

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 94 (1976)  
**Heft:** 10

**Artikel:** Energiewirtschaftliche Aspekte der Wärmeversorgung  
**Autor:** Kalas, P.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-73064>

## **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:** 24.01.2026

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

## Energiewirtschaftliche Aspekte der Wärmeversorgung

Von P. Kalas, Baden

DK 620.9

### Einleitung

Die wirtschaftliche Bedeutung der Wärmeversorgung im Rahmen der schweizerischen Energiewirtschaft ist längst bekannt. Aus den Energiebilanzen des Nutzenergieverbrauchs in der Schweiz (s. Tabelle 1) geht hervor, dass der Anteil der Wärme am Gesamtnutzenergieverbrauch in den letzten 25 Jahren praktisch unverändert 80% ausmacht.

Tabelle 1. Nutzenergieverbrauch der Schweiz<sup>1)</sup>

|                    | 1950  |      | 1960  |      | 1970  |      | 1973  |      |
|--------------------|-------|------|-------|------|-------|------|-------|------|
|                    | Tcal  | %    | Tcal  | %    | Tcal  | %    | Tcal  | %    |
| Wärme              | 18675 | 81,6 | 32382 | 79,0 | 66058 | 79,6 | 75705 | 79,7 |
| Mechanische Arbeit | 2963  | 12,9 | 6650  | 16,2 | 13576 | 16,4 | 15913 | 16,8 |
| Chemie             | 1202  | 5,3  | 1896  | 4,6  | 3155  | 3,8  | 3182  | 3,3  |
| Licht              | 50    | 0,2  | 99    | 0,2  | 168   | 0,2  | 200   | 0,2  |
| Total              | 22890 | 100  | 41027 | 100  | 82957 | 100  | 95000 | 100  |

<sup>1)</sup> Statistische Angaben des Schweizerischen Nationalkomitees der Weltenergiokonferenz (1974).

Dabei entfallen auf den industriellen Wärmeverbrauch 35%, während die restlichen 65% der Wärme im Sektor Haushalt, Gewerbe und Landwirtschaft verbraucht werden. Einen erheblichen Teil des gesamten Wärmeverbrauchs, nämlich fast 60%, beansprucht die Raumheizung. Mit anderen Worten etwa 50% der gesamten Nutzenergie in der Schweiz werden zu Heizungszwecken verbraucht. Aus den Statistiken geht auch hervor, wie die Deckung des Wärmeverbrauchs durch die Primär- und Sekundärenergieträger aussieht: 1973 wurden insgesamt 83% der Nutzwärme durch Ölverbrauch gedeckt und bei der Raumheizung betrug der Erdölanteil sogar 90%, wobei der Rest auf Erdgas, Kohle, Elektrizität und Holz entfällt.

Das Öl hat sich bis 1973 als Kostenfaktor der komfortablen Haushaltheizung oder des industriellen Verbrauchs bei den Preisen von etwa 175 Fr./t für Heizöl extra leicht und von 120 Fr./t für Schweröl kaum bemerkbar gemacht. Diese Preise sind jedoch innerhalb Jahresfrist bis auf 510 Fr./t bzw. 270 Fr./t hinaufgeklettert. Auch wenn sich die Preislage inzwischen beruhigt hat, kostet zur Zeit eine Gcal, die spezifische Einheit der Wärmeproduktion, statt etwa 23 Fr./Gcal im Jahre 1972 rund das Doppelte<sup>1)</sup>.

Die negativen Konsequenzen der einseitigen Abhängigkeit von einem Primärenergieträger haben sich natürlich auch auf der Ebene der Volkswirtschaft gezeigt. So wurde die schweizerische Handelsbilanz im Jahre 1973 durch zusätzliche Ausgaben für teure flüssige Brenn- und Treibstoffe (Rohöl, Dieselöl, Benzin) um etwa 700 Mio Fr. mehr belastet, umgerechnet auf das gleiche Ölvolume im Frühjahr<sup>2)</sup>. Neben den Devisenmehrabschöpfungen wurde durch die importierte Inflation auch das einheimische Preisniveau in die Höhe getrieben.

<sup>1)</sup> Leichtölfeuerung mit einem Wirkungsgrad von 75% und einem Heizwert des Extraleichtöls von 10200 kcal/h.

<sup>2)</sup> Statistiken der Schweizerischen Bankgesellschaft.

Noch wichtiger scheint jedoch die Tatsache zu sein, dass Öl ein Instrument möglichen politischen Drucks geworden ist, was im Hinblick auf dessen Anteil am gesamten Energieverbrauch der Schweiz im Jahre 1974 von 77,4% das Überdenken der schweizerischen Energiestrategie verlangt. Neben den privatwirtschaftlichen, volkswirtschaftlichen und politischen Faktoren des Ölverbrauchs treten noch dessen ökologische Auswirkungen.

Dieser Aspekt und die aus den Ereignissen auf dem internationalen Ölmarkt und in bezug auf einseitige Abhängigkeit der schweizerischen Energiewirtschaft von Öl gezogene Lehre dürften also zu folgenden Schlussfolgerungen betreffend Wärmeversorgung führen:

- Der Ölverbrauch soll durch eine bessere Ausnutzung der primären Energie des Öls vermindert werden
- Die Primärenergieträger sollen diversifiziert werden, indem das Öl teilweise durch andere Energieträger ersetzt wird
- Die allgemeine und insbesondere die durch Schwerölfeuerung verursachte Luftverschmutzung soll verringert werden.

Neben diesen Forderungen für eine haushälterische, sichere und umweltgerechte Wärmeversorgung muss man noch den wirtschaftlichen Aspekt erwähnen und die Preiswürdigkeit der Wärmeversorgung verlangen. Dazu werden umfassende Energieversorgungsstudien benötigt.

### Struktur der Wärmestudien

Im folgenden wird eine Wärmeversorgungsstudie diskutiert. Die Bestandteile der Studie sind in Bild 1 gezeigt. In Bild 2 ist dann der Zusammenhang aller Teilstudien dargestellt.

Die Komplexität der Problematik verlangt eine konsequente Anwendung des Prinzips von System-Engineerings, d.h. Berücksichtigung möglichst aller Aspekte, die mit der Wärmeversorgung in Zusammenhang stehen, und Konsequenzen, die von einem solchen Versorgungssystem auf die Umwelt im weitesten Sinne zu erwarten sind.

Methodisch zeichnet sich das System-Engineering-Vorgehen durch folgende Schritte ab:

- Situationsanalyse
- Zielsetzung und Beurteilungskriterien
- Synthese und Analyse von erarbeiteten Lösungsalternativen und Varianten
- Bewertung von Lösungsalternativen und Varianten
- Entscheid
- Planen des weiteren Vorgehens.

### Technische Studien

Zweck der technischen Studien (siehe Bild 2) ist es, sinnvolle Alternativen (sog. Projektkatalog) der Wärmeversorgung zu definieren und die entsprechenden Probleme der Wärmeerzeugung und Verteilung abzuklären. Dieser Untersuchung ist die Analyse des zukünftigen Wärmebedarfs und seiner möglichen Deckung durch vorhandene Anlagen zugrunde gelegt. Es wird ermittelt, wie gross der zu erwartende Gesamtwärmebedarf des untersuchten Gebietes während der Untersuchungsperiode (z.B. von 25 Jahren) ist, wie er im Laufe des Jahres verläuft, wo die Schwerpunkte des Konsums (Zonen-Wärmedichte) sind, welches die Wärmeparameter (Temperatur, An-

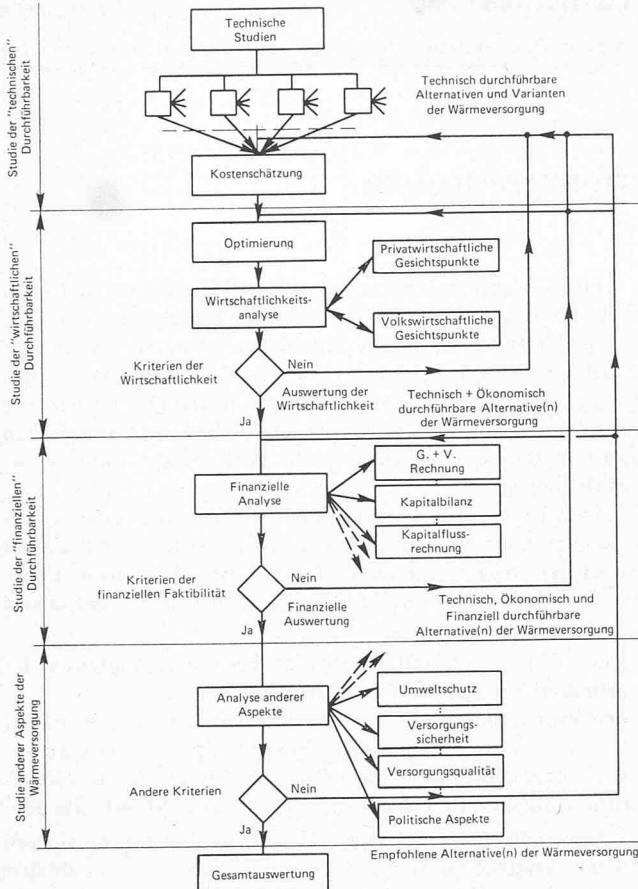


Bild 1. Prinzipielle Komponenten einer Wärmeversorgungsstudie

schlusswert, Wärmehochlast und Jahreswärmeverbrauch) bei den einzelnen Konsumenten während des Jahres sind usw. Gleichzeitig werden die vorhandenen Kapazitäten zur Wärmebedarfsdeckung untersucht und die Jahresdefizite ermittelt. Zu deren Deckung werden dann verschiedene technische Lösungen in bezug auf folgende Teilespekte ausgewertet:

- die Anzahl und räumliche Verteilung der Wärmeerzeugungsanlagen
- die Standorte der Anlagen
- die Art der Brennstoffe
- die Art der Wärmeerzeugungsanlagen
- den Wärmeträger
- das Wärmeverteilnetz.

