

Fernwärme Mühleberg-Bern: Fernwärme aus dem Kernkraftwerk Mühleberg und der Kehrichtdeponie Teufthal für Bern-West und Umgebung

Autor(en): **Reutemann, Martin / Straub, Gisbert**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **104 (1986)**

Heft 17

PDF erstellt am: **25.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-76139>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Fernwärme Mühleberg-Bern

Fernwärme aus dem Kernkraftwerk Mühleberg und der Kehrrechtdeponie Teuftal für Bern-West und Umgebung

Von Martin Reutemann und Gisbert Straub, Bern

In einer Zeit, in welcher der Mensch in den Industrieländern durch seinen Energieverbrauch und dessen Nebenwirkungen die Umwelt und insbesondere die Luft stark belastet, ist die Nutzung von Abwärme aus bestehenden Anlagen eine ausgezeichnete Massnahme, um aktiven Umweltschutz zu betreiben.

Westlich von Bern stehen mit dem Kernkraftwerk Mühleberg (KKM) und der Kehrrechtdeponie Teuftal zwei Abwärmequellen zur Verfügung, deren Wärmepotential ausreicht, um grosse Gebiete der Region Bern mit umweltfreundlicher Wärme für Raumheizung und Warmwasserzubereitung zu versorgen.

Grundlegende Projektuntersuchungen für das Gebiet Bern-West zeigen, dass eine wirtschaftliche, sichere und umweltgerechte Wärmeversorgung für mindestens 20 Jahre realisiert werden kann. Eine sinnvolle Vergrösserung des Absatzgebietes könnte die Wirtschaftlichkeit weiter verbessern.

Zwar hat am 30. Januar 1986 die stadtbernische Legislative das Projekt deutlich abgelehnt, obschon eine gleichzeitig durchgeführte Meinungsumfrage in der Bevölkerung eine Zustimmung im Verhältnis 3:2 ergeben hat. So wurde denn inzwischen eine Initiative vorbereitet. Es bleibt zu hoffen, dass der Souverän einer solchen sinnvollen Nutzung bereits erschlossener und verfügbarer Ressourcen zustimmen wird. (Red.)

Eine handlungsfähige Trägerschaft ist notwendig

Die Fernwärme als leitungsgebundene Energie, die zudem in vorwiegend dicht besiedelten Gebieten den knappen vorhandenen Platz teilen muss, ist aus dieser Sicht geeignet, durch das Gemeinwesen getragen zu werden. Das gilt vermehrt, wenn man berücksichtigt, dass Strassen und Wege, die meist im Besitz der öffentlichen Hand sind, sich als Transportwege besonders eignen.

Jedoch steht sie auch in Konkurrenz zu andern Energieträgern, und die Trägerschaft ist somit notwendigerweise verpflichtet, sich in einem Markt zu etablieren, der rasche situations- und zeitgerechte Entscheidungen verlangt.

Der Handlungsspielraum des Gemeinwesens, bestimmt durch die zeitaufwendigen demokratischen Entscheidungsabläufe, reicht nicht aus, um ein marktgerechtes, zielstrebendes Verhalten zu sichern. Deshalb steht für die Realisation einer Fernwärmeversorgung ab Kernkraftwerk Mühleberg und Kehrrechtdeponie Teuftal eine gemischtwirtschaftliche Aktiengesellschaft im Vordergrund. Diese Struktur erlaubt eine angemessene Beteiligung und Mitsprache aller interessierten Kreise. Der Stadt Bern als Gemeinde mit dem grössten Abnahmepotential kommt in dieser Gesellschaft eine tragende Rolle zu.

Die Aktiengesellschaft ist die am besten geeignete Organisationsform, weil im

Gegensatz zu andern öffentlichen Versorgungsaufgaben die Konkurrenzsituation der Fernwärme eine flexible Preispolitik erfordert. Die Wirtschaftlichkeit der Fernwärmeversorgung hängt stark von der zeitlichen Entwicklung der Anschlussdichte ab. Durch ein geschicktes Marketing sind die erstellten Kapazitäten rasch auszulasten. Aus dieser Sicht drängt sich eine Organisationsform auf, welche rasche Entscheidungsabläufe und ein flexibles, unternehmerisches Handeln gewährleistet.

Die Trägerschaft der Fernwärmeversorgung Mühleberg-Bern (FEMBE) hat mindestens folgende Aufgaben zu bewältigen:

- Projektierung und Planung einer Fernwärmeversorgung ab Übergabestation KKM/Teuftal bis und mit den Übergabestationen der Verbraucher;
- Bau der Transport- und Verteilleitungen mit den notwendigen Sekundäranlagen, Bau der Reserve- und Spitzenkessel;
- Betrieb und Unterhalt der Fernwärmeversorgung, Kauf der Wärme ab KKM und Kehrrechtdeponie Teuftal, Verkauf der Wärme an die Verbraucher;

weil einerseits die Wärmeauskopplung im Kernkraftwerk Mühleberg aus technischen, rechtlichen und politischen Gründen Sache des Kraftwerksbetreibers BKW ist und andererseits die Trägerschaft für die Wärmeproduktion in Teuftal zurzeit noch offen ist.

Wie präsentiert sich das energiewirtschaftliche und -politische Umfeld?

Energiepolitische Gesichtspunkte

Die Energiepolitik der letzten Zeit wird durch zwei Tatsachen geprägt, das sind die Kernenergie- und die Erdölkrise.

Die Kernenergiekrise darf heute für den Betrieb der bestehenden Werke als überwunden angesehen werden, und die Nutzung der Wärme aus Abwärmequellen ist weitgehend unbestritten.

Beim Energieträger Erdöl ergibt sich dagegen eine weniger klare Situation. Die beiden Ölversorgungsstörungen in den siebziger Jahren haben gezeigt, in welche politische Abhängigkeit wir durch eine einseitige Energieversorgung geraten können. Sparsame und rationelle Verwendung der Energie sowie Ersatz von Erdöl durch andere Energieträger sind Postulate, die aus dieser Zeit stammen. Obwohl seit den Ölkrisen der Energiemix in der Schweiz verbessert werden konnte, nimmt unser Land immer noch eine Spitzenposition unter den Industriestaaten bezüglich Erdölabhängigkeit ein.

Die von der Kommission für eine Gesamtenergiekonzeption (GEK) formulierten Postulate «Sparen, Substituieren, Forschen, Vorsorgen» haben ihre Gültigkeit behalten und sind heute als Zielsetzungen für eine schweizerische Energiepolitik anerkannt. Die Nutzung der in Kernkraftwerken anfallenden Abwärme zu Heizzwecken kann einen namhaften Beitrag zum Abbau der Erdölabhängigkeit leisten. In den bereits gebauten Kernkraftwerken und im geplanten Kernkraftwerk Kaiseraugst liegt ein Fernwärmepotential, das in den nächsten 20 Jahren den Wärmebedarf von 10–20% der Schweizer Wohnbevölkerung decken könnte.

