Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 115 (1997)
Heft: 9

Artikel: Heizkraftwerk konvertiert Holz in Wärme und Strom
Autor: Humm, Othmar
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-79209

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 13.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

- Gebiete, in denen Verdacht auf tiefere Grundwasserstockwerke in Lockergesteinen besteht, deren Lage und Bedeutung für die Trinkwasserversorgung nicht bekannt sind.
- Gebiete mit kiesreichen Moränenablagerungen von mehr als 20 m Mächtigkeit. Diese können bisher unbekannte nutzbare Grundwasservorkommen bergen.
- Altlasten-Verdachtflächen ohne Unbedenklichkeitsnachweis.

EWS-Anlagen grundsätzlich nicht zulässig

In folgenden Gebieten sollte keine Bewilligung erteilt werden:

- Gebiete mit Grundwasservorkommen, die sich für die Trinkwasserversorgung eignen, d.h. Grundwasservorkommen in Schottern mit einer Grundwassermächtigkeit von über 2 m sowie Gebiete, in denen gemäss Grundwasserkarte solche Vorkommen erwartet werden.
- Grundwasserschutzzonen S1, S2
- Grundwasserschutzareale
- Schutzbereiche von Mineral- und Thermalquellen, falls ein erhöhter Schutz erforderlich ist.
- Uferbereiche von Gewässern: 6 m Abstand bei Bächen, 12 m bei Flüssen und Seen. Damit wird auch einer Gefährdung von EWS-Anlagen durch Erosion vorgebeugt.

Mittel der Vorabklärung

In gewissen Nutzungsgebieten werden ein geologisches Gutachten und zum Teil zusätzlich eine Risikoerkundungsbohrung für die Bewilligung einer EWS-Anlage verlangt. Das geologische Gutachten soll die in der EWS-Karte dargestellten sowie die weiteren möglichen Gefährdungen behandeln und geeignete Vorgehensweisen oder Massnahmen zu deren Bewältigung vorschlagen.

Die Risikoerkundungsbohrung bezweckt eine Abklärung der konkreten lokalen hydrogeologischen Verhältnisse in Gebieten, in denen keine ausreichenden Kenntnisse über den Aufbau des Untergrunds bestehen.

Erste Erfahrungen mit der EWS-Karte

Bisher wurden vier Blätter der EWS-Karte erstellt (Baden, Wohlen, Aarau, Schöftland). Es zeichnet sich allgemein eine Zeitersparnis bei der Beurteilung von Gesuchen für EWS-Anlagen ab. Besonders positiv wirkt sich die Arbeit mit der Karte in Gebieten mit schwierigen hydrogeologischen Verhältnissen aus. Die Begründung des Bewilligungsentscheids und die Angabe von Randbedingungen für die weitere Projektierung einer Anlage werden damit wesentlich vereinfacht.

Schlussbemerkungen

Die EWS-Karte stellt weitgehend eine Interpretation von Oberflächeninformationen dar. Im Verhältnis zur Fläche liegen nur wenige tiefe Bohrungen vor. Deshalb bestehen lokal erhebliche Ungewissheiten über den geologischen Aufbau des Untergrunds. Von grosser Bedeutung sind daher eine fachgerechte Betreuung, Dokumentation und Auswertung von EWS-Anlagen. Diese können so zur ständigen Verbesserung der Beurteilung von Gesuchen und zu einer Weiterentwicklung hin zur ökologisch und ökonomisch optimalen Anlage beitragen.

Die EWS-Karte kann ebenfalls als Element einer sinnvollen, umfassenden Bewirtschaftung der Erdwärme dienen.

Adresse der Verfasser:
Hansruedi. Graf, Dr. sc. nat., dipl. Geologe ETH, *Federico Matousek*, Dr. sc. nat., dipl. Geologe ETH, Matousek, Baumann & Niggli AG, Mäderstrasse 8, 5401 Baden, *Kurt Rey*, dipl. Masch.-Ing. HTL, Baudepartement des Kantons Aargau, Abteilung Umweltschutz, Entfelderstrasse (Buchenhof), 5001 Aarau.