Jeder dieser Teilespekte bedarf einer Abklärung, um alle relevanten Faktoren technisch zu analysieren und entsprechende Lösungen zu finden. Es werden dann Alternativen definiert, die sich z.B. durch die Art der Wärmeerzeugung unterscheiden (individuelle Heizungen, Heizwerke, verschiedene Typen von Heizkraftwerken oder kombinierte Anlagen, elektrische Raumheizung usw.). Jeder dieser Alternativen werden dann Varianten der Standorte, Brennstoffarten, Verteilnetzkonfiguration usw. zugeordnet. Manchmal ist es möglich, schon anhand der technischen Parameter eine Suboptimierung oder Vorauswahl zu treffen, z.B. für den Wärmeträger (Heisswasser, Dampf). Als nächster Schritt werden für alle technisch realisierbaren Alternativen Schätzungen der Investitions- und Betriebskosten gemacht und der Projektkatalog ergänzt. Jede Wärmeversorgungsalternative wird auf diese Weise durch eine technisch-ökonomische Charakteristik gekennzeichnet, mit deren Hilfe die Wärmeversorgung ökonomisch optimiert wird.

## Wirtschaftlichkeitsaspekte und Finanzanalyse der Wärmeversorgung

Es werden im folgenden einige Aspekte der Wirtschaftlichkeit und Finanzierung der Wärmeversorgung erörtert, die vor allem in der Planungs-, aber auch in der Betriebsphase einer Wärmeversorgung von grosser Bedeutung sind.

Grundsätzlich unterscheidet man methodisch zwischen der sogenannten «Wirtschaftlichkeit» einerseits und den «finanziellen Aspekten» eines Projektes andererseits. Der Grund dafür liegt darin, dass zwischen beiden Begriffen ein Unterschied besteht, was den Zweck oder das Ziel und die angewandte Technik betrifft.

Um den manchmal übersehenen Unterschied klarzumachen, sind die wesentlichen Differenzen im folgenden gezeigt. Der Zweck einer Wirtschaftlichkeitsanalyse ist es:

- die Wahl zwischen einzelnen Alternativen und Varianten zu treffen
- Optimierung von Projektparametern durchzuführen, d.h. Versorgungsart, Anlagetyp und Grösse des Stufenausbaus, Timing, Brennstoffart usw. zu bestimmen
- die ökonomische Durchführbarkeit eines Projektes aus dem privatwirtschaftlichen und volkswirtschaftlichen Gesichtspunkt zu beurteilen, und
- die Wärmegestehungskosten zu ermitteln.

Die Analysen und Berechnungen werden zweckmässigerweise anhand der *Barwertmethode* durchgeführt, die die relevanten ökonomischen Unterschiede in Nutzen und Kosten der Projekte während ihrer Lebensdauer und unter Berücksichtigung des Zeitfaktors (dynamische Betrachtungsweise) misst. Der Begriff «relevant» heisst, dass aus dem Evaluierungs- und Entscheidungsprozess jeweils die Kosten- und Nutzenfaktoren ausgeklammert werden können, die sich auf frühere Investitionsentscheide stützen, wie z.B. Kosten der schon bestehenden Anlagen und Verteilnetze oder andere Kosten, die für alle Alternativen ohnehin gemeinsam sind. Diese haben auf den zukunftsorientierten Entscheid keinen Einfluss. Ferner sind aus dem ökonomischen Vergleich die Finanzierungskosten, wie Zins und Rückzahlung der Kredite und Bauzinsen, auszuschliessen und durch den Diskontierungsprozess der Barwertmethode zu ersetzen. Die in den Kosten- und Nutzenflüssen enthaltenen Geldwerte widerspiegeln entweder die aktuellen Marktpreise (privatwirtschaftlicher Gesichtspunkt) oder die sogenannten «sozialen» Kosten und Nutzen (Schattenpreise), die den ökonomischen Beitrag des Projektes für die Gemeinschaft darstellen.

Demgegenüber ist der Zweck einer finanziellen Analyse, folgendes zu zeigen:

- die aktuellen Investitions- und Betriebskosten des Projektes mit und ohne Berücksichtigung des Inflationstrends
- die finanziellen Kosten, wie sie sich aus verschiedenen untersuchten Finanzierungsarten für die Projektalternative ergeben
- die realen finanziellen Konsequenzen der Projektverwirklichung auf die
  - Rendite des eingesetzten Eigenkapitals
  - Rendite der Organisation, die das Projekt bauen und betreiben wird
  - Verschuldung der Organisation durch getätigte Investition usw.
- die effektiven Wärmekosten als Grundlage für die Tarifgestaltung, einschliesslich allfälliger Subventionen einerseits oder Beiträgen, z.B. für Umwelterhaltung, andererseits.

Eine finanzielle Analyse wird meistens anhand bekannter buchhalterischer Praktiken vorgenommen, und ihr liegen die Betriebsrechnung, Bilanz, Kapitalfluss und andere Rechnungen zugrunde. Es geht also klar hervor, dass zwar ein Projekt

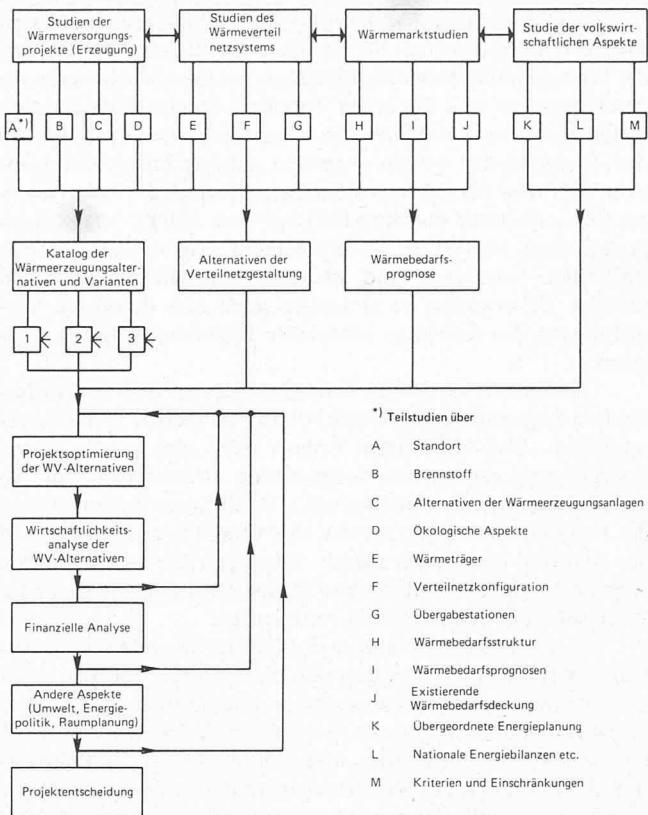


Bild 2. Auswahlverfahren der Wärmeversorgungsprojekte

ökonomisch gesehen ganz attraktiv, finanziell jedoch nicht oder nur schwierig realisierbar werden kann (siehe Bild 1).

Von den ökonomischen Faktoren sind für das Optimierungs- und Evaluierungsverfahren der Wärmeversorgung die folgenden von grosser Wichtigkeit: Brennstoffökonomie, Kapitalkosten, Wärmegestehungskosten und die ökonomischen Wärmekosten.