Mit Berücksichtigung der umliegenden Gemeinden (Wohlen, Köniz, Frauenkappelen, Mühleberg usw.) würde eine Fernwärmeversorgung von Bern-West die Substitution von etwa 30 000 t Heizöl jährlich erlauben. Zusätzlich wird mit der Verwertung des Deponiegases der Kehrrechtdeponie Teuftal eine bisher nicht genutzte einheimische Wärmequelle neu erschlossen (Bild 1).

Versorgungssicherheit

Die Hauptwärmequelle für eine Fernwärmeversorgung im Raume Bern-West ist das Kernkraftwerk Mühleberg. Die Betriebsstatistik dieser Anlage zeigt, dass, abgesehen von der Revisionsperiode von rund einem Monat im Sommer, eine praktisch lückenlose Ver-

fügarkeit erreicht werden kann. Bei Revisionen sowie bei sonstigen Abschaltungen des KKM soll das Fernwärmenetz durch Spitzen- bzw. Reserveheizwerke sowie durch die Wärmeerzeugungsanlage in der Kehrrichtdeponie Teuftal betrieben werden; Teuftal alleine könnte mindestens im Sommer (Revision KKM) den überwiegenden Teil des Bedarfs abdecken. Das Reservesystem wird so ausgelegt, dass bei Bedarf die gesamte Wärmeleistung während der Ausfallzeit erbracht werden kann.

Im Vergleich zu andern möglichen Energieträgern (Öl/Gas) hat die nukleare Fernwärme den Vorteil, dass sie von kurz- und mittelfristigen Versorgungskrisen nicht tangiert wird; während beim Erdgas das Problem der Vorratshaltung bis heute nicht gelöst ist und beim Öl der finanzielle Aufwand die Grenzen setzt, reicht die zurzeit allerdings nur teilweise genutzte Brennstofflagerkapazität im KKM für vier Betriebsjahre aus.

Die Betriebsdauer des KKM beträgt aus heutiger Sicht mindestens 40 Jahre (bis etwa 2015). Mit der Erneuerung von einzelnen Anlagenteilen kann die Gesamtlebensdauer noch erheblich verlängert werden. Nach einer endgültigen Stilllegung des KKM ist es technisch möglich, das Fernwärmenetz mit einer andern geeigneten Wärmequelle weiter zu betreiben.

Das Versorgungsgebiet

Die geographische Abgrenzung des Versorgungsgebietes zeigt Bild 1. Es umfasst schwergewichtig das Gebiet Bern-West. Das im Versorgungsgebiet anstehende Wärmepotential für Raumheizung und Warmwasserbereitung wurde anhand der Angaben in Ref. [1] ermittelt (vgl. auch Bild 2).

Der totale Wärmeleistungs- und Nutzenergiebedarf des Versorgungsgebietes beträgt 143 MW bzw. 266 GWh/a. Der Wärmeleistungs- und Nutzenergiebedarf nach Endausbau, bei einem Anschlussgrad von 65% bis 70%, kann bis etwa 100 MW bzw. 180 GWh/a betragen.

Die Verteilung der abzugebenden Wärme über das ganze Jahr für Raumheizung ist von der Aussentemperatur abhängig. Für Warmwasserbereitung kann näherungsweise mit einem Bandbezug während des ganzen Jahres gerechnet werden. Die Verteilung auf die einzelnen Monate ist in Bild 3 aufgetragen. Als Basis dient die mittlere Monatstemperatur.

