Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 77 (1986)

Heft: 2

Artikel: FEMBE : Fernwärme Mühleberg-Bern : die Fernwärmeversorgung von Bern-West und Umgebung ab Kernkraftwerk Mühleberg und Kehrichtdeponie Teuftal

Autor: Straub, G.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904146

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: 10.12.2025

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

FEMBE – Fernwärme Mühleberg–Bern

Die Fernwärmeversorgung von Bern-West und Umgebung ab Kernkraftwerk Mühleberg und Kehrichtdeponie Teuftal

G. Straub

Das Projekt FEMBE sieht eine Fernwärmeversorgung ausgewählter Gebiete im Westen der Stadt Bern ab dem Kernkraftwerk Mühleberg und der Kehrichtdeponie Teuftal vor. Die Untersuchungen zeigen, dass damit zu konkurrenzfähigen Bedingungen fossile Brennstoffe substituiert und die Umweltbelastung vermindert werden können.

Le projet FEMBE prévoit à partir de la centrale nucléaire de Mühleberg et de la décharge d'ordures de Teuftal un approvisionnement en chaleur à distance de zones bien déterminées situées à l'ouest de la ville de Berne. Les études montrent que des combustibles fossiles peuvent être remplacés à des conditions compétitives et que la pollution atmosphérique peut être diminuée.

Adresse des Autors

Gisbert Straub, Dipl.-Ing., Studienkonsortium FEMBE c/o Bernische Kraftwerke AG (BKW), Viktoriaplatz 2, 3000 Bern 25

1. Volks- und energiewirtschaftliche Aspekte

1.1 Energiepolitische Gesichtspunkte

Die beiden Ölversorgungsstörungen in den siebziger Jahren haben gezeigt, in welche politische Abhängigkeit die Industrieländer 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 bezüglich Erdölabhängigkeit immer noch eine Spitzenposition unter den Industriestaaten ein.

Die von der Kommission für eine Gesamtenergiekonzeption (GEK) formulierten Postulate «Sparen, Substituieren, Forschen, Vorsorgen» haben ihre Gültigkeit behalten und sind heute als Zielsetzung 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.

Eine Fernwärmeversorgung Mühleberg–Bern (FEMBE) würde die Substitution von 21 000 t Heizöl pro Jahr erlauben; unter Berücksichtigung der umliegenden Gemeinden (Wohlen, Köniz, Frauenkappelen, Mühleberg usw.) könnten sogar rund 30 000 t Heizöl jährlich substituiert werden. Zusätzlich wird mit der Verwertung des Biogases der Kehrichtdeponie Teuftal eine bisher nicht genutzte einheimische Wärmequelle neu erschlossen.

1.2 Versorgungssicherheit

Die Hauptwärmequelle für eine Fernwärmeversorgung im Raume Bern-West ist das Kernkraftwerk Mühleberg (KKM). Die Betriebsstatistik dieser Anlage zeigt, dass, abgesehen von der Revisionsperiode von etwa einem Monat im Sommer, eine praktisch lückenlose Verfügbarkeit erreicht werden kann.

Bei Revisionen sowie bei sonstigen Abschaltungen des KKM soll das Fernwärmenetz durch Spitzen- bzw. Reserveheizwerke sowie durch die Anlage in der Kehrichtdeponie Teuftal betrieben werden; Teuftal alleine könnte mindestens im Sommer (Revision KKM) den überwiegenden Teil des Bedarfs abdecken. Ein 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 Anlageteilen kann die Gesamtlebensdauer noch erheblich verlängert werden.

Nach einer endgültigen Stillegung des KKM ist es technisch möglich, das Fernwärmenetz mit einer andern geeigneten Wärmequelle weiterzubetreiben.