#### Brennstoffökonomie

Unter diesem Begriff sind in den Wärmestudien normalerweise nicht nur die Aspekte einer haushälterischen und preiswürdigen (privatwirtschaftlicher Gesichtspunkt), sondern auch die Faktoren einer sicheren und umweltgerechten Wärmeversorgung (gesamtwirtschaftlicher Gesichtspunkt) enthalten. Eine kleine Exkursion in die Energiewirtschaft zeigt (Bild 3), dass wir zweckmässigerweise zwischen Primärenergie (Rohenergie), Sekundärenergie und Nutzenergie<sup>3)</sup> unterscheiden können.

Aus dem physikalischen Prozess der Energieumwandlung kann die Wärme aus allen heute vorhandenen Primärenergien produziert werden. Man kann dabei, in bezug auf das praktisch nur auf Wasserpotential beschränkte Primärenergiepotential der Schweiz, zwischen der schweizerischen und weltweiten energiewirtschaftlichen Perspektive unterscheiden. Es ist zwar möglich, den Nutzenergieverbrauch und die dadurch entstandene Umweltbelastung durch energiepolitische Massnahmen im Inland zu steuern; die Preiswürdigkeit und Versorgungs-

<sup>3)</sup> Primärenergie oder Rohenergie ist die Energieform, wie sie in der Natur zur Verfügung steht, z.B. Erdöl, Erdgas, Kohle, Wasserkraft, Spaltstoff, Sonneninstrahlung, Windenergie usw. Sekundärenergie ist die Form, wie sie nach der Veredlung oder Umwandlung aus der Rohenergie dem Verbraucher zugeführt wird, wie z.B. Heizöl und Treibstoffe aus Erdöl, Elektrizität aus Wasserkraft, Heisswasser aus Erdgas oder Kernenergie usw. Nutzenergie ist die beim Endenergieverbraucher verlangte Energieform, die ihm geliefert wird (Fernwärme) oder die er aus der gelieferten Sekundärenergie selber erzeugt (Licht, Kraft, Kälte, Wärme).

sicherheit jedoch liegen vorwiegend ausserhalb der direkten Einflussphäre der Schweiz.

Sehen wir vorläufig von der Kapital- und Betriebskomponente der Wärmekosten ab, sind die «Energiekosten» der Wärme durch die dem Umwandlungsprozess zugeführte Primärenergiemenge und deren spezifischen Preis je zugeführte Gcal gegeben:

$$K_W = \frac{P_{PR}}{H_U \cdot \eta_T} = \min (\text{Fr./Gcal}), \text{ worin:}$$

$K_W$  Kosten der verbrauchten Wärmeeinheit in Fr./Gcal

$P_{PR}$  Spezifischer Preis der Primärenergie in Fr./t Öl oder Fr./Nm<sup>3</sup> Gas

$H_U$  Unterer Heizwert des Primärenergieträgers in Gcal/t

$\eta_T$  Gesamtwirkungsgrad der Umwandlung der Primär- auf Nutzenergie in %

Analysieren wir zuerst den energiewirtschaftlichen Faktor der Energiekosten – die Brennstoffausnutzung. Als Maßstab für die Brennstoffausnutzung gilt allgemein das folgende Verhältnis (siehe auch Bild 3):

$$\eta_T = \frac{E_{NUTZ}}{E_{PR}} = \eta_{EG} \cdot \eta_{TR1} \cdot \eta_V \cdot \eta_U \cdot \eta_{TR2} \cdot \eta_{VER}$$

wobei:

$E_{NUTZ}$  Nutzenergiemenge in Gcal

$E_{PR}$  Zugeführte Primärenergiemenge, notwendig für Endverbrauch einer Gcal der Nutzenergie in Gcal

$\eta_{EG}$  Wirkungsgrad der Primärenergiegewinnung in %

$\eta_{TR1}$  Wirkungsgrad des Transportes der Primärenergie in Roh- oder veredelter Form in %

$\eta_V$  Wirkungsgrad der Veredlung in %

$\eta_U$  Wirkungsgrad der Umwandlung in %

$\eta_{TR2}$  Wirkungsgrad des Transportes der Sekundärenergie in %

$\eta_{VER}$  Wirkungsgrad des Wärmeverbrauchs in %

Dabei wird die maximale Grösse von  $\eta_T$  angestrebt, wobei für die schweizerische Energiewirtschaft vorwiegend nur die letzten drei Glieder der Wirkungsgradkette relevant sind. Dieses Verhältnis sagt aus, wieviel mehr Primärenergie zugeführt werden muss, um eine Gcal der Nutzenergie in Form von Wärme in einem Versorgungssystem verbrauchen zu können.

Tabelle 2. Ausnützungsgrad der Primärenergie und Primärenergieverbrauch in % der Nutzenergie für Raumheizung<sup>1)</sup>

|                                  | $\eta_V$ | $\eta_{TR1}$ | $\eta_U$         | $\eta_{TR2}$ | $\eta_{VER}$ | $\eta_T$ | $\frac{E_{PR}}{E_{NUTZ}}$ |
|----------------------------------|----------|--------------|------------------|--------------|--------------|----------|---------------------------|
|                                  | %        | %            | %                | %            | %            | %        | %                         |
| <b>I. Individuelle Heizungen</b> |          |              |                  |              |              |          |                           |
| Heizöl                           | 97       | –            | –                | 99           | 70           | 67       | 149                       |
| Erdgas                           | –        | 94           | –                | –            | 72           | 68       | 147                       |
| Elektrizität <sup>2)</sup>       | –        | –            | 32 <sup>2)</sup> | 92           | 100          | 29       | 345                       |
| Elektrizität <sup>3)</sup>       | –        | –            | 85               | 92           | 100          | 78       | 128                       |
| <b>II. FernwärmeverSORGUNG</b>   |          |              |                  |              |              |          |                           |
| Heizöl                           | 97       | 99           | 82 <sup>4)</sup> | 92           | 100          | 72       | 139                       |
| Erdgas                           | –        | 97           | 80 <sup>4)</sup> | 92           | 100          | 71       | 140                       |

<sup>1)</sup> Durchschnittswerte

<sup>2)</sup> Stromproduktion aus nuklearen Kraftwerken

<sup>3)</sup> Stromproduktion aus Wasserkraftwerken (kommt zukünftig praktisch nicht in Frage)

<sup>4)</sup> Heizwerke ohne zusätzliche Stromerzeugung

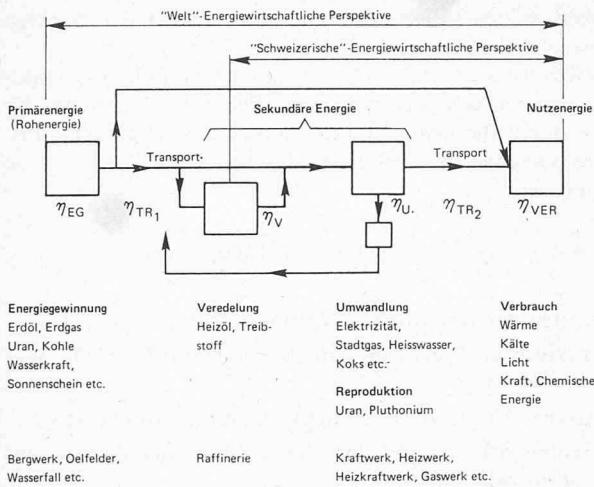


Bild 3. Prozess der Energieumwandlung

In Tabelle 2 sind die Ansprüche an den Primärverbrauch für Raumheizungszwecke für individuelle und FernwärmeverSORGUNG einerseits und wichtigste, in der Schweiz in Frage kommende Primärenergieträger anderseits präsentiert.

Der Grundsatz des minimalen Primärenergieverbrauchs führt, wie die Zahlen zeigen, zur intensiveren Forderung der Fernwärmesysteme. Obwohl es sich hier um Durchschnittswerte handelt, zeigt die FernwärmeverSORGUNG durchaus bessere Ausnützung der Primärenergie als individuelle Heizungen, was sich auch in den kleineren Ansprüchen auf die importierte Heizöl- und Erdgasmenge widerspiegelt. Der angenommene Umwandlungsgrad  $\eta_U$  von etwa 80% bezieht sich auf reine Heizwerke. Im Falle einer kombinierten Strom-Wärme-Erzeugung kann man sogar einen Wirkungsgrad  $\eta_U$  von über 90% erzielen.

Was die Primärenergieträger anbelangt, stehen das Heizöl und Erdgas praktisch gleichwertig da. Bei der Annahme der Stromproduktion aus nuklearen Kraftwerken zu Raumheizungszwecken schneidet die Elektrizität mit einer Ausnützung der im Reaktor erzeugten thermischen Energie von unter 30% eher schlecht ab.

Die zweite wichtige Komponente der «Wärmeenergiekosten»  $K_w$  ist der spezifische Preis der Primärenergie. Tabelle 3 zeigt die Ordnungsgröße dieser Preise wiederum für typische Energieträger und gleichzeitig die entsprechenden Energiekosten bezogen auf die verbrauchte Nutzwärme.