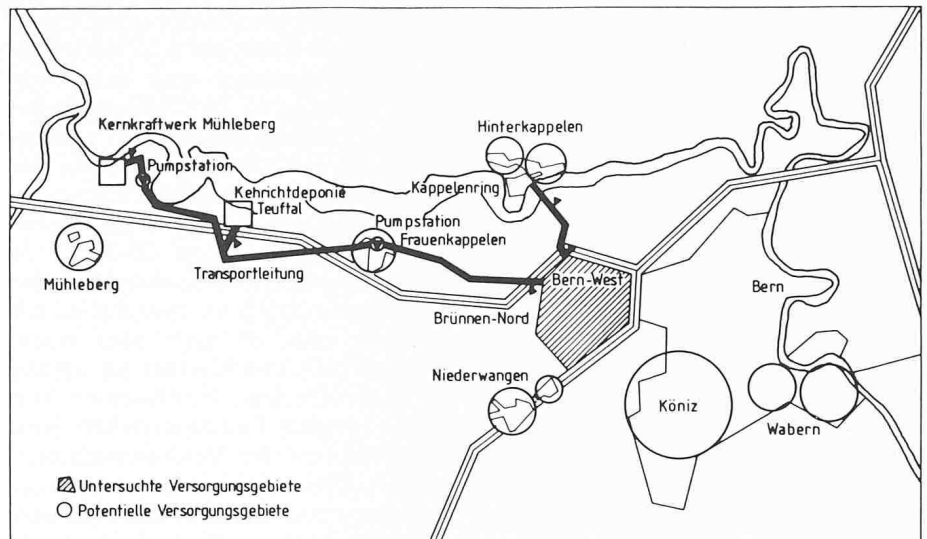


Bild 1. Transportleitung KKM-Bern-West und Versorgungsgebiet

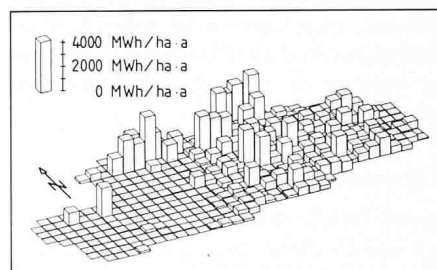


Bild 2. Wärmekataster Bern-West

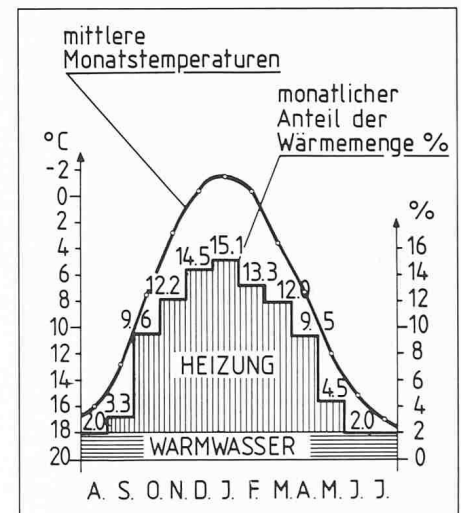
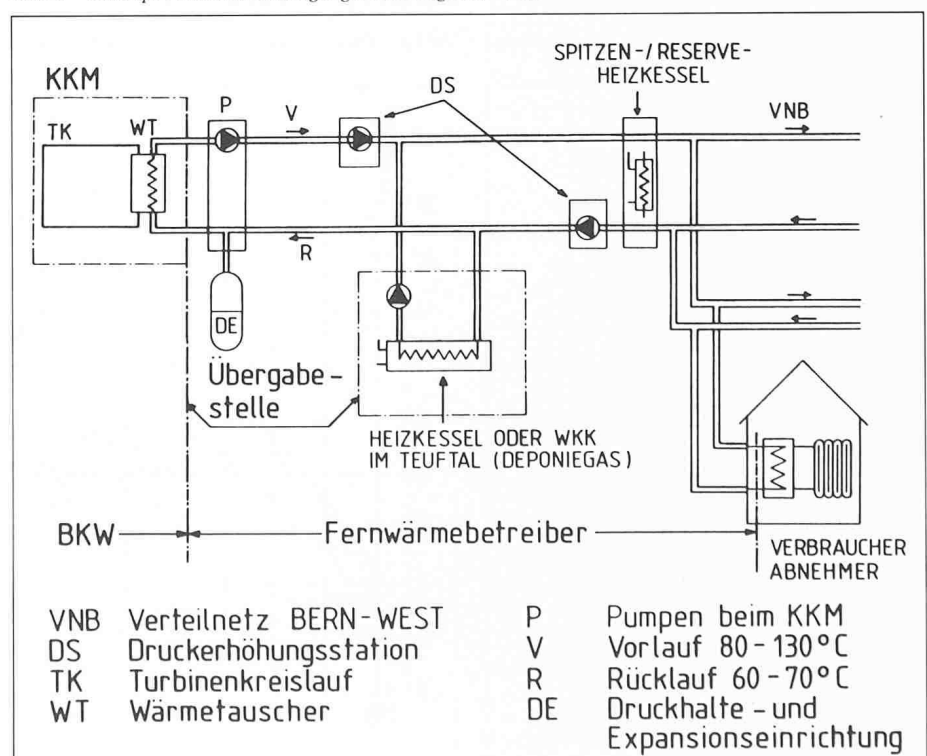


Bild 3 (rechts). Verteilung der mittleren Monatstemperaturen und der monatlichen Wärmemengen für Bern

Bild 4. Konzept Fernwärmeversorgung Mühleberg Bern-West



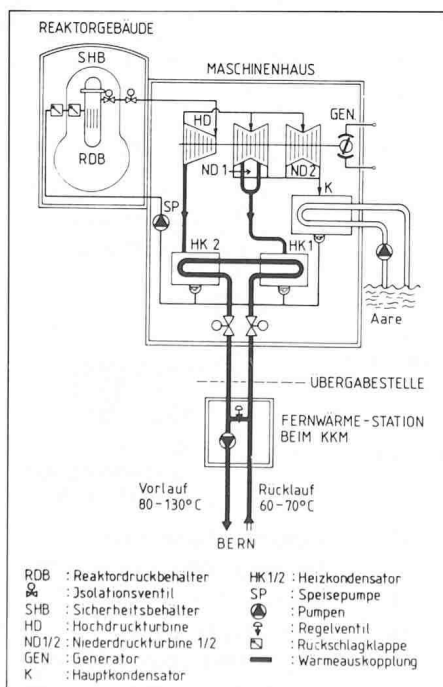
Das technische Konzept

Das Fernwärmesystem ist ein geschlossener Kreislauf, in dem Wärme von den Produktionsanlagen zu den Verbrauchern gepumpt wird. Die Vorlauftemperatur beträgt etwa 80 bis 130 °C, je nach Aussentemperatur. Die Abnehmeranlage entzieht dem System die benötigte Wärmemenge und überträgt sie an das Zentralheizungssystem und an das Brauchwarmwasser. Die Wärmeerzeugung erfolgt im KKM, in der Deponie Teufal sowie in Spitzen- und Reserveheizkesseln (Bild 4).

Auskopplungsanlage KKW Mühleberg

Im KKM wird Wärme aus dem Turbinenkreislauf ausgekoppelt und in Heizkondensatoren ans Fernwärmesystem übertragen (Bild 5). Der Turbinenkreislauf ist mittels einer Metallwand (rostfreie Stahlrohre im Heizkondensator) vom Fernwärmekreislauf getrennt. Das Fernwärmewasser steht zudem unter höherem Druck als der Dampf aus der Turbine an dieser Stelle. Sollte diese «Druckbarriere» aus irgendeinem Grund entfallen, so schliessen automatisch die Isolationsventile (Bild 5). Diese technischen Massnahmen stellen sicher, dass kein Wasser oder Dampf aus dem Turbinenkreislauf ins Fernwärmesystem übertreten kann. Durch die Auskopplung von Fernwärme wird das KKM zur Wärme-Kraft-Kopplungsanlage. Ungefähr ein Sechstel der ausgekoppelten Fernwärme geht zulasten der Stromproduktion. Fünf Sechstel stammen aus der Abwärme an die Aare.

Bild 5. Wärmeauskopplung im Kernkraftwerk Mühleberg



Im KKM wird der Dampf in der Turbine von rund 70 bar auf 0,05 bar (Absolutdruck) entspannt und dabei von 286 °C auf etwa 25–30 °C abgekühlt, bevor er im Hauptkondensator kondensiert wird und dabei die bekannte Abwärme an die Aare abgibt. Diese Abwärme liegt auf einem unbrauchbaren Temperaturniveau von 18–30 °C, je nach Jahreszeit. Die Auskopplung der Fernwärme erfolgt an zwei Stellen der Turbine, nämlich nach dem Hochdruckzylinder und bei einer Anzapfung im Niederdruckteil der Maschine. Von diesen beiden Entnahmestellen wird der Dampf zu den Heizkondensatoren geführt. Dort ergibt sich eine max. Vorlauftemperatur im Fernwärmenetz von 130 °C. Bei höherer Vorlauftemperatur im FW-Netz müsste der Dampf früher entnommen werden, und er könnte dementsprechend in der Turbine weniger lang Arbeit leisten. Je tiefer die Vorlauftemperatur des FW-Netzes liegt, desto kleiner ist folglich der Stromproduktionsverlust.

Wärmeerzeugungsanlage Teufal

In der Kehrlichtdeponie Teufal entstehen durch einen biologischen Prozess Gase mit einer Zusammensetzung von rund 50 % Methan, und rund 32 % Kohlendioxid, der Rest ist Stickstoff und mit der Absaugung hereingezogene Luft. Ab dem Jahr 2007 wird eine etwa 12 Jahre dauernde Spitze von 8 MW erwartet (Bild 6) [2]. Die 1985 gemessene verwertbare Leistung hat bereits 2,5 MW erreicht. Für die Nutzung des Deponiegases bestehen grundsätzlich zwei Möglichkeiten:

– Entweder wird das Gas in einem mit

Fernwärmewasser gespiesenen und mit auf die Gaszusammensetzung angepassten Spezialbrenner ausgerüsteten Heizkessel direkt verfeuert. Auf diese Weise können etwa 80–90% der thermischen Energie des Gases nutzbar gemacht und die Abwärmebilanz entsprechend verbessert werden. Der Rest entweicht wie bei allen fossil befeuerten Kesseln als Abwärme durch den Kamin.

