

Inhalt

1 Einführung in die integrierte Gesamtplanung	1
1.1 Ziel des Leitfadens	1
1.2 Aufbau und Anwendung des Leitfadens	1
1.3 Strategische Vorentscheidungen	3
2 Wärmebedarf	5
2.1 Raumwärmebedarf	6
2.2 Wärmebedarf für Warmwasserversorgung	7
2.3 Jahresdauerlinien und Tagesgangprofile	10
3 Wärmeerzeugung	13
3.1 Auslegung von Wärmeerzeugern	13
3.2 Kraft-Wärme-Kopplungs-Systeme	15
3.2.1 Blockheizkraftwerke	15
3.2.2 Brennstoffzelle	18
3.3 Wärmeerzeuger	20
3.3.1 Abwärmenutzung	20
3.3.2 Biomasse	22
3.3.3 Geothermie	25
3.3.4 Solarthermie	28
3.3.5 Wärmepumpe	30
3.3.6 Heizkessel	31
3.4 Entscheidungsmatrix Wärmeerzeugung	33
3.5 Beispiele realisierter Wärmeerzeuger-Kombinationen	34
4 Wärmeverteilung	37
4.1 Netzaufbau	37
4.1.1 Hauptverteilung	37
4.1.2 Unterverteilung und Hausanschlüsse	38
4.2 Rohr-/Verlege-Systeme	39
4.2.1 Kunststoffverbundmantelrohre	40
4.2.2 Flexible Kunststoffmediumrohre	41
4.2.3 Flexible Metallmediumrohre:	42
4.2.4 Kellerverlegung	42
4.2.5 Grabenlose Verlegung	43

4.3 Typisierte Verlegesituationen	44
4.3.1 Verlegung im Straßenbereich ohne kreuzende Leitungen	44
4.3.2 Verlegung im Straßenbereich mit kreuzenden Leitungen	44
4.3.3 Verlegung im Grünbereich	45
4.3.4 Verlegung in Neubaugebieten	45
4.3.5 Verlegung zwischen Gebäuden	45
4.4 Netzdimensionierung	46
4.5 Netzbetrieb	48
4.5.1 Netzparameter	48
4.5.2 Betriebsregime	49
4.6 Kosten der verschiedenen Verlegesysteme	50
4.7 Entscheidungsmatrix Wärmeverteilung	52
4.8 Beispiele realisierter Nahwärmenetze	54
5 Hausstationen	55
5.1 Anbindungsvarianten	56
5.2 Möglichkeiten der Trinkwassererwärmung (TWE)	56
5.3 Umrüstung bestehender Heizungsanlagen	59
5.4 Vorschriften	59
5.5 Kosten der Hausstation	60
5.6 Entscheidungsmatrix Hausstationen	62
5.7 Beispiele kostengünstig ausgeführter Hausstationen	63
6 Optimierung des Gesamtsystems	65
Anhang zum Leitfaden	A1-A74
Abkürzungsverzeichnis	I-II
Index-Verzeichnis zum Anhang	III-IV
Literaturverzeichnis	V-XI

1 Einführung in die integrierte Gesamtplanung

1.1 Ziel des Leitfadens

Der Leitfaden soll den Anwender in die Lage versetzen, Varianten der Nahwärmeversorgung zu beurteilen sowie technisch und wirtschaftlich interessante Optionen zu erkennen. Das Hauptaugenmerk liegt dabei auf der systemübergreifenden Optimierung, die die technischen Abhängigkeiten und Wechselwirkungen zwischen Wärmeerzeugung, -verteilung und -verbrauch berücksichtigen muß.

Der Leitfaden will und kann - nicht zuletzt wegen seines beschränkten Umfangs - keine fachlich qualifizierte Planung ersetzen; er soll jedoch eine Hilfe sein, um die "richtigen Fragen" zu stellen und so die Planung konstruktiv zu beeinflussen.

1.2 Aufbau und Anwendung des Leitfadens

Der Aufbau des Leitfadens orientiert sich an der üblichen Vorgehensweise zur Planung eines Nahwärmenetzes:

- Energiebedarfsanalyse und -prognose, ökonomische Rahmenbedingungen
- Auswahl und Dimensionierung der technischen Varianten für
 - die Wärmeerzeugung
 - das Wärmeverteilungssystem
 - die Kundenanbindung bzw. Hausstationen
 - die Betriebsweise
- Optimierung des Gesamtsystems und Erfolgsvorschau

Die am konkreten Objekt durchzuführenen ökonomischen Betrachtungen sind im Einzelfall zu konkretisieren. Der Leitfaden liefert hierzu lediglich Richtpreise und verdeutlicht den Einfluß der technischen Konzeption.

Grundlage jedes Nahwärmekonzeptes ist die Ermittlung der Energiebedarfscharakteristik (siehe Kapitel 2), d.h. vor allem die Anschlußwerte und der Lastgang der zu versorgenden Gebäude müssen bestimmt werden. Hierbei sollte die Warmwasserbereitung mittels Nahwärme integriert werden. Die so gewonnene Jahresdauerlinie bzw. die Tageslastgänge setzen die Rahmenbedingungen für die möglichen anlagentechnischen Varianten und Betriebsweisen. Ferner sollten für einen überschaubaren Zeitraum Bedarfsprognosen erstellt und mögliche Unsicherheiten quantifiziert werden, um auch für die Erfolgsvorschau bzw. Variantenauswahl belastbare Daten zu erhalten. Beim Anschluß von vorhandenen Energieabnehmern müssen darüber hinaus

**Ermittlung der
Energie-
bedarfs-
charakteristik**

Energieeinsparmaßnahmen geprüft werden, um etwaige Bedarfsreduktionen frühzeitig in die Konzeptfindung zu integrieren.

Auswahl der Wärme-erzeuger

Bei der Auswahl und Dimensionierung der technischen Varianten für die Systemkomponenten sind deren technische Einsatzgrenzen und die wechselseitige Beeinflussung zu beachten. Diese Aspekte werden bei der Erläuterungen der verschiedenen Technologien berücksichtigt und so die Grundlagen für die Gesamtoptimierung gelegt. Bei der Auswahl der Wärmeerzeuger (Kapitel 3) muß beispielsweise beachtet werden, daß einige nur für Grundlast, andere für Grund- und Spitzenlast geeignet sind. Auch die Problematik der Verfügbarkeit (z.B. einstrahlungsabhängige Leistung bei der Solarthermie) ist zu erläutern bzw. geeignete Lösungen (z.B. Speicher) vorzustellen. Ferner sind technisch mögliche und wirtschaftlich sinnvolle Schnittstellen für die Energieverteilung zu definieren (im wesentlichen die Vorlauftemperatur und Rücklauftemperatur).

Planung des Wärme-verteilungs-systems

Die Planung des Wärmeverteilungssystems (Kapitel 4) erfordert im ersten Schritt die Festlegung des vorläufigen Netzaufbaus, der sich an den örtlichen Vorgaben orientiert. Abhängig von den gewählten Betriebstemperaturen kann dann ein geeignetes Rohr-/Verlegesystem bzw. eine Kombination verschiedener Systeme ausgewählt (evtl. Fallunterscheidung) und das Nahwärmenetz dimensioniert werden. Hierbei ist der Leitungsbau mit den übrigen Erschließungsmaßnahmen (Abwasser, Straßen usw.) und der Gebäudeerstellung zu koordinieren.

Kunden-anbindung / Hausstationen

Bei der Kundenanbindung bzw. den Hausstationen (Kapitel 5) sind abhängig von den möglichen Betriebstemperaturen/-drücken (Hausanlage, Warmwasserbereitung) kostengünstigste Varianten auszuwählen und zu dimensionieren. Auch hier sollte in Abhängigkeit von möglichen Betriebstemperaturen eine Fallunterscheidung vorgenommen werden.

Optimierung des Gesamt-systems

Die Optimierung des Gesamtsystems (Kapitel 6) als iterativer Prozeß basiert im Regelfall auf einer Vorauswahl des Wärmeerzeugers anhand der lokalen Vorgaben. Hierbei stehen oft nicht nur wirtschaftliche sondern auch politischen Faktoren (Subventionen, Pilotprojekt, Imagegewinn etc.) im Vordergrund. Leider wird in einigen Fällen die technologische Wunschlösung und das ökonomisch Sinnvolle nicht ausreichend abgeglichen. Nicht die maximale Umweltentlastung um jeden Preis sondern die preiswerte Umweltentlastung wird zu einem nachhaltigen Ausbau der umweltverträglichen Nah-/Fernwärmeversorgung führen. Ein wesentliche Zielsetzung hierbei ist die Systemoptimierung, bei der im Rahmen der technischen Vorgaben durch die Wärmeerzeugung vor allem die Betriebstemperaturen im Bereich des Wärmeverteilungsnetzes und der Hausstationen die Kosten und die Systemauslegung (flexible Kunststoffmediumrohre, direkte Einbindung der Hausstationen) bestimmt. Die Freiheitsgrade bei den Betriebsdrücken sind u.a. durch topographische Gegebenheiten und die Netzausdehnung sehr begrenzt.

1.3 Strategische Vorentscheidungen

Da die Wirtschaftlichkeit eines Nahwärmenetzes mit der Anzahl der angeschlossenen Gebäude pro Fläche steigt, wird ein möglichst 100-prozentiger Anschlußgrad¹ angestrebt; bei Nahwärmenetzen in Neubaugebieten wird daher u.U. ein Anschlußzwang (Die durch Punktierung und den Pfeil \Rightarrow hervorgehobenen Begriffe verweisen auf ausführlichere Erläuterungen im Anhang) erwogen². Diese Maßnahme hat Befürworter ("volkswirtschaftlich erstrebenswert") und Gegner ("unnötige, abschreckende Zwangsmaßnahme"). Unter Abwägung von Vor- und Nachteilen muß eine umsetzbare Entscheidung getroffen werden, die die lokalen Möglichkeiten berücksichtigt und Handlungsspielräume nutzt.

Eine marktstrategische Entscheidung ist die Umlage der Investitionskosten auf Anschluß-, Bereitstellungs- und Verbrauchskosten. Zusätzlich zu den Hausanschlußkosten (Hausanschlußleitung) können die Kosten der Netzerstellung nach § 9 AVBFernwärmeV³ als Baukostenzuschuß von bis zu 70% auf den Anschlußnehmer umgelegt werden. Dies kann beim Kunden zu Investitionskosten führen, die denen eines dezentralen Einzelofens entsprechen. Alternativ kann ein Teil der Kosten als monatliche Anschluß- bzw. Bereitstellungsgebühr oder auch teilweise als Betriebskosten erhoben werden, um so den Kunden ein attraktives Angebot zu unterbreiten und einen möglichst hohen Anschlußgrad zu erreichen.