Tabelle 3. Spezifische Kosten der Energieträger (Schweizergrenze) und Energiekosten der Nutzwärme

|                                  | Primärenergiepreis <sup>1)</sup><br>Fr./Gcal | Energiekosten<br>der Wärme <sup>2)</sup><br>Fr./Gcal |
|----------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| <i>I. Individuelle Heizungen</i> |                                              |                                                      |
| Schweröl                         | 18,7                                         | 27,9                                                 |
| Heizöl extra leicht              | 33,3                                         | 49,7                                                 |
| Erdgas                           | 48,0                                         | 70,5                                                 |
| Elektrizität                     | -                                            | 52,3 <sup>3)</sup>                                   |
| <i>II. FernwärmeverSORGUNG</i>   |                                              |                                                      |
| Schweröl                         | 18,7                                         | 26,0                                                 |
| Heizöl extra leicht              | 33,3                                         | 46,2                                                 |
| Erdgas                           | 48,0                                         | 67,6                                                 |

<sup>1)</sup> Preisstand November 1975: Schweröl (9,6 Gcal/t): 180 Fr./t, Heizöl extra leicht (10,2 Gcal/t): 340 Fr./t, Erdgas (4,8 Rp./Mcal)

<sup>2)</sup> Nur Brennstoffkosten der Wärmeproduktion unter Berücksichtigung des gesamten Wirkungsgrades der Umwandlung  $\eta_T$  (siehe Tabelle 2)

<sup>3)</sup> Elektrische Speicherheizung, Niedertarif 4,5 Rp./kWh

Es gilt als erwiesen, dass die Weltvorräte an Heizöl und Erdgas mindestens noch für die nächsten 30 Jahre ausreichen; die Preisstabilität dieser Energieträger ist jedoch schwierig abzuschätzen. So sind die in der Tabelle 3 dargestellten Kostenverhältnisse eher ein Abbild der augenblicklichen Preislage auf dem Energiemarkt als ein allgemein gültiger Trend. Denn obwohl die Preise für z. B. Heizöl extra leicht nach der fast erreichten Vervierfachung im Jahre 1973 auf etwa 340 Fr./t zurückgegangen sind, bleiben sie weiterhin unter dem stetigen Einfluss steigender Nachfrage und überdies ein Mittel politischen Drucks. Zu erwarten ist andererseits auch eine durch die Vergrösserung des Konsums stimulierten Preissteigerung des Erdgases.

Die Sensitivität beider Energieträger auf eine in Förderländern abgeschlossene Preiserhöhung ist jedoch recht unterschiedlich. Das importierte Erdgas weist eine relativ kleine Energiekomponente, den sogenannten Arbeitspreis, auf, so dass infolge einer hypothetischen, z. B. 20%igen Preiserhöhung des holländischen Erdgases nur eine rund 8%ige Erhöhung in der Schweiz resultieren würde. Hingegen dürfte die gleiche Preissteigerung des arabischen Öls eine etwa doppelt so grosse Preiserhöhung beim Leichtöl verursachen.

Für die Brennstoffwahl sind nicht nur die rein wirtschaftlichen Kriterien wie Energiepreis massgebend, sondern auch die Versorgungssicherheit einzelner Energieträger sowie ihre Auswirkung auf die Umwelt. So werden in den Wärmeversorgungsstudien Möglichkeiten und Konsequenzen der Substitution der Energieträger und ihre Anpassung an den zukünftigen Stand der Technik untersucht, ökologische Aspekte, vor allem der Wärmebelastungsfaktor und Emission schädlicher Substanzen, abgeklärt und die Wahl mit den übergeordneten energiepolitischen Zielen konfrontiert. Aufgrund von zahlreichen Studien kann zusammenfassend die Charakteristik der Energieträger nach Tabelle 4 aufgestellt werden.

#### Investitionskosten der Wärmeversorgung

Investitionskosten der individuellen Ölheizungen bestehen vorwiegend aus Kosten für Warmwasser-Heizanlage, Kessel, Regulierung und Tankanlage. Gegenüber einem Gebäude, das durch Fernwärme versorgt wird, benötigt die Einzelheizung mehr Raum, vor allem für das Brennstofflager und für den Kamin. Während die spezifischen Anlagekosten eine starke Abhängigkeit vom Wärmeleistungsbedarf für Raumheizung aufweisen, sind sie, wie die Untersuchungen zeigen, von der Brennstoffart wenig abhängig.

Obwohl die Investitionskosten der elektrischen Raumheizung mit der Art der Heizsysteme stark variieren (Direktheizung, Zentralspeicher, gemischte Heizung mit Vollspeicher oder Mischheizspeicher), liegen sie bis auf die Direktheizung teilweise wesentlich höher als vergleichbare Kosten der Ölheizungen. Neben den Kosten für Geräte und Installationen enthalten sie einen Netzkostenbeitrag, der wiederum nach der Systemart zwischen 10 und 35% der Gesamtkosten ausmacht.

Die gesamten Investitionskosten eines Fernheizungssystems setzen sich aus folgenden Hauptkomponenten zusammen:

- Kosten der Wärmeerzeugungsanlage einschliesslich Reserveeinheiten
- Kosten des Verteilnetzes
- Kosten der Abnahmeanlage bei den Wärmeabnehmern.

Der Kostenanteil für die Wärmeerzeugungsanlage ist durch die zur Deckung des Wärmebedarfs notwendigen und für Reservehaltung vorgesehenen oder kombinierten Anlagen der Wärmekraftkopplung bestimmt. Von der Brennstoffart praktisch unabhängig, weisen sie andererseits sehr ausgeprägte Abhängigkeit von der gesamten installierten Leistung und insbesondere von der Einheitsgröße auf.

Tabelle 4. Charakteristik der Energieträger der Wärmeversorgung<sup>1)</sup>

| Wärmeversorgungs- und Brennstoffart | $\eta_T$ | Spezifischer Preis | Wirtschaftlichkeit | Kriterien der Preisstabilität | Brennstoffwahl | Versorgungssicherheit | Umweltbelastung | Substitution | Gesamtrend |
|-------------------------------------|----------|--------------------|--------------------|-------------------------------|----------------|-----------------------|-----------------|--------------|------------|
| I. Individuelle Heizungen           |          |                    |                    |                               |                |                       |                 |              | (0)        |
| Schweröl                            | 0        | +                  | +                  | 0                             | -              | --                    | 0               | +            | --         |
| Heizöl extra leicht                 | 0        | -                  | 0                  | --                            | -              | 0                     | +               | 0            | 0          |
| Erdgas                              | 0        | --                 | --                 | +                             | +              | ++                    | 0               | +            | +          |
| Elektrizität <sup>2)</sup>          | --       | -                  | -                  | 0                             | 0              | ++                    | -               | 0            | 0          |
| II. Fernwärme                       |          |                    |                    |                               |                |                       |                 |              | (+)        |
| a) Heizwerke                        |          |                    |                    |                               |                |                       |                 |              |            |
| Schweröl                            | +        | +                  | +                  | 0                             | -              | --                    | +               | -            |            |
| Heizöl extra leicht                 | +        | -                  | 0                  | --                            | -              | 0                     | +               | 0            | 0          |
| Erdgas                              | +        | --                 | -                  | +                             | +              | +                     | 0               | +            | ++         |
| Propan-Butan                        | +        | --                 | -                  | 0                             | -              | +                     | 0               | -            | -          |
| Müll                                | +        | ++                 | ++                 | ++                            | 0              | 0                     | -               | ++           |            |
| b) Heizkraftwerke                   |          |                    |                    |                               |                |                       |                 |              | (+)        |
| Schweröl                            | ++       | +                  | ++                 | 0                             | -              | --                    | +               | -            |            |
| Heizöl extra leicht                 | ++       | -                  | +                  | --                            | -              | 0                     | +               | 0            | 0          |
| Erdgas                              | ++       | --                 | -                  | +                             | +              | ++                    | 0               | +            | +          |
| Propan-Butan                        | +        | -                  | -                  | 0                             | -              | ++                    | 0               | -            | -          |
| Müll                                | +        | ++                 | ++                 | ++                            | 0              | 0                     | -               | +            | +          |
| Nukleare Wärme                      | +        | -                  | 0                  | +                             | 0              | +                     | -               | 0            |            |

<sup>1)</sup> ++ sehr positiv - negativ  
+ positiv -- sehr negativ  
0 neutral

<sup>2)</sup> aus nuklearen Kraftwerken

Die Anlagekosten des Wärmeverteilnetzes können einen wesentlichen Anteil an den Gesamtinvestitionskosten und dadurch an den Wärmegestehungskosten einer Fernheizung ausmachen und so deren Wirtschaftlichkeit beeinflussen. Sie hängen vom zeitlichen Verlauf des Ausbaus der FernwärmeverSORGUNG, von der Verlegungsart der Leitungen und vor allem der Grösse und Bauart der Siedlung (Wärmedichte) ab. Durch individuelle Gegebenheiten jedes Versorgungsgebietes variiert der Kostenanteil eines Verteilnetzes von 10 bis über 50% der Gesamtkapitalkosten des Fernheizungssystems. Dagegen spielen die Kosten der Abnehmeranlage eine untergeordnete Rolle.