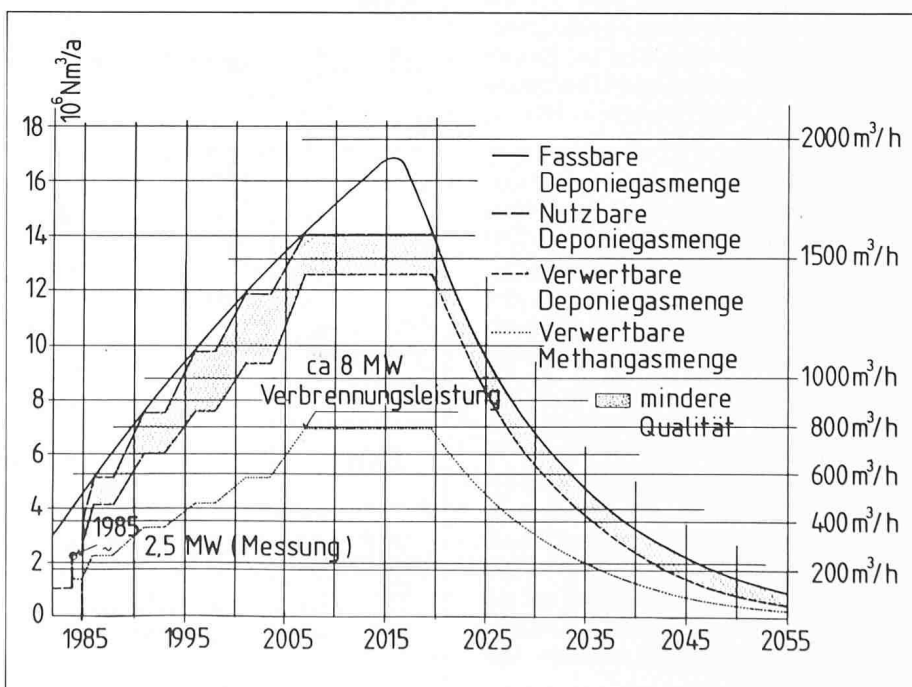
– Oder die Energie des Gases wird in einer Wärme-Kraft-Kopplungsanlage in elektrische Energie und Fernwärme umgewandelt. In diesem Fall würde vorzugsweise eine Gasturbine mit für den niedrigen Heizwert des Gases angepasster Brennkammer und ein Abhitzekegel eingesetzt. Solche Anlagen werden beispielsweise zur Energieversorgung von Bohrseln in der Nordsee seit geraumer Zeit erfolgreich betrieben. Auf diese Weise können rund 20% der verwertbaren Energie in elektrischen Strom und 50–55% in Fernwärme umgeformt werden.

Mit beiden Anlagentypen – reiner Heizkessel oder Gasturbine mit Abhitzekegel – ist es technisch möglich, einen Teil des Fernwärmerücklaufwassers von rund 70 °C auf 130 °C aufzuwärmen oder aber eine grosse Menge des Vorlaufs beispielsweise von 120 °C auf 130 °C nachzuwärmen. Die letztgenannte Variante ermöglicht im KKM eine Auskopplung mit weniger Stromproduktionsverlust.

Reserve- und Spitzenkessel

Normalerweise wird der grösste Teil der von den Abnehmern benötigten

Bild 6. Deponie Teufal: Erfassbare Deponiegasmenge



Energie von den beiden Hauptwärmequellen, dem Kernkraftwerk Mühleberg und der Deponie Teuftal, bereitgestellt. Beim Ausfall der grössten Wärmequelle müssen die Verbraucher auch am kältesten Tag des Jahres mit genügend Wärme versorgt werden können. Zur Reservehaltung werden Heizkessel mit einer Gesamtleistung installiert, die der Fernwärmenetz-Vollast-Leistung minus der maximalen Leistung der Anlage Teuftal entspricht. Diese Auslegung gewährleistet, dass auch im tiefen Winter und bei gleichzeitigem Ausfall irgendeiner Wärmequelle alle Abnehmer ausreichend versorgt werden können.

Jahresdauerlinie und Bedarfsdeckung

Wie die Jahresdauerlinie in Bild 7 zeigt, ist der Wärmebedarf in einem Fernwärmenetz, das vorwiegend für Heizung und Warmwasserbereitung eingesetzt wird, zeitlich sehr grossen Schwankungen unterworfen. Diese Aussage gilt übrigens auch für andere Heizsysteme, weil der Bedarf in erster Linie von der Aussentemperatur abhängt.

Die Flächen unter der Jahresdauerlinie (Bild 7) stellen die von den Verbrauchern benötigte Energiemenge dar. Sie entspricht den Vorgaben des Wärmekatasters. Werden noch die Netzverluste (schmaler Streifen auf der Jahresdauerlinie) addiert, so stellt die Fläche die von den Wärmequellen zu liefernde Energiemenge pro Jahr dar. Hohe Leistungen treten nur während weniger Stunden pro Jahr auf (an einigen kalten Wintermorgen). Ein Band kleiner Leistung ist für die Warmwasserbereitung dagegen ganzjährig vorhanden.

Obwohl im Teuftal nur eine bescheidene Wärmeleistung von 5–8 MW vorgesehen ist, kann diese Anlage, falls sie zur Grundlastdeckung eingesetzt wird, den beachtlichen Anteil von mindestens 20% der jährlich benötigten Energie liefern.

Die hohe, aber schmale Spitze wird aus wirtschaftlichen Gründen vorzugsweise mit Spitzenkesseln gedeckt. Diese Möglichkeit erlaubt den Bau einer kleineren, damit billigeren und vor allem auch besser ausgelasteten Transportleitung. Der Lieferanteil der Spitzenkessel liegt dann bei bescheidenen 3–5%. Bei jährlich 2 Tagen Ausfall des KKM im Winter käme für die Reservekessel noch ein Anteil von etwa 1% dazu.

Für die Bedarfsdeckung sind des weiteren die jährlichen Revisionen in den Anlagen KKM und Teuftal zu berücksichtigen. Bisher wurden die Revisionsarbeiten im KKM jeweils im August ausgeführt. Diese geplanten Stillstände dauerten zwischen 30 und 33 Tagen pro Jahr. In dieser Jahreszeit ist die Anlage

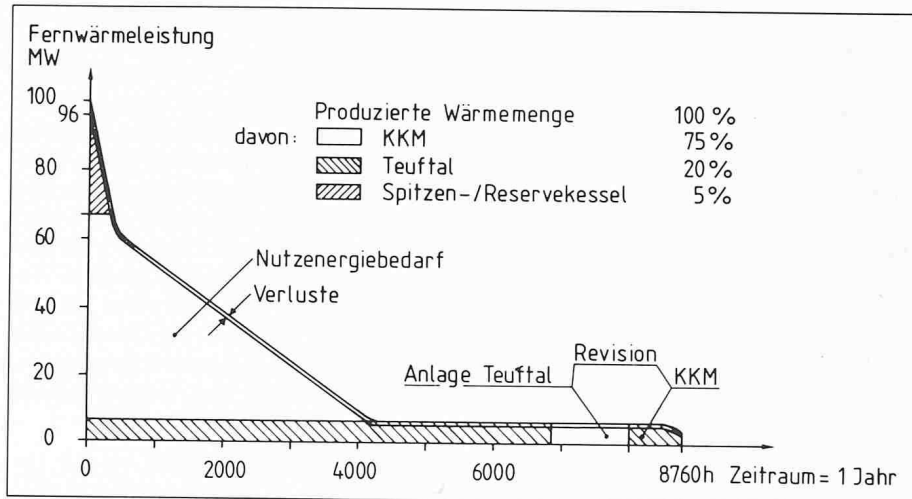


Bild 7. Jahresdauerlinie und Bedarfsdeckung, Endausbau

Teuftal praktisch allein imstande, die notwendige Wärme zu liefern. Umgekehrt wird der Wärmebedarf während der Servicearbeiten im Teuftal, die sinnvollerweise im Juli angesetzt werden, vom KKM gedeckt.

