (Stokerfeuerung)

Besonders in kleineren Anlagen (0,1-1 MW Kesselleistung) wird das Hackschnitzel oft mit einer Stokerschnecke eingetragen. Bei einigen Anlagen liegt die Schnecke quer zum Rost. Dadurch verteilt sich der Brennstoff gut über die gesamte Rostbreite.

### Trichter auf dem Rost

Einige Hackschnitzelwerke benutzen einen einfachen Trichter, durch den das Hackschnitzel auf dem Rost verteilt wird. Bei diesem System, das von kohlebefeuerter Kesseln mit Wanderrost bekannt ist, muss das Hackschnitzel so hoch im Trichter stehen, dass es wie ein luftdichter Pfropfen zwischen Eintragungssystem und Kessel wirkt. Einer Verstopfung des Trichters kann durch eine zweckmäßige Form des Trichters sowie durch mechanische Rührwerke/Austragungssysteme vorgebeugt werden.

### Spreaderstoker (Wurfffeuerung)

Von einer rotierenden Walze in einem Spreaderstoker wird das Hackschnitzel in den Feuerraum geworfen. Dieses System ist nur in wenigen Werken im Einsatz.

### Pneumatischer Rostbeschicker

Das Hackschnitzel wird in den Feuerraum geblasen und fällt auf den Rost. Spreaderstoker und pneumatische Rostbeschicker kommen oft bei Hackschnitzel mit hohem Feuchtegehalt zum Einsatz.

### Feuerraum

Das Hackschnitzel wird auf den Rost im Feuerraum eingetragen, der oft direkt un-

ter dem Kessel liegt. Die am häufigsten vorkommenden Roste in hackschnitzel-befeuerten Anlagen in Fernwärmegröße sind Treppen-/Schrägroste und Ketten-/Wanderroste. Bei beiden Rosttypen wird die primäre Verbrennungsluft von unten durch den Rost zugeführt.

Ein Treppenrost hat den Vorteil, dass das Hackschnitzel gewendet wird, wenn es über die "Treppenstufe" fällt. Das verbessert die Luftzufuhr und das Ausbrennen. Der Wanderrost ist von kohlebefeuernten Anlagen bekannt. Hier liegt das Hackschnitzel in einer gleichmäßigen Schüttung, deren Dicke von einem Brennstoffschieber bestimmt wird. Während der Verbrennung bewegen sich der Rost und das Hackschnitzel zum Aschefall.

Die Verbrennungsluft wird von Gebläsen als Primär- und Sekundärluft zugeführt (vgl. Kapitel 6).

Um feuchtes Hackschnitzel zu verbrennen, hat der Feuerraum eine feuerfeste Ausmauerung, die eine hohe Verbrennungstemperatur gewährleistet, sowie Zündbögen, die Wärme auf das Hackschnitzel abstrahlen. Menge und Form der Ausmauerung sind von großer Bedeutung für die Verbrennungsqualität bei nassen Brennstoffen. Werden stattdessen trockene Brennstoffe verfeuert, z.B. Holzpellets, ist eine Ausmauerung nicht von Nutzen, eher im Gegenteil. Die Verbrennungstemperatur wird dann zu hoch, und es kann zu Ruß in den Rauchgasen und Schlackenbildung auf dem Rost kommen. Daher müssen Brennstofftyp und Feuchtegehalt des Brennstoffs feststehen, bevor die Verbrennungsanlage gewählt wird.

## Verbrennungsqualität

In Kapitel 6 sind die Anforderungen an eine gute Verbrennungsqualität - vor allem Temperatur, Turbulenz und Zeit - ausführlich beschrieben. Die Temperatur muss ausreichend hoch sein, so dass der Brennstoff gut trocknen, entgasen und verbrennen kann, Luft und brennbare Gase müssen gut vermischt werden (Turbulenz) und schließlich müssen Platz und Zeit genug sein, damit die Gase ausbrennen können, ehe sie zu stark durch das Kesselwasser abgekühlt werden.

## Kessel

Vom Feuerraum aus werden die Rauchgase zu dem Teil des Kessels geleitet, wo

die Wärme an das zirkulierende Kesselwasser abgegeben wird. In den meisten Anlagen ist der Kessel über dem Rost angebracht. Das Rauchgas zirkuliert in von außen wassergekühlten Rohren.

In kleineren Anlagen können Verbrennungsteil und Kessel völlig getrennt sein. Hier verbrennt das Hackschnitzel in einem separaten Vorofen, von dem aus die Rauchgase in den Kessel geleitet werden.

Im Kessel selbst oder in einer Kesselsektion kann ein Economizer installiert sein, der die Rauchgase auf ca. 100°C abkühlt. Der Wirkungsgrad erhöht sich dadurch.

Der Kesselraum muss groß genug sein, damit Reparatur- und Wartungsarbeiten, hierunter die Kesselreinigung, ungehindert vorgenommen werden können. Die Gebäudekonstruktionen um den Kessel herum müssen so eingerichtet sein, dass die Rauchgaszüge des Kessels gereinigt und ausgewechselt werden können.

Für die Haltbarkeit des Kessels ist es wichtig, dass die Rücklaufemperatur zum Kessel hoch genug ist. Sie sollte mindestens 75 - 80 °C betragen, um Korrosion insbesondere an den Kesselrohren zu reduzieren. In den Hackschnitzelwerken schwankt die Lebensdauer der Rauchgaszüge stark. Außer der Betriebstemperatur spielen auch das Betriebsmuster, der Brennstoff, die Verbrennungsqualität und die Materialwahl eine wesentliche Rolle für die Lebensdauer des Kessels.

## Rauchgasreinigung - Flugasche

Flugasche ist der Teil der Asche, der den Rauchgasen durch den Kessel folgt. Bei der Rauchgasreinigung geht es vor allem darum, die Menge Flugasche, die durch den Schornstein ins Freie gelangt, zu reduzieren. Zur Emission anderer Stoffe - siehe unten.

Die Flugasche wird mit Schnecken von der Rauchgasreinigung zum übrigen Aschesystem transportiert. Flugasche kann mit einem Multizyklon, einem Schlauchfilter oder einer anderen Rauchgasreinigungs-Technik aus den Rauchgasen abgetrennt werden.

