Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 99 (1981)

Heft: 44

Artikel: Wechselwirkungen zwischen der Siedlungsstruktur und Wärmeversorgungssystemen

Autor: Roth, Ueli / Häubi, Fritz

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-74579

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: 10.07.2025

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

Wechselwirkungen zwischen der Siedlungsstruktur und Wärmeversorgungssystemen

Von Ueli Roth und Fritz Häubi, Zürich

In Heft 29/1980 des «Schweizer Ingenieur und Architekt» ist eine Zusammenfassung des im Titel genannten Forschungsprojektes mit[1] den wesentlichsten Resultaten erschienen. Dieser ergänzende Beitrag stellt die angewendete, betriebswirtschaftliche Zuordnungsmethode von Wärmeversorgungssystemen zur Raum- und Siedlungsstruktur dar.

Die Frage nach der Zuordnung von Wärmeversorgungssystemen zu Raum- und Siedlungsstrukturen ist vergleichbar mit der seit langem bekannten planerischen Frage nach der Zuordnung von Verkehrssystemen zu Siedlungsformen; es geht letztlich darum, für bestimmte Bau- und Siedlungsformen die jeweils «passende» Art der Wärmeversorgung zu ermitteln.

Energieversorgungssysteme können unter verschiedenen Gesichtspunkten zu Siedlungsstrukturen «passen», die Frage nach passender Technik impliziert jedoch immer das Problem, diese Zuordnung unter einem oder mehreren Gesichtspunkten zu optimieren. Solche *Optimierungen* sind beispielsweise unter den folgenden Aspekten möglich:

- *Betriebswirtschaftlich:* Minimierung der Kostenbelastung für den einzelnen Verbraucher
- *Energetisch:* minimaler Primärenergieeinsatz, Schonung von Ressourcen, optimale Nutzung der Energiewertigkeit
- *Energiewirtschaftlich:* hohe und gleichmässige Kapazitätsauslastung von Versorgungseinrichtungen, Gewährleistung der Versorgungssicherheit
- *Städtebaulich:* Verträglichkeit städtischer Funktionen und erhaltenswerter Bausubstanz mit energietechnischen Einrichtungen und Arbeiten
- *Raumordnerisch:* Minimierung räumlicher Disparitäten z.B. durch Vermittlung ausgleichender Beschäftigungsimpulse oder durch Ausgleich höherer Wärmekosten in strukturschwachen Gebieten.

Unter diesen möglichen Optimierungsansätzen, die bei weitem nicht abschliessend aufgezählt sind, wurde im Rahmen dieser Studie vom *betriebswirtschaftlichen* ausgegangen, der durch die übrigen ergänzt wird. Dazu waren zwei Überlegungen ausschlaggebend:

- Unter *marktwirtschaftlichen* Verhältnissen sind politische Zielsetzungen (Energiepolitik, Raumordnungspolitik) letztlich nur dann durchsetzbar, wenn für den Einzelnen – in diesem Fall den Wärmeverbraucher – keine unzumutbaren finanziellen Lasten auftreten; dies erfordert den Nachweis, dass wünschbare Massnahmen zumindest im Bereich einzel-betriebswirtschaftlicher Optima liegen.
- Betriebswirtschaftliche Optimierungen, die sich im Gegensatz zu den meisten übrigen *quantifizieren* lassen, enthalten einen gewissen *Spielraum* zur Realisierung übergeordneter Zielsetzungen. Es gilt, diesen Spielraum zu erkennen und zu prüfen, inwieweit er politischen Absichten nutzbar gemacht werden kann bzw. in welchen Bereichen Divergenzen zwischen privater Eigenwirtschaftlichkeit und staatlichen Notwendigkeiten durch gezielte Eingriffe korrigiert werden müssen.

Zentrales Anliegen der Studie war die integrale Betrachtung von Wärmeschutzmassnahmen und Wärmeversorgung. Damit ist eine Betrachtungsweise gemeint, die Wärmeversorgung nicht als reines Wärmeerzeugungs- und Verteilproblem auffasst, sondern als optimale Kombination von baulichem Wärmeschutz und Wärmezuführung. Dabei ist zu vermuten, dass ein optimales Mass an Wärmeschutz für einen bestimmten Bau in einem gewissen Ausmass vom vorgesehenen Wärmeversorgungssystem abhängt.

Kern der Methode ist ein einfacher betriebswirtschaftlicher Kostenvergleich. Für jede in Betracht gezogene Kombination von Siedlungstypen mit Wärmeversorgungssystemen wird die minimale Summe der jährlichen Kosten von Wärmeschutzmassnahmen (Kapital und Unterhalt) und entsprechenden Heizkosten (Energie, Betrieb, Unterhalt, Kapital) gesucht.

Vergleicht man mehrere Möglichkeiten der Wärmeversorgung für eine bestimmte Bausubstanz, so sind jene als konkurrenzfähig, d.h. unter betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten als geeignet zu bezeichnen, deren Gesamtkostenminima ähnliche, im Vergleich zu anderen Systemen relativ niedrige Werte aufweisen (Bild 2).

Voraussetzung für eine solche Optimierung ist die vergleichbare Aufbereitung aller wesentlichen Informationen bezüglich:

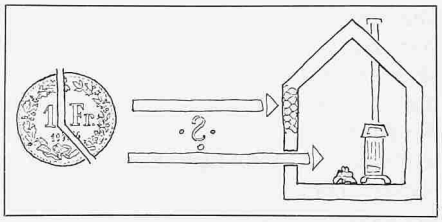


Bild 1. Das Problem: die optimale Aufteilung der Aufwendungen für Wärmeschutz und Wärmezuführung

- Möglichkeiten und Kosten der Wärmeversorgung
- Bau- und Siedlungsstruktur
- Möglichkeiten und Kosten der Wärmeeinsparung.

Ausgehend von der Tatsache, dass sowohl bauliche als auch wärmetechnische Entscheide ausgesprochen langfristig wirken, sind der Verknüpfung *zukünftige Verhältnisse* in Form von *Szenarien* zugrunde zu legen. Szenarien – d.h. plausible Bilder denkbarer Zukünfte – werden anhand einiger als relevant betrachteter *Randbedingungen* (exogene Parameter) definiert. Im Gegensatz zu Prognosen enthalten Szenarien keine Aussagen über die Eintretenswahrscheinlichkeit der jeweiligen Zustände; es handelt sich lediglich um eine *«wenn–dann»*-Argumentation. Der Vorteil der *Berechnung* der Auswir-

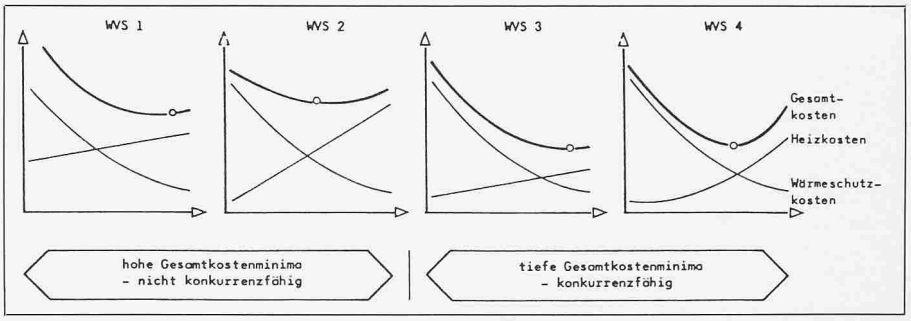


Bild 2. Evaluation von Wärmeversorgungssystemen (WVS) durch Vergleich der Gesamtkostenminima bezüglich einer baulichen Situation

[1] Bundesminister für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau. Forschgungsprojekt: «Wechselwirkungen zwischen der Siedlungsstruktur und Wärmeversorgungssystemen». Durchgeführt vom Büro «ur», Ueli Roth, Zürich. Schriftenreihe «Raumordnung» des BMBau, Nr. 06.044. Bonn 1980.

kung verschiedener Szenario-Annahmen in diesem Forschungsprojekt liegt in der quantitativen Erkenntnis über die Empfindlichkeit optimaler Zuordnungen von Wärmeschutz und Wärmezuführung bezüglich veränderter Randbedingungen.

Die Rechenergebnisse dieser Szenarien gestatten anschliessend eine retrograde Beurteilung der Wünschbarkeit der Szenarien-Randbedingungen unter energetischen, volkswirtschaftlichen, sozialen, raumordnerischen Gesichtspunkten und können so Grundlage politischen Handelns sein. Die Gesamtarbeit, deren Kern der gezeigte betriebswirtschaftliche Optimierungsansatz ist, gliedert sich in fünf hauptsächliche Sachbereiche (Bild 3):

- den Beschrieb der Siedlungs- und Raumstruktur in modellhafter Form
- die Analyse der Möglichkeiten zur Wärmeeinsparung durch bauliche Massnahmen
- den Vergleich von Technik und Kosten der Wärmeversorgung
- die betriebswirtschaftliche Optimierung von Wärmeschutz und Wärmezuführung mit Evaluation wirtschaftlicher Wärmeversorgungssysteme und der Schätzung von Auswirkungen auf den Wärmemarkt
- die Bewertung der betriebswirtschaftlichen Optimierungen unter energetischen, raumordnerischen etc. Gesichtspunkten und die Herleitung praxisorientierter Empfehlungen.

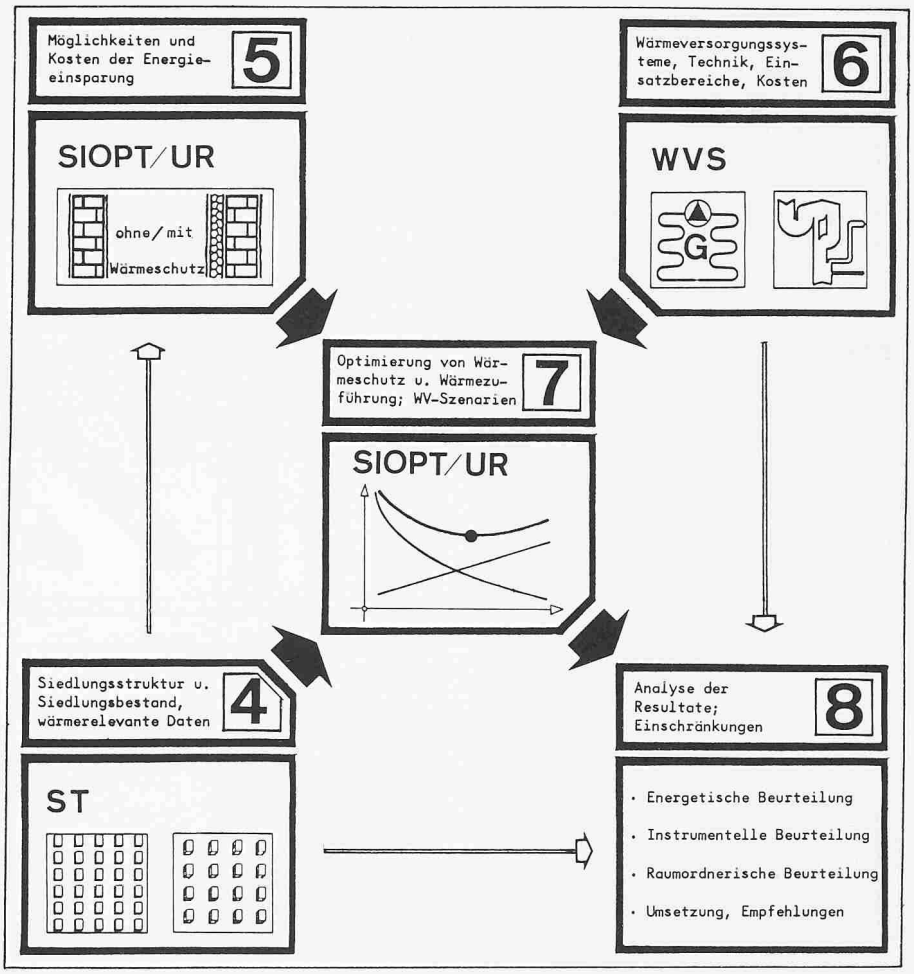


Bild 3. Thematische Gliederung der Studie, Zusammenhang der Teilarbeiten. ST Siedlungstypen; WVS Wärmeversorgungssystem; SIOPT/UR Optimierung unter Verwendung des Programmpaketes SIOPT/UR (Büro «ur»)

Raum- und Siedlungsstruktur

Die typisierende Beschreibung der Raum- und Siedlungsstruktur hat zum Ziel, vielfältige bauliche und raumstrukturelle Sachverhalte für die Zwekke dieser Studie operabel, d.h. anschaulich und quantifizierbar zu machen.