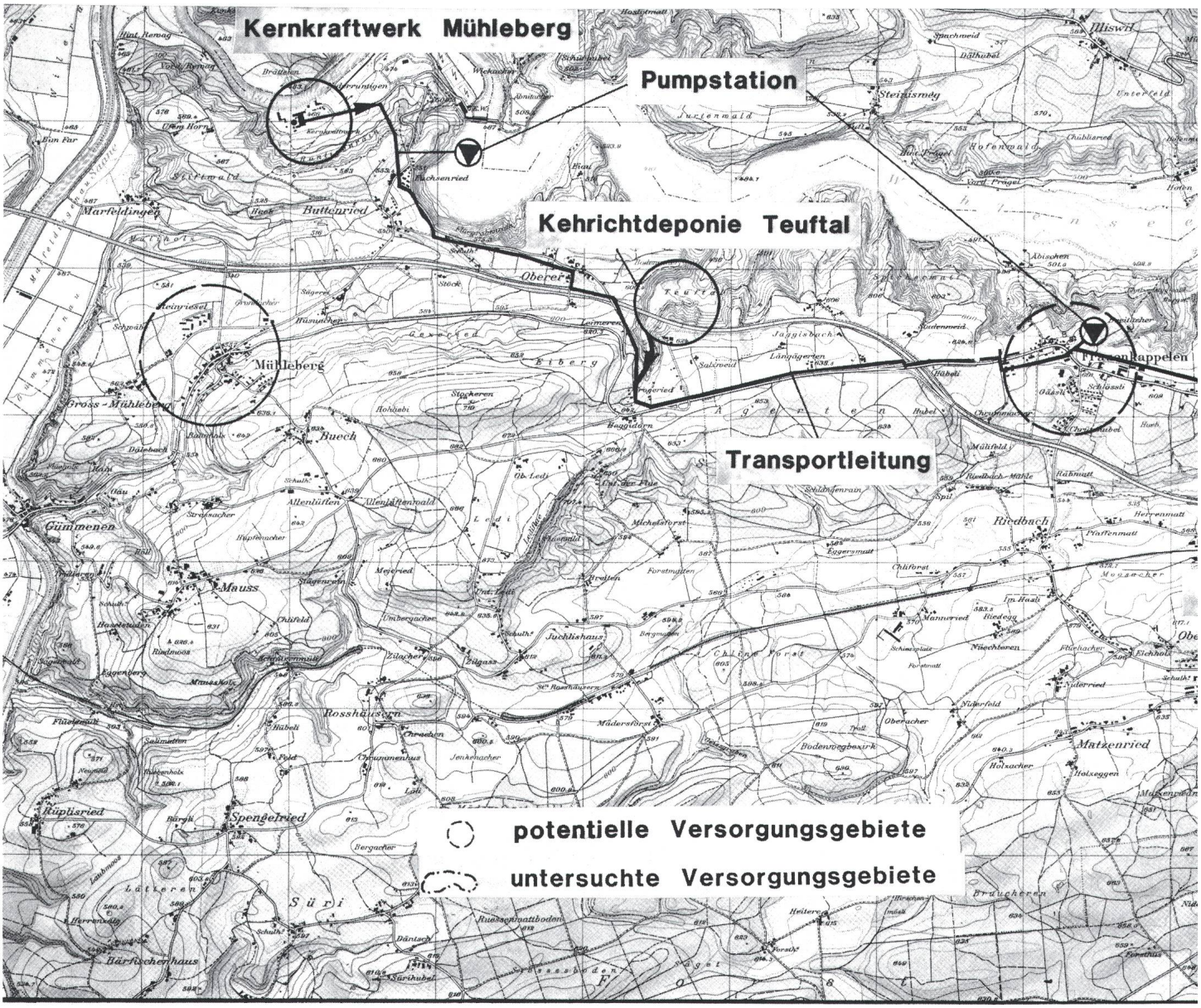


Fig. 1 Wärmequellen, Transportleitung und Versorgungsgebiet
Das Absatzgebiet wird mit den Wärmelieferanten über eine etwa 10 km lange Transportleitung verbunden.

2. Umweltschutz

In letzter Zeit ist die grosse Bedeutung der Luftreinhaltung deutlich geworden. Eine Reduktion der Luftverschmutzung, insbesondere in den Städten und Agglomerationen, ist als Massnahme zur Gesundheitsvorsorge dringend notwendig. Zudem kann nur durch massive Eindämmung der Abgase von Heizungen und Autos dem Waldsterben wirksam begegnet werden. Die nukleare Fernwärme bietet eine realistische und nachhaltige Verbesserungsmöglichkeit der Wärmeversorgung und Luftreinheit in der Region Bern.

Zum Vergleich verschiedener Systeme ist es notwendig, die wesentlichen Emissionen vorerst zahlenmässig zu erfassen (Tab. I).