Pilot- und Demonstrationsanlagen des Bundes und der Kantone

Othmar Humm, Zürich

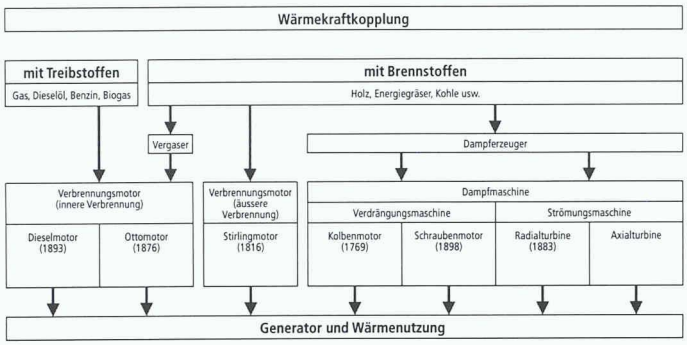
Heizkraftwerk konvertiert Holz in Wärme und Strom

Die Technologien zur kombinierten Erzeugung von Elektrizität und Wärme sind keineswegs neu. Was die Technik anbelangt, handelt es sich bei den beiden Heizkraftwerken Meiringen und Ormalingen gewissermassen um ein Comeback. Neu sind dagegen die Konfiguration als Drei-Kessel-Anlage mit hoher Versorgungssicherheit, die strikte Orientierung an den Kriterien der Wirtschaftlichkeit und die konsequente Einbettung in die holz- und energiewirtschaftlichen Strukturen der Region.

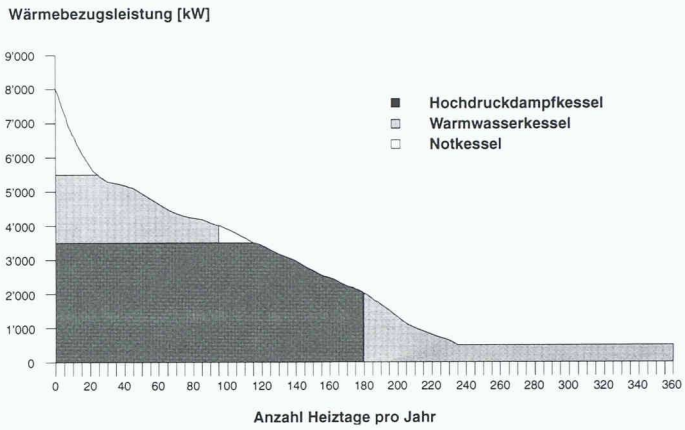
Vergleich von Verbrennungsmotor und Dampferzeuger

Holzbeschickte Wärmekraftkopplungsanlagen sind zweistufige Systeme: Der in einem Dampfkessel erzeugte Dampf treibt eine Dampfmaschine an. Der Umweg über den Dampf spricht an sich gegen feste Brennstoffe als Primärenergieträger zur Stromerzeugung in WKK-Anlagen. Im Vergleich zu gasbefeuerten WKK-Anlagen sind die spezifischen Investitionskosten wegen der zusätzlichen Dampferzeugerstufe um rund 40% höher bei gleichzeitig geringeren elektrischen Wirkungsgraden. Während Blockheizkraftwerke mit Gasmotoren aus 100% Treibstoff-Input 30% Strom und 60% (nutzbare) Wärme generieren, sind es in kleinen Dampfkraftwerken nur zwischen 10% und 20% Elektrizität - der Rest fällt als Wärme an [1]. Diesen thermodynamischen Eigenschaften stehen zwei gewichtige Vorteile gegenüber: Dampfkraftwerke konvertieren auch nachwachsende, sogenannte CO_2-neutrale Brennstoffe in Elektrizität, und die Einkopplung der erzeugten Wärme in einen wasserführenden Wärmeverbund lässt sich mit kleinen Verlusten bewerkstelligen. Unter ökologischen Gesichtspunkten könnte das mehr als 200 Jahre alte Verfahren der Dampfmaschine, das für viele Anwendungen vom Verbrennungsmotor verdrängt wurde, eine Neubewertung erfahren (Bild 1).

