

Konzept und Technik überzeugen Bauherren

Beim neuen HKW des Fernwärmenetzbetreibers der Stadt Hillerød in Dänemark überwogen die Vorteile der ORC-Technik

Schon seit über 50 Jahren beschäftigt sich die Polytechnik Luft- und Feuerungstechnik GmbH mit der Projektierung, Herstellung, Lieferung und Inbetriebsetzung von Warmwasser-, Dampf- und Thermoöl-Kesselanlagen sowie auf Biobrennstoff und Holzabfall basierenden Wärmekraftwerken mit Einzelleistungen von 300 bis zu 30 000 kW. Über 3 500 Kesselanlagen sind in der Zwischenzeit in vielen Ländern der Welt in Betrieb genommen worden. Dazu gehört auch das im Folgenden beschriebene Projekt, mit dem der Anlagenbauer aus Weissenbach (Österreich) vom Fernwärmenetzbetreiber der Stadt Hillerød in Dänemark, Hillerød Forsyning, beauftragt wurde. Das kommunale Unternehmen betreibt ein großes Fernwärmenetz, in das das neue mit Waldrestholz betriebene Heizkraftwerk eingebunden wurde. Mit der schlüsselfertig übergebenen Anlage, die auf eine thermische Leistung von 28 MW und eine maximale Generatorklemmenleistung von 5,2 MW_{el} ausgelegt ist, hat Polytechnik seine bis dahin größte biomassebasierte ORC-KWK-Anlage in Europa errichtet.

Der Auftragsvergabe vorausgegangen war ein aufwendiges Ausschreibungsverfahren über mehrere Stufen, bei dem sich Polytechnik durchsetzen konnte. Laut Auftraggeber waren Gründe für die Auswahl die Verbrennungstechnik des Herstellers, die bei anderen Projekten gezeigte hohe Verfügbarkeit und Langlebigkeit der Anlagen sowie die umfangreiche Erfahrung beim Bau von schlüsselfertigen Biomasse-Heizkraftwerken. Zudem sprach das ausgeklügelte technische Konzept für den konkreten Anwendungsfall für sich.

Das Grundstück, auf dem das neue Kesselhaus entstehen sollte, war in jeder Richtung räumlich nur eingeschränkt zugänglich. Im Süden befindet sich direkt angrenzend ein Erholungsgebiet mit Wochenend- und Ferienhäusern. Östlich befindet sich ein stark frequentierter Recyclingpark, an der Westgrenze gab es einen denkmalgeschützten Steinwall, der nicht beseitigt werden durfte. Im Norden steht das bestehende Kesselhaus mit einer Biomasseanlage, die für die Fernwärmeversorgung benötigt wurde und daher durchgängig in Betrieb bleiben musste. Trotz all dieser Einschränkungen und der beengten Platzverhältnisse konnten nicht nur alle Vorgaben und Wünsche des Kunden umgesetzt werden, darüber hinaus wurde bei der Planung und Umsetzung der Anlage auch großer Wert auf eine gute Zugänglichkeit und Wartungsfreundlichkeit aller Anlagenkomponenten gelegt.

Das Heizhaus wurde entsprechend den neuesten europäischen Vorschriften und dem Danish Building Code geplant und ausgeführt. Hierzu gehören abgesehen von den notwendigen Sozialräumen auch eine behindertengerechte Ausführung und Ruhebereiche für die Mitarbeiter. Der Betreiber hat zudem besonderen Wert auf eine ansprechende Außenwirkung und auf den Bezug zur Biomasse als erneuerbaren Energieträger gelegt. Aufgrund des angrenzenden Erholungsgebiets musste zudem besonderes Augenmerk auf die Schallemissionen gelegt werden.

Die technische Gebäudeausrüstung umfasst unter anderem klimatisierte Arbeitsräume, eine Aufzugsanlage, barrierefreie Sanitärräume, eine zentrale Absauganlage sowie speziell für Thermoölanlagen geeignete Brandmelde- und Brandlöschanlagen mit Schwertschaum-Löschstationen.

