



*Programmgruppe Systemforschung
und Technologische Entwicklung*

Investive Kennwerte für Heizungs- und Warmwasserverteilungssysteme

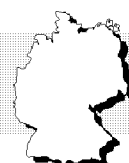
(Neuauflage der Berichte 5.19 und 5.30)

R. Mayr, L. Rouvel

Forschungsstelle für Energiewirtschaft

IKARUS

*Instrumente für
Klimagas-Reduktionsstrategien*



Vorwort der Projektleitung

Ziel von IKARUS ist die Erarbeitung und Bereitstellung eines Instrumentariums bestehend aus Computer-Modellen und Datenbanken, mit dessen Hilfe verschiedene Strategien zur Reduktion der energiebedingten Emissionen von klimarelevanten Gasen, insbesondere CO₂, gegeneinander abgewogen und hinsichtlich des verwendeten Technikmix nach bestimmten Kriterien – beispielsweise Minimierung der energiewirtschaftlichen Kosten – optimiert werden können. IKARUS soll damit dazu beitragen, das Gesamtverständnis der Funktions- und Reaktionsweise unseres stark vernetzten Energiesystems, aus dem der weit überwiegende Anteil unserer Treibhausgasfreisetzungen herrührt, zu vertiefen und die weiteren Strategieüberlegungen auf eine gut abgesicherte Grundlage zu stellen.

In der dritten Phase des Projektes liegt der Schwerpunkt auf der Anpassung der Daten an die neuen Entwicklungen, die sich aus dem Kyoto-Protokoll ergeben haben.

Die IKARUS-Instrumente, die aus mehreren Modellen und aus einer umfangreichen Datenbank bestehen, wurden in 8 Teilprojekten in enger Abstimmung untereinander von folgenden Institutionen entwickelt:

- Der Programmgruppe Systemforschung und Technologische Entwicklung (STE) des Forschungszentrums Jülich oblag die Modellentwicklung.
- Den Aufbau der Datenbank realisierte das Fachinformationszentrum (FIZ) Karlsruhe.

Die Datenbeschaffung leisteten folgende Institutionen mit 50 Unterauftragnehmern:

- Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) Berlin (zuständig für Primärenergie),
- Institut für Energiewirtschaft und rationelle Energieanwendung (IER) der Universität Stuttgart (Umwandlungsbereich),
- Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Kraftwerkstechnik der Technischen Universität München (Haushalte und Kleinverbraucher),
- Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI) Karlsruhe (Industrie),
- TÜV Rheinland Sicherheit und Umweltschutz GmbH Köln (Verkehr) sowie die
- Forschungsstelle für Energiewirtschaft (FfE) der Gesellschaft für praktische Energiekunde München (Querschnittstechniken).

Mit der genannten Projektzusammensetzung wurde das Ziel verfolgt, insbesondere hinsichtlich der Daten eine möglichst repräsentative, allgemein konsensfähige Wissensbasis zu schaffen und damit zu einer Versachlichung der Energiediskussion beizutragen. Neben mehr als 80 Veröffentlichungen werden seit Oktober 1997 die Hauptergebnisse von IKARUS auf zwei CD-ROM angeboten, die aktualisiert werden.

Die im Projekt erarbeiteten Berichte können über die Zentralbibliothek des Forschungszentrums Jülich erworben werden. Damit soll einerseits dem Gesichtspunkt der Transparenz und Nachvollziehbarkeit von Daten und Methoden Rechnung getragen werden und andererseits denjenigen, die nur an Teilbereichen interessiert sind, der Zugang zu den Arbeitsergebnissen eröffnet werden.

Dr. G. Stein, Projektleitung, Programmgruppe Systemanalyse und Technologische Entwicklung, Forschungszentrum Jülich, März 2002

Investive Kennwerte für Heizungs- und Warmwasserverteilungssysteme

1 Zielsetzung	1
2 Allgemeine Einflussfaktoren.....	1
2.1 Rohrleitungen	1..
2.2 Dämmvarianten – Dämmstandard.....	3.
3 Technikspezifische Einflussfaktoren	4
3.1 Heizungsverteilung	4..
1.1.1 Rohrnetz.....	4..
3.1.2 Temperaturpaarungen / Heizflächen.....	8
3.1.3 Weiter technische Einrichtungen.....	8.
3.2 Warmwasserverteilung.....	9..
3.2.1 zentrale Warmwasserverteilung	10
3.2.2 dezentrale Warmwasserverteilung	11
4 Montage	11
5 Plausibilitätskontrollen	12
6 Quellen.....	13
Anhang A: Verteilungsverluste und Investitionskosten für Heizungs- verteilungssysteme	
Anhang B: Verteilungsverluste und Investitionskosten für Warmwasser- verteilungssysteme	

Investive Kennwerte für Heizungs- und Warmwasserverteilungssysteme

1 Zielsetzung

Ziel des vom BMFT geförderten Projekts IKARUS ist die Erarbeitung und Bereitstellung eines Instrumentariums, mit dessen Hilfe Strategien zur Reduktion der energiebedingten Emissionen klimarelevanter Gase entwickelt und optimiert werden können.

Der Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik der Technischen Universität München behandelt dabei die Endverbrauchssektoren Haushalte und Kleinverbraucher als Teilprojekt 5.

Für das IKARUS-Teilprojekt 5 sind ausgewählte Systembeschreibungen, siehe Quelle /1/ und /2/, von Anlagen für die Raumheizung und Warmwasserbereitung in Wohn- und Nichtwohnbauten erstellt worden. Bestandteil dieser Untersuchungen sind die Einrichtungen zur Verteilung und Abgabe von Heizwärme sowie die Warmwasserverteilung.

Die Entwicklung der unterschiedlichen Heizungssysteme verlief in den letzten Jahren uneinheitlich. Daraus ergaben sich große Unterschiede bei Kostenentwicklung zwischen den Jahren 1989 und 2000. Fußbodenheizungen erreichten in den 11 Jahren eine größere Verbreitung, wodurch die Anschaffungskosten der einzelnen Anlagen sanken. Dagegen zeigen Radiatorheizungen einen weniger starken Preisrückgang.

Ziel dieser Arbeit ist, eine Quelle für die aktuelle Kosten von verschiedenen Heizungs- und Warmwasserverteilsystemen in unterschiedlichen Gebäuden bereitzustellen.

Die Endergebnisse werden in Form der Datenblätter aus den Studien /1/ und /2/ dargestellt. Dabei sind alle Daten, außer den Investitionsdaten, von den Vorgängerstudien übernommen.

2 Allgemeine Einflussfaktoren

Rohrleitungen und Dämmmaterialien sind Komponenten, die sowohl in Heizungs-, als auch in Warmwasserverteilsystemen vorkommen. Deshalb werden diese Komponenten hier gemeinsam aufgeführt.

Die Gesamtkosten für die Wärmeverteilsysteme werden durch die Kosten einzelner Anlagenteile aufsummiert. Rohrleitungen und Dämmung werden dabei durch Meterpreise für gedämmte Rohre und den Rohrlängen in den verschiedenen Ausführungsvarianten berücksichtigt. Nachfolgend werden die kostenbeeinflussenden Faktoren näher betrachtet.

2.1 Rohrleitungen

Ein Bestandteil von Wärmeverteilsystemen sind Rohrleitungen, die entsprechend ihrer unterschiedlichen Eigenschaften Einfluss auf die Kosten des Gesamtsystems haben.

Rohrlängen

Für die Studien /1/ und /2/ war die Kenntnis der Rohrlängen von verschiedenen aufgebauten Verteilungsnetzen erforderlich. Hierzu wurden Erhebungen nach folgenden Schritten angestellt:

1. Auswertung von Gebäudeplänen und Strangschemata
2. Bewohnerbefragung mittels Fragebogen
3. Bildung von Bestimmungsalgorithmen für die Rohrnetzlängen
4. Berechnung von Rohrlängen und Verlusten für ausgewählte Gebäudegrößen
5. Abgleich der Ergebnisse und Plausibilitätskontrolle

Für die aktuelle Kostenbetrachtung bei Verteilungsnetzen wurde auf die vorhandenen Berechnungsalgorithmen für die Rohrnetzlängen zugegriffen.

Rohrmaterial

Bei der Installation von Heizungs- und Warmwassersystemen kommen verschiedene Rohrmaterialien zum Einsatz, wobei bei jeder Wärmeverteilungsanlage nur ein Rohrmaterial verwandt wird. Für die Kostenangaben dieser Studie sind die Rohrpreise als Mittelwert zwischen verschiedenen Materialien (Stahl, Weichstahl und Kupfer) angenommen. Damit können Durchschnittskosten für unterschiedliche Ausführungsvarianten angegeben werden.