Die Wahl des Betreibers und die Finanzierung beeinflusst die Umsetzbarkeit des projektierten Verfahrens entscheidend (\Rightarrow Betreiber-/Finanzierungsmodelle).

-
- 1 Der Anschlußgrad ist definiert als das Verhältnis von angeschlossenen Gebäuden zu potentiell anzuschließenden Gebäuden.
 - 2 Zu diesem Zweck kann die Gemeinde auf der Grundlage von §9 Abs.1 Nr 23 BauGB durch eine entsprechende Festsetzung im Bebauungsplan die Verwendung von Heizöl und Kohle ausschließen, was faktisch zum Anschlußzwang führt. Das Bundesverwaltungsgericht hat diese Norm zugunsten der Gemeinden sehr weit interpretiert: "Nach dem Sinn und Zweck des § 9 Abs. 1 Nr. 23 BauGB sind keine hohen Anforderungen an die Festsetzung eines Verwendungsverbotes zu stellen." (BVerwG DVBl. 1989, 369) [Nieder96]
 - 3 Verordnung über Allgemeine Bedingungen für die Versorgung mit Fernwärme [AVB91]

1. Einführung

2 Wärmebedarf

Der Gesamtwärmebedarf umfaßt den Raumwärmebedarf und den Wärmebedarf für die Trinkwassererwärmung (TWE). Aufgrund der 2. novellierten Wärmeschutzverordnung (WSchV) von 1994 ergaben sich bis zu 30%ige Reduzierungen⁴ im Raumwärmebedarf [Schet94], während der Trinkwarmwasserbedarf annähernd konstant blieb. So betrug der Anteil der Trinkwassererwärmung an der Gesamtwärmemenge in den siebziger und achtziger Jahren rd. 17 %, in Zukunft werden sich jedoch Werte von 50 % ergeben [Magar96]. Aus wirtschaftlichen Gründen sollte daher die TWE stets in die Nahwärmeversorgung einbezogen werden.

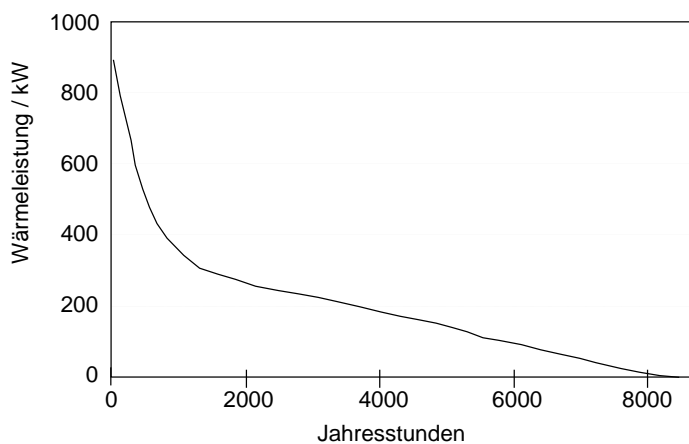


Bild 2.1:
Beispiel einer Jahresdauerlinie
(Bürogebäude)

Für die Projektierung einer Nahwärmeversorgung ist neben dem Leistungsbedarf, bestehend aus Raum- und Trinkwasser-Wärmebedarf, die zeitliche Charakteristik wesentlich. Zur überschlägigen Auslegung der Wärmeerzeugung kann die Jahresdauerlinie verwendet werden (Bild 2.1). Für eine belastbare ingenieurtechnische Auslegung sollte ein Tageslastprofil herangezogen werden, da nur so die für den Betrieb (z.B. Takt Häufigkeit des BHKW) und ggf. für die Auslegung des Speichers notwendigen Informationen einbezogen werden können. Im Rahmen einer Vorplanung der technisch-ökonomischen

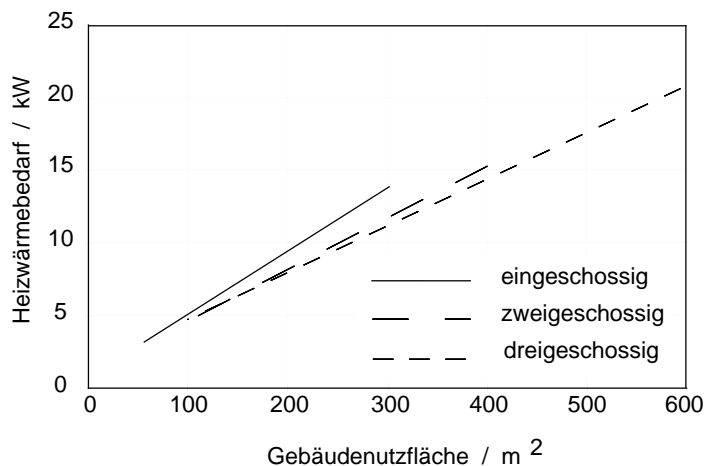
4 Da die Reduktion des Jahres-Heizwärmebedarfs im wesentlichen auf verbesserte Wärmedämmung zurückzuführen ist, erhöht sich die Bedeutung des Lüftungswärmebedarfs und der Warmwasserbereitung. Diese Werte sind stark vom jeweiligen Nutzerverhalten abhängig, wie in einer Untersuchung fernwärmeversorgter Niedrigenergiehäuser (NEH) in Dänemark gezeigt wurde, bei denen der gemessene Jahres-Heizwärmeverbrauch von 52 gleichartigen Häusern um bis zu 500 % differierte [Feist94]. Wirtschaftlichkeitsberechnungen sollten daher stets durch Sensitivitätsanalysen begleitet werden, um die Auswirkungen des stark streuenden Verbraucherverhaltens zu erfassen.

Machbarkeit und der ggf. sinnvollen Teilung in Grund-/Spitzenlastanlage sind jedoch Jahresdauerlinien hinreichend.

2.1 Raumwärmebedarf

Das Verfahren zur Berechnung des Wärmebedarfs eines Gebäudes ist gemäß [DIN4701] genormt. Dieses Verfahren beinhaltet eine raumweise Berechnung, wobei für jede Schicht eines Bauteils der Wärmeleitwiderstand R_{λ} ermittelt werden muß. Zwar können diese Werte entsprechenden Tabellen [DIN4108] entnommen werden, jedoch erfordert dieses Vorgehen einen sehr hohen Aufwand für die Datenerhebung und eignet sich nur für die Wärmebedarfsbestimmung einzelner, exponierter Gebäude.

Bild 2.2:
Heizwärmebedarf in
Abhängigkeit der
Nutzfläche eines
freistehenden
Gebäudes



Im Gegensatz dazu ist mit dem sogenannten Siedlungstypenverfahren eine sehr einfache, überschlägige Wärmebedarfsermittlung möglich. Dabei werden die realen Bebauungen verschiedenen typischen Gebäude- und Siedlungsstrukturen zugeordnet, für die bereits Kenndaten ermittelt worden sind. Bei guter Übereinstimmung zwischen realer Bebauung mit der jeweiligen Typisierung kann mit Hilfe dieser Werte schnell und kostengünstig der Wärmebedarf abgeschätzt werden.

Für Häuser, die nach der aktuellen WSchV errichtet worden sind, ist eine weitere, unkomplizierte Bedarfsermittlung in Bild 2.2 dargestellt. Diese Werte wurden mit den Daten der WSchV

$$[\dot{Q} = 54,13 \cdot \left(\frac{A}{V}\right) + 43,2 \text{ in kWh}/(\text{m}^2\text{a})],$$

den Vollbenutzungsstunden nach [VDI2067] sowie den Gebäudegeometrien nach [Frank95] berechnet und gelten für freistehende Einzelhäuser. Endabschnitte von Reihenhäusern und Wohnblöcken weisen ca. 5%, und Mittelabschnitte ca. 10% geringeren Heizwärmebedarf auf.

Für öffentliche bzw. gewerblich genutzte Gebäude sind in Tabelle 2.1 typische Kennwerte wiedergegeben.

Gebäudetyp	Wärmebedarf kW/BE	Bezugs- einheit (BE)
Krankenhäuser ⁵	7	Planbett
Hallenbäder	1,8	m ² Wasserfläche
Schulen	0,79	Schüler
Hochschulen	1,8	Student
Verwaltungs-/Bürogebäude	2,7	Angestellter
Gartenbaubetriebe	0,28	m ² Treibhausfläche
Hotels	3,5	Bett
Kaufhäuser	0,26	m ² Verkaufsfläche

Tabelle 2.1:
WärmeKennwerte
öffentlicher Gebäude
[FfZ95].

2.2 Wärmebedarf für Warmwasserversorgung

Je nach Verwendungszweck ergeben sich sehr unterschiedliche Warmwassermengen. Im Wohnungsbereich sind neben der Größe der Wohnung, der Personenzahl und dem Lebensstandard weitere Faktoren (Alter der Bewohner, die Jahreszeit usw.) ausschlaggebend. Zu beachten ist ferner, daß der Bedarf an Trinkwarmwasser (TWW) starken zeitlichen Schwankungen unterliegt.

Auf die Bestimmung des Wärmebedarfs von Wohnungen und wohnungsähnlichen Gebäuden nach [DIN4708]⁶ soll hier nicht eingegangen werden, da im Rahmen aktueller Untersuchungen ein starkes Abweichen der gemessenen Werte von den DIN-Werten ermittelt wurde [BZ96]. Die maximal gemessenen Werte entsprachen rd. 50 % der DIN-Werte, was vor allem darauf zurückgeführt wird, daß die DIN 4708 auf Messungen in den siebziger Jahren basiert.

Der Jahreswärmeverbrauch zur TWE in bestehenden Wohngebäuden kann mit ca. 20 % des Heizwärmeverbrauches und bei neu errichteten Gebäuden mit 30 % (nach aktueller WSchV) bzw. 45 % bei Niedrigenergiehäusern (NEH) abgeschätzt werden [BZ96]. Alternativ kann mit Hilfe der durchschnittlichen Personenanzahl eines Haushaltes (Tabelle 2.2) ein überschlägiger Jahreswärmeverbrauch ermittelt⁷ werden.