Flugasche aus der Holzverbrennung besteht hauptsächlich aus relativ großen Partikeln, die in einem Multizyklon aufgefangen werden können. In den meisten Werken sind Multizyklone installiert. Mit einer ausreichend dimensionierten Anlage kann ein Reinigungseffekt von ca. 200 mg/m<sup>3</sup>n erzielt werden (61) (1 m<sup>3</sup>n ist ein Normalkubikmeter, d.h. ein Kubikmeter Gas umgerechnet auf den Normalzustand 0°C und 1 bar). Multizyklone sind billig in der Anschaffung, wartungsfreundlich und werden zur Vorreinigung vor der Rauchgaskondensierungsanlage eingesetzt.

Schlauchfilter bieten einen Reinigungseffekt von 10-50 mg/m<sup>3</sup>n, vertragen aber normalerweise nur Rauchgasemperaturen bis ca. 180°C. Damit Glut und Funken nicht in das Schlauchfilter gelangen, müssen die Rauchgase Zyklone oder eine Fallkammer durchziehen, bevor sie das Schlauchfilter erreichen.

Erhöhte Wärmeleistung in %

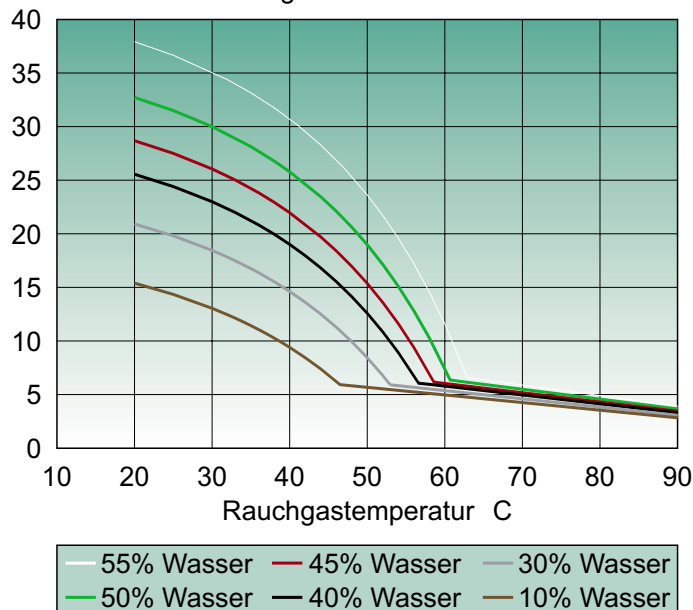


Schaubild 22: Durch Rauchgaskondensierung steigen Wärmeleistung und Wirkungsgrad der Anlage. Hier ist dargestellt, wie die Mehrleistung von der Rauchgastemperatur und dem Feuchtegehalt des Hackschnitzels abhängt.

Schlauchfilter schalten automatisch aus, wenn die Höchsttemperatur oder der Höchstwert für den Sauerstoffgehalt der Rauchgase überschritten wird.

Elektrofilter haben wie Schlauchfilter einen guten Reinigungseffekt. Ihre Installation in relativ kleinen hackschnitzelbefeuerten Anlagen ist etwas teurer, dafür sind die Betriebskosten geringer als bei Schlauchfiltern. Schlauchfilter, Elektrofilter u.a. sind heute in hackschnitzelbefeuerten Fernwärmanlagen nicht sehr verbreitet.

### Rauchgaskondensierung

Rauchgaskondensierungsanlagen sind bei neuen und bestehenden Anlagen inzwischen üblich. Es handelt sich um eine Technik, die Partikel aus den Rauchgasen entfernt - der Reinigungseffekt entspricht fast dem von Schlauchfiltern - und gleichzeitig den Wirkungsgrad der Anlage erhöht. Die meisten hackschnitzelbefeuerten Fernwärmewerke in Dänemark wurden entweder bereits mit Rauchgaskondensierungsanlage geplant, oder es wurde nachträglich eine solche Anlage eingebaut.

Wie die meisten anderen Brennstoffe enthält auch Holz Wasserstoff. Zusammen mit dem Sauerstoff der Luft wird der Wasserstoff bei der Verbrennung in Wasserdampf umgewandelt und bildet mit den anderen Verbrennungsprodukten die Rauchgase. Das in Fernwärmewerken genutzte Hackschnitzel hat typisch einen Feuchtegehalt von 40 - 55% des Gesamtgewichts, der bei der Verbrennung ebenfalls zu Wasserdampf in den Rauchgasen wird.

Der Wasserdampf in den Rauchgasen ist interessant, denn er stellt eine ungenutzte Energiemenge dar, die durch Kondensierung freigesetzt werden kann. Die Energiemenge, die theoretisch durch Kondensierung des Wasserdampfs freigesetzt werden kann, ist gleich der Verdampfungswärme für Wasser plus der thermischen Energie von der Abkühlung.

Bei Abkühlung der Rauchgase unter die Taupunkttemperatur beginnt der Wasserdampf zu kondensieren. Je stärker die Rauchgase abgekühlt werden, desto größer ist die Wassermenge, die kondensiert wird, und die freigesetzte Wärmemenge. Bereits bei einer Absenkung der normalen Rauchgastemperatur der Anlage auf die Taupunkttemperatur erhöht sich die Wärmeleistung. Richtig zum Tragen kommt



foto: dk-technik/henrik houmann jakobsen

*Im Aschecontainer links wird die Flugasche aus dem Zyklon gesammelt. Der große Container enthält die Bodenasche aus der Anlage.*

dieser Effekt aber erst, wenn die Kondensierung beginnt und Verdampfungswärme freigesetzt wird. Dieser Verlauf geht aus Schaubild 22 hervor. Hier ist die erhöhte Wärmeleistung in Prozent dargestellt, die durch eine Senkung der Rauchgastemperatur erzielt werden kann. Die normale Betriebssituation, nach der die Prozentangaben berechnet wurden, ist eine Rauchgastemperatur von 130°C und ein CO<sub>2</sub>-Gehalt von 12%. Die Linien zeigen unterschiedliche Werte für den Feuchtegehalt des Hackschnitzels in % vom Gesamtgewicht.