Rohrquerschnitte

Die Querschnitte der Verteilungsrohre hängen von der Einbausituation und Gebäudegröße ab. Bei der Bildung von Algorithmen zur Rohrnetzberechnung wurden die Rohre bestimmter Querschnitte nach drei Bereichen zusammengefasst. Entsprechend den im Heizungs- und Warmwasserbereich häufig auftretenden Nennweiten der Querschnitte wurden die folgenden drei Kategorien festgelegt:

- | | |
|---------|--|
| dünn: | bis maximal DN 20 |
| mittel: | über DN 20 bis maximal DN 40 |
| dick: | über DN 40 (größter gemessener Querschnitte DN 64) |

Hierbei wurden die materialunabhängigen Querschnittsbezeichnungen nach DIN EN ISO 6708 verwendet.

Bei der Kostenermittlung ergaben sich unterteilt nach Wasser- und Heizungsrohren für verschiedene Rohrquerschnitte die in Tabelle 1 angegebenen gemittelten Preise.

Tabelle 1 Materialpreis für Rohre

Querschnitt	Heizungsrohre	Wasserrohre
Dünn:	0,49 €/m 0,96 DM/m	0,54 €/m 1,05 DM/m
Mittel:	0,80 €/m 1,56 DM/m	0,88 €/m 1,72 DM/m
Dick:	2,45 €/m 4,79 DM/m	2,69 €/m 5,27 DM/m

2.2 Dämmvarianten – Dämmstandard

Die Kennwerte der verschiedenen Verteilsysteme wurden jeweils mit drei unterschiedlichen Dämmstandards, im weiteren Varianten genannt, untersucht.

Variante 1, schlechter Dämmstandard, bedeutet, dass Kellerverteil- und Steigleitungen gedämmt sind, allerdings nur mit einer Dämmschichtdicke, die einem Viertel der in der Heizungsanlagenverordnung vorgeschriebenen Minstdicke entspricht. Das selbe gilt für Wohnungsverteilleitungen bei Zweirohrsystemen und der Warmwasserverteilung.

Mittlerer Dämmstandard, Variante 2, bedeutet nach Heizungsanlagenverordnung 98 gedämmt, dies entspricht auch dem Entwurf der Energieeinsparverordnung vom Juli 2001. Die Kellerverteilleitungen, Steigleitungen und Wohnungsverteilleitungen der Warmwasserverteilung haben die volle Minstdämmschichtdicke, die Wohnungsverteilleitungen von Zweirohrsystemen halbe und von Einrohrsystemen ein Viertel der Minstdämmschichtdicke.

Gut gedämmte Rohre nach Variante 3 haben einen besseren Dämmstandard als in der Heizungsanlagenverordnung vorgeschrieben. Die Dämmschichtdicke für die jeweiligen Querschnittsklassen entspricht denen der nach HeizAnIV nächsthöheren Querschnittsklasse. Dies bedeutet beispielsweise, dass Rohre der Querschnitte bis DN 20, die mit mindestens 20 mm Dicke zu dämmen sind, mit der für DN 22 bis DN 35 verbindlichen Dicke von 30 mm gedämmt werden. Rohrstrecken, für die nur die halbe Dämmschichtdicke vorgeschrieben ist, werden mit der vollen Dicke und Abschnitte, die gar nicht gedämmt werden müssen, mit der halben Dicke gedämmt. Dies bedeutet, dass alle Kellerverteil- und Steigleitungen sowie für Wohnungsverteilleitungen der Warmwasserversorgung eine stärkere Dämmung haben als in der Heizungsanlagenverordnung gefordert wird. Für Wohnungsverteilleitungen in Zweirohrsystemen gilt die einfache und in Einrohrsystemen die halbe Dämmdicke.

Für die verschiedenen Dämmschichtdicken wurden die reinen Materialkosten der Dämmung ermittelt. Die Preise in Tabelle 2 sind über verschiedenen Rohrstärkebereiche gemittelte Werte.

Tabelle 2 Dämmmaterialpreise

Dämmschichtmindest-Dicke	Rohrstärke		
	Dünn	Mittel	Dick
1/4 HeizAnIV	0,55 €/m 1,08 DM/m	1,48 €/m 2,89 DM/m	3,19 €/m 6,24 DM/m
1/2 HeizAnIV	1,67 €/m 3,26 DM/m	3,21 €/m 6,28 DM/m	8,52 €/m 16,67 DM/m
HeizAnIV 98	3,50 €/m 6,85 DM/m	6,25 €/m 12,23 DM/m	10,69 €/m 20,90 DM/m
besser als HeizAnIV 98	4,69 €/m 9,17 DM/m	7,76 €/m 15,17 DM/m	12,86 €/m 25,16 DM/m

3 Technikspezifische Einflussfaktoren

3.1 Heizungsverteilung

Im folgenden werden verschiedene Einflussfaktoren für die Kosten von Verteilungsanlagen beschrieben, die nur bei Heizungsanlagen auftreten.

3.1.1 Rohrnetz

Bei Rohrnetzen zur Verteilung von Heizwärme wird, wenn die Wärme durch Heizkörper abgegeben werden soll, zwischen sogenannten Einrohrsystemen und Zweirohrsystemen unterschieden. Für die verschiedenen Systeme sind unterschiedliche Algorithmen für die Rohrlängenberechnung hinterlegt, welche wiederum in die Kostenberechnung einfließen. Die Berechnungsalgorithmen unterscheiden dabei nicht nur zwischen den verschiedenen Rohrnetzen, sondern auch nach unterschiedlichen Gebäudetypen; unterschieden wurde zwischen Ein- und Mehrfamilienhaus, sowie im Sektor Kleinverbraucher zwischen wohnungsähnlicher-, abweichend wohnungsähnlicher- und hallenähnlicher Nutzung.

Nachfolgend werden einige Besonderheiten der Rohrnetze aufgezeigt.

Zweirohrsystem

Im Zweirohrsystem müssen, wie der Name schon andeutet, je Leitungsstrang zwei Rohre installiert werden. Jeder Heizkörper ist an den Heizungsvorlauf und an den Heizungsrücklauf angeschlossen, die Heizkörper sind also parallel geschaltet.

Zweirohrsysteme werden in solche mit oberer und mit unterer Verteilung aufgeteilt.

Bei der oberen Verteilung wird das erwärmte Heizmedium zunächst durch Steigrohre zu der meist mit einem Ausdehnungsgefäß verbundenen Vorlaufverteilung im Dachraum geleitet, um von dort in die Vorlauf-Falleleitungen zu gelangen. An diese sind die Heizkörper in den einzelnen Stockwerken angeschlossen. Von dort wird das abgekühlte Heizmedium über die Rücklauf-Falleleitungen und die im Keller verlegten Rücklaufsammelleitungen zum Heizkessel zurücktransportiert.

In moderneren Anlagen werden Zweirohrsysteme mit unterer Verteilung ausgeführt. Der gesamte Rücklauf unterscheidet sich nicht von dem der oberen Verteilung, Die Vorlaufverteilung hingegen wird im Keller verlegt. Von dort führen Vorlaufsteigleitungen zu den Heizkörpern.

Eine weitere Ausführungsform des Zweirohrsystems ist die waagrechte Verteilung. Hier führen von einer zentralen Vorlaufsteig- bzw. Rücklauffalleitung je zwei Rohre zu den einzelnen Heizkörpern. Wegen des großen Bedarfs an Rohrmaterial ist diese Art der Verteilung nicht sehr verbreitet und ist hier nicht weiter Gegenstand der Betrachtung.

Jeder Heizkörper ist bei einem Zweirohrsystem direkt an den Vorlauf und an den Rücklauf angeschlossen. Vernachlässigt man, dass das Heizmedium in den Rohrleitungen zwischen zwei Steigleitungen oder zwei Heizkörperanschlüssen etwas abkühlt, kann man davon ausgehen, dass an allen Heizkörpern gleiche Bedingungen hinsichtlich der Medientemperatur herrschen.

Einrohrsystem

Einrohrsysteme sind einfacher aufgebaut als Zweirohrsysteme und in der Regel billiger. Die niedrigeren Kosten haben ihren Grund im Bedarf an Rohrleitungen, der bis zu einer bestimmten Gebäudegröße geringer ist und somit geringere Materialkosten verursacht.