Die in letzter Zeit durchgeföhrten Fernwärmestudien<sup>4)</sup> für Anschlussleistungen zwischen 60 und 1200 Gcal/h zeigen, dass die spezifischen Wärmeleistungskosten in Fr./Gcal/h je nach der Anschlussleistung des Bedarfs, der Relation zwischen den Investitionskosten des Heizwerkes und des Verteilnetzes und der im Endausbau vorgesehenen Wärmeleistung stark variieren; sie betragen zwischen 300 000 und 750 000 Fr./Gcal/h.

<sup>4)</sup> Von der Motor-Columbus Ingenieurunternehmung AG

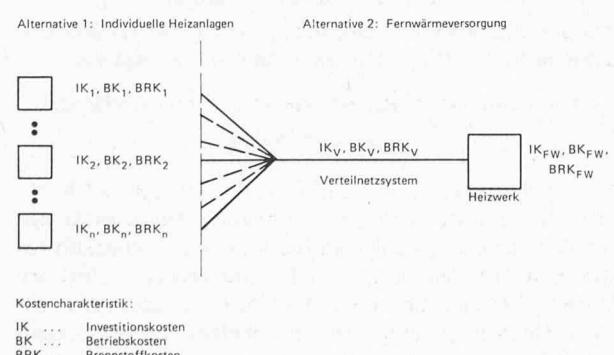


Bild 4. Alternativenvergleich der Wärmeversorgung

Der zeitliche Verlauf der Kapitalkosten für ein Fernwärmesystem im Vergleich mit dem notwendigen Kapitalaufwand der alternativen Lösung der individuellen Heizanlagen führt zur Erkenntnis, dass bei Einföhrung einer FernwärmeverSORGUNG ein grosser Kapitalaufwand für die erste Etappe des Heizwerkes und Verteilnetzes notwendig ist. In späteren Jahren treten dann nur die Kosten für den Ausbau des Verteilnetzes und die Erweiterung der Heizzentrale sowie die Erneuerung der elektromechanischen Anlageteile auf. Die individuellen Heizanlagen, deren Kosten sich aus Neuerstellungen, Erweiterungen und Ersetzen von Heizanlagen zusammensetzen, weisen einen dem Wärmebedarf entsprechenden Kostenverlauf auf.

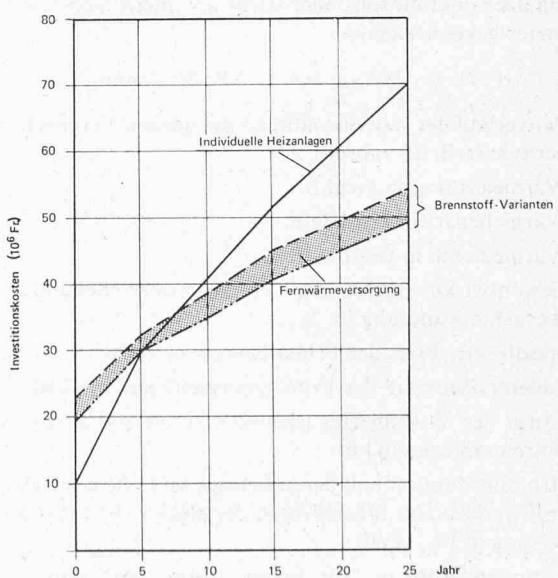


Bild 5. Kumulierte Investitionskosten (Fallstudie)

In Bild 5 ist der kumulierte Verlauf der Kapitalkosten beider Alternativen dargestellt, aus dem hervorgeht, dass eine Kostenüberschreitung im gegebenen Fall je nach der Brennstoffvariante zwischen dem fünften und siebten Jahr zu erwarten ist.

#### Alternativenvergleich

Der Wirtschaftlichkeitsbeurteilung jedes Investitionsprojektes soll ein Alternativenvergleich zugrunde gelegt, analysiert und ausgewertet werden. Anhand der vereinfachten Bilanz für zwei der häufigsten Wärmeversorgungsalternativen – individueller Heizanlagen, Alt. 1, und Fernwärmeverversorgung, Alt. 2 (siehe Bild 4) – werden diejenigen Kostenkomponenten definiert, die die ökonomische Auswahl massgebend beeinflussen:

$$\sum_{i=1}^n (IK_i + BK_i + BRK_i) \geq (IK_{FW} + BK_{FW} + BRK_{FW}) + (IK_V + BK_V + BRK_V)$$

| Alternative 1                 |                      |
|-------------------------------|----------------------|
| $IK_i$                        | = Investitionskosten |
| $BK_i$                        | = Betriebskosten     |
| $BRK_i$                       | = Brennstoffkosten   |
| individueller Heizanlagen $i$ |                      |
| Alternative 2                 |                      |
| $IK_{FW}$                     | = Investitionskosten |
| $BK_{FW}$                     | = Betriebskosten     |
| $BRK_{FW}$                    | = Brennstoffkosten   |
| $IK_V$                        | = Investitionskosten |
| $BK_V$                        | = Betriebskosten     |
| $BRK_V$                       | = Wärmeverluste      |
| der Fernwärmezentrale         |                      |
| des Verteilnetzes             |                      |

Es muss dabei die Bedingung erfüllt werden, dass die Alternativen miteinander vergleichbar sind. Sie beziehen sich deshalb auf die gleiche Zeitperiode und denselben Zeitverlauf des Wärmebedarfs, der durch die Wärmeleistung in Gcal/h, Jahreswärmebedarf in Gcal/Jahr oder Vollaststundenzahl in h/Jahr und Belastungsdiagramme (Charakteristik des Wärmekonsums) definiert ist.

Die Alternativen unterscheiden sich in den einzelnen Kostenkomponenten, die wiederum als Funktion von Wärmeleistung ( $IK_i$ ,  $IK_{FW}$ ,  $IK_V$ ), Wärmedichte in Gcal/h, km<sup>2</sup> ( $IK_V$ ), Vollaststundenzahl, Wirkungsgrad und Brennstoffpreis ( $BRK_i$ ,  $BRK_{FW}$ ), Standort der Wärmezentrale ( $IK_V$ ,  $BRK_{FW}$ ) ausgedrückt werden können. Ferner muss berücksichtigt werden, dass die Kosten in zeitlich unterschiedlichen Intervallen anfallen.

Zusammengefasst sind die direkten Kosten der Wärmeversorgung als Funktion folgender wichtiger, meist nichtlinearer Parameter gekennzeichnet:

- $$K = F(t, P, W, D, \eta_T, WP_{PR}, H_U, L, SP, A) = \min$$
- $t$  = Zeitverlauf der Kosten während der ganzen Vergleichsperiode (z. B. 25 Jahre)
  - $P$  = Wärmeleistung in Gcal/h
  - $W$  = Wärmebedarf in Gcal/Jahr
  - $D$  = Wärmedichte in Gcal/h, km<sup>2</sup>
  - $\eta_T$  = Gesamtwirkungsgrad der Primär- oder Sekundärenergiemwandlung in %
  - $WP_{PR}$  = Spezifischer Preis der Primärenergie in Fr./t
  - $H_U$  = Unterer Heizwert des Primärenergieträgers in Gcal/t
  - $L$  = Länge des Verteilnetzes (definiert durch Standort der Wärmezentrale) in km
  - $SP$  = Stromproduktion und deren Erträge im Falle des Heizkraftwerkes oder Stromkosten der elektrischen Raumheizung in Fr./MWh
  - $A$  = Annuitätsfaktor in %/a, definiert durch den Zinssatz und die Lebensdauer des Projektes

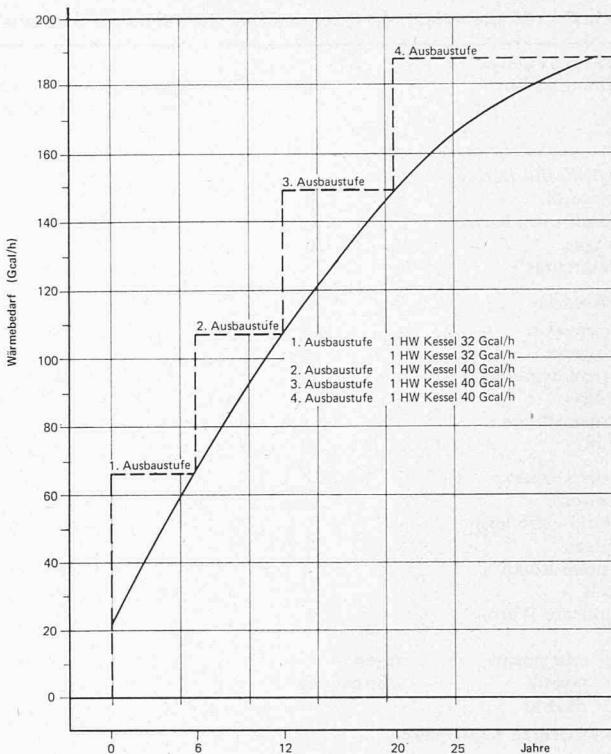


Bild 6. Ausbaustufen eines Heizwerkes (Fallstudie)

Die Wirtschaftlichkeit einzelner Wärmeversorgungsalternativen wird anhand folgender Kriterien geprüft:

- minimale spezifische Wärmegestehungskosten
- minimaler ökonomischer Wärmepreis
- minimaler interner Ertragssatz
- maximales Ertrag/Kosten-Verhältnis.