⁵ Schwankungsbereich angegeben zwischen 7 und 23 kW

⁶ Bei diesem Verfahren wird der Bedarf auf Einheitswohnungen mit gleicher sanitärer Ausstattung und Personenzahl umgerechnet. Die so ermittelte Bedarfskennzahl N dient zur Auswahl des Wassererwärmungssystems, welches wiederum durch seine Zapfleistungskennzahl N_L angibt, wieviele Einheitswohnungen versorgt werden können.

⁷ Nach Angaben des statistischen Bundesamtes besteht der durchschnittliche deutsche Haushalt aus 2,2 Personen

2. Wärmebedarf

Tabelle 2.2:
Warmwasser- und
Wärmeverbrauchs-
mengen in
Abhängigkeit der
sozialen Stellung
[Buder94]

Lebensstandard	Brauchwasser- verbrauchsmenge l/Person,d	Jahreswärme- verbrauch kWh/WE,a
Soz. Wohnungsbau	25-40	800-1300
Allg. Wohnungsbau	30-45	950-1450
Gehobener Wohnungs- bau/Eigentumswohnung	40-50	1300-1650
Einfamilienhäuser	45-60	1450-1950
Luxusvillen	50-95	1600-3100

Die notwendige Wärmeleistung einzelner Gebäude hängt ferner vom installierten Wassererwärmungssystem ab. So wird z.B. für eine Badewannenfüllung nach DIN 4708 (Wannenbad-Wärmebedarf = 5,82 kWh und Füllzeit = 10 min) eine Wärmeleistung von 35 kW benötigt. Dagegen liegt bei Einsatz eines Speichersystems mit einem 150 l Speicher, der innerhalb von 60 Minuten geladen werden soll, die Leistung bei 9 kW (Erwärmung von 10 auf 60 °C).

Beim Durchflußsystem sind daher die Leistungsspitzen höher als die der Raumheizung. Aufgrund dieser Leistungsunterschiede verbieten einige Energieversorger in ihren Technischen Anschlußbedingungen (TAB) die Installation von reinen Durchflußsystemen und lassen nur Verbundlösungen mit Speicher zu. Für das Durchflußsystem spricht jedoch die erzielbare tiefere Rücklauftemperatur, so daß mit dem gleichen Volumenstrom eine höhere Leistung übertragen werden kann⁸. Außerdem wird das Durchflußsystem nur kurzzeitig beansprucht, während die Speichersysteme je nach Ladezeit wesentlich länger in Betrieb sind, so daß sich die Differenz des maximalen Volumenstroms im Versorgungsnetz weiter verringert. Die Anzahl der gleichzeitig in Betrieb befindlichen TWE-Anlagen wird durch den sogenannten Gleichzeitigkeitsfaktor ϕ erfaßt (Bild 2.3).

Geht man von einer EFH-Siedlung mit einer durchschnittlichen Anschlußleistung von 10 kW aus, so erkennt man, daß bei einer TWE in Vorrang⁹ bei 10 angeschlossenen Häusern ein Mehrbedarf von $(35-10) \cdot 0,27 \approx 6,75$ kW, bei 20 Häusern von 4,3 kW, bei 40 Häusern von 2,3 kW und ab 80 Häusern gleichbleibend von 1,5 kW mehr Leistung pro Haus notwendig ist. Durch eine Vorrangschaltung können diese Bedarfsspitzen im Netz kompensiert und so ab 20-40 Wohneinheiten Durchflußsysteme ohne größere Probleme eingesetzt werden.

8 Da die DIN naturgemäß keine Vorschrift darstellt, könnten die Durchflußsysteme auch auf kleinere Leistungen ausgelegt werden. Die oft angeführten Bedenken aufgrund der mit der Leistungsreduzierung verbundenen Komfortbeschränkung ist im Hinblick auf die Vielzahl elektrischer Durchlauferhitzer im Wohnbereich mit Leistungen von 21 kW schwer verständlich. Bei diesem Bedarf wären dann auch die Volumenstrom-Unterschiede vernachlässigbar.

9 Vorrang bedeutet, daß die gesamte Leistung der Hausstation für die TWE genutzt wird und die Raumheizung vorübergehend eingestellt wird.

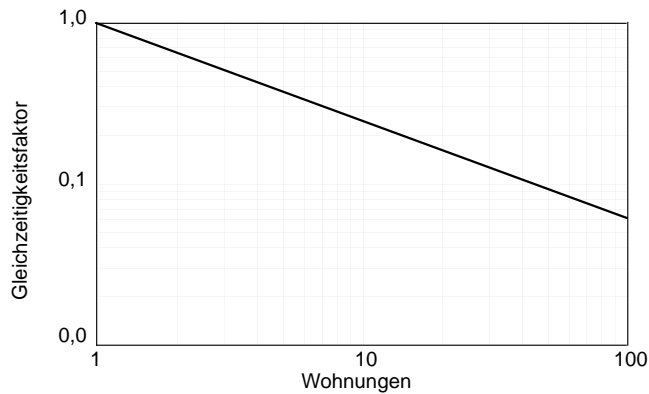


Bild 2.3:
Gleichzeitigkeits-
faktor für Durchfluß-
TWE in Abhängigkeit
der
Wohnungsanzahl
[Zsche97]

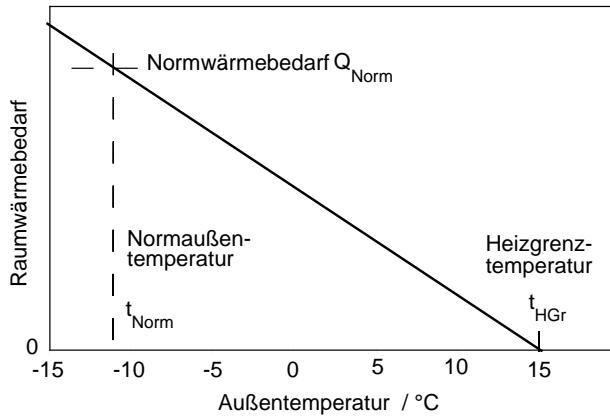
In der Industrie und im Gewerbe kann produktionsbedingt von definierten Zeiten und bekannten Zeiträumen (z.B. Betriebsbeginn/-schluß) mit festen, maximalen Entnahmemengen ausgegangen werden (Tabelle 2.3).

Bedarfsfall	Bedarfs- menge l/BE	Brauch- wasser- temperatur °C	Wärme- menge kWh/BE	Bezugseinheit (BE)
Bäckereien	100-150	45 °C	4 - 6	Tag und Beschäftigten
Brauereien	250-300	60 °C	14,5 - 17,5	100 l gebrauten Bieres
Büros und Ver- waltungsbauten	10-40	45 °C	0,5 - 1,5	Tag und Person
Fleischereien ohne Produktion	150-200	45 °C	6 - 8	Tag und Beschäftigten
Fleischereien mit Produktion	400-500	55 °C	21 - 26	Tag und Beschäftigten
Friseursalons	150-200	45 °C	6 - 8	Tag und Beschäftigten
Kantinenküchen	1,5-2,5	55 °C	0,1 - 0,15	Essensportion
Kasernen	30-50	45 °C	1 - 2	Tag und Person
Kaufhäuser	10-40	45 °C	0,5 - 1,5	Tag und Beschäftigten
Krankenhäuser	100-300	60 °C	6 - 18	Tag und Bett
Molkereien	1-1,5	75 °C	0,1 - 0,15	Liter Milch
Schlachthäuser	4500-5000	60 °C	260 - 290	Stunde
Schulen ohne Duschenanlagen	5-15	45 °C	0,2 - 0,6	Tag und Schüler
Schulen mit Duschenanlagen	30-50	45 °C	1 - 2	Tag und Schüler
Sportanlagen mit Duschen	50-70	40 °C	2 - 2,5	Tag und Sportler
Wäschereien	250-300	75 °C	19 - 23	100 kg Trockenwäsche

Tabelle 2.3:
Warmwasserbedarf
und Temperaturen
für Gebäude und ge-
werbliche Zwecke
[Buder94] [RSS97]

2.3 Jahresdauerlinien und Tagesgangprofile

Bild 2.4:
Abhängigkeit von
Außentemperatur
und Wärmebedarf



Zur Ermittlung der Jahresdauerlinien werden standardisierte Verfahren (Typtagverfahren nach VDI-Richtlinie 2067) oder Verfahren auf der Basis vom Monats-, Jahres- oder bestimmten Tagesverbrauchswerten angewendet [Sawil95]/[ES95]. Bei Neubauten kann jedoch auf keine Verbrauchswerte zurückgegriffen werden. Unter der Annahme einer näherungsweise linearen Abhängigkeit zwischen Außentemperatur und Wärmebedarf ist aber trotzdem eine für die Auslegung hinreichend genaue \Rightarrow Jahresdauerlinie konstruierbar.

Bild 2.5:
Wärme-Jahresdauerlinie einer
Wohnsiedlung (die untere Kurve kennzeichnet die Grundlast infolge der Warmwasserbereitung)

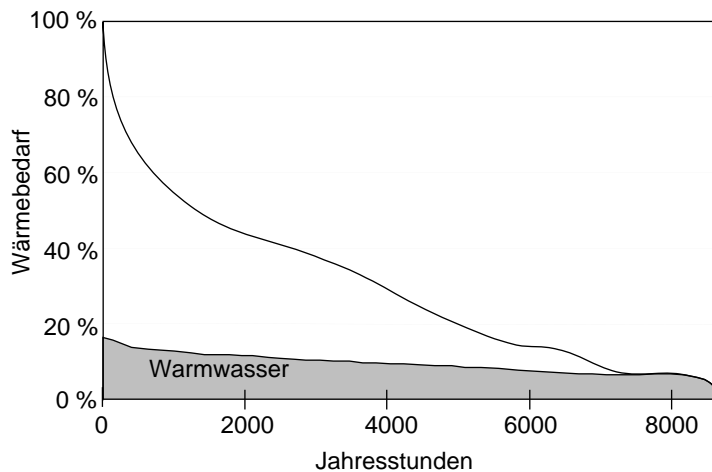


Bild 2.5 zeigt die Wärme-Jahresdauerlinie für eine Wohnsiedlung. Deutlich erkennbar ist die ausgeprägte Spitzenlast und die Grundlast. Der Jahresverbrauch entspricht der Fläche unter der Dauerlinie. Charakteristisch für Wohnsiedlungen ist der annähernd konstante¹⁰ Warmwasserbedarf und der

¹⁰ Je nach Größe der Siedlung und dem verwendeten TWE-Systemen können sich Abweichungen vom konstanten Verlauf ergeben. Wie oben gezeigt ergeben sich z.B. bei einem Durchflusssystem kurzzeitig höhere Bedarfswerte für die TWE als für die Raumheizung.

außentemperaturabhängige Raumwärmebedarf. Typische Vollbenutzungsdauern der Anschlußwerte betragen 1500 h/a bzw. 1700 h/a (mit Brauchwasser).