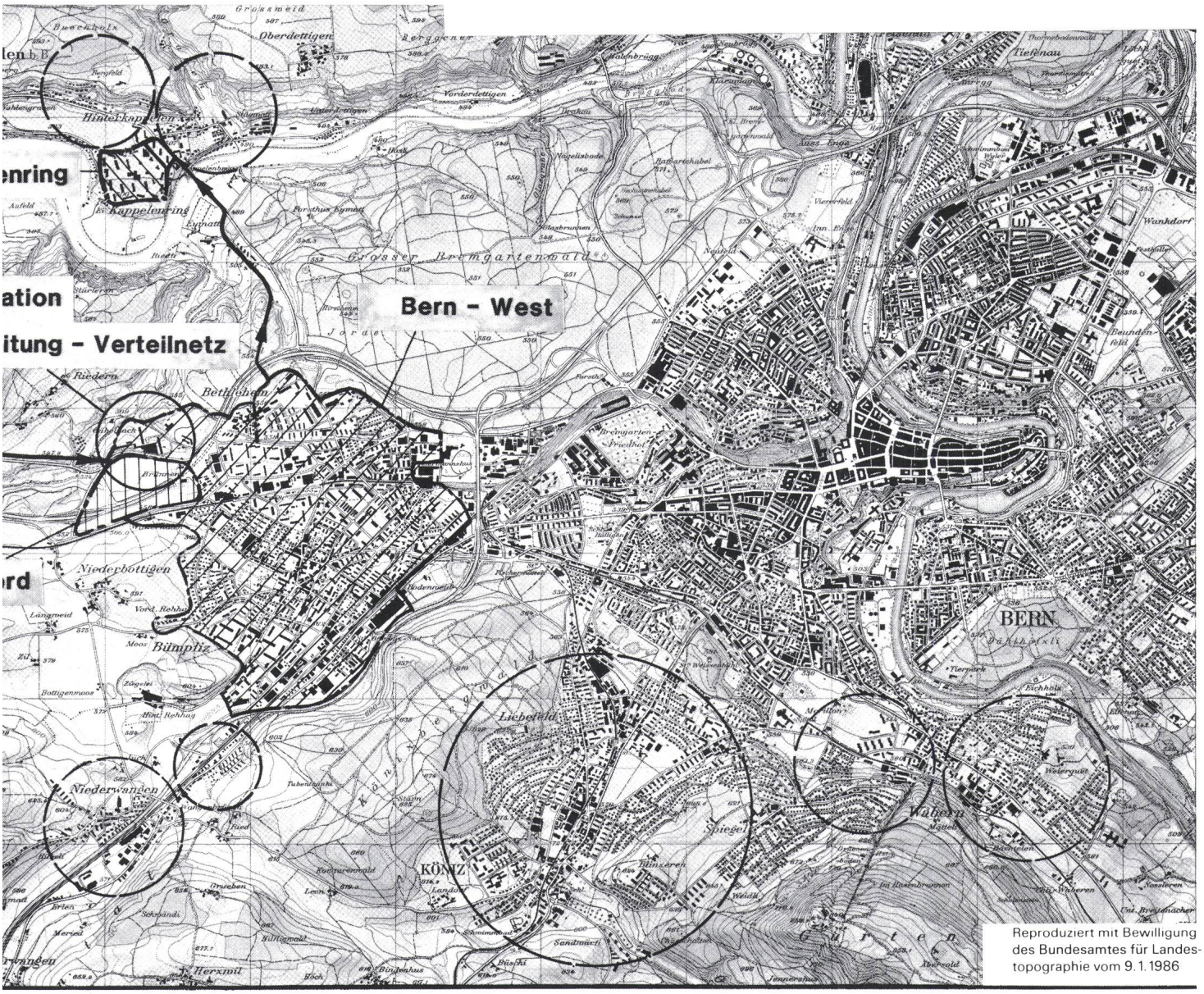
Obwohl vorgesehen ist, rund 5% des Nutzenergiebedarfs im betrachteten Absatzgebiet mit heizölbefeuerten Spitzen- und Reservekesseln bereitzustellen, ersetzt FEMBE beachtliche Mengen von fossilen Brennstoffen und reduziert sowohl die Abgabe von Luftschadstoffen als auch von Abwärme erheblich. Zusätzlich zu der zahlenmässig belegten Schadstoffminderung wird auch die Freisetzung von Staub und Russ erheblich reduziert.

Durch den Einsatz von nuklearer Fernwärme und bisher ungenutztem

Grössenordnung der Emissionen im Versorgungsgebiet von FEMBE Tabelle I

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

* wird mittelfristig auf etwa 75% des Wertes sinken



Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 9.1.1986

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 und des Teuftals (bisher nur Abfackeln des Gases).

3. Das Versorgungsgebiet

Das untersuchte Versorgungsgebiet umfasst schwergewichtig das Gebiet Bern-West (Fig. 1). Weitere mögliche Versorgungsgebiete sind ebenfalls gekennzeichnet.

Aus dem Wärmekataster Bern-West (Fig. 2) und Wärmebedarfsberechnungen für die weiteren einbezogenen Bereiche ergibt sich der totale Wärmeleistungs- und Nutzenergiebedarf des Versorgungsgebietes zu 143 MW bzw. 266 GWh/a.

Unter der Annahme des Anschlus-

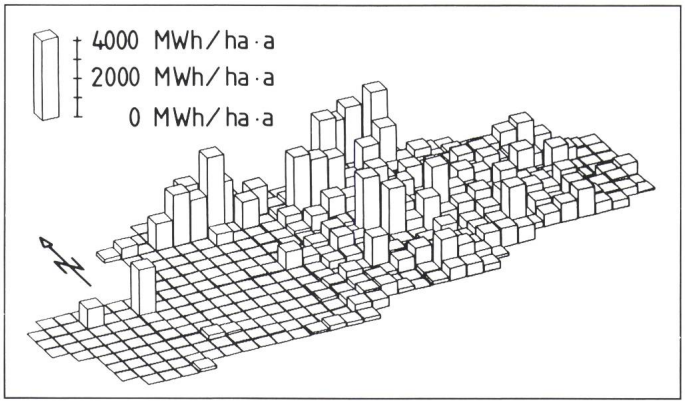


Fig. 2
Wärmekataster Bern-West
Die Grundlage für die Auslegung der Fernwärmeversorgung bildet der Nutzenergiebedarf für Raumheizung und Warmwasserbereitung.