Für die Berechnung der Energie- und Umweltbilanz werden nach obigen Überlegungen deshalb folgende Lieferanteile festgelegt: KKM 75%, Teuftal 20%, Spitzen- und Reservekessel 5%. Für diese Rechnung wird im Spitzenkessel Heizöl eingesetzt. Dadurch sieht die Umweltbilanz zwar ungünstiger aus als mit Gas. Gas ist indessen für Spitzeneinsatz wegen der hohen Leistungs- bzw. Abonnementspreise weniger geeignet.

Transportleitung, Pumpstationen und Verteilnetz

Die Transportleitung führt vom KKM über Fuchsenried, Oberei, am Teuftal vorbei via Frauenkappelen nach Brünen/Gäbelbach. Dort beginnt das eigentliche Verteilnetz, welches sich über Bern-West ausbreitet. Weitere Gemeinden wie Frauenkappelen, Wohlen und Köniz könnten ebenfalls mit Fernwärme versorgt werden (Bild 1).

Die vorläufige Wahl des Transportleistungsstrasses beruht neben den topographischen Gegebenheiten vorwiegend auf bautechnischen Überlegungen. Sie kann in einer späteren Projektierungsphase noch angepasst werden. Die Transportkapazität der Leitung Mühleberg–Bern-West wird auf rund 75% der FW-Vollastleistung ausgelegt. Wie bereits erläutert, ist es damit möglich, über 95% des Energiebedarfs abzudecken. Diese Auslegung bezweckt eine bessere Auslastung sowie etwas günstigere Baukosten der Leitung. Sie präjudiziert lediglich die Standorte der Spitzenkessel im Versorgungsgebiet.

Das Verteilnetz ist gemäss den Vorgaben (Leistung, Nutzenergie) aus dem

aufbereiteten Wärmekataster [1] ausgelegt. Es breitet sich teilweise sternförmig und teilweise maschenförmig über das Versorgungsgebiet aus. Maschen ermöglichen den Weiterbetrieb von angrenzenden Strängen auch dann, wenn einzelne Leitungen für Revisionszwecke oder für neue Anschlüsse zeitweise ausser Betrieb genommen werden müssen. Um die Druckverluste und die geodätischen Höhenunterschiede zwischen Wärmequellen und Versorgungsgebiet zu überwinden, sind gemäss den Auslegungsrechnungen Pumpstationen beim KKM, bei Fuchsenried sowie in der Nähe von Frauenkappelen notwendig. Die Standorte und die Anzahl der Pumpstationen sind unter Berücksichtigung der Höhenunterschiede, der Versorgungsmöglichkeiten mit elektrischem Strom für die Antriebsmotoren, der Temperaturdifferenzen Vorlauf-Rücklauf zusammen mit den Nennweiten, der Wassergeschwindigkeit und den Druckverlusten in den Transport- und Verteilleitungen optimiert worden [3]. Die Druckverlustrechnung für das ganze System liefert die Basis für die jährliche benötigte Menge an Pumpenstrom.

Wärmeverluste treten bei der Fernwärme als Isolationsverluste bei Transport- und Verteilleitungen auf. Bei den Übergabestationen der Abnehmer fallen lediglich Isolationsverluste und keine Kaminverluste an. Die Wärmeverlustrechnung berücksichtigt die über die Jahreszeiten variablen Temperaturen des Vorlaufs, des Rücklaufs und des Erdreichs sowie die Dicke und die Materialeigenschaften des vorgesehenen Isolationsmaterials für das ganze Leitungsnetz. Die Wärmeverluste liegen in der Grössenordnung von 6% der jährlich abgegebenen Energiemenge. Sie fliessen wie die Pumpverluste in die Kostenrechnungen ein.

Der ersten Auslegung des Leitungssystems wurde ein erdverlegtes Verbundsystem zugrunde gelegt. Es ist dies ein

Stahlrohrsystem mit Polyurethanschaumisolation und einem Kunststoffschutzhrohr, das thermisch vorgespannt und dann eingesandet wird. Vorfabrizierte Teile vereinfachen die Montage und verkürzen die Offenhaltezeit der Gräben.

Hausstationen

Bild 8 zeigt ein Beispiel einer indirekten Hausstation inklusive Warmwasserbereitung. Die indirekte Hausstation zeichnet sich durch den Wärmetauscher aus, in dem Wärme aus dem Fernheizwasser über eine Metallwand (Rohre oder Platten) ins Wasser des Zentralheizungssystems übertragen wird. Ausser den sehr geringen Isolationsverlusten, welche ohnehin dem Haus wieder zugute kommen, treten hier im Gegensatz zu andern Heizsystemen keine Verluste auf. Die vom Zähler gemessene Wärmemenge entspricht bereits der vom Abnehmer benötigten Nutzenergie nach dem Wärmetauscher. Hier wird sinnvollerweise der Ort des Wärmepreisvergleichs mit andern Heizsystemen festgelegt. Bei Heizkesseln liegt er also am wasserseitigen Austritt.

Direkte Hausstationen – ohne Wärmetauscher – sind zwar billiger, kommen aber nur in Frage, wenn das Zentralheizungsnetz die Drücke im Fernwärmenetz und die chemische Zusammensetzung

des Wassers verträgt (voraussichtlich wird das Fernwärmenetz mit teilentsalztem Wasser betrieben). Damit bei kleinen Abnehmeranlagen nicht für jedes Haus ein Wärmetauscher beschafft werden muss, könnte ein Wärmetauscher die zusammengekoppelten Zentralheizungen diverser Abnehmer bedienen. Die Wärmezähler verbleiben selbstverständlich beim einzelnen Abnehmer. Solche Sekundärnetze können Kostenvorteile bieten; bei bestehenden Heizanlagen ist indessen eine vorangehende technische Beurteilung unumgänglich.

Die Warmwasserbereitung erfolgt immer indirekt. Aus Sicherheitsgründen muss der Druck des (Trink-)Wassers höher liegen als derjenige im Heizkreislauf. Im übrigen muss die Warmwasserbereitung nicht unbedingt mit Fernwärme erfolgen, auch wenn die Heizung damit betrieben wird.