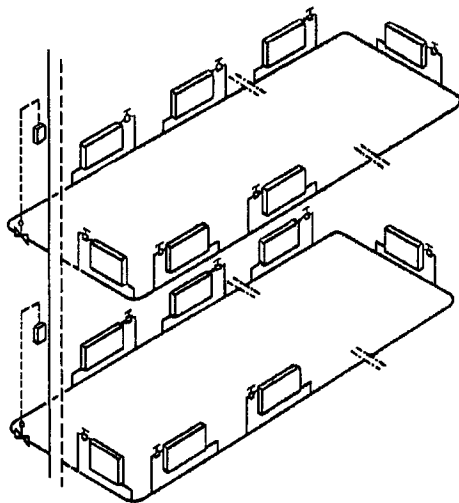
Die Heizkörper eines Heizkreises werden über eine Hauptverteilung versorgt. Heute übliche Verteilungen sind so aufgebaut, dass die Heizkörper jeweils in Abzweige der Hauptverteilung verlegt (Nebenschlusschaltung) und mit Regulierventilen versehen sind. Dabei ist dann auch eine Regulierung der Heizleistung einzelner Heizkörper möglich.

Jeder einzelne Heizkörper findet sich in hydraulischer Parallelschaltung zur Strangleitung, so dass jeweils zwischen Vorlauf- und Rücklaufanschluss eines Heizkörpers ein Teilwasserstrom über den Heizkörper und ein Teilwasserstrom in der Strangleitung fließt; jeweils am Rücklaufanschluss des Heizkörpers findet eine Mischung der beiden Teilströme statt und damit eine Temperaturabsenkung. Der in Strömungsrichtung nächstfolgende Heizkörper arbeitet hydraulisch in gleicher Weise, jedoch mit gegenüber dem voranliegenden Heizkörper abgesenkter Vorlauftemperatur. Das in Strömungsrichtung fortschreitende Temperaturdefizit muss durch Heizflächenvergrößerung berücksichtigt werden.

Einrohrsysteme werden oft vorgezogen, wenn die Baukosten eine übergeordnete Rolle spielen, z.B. in schlüsselfertig zu kaufenden Einfamilienhäusern oder in vielen Mehrfamilienhäusern.

Die Rohrführung kann sowohl in waagrechter als auch in senkrechter Richtung erfolgen.

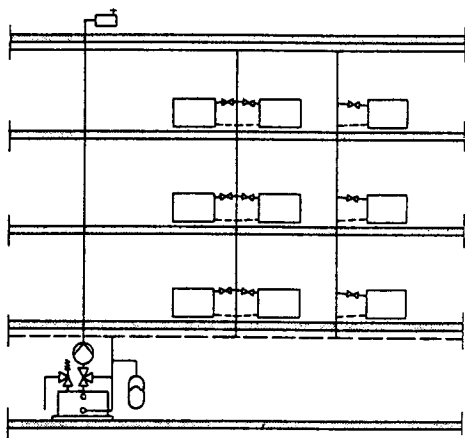
Einrohrsystem waagrecht



Das Heizmedium gelangt beim waagrechten Einrohrsystem über die Kellervorlaufleitung zur zentralen Steigleitung. Von dieser Steigleitung zweigen, wie in Abbildung 1 dargestellt, in den einzelnen Stockwerken eine oder mehrere Heizkreise ab, in denen eine bestimmte Anzahl von Heizkörpern nacheinander durchflossen wird. Nach den letzten Heizkörpern schließen die Heizkreise an die zentrale Rücklauf-Fallleitung und die Kellerrücklaufleitung zum Wärmeerzeuger an.

Abbildung 1 Einrohrsystem waagrecht

Einrohrsystem senkrecht



Wird eine senkrechte Verteilung gewählt, so kann es sich ausschließlich um eine obere Verteilung handeln, die entweder durch Schwerkraft oder mit einer Pumpe betrieben wird. Wie in Abbildung 2 dargestellt, gelangt das erwärmte Heizmedium durch eine Vorlaufsteigleitung nach oben zur Vorlaufverteilung. Von dieser zweigen die Vorlauf-Fallleitungen ab. Sie versorgen von oben nach unten die Heizkörper in den einzelnen Stockwerken. Von den untersten Heizkörpern gelangt das abgekühlte Heizwasser über die Rücklauf-Fallleitungen und die Rücklaufsammelleitung zum Heizkessel zurück.

Abbildung 2 Einrohrsystem senkrecht

Diese Art der Verteilung findet nur noch selten Anwendung. Sie ist in den neuen Bundesländern weit verbreitet. Senkrechte Einrohrheizungen sind besonders für Hochhäuser geeignet, da sich hier das Abstellen einzelner Heizkörper am wenigsten bemerkbar macht.

Der wesentliche Vorteil liegt im geringen Aufwand bei der Montage.

Fußbodenheizung

Eine Fußbodenheizung wird als Flächenheizungen betrachtet, darunter versteht man solche Heizflächen, bei denen die Wärmeabgabe in den Räumen durch beheizte Raumflächen (hier: Fußboden) erfolgt. Bei der Warmwasser-Fußbodenheizung, die in letzter Zeit große Verbreitung gefunden hat, werden die Heizrohre als Heizschlangen oder spiralförmig im Estrich des Fußbodens verlegt. Da die Fußbodentemperatur auf den begangenen Flächen einen gewissen Wert nicht überschreiten darf, werden Fußbodenheizungen als Niedertemperaturheizungen (hier mit Vorlauf / Rücklauf- Temperaturpaarung 40/30°C) ausgeführt, die sich z.B. besonders für Wärmepumpen eignen. Die Wärme wird vom Fußboden durch Konvektion

und Strahlung nach oben an den Raum abgegeben, während die Wärmeabgabe nach unten durch eine Dämmschicht begrenzt wird. Heute werden hauptsächlich Kunststoffrohre verwendet, deren Eigenschaften in der letzten Zeit so verbessert wurden, dass sie den Beanspruchungen der Fußbodenheizung gewachsen sind, nämlich Druck- und Temperaturbelastung, Stoßfestigkeit, Flexibilität und Lebensdauer.

Die Fußbodenheizung ist in der Regel erheblich teurer als Heizungen mit örtlichen Raumheizkörpern. Als Vorteile sind zu nennen:

- Fortfall der sichtbaren, manchmal störenden Raumheizkörper
- günstiges Temperaturprofil über der Raumhöhe

Als Nachteile sind zu nennen:

- Beschränkung bei Fußbodenbelägen
- hohe Kosten; hohe Reparaturkosten
- schlechte Regelfähigkeit bei schwankender Heizlast wegen der geringen Heizmedientemperaturen und der hohen Trägheit

Von den Steigleitungen zweigen je Stockwerk mehrere Heizkreise ab. Die Enden der Heizkreise werden zu Verteilern und Sammlern geführt, die an geeigneter Stelle (z.B. Diele) angeordnet werden. In der Regel werden die Fußbodenheizflächen aller Räume einer Wohnung an einen Heizkreisverteiler angeschlossen, von dem sich die einzelnen parallel geschalteten Heizkreise mittels Regulierventilen hydraulisch abgleichen lassen. Jeder Heizkreis ist regulierbar. In den meisten Fällen ist pro Wohnraum ein Heizkreis vorgesehen, bei Wohnräumen über 25 m² sind es mindestens zwei.

Wohnungszentrales System

Wohnungszentrale Systeme zur Heizwärmeverteilung kommen fast ausschließlich in Verbindung mit gasbefeuelten Umlauf- und Kombiwasserheizern zum Einsatz. Hauptsächliches Anwendungsgebiet ist die Modernisierung von Heizungen in Altbauten, vorwiegend in einzelnen Wohnungen von Mehrfamilienhäusern. Dabei wird die Verteilung häufig zeitgleich mit dem Wärmeerzeuger eingebaut.

Vom in der Wohnung installierten Wärmeerzeuger ausgehend führen, je nach den örtlichen Gegebenheiten, mehrere Abzweige zu den hydraulisch parallel liegenden Heizkreisen. Die einzelnen Heizkreise sind als waagrechte Einrohrsysteme ausgeführt.

Nicht immer erlaubt das Raumangebot die exakte Anpassung der Heizkörpergröße an die Bedingungen des Einrohrsystems. In der Praxis wird damit häufig die Reduktion der Leistung nachgeschalteter Heizkörper in Kauf genommen. Wegen der geringen Größe der Heizkreise sind die Leistungseinbußen in der Regel jedoch tolerierbar.

Um die Größe und die Kosten der Heizkörper gering zu halten, ist eine Auslegung für die Temperaturpaarung 55/40°C nicht üblich.

Die Rohre der Heizkreise werden aus Kostengründen (schnelle Montage) frei entlang den Wänden in Bodenhöhe verlegt und mit vorgefertigten Sockelleisten abgedeckt. Steigleitungen und Kellerverteillungen entfallen.