Ein Satz von neun, vorwiegend unter städtebaulichen Gesichtspunkten definierten *Siedlungstypen,* welche durch bau- und wärmetechnische Daten (Datenprofile) näher bestimmt sind, dient als Grundlage zur Wärmebedarfsberechnung, zur Ermittlung von Wärmeschutzkosten und anderer baubezogener wärmetechnischer Fragen (Bild 4).

Damit die zunächst siedlungstypenbezogenen Aussagen über die Einsatzmöglichkeiten und Einsatzbedingungen von Wärmeversorgungssystemen bewertet werden können, ist ein quantitativer Nachweis des Siedlungsbestandes erforderlich. Mit statistischen Methoden gelang es, den Baubestand grösserer Räume nach Siedlungstypen aus vorhandenen statistischen Daten (vor allem Gebäude- und Wohnungsstatistik) zu errechnen.

Da sowohl im Angebot auf dem Wärmemarkt als auch in der Siedlungsstruktur wesentliche Unterschiede zwischen städtischen und ländlichen Räumen bestehen, und um szenarienmässig die wärmewirtschaftliche Auswirkung von *räumlichen Trend- und Kontrastentwicklungen* quantifizieren zu können, werden in einem einfachen Raumstruktur-Modell vier *Raumtypen* (RT) unterschieden (Bild 5).

Diese Raumtypen basieren z.T. auf der durch die deutsche Akademie für Raumordnung vorgenommenen Ausscheidung von Stadtregionen; sie sind kurz wie folgt charakterisiert:

- RT 1: Kernstädte von (grossen) Stadtregionen
- RT 2: Aussenzonen von Stadtregionen
- RT 3: Mittelstädte von über 10 000 Einwohnern ausserhalb von Stadtregionen
- RT 4: Dörfliche Siedlungen im ländlichen Raum

Damit gegebenenfalls auch regionale Unterschiede sichtbar gemacht werden können, wurde dem System der Raumtypen der Gebietsraster der 38 Gebietseinheiten für das Bundesraumordnungsprogramm überlagert.

Energieeinsparungen durch bauliche Massnahmen

Die Untersuchung über Einsparungsmöglichkeiten durch bauliche Massnahmen umfasst drei Teilbereiche:

- die Ermittlung des heutigen Wärmebedarfs
- die Analyse von Kosten und Nutzen der Massnahmen zur Verringerung der Wärmeverluste (Wärmeschutz)
- die ansatzweise Erfassung von «passiven» Wärmegewinnen, insbesondere von Strahlungsgewinnen als Grundlage energie- und klimagerechten Siedlungsbaus.

Bild 6 zeigt summarisch den Wärmehaushalt von Gebäuden im Zusammenhang mit den gezeigten Problemkreisen.

Die Ermittlung des *Wärmebedarfs* erfolgt nach einem aus den einschlägigen deutschen Normen (DIN 4701, DIN

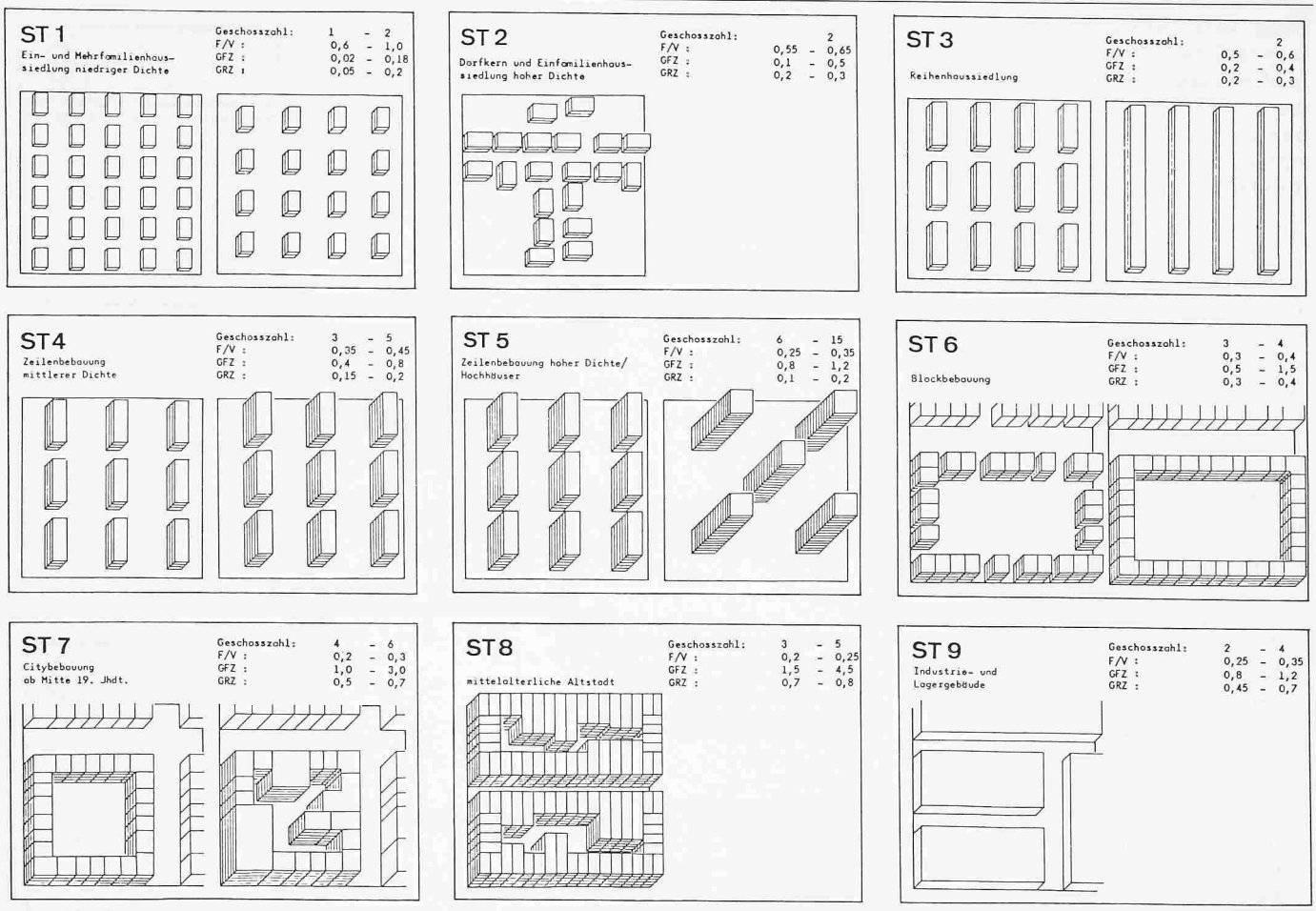


Bild 4. Siedlungstypenmodell, Übersicht

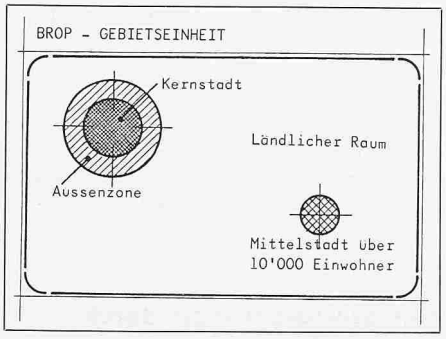
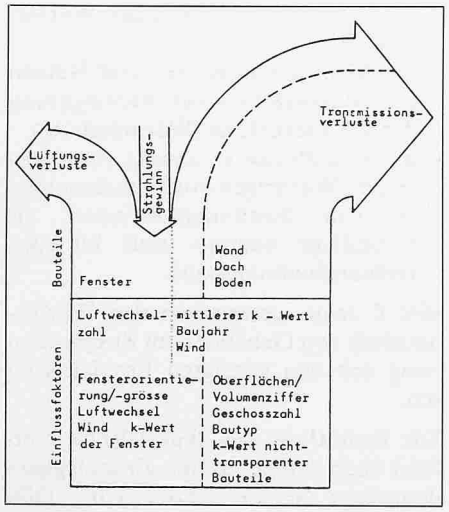


Bild 5. Raumstrukturmodell, schematische Gliederung der Raumtypen (RT)

Bild 6. Schematische Darstellung von Einflüssen der Bauweise auf den Wärmebedarf von Gebäuden



4108 und VDI 2067)[1] abgeleiteten Verfahren, welches den Besonderheiten und dem statistischen Charakter dieser Studie entspricht. Im Zentrum dieser Teilarbeit stand die kostenmässige *Optimierung von Wärmeschutzmassnahmen.*

Die Modellgebäude der neun Siedlungstypen wurden in *Gebäudehüllenelemente* gegliedert; dies sind wärmeübertragende Bauteile ähnlicher Konstruktion, die mit den gleichen Massnahmen verbessert werden können. In erster Näherung besteht jedes Gebäude aus den vier Hauptelementen:

- geschlossene Aussenwände (Mauern)
- Dach
- Öffnungen (Fenster, Türen)
- Boden oder Decke gegen Kellerräume.

Den Gebäudehüllenelementen wurden charakteristische Verbesserungsmassnahmen und Verbesserungskosten zugeordnet (Bild 7).

Die Rendite von Wärmeschutzmassnahmen hängt einerseits von den Wärmeschutzkosten und andererseits in nicht-linearer Weise von den gegebenen bauphysikalischen Voraussetzungen ab. Es stellte sich das Problem, die

[1] DIN 4701: «Heizungen, Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden» entspricht weitgehend dem Hauptteil von SIA 380, «Wärmeleistungsbedarf von Gebäuden». Die Berechnungsvorschriften stimmen mehrheitlich überein; wichtigstes Ziel ist die Bestimmung von Transmissions- und Lüftungsverlusten von Gebäuden und einzelnen Räumen.

DIN 4108: «Wärmeschutz im Hochbau» lässt sich mit der SIA-Empfehlung 180/1 «Winterlicher Wärmeschutz im Hochbau» vergleichen. In ihren derzeitigen Fassungen verlangen beide Normen einen Wärmeschutz, der über bauphysikalische und wohnphysiologische Minima hinaus dem Ziel rationeller Energieverwendung gerecht wird. Im Ansatz entsprechen sich die Nachweisverfahren (Nachweis eines maximal zulässigen mittleren k-Wertes in Abhängigkeit vom Verhältnis zwischen Gebäudeoberfläche und beheiztem Volumen). Unterschiede bestehen in der Berechnungsweise des mittleren k-Wertes und in den gestellten Anforderungen (Beispiel: Einfamilienhaus, $F/V = 1.0\ m^{-1}$: $k_{m_{zul}}$ nach SIA 180/1 = 0.6 W/m²K (bezogen auf 500 müM und $t_i = 20\ °C$), $k_{m_{max}}$ nach DIN 4108 = 0.78 W/m²K; die schweizerischen Anforderungen sind höher). Während es sich bei SIA 180/1 lediglich um eine Empfehlung handelt, erlangte DIN 4108 als Grundlage der seit August 1977 in Kraft befindlichen, praktisch gleichlautenden Wärmeschutzverordnung de facto Rechtskraft.

VDI 2067: «Wirtschaftlichkeitsberechnung von Wärmeverbrauchsanlagen»; diese Richtlinie ist mit dem Anhang zu SIA 380 vergleichbar. Sie dient unter anderem zur Berechnung des jährlichen Energie-(Brennstoff-)Verbrauchs. Obwohl die gleichen Grundlagen verwendet werden, weichen die Berechnungsweisen im einzelnen deutlich voneinander ab (z.B. «Hottingerformel» nach SIA 380 und jährliche Vollaststunden nach VDI 2067)

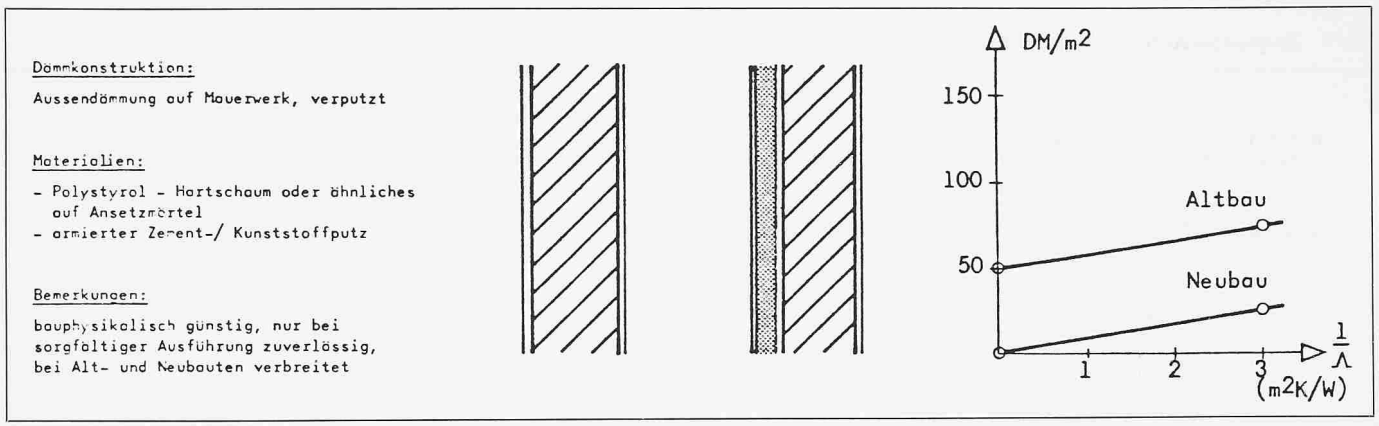


Bild 7. Beispiel einer Wärmeschutzkonstruktion mit zugehöriger Kostenkurve

Wärmeschutzaufwendungen so auf einzelne Verbesserungsmassnahmen zu verteilen, dass mit dem eingesetzten Kapital eine maximale Wärmeeinsparung erzielt wird. Zu diesem Zweck wurde das computerunterstützte Rechenverfahren SIOPT/UR entwickelt.