Feuerungs- und Kesselanlage

Die Kesselanlage besteht aus zwei parallel arbeitenden Feuerungs- und Kesselanlagen. Da diese nur etwa 5 000 Stunden jährlich in Volllast arbeiten, können sie während der Schwachlastzeiten im Sommer abwechselnd gewartet werden. Dadurch ergibt sich eine nahezu 100%ige Verfügbarkeit und eine hohe Ausfallsicherheit. Je nach Brennstoffbeschaffenheit kann die Anlage im Lastbereich von 15 % bis 100 % betrieben werden. Lastspitzen werden zudem durch



Außenansicht des Biomasse-HKW der Hillerød Forsyning. Eine Besonderheit in dieser Dimension ist der Einsatz von ORC-Anlagen. Für Polytechnik war es das bisher größte Biomasseprojekt mit dieser Technologie. Fotos: Polytechnik

einen Puffer mit einer Speicherkapazität von etwa 600 MWh abgefangen und ausgeglichen. Damit ergibt sich durch die Aufteilung auf zwei Linien ein sehr großer Regelbereich.

In dem Biomasse-Heizkraftwerk von Hillerød Forsyning werden ausschließlich Hackschnitzel aus naturbelassenem Waldrestholz verbrannt. Bei der Aufstellungs- und Gebäudeplanung wurde auf eine möglichst effiziente Brennstoff-Logistik geachtet. Die Holz-Hackschnitzel werden per LKW angeliefert, diese werden zunächst gewogen, bei jeder Anlieferung wird zudem eine Brennstoffprobe genommen und analysiert. Nach erfolgter Auswertung und Annahme der Lieferung wird der Brennstoff direkt in einen tief liegenden Brennstoffbunker abgekippt. Von diesem Abkippbunker wird der Brennstoff über zwei redundant ausgeführte Hallenkräne im Brennstofflager verteilt. Eine intelligente Steuerung sorgt hierbei für eine optimale Vermischung von Brennstoffen mit unterschiedlicher Beschaffenheit, sodass die Feuerungsanlage immer mit annähernd derselben Brennstoffqualität beschickt werden kann.

Das Brennstofflager ist großzügig dimensioniert, der Annahmehbereich wurde um 5 m tiefer gelegt. Die Brennstoffkapazität des gesamten Brennstoffbunkers reicht dadurch für sieben Tage Volllastbetrieb. Für die Brennstoffförderung kamen die bewährten, robust ausgeführten und hydraulisch betätigten Schubböden und Querförderer von Polytechnik zum Einsatz. Diese verfügen laut Hersteller über eine hohe Flexibilität im Hinblick auf die Brennstoffbeschaffenheit und eine hohe Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit. Die Brennstoffförderung ist mit gegenläufig fahrenden Schiebern und mit Brandlöschrichtungen versehen, sodass ein Rückbrand von der Feuerung zum Brennstofflager in jedem Betriebszustand und insbesondere auch im Störfall zuverlässig verhindert wird.

Die Feuerungsanlagen von Polytechnik, jeweils mit adiabater Brennkammer und hydraulisch betätigtem Vorschubrost, bilden das Herzstück der Anlage. Die großzügige Dimensionierung der Brennkammern garantiert laut Hersteller eine vollständige Verbrennung der Holz-Hackschnitzel mit niedrigsten Emissionen, selbst bei einem Brennstoff-Wassergehalt von über 50 %.

Die Verbrennung erfolgt mehrstufig, die Zufuhr der Verbrennungsluft und der zurückgeführten Rauchgase in die Brennkammer erfolgt über mehrere, mittels energiesparenden Frequenzumformern individuell geregelte Gebläse. Dadurch ist es möglich, die Brennkammertemperatur exakt zu kontrollieren und zu regeln, einerseits um einen vollständigen Ausbrand sicherzustellen, andererseits um die Entstehung von Kohlenmonoxid oder von thermischen Stickoxiden weitgehend zu vermeiden.