Im Unterschied zu den anderen hier behandelten Verteilungssystemen sind die für die Funktion des Heizsystems erforderlichen Komponenten Umwälzpumpe und Ausdehnungsgefäß im Wärmeerzeuger (Gastherme) integriert.

3.1.2 Temperaturpaarungen / Heizflächen

Für die hier durchgeführten Kostenbetrachtungen wurde der Einbau von Flachheizkörpern und Stahlradiatoren angenommen; sie sind mit verschiedenen Bauhöhen und Bautiefen erhältlich und haben für vergleichbare Wärmeleistungen das selbe Preisniveau.

Die Baugröße der Heizflächen steht im Zusammenhang mit dem Wärmebedarf, der wiederum von der Temperaturpaarung des Heizungssystems abhängt. In den vorangegangenen Studien /1/ /2/ wurde die Quadratmeterzahl und die Temperaturpaarung als einflussnehmende Größe auf den Wärmebedarf betrachtet; dies wurde beibehalten, um größer Änderungen an der IKARUS-Datenbank und den Teilmodellen zu vermeiden. Der Einfluss der Wärmedämmung des Gebäudes auf den Wärmebedarf wurde nicht berücksichtigt.

Als Festlegung für die Auslegung der Heizflächen wurde ein Bedarf von 50 W/m^2 angenommen; dieser Wert ist ein Richtwert der von Heizungsbauern zur groben Kostenabschätzung herangezogen wird. Auch in den Beispielberechnungen zur DIN 4701-1 (/3/) erhält man für ein Zimmer mit 20° Norminnentemperatur ungefähr 50 W/m^2 Wärmebedarf. Eine genauere Betrachtung wurde nicht durchgeführt, da bereits für eine Überslagsberechnung nach /4/ Kenntnisse über Wärmedurchgangskoeffizienten, Umfassungsfläche, Gebäudevolumen und Luftwechsel voraussetzt.

Im Rahmen dieser Untersuchung wurden folgende Temperaturpaarungen im Auslegungspunkt angenommen: $90/70^\circ\text{C}$, $70/50^\circ\text{C}$, $55/40^\circ\text{C}$ und $40/30^\circ\text{C}$. Für örtliche Heizflächen wurden dabei die ersten drei Temperaturpaarungen in Ansatz gebracht, $40/30^\circ\text{C}$ nur im Zusammenhang mit Fußbodenheizungen.

Bei den Berechnungen von /1/ wurde eine durchschnittlichen Raumgröße von 18 m^2 angenommen; dieser Wert wurde für die Heizflächenauslegung übernommen, was zu einem Bedarf von 900 W/Zimmer führt. Nachfolgend sind die durchschnittlichen Kosten für Heizkörper mit einer Leistung von 900 W angegeben.

Temperaturpaarung $90/70^\circ$	100,49 € (196,54 DM)
Temperaturpaarung $70/50^\circ$	142,14 € (278,00 DM)
Temperaturpaarung $55/40^\circ$	199,51 € (390,21 DM)

Die Preisunterschiede resultieren daraus, dass bei niedrigeren Temperaturen für die gleiche Leistung größere Flächen installiert werden.

Die Kosten von Fußbodenheizungen hängen neben der Qualität und dem Hersteller u.a. vor allem vom Verlegabstand der Rohrleitungen ab. Für diese Studie wurden die Kosten der Heizflächen bei Fußbodenheizungen nicht differenziert betrachtet, sondern mit einem Mittelwert für verschiedene Verlegabstände berücksichtigt. Die Kostenrecherchen ergaben einen Mittelwert von $25,56 \text{ €/m}^2$ (50 DM/m^2) Wohnfläche.

3.1.3 Weiter technische Einrichtungen

Neben den Rohrleitungen wurden noch andere Elemente einer Heizungsanlage bei den Kostenfaktoren berücksichtigt.

Thermostate

Nach den Bestimmungen der Heizungsanlagenverordnung /5/ sind heizungstechnische Anlagen mit selbsttätig wirkenden Einrichtungen zur raumweisen Temperaturregelung auszustatten. Pro Heizkörper ist ein Thermostatventil angesetzt. Fußbodenheizungen werden über Raumtemperaturfühler mit Zonenventilen im Verteilerkasten geregelt.

Die Anzahl der Heizkörper, oder Stränge der Fußbodenheizung lässt sich wiederum aus der durchschnittlich angenommenen Zimmergröße von 18 m²/Zimmer ableiten.

Als Mittelwerte für die Kosten der Thermostate sind folgende Werte in die Berechnung eingeflossen:

Heizkörperheizung: 33,23 €/Heizkörper (65 DM/Heizkörper)

Fußbodenheizung: 65,96 €/Heizkörper (129 DM/Heizstrang)

Pumpen

Der Wassenumlauf wird durch eine oder mehrere Pumpen bewirkt, die durch die erzeugte Druckdifferenz die Druckverluste im Heizwasserkreislauf überwinden. Es werden elektrisch angetriebene Kreislumpen verwendet; bei großen Anlagen wird die Leistung auf mehrere Pumpen aufgeteilt. Pumpen mit veränderbarer Drehzahl, deren Leistung den jeweiligen Verhältnissen angepaßt werden kann, werden heute in immer größerem Umfang angeboten.

Kosten für Umwälzpumpen wurden Abhängig von der Quadratmeterzahl der zu beheizenden Fläche für drei Bereiche angegeben:

Fläche < 250 m² (Einfamilienhaus): 153,39 € (300 DM)

Fläche > 250 m²: 255,65 € (500 DM)

Fläche > 1000 m²: 511,29 € (1000 DM)

Eine weitere Differenzierung wurde nicht vorgenommen, da der Einfluss auf die Gesamtkosten nicht weiter ausschlaggebend ist.

Verteiler

Verteiler dienen dazu, die von einer zentralen Stelle aus zugeführte Wärmemenge auf verschiedene Heizgruppen aufzuteilen. Bei Wasserheizungen sind ein Verteiler im Vorlauf und ein Sammler im Rücklauf notwendig. Für Fußbodenheizungen ist zusätzlich für einzelne Wohnungen ein Wohnungsverteiler notwendig.

Für Heizungsverteiler wurde die Annahme getroffen, dass die Heizflächen für 300 m² Fläche an einem Strang angeschlossen werden.

Aus der Kostenrecherche ergab sich ein Mittelwert von 127,82 € (250 DM) pro angeschlossenen Heizungsstrang an den Verteilern.

Für Fußbodenheizungen kommen zusätzliche die Kosten der Wohnungsverteiler, die mit einem Betrag von 153,39 € (300 DM) pro 90 m² Fläche berücksichtigt wurden.

3.2 Warmwasserverteilung

Die Versorgung mit Warmwasser muß verschiedenen Anforderungen genügen, wozu auch das Verteilungsnetz beiträgt. So soll das Warmwasser möglichst mit der gewünschten Temperatur und Menge gleichmäßig und ohne Verzögerung zur Verfügung stehen und hygienisch

einwandfrei sein. Im folgenden sind die grundsätzlichen Ausführungsformen der Warmwasserverteilung beschrieben, um den Umfang der kostenrelevanten Bestandteile zu veranschaulichen. Auf die wärmetechnische Ausführung (Dämmvarianten) wird dabei nicht detailliert eingegangen.

Das Rohrnetz dient der Verteilung des Warmwassers auf die verschiedenen Entnahmestellen. Die Ausführungsform von Warmwasserverteilungsnetzen hängt in erster Linie von der Lage der Warmwasserbereiter und der Zahl der Zapfstellen ab. Grundsätzlich wird bei der Warmwasserversorgung nach folgenden Kriterien unterschieden:

- Einzelversorgung mit einer Zapfstelle,
- Gruppenversorgung mit mindestens zwei nahe beieinanderliegenden Zapfstellen,
- Zentralversorgung mit Rohrleitungsnetz für viele Zapfstellen.

Für die Betrachtungen im Rahmen dieser Studie wird unter der Ausführungsart "dezentral" die Verteilung der Gruppenversorgung behandelt; auf die Einzelversorgung wird nicht detailliert eingegangen. Die Warmwasserverteilung bei Zentralversorgung ist als Ausführungsart "zentral" gekennzeichnet.