Optimale Wärmeschutzlösungen werden meistens nur erreicht, wenn verschiedene *Massnahmen* miteinander *kombiniert* werden. Unter der Vielzahl möglicher Kombinationen (bei n Einzelmassnahmen ergeben sich 2^n-1 Kombinationsmöglichkeiten) ist nur eine beschränkte Zahl wirtschaftlich. Geht man davon aus, dass mit einem bestimmten *Kapitaleinsatz* die *höchstmögliche Senkung des Energiebedarfs* erreicht werden soll, so ist die Kurve der Wärmeschutz- oder Energieeinsparungskosten eine Überlagerung der Kostenkurven verschiedener Einzelmassnahmen und Massnahmenkombinationen, die in bestimmten Bereichen wirtschaftlich sind. Bild 8 zeigt den Verlauf der Wärmeschutzkosten in Abhängigkeit vom Wärme- oder Energiebedarf exemplarisch für drei verschiedene Massnahmen, von denen zwei einen wirtschaftlichen Bereich aufweisen und eine «kostenineffizient» ist.

Bild 9 (folgende Seite) zeigt einen Computerausdruck, der für ein konkretes Gebäude Kombinationen von Energiesparmassnahmen mit jeweils - gemessen am Kapitaleinsatz - maximaler Wirkung oder Rendite im Überblick darstellt. Es ist ersichtlich, welche Massnahmenkombinationen in welcher Reihenfolge in die Optimierung einbezogen werden.

Bild 10 zeigt beispielhaft in einer grafischen Darstellung den Wärmeleistungsbedarf eines Bauwerkes in Abhängigkeit von Wärmeschutzaufwendungen bei optimalem Kapitaleinsatz. Ausgangspunkt 100% Wärmebedarf ist für Altbauten der Ist-Zustand, für Neubauten die DIN-Norm 4108 bzw. die etwa entsprechende Wärmeschutzverordnung 1977 zum Energieeinsparungsgesetz von 1976.

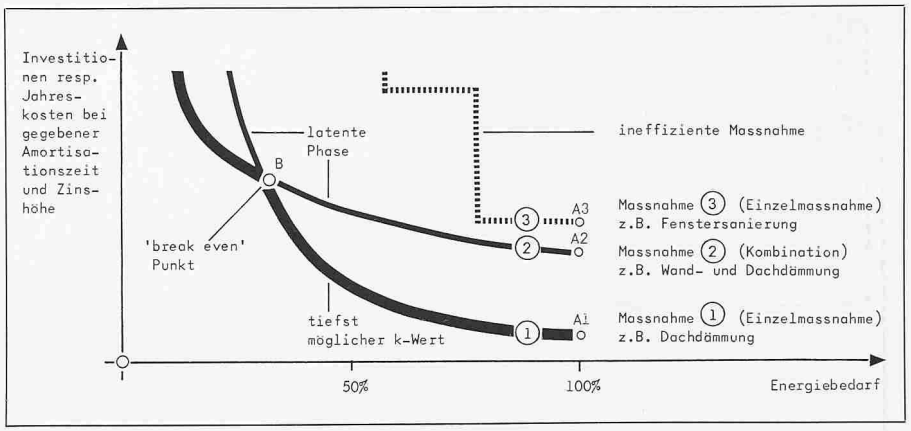


Bild 8. Typischer Verlauf der Wärmeschutzkosten in Abhängigkeit vom Energiebedarf für verschiedene Massnahmenkombinationen

Bild 10. Wärmeleistungsbedarf eines Gebäudes in Abhängigkeit von Wärmeschutzaufwendungen

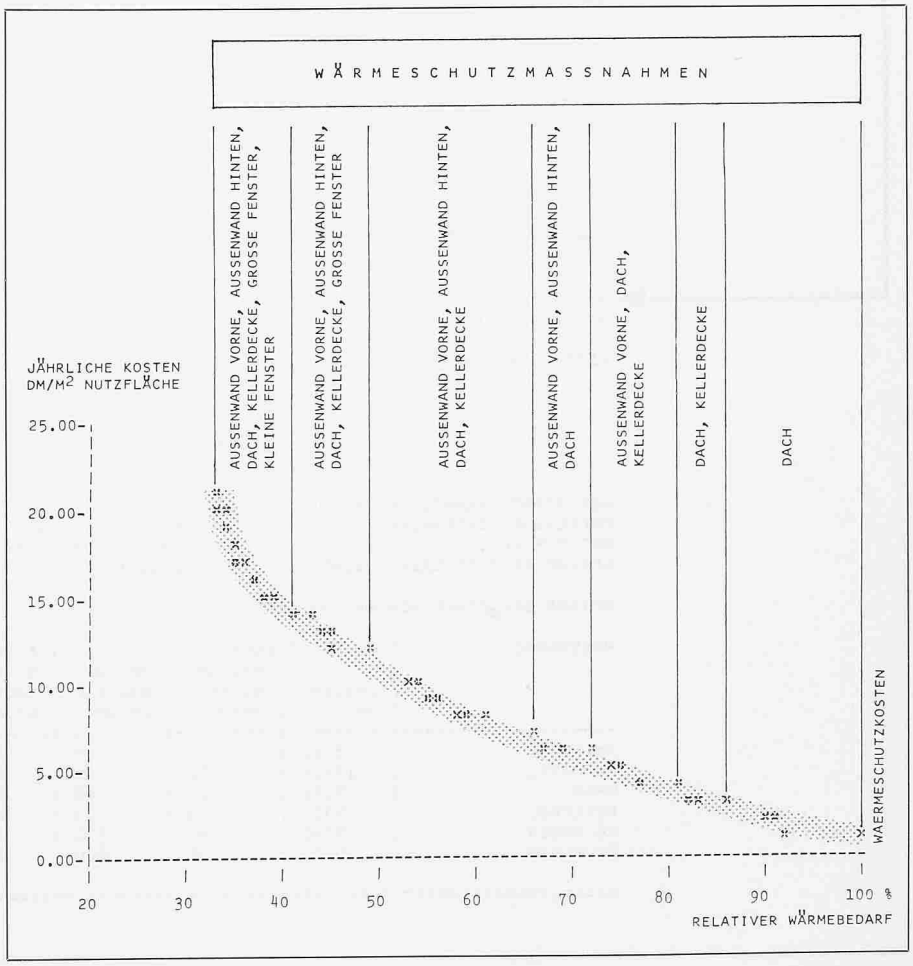


Bild 9. Beispiele für die Optimierung von Wärmeschutzmassnahmen. Verbesserungsmassnahmen in einzelnen Stufen

O P T I M I E R U N G V O N E N E R G I E S P A R M A S S N A H M E N

UEBERSICHT, MASSNAHMENKOMBINATIONEN MIT OPTIMALER RENDITE

	AVOIR.E	AWHIN.E	DACH	KELLERL.	FENSTER GROSS	FENSTER KLEIN	INVESTITIONEN INSGES. DM	INVESTITIONEN JE QM NUTZFL. DM/QM	JAEHRLICHE KOSTEN INSGES. DM	JAEHRLICHE KOSTEN JE QM NUTZFL. DM/QM	WAERMEBEDARF MITTL. K-WERT W/QM*K	WAERMEBEDARF ANLAGEN-LEISTUNG KW	EINSPARUNGEN RED. DES ENERGIE-BEDARFS %	EINSPARUNGEN KOSTEN/ GESPARTE ENERGIE DM/KWH
STUFE 1			*				3750	15.00	318.75	1.27	1.39	20.37	7.56	0.0870
STUFE 2				*	*		10000	40.00	850.00	3.40	1.17	18.10	17.86	0.0982
STUFE 3	*		*	*			12500	50.00	1062.50	4.25	1.06	16.94	23.12	0.0948
STUFE 4	*	*	*				17500	70.00	1487.50	5.95	0.91	15.28	30.64	0.1001
STUFE 5	*	*	*	*			22500	90.00	1912.50	7.65	0.73	13.42	39.11	0.1009
STUFE 6	*	*	*	*	*		36250	145.00	3081.25	12.32	0.48	10.00	54.60	0.1164
STUFE 7	*	*	*	*	*	*	43750	175.00	3718.75	14.87	0.37	8.50	61.43	0.1249

DETAILS ZU DEN EINZELNEN VERBESSERUNGSSTUFEN

S T U F E 2

VERBESSERUNGSMASSNAHMEN: DACH
KELLERD.

WIRTSCHAFTLICHKEITSBEREICH: 8750 BIS 11250 DM (35 BIS 45 DM/QM NUTZFL.)
MOEGLICHE EINSPARUNG: 17 BIS 19 %
OPTIMUM BEI: 10000 DM (40 DM/QM NUTZFL.) INVESTITION UND 18 % EINSPARUNG
OPTIMALER MITTLERER K-WERT: 1.17 W/QM*K

OPTIMA DER EINZELNEN MASSNAHMEN

MASSNAHME	INVESTITIONEN INSGES. DM	INVESTITIONEN PRO QM NUTZFL. DM/QM	PRO QM BAUTEIL DM/QM	K-WERT D. VERB. BAUTEILS W/QM*K	DURCHL. WIDERST. D.DAEMM. QM*K/W	STAERKE D.DAEMM-SCHICHT CM
DACH	4200	17	38	0.34	2.20	7.7
KELLERD.	5800	23	53	0.51	1.52	5.3

DETAILS ZU DEN EINZELNEN VERBESSERUNGSSTUFEN

S T U F E 7

VERBESSERUNGSMASSNAHMEN: AW VORNE
AW HINT.
DACH
KELLERD.
FE GROSS
FE KLEIN

WIRTSCHAFTLICHKEITSBEREICH: 42500 BIS 62500 DM (170 BIS 250 DM/QM NUTZFL.)
MOEGLICHE EINSPARUNG: 59 BIS 67 %
OPTIMUM BEI: 43750 DM (175 DM/QM NUTZFL.) INVESTITION UND 61 % EINSPARUNG
OPTIMALER MITTLERER K-WERT: 0.37 W/QM*K

OPTIMA DER EINZELNEN MASSNAHMEN

MASSNAHME	INVESTITIONEN INSGES. DM	INVESTITIONEN PRO QM NUTZFL. DM/QM	PRO QM BAUTEIL DM/QM	K-WERT D. VERB. BAUTEILS W/QM*K	DURCHL. WIDERST. D.DAEMM. QM*K/W	STAERKE D.DAEMM-SCHICHT CM
AW VORNE	5300	21	76	0.24	3.57	12.5
AW HINT.	12400	50	86	0.24	3.55	12.4
DACH	5250	21	48	0.22	3.79	13.3
KELLERD.	5800	23	53	0.51	1.52	5.3
FE GROSS	8750	35	350	1.90		
FE KLEIN	6400	26	400	1.90		

Unter den zahlreichen denkbaren Kombinationsmöglichkeiten von Wärmeschutzmassnahmen erweisen sich relativ wenige innerhalb eines charakteristischen Kosten- bzw. Einsparungsbereichs als wirtschaftlich.

Wärmeversorgungssysteme

Die vergleichende Darstellung von Technik und Kosten von Wärmeversorgungssystemen erfolgte in Zusammenarbeit mit *energiewirtschaftlichen Sachverständigen*, welche die wichtigsten Bereiche der Energieversorgung repräsentierten. In die einlässliche Untersuchung sind zwölf Wärmeversorgungssysteme einbezogen worden (Bild 11), die grob gesehen nach drei Leistungsklassen gegliedert sind:

- Fernwärmeversorgung
- Blockheizung
- Einzelgebäudeheizung.