Die Kurven zeigen die theoretische Verbesserung des Wirkungsgrades, die nach Feuchtegehalt und Rauchgastemperatur berechnet werden kann. Erfahrungen mit in Betrieb befindlichen Kondensierungsanlagen zeigen, dass auch in der Praxis ein höherer Wirkungsgrad erreicht werden kann (62). So liegt der Jahreswirkungsgrad bei fast allen Anlagen über 100% (basiert auf dem Heizwert des Brennstoffs, bei dem die Kondensationswärme nicht mitgerechnet wird).

Die Rauchgase werden mit dem Rücklaufwasser aus dem Fernwärmenetz gekühlt. Das Wasser muss so kalt wie möglich sein. Der Rauchgaskühler ist daher die Einheit, die das Wasser zuerst passiert, wenn es aus dem Netz zurückläuft.

### Kondensat

Das Kondensat besteht aus Wasser mit einem geringeren Gehalt an Staubpartikeln und organischen Verbindungen aus

einer möglicherweise unvollständigen Verbrennung. Außerdem enthält es geringfügige Mengen Mineral- und Schwermetallverbindungen sowie Chlor und Schwefel.

Der pH-Wert des Kondensates schwankt stark, je nach Anlage und Betriebssituation. Der typische Wert liegt zwischen 6 und 7, gemessen wurden jedoch auch pH-Werte von 2,7 bis über 8. Der Staubpartikelgehalt des Kondensates beeinflusst den pH-Wert stark. Bei hohem Partikelgehalt werden hohe pH-Werte gemessen - Flugasche wirkt basisch, und der größte Teil wird im Kondensat gelöst. Nur etwa 10% bestehen aus unlöslichen Partikeln.

Das Kondensat muss behandelt werden, bevor es abgeleitet wird. Der Gehalt des Holzes an Mineralstoffen und Schwermetallen wie Kadmium, die während der Wachstumsphase im Wald aufgenommen wurden, konzentriert sich im Konzentrat und kann ein Niveau erreichen, das die Grenzwerte für die Einleitung überschreitet. Untersuchungen haben ergeben, dass die große Menge Kadmium im Kondensat in den Partikeln und nicht in gelöster Form im Wasser zu finden ist. Die Partikel können aus der Kondensatflüssigkeit abgefiltert werden, so dass der Kadmiumgehalt unter den Grenzwert für die Einleitung gesenkt werden kann (63). Aus diesem Grund wird jetzt in immer mehr Werken Filterausrüstung der verschiedensten Art installiert, um die Partikel aus dem Kondensat abfil-

trieren zu können. Nach dieser Behandlung und Neutralisierung wird das Kondensat normalerweise in das öffentliche Kanalisationsnetz geleitet.

Wenn die Rauchgase den Rauchgaskondensator verlassen, sollten sie durch einen wirkungsvollen Tropfenfang ziehen, so dass keine Tropfen in die Rauchgaszüge, die Rauchgasabsaugung und den Schornstein gelangen.

Wichtigste Voraussetzung für eine erfolgreiche Rauchgaskondensierung ist eine Rücklaufemperatur im Fernwärmesystem, die so niedrig ist, dass der Dampf in den Rauchgasen kondensieren kann. Außerdem muss Brennstoff mit einem hohen Feuchtegehalt verwendet werden. Je feuchter der Brennstoff, desto besser die Wirtschaftlichkeit! Dies gilt jedoch nur, so lange der Feuchtegehalt nicht zu einer unvollständigen Verbrennung führt. Waldhackschnitzel mit einem Feuchtegehalt von 40 bis 50% ist ideal für Anlagen mit Rauchgaskondensator.

Die Installation einer Rauchgaskondensierung kann in vielen Fällen die Installation anderer Rauchgasreinigungsausrüstung sparen. Erübrigt sich die Installation eines Schlauchfilters, kann die hierdurch erzielte Einsparung oft die Investition in die Rauchgaskondensierungseinheit finanzieren, so dass der höhere Wirkungsgrad ohne zusätzliche Fixkosten erreicht wird.

## Schornstein

Vor Schornstein und Rauchgaskondensator ist ein Rauchgasabsauger montiert, der für Unterdruck überall in den Rauchgaszügen der Anlage sorgt. Eine Steuerung sorgt dafür, dass der Rauchgasabsauger zusammen mit den Verbrennungsluftgebläsen ständig einen bestimmten Unterdruck im Feuerraum des Kessels aufrechterhält. Der Rauchgasabsauger drückt danach die Rauchgase in den Rauchgaskondensator und den Schornstein. Die Höhe des Schornsteins muss in jedem Einzelfall entsprechend den umweltbehördlichen Anforderungen festgelegt werden. Mehr zu Schornsteinhöhen enthält (64). Bei Anlagen mit Rauchgaskondensierung darf es nicht zu Korrosionsschäden am Schornstein kommen, d.h. es müssen Glasfaser oder rostfreie Materialien verwendet werden.

Rußniederschläge aus dem Schornstein in Anlagen mit Rauchgas-

Kategorie	Beschreibung	Max. Cd-Gehalt (mg Cd/kg TS)	Max. Ausbringungsmenge (Tonnen TS/ha/Jahr)
H1	Strohasche, gemischt	5	0,56
H2	Strohasche, gemischt	2,5	1,12
H3	Strohasche, Bodenasche	0,5	5,6
F1	Hackschnitzelasche, gem.	15	0,19
F2	Hackschnitzelasche, gem.	8	0,35
F3	Hackschn.asche, Bodenasche	0,5	5,6
H+F	Stroh/Hackschn.asche, gem.	5 (wie H1)	0,56

*Tabelle 14: Grenzwerte für Kadmium sowie die max. zulässige Ausbringungsmenge laut "Bekanntmachung über die Nutzung von Asche aus der Vergasung und Verbrennung von Biomasse und Biomasseabfällen für landwirtschaftliche Zwecke" (Bekanntgørelse om anvendelse af aske fra forgasning og forbrænding af biomasse og biomas-seaffald til jordbrugsformål) - Anhøøringsversion. TS steht für Trockensubstanz.*

kondensierung führen in einigen Werken zu Problemen. Die Rauchgase sind gesättigt mit Wasserdampf und enthalten auch gelöste Salze und möglicherweise Verunreinigungen aus dem Rauchgaskondensat, die sich im Schornstein absetzen können. Rußniederschläge treten auf, wenn sich die Beläge im Schornstein lösen und vom Rauchgasstrom mitgerissen werden. Als Abhilfe empfehlen sich effektive Tropfenfänger, niedrige Geschwindigkeiten im Schornstein und eventuell die Montierung eines Spülsystems im Schornstein (65).