3.2.1 zentrale Warmwasserverteilung

Das erwärmte Trinkwasser gelangt vom Warmwasserspeicher über Kellerverteilleitungen, Steigleitungen und schließlich Wohnungsverteilleitungen zu den einzelnen Zapfstellen. Wenn das Wasser im Rohrnetz steht, kühlen Rohrinhalt und Rohr ab, und an der Zapfstelle fließen bei zentralen Systemen u.u. große Mengen abgekühlten Wassers, ehe warmes Wasser gezapft werden kann. Um zu vermeiden, dass bei einer Zapfung nach einem längeren zapffreien Zeitraum erst das abgekühlte Wasser entnommen und das Rohr erwärmt werden muss, wird ein Teil des Rohrnetzes mit einem Zirkulationsrohr versehen. Dabei wird neben den Rohren der Kellerverteilung und der Steigstränge ein zusätzliches Rohr verlegt, in dem das Warmwasser zum Speicher zurückfließt. Die in die Zirkulation eingebundenen Rohre werden während der Zirkulationsdauer unabhängig von etwaigen Entnahmen an den Zapfstellen kontinuierlich von warmem Wasser durchflossen und kühlen so nicht aus.

Für die Kostenbetrachtung wurden bei zentraler Warmwasserversorgung folgende Baugruppen berücksichtigt

Rohrleitungen

Für die Anlagenkosten wurden die Rohrleitungslängen, die aus den Studien /1/ und /2/ bereits als Berechnungsalgorithmen hinterlegt waren, als Berechnungsgrundlage herangezogen.

Zirkulationspumpe

Für Einfamilienhäuser wurde pauschal mit Kosten von 76,69 € (150,- DM) für eine Zirkulationspumpe gerechnet. Bei Mehrfamilienhäuser und Kleinverbraucher wurden die Kosten der Pumpe flächenabhängig berücksichtigt mit einem Festanteil von 83,34 € (163,- DM) und einem flächenabhängigen Teil von 0,07 €/m² (0,13 DM/m²).

Warmwasserspeicher

Die Kosten der Warmwasserspeicher sind in Abhängigkeit der Speichergröße, die aus den Studien /1/ und /2/ übernommen wurde, angegeben. Differenziert wurde dabei zwischen kleinen

Speichern (bis 500 l) und großen Speichern (≥ 500 l), für die jeweils die Kosten durch eine quadratische Gleichung in Abhängigkeit von der Speichergröße ermittelt werden.

Volumen $V < 500$ l:

$$\text{Kosten} = 818 + 8,0124 \cdot V - 0,0013 \cdot V^2$$

Volumen $V \geq 500$ l:

$$\text{Kosten} = 83,46 + 12,8 \cdot V - 0,0006 \cdot V^2$$

3.2.2 dezentrale Warmwasserverteilung

In dezentralen Systemen wird das Trinkwasser nahe an den Zapfstellen erwärmt. Diese Studie betrachtet Anlagen, bei denen an einer zentralen Stelle in der Wohnung ein Gerät zur Wassererwärmung angebracht ist und über die Wohnungsverteileitungen das Wasser zu den Zapfstellen führt. Die Ergebnisse der Erhebungen zur Warmwasserverteilung, die im Rahmen der Studien /1/ und /2/ durchgeführt wurden, zeigen, daß die dezentrale Versorgung mit Warmwasser in Einzelfällen - insbesondere aufgrund der räumlichen Gegebenheiten in Altbauten - sehr unterschiedlich realisiert sein kann. Bei dezentraler Warmwasserversorgung ist kein Zirkulationssystem erforderlich, da nur verhältnismäßig kurze Wohnungsverteileitungen verlegt sind.

Für die Kostenbetrachtung wurden bei zentraler Warmwasserversorgung nur die Rohrleitungskosten der Wohnungsverteileitungen berücksichtigt, die Kellerverteileitungen und Steigleitungen werden für eine dezentrale Versorgung nicht benötigt. Die Kosten für eine Zirkulationspumpe und für einen Warmwasserspeicher fallen nicht an.

4 Montage

Die Montagekosten wurden anhand von /7/ kalkuliert. Die Montagezeiten wurden für einen Montagetrupp mit einem Monteur (Stundensatz 40,90 €, entspricht 80,- DM) und einem Helfer (Stundensatz 25,56 €, entspricht 50,- DM) in Montagekosten umgerechnet. Daraus errechnet sich eine Stunde Montagearbeit mit 33,23 € (65,- DM) oder eine Minute Montagearbeit mit 0,55 € (1,08 DM). Für die nachfolgend aufgezählten Bereiche wurden Montagekosten in die Systemkosten eingerechnet.

Rohrleitungen

Für Rohrleitungen sind die Montagekosten durchmesser- und materialabhängig gemittelt. Dagegen sind die Kosten für die Isolationsmontage nur vom Querschnitt abhängig. Als Summe von Rohrmontage und Isolationsmontage ergeben sich die querschnittsabhängigen Montagekosten wie folgt:

dünne Rohre:	12,27 €/m (24,- DM/m)
mittlere Rohre:	17,38 €/m (34,- DM/m)
dicke Rohre:	26,08 €/m (51,- DM/m)

Pumpenmontage

Für Heizungs- und Zirkulationspumpen wurden die Montagekosten in Abhängigkeit der Pumpenkosten ermittelt. Eine Unterscheidung erfolgte zusätzlich zwischen Einfamilien-

häusern und anderen Gebäuden. Für Einfamilienhäuser wurden 36 % der Pumpenkosten als Montagekosten angesetzt, für die anderen Gebäude wurde mit 48 % der Pumpenkosten als Montagekosten gerechnet.

Verteilermontage:

Die Kosten für die Verteilermontage wurden ebenfalls auf den Verteilerpreis bezogen. Aus gemittelten Werten ergaben sich 28 % der Verteilerkosten als Montagekosten.

Heizflächenmontage

Laut /7/ errechneten sich Kosten in Höhe von 66,47 €/m (130,- DM) pro Heizkörper. In Vergleichen mit anderen Angeboten erschien dieser Betrag zu hoch. Für die Berechnungen wurde ein Betrag von 53,69 €/m (105,- DM) pro Heizkörper aus einem vorliegenden Angebot /8/ übernommen.

Für Fußbodenheizungen wurden durchschnittlich für verschiedene Verlegabstände 5,11 €/m (10,- DM) pro Quadratmeter angesetzt.

5 Plausibilitätskontrollen

Die Ergebnisse der Kostenberechnung wurden für unterschiedliche Gebäudegrößen und Gebäudetypen mit vorliegenden Angeboten /8/ und dem Kennziffernkatalog /9/ verglichen.

Bei manchen Gebäudegrößen sind sehr starke Preisunterschiede möglich. Einen großen Einfluss auf die Kosten hat bereits die Planung; dabei wird festgelegt, wie die Rohrleitungen verlegt werden und welche Länge sie haben. Für das gleiche Gebäude können bei unterschiedlicher Planung bereits enorme Unterschiede in den erforderlichen Rohrlängen auftreten; dies wirkt sich wiederum bei den Material- und Montagekosten aus.

Die angegebenen Kostenpunkte spiegeln nicht alle Einflussparameter einer realen Heizungs- oder Warmwasserinstallation wieder. Keinen Einfluss nahmen z.B. Kleinteile, Montagekosten für Speicher bei Warmwassersystemen. Bei Vergleichen der berechneten Kosten mit Referenzangeboten ergaben sich bereits ca. 4 % bis 19 % höhere errechnete Kosten, so dass kein Bedarf bestand weiter Kostenpunkt in die Kalkulationen aufzunehmen.