Im wesentlichen waren folgende drei Stufen zu betrachten (Bild 12):

- Verteilung von (Sekundär-)Energie
- Erzeugung von Raumwärme
- Verteilung der Raumwärme in den zu beheizenden Räumen hausintern.

Kern dieser Systeme sind die Anlagen zur Erzeugung der direkt nutzbaren *Raumwärme*. Damit sind in erster Linie

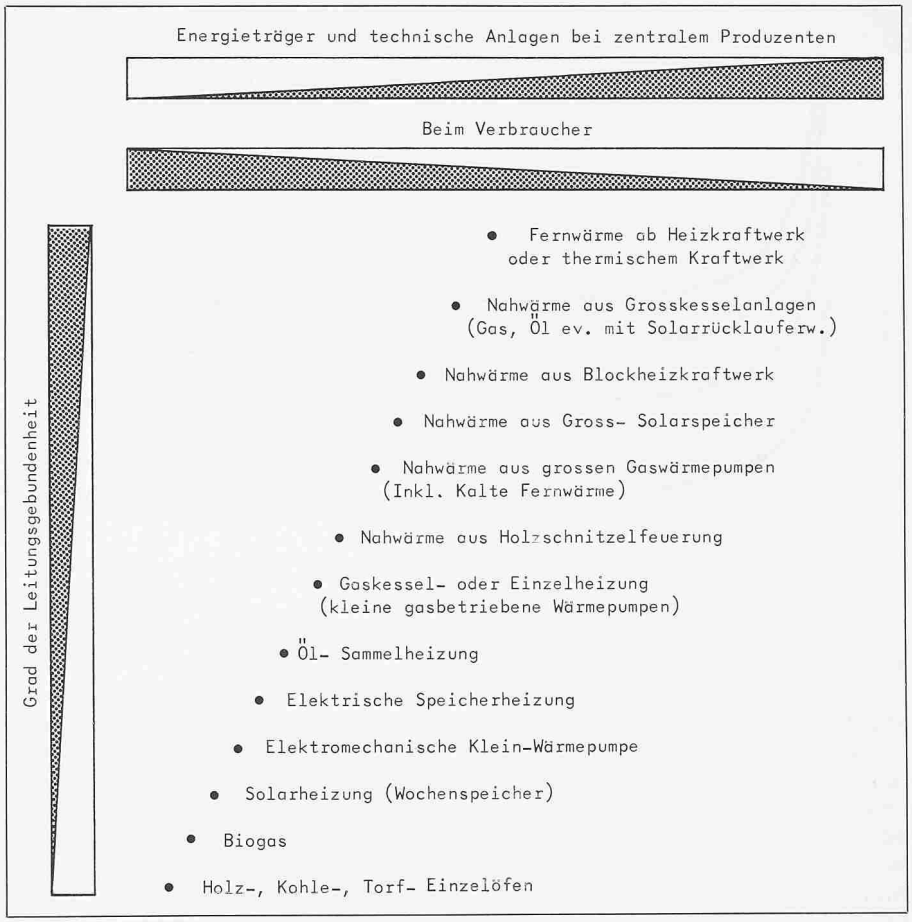
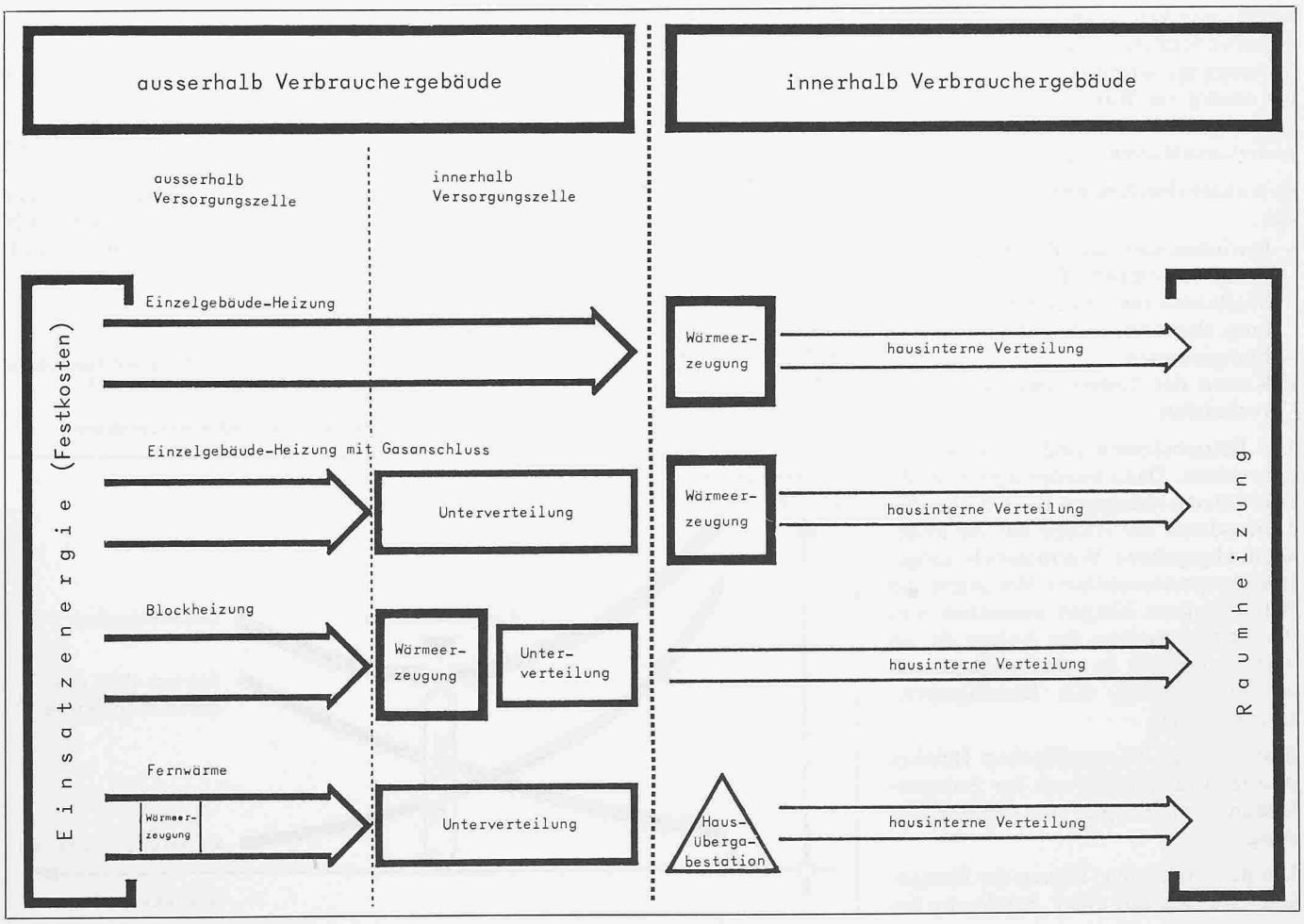


Bild 11. Untersuchte Wärmeversorgungssysteme

Bild 12. Untersuchungsschema für die Ermittlung der Wärmekosten



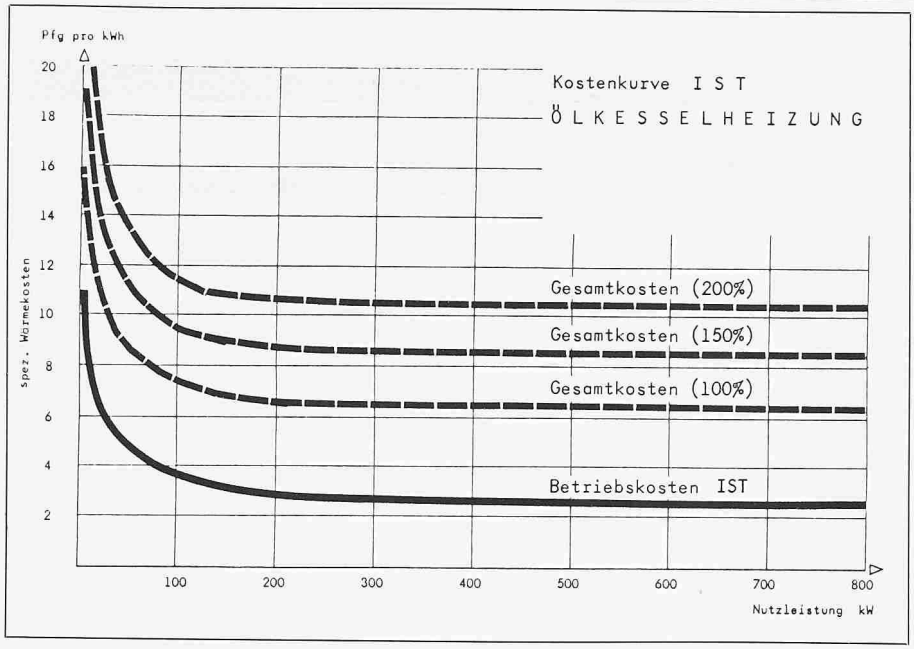


Bild 13. Spezifische Heizkosten in Abhängigkeit von der Anlagenleistung

alle Einrichtungen im Verbrauchergebäude wie Heizkessel, Wärmepumpen, Sonnenkollektoren, Öltanks etc. und in externen Heizzentralen (Fernheizwerk, Blockheizzentrale) gemeint. Erfolgt die Wärmeerzeugung ausserhalb der Verbrauchergebäude, sind siedlungsstrukturabhängige *Wärme-Unterverteilkosten* zum Wärmepreis hinzuzurechnen.

Für die zur Wärmeerzeugung erforderliche Einsatzenergie wurden feste Arbeitskosten frei Verbraucher bzw. frei Unterverteilnetz (leitungsgebundene Versorgung) angesetzt. Für Gas mussten analog zur Wärme-Unterverteilung siedlungsstrukturabhängige *Energie-Unterverteilkosten* angerechnet werden.

Es wurden drei Kostenarten unterschieden:

- Betriebskosten oder Kosten der Heizanlage (eigentliche Betriebs- und Kapitalkosten inkl. hausinterner Verteilung, aber ohne Energie)
- Energiekosten
- Kosten der Unterverteilung, sofern vorhanden.

Die Betriebskosten sind als *Arbeitskosten* erfasst. Dazu wurden alle nicht direkt arbeitsabhängigen Kosten über die Lebensdauer der Anlage auf die insgesamt abgegebene Wärmearbeit umgelegt (proportionalisiert). Vor allem die Betriebskosten hängen wesentlich von der Leistungsgrösse der Anlage ab; sie wurden deshalb in Abhängigkeit von der Heizleistung, d.h. leistungsspezifisch ermittelt.

Bild 13 zeigt die spezifischen Heizkosten in Abhängigkeit von der Anlagenleistung am Beispiel der Ölkesselheizung.

Die Betriebskosten (Kosten der Heizanlage) wurden mit einer *Bandbreite* bestimmt. Die Untergrenze des Kostenbereichs (Variante OPT) geht von optimal dimensionierten und normgerecht arbeitenden Anlagen aus. Bei Heizungen, die sich heute noch in Entwicklung befinden, ist z.T. mit einer Verringerung der Anlagekosten zu rechnen.

Die Obergrenze des Kostenbereichs (Variante IST) spiegelt Verhältnisse wider, die sich oft in der Praxis ergeben, wenn durch ungünstige Voraussetzungen, Überdimensionierung, Wartungsmängel etc. schlechtere Leistungen und höhere Kosten resultieren, als dies aufgrund der technischen Möglichkeiten zu erwarten wäre. Für Systeme, die erst vor der Serienreife stehen, wurde mit heutigen Kosten gerechnet.

Bei den *Energiekosten* wurden szenarienhaft drei *Energiepreisniveaus* verglichen (100%, 150%, 200% bezogen auf durchschnittliche Primärenergiepreise 1978). Unter der Annahme, dass sich die Preise für alle Primärenergien im gleichen Masse erhöhen, wurde bei den beiden Steigerungsszenarien (150%, 200%) geschätzt, wieweit sich diese Preissteigerungen auf die Einsatzenergiekosten beim Verbraucher auswirken. Der Zustand «200%» ist inzwischen schon erreicht worden.

Für rohrleitungsgebundene Wärmeversorgungssysteme (Fernwärme, Blockheizungen und Gas) wurde ein Teil der Kosten für das Verteilnetz, nämlich jener für die sog. *Unterverteilung* – wegen der ausgesprochenen Siedlungsabhängigkeit – gesondert erfasst.