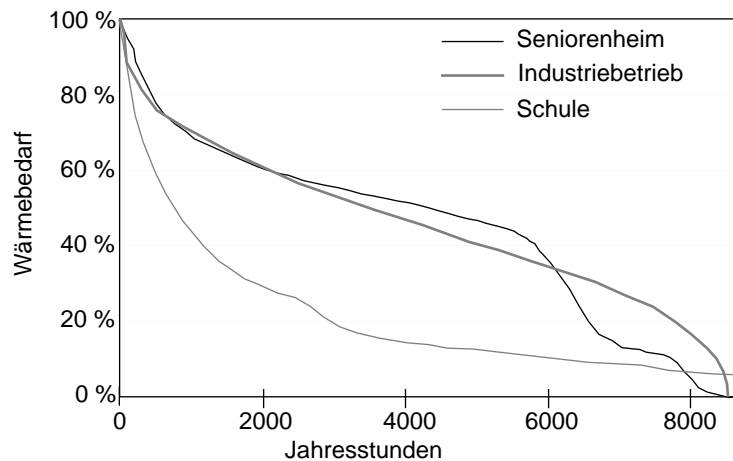


Bild 2.6
Charakteristische
Wärme-Jahresdauer-
linien

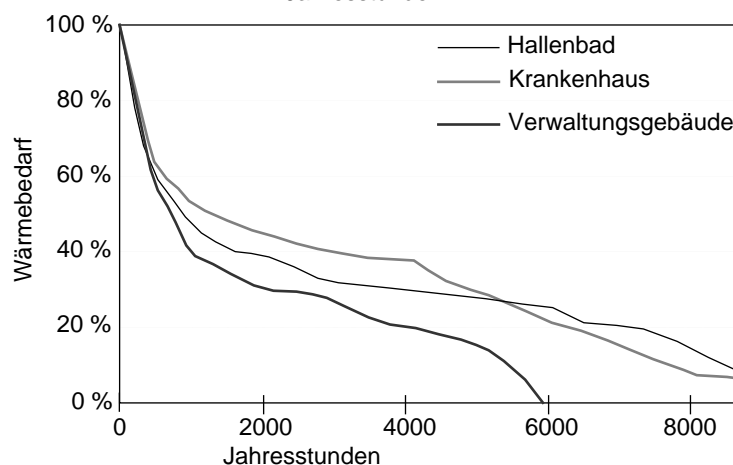


Bild 2.7:
Charakteristische
Wärme-Jahres-
dauerlinien

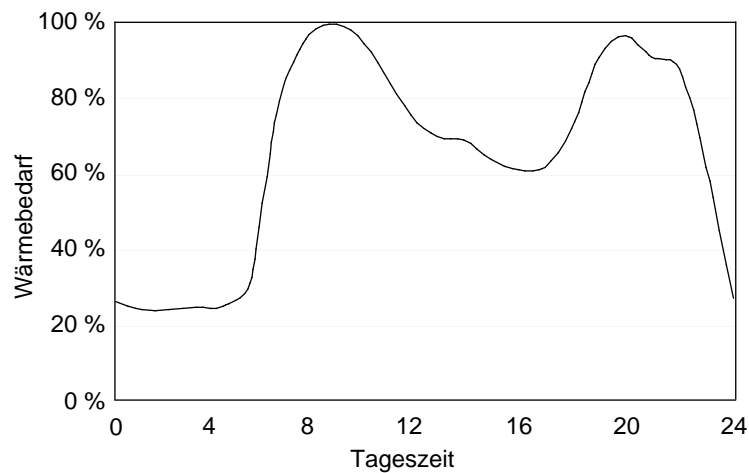
Weitere charakteristische Wärme-Jahresdauerlinien sind in Bild 2.6 und Bild 2.7 dargestellt. Die unterschiedlich hohe Zahl der Benutzungsstunden verdeutlicht, daß Schulen u.a. aufgrund der niedrigen Wärmeabnahme (in den Ferien kein Heizungs- oder Warmwasserbedarf) kaum für den Einsatz kapitalintensiver Erzeugungsanlagen geeignet sind. Bei Industriebetrieben sind meist ausgeglichene Verläufe mit hoher Grundlast zu finden, so daß hier auch aufwendigere Lösungen wettbewerbsfähig sind. Anzumerken ist hierbei, daß bei der Kuppelproduktion mit KWK letztlich die Wirtschaftlichkeit von beiden Produkten (Strom und Wärme) bestimmt und so der Wärmebedarf in vielen Fällen lediglich für die Auslegung bestimmend ist.

Für eine optimale Auslegung der Wärmeerzeugung und der Betriebsweise ist eine möglichst exakte Bestimmung des Wärmebedarfscharakteristik unerlässlich.

2. Wärmebedarf

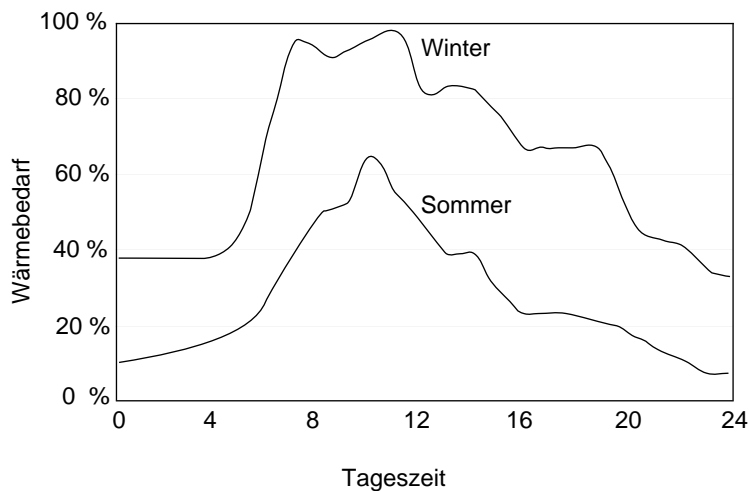
Eine Jahresdauerlinie gibt keine Auskunft über die tägliche bzw. wöchentliche Bedarfsstruktur, die z.B. von Öffnungszeiten, Benutzerverhalten und Produktionsabläufen bestimmt wird (Bild 2.8). Speichersysteme oder Takthäufigkeiten können ohne diese Charakteristik nicht definiert werden.

Bild 2.8:
Charakteristischer
Tagesgang einer
Wohnsiedlung



Wenn die Wärme nur zu Heizzwecken und zur Warmwasserbereitung benötigt wird, läßt sich für eine erste Abschätzung mit Hilfe eines Tagesganges an der Heizgrenze die Grundlast ermitteln, die im Winter und Sommer gedeckt werden muß (Bild 2.9).

Bild 2.9:
Vergleich des
Tagesganges eines
Krankenhauses im
Sommer und Winter



3 Wärmerzeugung

3.1 Auslegung von Wärmeerzeugern

Bei der Auslegung von Wärmeerzeugern muß geprüft werden, ob die Wärmeerzeugung mit einem Wärmeerzeuger oder mit mehreren Wärmeerzeugern erfolgen muß. Sofern nur ein Wärmeerzeuger eingesetzt wird, kann zur überschlüssigen Auslegung auf die Jahresdauerlinie verzichtet werden. In diesem Falle wird der Wärmeerzeuger, zumeist ein Niedertemperatur-Heizkessel, nach der maximal benötigten Leistung ausgelegt.

Häufig werden jedoch aus technischen und wirtschaftlichen Gründen zwei Wärmeerzeuger kombiniert. Grundlage der Auslegung ist hierbei die geordnete Jahresdauerlinie des Wärmebedarfs. Diese kann durch Berechnung, Messung oder Vergleich mit ähnlichen Nahwärmenetzen (siehe Kapitel 2) ermittelt werden.

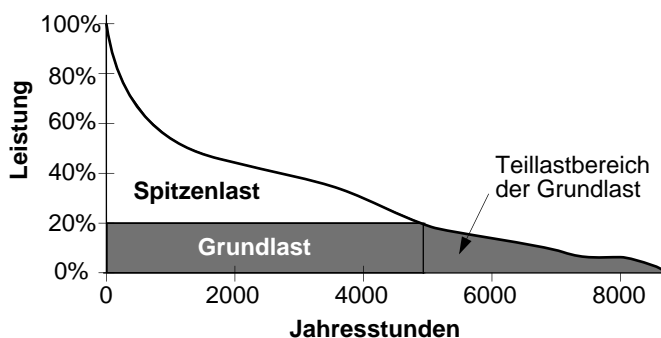


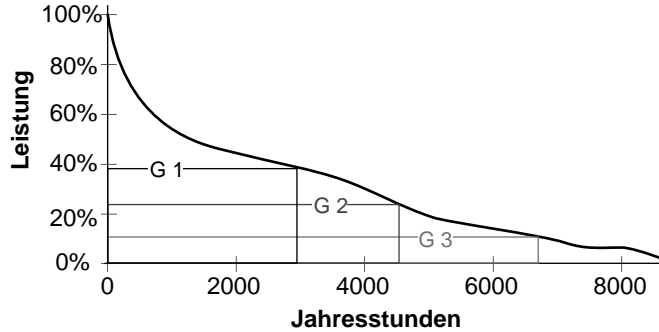
Bild 3.1:
Aufteilung der
Jahresdauerlinie in
Grund- und
Spitzenlast

Die Fläche unter der Jahresdauerlinie stellt die Jahresarbeit dar, die in Grundlast und Spitzenlast aufgeteilt wird (siehe Bild 3.1). Die Grundlast ist durch eine annähernd konstante Leistung mit hoher Betriebsstundenzahl charakterisiert. Die darüber hinausgehende Leistungsanforderung, die Spitzenlast, zeichnet sich durch eine hohe Leistungsspitze bei geringer Jahresarbeit aus.

Der wirtschaftliche Leistungsanteil der Grundlast (Bild 3.2) beträgt je nach Wärmeerzeuger erfahrungsgemäß zwischen 10 und 40 % der maximalen Leistung, womit ca. 60-80 % der gesamten Jahresarbeit durch den Grundlast-Wärmeerzeuger abgedeckt werden.