## Aschehantierung

0,5-2,0% des Trockengewichtes von Hackschnitzel bestehen aus nicht brennbaren Mineralstoffen, die bei der Verbrennung zu Asche werden. In allen Fernwärmewerken wird die Asche automatisch hantiert, die manuellen Arbeiten am Aschesystem beschränken sich auf allgemeine Überwachung des Betriebes und die Behebung von Betriebsstörungen. Durch die Zusammensetzung der Holzasche stellt Schlackenbildung in hackschnitzelbefeuerten Heizwerken kein verbreitetes Problem dar.

Vom Rost fällt die Asche in eine Ascheschnecke oder ein anderes Asche-Sammelsystem. Der Schlamm aus dem Rauchgaskondensat, der einen großen Teil der Schwermetalle des Hackschnitzels enthält, wird getrennt gesammelt und entsorgt.

Das Aschesystem kann für Nass- oder Trockenentaschung ausgelegt sein.

Ein Nassentaschungssystem ist nicht nur ein wirkungsvoller Siphon, der verhindert, dass dem Kessel Luft falsch zugeführt wird, es löscht auch Ascheglut. Nachteile sind das höhere Gewicht der Asche beim Befüllen der Container und Korrosion. Je nach Hackschnitzelverbrauch werden die Container ca. alle 2 Wochen bis alle drei Monate geleert.

## Entsorgung

Die Asche enthält die unverbrannten Bestandteile des Brennstoffs, hierunter Nährstoffe wie Kalium, Magnesium und Phosphor, und kann daher als Dünger im Wald benutzt werden; es sei denn, der Gehalt an anderen umweltbelastenden Stoffen ist zu hoch. Wenn die Biomasse-Vereinbarung im Jahr 2005 voll eingeführt ist, fallen jährlich etwa 80.000 - 100.000 Tonnen Biomasse-Asche an. Bei so großen Mengen muss ein sinnvoller und umweltverträglicher Verwendungszweck gefunden werden, bei dem die

Schwermetall	Grenzwert (mg pro kg Trockensubstanz)
Quecksilber	0,8
Blei	120 (private Gärten 60)
Nickel	30
Chrom	100

*Tabelle 15: Grenzwerte für die übrigen Schwermetalle laut "Bekanntmachung über die Nutzung von Asche aus der Vergasung und Verbrennung von Biomasse und Biomasseabfällen für landwirtschaftliche Zwecke" - Anhøøringsversion.*

	Grenzwert (mg pro kg Trockenm.)
Summe von Acenaphthen, Phenanthren, Fluoren, Fluoranthren, Pyren, Benzfluoranthener (b+j+k), Benzo(a)pyren, Benz(g,h,i)perylen, Indo(1,2,3-cd)pyren	6 (ab 1. Juli 2000 ist der Wert 3)

*Table 16: Außer Schwermetallen kann die Asche auch die so genannten polyaromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) enthalten, die typisch bei schlechter Verbrennung entstehen. Der Grenzwert für PAK ist hier angegeben nach der "Bekanntmachung über die Nutzung von Asche aus der Vergasung und Verbrennung von Biomasse und Biomasseabfällen für landwirtschaftliche Zwecke" (Bekendtgørelse om anvendelse af aske fra forgasning og forbrænding af biomasse og biomasseaffald til jordbrugsformål) - Anhörungsversion.*

Nährstoffe der Asche so gut wie möglich genutzt werden.

Die Nutzung der Asche in der Landwirtschaft muss in Dänemark behördlich genehmigt werden. Anträge werden zurzeit (Anfang 1999) nach der Bekanntmachung Nr. 823 vom 16. September 1996 des dänischen Energie- und Umweltministeriums über die Nutzung von Abfallprodukten für Landwirtschaftszwecke bearbeitet (66). Diese Bekanntmachung richtet sich allerdings hauptsächlich auf die Nutzung von industriellen Restprodukten, Klärschlämmen, Kompost u.a. und eignet sich nicht besonders, um das Ausbringen von Asche zu regeln. Unter anderem erschweren es die niedrigen Kadmium-Grenzwerte den Werken, die Bekanntmachung einzuhalten. Die Nutzung der Asche beruht daher in hohem Maße auf Ausnahmegenehmigungen der dänischen Umweltbehörde und Genehmigungen durch die Behörden der dänischen

Kreise. Wird keine Ausnahmegenehmigung erteilt, muss die Asche auf einer überwachten Deponie entsorgt werden. Auf Dauer ist dieser Zustand unhaltbar und soll daher durch eine Bekanntmachung geregelt werden, die sich momentan in der Anhörungsphase befindet.

Die kommende "Bekanntmachung über die Nutzung von Asche aus der Vergasung und Verbrennung von Biomasse und Biomasseabfällen für landwirtschaftliche Zwecke" (Bekendtgørelse om anvendelse af aske fra forgasning og forbrænding af biomasse og biomasseaffald til jordbrugsformål) geht davon aus, dass Stroh- und Hackschnitzelasche wieder auf die Flächen ausgebracht werden sollte, von denen das Stroh, bzw. Hackschnitzel stammt. Blieben Stroh oder Hackschnitzel auf dem Feld oder im Wald liegen, blieben auch die Schwermetalle im Boden. Bei der Verbrennung von Stroh oder Hackschnitzel konzentrie-

ren sich die Schwermetalle natürlich in der Asche, wenn aber die Asche in angemessenen Mengen ausgebracht wird, unterscheidet sich die Schwermetallbelastung nicht wesentlich von der Situation, in der Stroh und Hackschnitzel auf dem Feld, bzw. im Wald bleiben. Deshalb wurden die Grenzwerte in der neuen Bekanntmachung gegenüber den derzeit geltenden gesenkt, und die maximal zulässige Ausbringungsmenge gewährleistet, dass den Flächen insgesamt nicht mehr Schwermetalle zugeführt werden als bei der Ernte der Biobrennstoffe entnommen wurden.