Das Kostenmodell der Unterverteilung entspricht weitgehend den Ansätzen der Gesamtstudie Fernwärme[1]. Es geht davon aus, dass jeweils kleine, zusammenhängende Siedlungszellen eine eigene Einspeisung besitzen und dass die Leitungen nur der Unterverteilung dienen. Im weiteren ist angenommen, dass die Leitungskosten linear vom Rohrdurchmesser abhängen. Ein mittlerer Rohrdurchmesser und die Netzlänge lassen sich u.a. aus der Zahl der Anschlüsse und aus der Wärmedichte des Versorgungsgebietes errechnen.

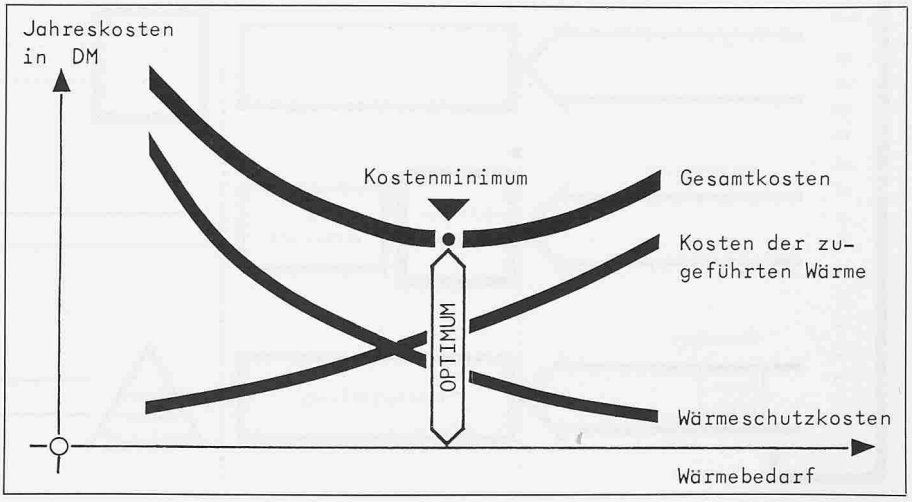
Optimierung von Wärmeschutz und Wärmezuführung

Untersucht man Wärmeschutzmassnahmen in Verbindung mit unterschiedlichen Heizsystemen, empfiehlt sich die Verwendung eines erweiterten Optimierungsansatzes.

Geht man von einem ursprünglichen Energieverbrauch von 100% aus (Ist-Zustand eines bestehenden Gebäudes bzw. Mindestanforderung nach DIN 4108 bzw. nach Wärmeschutzverord-

[1] Bundesminister für Forschung und Technologie: «Gesamtstudie Fernwärme». Bonn 1977

Bild 14. Optimierungsansatz: Minimale jährliche Kosten für Wärmeschutz und Wärmezuführung



nung für Neubauten), so nehmen die Kosten energiesparender Massnahmen bei sinkendem Energieverbrauch zu und steigen bei Null asymptotisch gegen Unendlich. Umgekehrt sinken die Heizkosten (Anlage, Betrieb, Energie), bis sie einen relativ geringen, konstanten Wert annehmen. Die Summe dieser beiden gegenläufigen Kurven erreicht ein Minimum, welches als *betriebswirtschaftliches Optimum* bezeichnet werden kann. Dieses Minimum hängt einerseits von den spezifischen Kosten der Sparmassnahmen, anderseits von den spezifischen Heizkosten ab. Spezifisch heisst: Jahreskosten pro m² Nutzfläche.

Die jährlichen Gesamtheizkosten bestehen aus folgenden Komponenten:

- Wärmeschutzkosten
- Betriebskosten der Heizanlage (Kapital, Unterhalt)
- Energiekosten
- gegebenenfalls Unterverteilkosten (bei leitungsgebundenen Systemen).

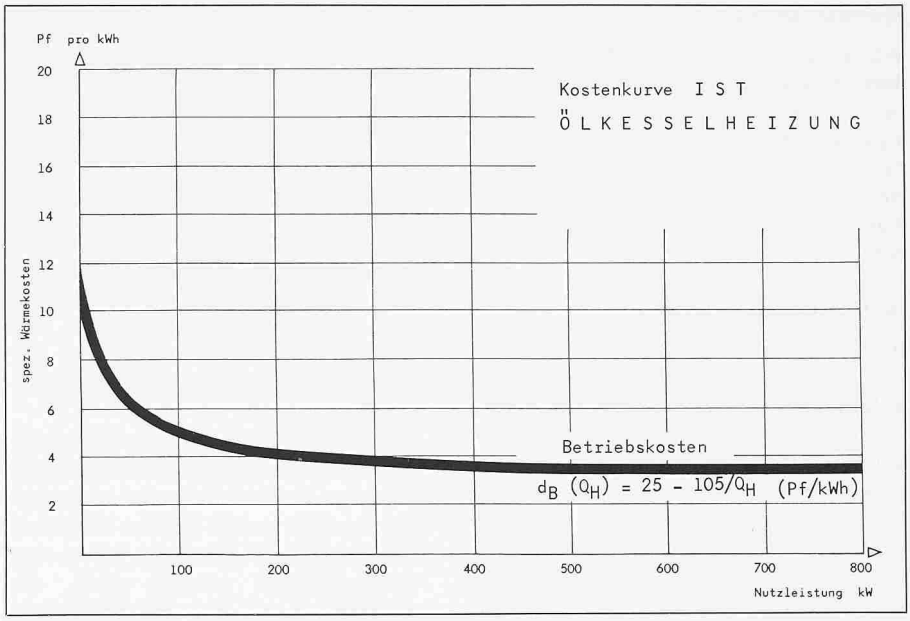


Bild 15. Beispiel einer Kosten-Leistungs-Kurve zur Charakterisierung eines Heizsystems (Betriebskosten ohne Energie)

Bild 16. Spezifische Wärmekosten in Abhängigkeit vom Wärmeleistungsbedarf

Wärmeschutzkosten

Wärmeschutzkosten werden gemäss dem im zweiten Abschnitt beschriebenen Verfahren optimiert und in Abhängigkeit vom Anschlusswert des Gebäudes für jeweils 50 Werte (Punkte) dargestellt. Ein allgemeiner formelmässiger Zusammenhang lässt sich nicht angeben.

Betriebskosten

Betriebskosten der Heizanlage umfassen alle beim Betrieb der Heizanlage anfallenden Aufwendungen für Kapitaldienst, Unterhalt etc. mit Ausnahme der Energiekosten. Sie werden für alle untersuchten Heizsysteme anhand von Beispielen unterschiedlicher Leistung nach dem im dritten Abschnitt erläuterten Verfahren als leistungsspezifische Arbeitskosten ermittelt und mit einer Bandbreite (Unter- und Obergrenze) dargestellt.

Bild 15 zeigt an einem Beispiel die Abhängigkeit des spezifischen Arbeitskostensatzes von der Anlagen-Nutzleistung. Die Kurven lassen sich durch Funktionen der Form

$d_B = f(Q_A)$

näherungsweise für einen begrenzten Bereich von $_Q$A beschreiben.

Im weiteren ist zu unterscheiden zwischen Einzelgebäude- und Blockheizungen:

- Bei *Einzelgebäudeheizungen* wird angenommen, dass die Heizanlage aufgrund des jeweiligen Wärmeschutzes möglichst genau auf die Höchstleistung des Abnehmergebäudes dimensioniert wird. Sinkt die Wärmehöchstleistung des Gebäudes beispielsweise durch verbesserten Wärmeschutz, ergibt sich für D_{BJ} ein geringerer Wert. Weil jedoch die spezifischen Betriebskosten (d_B) in der Regel zunehmen, vermindern sich die jährlichen Betriebskosten D_{BJ} in geringerem Masse als die Wärmehöchstleistung. Wenn die kleinsten marktgängigen Heizanlagen installiert sind, lassen sich die Betriebskosten nicht mehr verringern; D_{BJ} nimmt dann *unabhängig* von der Wärmehöchstleistung einen konstanten Wert an.
- Bei *Blockheizungen,* jenen Heizsystemen also, die ein zusammenhängend bebautes Gebiet eines oder mehrerer Strassenblöcke mit Wärme beliefern, wird angenommen, dass a priori eine Anlagengrösse gewählt wird, die niedrige spezifische Betriebskosten verursacht und dass bei sinkender Gesamtleistung infolge Wärmeschutz nicht die Heizanlage verkleinert, sondern das Versorgungsgebiet, die Anzahl der Wärmebezüger, erhöht wird.

Damit auch jenen Fällen Rechnung getragen werden kann, in denen diese optimistische Modellannahme nicht erfüllt ist, wird bei allen Blockheizungen mit einem mittleren Betriebskostensatz aus drei Blockgrössen (0.5, 2, 5 MW) gerechnet.

Energiekosten

Energiekosten errechnen sich für alle Heizsysteme aus dem jährlichen Nutzwärmebedarf des Abnehmergebäudes, dem jahresmittleren Wirkungsgrad der Heizanlage und den spezifischen Einsatzenergiekosten.

$$(1)\quad D_{EJ} = \frac{d_e \cdot b_h \cdot Q_n}{\bar{\eta}}$$

D_{EJ} = jährliche Energiekosten (DM/a)
b_h = Benutzungsdauer der Wärmehöchstleistung (h/a)
Q_n = Wärmehöchstleistung (W)
d_e = spezifische Einsatzenergiekosten (DM/Wh)
$\bar{\eta}$ = jahresmittlerer Gesamtwirkungsgrad der Heizanlage einschliesslich hausinterner Verteilung (–)

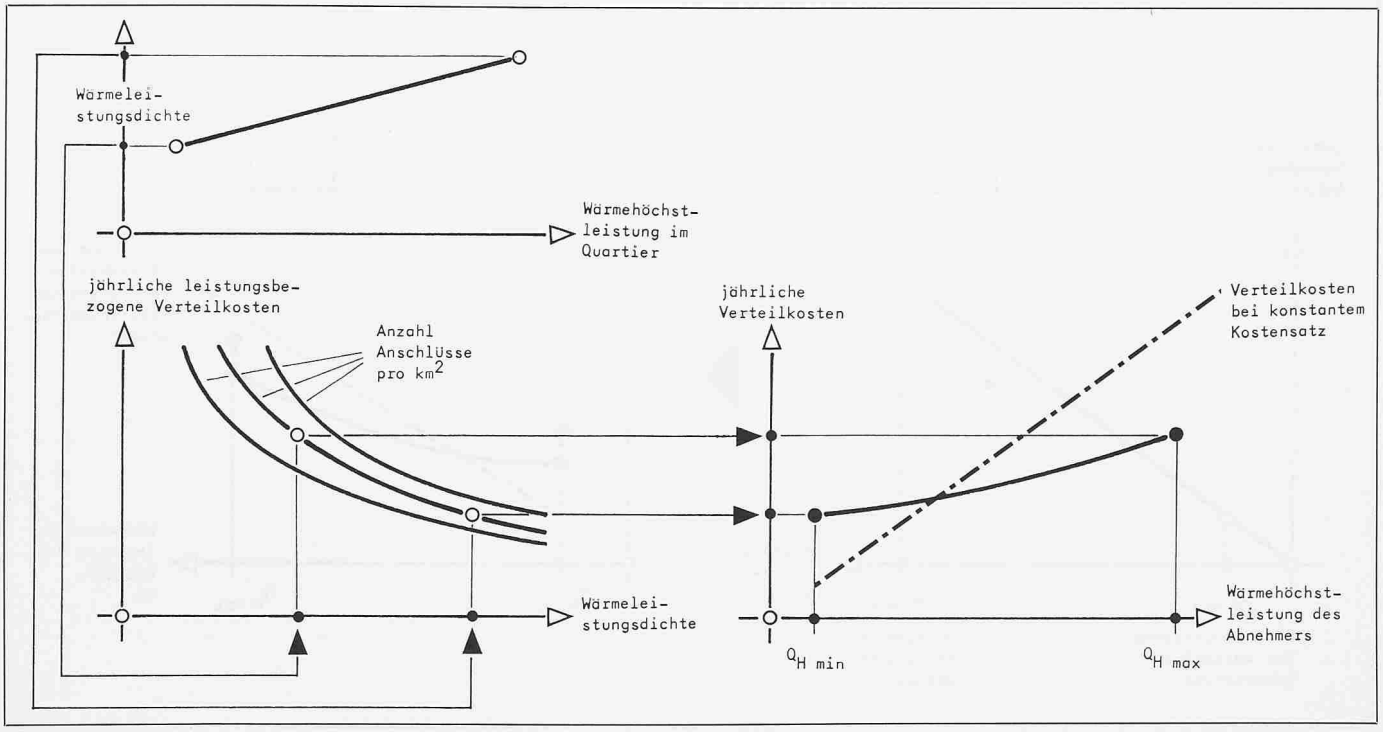
Unterverteilkosten

Unterverteilkosten für Heizwasser und Gas errechnen sich im wesentlichen aus der Anzahl der Hausanschlüsse und der Höchstleistungswärmedichte im Versorgungsgebiet. Das Rechenmodell liefert einen leistungsspezifischen Jahreskostensatz, bezogen auf die angeschlossene Wärmehöchstleistung im Versorgungsgebiet (Bild 17). Bezogen auf einen Abnehmer werden sie angesetzt mit:

$$(2)\quad D_{VJ} = d_V \cdot Q_H$$

D_{VJ} = jährliche, anteilige Unterverteilkosten für einen Wärmebezüger (DM/a)
d_V = leistungsspezifischer Verteilkostensatz (DM/Wa)
Q_H = Wärmehöchstleistung Abnehmer (W)