Um die spezifischen Wärmegestehungskosten zu ermitteln, sind zuerst für jede Alternative bzw. Variante die Jahreskosten zu berechnen. Die Jahreskosten bestehen aus den drei Komponenten Kapitaldienst, Betriebskosten und Brennstoffkosten (Stromkosten).

Der Kapitaldienst, welcher die auf ein Jahr umgerechneten Investitionskosten darstellt, wird jeweils aufgrund eines am Geldmarkt üblichen Zinssatzes oder einer gewünschten Rendite und der Lebensdauer der entsprechenden Anlage berechnet. Die Betriebskosten enthalten die laufenden jährlichen Ausgaben für Betriebsüberwachung, Unterhalt, Reparaturen, Administration usw. Die Brennstoff- bzw. Stromkosten, welche im Unterschied zum Kapitaldienst und den Betriebskosten nicht fest sind, sondern von der jährlichen Betriebsdauer abhängen, werden aufgrund der Primärenergiepreise und des Gesamtwirkungsgrades bzw. der Stromtarife bestimmt.

Die spezifischen Gestehungskosten der Fernwärmeverversorgung  $WK$  in Fr./Gcal können wie folgt ermittelt werden:

$$WK = \frac{\text{Kapitaldienst} + \text{Betriebskosten} + \text{Brennstoffkosten}}{\text{gelieferte Wärme}}$$

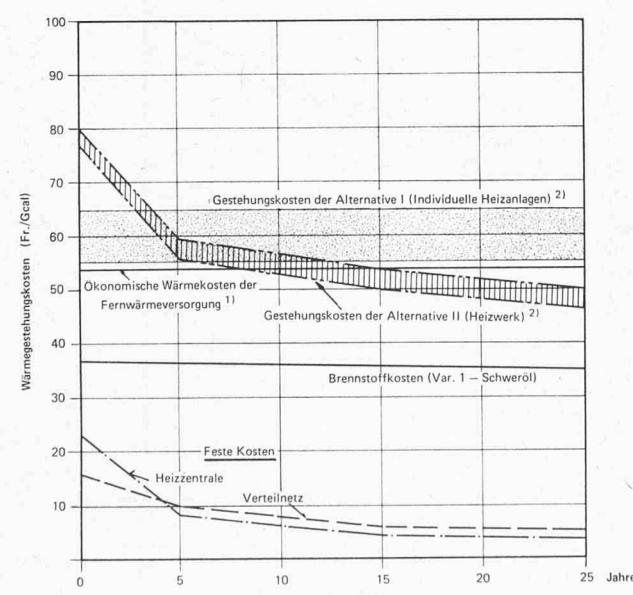
Da sowohl die Kapitaldienstkomponente als auch der Wärmebedarf und dadurch die Ausnutzung der Investitionen mit der Zeit variieren, stellt man die Wärmegestehungskosten als Funktion der Zeit dar. Dem kontinuierlich wachsenden Wärmebedarf stehen die in den Ausbaustufen durch Erweiterung der Heizanlage und des Verteilnetzes nur sprunghaft steigenden festen Kosten einzelner Erweiterungsphasen gegenüber (Bild 6).

Hingegen ist der Ausbau von individuellen Heizanlagen dem Wärmebedarf angepasst, was auch von Anfang an eine gute Ausnutzung der Investitionen bedeutet und zu zeitunabhängigen Gestehungskosten führt. Sie unterscheiden sich dann nur durch den Kapitaldienst, der von der Anschlussgrösse der individuellen Anlagen abhängt. Ein illustratives Beispiel der zeitlichen Verläufe der Wärmegestehungskosten für ein Fernwärmesystem und die Konkurrenzalternative der individuellen Heizanlagen ist in Bild 7 dargestellt.

Infolge hoher Investitionen für Heizzentrale und Verteilernetz und eines kleinen Wärmebedarfs überschreiten die Wärmekosten des Fernwärmesystems in den ersten Jahren die Gestehungskosten individueller Heizanlagen. Mit der Zeit setzen sich jedoch allmählich die Wirtschaftlichkeit grösserer Anlagen (kleinere spezifische Investitionskosten der Wärmezentrale – besserer Wirkungsgrad) und, in diesem konkreten Fall, auch die niedrigeren Brennstoffkosten der Schwerölvariante durch. Ab etwa dem fünften Jahr weist dann die Fernwärme günstigere Gestehungskosten auf.

Aus dem Verlauf der jeweiligen Gestehungskosten kann man jedoch selten einen Alternativausgleich vornehmen; sei es, dass die spezifischen Wärmekosten einer Alternative in der ganzen Periode den anderen Lösungen überlegen oder unterlegen sind. Ohne Berücksichtigung des Zeitfaktors ist es schwierig zu entscheiden, ob die Mehrkosten einer Alternative in der Anfangsperiode durch den günstigeren Verlauf in der späteren Zeitphase ökonomisch wettgemacht werden. Aus diesem Grund ist eine dynamische Betrachtung des Problems unerlässlich. Man führt den Begriff der «ökonomischen Wärmekosten», das heisst langfristige Wärmegestehungskosten, ein, die einen durch den Zeitfaktor gewichteten Mittelwert der Gesamtkosten darstellen und auf diese Weise die untere Grenze des Wärmeverkaufspreises des Fernwärmesystems repräsentieren.

Als ökonomisches Instrument für dieses Verfahren wird die sogenannte Barwert- oder «Discounted Cash Flow»-Methode angewendet. Sie ermittelt also denjenigen Wärme Preis, der neben der Deckung der laufenden Betriebs- und Brennstoffkosten auch die Rückzahlung der Investitionskosten, einschliesslich deren Verzinsung oder Rendite, garantieren würde.



<sup>1)</sup> Einschliesslich Kosten für Wärmeüberabestationen

<sup>2)</sup> Anschlusswert 0,25 bis 2,0 Gcal/h

Bild 7. Gestehungskosten der Wärmeversorgung (Fallstudie)

Tabelle 5. Wirtschaftlichkeitsvergleich der Brennstoffvarianten einer FernwärmeverSORGUNG (Iterationsverfahren)<sup>1)</sup>

| Variante der Ange-Brennstoffart | nommener Wärme-preis<br>(Fr./Gcal) | Barwert<br>der Netto-erträge<br>(Mio Fr.) | Ertrag/Aufwand-Verhältnis | Ökonomi-sche Wärme-kosten <sup>2)</sup><br>(Fr./Gcal) | Wirtschaft-liche Priorität |
|---------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------|
| Leichtöl                        | 55                                 | —10,86                                    | 0,945                     | 58,4                                                  | 2                          |
|                                 | 58                                 | — 1,36                                    | 0,993                     |                                                       |                            |
|                                 | 61                                 | + 8,13                                    | 1,040                     |                                                       |                            |
| Schweröl                        | 48                                 | — 1,35                                    | 0,994                     | 48,4                                                  | 1                          |
|                                 | 55                                 | +24,24                                    | 1,146                     |                                                       |                            |
|                                 | 58                                 | +33,73                                    | 1,203                     |                                                       |                            |
| Kombination                     |                                    |                                           |                           |                                                       |                            |
| Schweröl –                      | 55                                 | —18,27                                    | 0,912                     |                                                       |                            |
| Erdgas                          | 58                                 | — 8,77                                    | 0,957                     | 60,80                                                 | 3                          |
| (50/50)                         | 61                                 | + 0,71                                    | 1,003                     |                                                       |                            |

<sup>1)</sup> Diskontsatz von 7 %

<sup>2)</sup> Ausschliesslich die Kosten für Übergabestationen

Das Prinzip der Barwertmethode besteht darin, dass der Fluss der in den einzelnen Jahren anfallenden Betriebs-, Brennstoff- und Investitionskosten diskontiert und aufsummiert wird. Dasselbe geschieht auch mit den Einnahmen, wobei als Diskontsatz jener Zinssatz gewählt wird, welcher der gewünschten Rendite oder den Kreditkosten entspricht. Ist nun die Differenz des Barwertes der Ausgaben und der Einnahmen gleich Null, kann gesagt werden, dass der gewünschte Zinssatz oder die Rendite erreicht wird und dass die Defizite der ersten Jahre durch höhere Einnahmen in späteren Jahren, auch unter Berücksichtigung des Zinseszinses, vollständig ausgeglichen werden. Falls der Barwert der Ausgaben höher ist als jener der Einnahmen, könnte die gewünschte Rendite nicht garantiert werden. Um sie zu erreichen, müsste man den den Einnahmen zugrundeliegenden Einheitspreis erhöhen, bis die Differenz der Barwerte gleich Null ist.