Reine Strohasche darf nur auf landwirtschaftlichen Nutzflächen verwendet werden, reine Hackschnitzelasche nur auf Waldflächen. Mischungen dürfen auf beiden Flächen ausgebracht werden. Asche, die auf landwirtschaftlichen Nutzflächen ausgebracht wird, kann als ein Durchschnitt über 5 Jahre dosiert werden, Asche, die auf Waldflächen ausgebracht wird, kann als ein Durchschnitt über 10 Jahre dosiert werden. Auf Waldflächen dürfen max. 7,5 Tonnen Trockenmasse pro ha pro Umtrieb (100 Jahre) zugeführt werden.

Da ein gewisser Zusammenhang zwischen Verbrennungsqualität und PAK-Gehalt der Asche besteht, muss laut Anhörungsversion bei jeder Schwermetallanalyse eine Analyse des unverbrannten Kohlenstoffs in der Asche gemacht werden. Liegt der Restkohlenstoff der Asche unter 5%, müssen alle 2 Jahre PAK-Analysen vorgenommen werden. Liegt der Wert über 5%, deutet das auf eine schlechte Verbrennung hin, und es muss sofort eine PAK-Analyse gemacht werden.

Vom Inkrafttreten der neuen Bekanntmachung werden bessere Möglichkeiten für eine sinnvolle und umweltverträgliche Nutzung der Biomasse-Asche erwartet.

	Einheit	Typischer Wert	Typ. Variation
SO <sub>x</sub> als SO <sub>2</sub>	g/GJ	15	5 - 30
NO <sub>x</sub> als NO <sub>2</sub>	g/GJ	90	40 - 140
Staub, Multizyklon	mg/m <sup>3</sup> n	300	200 - 400
Staub, Rauchgaskondens.	mg/m <sup>3</sup> n	50	20 - 90
CO <sub>2</sub> (siehe Text)		0	0

*Table 17: Typische Emissionswerte beim Verfeuern von Hackschnitzel. Die Werte schwanken in der Praxis stark, auch über die angegebene typische Variation hinaus (67).*

Anlagengröße Brennstoffleistung in MW	Richtwert für Staubemission mg/m <sup>3</sup> n bei 10% O <sub>2</sub>	
	Anlage mit Staubfilter	Kondensierende Anlage oder Technologie ohne Staubfilter
> 0,12 < 1	100	300
> 1 < 50	40	100

*Table 18: Empfohlene Grenzwerte für Staub aus holzbefeuerten Anlagen laut (61).*

### Umweltaspekte

Dieser Abschnitt behandelt die Einwirkungen auf die Umgebungsluft, die beim Verfeuern von Hackschnitzel in Fernwärmewerken entstehen. Tabelle 17 fasst typische Emissionswerte bei der Hackschnitzelverbrennung zusammen.

#### Staub

Seit Straffung der Emissions-Richtwerte für Luftverschmutzung im Jahr 1990 for-

dem die meisten Kommunen niedrigere Emissionswerte für Staub aus größeren Hackschnitzel-Verbrennungsanlagen als früher.

Die Emissionsgrenzwerte für Staub aus Verbrennungsanlagen sind in der Richtlinie der dänischen Umweltbehörde "Begrenzung der Luftverschmutzung durch Betriebe" (Begrænsning af luftforurening fra virksomheder) beschrieben (64). Die Richtlinie setzt Grenzwerte für eine Reihe von Verbrennungsanlagen fest, allerdings nicht für Holz.

Bei holzbefeuerten Anlagen halten sich die Genehmigungsbehörden in den meisten Fällen an die in der Richtlinie genannten Grenzwerte für "Staub u. a.". Hier wird der Grenzwert für Staub im Verhältnis zur Größe des Massestroms vor der Reinigung festgesetzt. In einigen Fällen hat man sich auch an den Richtwerten für strohbefeuerte Anlagen über 1 MW Brennstoffleistung orientiert, wo außer Staub auch ein maximaler Kohlenmonoxidgehalt von 0,05 Volumen-% bei 10% O<sub>2</sub> gefordert wird.

1996 hat die dänische Umweltbehörde einen Bericht vorgelegt - Staubemissionen aus holzbefeuerten Anlagen unter 50 MW (Støvemissionsvilkår for træfyrede anlæg mindre end 50 MW (61) -, der Richtwerte speziell für holzbefeuerte Anlagen empfiehlt. Für die Festlegung von Grenzwerten für Staubemissionen schlägt der Bericht vor, nicht nur die Anlagengröße, sondern auch die eingesetzte Verbrennungs- und Staubreinigungstechnologie zu berücksichtigen.

## Kohlenmonoxid (CO)

Ein hoher CO-Gehalt ist ein sicheres Zeichen für eine unvollständige Verbrennung und muss so niedrig wie möglich sein, denn:

- CO ist ein brennbares Gas. Ein hoher CO-Gehalt führt zu einem schlechten Wirkungsgrad.
- Geruchsbelästigung und hoher CO-Wert gehören zusammen.
- PAK, Dioxin und hoher CO-Wert gehören zusammen.
- Das Einatmen hoher CO-Konzentrationen ist gefährlich.

Der CO-Gehalt der Rauchgase darf laut dänischer Umweltbehörde (64) bei strohbefeuerten Heizwerken 0,05% nicht übersteigen. Die Umweltgenehmigung

vieler hackschnitzelbefeuerten Werke enthält die gleiche Forderung. Bei normalem Betrieb können die hackschnitzelbefeuerten Heizwerke diesen Wert einhalten; bei Inbetriebnahme, sehr feuchtem Brenngut und anderen außergewöhnlichen Betriebsbedingungen können aber Probleme auftreten.

## Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)

Die Emission von CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre ist ein Problem, denn CO<sub>2</sub> gilt als eine wesentliche Ursache für den Treibhauseffekt. Bei der Verbrennung von Hackschnitzel und anderen Holzbrennstoffen aber entsteht nicht mehr CO<sub>2</sub> als in der Wachstumsphase des Baums verbraucht (gebunden) wurde. Außerdem entsteht bei der Verbrennung die gleiche Menge CO<sub>2</sub> wie bei der Verrottung, der letzten Endes unvermeidbaren Alternative zur energetischen Nutzung des Holzes. Hackschnitzel gilt daher als CO<sub>2</sub>-neutral.

## Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>)

Schwefel aus der Verbrennung von Hackschnitzel stammt von Schwefelverbindungen, die während des Holzwachstums aufgenommen wurden. Durch die Verbrennung von Hackschnitzel ändert sich die gesamte Schwefelmenge in der Umwelt also nicht, allerdings stellt der mit den Rauchgasen ins Freie gelangende Schwefel eine Schadstoffbelastung der Luft dar. Reines Holz aus der Forstwirtschaft enthält jedoch nur eine sehr geringe Menge Schwefel. Bei der Verbrennung werden etwa 75% des Schwefels im Holz in der Boden- und Flugasche gebunden, so dass nur die restlichen 25% als SO<sub>2</sub> in die Rauchgase gelangen (68).

Analysen des Schwefelgehalts in Brennstoff-Hackschnitzel zeigen in vielen Fällen Werte, die so niedrig sind, dass sie von den Messgeräten nicht mehr nachgewiesen werden können. Der Durchschnitt einer Reihe von Analysen zeigt einen Schwefelgehalt von ca. 0,05 % (Gewicht-% im Verhältnis zum Trockensubstanzgehalt des Brennstoffs) (67).

Bei der Verbrennung von Hackschnitzel in Heizwerken ist die SO<sub>2</sub>-Emission erheblich geringer als bei der Verbrennung von Heizöl oder Kohle, die Hackschnitzel oft ersetzt. Kann zur Wärmeerzeugung statt Hackschnitzel Erdgas genutzt werden, das keinen Schwefel enthält, bietet die Hackschnitzelverbrennung keinen SO<sub>2</sub>-Vorteil.

## Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>)

Bei der Hackschnitzelverbrennung entsteht etwa die gleiche Menge NO<sub>x</sub> wie bei der Verbrennung anderer Brennstoffe. NO<sub>x</sub> ist die Summe aus NO und NO<sub>2</sub>.

Verantwortlich für die Bildung von Stickstoffoxiden ist der Stickstoffgehalt der Luft und des Brennstoffs.

Bei der Bildung von NO<sub>x</sub> spielen die Form des Feuerraums der Anlage und der Stickstoffgehalt des Brennstoffs eine wesentliche Rolle. Wichtige Parameter für das Entstehen von NO<sub>x</sub> sind:

- Geringer Stickstoffgehalt des Brennstoffs.
- Stufenunterteilte Verbrennung mit geringem Luftüberschuss auf der ersten Stufe (69)
- Niedrige Flammtemperatur.
- Rezirkulation der Rauchgase.

## Andere Schadstoffe

Außer Partikeln, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> und CO können Rauchgase andere Schadstoffe wie polyaromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), Dioxine, Chlorwasserstoff (HCl) u.a. enthalten.

PAK ist ein Sammelbegriff für eine Reihe chemischer Stoffe aus Kohlen- und Wasserstoff, die bei schlechter Verbrennung entstehen. Einige dieser Stoffe sind giftig (einige sogar Krebs erregend), sie sollten daher vermieden werden. Seit 1985 wurden mehrere Untersuchungen vorgenommen, die alle zeigen, dass ein enger Zusammenhang zwischen der Bildung von PAK und CO besteht. Je geringer der CO-Gehalt, desto geringer der PAK-Gehalt (70).

Chlorwasserstoff (HCl) trägt wie Schwefeldioxid zu einer Versäuerung bei, kondensiert aber schneller (zu Salzsäure) und kann daher örtlich zu Schäden an Materialien und Pflanzen führen. Die HCl-Emission hängt zum einen von der Beschaffenheit des Hackschnitzels ab (Hackschnitzel aus küstennahen Wäldern enthält Salz aus der Meeresluft), zum anderen von den Verbrennungsbedingungen und der Rauchgasreinigung, hierunter der Kondensierung, bei der ein großer Teil der Chlorwasserstoffe aus den Rauchgasen entfernt wird.

## Lärm

Das Heizwerk muss die umweltbehördlich vorgeschriebenen Lärmschutzgrenzwerte einhalten - vgl. auch Merkblatt Nr.



5/1984 der dänischen Umweltbehörde (71). Die Lärmbelastung muss wie in den Merkblätter Nr. 6/1984 (72), bzw. Nr. 5/1993 (73) der dänischen Umweltbehörde beschrieben gemessen oder berechnet werden.

Liegt das Werk in einem Wohngebiet, gelten normalerweise folgende Grenzwerte:

- 45 dB(A) tagsüber (werktags 07 - 18 Uhr, samstags 07 - 14 Uhr)
- 40 dB(A) abends (werktags 18 - 22 Uhr, samstags 14 - 22 Uhr, sonn- und feiertags 07 - 22 Uhr)
- 35 dB(A) nachts (an allen Tagen von 22 - 07 Uhr)

Die Lärmgrenzwerte variieren für verschiedene Arten von Gebieten und dürfen in den angrenzenden Gebieten in keinem Punkt überschritten werden. Liegt das Werk in einem Industriegebiet (Grenzwert zu jeder Tageszeit 60 dB(A)), sind oft die Grenzwerte in einem etwas weiter entfernten Wohngebiet ausschlaggebend. Lärmquellen sind in erster Linie Ventilatoren und Luftein- und -auslässe (hierunter der Schornstein), aber auch andere Maschinen (Kompressoren, Krane, Förderbänder, Schnecken und hydraulische Anlagen) sowie der Verkehr auf dem Werksgelände. Da der Grenzwert in den meisten Gebieten nachts am niedrigsten ist, bestimmt er in der Regel die Dimensionen des Werkes. Allerdings kann z.B. die Brennstoffanlieferung - auch wenn sie tagsüber erfolgt - oft zu Problemen führen, wenn die Werkseinfahrt ungünstig liegt.