Nach vollständig abgeschlossener Verbrennung der Holz-Hackschnitzel durchströmen die heißen Rauchgase die beiden Thermoölkessel. Hier wird ein



Während der Bauphase: Blick auf die Feuerbox

Ergebnisse der amtlichen Emissionsmessung

| Stoff | Einheit | gesetzlich/vertraglich festgelegter Grenzwert | amtlicher Messwert |
|-----------------------|--------------------|---|--------------------|
| CO | mg/Nm ³ | 625 | 17 |
| NO _x | mg/Nm ³ | 300 | 140 |
| Staub | mg/Nm ³ | 100/80 | 7,5 |
| Bezugs-O ₂ | Vol.-% | 10 | 7,6 |

großer Teil der Wärmeenergie auf den Thermoölkreislauf übertragen. Das Thermoöl wird hierbei auf etwa 315 °C erhitzt. Die Kessel haben eine Nennleistung von jeweils 12,5 MW. Thermoölanlagen haben sich seit Jahrzehnten in der Holzindustrie bewährt, der besondere Vorteil liegt im drucklosen Betrieb dieser Anlagen auch bei hohen Betriebstemperaturen. Da das Medium jedoch empfindlich gegen Überhitzung ist, strömen die Rauchgase bei Thermoölerhitzern um die Rohre, das Thermoöl selbst strömt in den Rohren. Der Thermoöl-Volumenstrom lässt sich dadurch leicht überwachen. Auf den Rohren können Ablagerungen von Flugasche entstehen. Diese können den Wärmeübergang beeinträchtigen und den Wirkungsgrad der Anlage verschlechtern. Erhöhte Rauchgastemperaturen aufgrund des eingeschränkten Wärmeübergangs führen außerdem dazu, dass die Anlagen vorzeitig abgestellt und manuell gereinigt werden müssen. Um dem vorzubeugen, hat Polytechnik das neue „Polyclean“-Heizflächenreinigungssystem installiert. Damit können die Ascheablagerungen vollautomatisch während des laufenden Anlagenbetriebs beseitigt werden. Ein hitzebeständiger Druckluftschlauch mit einer am Ende befindlichen Düse wird hierbei auf einer Schlauchtrommel auf- und abgewickelt, und durch dafür vorgesehene Stutzen am Erhitzerdeckel automatisiert in den Kessel eingeführt. Durch die Drehbewegung des Grundrahmens und der axialen Längsbewegung der Schlauchtrommel können beliebige Positionen entlang des definierten Kreisbereichs (Rohrkorbassen) angefahren werden. Dies ermöglicht die Abreini-

gung der gesamten Kesselheizfläche, wodurch sich lange Reisezeiten unter Einhaltung eines nahezu gleichbleibend hohen Wirkungsgrads erzielen lassen. Die Abreinigung erfolgt dabei schonend, ohne Abrieb auf den Heizflächen zu verursachen.

Polytechnik setzt bei Thermoölanlagen nahezu ausschließlich Armaturen mit geschweißten Enden ein. Zudem werden umfangreiche Berechnungen durchgeführt, um sicherzustellen, dass die maximal zulässigen Kräfte und Momente auf die unvermeidlichen Flanschverbindungen von Pumpen und Apparaten auch bei maximaler Betriebstemperatur und damit bei maximaler Wärmeausdehnung nicht überschritten werden (Rohrstatik).

Zur Steigerung des Anlagenwirkungsgrads wurde nach jedem Thermoölkessel jeweils ein Thermoöl-Economiser und anschließend ein Luftvorwärmer installiert. Dadurch lässt sich selbst beim Einsatz von Thermoöl als Wärmeübertragungsmedium und bei einer Betriebstemperatur von 315 °C ein feuerungstechnischer Wirkungsgrad der Kesselanlagen von 88 % erreichen.