6 Quellen

- /1/ Pfitzner G. ; Schäfer V. : Berechnung von Heizungssystemen in Wohnbauten - Heizungs- und Warmwasserverteilung. Jülich: Forschungszentrum Jülich GmbH, 1994 (IKARUS 5-30).
- /2/ Immel G. ; Bressler G. : Ermittlung von Heizungs- und Warmwasserbereitungssystemen inklusive deren Verteilungsverluste in Nichtwohngebäuden. Jülich: Forschungszentrum Jülich GmbH, 1994 (IKARUS 5-19).
- /3/ Normentwurf DIN 4701 Teil 1. Stand August 1995
- /4/ Recknagel; Sprenger; Schramek: Taschenbuch für Heizung + Klima Technik 2000; 69. Auflage. München: Oldenbourg Verlag, 1999. – ISBN: 3-486-26215-7
- /5/ Bundesgesetzblatt: Heizungsanlagenverordnung; Neufassung vom 4. Mai 1998
- /6/ Statistisches Bundesamt: Statistisches Jahrbuch 2000. Stuttgart: Metzler-Poeschel, September 2000
- /7/ Ende; Reckittke: Kalkulationstabellen für Heizungs-, Lüftungs- und Sanitäreinrichtungen; 11. Auflage. Düsseldorf: Krammer Verlag Düsseldorf AG, 1999. – ISBN: 3-88382-074-1
- /8/ Schwaiger GmbH: Angebot zur Lieferung und Montage einer Gas-Heizungsanlage. 1998
- /9/ EWU Engineering GmbH: Kennziffernkatalog – Investitionsvorbereitung in der Energiewirtschaft; 11. Ausgabe. Berlin: EWU Engineering GmbH, 1999

Anhang A

Verteilungsverluste und Investitionskosten
für Heizungsverteilungssysteme

Geltungsbereich		Einfamilienhaus 80 bis 250 m²			Mehrfamilienhaus 300 bis 10.000 m²		
Temperaturpaarung		55/40	70/50	90/70	55/40	70/50	90/70
Länge (Mittelwert)	[m/m²]	0,92	0,92	0,92	0,45	0,45	0,45
min:	[m/m²]	0,73	0,73	0,73	0,26	0,26	0,26
max:	[m/m²]	1,27	1,27	1,27	0,73	0,73	0,73
Anteil unbeheizt	[%]	33,84	33,84	33,84	22,19	22,19	22,19
min:	[%]	32,71	32,71	32,71	18,59	18,59	18,59
max:	[%]	34,47	34,47	34,47	28,10	28,10	28,10
Verluste Var.1	[kWh/m²a]	14,60	21,12	26,42	6,35	9,40	11,86
min:	[kWh/m²a]	11,74	17,07	21,38	3,22	4,91	6,28
max:	[kWh/m²a]	19,81	28,62	35,80	11,75	17,00	21,22
Verluste Var.2	[kWh/m²a]	6,88	9,98	12,51	2,96	4,40	5,56
min:	[kWh/m²a]	5,44	7,94	9,96	1,52	2,32	2,97
max:	[kWh/m²a]	9,45	13,68	17,14	5,45	7,91	9,89
Verluste Var.3	[kWh/m²a]	5,76	8,34	10,44	2,48	3,68	4,65
min:	[kWh/m²a]	4,58	6,67	8,36	1,27	1,94	2,48
max:	[kWh/m²a]	7,86	11,37	14,24	4,58	6,64	8,30
Hilfsenergie el.	[kWh/m²a]	1,005	1,005	1,005	1,022	1,022	1,022
Kosten (Var. 2)	[Euro]	Kosten = a + b x + c x²			x = Wohnfläche / m²		
	a	2165	2165	2165	2949	2949	2949
	b	13,74	10,96	8,73	23,82	21,04	18,81
	c	0,0430	0,0430	0,0431	-0,0003	-0,0003	-0,0003
Kostendifferenz *							
Var. 2 - Var.1	[%]						
min:	[%]	9,20	9,95	10,65	6,50	7,25	7,99
max:	[%]	8,67	9,47	10,21	4,73	5,39	6,07
		10,14	10,82	11,44	8,52	9,30	10,02
Var. 2 - Var.1	[%]						
min:	[%]	11,68	12,64	13,52	2,70	3,01	3,31
max:	[%]	10,79	11,78	12,71	1,97	2,24	2,52
		13,24	14,12	14,92	3,45	3,76	4,05
Technische LD	[a]						
Wirtschaftl. LD	[a]	30	30	30	30	30	30
Instandhaltung	[%inv/a]	15	15	15	15	15	15
Beseitigung	[%inv]	1	1	1	1	1	1
		10	10	10	10	10	10

* bezogen auf Gesamtkosten von Variante 2
 Flächeangaben beziehen sich auf Wohnfläche

Geltungsbereich		Einfamilienhaus 80 bis 250 m ²			Mehrfamilienhaus 300 bis 10.000 m ²		
Temperaturpaarung		55/40	70/50	90/70	55/40	70/50	90/70
Länge (Mittelwert)	[m/m ²]	0,81	0,81	0,81	0,54	0,54	0,54
min:	[m/m ²]	0,74	0,74	0,74	0,47	0,47	0,47
max:	[m/m ²]	0,86	0,86	0,86	0,68	0,68	0,68
Anteil unbeheizt	[%]	10,05	10,05	10,05	12,89	12,89	12,89
min:	[%]	9,65	9,65	9,65	10,09	10,09	10,09
max:	[%]	11,06	11,06	11,06	17,93	17,93	17,93
Verluste Var.1	[kWh/m ² a]	11,73	17,97	23,02	5,15	8,15	10,35
min:	[kWh/m ² a]	10,43	15,96	20,45	2,94	4,81	6,35
max:	[kWh/m ² a]	13,15	20,07	25,66	9,47	14,24	18,07
Verluste Var.2	[kWh/m ² a]	4,62	7,13	9,19	2,20	3,47	4,51
min:	[kWh/m ² a]	4,08	6,30	8,11	1,38	2,27	3,01
max:	[kWh/m ² a]	5,15	7,92	10,17	3,85	5,84	7,45
Verluste Var.3	[kWh/m ² a]	3,38	5,24	6,73	1,61	2,51	3,24
min:	[kWh/m ² a]	3,08	4,73	6,07	0,96	1,57	2,08
max:	[kWh/m ² a]	3,78	5,77	7,39	2,92	4,38	5,58
Hilfsenergie el.	[kWh/m ² a]	0,854	0,854	0,854	0,869	0,869	0,869
Kosten (Var. 2)	[Euro]	Kosten = a + b x + c x ²			x = Wohnfläche / m ²		
	a	-512	-512	-512	1776	1776	1776
	b	42,39	39,60	37,38	23,36	20,58	18,35
	c	-0,0421	-0,0420	-0,0420	-0,0002	-0,0001	-0,0001
Kostendifferenz *							
Var. 2 - Var.1	[%]	5,47	6,00	6,49	3,01	3,37	3,73
min:	[%]	5,21	5,74	6,21	1,86	2,10	2,35
max:	[%]	5,83	6,35	6,85	4,78	5,29	5,78
Var. 2 - Var.1	[%]	10,91	11,96	12,95	2,70	3,03	3,36
min:	[%]	10,45	11,44	12,38	2,55	2,88	3,22
max:	[%]	11,33	12,39	13,38	3,00	3,32	3,63
Technische LD	[a]	30	30	30	30	30	30
Wirtschaftl. LD	[a]	15	15	15	15	15	15
Instandhaltung	[%inv/a]	1	1	1	1	1	1
Beseitigung	[%inv]	10	10	10	10	10	10

* bezogen auf Gesamtkosten von Variante 2
 Flächeangaben beziehen sich auf Wohnfläche

Geltungsbereich		Mehrfamilienhaus 300 bis 10.000 m²		
Temperaturpaarung		55/40	70/50	90/70
Länge (Mittelwert)	[m/m²]	0,33	0,33	0,33
min:	[m/m²]	0,17	0,17	0,17
max:	[m/m²]	0,59	0,59	0,59
Anteil unbeheizt	[%]	22,78	22,78	22,78
min:	[%]	17,85	17,85	17,85
max:	[%]	30,04	30,04	30,04
Verluste Var.1	[kWh/m²a]	5,64	8,23	10,34
min:	[kWh/m²a]	2,38	3,60	4,58
max:	[kWh/m²a]	11,72	16,78	20,88
Verluste Var.2	[kWh/m²a]	2,30	3,38	4,25
min:	[kWh/m²a]	0,98	1,49	1,89
max:	[kWh/m²a]	4,79	6,88	8,59
Verluste Var.3	[kWh/m²a]	1,84	2,69	3,38
min:	[kWh/m²a]	0,78	1,18	1,51
max:	[kWh/m²a]	3,80	5,45	6,79
Hilfsenergie el.	[kWh/m²a]	0,818	0,818	0,818
Kosten (Var. 2)	[Euro]	Kosten = a + b x + c x² x = Wohnfläche / m²		
a		2829	2829	2829
b		20,96	18,18	15,95
c		-0,0003	-0,0002	-0,0002
Kostendifferenz *				
Var. 2 - Var.1	[%]	4,83	5,46	6,09
min:	[%]	2,98	3,45	3,95
max:	[%]	7,20	7,94	8,64
Var. 2 - Var.1	[%]	1,97	2,23	2,49
min:	[%]	1,27	1,47	1,68
max:	[%]	2,80	3,08	3,35
Technische LD	[a]	30	30	30
Wirtschaftl. LD	[a]	15	15	15
Instandhaltung	[%inv/a]	1	1	1
Beseitigung	[%inv]	10	10	10

* bezogen auf Gesamtkosten von Variante 2
 Flächeangaben beziehen sich auf Wohnfläche