Der Lärmschutz muss bereits in der Planungsphase berücksichtigt werden, denn spätere Lärmschutzmaßnahmen sind oft sehr teuer. Außerdem können Betriebsbeschränkungen ein Problem darstellen (z.B. die Auflage, jeglichen Fahrzeugverkehr außerhalb der Tagesstunden einzustellen). Man kann heute die Lärmbelastung der Umgebung vorausberechnen, so dass Garantieanforderungen an Lieferanten gestellt werden können, die gewährleisten, dass die Grenzwerte nicht überschritten werden.

## Brandschutz

Bei der Verbrennung von Hackschnitzel ist die Feuergefahr geringer als bei trockenen Brennstoffen. Bestimmte Sicherheitsvorschriften müssen jedoch eingehalten werden.

Damit es nicht zu Rückbrand aus dem Feuerraum ins Lager kommt, müssen luftdichte Sperren im Brennstoffsystem bestehen. In den meisten Anlagen sind die Beschickungs-/Transportsysteme so eingerichtet, dass unmittelbar vor dem Feuerraum ein luftdichter "Pfropfen" aus Hackschnitzel und eine automatische Sprinkleranlage sitzen.

Zu beachten ist die Gefahr von Rauchgasexplosionen. Unverbrannte Gase, die sich mit atmosphärischer Luft mischen, können bei einem ungünstigen Mischungsverhältnis zu überaus kräftigen Explosionen führen, z.B. wenn durch Überdruck im Feuerraum Gase in den Kesselraum oder das Beschickungssystem entweichen. Rauchgasexplosionen können auch im Feuerraum vorkommen, z.B. bei einer Betriebsstörung, wenn das Brenngut zu wenig atmosphärische Luft hat, nur schwelt und plötzlich Luft zugeführt wird.

Weiterhin ist zu beachten, dass es im Hackschnitzellager zu Selbstentzündung kommen kann. Entscheidend sind hier die Lagerhöhe, das Alter des Hackschnitzels, der Feuchtegehalt und die Lüftungsverhältnisse. Bei Holzpellets und trockenen Holzabfällen besteht die Gefahr einer Staubexplosion im Lager und Beschickungssystem. Hier muss direkt vor dem Kessel Feuerlöschschrüstung eingebaut werden. Bei Pellets besteht außerdem die Gefahr eines Brandes im Brennstofflager.

## Steuerung, Regulierung und Überwachung

Steuerung, Regulierung und Überwachung des Werkes werden zusammen-

fassend als "SRO-System" bezeichnet (dänisch: Styling, Regulering, Overvågning - Steuerung, Regulierung, Überwachung). Grundlage des Systems sind zwei Rechner:

- Eine SPS (Speicherprogrammierbare Steuerung), die Betriebsdaten sammelt und die Anlage nach festgelegten Betriebswerten steuert.
- Ein normaler Rechner, auf dem das Betriebspersonal die von der SPS übermittelten aktuellen Daten ablesen und die gewählten Betriebswerte der SPS ändern kann.

Das System ist in drei Hauptfunktionen unterteilt, die Folgendes umfassen:

- Die Steuerung sorgt dafür, dass der gesamte Prozess in einer im voraus festgelegten Reihenfolge abläuft.
- Die Regulierung sorgt dafür, dass die Sollwerte für Druck, Temperatur u.a. eingehalten werden.
- Die Überwachung löst bei Funktionsfehlern und Betriebsstörungen Alarm aus.

Die SRO-Anlagen können automatisch betrieben werden und brauchen nicht permanent besetzt zu sein. Bei Betriebsstörungen wird das Personal via Fernüberwachung telefonisch benachrichtigt. Im Notfall schaltet automatisch ein Heizölkessel ein, um die Wärmeversorgung sicherzustellen.

## Personalbedarf im Werk

Der Personalbedarf hängt vom Automatisierungsgrad, dem Umfang der Hackschnitzelhandierung, dem Alter des Werkes usw. ab. Einige kleinere Werke sind

Millionen DKK (1997-Niveau)

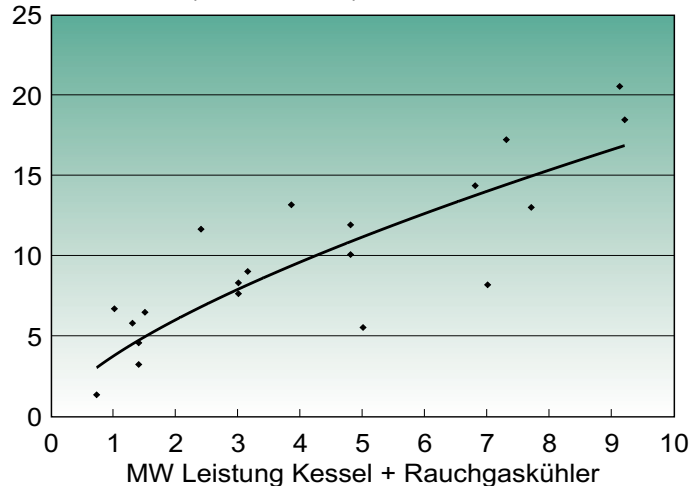


Schaubild 23: Anlagenpreis für hackschnitzelbefeuerte Fernwärmewerke in 1997-Preisen in Dänemark. Die Punkte zeigen die einzelnen Anlagenpreise, die Linie zeigt dagegen eine angenäherte Preisformel (28).



foto: biopress/forbær skæft

Das Heizwerk Trustrup-Lyngby auf Djursland wurde 1997 mit zugehörigem Fernwärmenetz errichtet.

auch tagsüber nicht besetzt. Der Betriebsleiter führt täglich Betriebskontrollen durch und hat ansonsten Rufbereitschaft, so dass er einer anderen Arbeit nachgehen und bei Bedarf telefonisch benachrichtigt werden kann.

Es kann davon ausgegangen werden, dass der Betrieb von Anlagen von ca. 1,5 MW bis 5 MW ca. 1-2 Mannjahre, der von Anlagen über 5 MW ca. 2-3 Mannjahre erfordert. Der Wartungsumfang hängt in hohem Maße vom Aufbau der Anlage ab.