Bild 17. Verteilkosten in Abhängigkeit vom Wärmebedarf



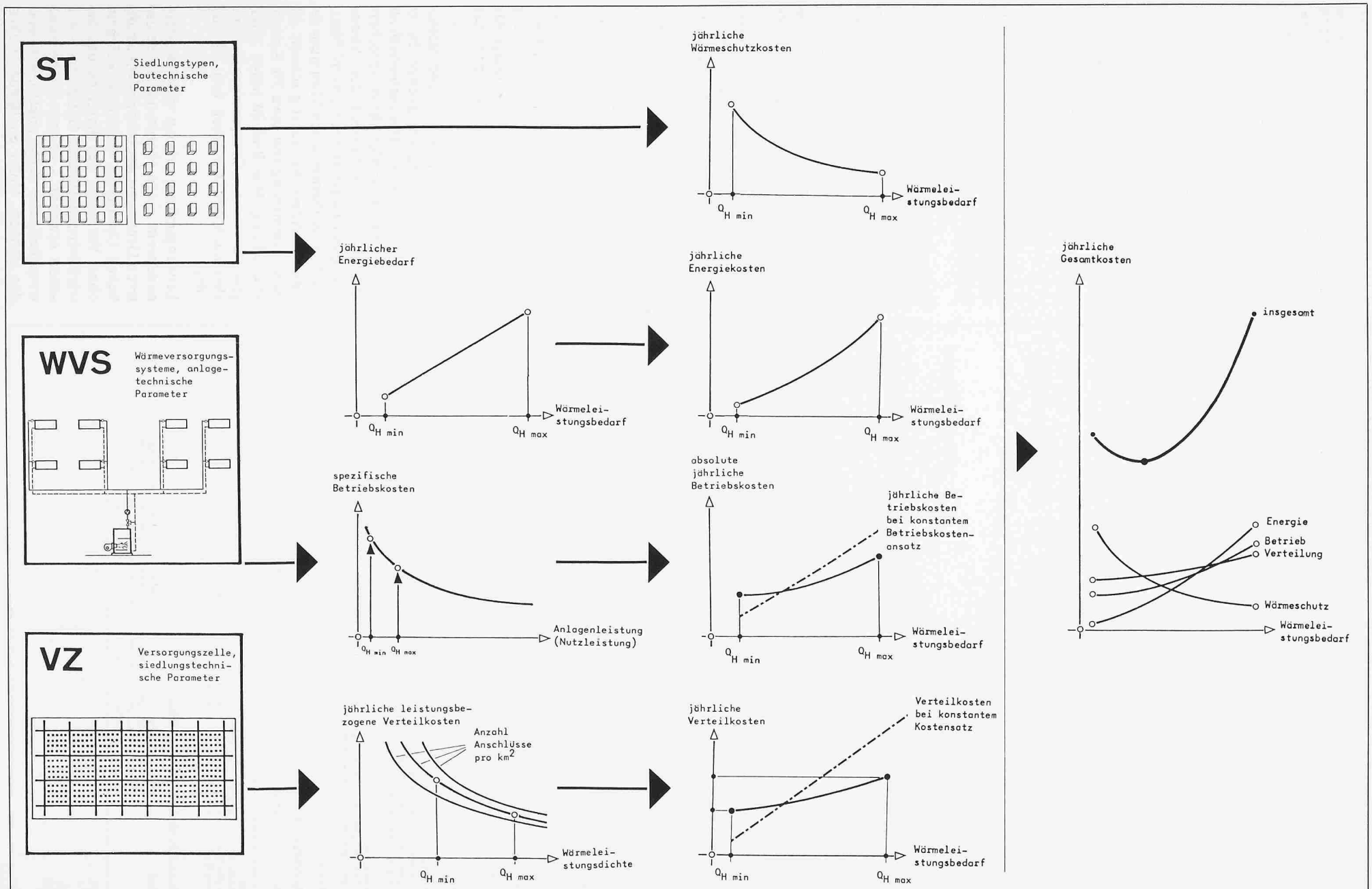


Bild 18. Überblick über den Rechengang

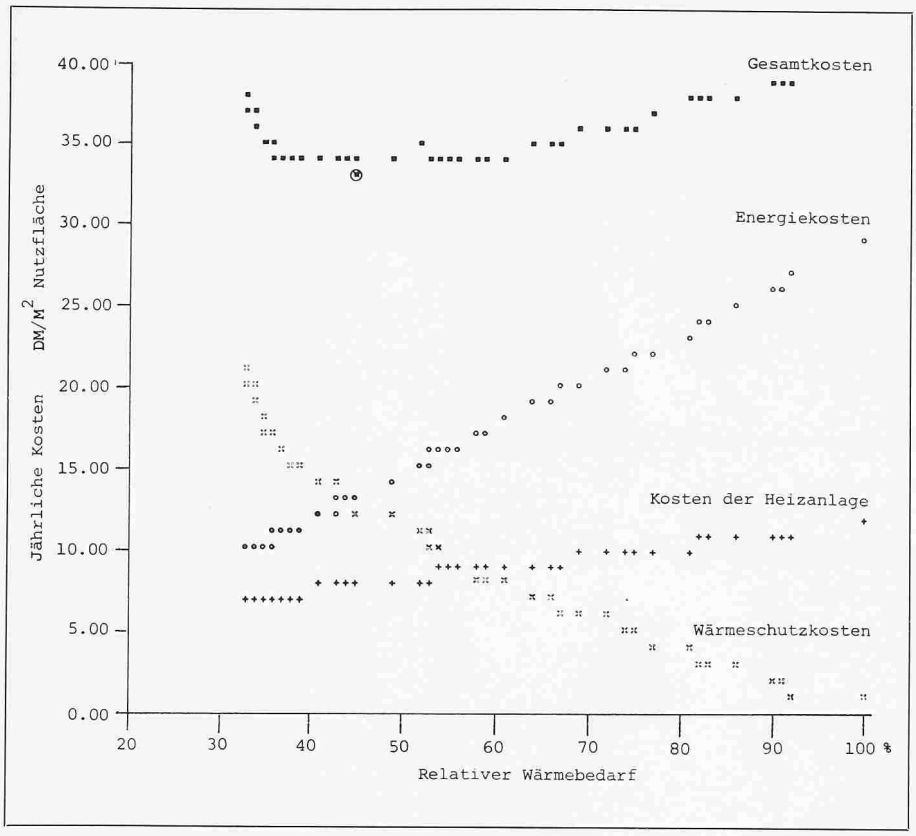


Bild 19. Optimierung von Wärmeschutz und Wärmezuführung, Computergraphik

Bild 20. Optimierung von Wärmeschutz und Wärmezuführung, Computerausdruck

```
O P T I M I E R U N G   V O N   W A E R M E S C H U T Z   U N D   W A E R M E Z U F U E H R U N G
==================================================================================================

PARAMETER

OBJEKT:                                        TESTBEISPIEL

BEHEIZTE FLAECHE:                              250.0   QM
OBERFLAECHE                                    476.0   QM
MITTLERER K-WERT OHNE WAERMESCHUTZ:              1.5   W/QM*K
JAHRESKOSTENSATZ DES WAERMESCHUTZES:             8.5   %

HEIZANLAGE:                                   OELKESSELHEIZUNG
ENERGIEPREIS (EINSATZENERGIE):                 0.100 DM/KWH
WAEREMHOECHSTLEISTUNG OHNE WAERMESCHUTZ:      22.03  KW   (  88.1 W PRO QM BEHEIZTER FLAECHE)
JAEHRL. NUTZWAERMEBEDARF O. WAERMESCH.:       48.47  MWH  ( 193.9 KWH PRO QM BEHEIZTER FLAECHE)
JAERLICHE KOSTEN OHNE WAERMESCHUTZ:           10156  DM   (  40.6 DM PRO QM BEHEIZTER FLAECHE)

ERGEBNISSE

NUTZLEISTUNG B. OPT. WAERMESCHUTZ:            10.0   KW   (  40.0 W PRO QM BEHEIZTER FLAECHE)
ENERGIEEINSPARUNG:                            54.6   %
OPTIMALER MITTLERER K-WERT:                    0.5   W/QM*K
JAEHRLICHER NUTZWAERMEBEDARF:                 22.0   MWH  (  88.0 KWH PRO QM BEHEIZTER FLAECHE)
JAEHRLICHER EINSATZENERGIEBEDARF:             33.2   MWH  ( 132.9 KWH PRO QM BEHEIZTER FLAECHE)

ENERGIEKOSTEN:                                 3323  DM   (  13.3 DM PRO QM BEHEIZTER FLAECHE)
KOSTEN DER HEIZANLAGE (BETRIEB,KAPITAL):       1965  DM   (   7.9 DM PRO QM BEHEIZTER FLAECHE)
KOSTEN DER WAERMESCHUTZMASSNAHMEN:             3081  DM   (  12.3 DM PRO QM BEHEIZTER FLAECHE)
                                             --------------
GESAMTKOSTEN                                   8369  DM   (  33.5 DM PRO QM BEHEIZTER FLAECHE)

BANDBREITENANALYSE

MERKMAL          |VARIANZ IN % BEI ... ABWEICHUNG VOM GESAMTMINIMUM
                 |       2%        |       5 %       |       10 %
-----------------+-----------------+-----------------+-----------------
LEISTUNG         | + 26.9  - 19.4  | + 40.9  - 22.3  | + 69.3  - 25.5
WAERMESCHUTZK.   | - 31.0  + 31.0  | - 41.4  + 41.4  | - 65.5  + 58.6
ENERGIEKOSTEN    | + 26.4  - 19.1  | + 40.1  - 22.0  | + 67.8  - 25.1
ANLAGEKOSTEN     | + 11.5  -  8.5  | + 17.4  -  9.9  | + 29.1  - 11.3

DETAILS ZU DEN WAERMESCHUTZMASSNAHMEN

MASSNAHME          | INVESTITIONEN                | K-WERT  | DURCHL. | STAERKE |
                   |          | PRO QM  | PRO QM  | D. VERB.| WIDERST.| D.DAEMM-|
                   | INSGES.  | NUTZFL. | BAUTEIL | BAUTEILS| D.DAEMM.| SCHICHT |
                   | DM       | DM/QM   | DM/QM   | W/QM*K  | QM*K/W  | CM      |
-------------------+----------+---------+---------+---------+---------+---------+
AW VORNE           |    5300  |      21 |      76 |    0.24 |    3.57 |    12.5 |
AW HINT.           |   11150  |      45 |      77 |    0.30 |    2.69 |     9.4 |
DACH               |    5250  |      21 |      48 |    0.22 |    3.79 |    13.3 |
KELLERD.           |    5800  |      23 |      53 |    0.51 |    1.52 |     5.3 |
FE GROSS           |    8750  |      35 |     350 |    1.90 |         |         |
```

Dieser Ansatz gilt nur, wenn im Zuge des Fernwärmeausbaus gleichzeitig mögliche Wärmeschutzmassnahmen untersucht und durchgeführt werden, andernfalls gilt unabhängig von Wärmeeinsparungen (z.B. Erneuerung einzelner Altbauten):

(3) $D_{V_J} = d_{v_o} \cdot Q_{H_o}$

d_{v_o} = Verteilkostensatz, bezogen auf den nicht wärmegedämmten Zustand (DM/Wa)

Q_{H_o} = Wärmehöchstleistung ohne Wärmeschutz (W)

Insgesamt ergibt sich daraus der Rechengang, wie er schematisch in Bild 18 gezeigt ist.

Bild 19 zeigt den Verlauf von Wärmeschutz-, Heiz- und Gesamtjahreskosten in Abhängigkeit von der Anlagenleistung in computergraphischer Darstellung mit SIOPT/UR. Der offensichtlich flache Verlauf der Kostenkurve zeigt, dass sich ein relativ breiter Bereich der Wärmeschutzaufwendungen als wirtschaftlich erweist, der *Raum zur Berücksichtigung ausserbetriebswirtschaftlicher Ziele* wie z.B. energetischer, umwelt- und versorgungspolitischer Art bietet.