Der Vollständigkeit halber seien noch zwei weitere Maschinen zur Stromerzeugung aus Holz erwähnt: der Stirling-Motor - mit äusserer Verbrennung - und der Vergaser. Der Stirling-Maschine haften nach



1
Technologien zur kombinierten Erzeugung von Elektrizität und Wärme. Für WKK-Anlagen kleiner Leistung sind lediglich der Otto-Motor und die Radialturbine von Bedeutung

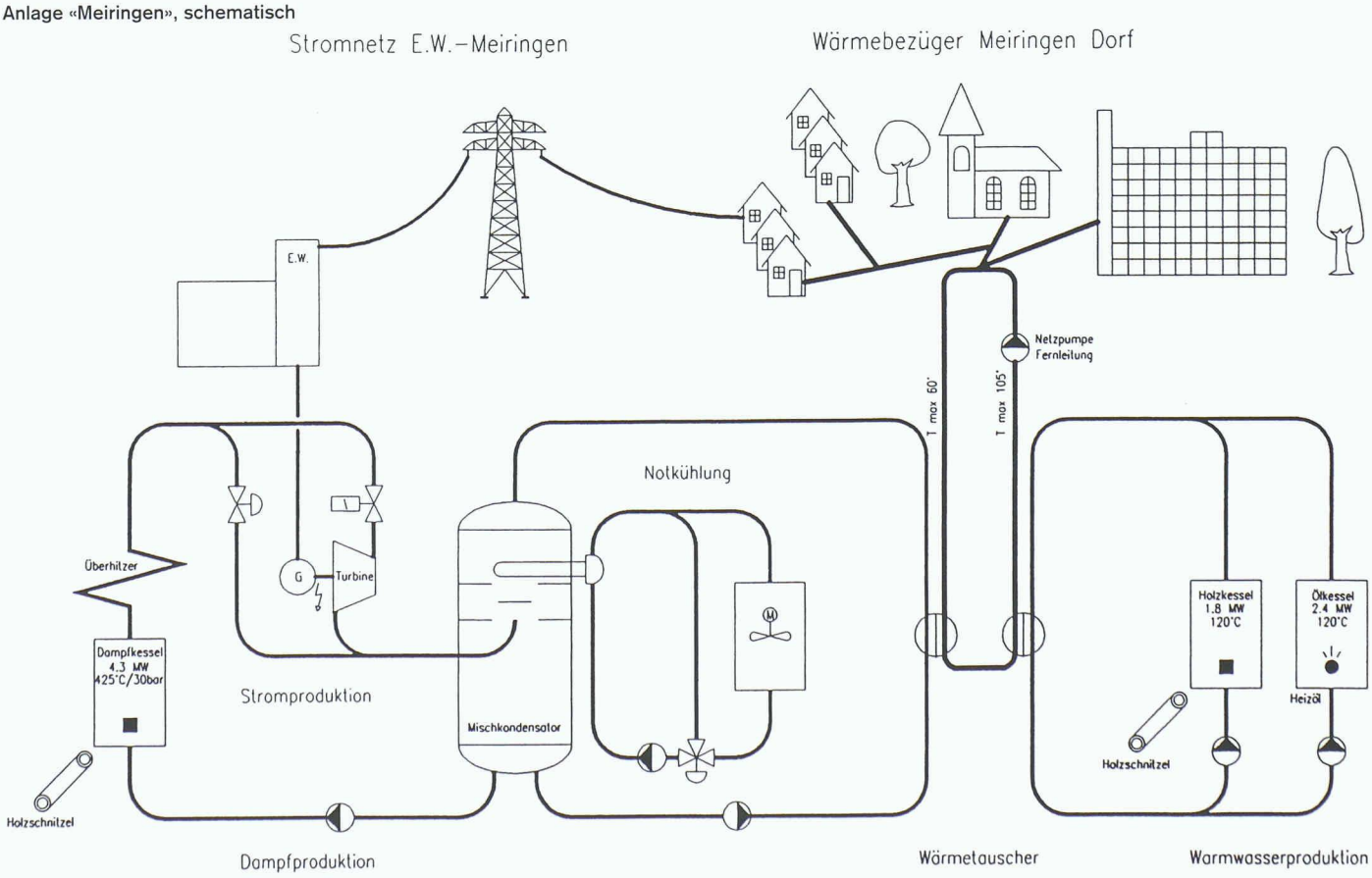


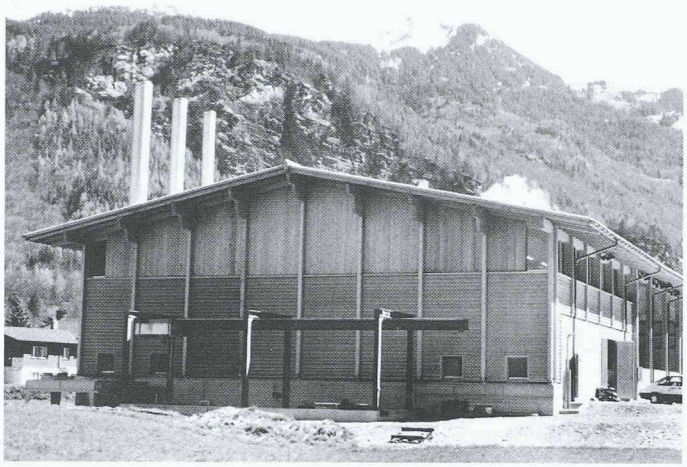
2
Lastdiagramm des Heizkraftwerkes Meiringen. Der Hochdruckdampfkessel ist im Winterhalbjahr, der Warmwasserkessel im Sommerhalbjahr sowie während 90 kalten Tagen in Betrieb [4]

wie vor Dichtungsprobleme an; für eine baldige Markteinführung besteht wenig Hoffnung. Besser schneidet die Vergasertechnik ab: Im freiburgischen Châtel St. Denis konnte eine Pilot- und Demonstrationsanlage während Monaten ausgemessen werden [5]. Dieser Prototyp gewinnt aus Holz Gas, das nach der Reinigung einem Gasmotor mit angeflanschtem Generator zugeführt wird.

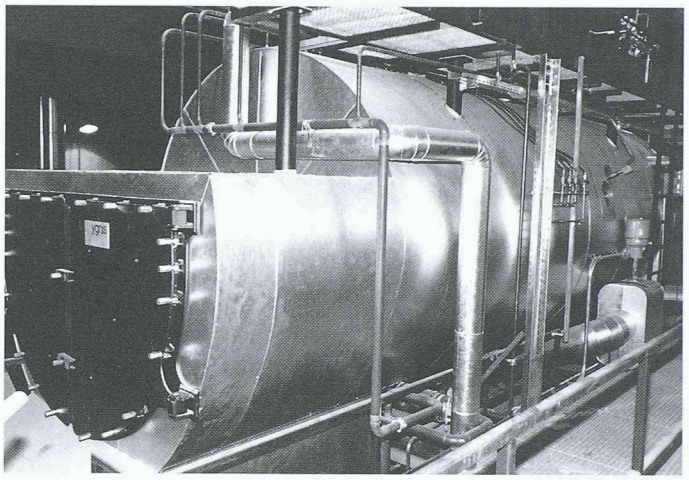