Geltungsbereich		Einfamilienhaus 80 bis 250 m²	Mehrfamilienhaus 300 bis 10.000 m²
Temperaturpaarung		40/30	40/30
Länge (Mittelwert)	[m/m²]	0,31	0,10
min:	[m/m²]	0,27	0,03
max:	[m/m²]	0,34	0,25
Anteil unbeheizt		10,06	30,05
min:	[%]	9,03	27,20
max:	[%]	12,60	33,43
Verluste Var.1		3,82	1,37
min:	[kWh/m²a]	3,40	0,39
max:	[kWh/m²a]	4,35	3,40
Verluste Var.2		1,75	0,64
min:	[kWh/m²a]	1,56	0,18
max:	[kWh/m²a]	1,98	1,57
Verluste Var.3		1,48	0,54
min:	[kWh/m²a]	1,31	0,16
max:	[kWh/m²a]	1,67	1,32
Hilfsenergie el.		1,134	1,152
Kosten (Var. 2)		Kosten = a + b x + c x² x = Wohnfläche / m²	
a		1913	2520
b		34,68	43,69
c		0,0393	-0,0002
Kostendifferenz *			
Var. 2 - Var.1		5,78	3,50
min:	[%]	5,23	2,18
max:	[%]	6,81	5,14
Var. 2 - Var.1		6,60	1,14
min:	[%]	5,92	0,72
max:	[%]	7,85	1,68
Technische LD		20	20
Wirtschaftl. LD		15	15
Instandhaltung	[%inv/a]	1	1
Beseitigung	[%inv]	35	35

* bezogen auf Gesamtkosten von Variante 2
 Flächeangaben beziehen sich auf Wohnfläche

Geltungsbereich		Mehrfamilienhaus 300 bis 10.000 m²	
Temperaturpaarung		70/50	90/70
Länge (Mittelwert)	[m/m²]	0,37	0,37
min:	[m/m²]	0,34	0,34
max:	[m/m²]	0,40	0,40
Anteil unbeheizt	[%]	9,05	9,05
min:	[%]	9,01	9,01
max:	[%]	9,09	9,09
Verluste Var.1	[kWh/m²a]	2,67	3,58
min:	[kWh/m²a]	2,37	3,17
max:	[kWh/m²a]	2,96	3,97
Verluste Var.2	[kWh/m²a]	1,59	2,14
min:	[kWh/m²a]	1,48	1,98
max:	[kWh/m²a]	1,69	2,27
Verluste Var.3	[kWh/m²a]	1,05	1,41
min:	[kWh/m²a]	0,98	1,31
max:	[kWh/m²a]	1,12	1,50
Hilfsenergie el.	[kWh/m²a]	0,000	0,000
		Umwälzpumpe im Wärmeerzeuger	
Kosten (Var. 2)	[Euro]	Kosten = a + b x + c x² x = Wohnfläche / m²	
a		-76	-76
b		18,88	16,66
c		-0,0001	-0,0001
Kostendifferenz *			
Var. 2 - Var.1	[%]	1,53	1,73
min:	[%]	1,51	1,71
max:	[%]	1,56	1,76
Var. 2 - Var.1	[%]	2,78	3,15
min:	[%]	2,72	3,09
max:	[%]	2,86	3,22
Technische LD	[a]	25	25
Wirtschaftl. LD	[a]	15	15
Instandhaltung	[%inv/a]	1	1
Beseitigung	[%inv]	10	10

* bezogen auf Gesamtkosten von Variante 2
 Flächeangaben beziehen sich auf Wohnfläche

Heizungsverteilung	Abweichend wohnungsähnliche Nutzung im Sektor Kleinverbrauch (Typklasse 2)						IKARUS
--------------------	---	--	--	--	--	--	--------

Geltungsbereich		100 bis 1.000 m ²			bis 10.000m ²		
Temperaturpaarung		40/30 Fußbodenh.	70/50	90/70	40/30 Fußbodenh.	70/50	90/70
Länge (Mittelwert)	[m/m ²]	0,19	0,68	0,68	0,14	0,36	0,36
Anteil unbeheizt	[%]	57,54	25,50	25,50	68,40	34,27	34,27
Verluste Var.1	[kWh/m ² a]	2,28	10,22	13,65	1,84	6,55	8,69
Verluste Var.2	[kWh/m ² a]	1,00	4,86	6,50	0,80	3,03	4,02
Verluste Var.3	[kWh/m ² a]	0,86	3,86	5,16	0,69	2,47	3,28
Hilfsenergie el.	[kWh/m ² a]	0,700	0,740	0,740	1,620	0,580	0,580
Kosten (Var. 2)	[Euro]	Kosten = a + b x + c x ²			x = Wohnfläche / m ²		
	a	516	2319	2319	803	2605	2605
	b	37,57	22,38	20,15	38,32	23,13	20,90
	c	0,0008	0,0006	0,0006	-0,0002	-0,0005	-0,0004
Kostendifferenz*							
Var. 2 - Var. 1	[%]	2,63	7,23	7,82	2,19	6,15	6,83
Var. 3 - Var. 2	[%]	0,81	4,82	5,20	0,67	3,29	3,65

* bezogen auf Gesamtkosten von Variante 2
Flächeangaben beziehen sich auf Nutzfläche

	Wohnungsähnliche Nutzung im Sektor Kleinverbrauch (Typklasse 1)	IKARUS

Geltungsbereich		100 bis 500 m ²			bis 7000m ²		
		40/30 Fußbodenh.	70/50	90/70	40/30 Fußbodenh.	70/50	90/70
Temperaturpaarung							
Länge (Mittelwert)	[m/m ²]	0,32	0,84	0,84	0,22	0,56	0,56
Anteil unbeheizt	[%]	43,32	25,65	25,65	70,86	35,74	35,74
Verluste Var.1	[kWh/m ² a]	3,47	15,50	20,70	2,96	10,28	13,64
Verluste Var.2	[kWh/m ² a]	1,54	7,17	9,58	1,29	4,74	6,30
Verluste Var.3	[kWh/m ² a]	1,31	5,89	7,87	1,11	3,88	5,14
Hilfsenergie el.	[kWh/m ² a]	1,170	0,918	0,918	1,380	0,900	0,900
Kosten (Var. 2)	[Euro]	Kosten = a + b x + c x ²			x = Wohnfläche / m ²		
	a	657	1376	1376	747	1466	1466
	b	40,21	26,81	24,58	40,35	26,95	24,72
	c	-0,0003	-0,0006	-0,0006	-0,0003	-0,0006	-0,0006
Kostendifferenz*							
Var. 2 - Var. 1	[%]	3,80	9,12	9,77	3,14	7,57	8,27
Var. 3 - Var. 2	[%]	1,18	4,28	4,59	0,96	4,00	4,36

* bezogen auf Gesamtkosten von Variante 2
 Flächeangaben beziehen sich auf Nutzfläche

	Hallenähnliche Nutzung im Sektor Kleinverbrauch (Typklasse 3)	IKARUS

Geltungsbereich

100 bis 500 m²

Temperaturpaarung

40/30 70/50 90/70
Fußbodenh.

Länge (Mittelwert)	[m/m ²]	0,10	0,35	0,35
--------------------	---------------------	------	------	------

Anteil unbeheizt	[%]	45,95	30,14	30,14
------------------	-----	-------	-------	-------

Verluste Var.1	[kWh/m ² a]	1,09	6,20	8,25
----------------	------------------------	------	------	------

Verluste Var.2	[kWh/m ² a]	0,48	2,88	3,83
----------------	------------------------	------	------	------

Verluste Var.3	[kWh/m ² a]	0,41	2,34	3,12
----------------	------------------------	------	------	------

Hilfsenergie el.	[kWh/m ² a]	1,150	0,560	0,560
------------------	------------------------	-------	-------	-------

Kosten (Var. 2)	[Euro]	Kosten = a + b x + c x ²			x = Wohnfläche / m ²
	a	678	692	692	
	b	29,49	19,85	18,07	
	c	0,0000	-0,0002	-0,0002	

Kostendifferenz*

Var. 2 - Var. 1	[%]	1,72	6,33	6,95
-----------------	-----	------	------	------

Var. 3 - Var. 2	[%]	0,54	3,29	3,61
-----------------	-----	------	------	------

* bezogen auf Gesamtkosten von Variante 2
Flächeangaben beziehen sich auf Nutzfläche

Anhang B

Verteilungsverluste und Investitionskosten
für Warmwasserverteilungssysteme

		dezentrale Warmwasserbereitung				
Warmwasserverteilung		Sektor Haushalte			IKARUS	