### Sicherheit

Die Sicherheit in einem Heizwerk umfasst Brandschutz und Personenschutz. Vor Inbetriebnahme muss die Anlage von der örtlichen Brandschutzbehörde genehmigt werden

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 Krane und andere Maschinen.

### Organisationsformen

Hackschnitzelbefeuerte Heizwerke können gegründet werden als:

- A.m.b.a. Genossenschaft mit beschränkter Haftpflicht (eGmbH)
- ApS (Anpartsselskab, dänische GmbH)
- Aktiengesellschaft oder als öffentlich-rechtliche Gesellschaften.

Die hackschnitzelbefeuerten Fernwärmewerke in Dänemark sind typisch als lokale Gesellschaften in der Rechtsform einer

e.G.m.b.H organisiert, Gesellschafter sind alle an das Fernwärmenetz angeschlossenen Verbraucher. Die Gesellschafter haften nur bis zur Höhe ihrer Einlage und sind einander gleichgestellt. Außerdem ist diese Unternehmensform bereits bei vielen bekannt. Fast alle Hackschnitzel-Heizwerke in Dänemark haben die Rechtsform einer privaten e.G.m.b.H. - eine demokratische Organisationsform, da sich alle Verbraucher über die Hauptversammlung an den Entscheidungsprozessen des Heizwerks beteiligen können.

Einzelne Werke sind in kommunalem Besitz und werden kommunal betrieben.

Andere Rechtsformen sind die "Anpartsselskab" (ApS - Gesellschaft mit beschränkter Haftung - nach dänischem Recht) oder die Aktiengesellschaft (A/S). Auch hier haften die Anteilseigner nur bis zur Höhe ihrer Einlage.

### Investition und Betrieb

Um die Wirtschaftlichkeit zu veranschaulichen, wird im Folgenden als Beispiel ein angenommenes hackschnitzelbefeuertes 2 MW Heizwerk beschrieben, das von Grund auf errichtet wird, d.h. außer dem Werk wird auch ein komplettes Fernwärmenetz angelegt, um die Abnehmer mit Wärme zu versorgen. Der Hackschnitzelpreis ist mit 36 DKK /GJ und der Ölpreis mit 95 DKK/GJ veranschlagt. Alle im Beispiel angegebenen Beträge sind ohne MWSt.

### Anlageninvestition

Der Bericht "Anlægs- og driftsdata for flisfyrede varmeværker" (28) enthält Angaben über Anlagenpreise für Grundstück, Erschließung, Gebäude, Maschineninstallation und Projektierung. Alle Preise wurden aus Gründen der Vergleichbarkeit in 1994-Preise umgerechnet. Die Kurve in Schaubild 17 zeigt die Preise für die einzelnen Werke als Funktion der installierten Leistung des Hackschnitzelkessels und des Rauchgaskondensators.

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.

Daten für das Beispiel:

260 Einzelabnehmer:	4.550 MWh/Jahr
10 Großabnehmer:	3.300 MWh/Jahr
Netzverlust:	30%
Wärmeerzeugung ab Werk:	11.200 MWh
Wärme aus Hackschnitzel:	93%
Wärme aus Öl:	7%
Leistungsbedarf max.:	3 MW
Leistung Hackschnitzelkessel:	2 MW
Hackschnitzelfeuerung:	100%
Ölfeuerung:	80%

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

Nach der dänischen CO<sub>2</sub>-Gesetzgebung können bei der Energiebehörde Zuschüsse für Projekte wie das hier beschriebene beantragt werden.

Die Investitionskosten verteilen sich wie folgt:

	Mio. DKK
Heizwerk einschl. Grundstück	6,8
Straßennetz und Beratung	10,0
Zweigleitung zu den Abnehmern	4,0
Hausanschlüsse	4,0
Unvorhergesehene Ausgaben	<u>1,0</u>
Anlagekosten insgesamt	25,8
Zuschüsse der Energiebehörde	4,4
Kreditbedarf	<u>21,4</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 Darlehenstyp günstiger als ein normales Serien- oder Annuitätendarlehen. Näheres zur Struktur von Hypothekendarlehen siehe (74, 75). Es wird aller Wahrscheinlichkeit nach von der im Frühjahr 1998 von der dänischen Regierung beschlossenen Realzinsabgabe für Hypothekendarlehen mit Gleitzins abhängen, ob dieser Kredittyp auch weiterhin lohnend für die Finanzierung neuer Heizwerke sein wird.

### Betriebskosten und Einnahmen

Die Einnahmen des Werkes stammen aus dem Verkauf von Wärme und verteilen 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/Jahr (das entspricht ca. 2500 Liter Heizöl) 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:

Einnahmen sind:	Tausende DKK
Verkauf von Wärme, 7850 MWh	2.748
Abonnementsbeitrag, 270 Stck.	270
Leistungsbeitrag, privat	1.014
Leistungsbeitrag, gewerblich	<u>350</u>
Gesamteinnahmen	<u>4.382</u>

Ausgaben sind:	Tausende DKK
Kauf von Hackschn., 36 DKK/GJ	1.350
Kauf von Öl, 87.000 l	295
Instandhaltung, Werk	130

Instandhaltung, Netz	200
Strom	85
Wasser, Chemikalien u.a.	30
Sonstige Kosten	70
Personal und Verwaltung	500
Abschreibungen	1.070
Indexierung der Tilgung	21
Zinsen und Beiträge	<u>570</u>
Ausgaben insgesamt	<u>4.321</u>
Nettoergebnis	<u><u>61</u></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 (75).

### Behördliche Genehmigung

Es muss so früh wie möglich untersucht werden, ob örtliche Umwelt- und Bauvorschriften oder Naturschutzbestimmungen dem Neu- oder Umbau eines Werkes entgegenstehen. Vor der Errichtung eines Fernwärmewerkes müssen behördliche Genehmigungen eingeholt werden:

- Baugenehmigung
- Genehmigung des Projektvorschlages nach dem Gesetz über Wärmeversorgung
- Umweltgenehmigung
- Evt. Bebauungsplan.

Nähere Ausführungen zum Thema "Behördliche Genehmigungen" siehe (76).