Das Angebot an Dampfmaschinen für den Antrieb von Generatoren umfasst Strömungsmaschinen, nämlich radiale und axiale Dampfturbinen sowie Verdrängungsmaschinen, darunter der häufige Dampfkolbenmotor und der noch prototypische Dampfschraubenmotor. (Schraubenkompressoren in Kältemaschinen und in Pressluftanlagen sind dagegen vielfältig im Einsatz.) Die Maschinen unterscheiden sich - neben ihrer Konstruktion - in den zulässigen Temperaturen und Drücken des Arbeitsmediums Dampf bzw. Wasser und in ihrem Teillastverhalten. Turbinen sollten tunlichst frei von Kondenswasser bleiben, um Erosionen zu verhindern und den Wirkungsgrad zu verbessern; der Dampf muss sich also ausserhalb der Maschine - im nachgeschalteten Kondensator - verflüssigen. Verdrängungsmaschinen sind diesbezüglich robuster, ein Schraubenmotor läuft auch mit Satt- oder gar Nassdampf. (An der Universität Dortmund steht eine Schraubenmotoranlage seit August 1996 im Versuchsbetrieb [6].) Die für den Betrieb mit Sattdampf geeigneten Dampfmotoren verbilligen den vorgeschalteten Dampfkessel um 30%, weil auf den Überhitzer verzichtet werden kann.