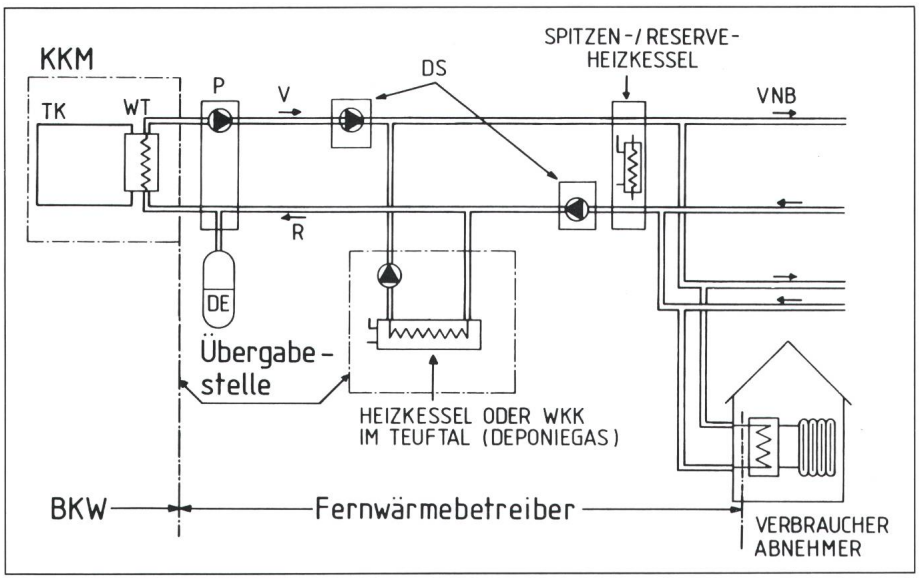


Fig. 3 Prinzip der Fernwärmeversorgung Mühleberg-Bern
Das durch Wärmeauskopplung im KKM und Biogasverbrennung in der Deponie Teuftal gewonnene heisse Wasser wird in isolierten Stahlrohrleitungen zu den Abnehmern transportiert. Spitzen- und Reservekessel sichern jederzeit eine ausreichende Wärmelieferung.

VNB	Verteilnetz Bern-West	P	Pumpen beim KKM
DS	Druckerhöhungsstation	V	Vorlauf 80–130 °C
TK	Turbinenkreislauf	R	Rücklauf 60–70 °C
WT	Wärmetauscher	DE	Druckhalte- und Expansionseinrichtung

ses von 65 bis 70% der potentiellen Verbraucher wird der Wärmeleistungs- und Nutzenergiebedarf nach Endausbau bis etwa 100 MW bzw. 180 GWh betragen können.

4. Das technische Konzept

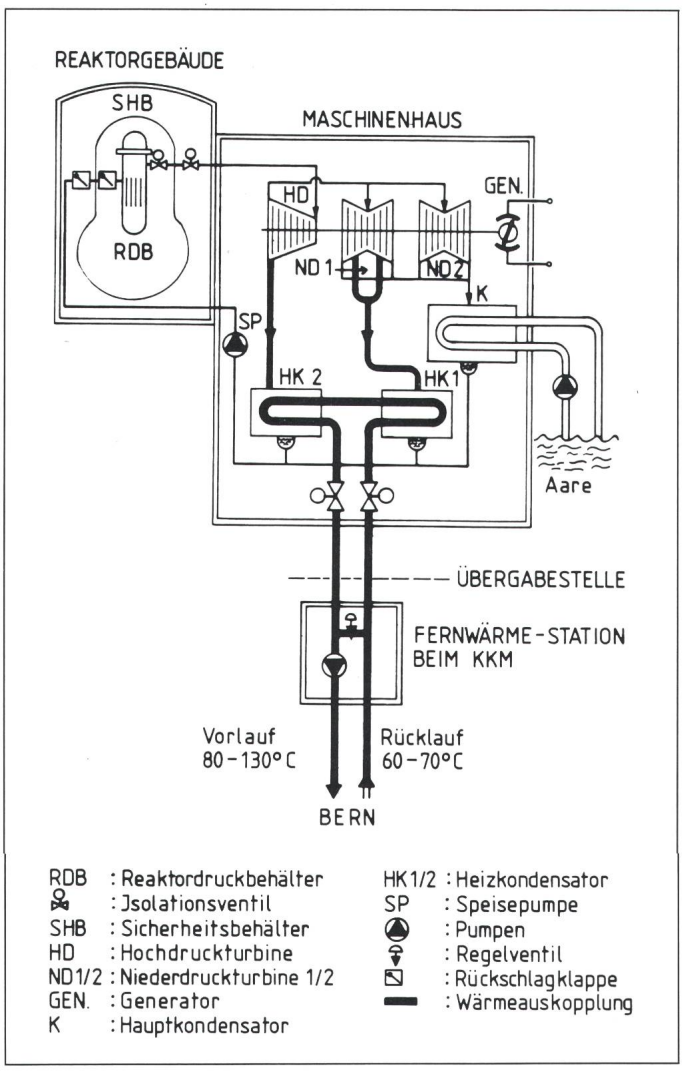
Das Fernwärmesystem transportiert Wärme von den Produktionsanlagen zu den Verbrauchern (Fig. 3). Zu diesem Zweck wird Wasser in den Erzeugungsanlagen im Kernkraftwerk Mühleberg, bei der Kehrichtdeponie Teuftal oder in Spitzen- und Reserveheizkesseln aufgewärmt und mit einer Vorlauftemperatur von etwa 80–130 °C – je nach Aussentemperatur – zu den einzelnen Verbrauchern gepumpt. Die Abnehmeranlage in den angeschlossenen Gebäuden entzieht ihm die jeweils benötigte Wärmemenge und überträgt sie ins Zentralheizungssystem und an das Brauchwarmwasser. Das Fernwärmewasser kühlt sich dabei ab und wird im geschlossenen Kreislauf zu den Produktionsanlagen zurückgepumpt, wo es erneut aufgewärmt wird.