Bild 20 weist einerseits das absolute Minimum der Jahresgesamtkosten mit der dabei zu erwarteten Kostenstruktur auf, zeigt anderseits unter dem Titel «Bandbreitenanalyse», dass sich auch bei beträchtlicher Abweichung der Wärmeschutzaufwendungen und damit der Anlageleistung, der Heizkosten und der Energiekosten nur geringfügige Abweichungen vom Gesamtkostenniveau ergeben.

Wegen der datenmässigen und methodenbedingten Ungenauigkeiten ist es richtiger, von einem *Optimalbereich* als von einem Optimalpunkt zu sprechen. Dieser kann in Prozent der Abweichung der Gesamtkosten pro m² Nutzfläche vom theoretischen Minimum definiert werden. Vernünftig scheint die Berücksichtigung von etwa 5% Kostenabweichung. Wie Bild 20 unten zeigt, gestatten die Computerprogramme aber auch den Ausdruck von 2% und 10%.

Leistungsmässig erzeugt diese Kostenbandbreite einen oberen und einen unteren Grenzwert des betriebswirtschaftlichen Optimums, innerhalb welchem ohne Verlassen des Bereichs des betriebswirtschaftlichen Optimums – wie schon erwähnt – andere als betriebswirtschaftliche Ziele angesteuert werden können. Unter energiepolitischen

Gesichtspunkten ist der untere Grenzwert von besonderem Interesse, bei welchem im Vergleich zum theoretischen Optimalpunkt meist wesentlich höhere Wärmeschutzinvestitionen mit niedrigerem Energieverbrauch (in der Regel 15–25%) und geringen Anlageinvestitionen verbunden sind.

Betriebswirtschaftliche Einsatzwahrscheinlichkeiten von Wärmeversorgungssystemen

Anhand der Gesamtkosten, wie sie für einzelne Kombinationen von Wärmeversorgungssystemen mit Siedlungstypen durch Optimierung von Wärmeschutz und Wärmezuführung ermittelt werden, lassen sich die Einsatzchancen der einzelnen Heizsysteme unter betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten schätzen. Grundlage dazu ist ein einfaches, statistisches Modell.

Grundlage; Streuungsverhältnisse der Gesamtkosten

Sowohl die städtebaulichen Strukturdaten als auch die Kosten von Wärmeschutzmassnahmen und von Wärmeversorgungssystemen in dieser Studie sind als repräsentative, *statistische Mittelwerte* zu verstehen. Dies bedeutet, dass die jeweiligen Merkmale in den tatsächlichen Fällen, die hier unter einem typischen Beispiel (Siedlungstyp oder Wärmeversorgungssystem) subsummiert sind, von den Mittelwerten, wie sie hier meistens verwendet werden, abweichen, indem sie statistisch betrachtet um diesen Mittelwert herumstreuen.

Von vorrangigem Interesse sind hier die Streuungsverhältnisse der Gesamtkosten für Wärmeschutz und Wärmezuführung. Es darf angesichts der zahlreichen, voneinander unabhängig variierenden Einflussfaktoren angenommen werden, dass die Gesamtkosten *normal verteilt* um ihren Mittelwert streuen (Bild 22).

Wenn σ der Streuung, d.h. der mittleren Abweichung des Einzelwertes entspricht, lässt sich die Kurve wie folgt beschreiben:

$$y = f(x) \text{ mit}$$

$$(4)\quad y = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-M)^2}{2\sigma^2}}$$

M = Mittelwert

σ = Streuung

Die Kurve strebt bei grossen Abweichungen vom Mittelwert M asymptotisch gegen 0.

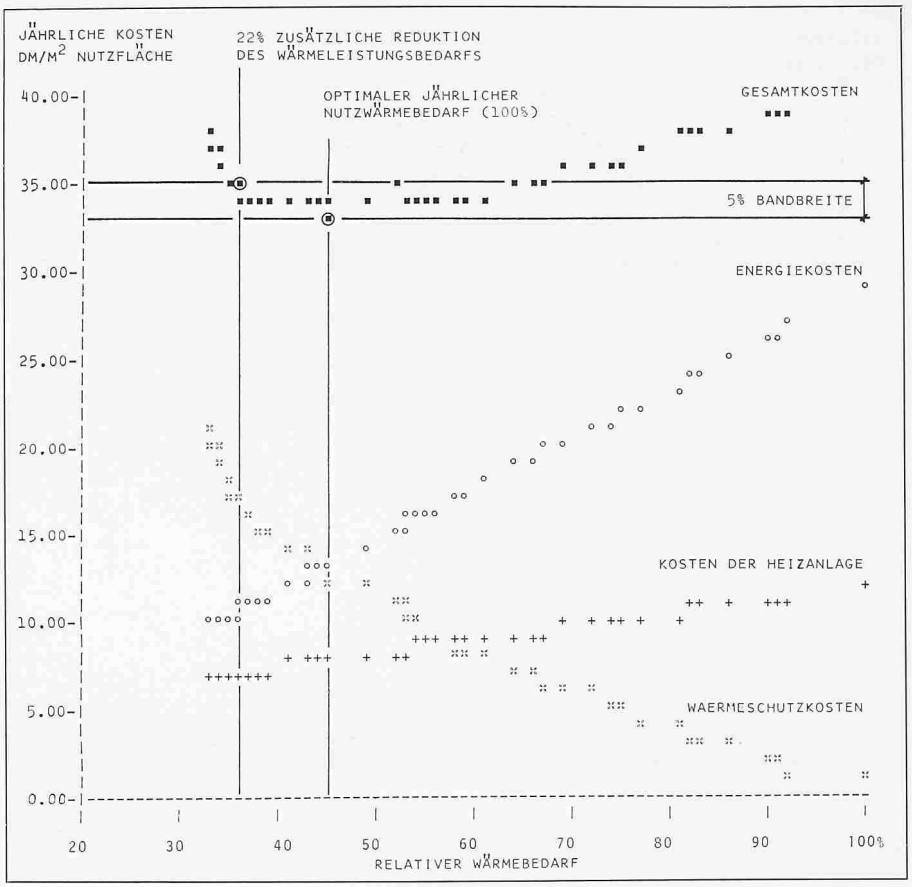


Bild 21. Optimierung von Wärmeschutz und Wärmezuführung, Computergraphik für ein konkretes Beispiel

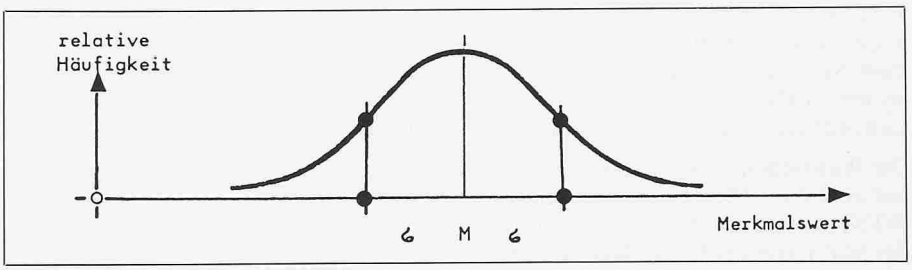


Bild 22. Streuung der normalverteilten Merkmalswerte

Die Fläche unter der Kurve ist unabhängig von den Grössen σ und M immer = 1.

Ein Merkmalswert x liegt mit der Wahrscheinlichkeit

$$(5)\quad W(x_1 \leq x \leq x_2) =$$

$$= \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \int_{x_1}^{x_2} e^{-\frac{(x-M)^2}{2\sigma^2}} dx$$

Die Betriebskosten der Wärmeversorgungssysteme wurden – wie schon erwähnt – mit einem unteren (IST) und einem oberen Grenzwert (OPT) errechnet. Jede Optimierung von Wärmeschutz und Wärmezuführung wird mit beiden Werten durchgerechnet. Damit lassen sich mittlere Gesamtkosten $\bar{g}$ und deren Streuung σ errechnen (Bild 23)

Einsatzwahrscheinlichkeit konkurrierender Wärmeversorgungssysteme

Zu den Prämissen dieser Studie gehört die Annahme, dass der Entscheid über den Einsatz eines Heizsystems in Verbindung mit einem Siedlungstyp a priori aufgrund der resultierenden Gesamtkosten für Wärmeschutz und Wärmezuführung getroffen werde. Die Restriktionen zu dieser Annahme z.B. zufolge abweichenden Mieter-/Vermieterinteresses an energiesparenden Massnahmen oder zufolge suboptimal kurzfristiger Investitionsbereitschaft werden gesondert behandelt. Unter konkurrierenden Wärmeversorgungssystemen wird jenes gewählt, welches die geringsten jährlichen Gesamtkosten für Wärmeschutz und Wärmezuführung verursacht.

Bei statistischen Untersuchungen sind absolute Aussagen über die Wirtschaftlichkeit einzelner Heizsysteme unmöglich. Dagegen kann die Wahrschein-

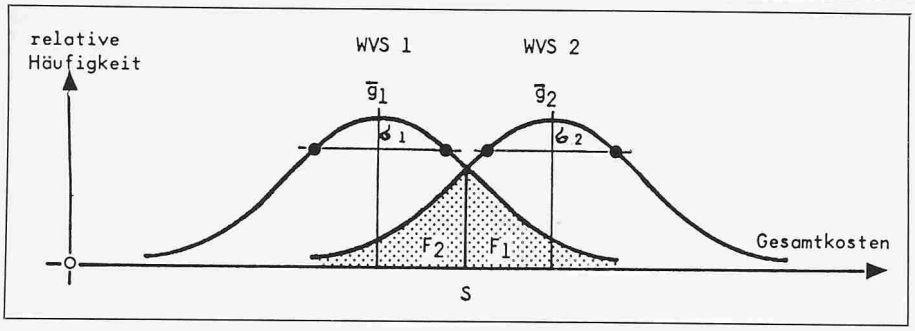


Bild 23. Ansatz zur Berechnung der Einsatzwahrscheinlichkeit

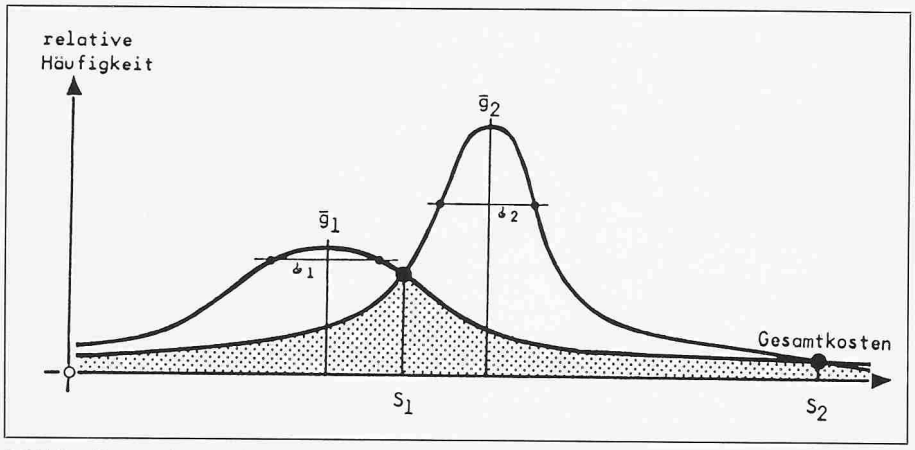


Bild 24. Kurvenschnittpunkte mit Wahrscheinlichkeit gemeinsamer Gesamtkosten

lichkeit errechnet werden, mit der Wärmeversorgungssysteme untereinander konkurrenzfähig sind. Die Berechnung wurde siedlungstypenweise vorgenommen. Sie orientiert sich plausiblerweise an jenem Heizsystem, welches die tiefsten mittleren Gesamtkosten aufweist.

Die Wahrscheinlichkeit, dass ein WVS_2 mit einem im Mittel kostengünstigeren WVS_1 konkurrenzfähig ist, entspricht der Wahrscheinlichkeit, dass für WVS_2 die gleichen oder tiefere Gesamtkosten resultieren als für WVS_1 (WVS = Wärmeversorgungssystem).

Sind sowohl die mittleren Gesamtkosten $\bar{g}_1$ und $\bar{g}_2$ der beiden Wärmeversorgungssysteme als auch die Streuungen σ_1, σ_2 verschieden, ergeben sich zwei Schnittpunkte der Streukurven (Bild 24).