3
Anlage «Meiringen», schematisch





4
Das Meiringer Werkgebäude mit den drei Rauchgasrohren



5
Hochdruckdampfkessel in Meiringen

Darüber hinaus lässt sich die Leistung von Dampfmotoren zwischen 30% und 100% variieren. Wegen der beschränkten Teillastfähigkeit des Überhitzers beträgt die Leistungsvariation der Turbinenanlage lediglich 40%. Umgekehrt schneiden Kolbenmaschinen wegen der notwendigen Schmierung und der damit verbundenen Massnahmen zur Ölabscheidung schlechter ab als Turbinen.

Stromkennzahlen zwischen 0,1 und 0,2, wie sie für kleinere Heizkraftwerke mit Dampfturbinen üblich sind, lassen keine überproportionalen Kostenbeiträge aus der Stromproduktion erwarten, auch nicht bei Anwendung der Empfehlung des Eidgenössischen Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartementes, EVED (vgl. Wirtschaftlichkeit). Nur bei günstigen Randbedingungen können die Mehrkosten der Stromerzeugung mit den Erlösen aus den Stromverkäufen überhaupt gedeckt werden. Wie aus einer Untersuchung am Institut für Energietechnik der ETH Zürich hervorgeht [2], führt die Integration einer Stromerzeugerstufe in eine bivalente Drei-Kessel-Anlage (nur Zentrale, ohne Netz- und Nebenkosten) zu einer Verdoppelung der Investitions- und damit der jährlichen Kapitalkosten. (Die Kostenstruktur von Meiringen und Ormalingen bestätigen die ETH-Berechnungen.) Auf die gesamten Kosten bezogen, eingeschlossen die Aufwendungen für das Netz, ergeben sich für die Stromerzeugung Mehrkosten zwischen 15 und 20%. Für einen wirtschaftlichen Betrieb müssten die Investitionen für holzbeschickte WKK-Anlagen um 30 bis 35% günstiger ausfallen. Der Befund ist deutlich; gleichzeitig ist diese Kostenstruktur Anlass für einen vorsichtigen Optimismus, denn die Herstellungskosten der relevanten Komponenten sinken allein schon aufgrund wachsender Stückzahlen.

Meiringen und Ormalingen

Die beiden Fernheizkraftwerke im bernischen Meiringen und im basellandschaftlichen Ormalingen sind mit ihren installierten Leistungen von 6 bzw. 3 MW in der schweizerischen Energieversorgung eine Marginalie - allerdings nur quantitativ. Was ihren Stellenwert als Pilot- und Demonstrationsprojekte anbelangt, haben die beiden Zentralen indessen eine landesweite Bedeutung. Die Projekte stehen sozusagen im Schnittpunkt zweier energiepolitischer Entwicklungschienen, nämlich der Nutzung von regenerierbaren Primärenergieträgern zur Erzeugung von hochwertiger Elektrizität und der dezentralen Wärmekraftkopplung unter weitgehender Verwertung der Wärme.