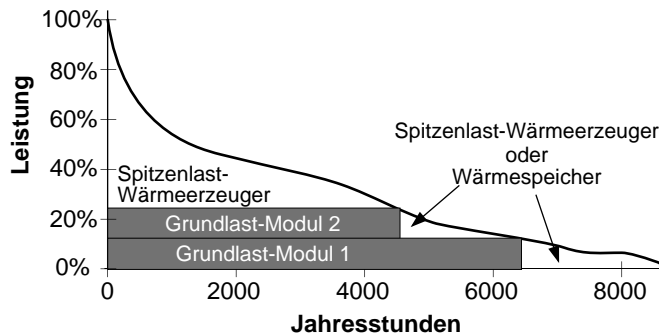
3. Wärmerzeugung

Bild 3.2:
Variation des
Grundlastanteils



Einige Grundlast-Wärmeerzeuger, beispielsweise BHKW, werden aus technischen bzw. wirtschaftlichen Gründen nur begrenzt im Teillastbereich eingesetzt, so daß der Spitzenlast-Wärmeerzeuger auch die Schwachlast übernehmen muß. Bei größeren Einheiten kann alternativ durch mehrmodulige Grundlastanlagen der Deckungsanteil erhöht und zusätzlich eine Redundanz aufgebaut werden (siehe Bild 3.3). Dies kann z.B. bei der Gestaltung von Reserververträgen für den Strombezug hilfreich sein.

Bild 3.3:
Deckung der
Grundlast mittels
zweier Grund-
lastmodule



Durch den Einsatz eines Wärmespeichers kann die Bedarfscharakteristik geglättet und so die Wärmeabgabe in der Grundlast erhöht werden. Die Speicherkapazität sollte dabei mindestens 50 % der stündlichen Wärmeleistung betragen, um so während der Schwachlastzeiten zumindest einen halbstündigen Dauerbetrieb zu gewährleisten [SK96]. Weiterhin eröffnet ein Wärmespeicher bei Kraft-Wärme-Kopplungs-Systemen die Möglichkeit, die Anlage zeitweise stromgeführt zu betreiben und Spitzen im Reststrombezug zu minimieren.

Bei der Auswahl und Kombination von Grund- und Spitzenlast-Wärmeerzeugern sind folgende Einsatzbedingungen¹¹ von Bedeutung:

¹¹ Außerdem sind gesetzliche Restriktionen zu beachten, beispielsweise die Bundes-Immissionsschutzverordnung (⇒ Bundes-Immissionsschutzverordnung).

Grundlast-Wärmeerzeuger	Spitzenlast-Wärmeerzeuger
• Betrieb am Auslegungspunkt	• Betrieb im Teillastbereich
• hohe Betriebsstundenzahl	• geringe Betriebsstundenzahl
• seltene Lastwechsel	• häufige Lastwechsel
	• sehr hohe Verfügbarkeit

Zur Grundlastdeckung werden die kapitalintensiven Lösungen mit regenerativen Energien, Abwärmenutzung und KWK-Anwendung eingesetzt. Die Spitzenlast- und Reservevorhaltung übernimmt ein gas- oder ölgefeuerter Heizkessel. Für die ökologische Beurteilung ist die höhere Jahresarbeit in der Grundlast entscheidend, so daß eine Auslegung der regenerativen Energien auf die Grundlast in den meisten Fällen die effizientere und volkswirtschaftlich sinnvollere Maßnahme ist.

3.2 Kraft-Wärme-Kopplungs-Systeme

3.2.1 Blockheizkraftwerke

Anlagentyp	KWK - Grundlast
Leistungsbereich	ab 7 kW _{th} / 5 kW _{el}
Temperaturbereich	80°C bis 120 °C
Wärmegestehungskosten	4-8 Pf/kWh

Blockheizkraftwerke¹² (BHKW) erzeugen elektrischen Strom und thermische Energie (Wärme) und gehören damit zu den Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen (KWK). Die eingesetzte Brennstoffenergie wird im Antriebsaggregat (Verbrennungsmotor oder Gasturbine) in thermische und mechanische Energie umgewandelt. Die mechanische Energie wird mittels eines Generators zur Stromerzeugung genutzt. Die in der Motorabwärme¹³, im Ölkreislauf und im Abgas enthaltene thermische Energie wird über Wärmetauscher ausgekoppelt, um Dampf oder Heißwasser zu erzeugen (Bild 3.4). Als Brennstoff wird neben Erdgas auch Heizöl, Deponie-, Klär- oder Biogas eingesetzt. BHKW-Module sind für den gesamten Nahwärme-Leistungsbereich ab 5 kW_{el} (Gasturbinen ab 500 kW_{el}) erhältlich und gestatten Vorlauftemperaturen von üblich 80-90 °C (heißgekühlte Motoren ermöglichen max. 120 °C). Durch die gekoppelte Erzeugung von Wärme und Strom ergibt sich gegenüber der getrennten Erzeugung eine erhebliche Primärenergieeinsparung und je nach Vergleichsvariante eine CO₂-Emissionsverringerung bis auf 60% [Pick96].

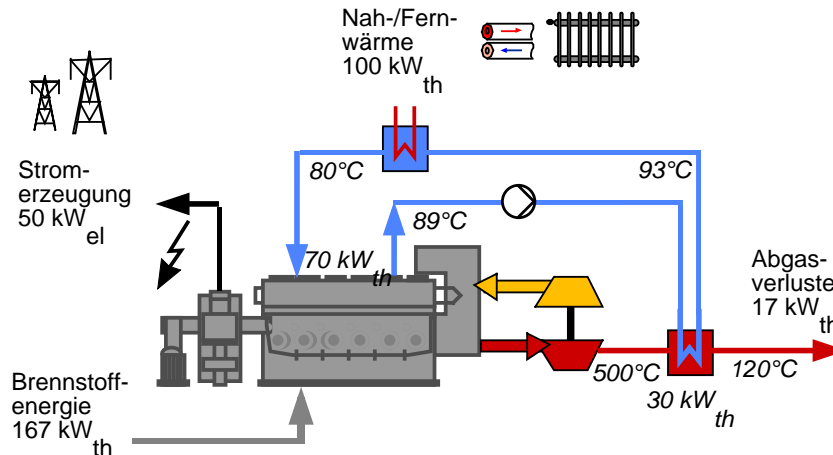
Funktion

12 im Anhang befinden sich ein aktuelles ⇒ [BHKW-Hersteller-Verzeichnis](#) sowie Beschreibungen der ⇒ [Hemmnisse in der Gesetzgebung](#) für die ⇒ [BHKW-Marktentwicklung](#)

13 Da die Rücklauftemperatur bei den meisten Motoren ca. 70 °C nicht überschreiten darf, ist auf eine ausreichende Auskühlung zu achten.

3. Wärmerzeugung

Bild 3.4:
Funktionsprinzip
einer BHKW-Anlage



Einsatzbereich

Haupteinsatzgebiete motorischer BHKW sind überall dort zu finden, wo gleichzeitig ein Strom- und Wärmebedarf gedeckt werden muß: Industrie, Gewerbe, Krankenhäuser, Verwaltungszentren, Kaufhäuser, Schwimmbäder sowie Wohnsiedlungen. Besonders die Kombination unterschiedlicher Verbraucher (z.B. Wohngebiet und Schule) führt aufgrund des jeweils zeitlich versetzten Bedarfs an Strom und Wärme zu einer optimalen Anlagenausnutzung.

Effizienz

Der elektrische Wirkungsgrad von motorischen BHKW liegt bei 28-42 %. Durch die kombinierte Erzeugung thermischer Energie wird ein Gesamtwirkungsgrad von 90 % erreicht. Ein motorisches BHKW erzeugt somit aus einem Kubikmeter Erdgas ($10 \text{ kWh}/\text{m}^3$) max. 4 kWh elektrische und 5 kWh thermische Energie. Aufgrund seines ungünstigen Teillastverhaltens werden BHKW meist modular aufgebaut, was jedoch die spezifischen Investitionskosten erhöht. Gasturbinen werden aufgrund ihres schlechteren Wirkungsgrades in diesem Leistungsbereich nur bei Dampf- bzw. Hochtemperaturwärmebedarf eingesetzt.

Wirtschaftlichkeit

Die relativen Kosten eines BHKW-Moduls sinken mit steigender Leistung: Komplettanlagen mit einer Leistung von 1 MW_{el} werden zu einem Preis von unter $1.500 \text{ DM}/\text{kW}$ angeboten¹⁴ [AK97], dagegen sind 50 kW_{el} -Anlagen mit mehr als $3.000 \text{ DM}/\text{kW}$ zu kalkulieren. Zu beachten ist bei kleinen Anlagen, daß nicht die Modulkosten sondern die Kosten für Peripherie und damit die örtlichen Aufstellungsbedingungen entscheidend sind. Viele Betreiber wollen die Wartung des BHKW nicht selbst übernehmen und nutzen die von BHKW-Herstellern angebotenen Vollwartungsverträge, die bei 1 MW_{el} -Modulen mit $1-1,5 \text{ Pf}/\text{kWh}_{el}$ und bei 50 kW_{el} -Modulen mit $3-5 \text{ Pf}/\text{kWh}_{el}$ angesetzt werden können. Bei den Brennstoffkosten sind unterschiedliche Bezugsbedingungen zu

¹⁴ Enthalten sind auch das Gebäude, der Kamin und ein Reservekessel. Bei vielen Angeboten werden lediglich die Modulkosten ohne Anbindung angeführt, so daß publizierte Preisangaben oft irreführend sind.

beachten, so zahlen Großabnehmer wie z.B. Stadtwerke deutlich niedrigere Preise als Kleinabnehmer (je nach abgenommener Menge 3,5-6,0 Pf/kWh).

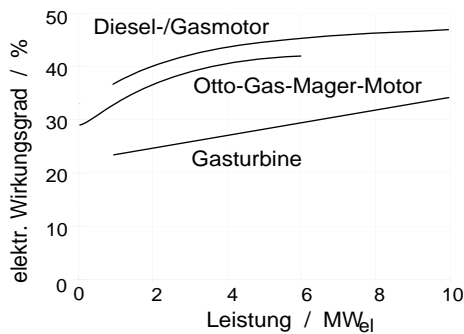


Bild 3.5:
Maximale effektive Wirkungsgrade¹⁵ in Abhängigkeit der BHKW-Modulleistung [Mohr97]

Ein wirtschaftlicher Betrieb der KWK ist daher nur dann möglich, wenn die Produkte Strom und Wärme insgesamt kostengünstiger als bei einer getrennten Erzeugung bereitgestellt werden können. Entsprechend orientiert sich die Erfolgsvorschau an den erzielbaren bzw. anlegbaren Wärmepreisen und der anzusetzenden \Rightarrow Stromvergütung bzw. dem verdrängten Strombezug. Da die größten Erlöse bei Eigennutzung zu verzeichnen sind, steigt die Wirtschaftlichkeit mit zunehmendem Anteil des Eigenbedarfs am erzeugten Strom. Wird dagegen der gesamte Strom eingespeist und mit weniger als 10-11 Pf/kWh vergütet, so ist derzeit ohne Subvention kein wirtschaftlicher Betrieb möglich.