4.1 Wärmeauskopplung im Kernkraftwerk Mühleberg

Im KKM wird Wärme aus dem Turbinenkreislauf ausgekoppelt und in Heizkondensatoren ans Fernwärmesystem übertragen (Fig. 4). 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. Diese und andere technische 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 (WKK). Der Energiefluss mit und ohne Auskopplung von 60 MW Wärmeleistung ist in Figur 5 dargestellt. Der Wirkungsgrad der Anlage steigt von 33% ohne Auskopplung auf 38% mit Auskopplung. Nur ein Sechstel der ausgekoppelten Fernwärme geht dank der günstig gewählten Temperaturen im Fernwärmenetz zu Lasten der Stromproduktion. Fünf Sechstel stammen aus der Abwärme an die Aare. Die Abwärme reduziert sich also um 50 MW oder um jährlich rund 120 GWh.

Fig. 4
Die Wärmeauskopplung im KKW Mühleberg
Das Fernwärmewasser wird in Heizkondensatoren über eine metallische Trennwand aufgewärmt. Der Druck des Fernwärmewassers liegt höher (25 bar gegenüber etwa 5 bar). Bei Druckabfall auf der Fernwärmeseite schliessen Isolationsventile und verhindern den Übertritt von Dampf oder Wasser.



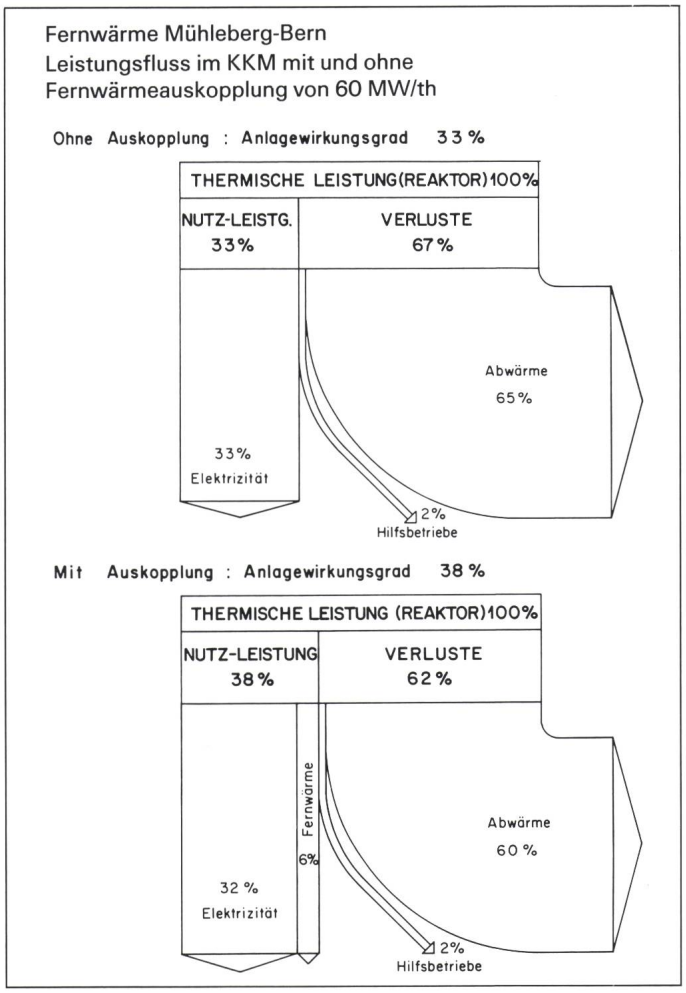


Fig. 5
Anlagewirkungsgrad des KKM mit und ohne Fernwärmeauskopplung
Pro 6 kWh ausgekoppelte Fernwärme vermindert sich die Abwärmeabgabe an die Aare um 5 kWh und die Elektrizitätserzeugung um 1 kWh, weil der ausgekoppelte Dampf in der Turbine nicht bis zuletzt Arbeit leistet.

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. Die Auskopplung der Fernwärme erfolgt an zwei Stellen der Turbine, nämlich nach dem Hochdruckzylinder und bei einer Anzapfung im Niederdruckteil der Maschine; von hier wird der ausgekoppelte Dampf zu den Heizkondensatoren geführt (Fig. 4). Dort ergibt sich eine Vorlauftemperatur im Fernwärmenetz von maximal 130 °C. Bei höherer Vorlauftemperatur im FW-Netz müsste der Dampf in der Turbine früher entnommen werden und könnte dementsprechend weniger lang Arbeit leisten. Je tiefer die Vorlauftemperatur des FW-Netzes liegt, desto kleiner ist folglich der Stromproduktionsverlust.

4.2 Wärmeerzeugungsanlage Teuftal

In der Kehrichtdeponie Teuftal entstehen durch einen biologischen Prozess Gase mit einer Zusammensetzung von rund 50% Methan und etwa 32% Kohlendioxid sowie Stickstoff und mit der Absaugung hereingezogene Luft. Ab 1985 entsteht eine gemessene verwertbare Deponiegasmenge, der eine Verbrennungsleistung von 2,5 MW entspricht. Die Spitzenproduktion von rund 8 MW wird ab dem Jahr 2007 für etwa 12 Jahre genutzt werden können.