Zentrale

Die Wärmeproduktion im Fernheizkraftwerk Meiringen basiert auf einem holzbefeuerten Hochdruckdampfkessel, einem ebenfalls mit Holz beschickten Warmwasserkessel sowie einem Ölkessel zur Dekkung der Spitzenlast bzw. eines allfälligen Notbedarfes. Die drei Wärmeerzeuger - und ihre Steuereinheiten - arbeiten voneinander unabhängig, sie sind aber, was das Betriebsregime anbelangt, weitgehend verzahnt. Während den 180 Tagen des Winterhalbjahres - entsprechend 4320 Stunden - ist das Heizkraftwerk (Kessel 1) mit Leistungen an der Netzeinspeisestelle zwischen 2,1 und 3,6 MW - entsprechend 60 bis 100% der Nennleistung - in Betrieb. Im Sommerhalbjahr kommt die Wärme aus dem Warmwasserkessel (Kessel 2) - die Sommer-Bandlast beträgt 0,5 MW (Bild 2). Dieses Betriebsregime einerseits und die aus wirtschaftlichen Gründen gefor-

Ormalingen hat ähnliches Konzept

Das Heizkraftwerk Ormalingen wird gemäss Planung im Jahre 2000 rund 100 Bauten mit jährlich 8 GWh Wärme versorgen. Die grössten Wärmebezüger werden das Altersheim, die kommunalen Schulgebäude und ein Gewerbeareal sein. Vier Fünftel der Wärme stammt aus dem Dampfkraftwerk, einer Kombination von Holzheizkessel mit Dampfüberhitzer, Dampfturbine und angeflanschtem Generator. Der Holzheizkessel mit einer Feuerungsleistung von 1,8 MW wird mit grünen Holzschnitzeln beschickt - jährlich 11 000 m³. Im 1,5-MW-Kessel entsteht Dampf mit einer Temperatur von 230° C - im Dampfüberhitzer von 380° C - und einem Druck von 30 bar. Dieser Dampf entspannt sich in der Turbine bis auf 1,5 bar und treibt dabei den Generator an. Der Stromerzeuger leistet 180 kW und speist jedes Jahr 560 MWh Strom ins Netz des regionalen Elektrizitätswerkes ein. Der Abdampf aus der Turbine entlässt im Kondensator seine Wärme schliesslich ins Netz der Wärmeversorgung. Den Rauchgasen wird im Abgaskondensator Wärme mit einer Leistung von 200 kW entzogen. Vom gesamten Eintrag an Biomasse konvertiert das Kraftwerk rund 10% in Strom und weitere 70% in Wärme, der Gesamtwirkungsgrad liegt also bei 80%. Ein zusätzlicher Holzkessel kommt nach Bedarf zum Einsatz. Damit weisen Ormalingen und Meiringen dieselbe Anlage-Konfiguration auf: Hochdruckdampfkessel, Warmwasserkessel und ölbefeuerter Notkessel.

Von den 11 GWh eingesetzter Endenergie stammen 90% aus Biomasse. Neben Grünschnitzeln, die etwa 70% des Bedarfes decken, wollen die Initianten rund 20% Chinaschilf verheizen. Der Rest wird über den Ölkessel in Wärme konvertiert. Die gesamten Anlagekosten betragen 8,25 Mio. Franken. Die Bezüger bezahlen die Wärme in Form einer jährlichen Grundgebühr von 30 Franken pro kW Anschlussleistung und eines Wärmepreises von 10,8 Rappen pro kWh. Der Stromverkauf an das örtliche Elektrizitätswerk bringt rund 100 000 Franken jährlich. 1995 wurde die Anlage mit dem Alternativenergiepreis der Akademie der Technischen Wissenschaften ausgezeichnet.

derte Laufzeit von mindestens 4000 Stunden des Heizkraftwerkes anderseits waren für die minimalen Feuerungsleistungen massgebend. Die Maximalleistungen - 3,6 bzw. 1,8 MW - ergeben sich aus der Regulierbarkeit der Feuerungen. Der Not- und Spitzenlastkessel schliesslich deckt bei Ausfall der beiden Holzkessel den Bedarf des Wärmeverbundes, allerdings ohne die grossen Bezüger Spital und Privatklinik, die über hauseigene Notkessel verfügen. Bei Ausfall oder Revision eines der beiden Holzkessel genügt die Leistung des Notkessels von 2,3 MW - zusammen mit einem der einsatzbereiten Holzkessel - für die Versorgung aller Verbraucher.