Die Übergabestation enthält neben den üblichen Abschlussorganen, Entlüftungen und Entleerungen einen Durchflussbegrenzer, welcher die Anschlussleistung gemäss der abonnierten begrenzt. Der Wärmezähler integriert laufend das Produkt aus der Differenz Vorlauf-Rücklauf-Temperatur und der Wassermenge. Das Regelventil öffnet je nach Bedarf, welcher vom Heizungs- bzw. Warmwassertemperaturregler bestimmt wird.

Der Platzbedarf der Übergabestation beschränkt sich auf eine kleine Fläche an einer Kellerwand: für ein Einfamilienhaus beispielsweise auf rund 2 m² und 20 cm von der Wand hervorstehend. Wärmetauscher und Warmwasserspeicher benötigen je etwas weniger bzw. gleichviel Platz wie ein herkömmlicher Elektroboiler analoger Kapazität. Insgesamt benötigt die Hausstation etwa gleich viel Platz wie ein entsprechender Heizkessel. Raumbedarf für Tank, Kamin usw. entfällt gänzlich. Ebenso entfallen die Tankreinigung, Kaminreinigung, Brennerservice usw. Die Wartung der Übergabestation ist Sache der Fernwärme-gesellschaft. Der Wärmetauscher ist praktisch wartungsfrei.

Fernwärme-Hausstationen arbeiten praktisch verlustfrei und sparen Platz und Wartungsaufwand.

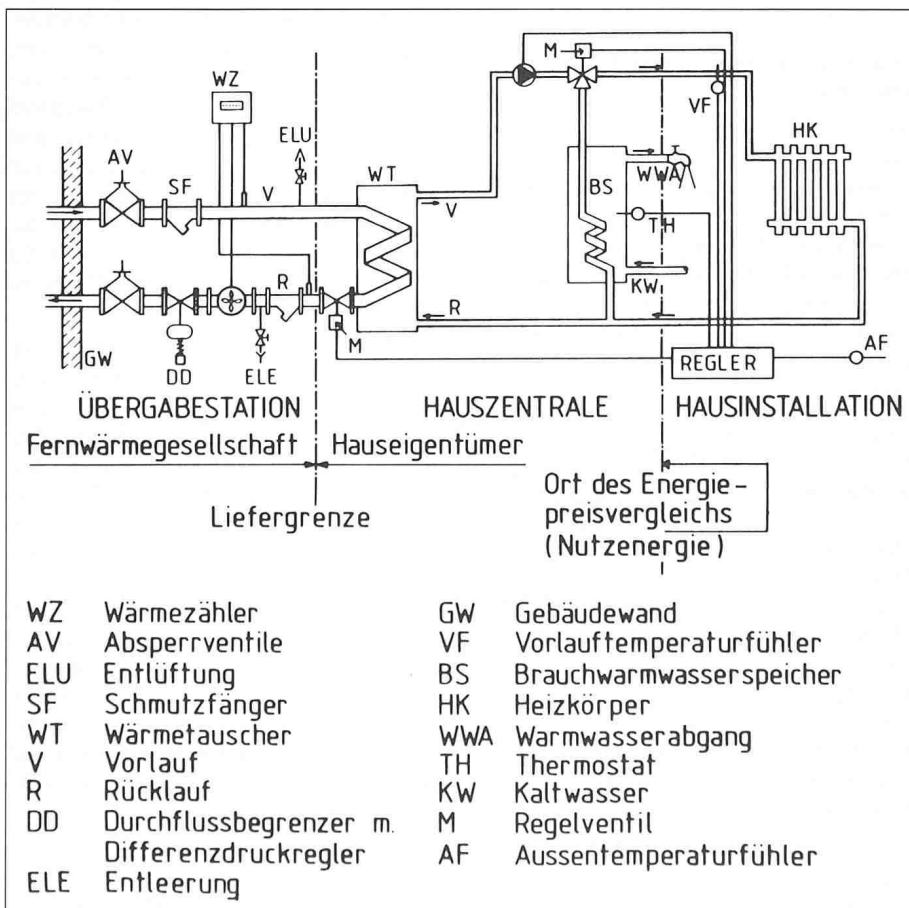
Umweltschutz

Der direkte und eindeutige Beweis der Zusammenhänge zwischen Luftverschmutzung durch Abgase von Autos und aus Heizungen einerseits sowie dem Waldsterben und der Zunahme von chronischen Bronchialkrankheiten andererseits ist zwar bis heute nicht erbracht. Hingegen bestreitet niemand, dass die Luftverschmutzung ein Ausmass angenommen hat, das nicht mehr tatenlos hingenommen werden kann. Die nukleare Fernwärme bietet eine realistische und nachhaltige Möglichkeit, die Wärmeversorgung der Stadt und Region Bern zu diversifizieren und die Luftqualität zu verbessern. Um verschiedene Systeme miteinander vergleichen zu können, ist es notwendig, die wesentlichen Emissionen zuerst zahlenmässig zu erfassen. Der nachfolgende Vergleich (Tab. 1) beruht auf einer Variante mit 100 MW Wärmeleistung und einem Nutzenergiebedarf von 180 GWh.

Obwohl vorgesehen ist, rund 5% des Nutzenergiebedarfs im jeweils betrachteten Absatzgebiet bei den FW-Varianten mit heizölbefeuerten Spitzen- und Reservekesseln bereitzustellen, ersetzt FEMBE beachtliche Mengen von fossilen Brennstoffen und reduziert sowohl das Ausmass der Luftschadstoffe sowie die Abwärme erheblich. Zusätzlich zu der zahlenmässig belegten Schadstoffminderung gemäss Tabelle 1 wird auch die Abgabe von Staub und Russ erheblich reduziert.

In Tabelle 1 sind die Emissionen aus der Deponie Teufftal nicht berücksichtigt, weil sie bei der jetzigen Abfackelung ohne Energienutzung in gleichem

Bild 8. Indirekte Hausstation mit Warmwasserbereitung



Masse auftreten und folglich die Schadstoffbilanz nicht verändern. Auch im Falle einer Wärme-Kraft-Kopplungsanlage im Teufal anstelle eines reinen Heisswasserkessels ändert sich die Bilanz nicht, weil die vorgeschlagene Gasturbine im Gegensatz zu einem Gasmotor geringe Stickoxidwerte aufweist.

Durch den Einsatz nuklearer Fernwärme und bisher ungenutztem Deponiegas könnte die Luftverschmutzung in der Region Bern spürbar herabgesetzt werden. Dieser Effekt ist möglich, weil mit der Bereitstellung von Wärme in einem KKW kein Verbrennungsprozess und damit auch keine Abgabe von Schadstoffen an die Atmosphäre verbunden ist. Vielmehr stammt der Grossteil der Fernwärme aus dem bis heute ungenutzten Abwärmestrom des KKM.

Welcher finanzielle Aufwand wird erwartet?