BHKW werden überwiegend mit Laufzeiten von mehr als 4500 Stunden ausgelegt. Der thermische Leistungsanteil kann bei Objekten mit hoher Grundlast (Krankenhaus, Industriebetrieb) 40-45 % erreichen, bei niedriger Grundlast (Wohnsiedlungen) meist nur 15-30 %¹⁶. Durch die Kombination mit einem Wärmespeicher erhöht sich der Lastanteil, so daß je nach Auslegung bis zu 90% der Jahreswärmemenge bereitgestellt werden können. Für die Speicherdimensionierung ist eine genaue Analyse von Tagesgängen notwendig [ST94]; diese sollte aber auch für die Auslegung der gesamten BHKW-Anlage verwendet werden¹⁷. Verbraucher, die für eine konstant niedrige Rücklauf­temperatur sorgen (z.B. Schwimmbäder, NEH-Siedlungen), ermöglichen die Zuschaltung einer Rauchgaskondensationsanlage

Auslegung

- 15 Beim Gas-Otto-Motor wird das verdichtete Brenngas/Luft-Gemisch mit einem elektrischen Zündfunken entzündet, beim Diesel-/Gasmotor mit Hilfe einer sehr kleinen Menge (3-10%) eingespritzten Zündöls.
- 16 Einige EVU dimensionieren aber ihre BHKW-Anlagen so, daß zur Hochtarifzeit möglichst viel Eigenstrom erzeugt wird, um die obersten 5-10% der Stromgesamtleistung abzufahren [Att95]. Somit kommen entgegen den oberen Angaben größere Leistungsanteile und geringere Laufzeiten zustande. Inwiefern aus den eingesparten Leistungskosten bei solch einer Betriebsweise ein wirtschaftlicher Vorteil erwächst, ist von den örtlichen Gegebenheiten abhängig.
- 17 So fordert auch die DIN 3985 eine Anlagendimensionierung auf der Basis von verschiedenen Tagesganglinien, da die vereinfachte Auslegung anhand der Jahresdauerlinie keine wirtschaftlich optimale Auslegung gewährleistet.

(Brennwertnutzung) zur Verbesserung des Jahresnutzungsgrades der BHKW-Anlage.

Zukunft

Die BHKW-Technik hat sich seit ihrer Einführung Mitte der 70er Jahre stetig mehr Marktanteile erobert. Ende 1996 waren rund 3.000 motorische BHKW mit einer Leistung von ca. 1600 MW_{el} und rund 300 Gasturbinen mit einer Leistung von über 4000 MW_{el} installiert [ASUE96]. Dies entspricht einem Anteil von ungefähr 5 % an der deutschen Stromerzeugung. Bei den momentanen Zuwachsraten dürfte der Anteil in Zukunft auf bis zu 10 % ansteigen [Pick96].

3.2.2 Brennstoffzelle

Anlagentyp	Grund-,Teillast - KWK
Leistungsbereich	215 kW _{th} / 200 kW _{el}
Temperaturbereich z.Zt.	74°C (max. 120°C)
Wärmegestehungskosten	15-25 Pf/kWh

Funktion und Aufbau

Brennstoffzellen (BZ) wandeln chemische Energie direkt in Elektrizität (Gleichstrom) und Wärme um. Hauptbestandteile einer BZ sind zwei poröse Elektroden, zwischen denen sich ein Elektrolyt¹⁸ befindet. Da eine einzelne Zelle eine Spannung von etwa 1 V liefert, müssen für eine höhere Gesamtspannung mehrere Zellen in einem Stapel in Reihe geschaltet werden. Dieser sogenannte Stack (Bild 3.6) ist der Hauptbestandteil jedes BZ-Heizkraftwerks. Das einzig derzeit kommerziell verfügbare BZ-HKW ist ein 200 kW_{el}/220 kW_{th}-PAFC¹⁹-System. Es sind Vorlauftemperaturen von 74°C möglich (optional wird eine Hochtemperaturskopplung angeboten, bei der Temperaturen von 120 °C mit 105 kW_{th}, die übrige Wärmemenge von 105 kW_{th} wird dann mit 70°C ausgekoppelt) Die Rücklauftemperatur sollte zwischen 30-50°C liegen. Die PAFC gehört zu den Niedertemperatur-BZ, die eine Reformierung des jeweiligen Brennstoffes (Erd-, Bio-, Deponie- oder Kohlegas) außerhalb der Zelle benötigen, wodurch sich der Wirkungsgrad um 15-20 Prozentpunkte verschlechtert. Die Reformierungseinheit, der Stack mit den Pheripheriegeräten, das Wärmetauschersystem und der Wechselrichter bilden das BZ-HKW.

18 Je nach verwendeten Elektrolyten unterscheidet man verschiedene Typen von BZ (=> Funktionsweise einer Brennstoffzelle).

19 Die Bezeichnungen im Text entspricht literaturüblichen, englischen Abkürzungen: PAFC - Phosphoric Acid Fuel Cell (Phosphorsäure-Brennstoffzelle), PEMFC - Polymeric Electrolyte Membran Fuel Cell Polymermembran-Brennstoffzelle), MCFC - Molten Carbonate Fuel Cell (Karbonatschmelzen-Brennstoffzelle)

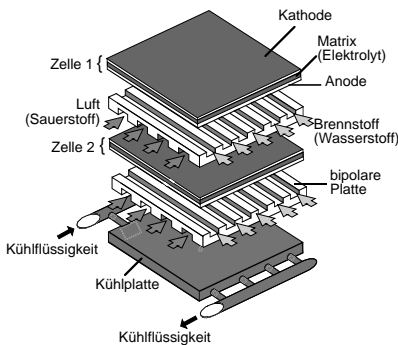


Bild 3.6:
Aufbau eines Brennstoffzellenstapels (Stack)

Wie bei allen KWK-Anlagen sind die Haupteinsatzgebiete Objekte mit einem gleichzeitigen Bedarf an Strom- und Wärme. Durch die optionale Hochtemperaturauskopplung läßt sich in Kombination mit einer Absorptionskältemaschine auch Kälte bereitstellen²⁰.

Einsatzkriterien

Durch die direkte Umwandlung²¹ unterliegen Brennstoffzellen nicht dem Carnot'schen Wirkungsgrad und können elektrische Wirkungsgrade von mehr als 60% erreichen; derzeit verfügbare Aggregate²² weisen einen Gesamtwirkungsgrad von ca. 40% auf, der durch Alterung auf 30% sinken kann. Die Gesamtwirkungsgrade sind denen motorischer BHKW vergleichbar²³. Ein weiterer Vorteil neben den extrem niedrigen Schadstoff- und Geräuschemissionen ist das gute Teillastverhalten.

Effizienz

Das kommerziell verfügbare PAFC-System²⁴ wird von der Firma Onsi (PC25 mit 200 kW_{el}) als Modell PC25C für rund 600.000 \$ verkauft. Außerdem muß beachtet werden, daß sich die Elektroden im Laufe des Betriebes zersetzen²⁵ und so ein Stackaustausch nach 4-6 Jahren mit Kosten von rund 100.000 \$ notwendig wird. Die Brennstoffzelle ist zwar eine vielversprechende und emissionsarme Technologie, aufgrund der zur Zeit genannten Zielkosten für die Module von ca. 2500 DM/kW_{el} (Ist-Kosten ca. 5000-6000 DM/kW_{el}) sind sie jedoch kurz- und mittelfristig keine wirtschaftliche Alternative zu den motorischen BHKW (Modulkosten < 1000 DM/kW_{el}).

Wirtschaftlichkeit

Auslegung

20 Solch eine kombinierte Anlage wurde im Juli 1997 bei der Gasversorgung Sachsen-Anhalt in Betrieb genommen.

21 Die Brennstoffzellen-Technologie basiert auf der Umkehrung der Wasserelektrolyse. Während bei letzterer durch Stromfluß Wasserstoff und Sauerstoff aus Wasser hergestellt wird, verläuft die Brennstoffzellenreaktion entgegengesetzt.

22 Die Wirkungsgradeinbußen basieren auf der externen Wasserstoffbereitstellung.

23 Die mögliche Wärmeauskopplung hängt sehr stark von den Netztemperaturen ab (z.B.: 80/50°C-Netz: 150 kW_{th}, 75/27°C-Netz: 215 kW_{th}).

24 Bisher sind von diesem Brennstoffzellenkraftwerk über 80 Anlagen weltweit im Einsatz.

25 Diese Vorgänge führen auch zu einem langsamen Abfall des elektrischen Wirkungsgrades (etwa 1,8% pro Jahr).

Aufgrund seines sehr guten Teillastverhaltens kann ein BZ-HKW für eine wesentlich höhere Grundlast ausgelegt werden, als ein konventionelles BHKW. Im Gegensatz zu diesem ist auch kein modularer Aufbau notwendig.

Zukunft

Für das Jahr 2000 wurde von der Firma Onsi eine Halbierung der Investitionskosten bei der PC25 angekündigt. In naher Zukunft sind für den Nahwärmebereich aber auch Systeme der PEMFC (die kanadische Firma Ballard testet zur Zeit einen 250 kW-Prototypen) und der MCFC (die amerikanischen Firmen MCFC und ERC haben erfolgreiche Betriebstests ihrer 2 MW- bzw. 250 kW-Prototypen absolviert, in Deutschland begann vor kurzem ein 300 kW-Pilotprojekt der MTU Friedrichshafen) vorstellbar. Letztere eignen sich aufgrund ihres zeitintensiven Aufheizvorganges nur für den Grundlastbetrieb und benötigen neben dem Brennstoff und dem Oxidanten eine kontinuierliche CO₂-Zufuhr. Daher sind diese Zelltypen für sogenannte Schwachgase, die sehr hohe CO₂-Gehalte aufweisen (z.B. Biogas, Gas aus der Biomassevergasung, Klär- oder Deponiegas), sehr gut geeignet.