Für die Nutzung des Deponiegases bestehen grundsätzlich zwei Möglichkeiten:

- Das Gas wird in einem Heizkessel direkt verfeuert, welcher mit einem der Gaszusammensetzung angepassten Spezialbrenner ausgerüstet ist. 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.
- Die Energie des Gases wird in einer Wärme-Kraft-Kopplungsanlage (z.B. Gasturbine mit Abhitzekessel) in elektrische Energie und Fernwärme umgewandelt. Auf diese Weise können rund 20% der verwertbaren Energie in elektrischen Strom und 50–55% in Fernwärme umgeformt werden.

Mit beiden Anlagetypen – reiner Heizkessel oder Gasturbine mit Abhitzekessel – 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. Der notwendige Optimierungsentscheid erfolgt sinnvollerweise in einer späteren Projektierungsphase.

4.3 Jahresdauerlinie und Bedarfsdeckung

Normalerweise wird der grösste Teil der von den Abnehmern benötigten Energie von den beiden Hauptwärmequellen, dem Kernkraftwerk Mühleberg und der Deponie Teuftal, bereitgestellt. Beim Ausfall der grössten Wärmequelle müssen aber die Verbraucher auch am kältesten Tag des Jahres mit genügend Wärme versorgt werden können.

Wie die Jahresdauerlinie in Figur 6 zeigt, ist der Wärmebedarf in einem Fernwärmenetz, das vorwiegend für Heizung und Warmwasserbereitung

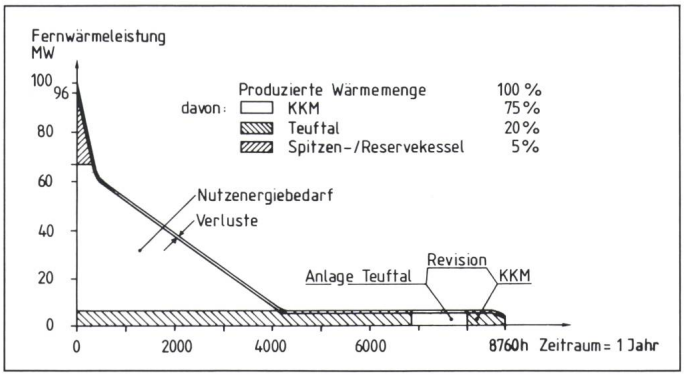


Fig. 6
Jahresdauerlinie und Bedarfsdeckung
Die Anlage Teuftal kann bei Grundlastbetrieb 20% der jährlich benötigten Energie liefern, obwohl ihre Leistung nur 5–8 MW beträgt. KKM liefert 75% und die Spitzenkessel den Rest von 5%.

eingesetzt wird, zeitlich sehr grossen Schwankungen unterworfen.

Die Fläche unter der Jahresdauerlinie stellt die von den Verbrauchern benötigte Energiemenge gemäss Wärmekataster dar. Werden noch die Netzverluste 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. Das erlaubt den Bau einer kleineren, besser ausgelasteten Transportleitung. Der Lieferanteil der Spitzenkessel am gesamten Jahreswärmebedarf liegt dann bei bescheidenen 3–5%. Bei jährlich zwei 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 (Dauer etwa 30 Tage) im KKM jeweils im August ausgeführt. In dieser Jahreszeit ist die Anlage 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 folgende Lieferanteile festgelegt: KKM 75%; Teuftal 20%, Reserve- und Spitzenkessel 5%. In den Spitzenkesseln wird Heizöl EL eingesetzt. Dadurch sieht die Umweltbilanz zwar ungünstiger aus als mit Gas. Gas ist indessen für Spitzeneinsatz (Lagerung, Kosten) weniger geeignet.

4.4 Transportleitung, Pumpstationen und Verteilnetz

Die Figur 1 zeigt das Versorgungsgebiet und die den Berechnungen zugrunde gelegte, vorläufige Trassierung der Transportleitung. Sie führt vom KKM über Fuchsenried, Oberei, am Teuftal vorbei via Frauenkappelen nach Brünnen/Gäbelbach. Dort beginnt das eigentliche Verteilnetz, welches sich über ganz Bern-West ausbreitet. Als weitere Absatzgebiete wären z.B. Köniz und Wohlen geeignet.

Die vorläufige Wahl des Transportleitungstrassees beruht neben den topographischen Gegebenheiten vorwiegend auf bautechnischen Überlegungen. Die Transportkapazität der Leitung Mühleberg–Bern-West wird auf rund 75% der Fernwärme-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 (Fig. 2) 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 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, den Wassergeschwindigkeiten und den Druckverlusten in den Transport- und Verteilleitungen optimiert worden. Die Druckverlustrechnung für das ganze System liefert die Basis für den Pumpenstrombedarf.

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 Dikke und die Materialeigenschaften des vorgesehenen Isolationsmaterials für das ganze Leitungsnetz. Die Wärmeverluste liegen in der Grössenordnung von 6% der jährlich abgegebenen Energiemenge.

Der vorläufigen Auslegung wird ein erdverlegtes Verbundsystem zugrunde gelegt. Es sind dies Stahlrohre mit Polyurethanschaumisolation und einem Kunststoffschutzrohr, die thermisch vorgespannt und dann eingesandet werden. Vorfabrizierte Teile vereinfachen die Montage und verkürzen die Öffnungszeit der Gräben.