Rauchgas-Reinigung und -kondensation

Die Vorabscheidung von Flugasche aus den Rauchgasen erfolgt mittels Multizyklonen. Sowohl die Luftvorwärmer als auch die Multizyklone werden von Polytechnik selbst konstruiert und hergestellt. Der Abscheidung von Feinstaub aus den Rauchgasen dient anschließend ein Elektrofilter.

ÜBERBLICK

Biomasseheizkraftwerk der Hillerød Forsyning in Zahlen

| | |
|--|------------------------|
| Brennstoff-Wärmeleistung | 2 x 14 300 kW |
| Wärmeleistung ORC-Module max. | 2 x 10 112 kW |
| Wärmeleistung Rauchgas-Kondensation (bei Brennstoff-Wassergehalt 45%) max. | 4 775 kW |
| Wärmeleistung Wärmepumpe max. | 2 470 kW |
| Maximal nutzbare Gesamtwärmeleistung | 27 469 kW |
| Stromerzeugung brutto | 4 920 kW _{el} |
| Stromerzeugung netto | 3 460 kW _{el} |
| Anlagen-Wirkungsgrad bei 100 % Last und w45 | 108,5 % |



Wie in diesem Bild gut zu erkennen ist, besteht die Kesselanlage aus zwei parallel arbeitenden Feuerungs- und Kesselanlagen.

Konzept und Technik überzeugen Bauherren

Fortsetzung von Seite 865

Schon seit Jahren ist man in Dänemark bemüht, die Betriebstemperaturen von Fernwärmenetzen abzusenken, weil dies grundsätzlich Vorteile für den Anlagenwirkungsgrad bietet – unabhängig von der Art der Wärmeerzeugung. Abgesehen von der höheren Effizienz bei der Wärmeübertragung werden auch die Wärmeverluste im Fernwärmenetz reduziert. Zum Zeitpunkt der Auftragsvergabe wurde das Fernwärmenetz in Hillerød mit einer Rücklauf­temperatur von etwa 45 °C betrieben, mittelfristig sollen 35 °C erreicht werden. In Verbindung mit dem nassen Brennstoff sind dies optimale Bedingungen für eine Rauchgas-Kondensationsanlage. Bei einem Brennstoff-Wassergehalt von 45 % und einer Rücklauf­temperatur von 45 °C erzeugt die Rauchgas-Kondensationsanlage bei Nennlastbetrieb 4 775 kW Wärme, ohne dass zusätzlicher Brennstoff hierfür benötigt wird.

Durch den Einsatz einer Kondensationsanlage wird zudem der Staubgehalt im Rauchgas an sich schon so weit reduziert, dass die gesetzlichen Grenzwerte eingehalten werden können. Dennoch hat Polytechnik der Kondensationsanlage einen Elektrofilter vorgeschaltet. Dadurch wird der Anfall von Schlamm in der Anlage deutlich reduziert, die Kondensationsanlage weist eine erheblich längere Verfügbarkeit auf.

Die erste amtliche Emissionsmessung an der Anlage bestätigte das geringe

Emissionsniveau der Anlage (vgl. Tabelle).

Wirkungsgradoptimierung durch Wärmepumpen

Auf Wunsch des Kunden wurde zusätzlich eine Wärmepumpe installiert, mit der die Rauchgase nach der Kondensation noch weiter abgekühlt werden. Die Wärmepumpe hat einen COP-Wert von >5. Damit können bei etwa 400 kW elektrischer Antriebsleistung bis zu 2 400 kW zusätzliche Wärme genutzt werden.

Stromerzeugung mit ORC

ORC-Module haben im Vergleich zu herkömmlichen Dampfturbinen einige Vorteile. Zum Beispiel benötigen die Anlagen keinen Überhitzer, im Vergleich zu Dampfkraftwerken werden sie mit einem deutlich geringeren Arbeitsdruck betrieben, das Medium ist nicht korrosiv und muss nicht aufbereitet werden und es entsteht kein kontinuierlicher Wasserverbrauch.