Grundsätzlich ist das Transportsystem für die Fernwärme mit hohen Anfangsinvestitionen verbunden, dagegen sind die Energiekosten niedrig, weil vor allem Abwärme genutzt wird. Die gesamten Investitionskosten für das vorgestellte System liegen bei 80 Mio Fr. (Preisbasis 1985). Sie beruhen auf Erfahrungswerten, die insbesondere die für den Standort Bern relevanten Aufwendungen für Tiefbauarbeiten berücksichtigen. Darin enthalten sind: Transportleitung, Pumpstationen, Verteilnetz, Spitzen-/Reserveheizwerke und rund 1000 Hausanschlüsse inkl. Übergabestationen. Zusätzlich werden von den Hauseigentümern Hauszentralen im Gesamtwert von 15–17 Mio Fr. installiert.

Die mittleren Kapitalkosten für die gesamten Investitionen ohne Hauszentralen liegen bei jährlich 6 Mio Fr. Den zweiten Bestandteil der Gesamtkosten der Fernwärmeversorgung bilden die Betriebskosten (Wärme, Personal, Unterhalt) von jährlich rund 7 Mio Fr. Unter Berücksichtigung einer angemessenen Kapitalverzinsung ergeben sich auf Preisbasis 1985 je nach angenommenen Wirtschaftsparemtern und der Entwicklung des Absatzes nach der Übergabestation des Wärmeabnehmers mittlere spezifische Wärmegestehungskosten von etwa 72–80 Fr./MWh.

Fernwärme ist konkurrenzfähig

Fernwärme versorgt bisher in der Schweiz im Gegensatz zu andern Ländern (z.B. die Niederlande, Dänemark oder Schweden usw.) nur einen sehr be-

scheidenen Anteil des Wärmemarktes. Er wird hierzulande durch die beiden Hauptwärmeträger Heizöl und Erdgas beherrscht.

Der Anteil der Fernwärme lässt sich nur steigern, wenn neben den grundsätzlichen Vorteilen wie Umweltfreundlichkeit, Bedienungskomfort und Versorgungssicherheit auch die Preise gegenüber den weitverbreiteten und im vorgesehenen Versorgungsgebiet bereits eingeführten Energieträgern Heizöl und Erdgas konkurrenzfähig sind. Ein stichhaltiger Vergleich der Konkurrenzpreise kann nur auf der Basis der Nutzenergie durchgeführt werden. Dabei werden die Wärmegestehungskosten für den Abnehmer beim Eintritt in die hausinterne Heizverteilung bzw. Wärmeverteilung verglichen (Bild 8). Es werden folglich die Kosten für Erstellung, Betrieb und Unterhalt der Abnehmeranlagen für die Wärmeübertragung bzw. Erzeugung mit in den Vergleich einbezogen.

Da die Grösse der Abnehmer die Vergleichspreise deutlich mitbeeinflusst, werden Ein- und Mehrfamilienhäuser sowie der zentrale Anschluss von grossen Überbauten unterschiedlicher Anschlussleistung untersucht.

Der Vergleich der Fernwärmepreise mit jenen des Hauptkonkurrenten Erdöl zeigt, dass die Fernwärme bei den gewählten realistischen Randbedingungen für den Verbraucher zu konkurrenzfähigen Heizkosten führt (Bild 9). Die Preissituation betreffend andere wichtige Wärmeträger ist abgesehen von Ausnahmefällen (z.B. eigene Reservehaltung) nicht günstiger. In den Vergleichen sind nur die betriebswirtschaftlichen Kosten enthalten. Volkswirtschaftliche Komponenten (externe Kosten) werden nicht berücksichtigt, wirken sich aber zugunsten der Fernwärme aus.

Der Anteil der Energiekosten am Nutzenergiepreis ist bei der nuklearen Fernwärme vergleichsweise klein. Diese Tatsache lässt im Gegensatz zu den fossilen Energieträgern eine stabile Preisentwicklung erwarten.

Tabelle 1. Grössenordnung der Emissionen

Schadstoffe:	Bedarfsdeckung mit		
	Heizöl EL	Erdgas	FEMBE
Kohlendioxid (t/a)	65 000	40 000	3300
Schwefeldioxid ¹ (t/a)	86	0,5	4,3
Stickoxide (t/a)	40–60	40–60	2
Abwärme (Kamin, Fluss) (GWh/a)	80	30	–155 ²

¹ Bei Schwefelgehalt 0,2% (gesetzliche Limite ab 86 0,3%)

² Beinhaltet Kaminabwärme der Heizkessel (positiv) und weniger Abwärme an die Aare (negativ) und aus der Deponie Teufal, (negativ).

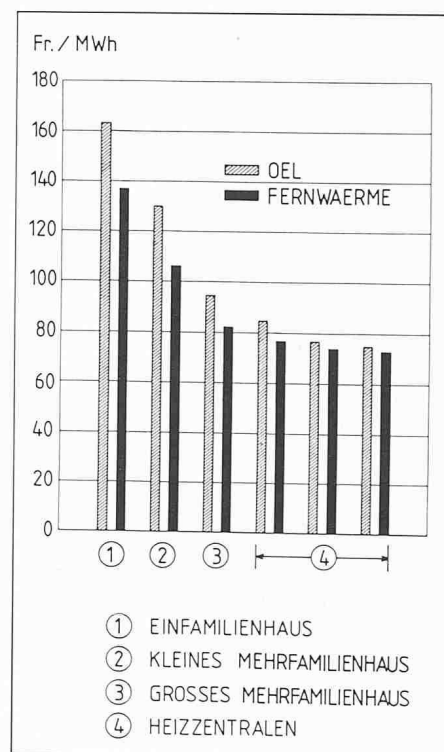


Bild 9. Nutzwärme-Preisvergleich

Die Struktur eines sach- und abnehmergerechten Fernwärmetarifs

Der Tarif für den Abonnenten einer Fernwärmeversorgung muss sowohl den Interessen der Lieferanten als auch der Abnehmer dienen, d.h. er muss aus der Sicht der Fernwärmegesellschaft kostendeckend und aus jener der Abnehmer konkurrenzfähig sein. Zudem soll er auch noch energiepolitische Ziele wie das Energiesparen unterstützen.

Dreigliedrige Tarifsyste mit Anschlussbeitrag, jährlichem Grundpreis und Arbeitspreis werden den unterschiedlichen Anforderungen am ehesten gerecht. Derartige Tarifsyste sind weitverbreitet und sollen folgende Aufgaben erfüllen:

- Der entsprechend zu gestaltende Anschlussbeitrag soll den Abnehmer veranlassen, zeitgerecht (bei Erschliessung des Quartiers) die Fernwärme zu abonnieren. Darüber hinaus soll er der Situation des Abnehmers Rechnung tragen (bestehende Heizung, Neubau usw.).