4.5 Hausstationen

Figur 7 zeigt ein Beispiel einer indirekten Hausstation inklusive Warmwasserbereitung. Ausser den sehr geringen Isolationsverlusten treten hier im Gegensatz zu andern Heizsystemen keine Verluste auf. Die vom Zähler gemessene Wärmemenge entspricht daher bereits der vom Abnehmer benötigten Nutzenergiemenge 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. Damit bei kleinen Abnehmeranlagen nicht für jedes Haus ein Wärmetauscher beschafft werden muss, könnte ein Wärmetauscher die zusammengekoppelten Zentralheizungen mehrerer 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 auf den abonnierten Wert begrenzt. Der Wärmezähler integriert laufend das Produkt aus der Differenz Vorlauf/Rücklauftemperatur

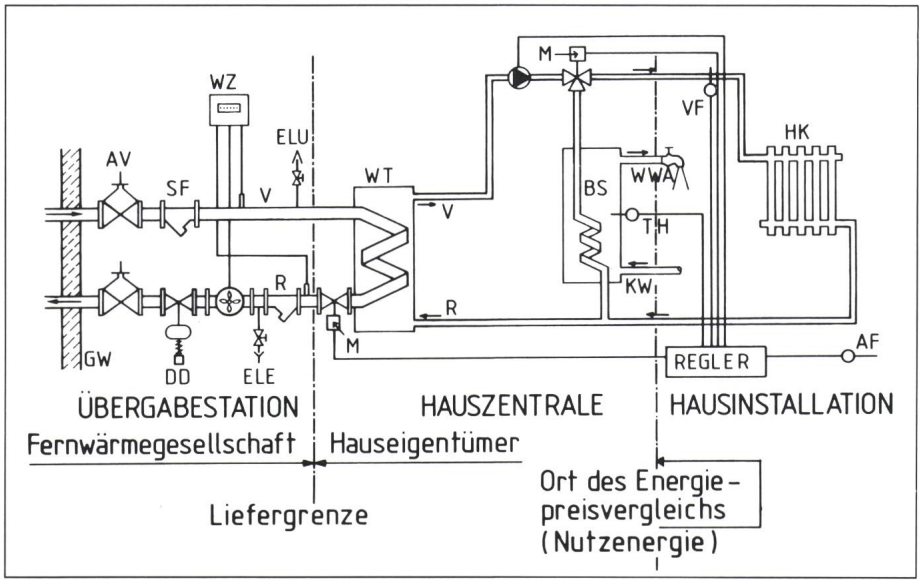


Fig. 7 Indirekte Hausstationen mit Warmwasserbereitung

Fernwärmehausstationen sind komfortabel, weil sie wenig Unterhalt benötigen, kompakt und verlustarm.

WZ	Wärmezähler	GW	Gebäudewand
AV	Absperrventile	VF	Vorlauftemperaturfühler
ELU	Entlüftung	BS	Brauchwarmwasserspeicher
SF	Schmutzfänger	HK	Heizkörper
WT	Wärmetauscher	WWA	Warmwasserabgang
V	Vorlauf	TH	Thermostat
R	Rücklauf	KW	Kaltwasser
DD	Durchflussbegrenzer mit Differenzdruckregler	M	Regelventil
ELE	Entleerung	AF	Aussentemperaturfühler

und der Wassermenge. Das Regelventil öffnet sich je nach Bedarf, welcher vom Heizungs- bzw. Warmwassertemperatur-Regler bestimmt wird.

Fernwärmehausstationen benötigen etwa gleich viel Platz wie ein entsprechender Heizkessel (ohne Tank und Kamin). Sie arbeiten praktisch verlustfrei und sparen Platz und Wartungsaufwand. Die Übergabestation wird zudem durch die Fernwärmegesellschaft gewartet.

Die Kosten für indirekte Hauszentralen inkl. Warmwasserbereitung betragen etwa:

Einfamilienhaus:
Fr. 9000.– bis Fr. 11 000.–

Mittleres Mehrfamilienhaus:
Fr. 18 000 bis Fr. 25 000.–

5. Wirtschaftlichkeit der Fernwärmeversorgung

5.1 Kostenrechnungen

Die Kostenrechnungen dienen dem Ermitteln der Energiekosten beim Abnehmer und liefern die Basis für den Preisvergleich mit den konkurrierenden Wärmeträgern Heizöl und Erdgas.

Die Investitionskosten des Projektes FEMBE 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. Für die Wärme ab KKM und Deponie Teuftal werden die gleichen spezifischen Energiekosten berücksichtigt.

Über den gesamten Betrachtungszeitraum (20 Jahre ab Betriebsaufnahme der Fernwärmeversorgung), der in Anlehnung an die mit Sicherheit noch verfügbare Betriebszeit des Kernkraftwerkes Mühleberg gewählt wurde, ist die Wirtschaftlichkeit der Fernwärme gegeben. Unter Berücksichtigung einer angemessenen Kapitalverzinsung ergeben sich auf Preisbasis 1985 je nach den angenommenen Parametern und der Entwicklung des Absatzes nach der Übergabestation des Wärmeabnehmers mittlere spezifische Wärmegestehungskosten von etwa 72 bis 80 Fr./MWh.