3.3 Wärmeerzeuger

3.3.1 Abwärmenutzung

Anlagentyp	Grundlast (Teillast) Wärmeerzeuger
Leistungsbereich	ab 200 kW
Temperaturbereich	bis 130°C (Nahwärme)
Wärmegestehungskosten	1-3 Pf/kWh

Funktion

Abwärme wird vorwiegend aus Industriebetrieben ausgekoppelt, wobei betriebsintern meist verschiedene Abwärmequellen zusammengeschaltet werden. Bedingung ist, daß der Aufwand zur Nutzung der einzelnen Wärmeströme wirtschaftlich ist²⁶. Die Wärme kann dann entweder direkt oder indirekt über einen Wärmetauscher in das Nahwärmenetz eingespeist werden. Sofern die Temperatur der Abwärmequelle zu gering ist, kann sie durch eine Wärmepumpe angehoben (max. 80°C) werden.

Der gesamte, in der Nahwärme übliche Leistungs- und Temperaturbereich (bis 130 °C) kann durch Abwärme bereitgestellt werden. Unter der Annahme, daß die Abwärme ansonsten ungenutzt an die Umgebung abgegeben würde, kann diese Art der Wärmebereitstellung als emissionsfrei angesehen werden.

Einsatzbereiche

Voraussetzung für die Nutzung der Abwärme ist die räumliche Nähe zur Abwärmequelle (z.B. Chemische Industrie, Eisen- und Stahlindustrie) und eine kalkulierbare Verfügbarkeit. Hierbei muß beachtet werden, daß viele Betriebe

²⁶ Daher liegt das realisierbare Abwärmepotential deutlich unter 20% [Roth96] des gesamten industriellen Abwärmeeaufkommens

“lohnende“ Abwärmequellen schon betriebsintern nutzen und so evtl. nur ein kleiner Anteil extern in ein Nahwärmenetz eingespeist werden kann.

Der Wirkungsgrad bei direkter und indirekter Einkopplung von Abwärme in ein Nahwärmenetz liegt je nach Transportentfernung bei 90 bis nahe 100%. Falls eine Wärmepumpe eingesetzt wird, bestimmt deren Wirkungsgrad das System (siehe Wärmepumpe).

Effizienz

Diese Investitionskosten für die Wärmeauskopplung werden von der Transportentfernung und den individuellen Aufwendungen bei der Abwärmequelle bestimmt. Hieraus resultieren oft äußerst günstige Wärmegestehungskosten von unter 1 bis 3 Pf/kWh.

Wirtschaftlichkeit

Da die Abwärme oft produktionsabhängig und nicht kontinuierlich anfällt, wird meist über einen konventionellen Wärmeerzeuger (z.B. Heizkessel) die Versorgung abgesichert. Da der Ersatzwärmeerzeuger für die Spitzenlast ausgelegt werden muß, können im Regelfall durch Abwärmenutzung nur variable Kosten und keine Investitionskosten eingespart werden. Daher wird Abwärme nur genutzt, wenn die Kosten deutlich unterhalb der Brennstoffkosten liegen.

Auslegung

Aufgrund vielfältiger Hemmnisse (Widerspruch zwischen Flexibilität auf Unternehmenseite und Konstanz einer Nahwärmeversorgung; Kenntnismangel hinsichtlich Potential, Einsatz- und Fördermöglichkeiten etc.) sind bisher nur wenige Abwärmenutzungen zur Nahwärmeversorgung realisiert worden. Durch die erstrebenswerte stärkere Kooperation zwischen industrieller und kommunaler Energieversorgung dürften zukünftig jedoch verstärkte Bemühung festzustellen sein. Die diskutierte AbwärmenutzungsVO ist jedoch in den nächsten Jahren nicht zu erwarten.

Zukunft

3.3.2 Biomasse

Der regenerative Energieträger Biomasse²⁷ (z. B. Holz, Stroh, Energiepflanzen) verfügt in Deutschland über ein erhebliches Potential, das über Verbrennungs- und Vergasungsverfahren für die Wärme- und Stromerzeugung erschlossen werden kann. Die Verbrennungsverfahren für die Wärmeerzeugung sind – zumindest für den Brennstoff Holz – technisch ausgereift, erprobt und am Markt verfügbar. Hierbei kommen in Nahwärmenetzen fast ausschließlich Hackschnitzelfeuerungen zum Einsatz. Die Biomasse-KWK für Nahwärmenetze ist technisch anspruchsvoll und besonders im niedrigen Leistungsbereich kaum wirtschaftlich²⁸ realisierbar. Der bei Verbrennungsanlagen mit KWK eingesetzte Dampfturbinenprozeß ist nur bei großen Anlagen wirtschaftlich sinnvoll, so daß im Nahwärmebereich Vergasungsverfahren mit BHKW favorisiert werden. Diese Technologie wird jedoch erst in den nächsten Jahren technisch ausgereift (Ziel: teerarmes Gas) und am Markt verfügbar sein.

Hackschnitzelfeuerung

Anlagentyp	Grundlast (Teillast) Wärmeerzeuger
Leistungsbereich	0,1-2 MW
Temperaturbereich	bis über 130°C
Wärmegestehungskosten	8-11 Pf/kWh

Funktion

Die Hackschnitzelanlagen bestehen aus einem Biomassekessel und den dazugehörigen Nebenanlagen (Gebäude, Brennstoffbunker, Beschickungssystem, Abgasreinigungsanlagen und Kamin). Die Wärmebereitstellung ist für den gesamten betrachteten Leistungs- (0,1-2 MW_{th}) und Temperaturbereich (bis 130 °C) möglich; optimale Wirkungsgrade ergeben sich für Temperaturen unter 120 °C. Da das freigesetzte CO₂ der Biomasseanlagen gleich der beim Verrottungsprozeß ohnehin anfallenden Menge ist, gelten Biomasse-Anlagen als CO₂-neutral.

27 Üblicherweise wird das Biomasseaufkommen in Reststoffe und Energiepflanzen unterteilt: zu den Reststoffen gehören Stroh, Waldrestholz, Be- und Verarbeitungsrestholz, Landschaftspflegerestholz, tierische Abfälle (Gülle etc.), zu den Energiepflanzen Miscanthus, Roggen Weizen, Gerste, Triticale, Pappeln, Weiden etc. Die verschiedenen Verfahren der Umwandlung (⇒ Biomasse-Konversion) von Biomasse in Energieträger und Wärme ist im Anhang beschrieben.

28 Problematisch bei der Biogasnutzung ist vor allem der energetische Aufwand (20-60% der Bruttoerzeugung) und die Gegenläufigkeit von Wärmenachfrage und Biogasproduktion (im Winter fressen die Tiere weniger und es vermindert sich daher der Gülleanfall). Desweiteren müssen gerade im Winter große Wärmemengen für die Aufrechterhaltung des Fermentationsprozesses bereitgestellt werden.

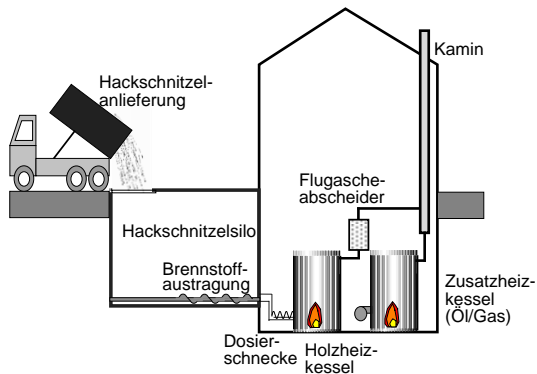


Bild 3.7:
Aufbau eines
Hackschnitzel-
Heizwerks

Die Verwertung sollte dezentral in unmittelbarer Nähe des Biomasseaufkommens erfolgen, um die Aufwendungen für die Logistik zu minimieren. Einen Marktpreis für Biomasse gibt es zur Zeit nicht, so daß im Einzelfall ein Vergleich mit fossilen Brennstoffen anzustellen ist.

Einsatzbereich

Moderne Hackschnitzelfeuerungen erreichen thermische Wirkungsgrade von etwa 85 %. Somit können aus 1 kg Hackschnitzel (4,2-5 kWh/kg) 3,6 bis 4 kWh Wärme erzeugt werden (je nach Feuchte der Hackschnitzel). Bei guter Regelung können diese Anlagen bis zu einer Teillast von 25-30 % betrieben werden.

Effizienz

Bei den Hackschnitzelfeuerungen sind im kleinen Leistungsbereich die Kosten der Peripherie (Brennstoffzuführung, Bunkeranlagen etc.) fast unabhängig von der Leistungsgröße, dagegen ist beim eigentlichen Biomassekessel eine erhebliche Kostendegression zu verzeichnen. So kostet die Kesselanlage mit einer Leistung von 200 kW_{th} etwa 200 DM/kW, mit 650 kW_{th} rund 130 DM/kW und mit 1 MW_{th} ca. 120 DM/kW. Die Nebenanlagen können bei kleinen Anlagen die Kosten der Feuerung übersteigen. Die Wartungs- und Reparaturkosten betragen 3% der Gesamtinvestition [HS95]. Die Kosten für die Hackschnitzel liegen zwischen 0-5 Pf/kWh - abhängig davon, ob sie als Rest-/Abfallstoffe oder als Nebenprodukte der Waldbewirtschaftung anfallen. Insgesamt ergeben sich Wärmegestehungskosten zwischen 8 und 11 Pf/kWh [Kalt97].

Wirtschaftlichkeit

Gegenwärtig existieren rund ein Dutzend Hackschnitzelheizwerke (⇒ Biomasse Nahwärmenetze) mit installierten Leistungen zwischen 500 kW_{th} und 22.000 kW_{th}. Während die hohen Anfangsinvestitionen nur mit Hilfe von Fördermitteln anlegbar sind, ist der laufende Betrieb je nach Höhe der Brennstoffkosten auch ohne Förderung wirtschaftlich.

Aufgrund der geringen Energiedichte biogener Brennstoffe (Hackschnitzel ca. 200 kg/m³) muß auf ausreichend dimensionierte Lagerräume geachtet werden.

Auslegung

Durch das gute Teillastverhalten können Hackschnitzelfeuerungen²⁹ einen großen Leistungsbereich abdecken. Je nach Brennstoffkosten, Bedarfsprofil und lokale Gegebenheiten (z.B. vorhandener Ölkessel) ergeben sich unterschiedliche Auslegungen, wobei häufig ein thermischer Leistungsanteil von 50-60 % angestrebt wird. Die Spitzenlast wird dann über einen NT-Kessel abgefahren. Sollen Verbraucher angeschlossen werden, die konstant eine niedrige Rücklaufemperatur sicherstellen (z.B. Schwimmbäder, NEH-Siedlungen), ist die Zuschaltung einer Rauchgaskondensationsanlage³⁰ zur Steigerung der thermischen Leistung und des Jahresnutzungsgrades prüfenswert.