- Der jährliche Grundpreis soll vor allem der guten Ausnutzung der Anlagen dienen (abonnierte Leistung begrenzen) und die unterschiedlichen Aufwendungen für kleinere und grössere Abnehmer berücksichtigen. Zusätzlich soll er in einem vernünftigen Verhältnis zum Arbeitspreis stehen, damit das Energiesparen nicht behindert wird.
- Der Arbeitspreis (gleich für alle Abnehmer) wird so festgesetzt, dass zusammen mit den andern Tarifanteilen die Gesamtkosten der Fernwärmegesellschaft gedeckt werden können. Entsprechend der Kostenstruktur der Fernwärmegesellschaft für Kapitaleinsatz, Wärmebeschaffung und Betriebskosten könnte der Arbeitspreis anteilig indiziert werden mit Zinssatz, Preisen für elektrische Energie und Konsumentenpreisindex.

Was leistet die Fernwärme Mühleberg-Bern?

Mit FEMBE (Fernwärme Mühleberg-Bern) kann die Umweltbelastung der

Region Bern durch Abwärmenutzung abgebaut werden. Die Berner Umwelt wird um bis zu 155 GWh/a Abwärme, 40–60 t Stickoxide und je nach substituiertem Brennstoff bis zu 86 t Schwefeldioxid und 65 000 t Kohlendioxid pro Jahr entlastet.

Die Substitution von fossilen Brennstoffen (jährlich 21 000 t Erdöl) kann mit FEMBE verwirklicht werden. Ein Zusatzeffekt ist die vermehrte Verwendung von einheimischer Energie. Mit FEMBE wird die Versorgungssicherheit sowohl kurz- als auch langfristiger erhöht.

FEMBE verursacht bei guter Auslastung der Versorgungsanlagen im Gegensatz zu andern Wärmesystemen keine volkswirtschaftlichen Folgekosten, die vom Verursacher nicht getragen werden. Der Investitionsaufwand beträgt etwa 80 Mio Fr. bei der FEMBE und etwa 15–17 Mio Fr. bei den Abnehmern. Der grosse Investitionskostenanteil (etwa 80% des Nutzenergiepreises) und der entsprechend bescheidene Energiekostenanteil lässt für FEMBE eine stabile Wärmepreisentwicklung erwarten.

Nach betriebswirtschaftlichen Kriterien ist FEMBE – organisiert als gemischtwirtschaftliche Aktiengesellschaft – für den Endverbraucher eine konkurrenzfähige Alternative, die zudem für den Abnehmer viel Komfort bietet, weil sehr wenig eigener Unterhaltsaufwand notwendig ist.

Adresse der Verfasser: M. Reutemann, dipl. Bau-Ing. ETH, und G. Straub, Dipl.-Ing., Studienkonsortium FEMBE, c/o Bernische Kraftwerke AG, Viktoriaplatz 2, 3000 Bern 25.

Literaturverzeichnis

- [1] Stadtbetriebe Bern, Gas- und Wasserversorgung, Wärmekataster Bern-West. Zwischenbericht Emch + Berger AG, August 1984
- [2] Deponie Teufal AG, Gasverwertung Kehrichtdeponie Teufal. CSD Colombi, Schmutz, Dörthe AG, Liebfeld/Bern, 24. Februar 1983
- [3] Sulzer Energie Consulting-Netzoptimierung mit Programm DRAPEX. 16. Juli 1985
- [4] Technische Klimadaten für die Schweiz. Berichte von H. Drotschmann, Zürich

Wärmebrücken an Neubaudetails

Von Jürg Nänni und Conrad U. Brunner

Seitdem in der Bautechnik der letzten 10 Jahre die wärmetechnischen Anforderungen an die Gebäudehülle sukzessive verschärft worden sind, bemühen sich die Architekten, Anschlussdetails konstruktiv richtig zu entwerfen und insbesondere die Dämmschicht möglichst ohne Wärmebrücken in die Hülle einzubetten. Ein Qualitätsvergleich von verschiedenen zur Auswahl stehenden Details setzt jedoch eine bauphysikalische Beurteilung voraus. Aufgrund einer Forschungsarbeit mit Mitteln des NEFF [1] ist anfangs 1986 die SIA Dokumentation 99 mit dem Titel «Wärmebrückenkatalog [1]: Neubaudetails» erschienen, welche dem Baufachmann diesen Qualitätsvergleich ermöglicht und als Planungshilfsmittel dem Architekten die Konstruktionswahl und die Abschätzung des Heizenergiebedarfs gemäss SIA-Empfehlung 380/1 «Energie im Hochbau» erleichtern soll. Der Heizungsplaner kann damit den Effekt von unvermeidbaren Wärmebrücken besser bewerten, z.B. bei der Berechnung des Wärmeleistungsbedarfs gemäss SIA-Empfehlung 384/2. Geplant ist ein ergänzender Wärmebrücken-Katalog 2, welcher die wärmetechnische Optimierung der im ersten Teil des Kataloges bemängelten Details zum Thema haben soll.

Der Wärmebrücken-Katalog 1 umfasst die Analyse von 40 Details der 4 häufigsten Aussenwandkonstruktionen unter Berücksichtigung des Heizsystems (Radiators- oder Fussbodenheizung). Karten des zweidimensionalen Temperaturverlaufs mit kritischen Oberflächentemperaturen werden gezeigt, k-Werte mit verschiedenen durch die Wärmebrücken bedingten Zuschläge werden verglichen, instationäre Eigenschaften, Oberflächenkondensat und Dampfdiffusion im Innern des Bauteils werden beurteilt. Im folgenden Beitrag soll ein kurzer Auszug aus der Untersuchung dargestellt werden.

Altbau – Neubau

Die Auswirkung von Wärmebrücken am Neubau sind gefährlicher als am Altbau. Gut gedämmte Flächen sind nämlich empfindlicher auf geometri-

sche Störungen und Verminderung der Dicke der Dämmschichten z.B. bei Auflagern, Auskragungen, Öffnungen, usw.. Mit dem Absinken der Innenoberflächentemperaturen im Bereich von Wärmebrücken können ausserdem

Pilz- und Taupunktprobleme entstehen. Durchfeuchtungen in der Folge von dauerndem Oberflächenkondensat können progressive Bauschäden zur Folge haben. Wärmebrücken mit an sich geringem Flächenanteil können den Wärmebedarf wesentlich erhöhen. Rechnet man das in SIA 384/21 aufgeführte Anwendungsbeispiel (Einfamilien-Musterhaus, Klima von Zürich), so entsteht nach den neuen Erkenntnissen des Wärmebrückenkatalogs 1 eine von Wärmebrücken verursachte Erhöhung des jährlichen Heizenergiebedarfs von 20%.

k-Wert-Zuschlag

Zum Verständnis der nachfolgenden Beispiele aus dem Wärmebrücken-Katalog soll das Konzept der k-Wert-Zuschläge im Bereich von Wärmebrücken kurz erläutert werden: Als Bezugsfläche zur Bestimmung der Transmissionsverluste (unter einheitlichen Randbedingungen) dient die gesamte Innenfläche der Hülle des beheizten Raumvolumens. Im Störbereich von Wärmebrücken werden Meterstreifen definiert, welche mit dem gesamten zu-