Der im Hochdruckdampfkessel erzeugte Frischdampf mit einem Druck von 31 bar (absoluter Druck) und einer Temperatur von 420° C beaufschlagt die einstufige Radialturbine und entspannt sich dabei bis auf den Gegendruck von 1,1 bar (absolut). Dieser Abdampf verflüssigt sich im Mischkondensator zu Heisswasser und gibt dabei Wärme an das Netz ab - zur vollständigen hydraulischen Trennung von Zentrale und Wärmenetz über einen zusätzlichen Wärmetauscher. Als letzte Glieder in der Umwandlungskette konvertieren der Drehstrom-Synchron-Generator die Turbinenbewegung in Elektrizität und der Transformator den Ertrag in die netzkonforme Mittelspannung. Das Heizkraftwerk arbeitet grundsätzlich wärmegeführt und deshalb im Dauerbetrieb ohne Kühler.

Holzfeuerungen sind träge, ein flinker Unterbruch der Wärmeproduktion ist wegen des dauernd verfügbaren Holzvorrates im Brennraum nicht möglich. Ein plötzlicher Ausfall der Turbine oder eine sprunghafte Reduktion der Heizlast würde ohne zuschaltbare Notkühlung zu Problemen führen. Ein separates Notstromaggregat sichert zudem die Stromversorgung bei gleichzeitigem Ausfall des Netzes und der Turbine, um den Dampfkessel sanft herunterzufahren.

Brennstoff-Eintrag

22 600 m³ Holzschnitzel - der überwiegende Teil aus Nadelholz - in insgesamt 560 Containern zu je 40 m³ werden jährlich ins Heizkraftwerk geliefert. Der Werkverkehr eignet sich allerdings kaum als Argument gegen Holzschnitzelheizungen: Bei einem Energieinhalt der Schnitzel von rund 18 GWh ist der Dieselölverbrauch der Lastwagen mit 0,6% vernachlässigbar. Die Aufbereitung der Schnitzel erfolgt dezentral - im Wald oder in Sägereien. Schubboden und Kettenförderer transportieren die Schnitzel aus dem Lager mit einer Kapazität von 3000 m³ in den Zwischenbehälter. Schneckenförderer beschicken die beiden Schrägrost-Holzkessel. Der Hochdruckdampfkessel ist zusätzlich mit einem mechanischen Vorschub ausgerüstet.

Trägerschaft

Initiantin des Kraftwerkes ist das Forstrevier Meiringen, das Absatzkanäle für seine Holzschnitzel suchte. 1993 gründeten die Bäuert-, die Burger-, die Einwohner- und die Dorfgemeinde Meiringen eine Aktiengesellschaft, in deren Auftrag das Werk entstand und heute betrieben wird. Die ersten Wärmebezüge datieren vom November 1995, im April 1996 ging der Generator ans Netz. Mit Stand Oktober 1996 beziehen 54 Verbraucher über das 4 km lange Fernwärmenetz jährlich 10,2 GWh Wärme mit einer maximalen Leistung von 5,5 MW. Die maximale Anschlussleistung beträgt 8 MW.