Das häufig gegen die ORC-Technologie verwendete Argument, wonach Dampfturbinen einen besseren Wirkungsgrad als ORC-Turbinen haben, trifft laut Polytechnik nur auf den reinen Kondensationsbetrieb zu. Im KWK-Betrieb erreiche man dagegen mit einem ORC-Modul vergleichbare Wirkungsgrade wie mit einer Gegendruck- oder Entnahme-Kondensations-Dampf-

turbine. ORC-Module können zudem in einem großen Leistungsbereich bzw. mit sehr niedriger Teillast betrieben und vollautomatisch angefahren werden. Da das Heizkraftwerk in Hillerød ausschließlich wärmegeführt gefahren werden sollte, überwiegen letztendlich die Vorteile der ORC-Technologie.

Die beiden letztlich verbauten ORC-Module in Hillerød haben eine Generator-Klemmenleistung von jeweils 2 600 kW. Beim Anschluss der Module an das öffentliche Stromnetz in Dänemark musste der anspruchsvolle Danish Grid Code eingehalten werden. Dieser entspricht im Wesentlichen der in Deutschland geltenden BDEW-Richtlinie. ORC-Module werden standardmäßig mit direkt gekoppelten Asynchrongeneratoren ausgerüstet. Diese benötigen ein stabiles Netz als Führungsgröße. Die Vorgaben des Danish Grid Codes lassen sich damit jedoch nicht erfüllen. Aus diesem Grund mussten die Module für das Biomasseheizkraftwerk in Hillerød mit Synchrongeneratoren ausgerüstet werden.

Steuer- und Regeltechnik, Prozess-Visualisierung

Polytechnik-Anlagen werden über eine SPS von Siemens gesteuert. Sämtliche Betriebsdaten werden visualisiert und chronologisch gespeichert. In Hillerød überträgt man zudem alle Signale an die Leitwarte eines nahe gelegenen Gaskraftwerks. Das Biomasseheizkraftwerk der Hillerød Forsyning läuft so weitgehend autark und ohne ständige Beaufsichtigung.



Blick von oben auf die Thermoölkessel und Verrohrung

Das speziell für Thermoölanlagen entwickelte Sicherheits-Notkühlkonzept von Polytechnik hat sich bereits bewährt und wurde vom TÜV geprüft und abgenommen.

Alle Anlagen des Herstellers können über Fernwartung (Remote Control) überwacht werden. Die Mitarbeiter des Kunden und die Mitarbeiter des Herstellers können sich per Internet jederzeit und von jedem beliebigen Ort aus in die Visualisierung einwählen und die Betriebsparameter kontrollieren.

Anlage überzeugt durch Ergebnisse

Nach zweijähriger Bauzeit lieferte das Biomasse-Heizkraftwerk im August 2016 erstmals Wärme in das Fernwärmenetz, die Generatoren speisten zum 8. September 2016 erstmals Strom in

das öffentliche Stromverbundnetz Dänemarks ein. Seitdem wird die Anlage unterbrechungsfrei betrieben.

Bezogen auf Nennlastbetrieb und auf einen Brennstoff-Wassergehalt von 45 % werden mit der gesamten Anlage bei einer Brennstoff-Wärmeleistung von 28,6 MW etwa 27,5 MW Nutzwärme und rund 3,5 MW Strom netto gewonnen. Der Anlagenwirkungsgrad liegt somit bei rund 108,5 %.

Der Liefer- und Leistungsumfang der Polytechnik-Gruppe umfasste neben der gesamten Anlagentechnik auch die Genehmigungsplanung sowie sämtliche Bauarbeiten und Baubeneleistungen. Das Gebäude entspricht hinsichtlich Arbeitsstättenrichtlinie den strengen dänischen und europäischen Regelwerken und lässt gestalterisch den Bezug zur Energieerzeugung mit Holz erkennen.