Geltungsbereich		Einfamilienhaus 80 bis 250 m²			Mehrfamilienhaus 300 bis 10.000 m²		
		Min.	Wert	Max.	Min.	Wert	Max.
Länge Sticleitung	[m/m²]	0,056	0,080	0,088	0,088	0,094	0,096
Anteil Stich. unbeheizt	[%]	10	10	10	10	10	10
Variable Wärmeverluste							
Variante 1	[kWh/l]	0,0014	0,0020	0,0024	0,0021	0,0024	0,0025
Variante 2	[kWh/l]	0,0014	0,0020	0,0024	0,0021	0,0024	0,0025
Variante 3	[kWh/l]	0,0014	0,0020	0,0024	0,0021	0,0024	0,0025
Anteil mögl. Wärmegewinne	[%/a]	90	90	90	90	90	90
Hilfsenergie el.	[kWh/m²a]	-	-	-	-	-	-
Kosten (Var. 2)	[Euro]	Kosten = a + b x + c x²			x = Wohnfläche / m²		
	a		-256			-35	
	b		5,22			2,39	
	c		-0,0090			0,0000	
Kostendifferenz*		15,92	16,01	16,07	16,94	17,13	17,23
Var. 2 - Var. 1	[%]						
Var. 3 - Var. 2	[%]	6,30	6,31	6,31	6,39	6,41	6,42
Technische LD	[a]		25			25	
Wirtschaftl. LD	[a]		20			20	
Instandhaltung	[%inv/a]		2			2	
Beseitigung	[%inv]		5			5	

* bezogen auf Gesamtkosten von Variante 2
Flächeangaben beziehen sich auf Wohnfläche

		zentrale Warmwasserbereitung				
		Sektor Haushalte				
Warmwasserverteilung					IKARUS	

Geltungsbereich		Einfamilienhaus 80 bis 250 m²			Mehrfamilienhaus 300 bis 10.000 m²		
		Min.	Wert	Max.	Min.	Wert	Max.
Speichertemperatur	[°C]		50			50	
Speicherinhalt	[m³/m²]	0,0009	0,0010	0,0010	0,0010	0,0011	0,0011
Länge Stichleitung	[m/m²]	0,070	0,100	0,110	0,110	0,120	0,120
Anteil Stich. unbeheizt	[%]	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Länge Zirkulationsleit.	[m/m²]	0,28	0,31	0,33	0,10	0,20	0,33
Anteil Zirk. unbeheizt	[%]	53,00	57,34	68,00	51,00	64,20	75,00
Dauer der Zirkulation	[h/d]		12			20	
Konstante Wärmeverluste							
Variante 1	[kWh/m²a]	20,90	25,54	28,02	11,96	24,34	41,48
Variante 2	[kWh/m²a]	12,40	15,47	17,14	6,74	13,64	23,26
Variante 3	[kWh/m²a]	10,56	13,62	15,36	5,92	11,98	20,56
Variable Wärmeverluste							
Variante 1	[kWh/l]	0,0018	0,0025	0,0030	0,0026	0,0030	0,0031
Variante 2	[kWh/l]	0,0018	0,0025	0,0030	0,0026	0,0030	0,0031
Variante 3	[kWh/l]	0,0018	0,0025	0,0030	0,0026	0,0030	0,0031
Anteil mögl. Wärmegewinne	[%/a]	48	51	53	39	42	45
Hilfsenergie el.	[kWh/m²a]	1,09	1,52	2,02	0,24	0,80	1,63
Kosten (Var. 2)	[Euro]	Kosten = a + b x + c x²			x = Wohnfläche / m²		
	a		404			3231	
	b		15,00			9,19	
	c		-0,0043			-0,0002	
Kostendifferenz*		7,49	10,05	12,29	9,87	11,19	11,98
Var. 2 - Var. 1	[%]						
Var. 3 - Var. 2	[%]	2,60	3,41	4,10	3,27	3,82	4,15
Technische LD	[a]		22			23	
Wirtschaftl. LD	[a]		20			20	
Instandhaltung	[%inv/a]		2			2	
Beseitigung	[%inv]		5			5	

* bezogen auf Gesamtkosten von Variante 2
Flächeangaben beziehen sich auf Wohnfläche

		dezentrale Warmwasserbereitung				
Warmwasserverteilung		Sektor Kleinverbrauch				IKARUS

Geltungsbereich		wohnungsähnlich		abweichend wohnungsä.		hallenähnl.
		100 bis 500 m ²	bis 7000m ²	100 bis 1.000 m ²	bis 10.000m ²	100 bis 500 m ²
Anzahl der Nutztage	[d/w]	5	5	5	5	5
Länge Stichleitung	[m/m ²]	0,107	0,093	0,030	0,028	0,007
Anteil Stich. unbeheizt	[%]	20	20	20	20	10
Variable Wärmeverluste						
Variante 1	[kWh/l]	0,0017	0,0015	0,0007	0,0006	0,0003
Variante 2	[kWh/l]	0,0017	0,0015	0,0007	0,0006	0,0003
Variante 3	[kWh/l]	0,0017	0,0015	0,0007	0,0006	0,0003
Anteil mögl. Wärmegewinne	[%/a]	80	80	80	80	90
Hilfsenergie el.	[kWh/m ² a]	-	-	-	-	-
Kosten (Var. 2)	[Euro]	Kosten = a + b x + c x ²				x = Wohnfläche / m ²
	a	87	87	40	40	194
	b	1,52	1,52	0,47	0,47	0,03
	c	0,0001	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000
Kostendifferenz*						
Var. 2 - Var. 1	[%]	15,63	15,63	15,63	15,63	15,63
Var. 3 - Var. 2	[%]	6,27	6,27	6,27	6,27	6,27
Lebensdauer	[a]	25	25	25	25	25
Instandhaltung	[%inv/a]	2	2	2	2	2
Beseitigung	[%inv]	5	5	5	5	5

* bezogen auf Gesamtkosten von Variante 2
Flächeangaben beziehen sich auf Nutzfläche

Wärmwasserverteilung		zentrale Warmwasserbereitung Sektor Kleinverbrauch				IKARUS
Geltungsbereich		wohnungsähnlich 100 bis 500 m² bis 7000m²		abweichend wohnungsä. 100 bis 1.000 m² bis 10.000m²		hallenähnl. 100 bis 500 m²
Anzahl der Nutztage	[d/w]	5	5	5	5	5
Speichertemperatur	[°C]	50	50	50	50	50
Speicherinhalt	[m³/m²]	0,0006	0,0002	0,0005	0,0011	0,0003
Länge Stichleitung	[m/m²]	0,030	0,028	0,007	0,107	0,093
Anteil Stich. unbeheizt	[%]	20	20	10	20	20
Länge Zirkulationsleit.	[m/m²]	0,14	0,06	0,02	0,16	0,14
Anteil Zirk. unbeheizt	[%]	47,6	49,8	47,5	21,6	21,6
Dauer der Zirkulation	[h/d]	12	12	12	12	12
Konstante Wärmeverluste						
Variante 1	[kWh/m²a]	6,44	2,08	1,50	4,32	2,19
Variante 2	[kWh/m²a]	3,89	1,23	0,99	2,94	1,34
Variante 3	[kWh/m²a]	3,27	1,06	0,78	2,24	1,10
Variable Wärmeverluste						
Variante 1	[kWh/l]	0,0007	0,0006	0,0003	0,0017	0,0015
Variante 2	[kWh/l]	0,0007	0,0006	0,0003	0,0017	0,0015
Variante 3	[kWh/l]	0,0007	0,0006	0,0003	0,0017	0,0015
Anteil mögl. Wärmegewinne	[%/a]	45,3	49,5	28,0	34,3	61,5
Hilfsenergie el.	[kWh/m²a]	0,69	0,40	0,13	0,88	0,93
Kosten (Var. 2)						
	[Euro]	Kosten = a + b x + c x²		x = Wohnfläche / m²		
	a	1976	1730	3186	1100	746
	b	1,48	1,99	1,96	3,24	3,88
	c	0,000031	-0,000023	-0,000098	-0,000005	-0,000078
Kostendifferenz*						
Var. 2 - Var. 1	[%]	8,96	10,28	2,38	6,39	10,87
Var. 3 - Var. 2	[%]	3,14	3,64	0,85	2,47	4,21
Lebensdauer	[a]	23	24	24	23	24
Instandhaltung	[%inv/a]	2	2	2	2	2
Beseitigung	[%inv]	5	5	5	5	5

* bezogen auf Gesamtkosten von Variante 2
Flächeangaben beziehen sich auf Nutzfläche