In den Kosten- und Ertragsflüssen können alle Nebenwirkungen des Wärmeversorgungssystems berücksichtigt werden, die während der Untersuchungsperiode anfallen und die in Franken ausgedrückt werden können, wie monetäre Belastung der Anlagen für Umweltbelastung, Besteuerung, finanzielle Subventionen usw.

Die Barwertmethode wird mit grossem Vorteil für das ganze Optimierungsverfahren angewendet, d.h. für die Bestimmung der ökonomisch optimalen Parameter einer Wärmeversorgung, wie Typ, Grösse, Einheitsgrösse, Ausbauperioden, Brennstoffart, Standort usw. Insbesondere in Verbindung mit Computern ermöglicht sie die Berechnung einer grossen Anzahl von Varianten. Das beschriebene Verfahren ist in Tabelle 5 numerisch und in Bild 8 graphisch für einen Variantenvergleich der Brennstoffarten dargestellt.

Die ökonomischen Wärmekosten werden durch Interpolation ermittelt und jeweils für den Gegenwert der Nettoerträge gleich Null und/oder Ertrag/Aufwand-Verhältnis gleich 1,0 definiert. Sie werden dann mit Gestehungskosten anderer Alternativen der Wärmeversorgung verglichen (siehe Bild 7).

In Bild 9 ist eine andere Form des Wirtschaftlichkeitsvergleichs gezeigt, nämlich die graphische Darstellung der internen Ertragssätze (Rendite) für die Optimierung der Brennstofffeuerung in der Abhängigkeit von Wärmeverkaufspreisen. Aus dem Diagramm kann z.B. abgelesen werden, dass für einen gewählten Verkaufspreis von 58 Fr./Gcal sich für Leichtölfeuerung ein interner Ertragssatz von 6,5 % ergibt, für Feuerung mit Heizöl e.l. etwa 3,7 % usw. Der auf diese Weise jeweils berechnete Ertragssatz muss im Minimum gleich oder grösser sein als der übliche Zinssatz oder die vorgeschriebene

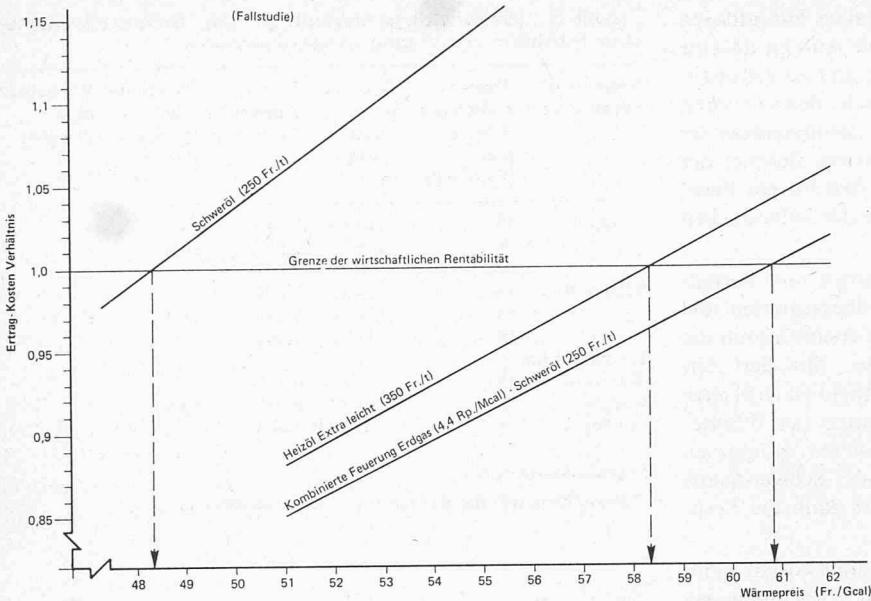


Bild 8. Wirtschaftlichkeitsvergleich der FernwärmeverSORGungsalternativen anhand der Barwertmethode (Fallstudie)

Rendite. Diese Form ermöglicht ferner einen Vergleich nach dem Kriterium des maximalen Ertrag/Kosten-Verhältnisses, indem für einen vorbestimmten Ertragssatz (z. B. 7%) die Werte des Ertrag/Kosten-Indexes ermittelt werden. Als Parameter ändert man wieder den Wärmeverkaufspreis.

Wie schon erwähnt, erlaubt die dynamische Methode der Wirtschaftlichkeitsbeurteilung, neben den privatwirtschaft-

lichen Gesichtspunkten auch den volkswirtschaftlichen Aspekten Rechnung zu tragen. Um die WärmeverSORGungsvarianten in einen ökonomischen Einklang mit Zielen der überregionalen und gesamtschweizerischen Energieplanung zu bringen, können die effektiven Werte der Kosten und Erträge durch sogenannte Schattenpreise modifiziert werden.

Ein Bestandteil jeder Wirtschaftlichkeitsuntersuchung ist die sogenannte Sensitivitätsanalyse. Deren Ziel ist es, die Empfindlichkeit der erzielten Resultate auf Änderung wichtiger Input-Faktoren der Wirtschaftlichkeitsrechnung zu ermitteln. Auf diese Weise wird vor allem Rücksicht auf die Genauigkeit der notwendigen Kostenschätzungen genommen, indem man die Hauptkomponenten, wie Investitions- und Brennstoff-

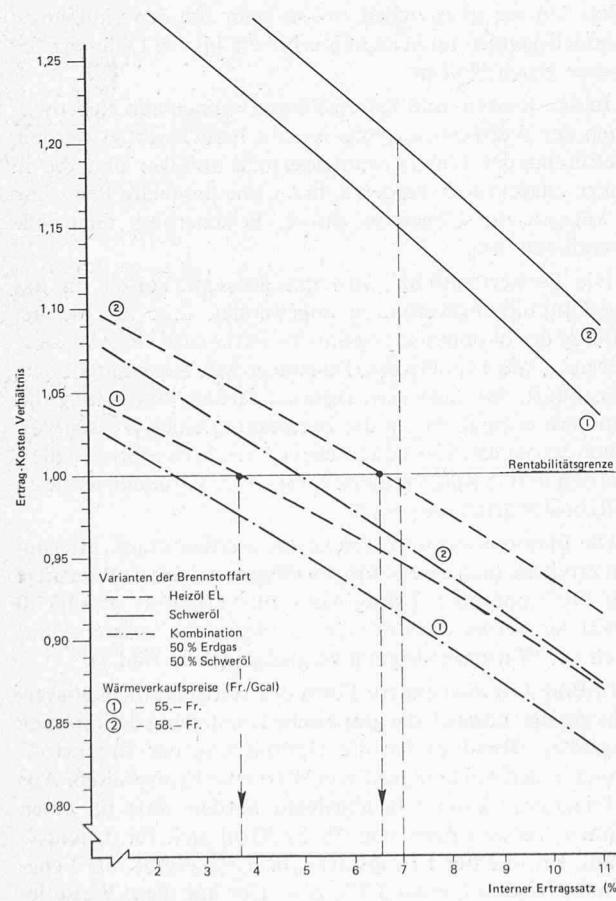


Bild 9. Interner Ertragssatz der FernwärmeverSORGung als Funktion der Wärmepreise (Fallstudie)

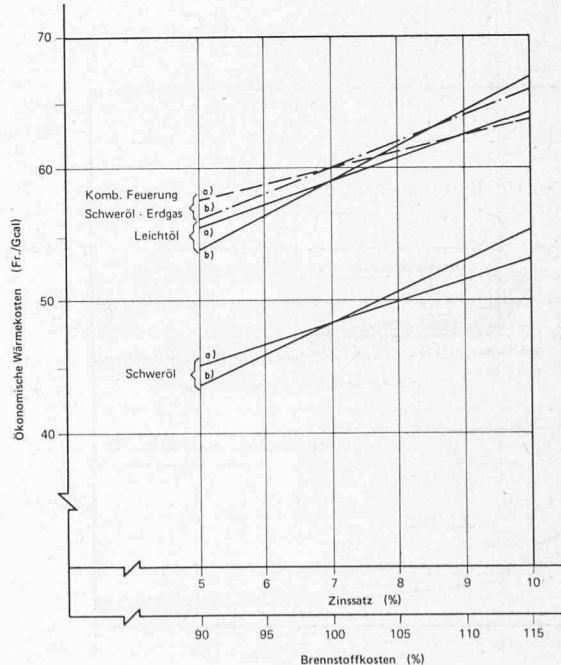


Bild 10. Sensitivitätsanalyse: Ökonomische Wärmekosten als Funktion: a) des Zinssatzes, b) des Brennstoffpreises (Fallstudie)

kosten, variieren lässt. Ausserdem kann z.B. der Einfluss des Zinssatzes auf die ökonomischen Wärmekosten analysiert werden, wie die Bilder 9 und 10 zeigen.