Wirtschaftlichkeit

18,7 Mio. Fr. hat das Kraftwerk Meiringen gekostet, wobei je ein Drittel, also rund 6 Mio. Fr., auf das Fernwärmenetz mit den zahlreichen Übergabestationen, die kraftwerkstechnischen Einrichtungen und «übrige Kosten» - Planung, Gebäude, Baunebenkosten und Umgebung - entfallen. Mit 2 Mio. Fr. hat der Bund, mit 4,2 Mio. Fr. der Kanton Bern das Werk unterstützt. 3 Mio. Fr., also lediglich 16% der gesamten Anlagekosten, stammen aus Anschlussgebühren, die zwischen 1300 und 300 Fr./kW betragen. (Bei einer Anschlussleistung von 8 kW resultieren Anschlussgebühren von rund 10 000 Franken, was in etwa den Beschaffungskosten eines Ölkessels für ein gutgedämmtes Einfamilienhaus entspricht.) Den eigentlichen Wärmebezug verrechnet die Betreibergesellschaft mit einer leistungsabhängigen Grundgebühr von 50 Fr./kW, was bei 2000 Vollbetriebsstunden ein Kostenanteil von 2,5 Rp./kWh bedeutet, sowie mit einem Arbeitspreis zwischen 6,2 Rp./kWh und 7,7 Rp./kWh - je nach Wärmebezug. Der durchschnittliche Wärmepreis - über alle Bezüger und mit den Grundgebühren gerechnet - beläuft sich auf 9,1 Rp./kWh.

Das Elektrizitätswerk Meiringen kauft die jährlich rund 1700 MWh ins Netz eingespeiste Elektrizität der Betreiberin zu einem durchschnittlichen Preis von 16 Rp./kWh ab. Der Ansatz basiert auf der erwähnten EVED-Empfehlung, die für Strom aus erneuerbaren Energien gilt. Die Tarife differieren in der Regel - so auch in Meiringen - zwischen Sommer und Winter, zwischen Tag und Nacht. Im Winter gilt die kWh Strom im Hochtarif 18,0 Rp./kWh und im Niedertarif 9,1 Rp./kWh, jeweils zuzüglich einem «Verfügbarkeitszuschlag» zwischen 3 und 5 Rp. Die Sommertarife sind entsprechend niedriger, was aber unerheblich ist, da die Stromerzeugungseinheit ausserhalb der eigentlichen Heizsaison ausser Betrieb ist. (Die Tarifstruktur diente sogar als Basis zur Dimensionierung der Stromerzeugungsanlage.) Die durchschnittlichen spezifischen Brennstoffkosten belaufen sich auf 25 Fr. je m³ Schnitzel (franko Silo).

Literatur

[1]
VDI-Lexikon Energietechnik, Düsseldorf 1994.

[2]
Biollaz Serge, Renz Peter, Nussbaumer Thomas: Schraubenmotor zur Wärmekraftkopplung mit Holz; Anlagenkonzept und Wirtschaftlichkeit im Vergleich zu Dampfturbine und Dampfkolbenmotor. In: [7]

[3]
Rutschmann Christoph: Verbesserung der Wirtschaftlichkeit automatischer Holzfeuerungen. In: [7]

[4]
Baumgartner Beat, Finger Max: Fernwärme-Heizwerk Meiringen mit Wärmekraftkopplung mittels Dampfturbine. In: [7]

[5]
Sharan Hari, Richers Cristiano, Giordano Pasquale: Offener, absteigender Gleichstrom-Vergaser zur Wärmekraftkopplung mit Holz (Downdraft gasifier for cogeneration plants). In: [7]

[6]
Piatkowsky Reimund, Kauder Knut: Schraubenmotor zur Wärmekraftkopplung: Stand der Technik. In: [7]

[7]
Nussbaumer Thomas: Feuerungstechnik, Ascheverwertung und Wärmekraftkopplung. Tagungsband zum 4. Holzenergie-Symposium, ETH Zürich 1996.

Adresse des Verfassers:
Othmar Humm, Fachjournalist Technik und Energie, 8050 Zürich

Beteiligte

Meiringen

Trägerschaft: Fernheizkraftwerk Meiringen AG, 3960 Meiringen

Planung: Ingenieurgemeinschaft Fernheizkraftwerk Meiringen, IUB Ingenieur-Unternehmung AG Bern, 3000 Bern 6, Strahm AG, Ingenieure + Planer, 3063 Ittigen

Ormalingen

Trägerschaft: GEVO, Genossenschaft Energie-Versorgung Ormalingen, 4466 Ormalingen

Planung: Dr. Eicher + Pauli AG, 4410 Liestal