Die Wahrscheinlichkeit gleicher Kosten beträgt dann:

(6) $W(g_{WVS1} = g_{WVS2}) =$

$$= \frac{1}{\sigma_2 \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^{s_1} e^{-\frac{(g-g_2)^2}{2\sigma_2^2}} dg +$$

$$+ \frac{1}{\sigma_1 \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \int_{s_1}^{s_2} e^{-\frac{(g-g_1)^2}{2\sigma_1^2}} dg +$$

$$+ \frac{1}{\sigma_2 \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \int_{s_2}^{+\infty} e^{-\frac{(g-g_2)^2}{2\sigma_2^2}} dg$$

Die Berechnung lässt sich wesentlich vereinfachen, wenn die Streuungen σ_1 und σ_2 gleich oder mindestens annähernd gleich sind. In diesem Fall ergibt sich lediglich ein Schnittpunkt der beiden Streukurven, dessen Abszissenwert trivialerweise

$$s_k = \frac{\bar{g}_1 = \bar{g}_2}{2}$$

beträgt.

Für die Wahrscheinlichkeit gleicher Gesamtkosten ergibt sich

(7) $W_k(g_{WVS1} = g_{WVS2}) =$

$$= \frac{2}{\bar{\sigma} \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^{s_k} e^{-\frac{(g-\bar{g}_2)^2}{2\bar{\sigma}^2}} dg$$

Ein Vergleich der Streuungen zeigt, dass in den meisten Fällen nach dem vereinfachten Rechengang verfahren werden darf.

Im weiteren wird die Wahrscheinlichkeit $W(g_{WVS1} = g_{WVS2})$ als Einsatzwahrscheinlichkeit des Wärmeversorgungssystems WVS_2 bezeichnet.

Bestimmung der Versorgungsanteile

Stehen zur Versorgung aller Gebäude eines Siedlungstyps die Wärmeversorgungssysteme WVS_1, ..., WVS_n mit den Einsatzwahrscheinlichkeiten W_{E1}, ..., W_{En} zur Verfügung, lässt sich die Anzahl der Gebäude, die theoretisch mit einem Wärmeversorgungssystem WVS_i versorgt werden, errechnen.

Bildung von Wärmeversorgungsszenarien

Mit Hilfe von Wärmeversorgungsszenarien wurde untersucht, inwieweit der Einsatz bestimmter Wärmeversorgungssysteme innerhalb betriebswirtschaftlicher Grenzen gefördert werden kann, ohne dass für einzelne Anwender unzumutbare Kosten auftreten. Zu diesem Zweck wurden einzelne Wärmeversorgungssysteme als Fördersysteme bezeichnet und mit einer erhöhten Einsatzwahrscheinlichkeit versehen. Im Normalfall wurden die Einsatzwahrscheinlichkeiten so ermittelt, dass bei gleicher Wirtschaftlichkeit konkurrierende Wärmeversorgungssysteme zu gleichen Teilen eingesetzt werden.

Bei «Fördersystemen» wird angenommen, dass sie bei gleicher Wirtschaftlichkeit mit Konkurrenzsystemen bevorzugt eingesetzt bzw. dass die übrigen Systeme nur dann angewendet werden, wenn sie eindeutig günstiger sind.

Zu diesem Zweck wurde der folgende pragmatische Ansatz gewählt:

Es sei $W(g_F = g_K)$ die Wahrscheinlichkeit, dass für die beiden Wärmeversorgungssysteme WVS_F (= Fördersystem) und WVS_K (= Konkurrenzsystem) die gleichen Gesamtkosten resultieren, wobei $\bar{g}_F > \bar{g}_K$, d.h. aufgrund der mittleren Gesamtkosten $\bar{g}$ erscheine das Konkurrenzsystem günstiger. Nach (7) ergeben sich als Einsatzwahrscheinlichkeit für $\sigma_1 = \sigma_2$:

WVS_K: $W_{E_K} =$

$$\frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{(g-\bar{g}_K)^2}{2\sigma^2}} dg = 1$$

WVS_F: $W_{E_F} =$

$$= 2 \cdot \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^{\frac{\bar{g}_K + \bar{g}_F}{2}} e^{-\frac{(g-\bar{g}_F)^2}{2\sigma^2}} dg < 1$$

Die korrigierte Einsatzwahrscheinlichkeit für das Konkurrenzsystem errechnet sich nun aufgrund der Wahrscheinlichkeit, dass die Gesamtkosten tiefer sind als jene des Fördersystems. Ist das Fördersystem im Mittel bereits billiger als das Konkurrenzsystem, so wird zum vornherein das Konkurrenzsystem gewählt. Bild 25 zeigt den Zusammenhang zwischen der Einsatzwahrscheinlichkeit bei normaler Berechnung und der korrigierten Berechnung für Fördersysteme.

Damit keine übertriebenen Förderwir-

kungen errechnet werden, können einerseits die Einsatzwahrscheinlichkeiten jener WVS, die teurer als das Fördersystem sind, ohne Korrektur in die Anteilsberechnung einbezogen (es handelt sich ohnehin um kleine Werte) und andererseits ein Dämpfungsfaktor einbezogen werden.

Ausser der Förderung einzelner Wärmeversorgungssysteme interessiert auch die Frage, wieweit Wärmeschutzmassnahmen mit vertretbarem Kostenaufwand erhöht werden können. Wie in Bild 20 gezeigt, verlaufen die Gesamtkosten für Wärmeschutz und Wärmezuführung im Bereich des Minimums (betriebswirtschaftliches Optimum) meistens ausgesprochen flach. Deshalb wird untersucht, wieweit der Wärmeleistungsbedarf vom theoretischen Optimalwert abweichen kann, ohne dass die Gesamtkosten eine vorgegebene Bandbreite (in dieser Untersuchung 5%) überschreiten.

Der untere Grenzwert des Wärmeverbrauchs wird als betriebswirtschaftlicher *Maximalwärmeschutz* bezeichnet. Dieser Wert kann wahlweise zur Ermittlung des Wärmebedarfs in Szenarien verwendet werden. Sie werden als *Minimalszenarien* bezeichnet.

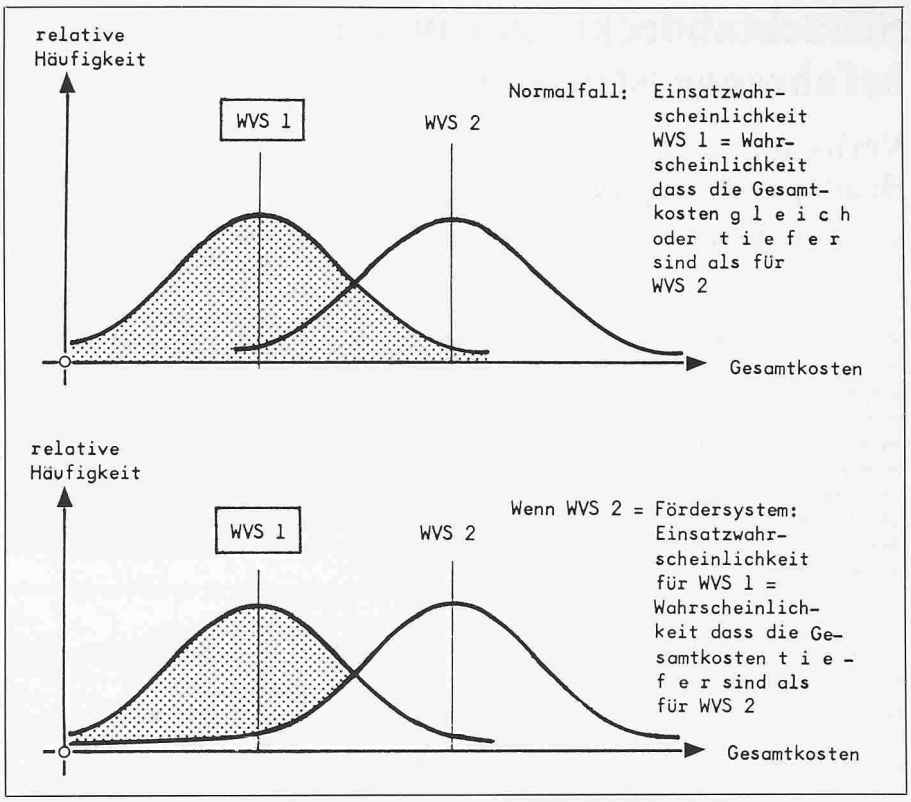


Bild 25. Ermittlung der Einsatzwahrscheinlichkeit bei Förderung der WVS

Potential- und Aussageeinschränkungen

Es wäre unrealistisch, bei der Bestimmung der Versorgungsanteile anzunehmen, dass für den gesamten Siedlungsbestand alle Wärmeversorgungssysteme zur Auswahl stünden. Die Anwendungsmöglichkeiten vor allem der leitungsgebundenen Wärmeversorgungssysteme (Fernwärme, Blockheizungen, Gas) sind durch siedlungsstrukturelle Gegebenheiten eingeschränkt. Aus diesem Grunde wurden die Anteilsbestimmungen in mehreren Schritten vorgenommen:

- Die Berechnungen erfolgten gesondert nach Raumtypen; eine weitere Untergliederung, d.h. nach Gebietseinheiten, ist vorbereitet, konnte im Rahmen dieser Arbeit aus praktischen Gründen aber noch nicht vorgenommen werden.
- Es wurden *Kombinationen* von Wärmeversorgungssystemen (Subsets) gebildet, die für bestimmte Versorgungsgebiete zur Auswahl stehen, wie beispielsweise: alle WVS; nur Einzelgebäudeheizungen; nur WVS ohne Gasanschluss usw. Es handelt sich hier also um eine grobe Gebietstypisierung.

Einige Ergebnisse dieser Untersuchung sind im vorangegangenen Beitrag in Heft 29/1980 des «Schweizer Ingenieur und Architekt» veröffentlicht worden. Es konnte nachgewiesen werden, dass bei betriebswirtschaftlich vernünftigem Verhalten der Wirtschaftssubjekte im Wechselspiel zwischen Energieversorgung, Raumplanung und Bauwesen trotz um rund 20% erhöhten Nutzflächen der Primärenergieeinsatz für Niedertemperaturzwecke in der Bundesrepublik Deutschland innerhalb der nächsten 20 bis 30 Jahre auf etwa die Hälfte des heutigen Bedarfs gesenkt werden könnte.

Diese langen Fristen resultieren aus der Annahme, dass anlagetechnische und bauliche Massnahmen im Zyklus der natürlichen Erneuerung und nicht forciert ausgeführt werden. Die lohnenden Wärmeschutzinvestitionen würden bei optimaler Abstimmung von Wärmeschutz und Heizsystem rund 60 Mia DM betragen und 170 Mia DM bei aus versorgungspolitischen Gründen um 5% erhöhten Gesamtkosten von Wärmeschutz und Wärmezuführung. Beschleunigte Anpassungen des Systems «Wärmeschutz/Wärmezuführung» würde zu höheren Kosten führen und damit Eingriffe in das marktwirtschaftliche Geschehen voraussetzen.

Mit Nachdruck sei abschliessend nochmals darauf hingewiesen, dass der betriebswirtschaftliche Untersuchungsteil in keiner Weise abschliessend Wärmeversorgungsanteile für bestimmte Versorgungssysteme festzulegen gestattet. Die Potentialbeschränkungen sind eine erste Restriktion; auf die nicht zu unterschätzenden Verhaltensabweichungen der «Wirtschaftssubjekte» in diesem Optimierungsspiel, d.h. der Gebäudeeigner, der Mieter und der Ersteller und Betreiber öffentlicher Versorgungsunternehmen, wurde schon hingewiesen.

Ferner ist zu beachten, dass das betriebswirtschaftliche Optimum nicht mit dem energiepolitischen Optimum identisch zu sein braucht.

Aber als *Ausgangsbasis* für die quantifizierte Zuordnung von Wärmeversorgungssystemen zur Siedlungsstruktur sind die vorgestellten betriebswirtschaftlichen Optimierungsverfahren unseres Erachtens nützlich.

*

Der hier vorgestellte Untersuchungsansatz wird gegenwärtig in einem kombinierten Forschungsprogramm des Ministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau und des Ministers für Forschung und Technologie über örtliche und regionale Versorgungskonzepte sowohl an Fallstudien (Rhein-Nekkar, Hamburg) wie auch in einem Leitfaden für integrierte Versorgungskonzepte (Parameterstudie) angewendet.

Adressen der Verfasser: *Ueli Roth*, dipl. Arch. ETH/SIA, Raumplaner BSP, Dozent an der ETHZ; *Fritz Häubi*, dipl. Arch. ETH; Planungsbüro «ur», *Ueli Roth*, Turnerstrasse 24, 8006 Zürich