5.2 Preisvergleich mit Heizöl

Fernwärme versorgt bisher in der Schweiz im Gegensatz zu andern Ländern (z.B. die Niederlande, Dänemark oder Schweden usw.) nur einen sehr bescheidenen 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 Basis der Nutzenergie durchgeführt werden. Dabei werden die Wärmegestehungskosten für den Abnehmer beim Eintritt in die hausinterne Heizverteilung bzw. Wärmeverteilung verglichen (Fig. 7). 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 mit beeinflusst, werden Ein- und Mehrfamilienhäuser sowie der zentrale Anschluss von grossen Überbauungen 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 (Fig. 8). Die Preissituation betreffend anderer wichtiger Energieträger zur Wärmeerzeugung 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 Fernwärme vergleichsweise klein. Diese Tatsa-

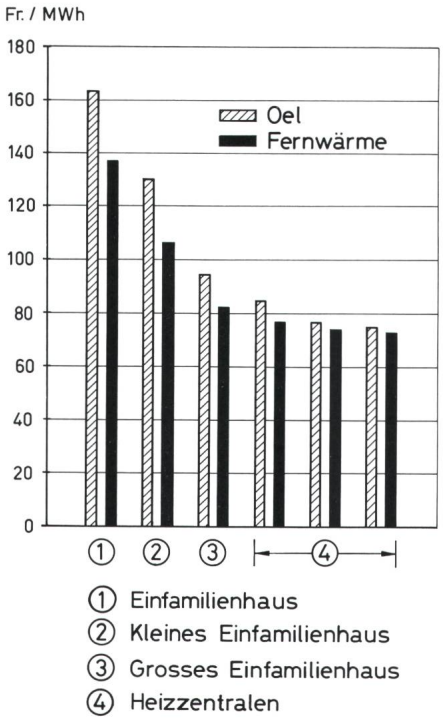


Fig. 8 Vergleich der Nutzwärmepreise
Eingerechnet sind Energiepreise (Öl- und Fernwärmepreis, Kesselwirkungsgrad) und Abschreibungs- sowie Unterhaltskosten (z.B. Kaminfeger, Tankreinigung, Brennerservice, Reparaturen).

che lässt im Gegensatz zu den fossilen Energieträgern eine stabile Preisentwicklung erwarten.

5.3 Tarifstruktur

Der Aufbau des Tarifs für die Lieferung von Fernwärme wird durch die verschiedenartigsten, teilweise gegeneinanderwirkenden Anforderungen geprägt.

Weit verbreitet sind dreigliedrige Tarifsysteme mit Anschlussbeitrag, jährlichem Grundpreis und Arbeitspreis. Die einzelnen Tarifkomponenten sollen folgende Funktionen erfüllen:

- Der entsprechend zu gestaltende Anschlussbeitrag soll den Abnehmer veranlassen, zeitgerecht (bei Erschliessung des Quartiers) die Fernwärme zu abonnieren. Gleichzeitig 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.
- Der Arbeitspreis (gleich für alle Abnehmer) wird so festgesetzt, dass zusammen mit den anderen Tarifanteilen die Gesamtkosten der Fernwärmegesellschaft gedeckt werden können. Entsprechend der Kostenstruktur der Fernwärmegesellschaft für Kapitaldienst, Wärmebeschaffung und Betriebskosten könnte der Arbeitspreis anteilig indexiert werden mit Zinssatz, Preisen für elektrische Energie und Konsumentenpreisindex.

6. Trägerschaft und Organisationsform

Da die Wärmeauskopplung im Kernkraftwerk Mühleberg Sache der BKW und die Trägerschaft für die Wärmeproduktion im Teuftal offen ist, wird die Fernwärmegesellschaft vorwiegend eine Transport-, Verteil- und Betriebsgesellschaft sein, die auch die Reserve- und Spitzenkessel betreibt.

Folgende Aufgaben sind 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 Kehrichtdeponie Teuftal, Verkauf der Wärme an Verbraucher.

Für die Realisation einer Fernwärmeversorgung ab KKM und Kehrichtdeponie Teuftal steht eine gemischtwirtschaftliche Aktiengesellschaft im Vordergrund. Diese Struktur erlaubt eine angemessene Beteiligung und Mitsprache aller interessierten Kreise. Der Stadt Bern kommt in dieser Gesellschaft eine tragende Rolle zu.

Die Aktiengesellschaft ist die am besten geeignete Organisationsform, weil im Gegensatz zu andern öffentlichen Versorgungsaufgaben die Fernwärme in Konkurrenz zu andern Wärmesystemen steht. Diese Konkurrenzsituation erfordert eine flexible Preispolitik. 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.

7. Schlussfolgerungen

- Mit FEMBE (Fernwärme Mühleberg-Bern) kann die Umweltbelastung der Region Bern durch Abwärmenutzung abgebaut werden. Die Berner Umwelt wird um 40–60 t Stickoxide, um, je nach substituiertem Brennstoff, bis zu 86 t Schwefeldioxid und 65 000 t Kohlendioxid sowie um bis zu 155 GWh/a Abwärme pro Jahr entlastet.
- Mit FEMBE kann die Substitution von fossilen Brennstoffen verwirklicht werden. Ein Zusatzeffekt ist die vermehrte Verwendung von einheimischer Energie.
- Mit FEMBE wird die Versorgungssicherheit sowohl kurz- als auch langfristig 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 Kapitalkostenanteil (etwa 80% des Nutzenergiepreises) und der entsprechend bescheidene Energiekostenanteil lassen 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.