### Finanzielle Analyse

Falls sich ein Fernwärmevergungssystem als technisch und wirtschaftlich opportun erweist, wird in einer weiteren Phase der Wärmevergung seine finanzielle Faktibilität geprüft. Als Grundlage für die finanzielle Analyse dient der Investitions- und Betriebskostenplan, ausgearbeitet für die ganze Bau- und Betriebsperiode des Projektes. Er enthält den Zeitverlauf der Investitionskosten für Ausbau, etappenweise Erweiterung und Erneuerung der Wärmeerzeugungsanlage und des Verteilnetzes, wobei der effektive und zu erwartende Inflationstrend berücksichtigt wird. Anhand der effektiven Wärmeverkaufspreise werden dann dem Wärmeabsatz entsprechende Erträge ermittelt.

Die effektiven Wärmeverkaufspreise können im allgemeinen höher als die ökonomischen Wärmekosten liegen, um weitere Vorteile der Fernwärmevergung für den Abnehmer gegenüber den individuellen ölfbeuerten Heizanlagen auszudrücken, wie grössere Betriebsflexibilität, Versorgungssicherheit, Anpassungsfähigkeit auf Ölpreisseigerungen oder Öllieferungsauswahl durch kombinierte Feuerungen und auch grösserer Komfort.

In der *Gewinn-und-Verlust-Rechnung* werden dann die jährlichen Betriebskosten den Erträgen gegenübergestellt, die Betriebsdefizite bzw. Überschüsse bestimmt und der Verlauf der Rendite des Eigenkapitals oder die Kapitalverzinsung berechnet. Aus der Analyse des «Kapitalflusses» werden einerseits die Herkunft der Investitionsmittel, seien es die Steuergelder der Gemeinde, eigene Mittel der Trägerschaft, Anleihen, Kredite usw., und anderseits ihre Anwendung spezifiziert, z.B. für den Anlagebau, die Rückzahlung der Fremden Mittel usw. Dabei wird normalerweise der Einfluss verschiedener Finanzierungsarten und evtl. Wärmeverkaufspreise auf die Liquidität des Projektes, d.h. seine finanzielle Stabilität, untersucht werden. Gleichzeitig muss ein Modus finanzieller Überbrückung der anfänglichen Betriebsdefizite, die ein Fernwärmesystem charakterisieren, gefunden werden.

In der *Kapitalbilanz* wird gezeigt, wie die Aktiven des Projektes durch Eigen- und Fremdkapital gedeckt sind und wie das Verhältnis Fremdkapital/Eigenkapital variiert.

Die auf diese Art umfassende Analyse sollte etliche Engpässe der Bau- und Betriebsfinanzierung des Projekts entdecken und konkrete finanzielle Massnahmen vorschlagen, durch die die Betriebsdefizite der Wärmevergung, auch unter pessimistischen Voraussetzungen, in tragbaren Grenzen gehalten werden können. Das ganze Projekt muss dann langfristig die notwendige Verzinsung des Fremdkapitals und die erwartete Rendite auf eigenes Kapital aufbringen.

Auch die Finanzrechnungen sind auf die Änderungen der Schlüsselfaktoren wie Investitionskosten einschliesslich Teuerung, Brennstoffkosten, Personalkosten, Finanzierungsmodus usw. zu prüfen, um das Risiko schwerwiegender finanzieller Konsequenzen der Projektrealisation zu vermeiden.

Sollte sich eine ökonomisch optimale Alternative der Wärmevergung als finanziell undurchführbar erweisen, wählt man die ökonomisch zweitbeste Lösung, und das ganze Verfahren der Finanzanalyse wird wiederholt (siehe Bild 1).

### Andere Aspekte der Wärmevergung

Es liegt in der Natur der Wärmevergung, vor allem des Fernwärmesystems, dass nicht alle ihre Aspekte direkt quantifizierbar sind.

Dies betrifft die technische Durchführung, insbesondere die Standortbestimmung der Heizzentrale sowie die Leitungs-

führung des Heiznetzes. Der Besitz oder die Möglichkeit zum Erwerb von Land und Rechten, Bewilligungs-, Entschädigungs- und Enteignungsprobleme spielen eine wesentliche Rolle, so dass die Verwirklichung eines solchen Projektes immer einen Kompromiss zwischen dem technisch Wünschbaren, dem ökonomisch Optimalen, finanziell Realisierbaren und dem politisch-rechtlich Möglichen darstellt.

Ein weiterer wesentlicher Aspekt ist die Frage nach dem Vorgehen zur Verwirklichung derartiger Projekte. Hierzu wird oft eine Volksabstimmung notwendig sein, in welcher ein Prinzipentscheid zu fällen ist, der die Fernwärmevergung zur Gemeindeaufgabe erklärt oder einer anderen Form der Trägerschaft zustimmt. Gleichzeitig wird sie über einen Projektierungskredit entscheiden.

Falls nicht schon unter den technischen und ökonomischen Aspekten berücksichtigt, wird die empfohlene Form der Wärmevergung jedenfalls aus der Sicht der energiepolitischen Zielfunktionen für regionale und überregionale Energieplanung bewertet.

### Schlussbetrachtung

Die Wärmevergungsplanung ist durch folgende grundsätzliche Merkmale gekennzeichnet:

- Zeitlich bezieht sie sich auf einen mittel- bis langfristigen Planungshorizont
- Geographisch berücksichtigt sie kommunale, regionale und überregionale energiepolitische Zielsetzungen
- Technisch stellt sie ein komplexes System dar
- Neben den technischen Studien sind auch eingehende Analysen der Wirtschaftlichkeit und finanziellen Durchführbarkeit vorzunehmen
- Ökonomisch sind beide - privatwirtschaftliche und volkswirtschaftliche - Auswirkungen der Wärmevergung zu berücksichtigen
- Energiepolitisch handelt es sich um Aspekte, die die politische, wirtschaftliche und strategische Unabhängigkeit des Staates mitbeeinflussen, indem sie auf entsprechender Ebene eine sichere, haushälterische, preiswürdige und umweltgerechte Form der Wärmevergung fördern
- Im Falle der Fernwärmevergung wird über grosse Investitionen entschieden werden.

Aus dieser Charakteristik geht hervor, dass die Wärmevergungsplanung auf allen Ebenen eine fundierte, komplexe, verantwortungsvolle und von Fall zu Fall sehr unterschiedliche, den jeweiligen Gegebenheiten Rechnung tragende Wärmestudie verlangt.

Die sich aus grundsätzlichen energiepolitischen und wirtschaftlichen Überlegungen ergebende Tendenz zugunsten der Fernwärmesysteme muss in jedem konkreten Fall auch ökonomisch und finanziell begründet werden.

### Literaturverzeichnis

- [1] Der zukünftige Energiebedarf: Eine Herausforderung. Komitee für Energiefragen des Schweizerischen Nationalkomitees der Weltenergiokonferenz. «Bull. SEV» VSE 65 (1974) 19, 21. September.
- [2] R. Hohl: Einwirkungen der Energieerzeugung auf die Umwelt. «Schweizerische Bauzeitung» 92 (1974), Heft 17.
- [3] Städtefernheizung. Bericht im Auftrag des Eidg. Amtes für Energiewirtschaft, ausgearbeitet von der Firma Gebrüder Sulzer AG, Winterthur, im Januar 1974.
- [4] D. Vischer, V. Bohm: Die Beurteilung von Projekten anhand der Nutzen-Kosten-Analyse. «Schweizerische Bauzeitung» 89 (1971), Heft 52.
- [5] Wirtschaftlichkeit der elektrischen Raumheizung. Bericht der Schweizerischen Kommission für Elektrowärme, Zürich 1974.

Adresse des Verfassers: P. Kalas, dipl. Ing., Motor-Columbus AG, Baden.