Zukunft

Die Vielzahl betriebener Hackschnitzelfeuerungen beweisen, daß diese Technik marktfähig und je nach Höhe der Brennstoffkosten konkurrenzfähig ist. Ein nachhaltiger Ausbau der Restholznutzung³¹ in Deutschland ist jedoch nur dann zu erwarten, wenn die Wertschöpfung durch Einsatz der KWK erhöht wird. Das Gesamtpotential der Biomasse wird in Deutschland auf 14 GW geschätzt, die derzeitige Nutzung³² liegt bei ungefähr 1,7 GW [HS95].

Zukunft der KWK-Anwendungen mit Biomasse

Aufgrund aktueller Entwicklungen ist in absehbarer Zeit ein Aufschwung von Biomasse-Nahwärmenetzen mit KWK abzusehen.

- Durch den hohen Gehalt an flüchtigen Bestandteilen (ca. 80 Gew.%) bestehen günstige Voraussetzungen für eine Vergasung³³ der Biomasse mit nachgeschalteter Nutzung des Schwachgases über KWK. Vielversprechende Verfahren zur Biomassevergasung und zur Reinigung des erzeugten Schwachgases befinden sich an der Schwelle zur Marktreife³⁴.
- Durch die neue TA Siedlungsabfall, die ab dem Jahre 2005 die Ablagerung unbehandelter Reststoffe verbietet, werden zukünftig verstärkt Biogasanlagen mit Cofermentation entstehen, die neben Gülle auch andere organische Abfälle einschließlich Öl und Fett aus Kommunen, Großküchen, der Nahrungsmittelindustrie und Schlachthöfen nutzen [NN97]. Das Entsorgungsentgelt für diese Rückstände ermöglicht einen wirtschaftlicheren Betrieb, so daß vor allem im Energieverbund mit Abfallerzeugern zukunftsfähige Lösungen entstehen werden.
- Prädestiniert für den Biomasse-Einsatz ist auch der Stirlingmotor, da er durch seine äußere Wärmezufuhr unabhängig vom verwendeten Brennstoff ist.

29 Die unterschiedlichen Feuerungstechniken für feste biogene Brennstoffe sind im Anhang näher beschrieben ⇒ [Feuerungstechniken für feste biogene Brennstoffe](#)

30 Durch den Auswascheffekt kann meist bei der Installation einer Rauchgaskondensationsanlage auf den Elektrofilter verzichtet werden, wodurch die Zusatzkosten nur sehr gering ausfallen.

31 Der Einsatz der sogenannten Energiepflanzen ist derzeit noch im Entwicklungsstadium.

32 Im Gegensatz zum Restholz ist bei der Biogas- und der Strohnutzung der Anteil kleiner 1%.

33 Die verschiedenen Techniken der Biomassevergasung sind im Anhang beschrieben. ⇒ [Prinzipien der Biomassevergasung](#)

34 Auch für Heizwerke wäre die Biomassevergasung mit anschließender Verbrennung eine interessante Alternative. Besonders vorteilhaft ist dabei die Vermeidung der derzeit noch häufigen Emissionsprobleme (CO, NO_x) der Feststofffeuerungsanlagen sowie ein geringerer apparativer Aufwand.

Derzeit werden in einer Reihe von Projekten biomassebefeuerte \Rightarrow Stirlingmotoren entwickelt [SPJ97].

3.3.3 Geothermie

Bei der Geothermie muß zwischen oberflächennaher (i.a. bis 400 m Tiefe) und der tiefengeothermischen Nutzung unterschieden werden.

Oberflächennahe Geothermie

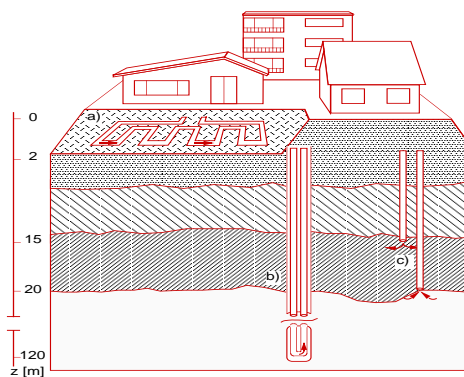


Bild 3.8:
Möglichkeiten der
Oberflächennahen
Geothermie [Clau97]

Zu diesen Verfahren zählen erdgekoppelte Wärmepumpen, bei denen \Rightarrow Erdwärmesonden (Bild 3.8b), \Rightarrow Erdkollektoren (Bild 3.8a), Grund- bzw. Grubenwasser (Bild 3.8c) als Wärmequelle fungieren. Für Nahwärmenetze ist vor allem die Grundwassernutzung (ab 100 kW) interessant, während die Kollektoren (meist ca. 10 kW) aufgrund ihres großen Platzbedarfs (ca. 25 m²/kW) nur für Einzelgebäude sinnvoll sind.

Grundwasserwärmepumpen

Anlagentyp	Grundlast (Teillast) Wärmerzeuger
Leistungsbereich	0,1 - 2 MW _{th}
Temperaturbereich	bis 70°C
Wärmegestehungskosten	7-9 Pf/kWh

Eine Anlage zur Nutzung von Grundwasser (Bild 3.8c) als Wärmequelle benötigt neben der Wärmepumpe einen Förder- und einen Schluckbrunnen. Das Grundwasser, das ganzjährig eine Temperatur von etwa 10 °C aufweist, wird über einen Brunnen an die Oberfläche gepumpt, wo eine Wärmepumpe das Wasser als Wärmequelle nutzt. Dabei darf es maximal um 5 K abgekühlt werden und muß wieder dem entsprechenden Grundwasserleiter in Fließrichtung zugeführt werden. Deshalb ist neben dem Förderbrunnen auch ein Schluckbrunnen erforderlich.

Funktion

Die größten in Deutschland realisierten Anlagen besitzen thermische Leistungen von rund 400 kW, im Ausland wurden bereits Anlagen im MW-Bereich errichtet. Die Temperatur erreicht i.a. etwa 70 °C. Bis auf die benötigte Verdichterarbeit der Wärmepumpe wird keine zusätzlich Energie benötigt. So ergeben sich CO₂-Einsparungen gegenüber einem Gas-Brennwertkessel von bis zu 50 % [VDEW96].

- Einsatzbereich** Grundwasserpumpen können überall eingesetzt werden, wo es die lokale Hydrochemie zuläßt: Da sich bei Temperaturänderungen das Lösungs-gleichgewicht im Wasser ändert, kann es zu Ausfällungen (bei Erwärmung Eisenhydroxide, bei Abkühlung Kalk) kommen. Da diese Ausfällungen zur Verstopfung des Brunnen führen können, ist vor jeder Installation eine Analyse der Wasserchemie durchzuführen.
- Effizienz und Wirtschaftlichkeit** Die Wirtschaftlichkeit dieser Anlagen steigt mit fallender Netztemperatur, da mit zunehmender Differenz zwischen Grundwasser- und Netzvorlauftemperatur der Wirkungsgrad der Wärmepumpe sinkt. Bei entsprechendem Bedarf an Niedertemperaturwärme können bei 2000 Vollaststunden Wärmegestehungskosten von 8 Pf/kWh erreicht werden [RKH97].
- Auslegung** Für 1 kW installierte Heizleistung müssen ca. 0,06 l/s Grundwasser abgepumpt werden, wobei sich das Wasser um etwa 3 K abkühlt [SH96]. Desweiteren muß der Abstand vom Schluckbrunnen zum Förderbrunnen so groß sein, daß abgekühltes Wasser nicht direkt wieder gefördert wird.
- Zukunft** Ohne Förderung werden Grundwasser-Nutzungen auf absehbare Zeit nicht wirtschaftlich betrieben werden können.

Tiefengeothermie

Bei der Tiefengeothermie wird zwischen dem sogenannten Hot-Dry-Rock-Verfahren (⇒ HDR-Verfahren), den tiefen Erdwärmesonden und der ⇒ hydrothermalen Geothermie unterschieden. Das HDR-Verfahren befindet sich im Forschungsstadium und ist ebenso wie die hydrothermale Geothermie im Anhang beschrieben, da diese derzeit nur für den Leistungsbereich $>20 \text{ MW}_{\text{th}}$ sinnvoll ist [RKH97]. Dagegen erlauben die tiefen Erdwärmesonden (1.000-2.500 m Tiefe) eine Anwendung im Nahwärmebetrieb, wenn beispielsweise nicht fündige Erdöl- oder Geothermiebohrungen genutzt werden können.

Tiefe Erdwärmesonden

Anlagentyp	Grundlast (Teillast) Wärmerzeuger
Leistungsbereich	0,1 - 2 MW _{th}
Temperaturbereich	60-100°C
Wärmegestehungskosten	6-8 Pf/kWh (Altbohrung)

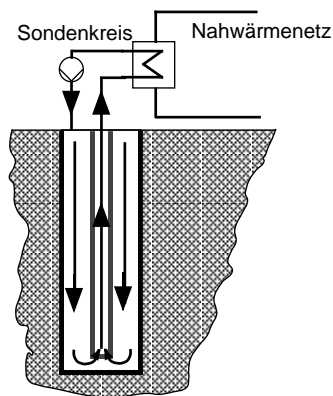


Bild 3.9:
Wärmeversorgung
mit einer Tiefen
Erdsonde

Die Sondenanlage besteht aus einem zementierten Sondenrohr, in dem sich ein wärmeisolierter Steigstrang befindet. Die Temperatur an der Wandung der Sonde nimmt mit zunehmender Tiefe zu, wodurch sich das nach unten transportierte Wasser im Ringspalt aufwärmt. Das erwärmte Wasser wird über das Steigrohr an die Oberfläche gefördert, wo es in einem Wärmetauscher³⁵ seine aufgenommene Wärme abgibt. Die Zirkulation wird durch eine Umwälzpumpe aufrechterhalten. Bis auf den geringen Stromverbrauch der Umwälzpumpe wird keine zusätzliche Energie benötigt, so daß man von einer emissionsarmen Wärmeerzeugung sprechen kann.

Funktion

Die tiefen Erdwärmesonden stellen im Gegensatz zu den sonstigen tiefengeothermischen Systemen keine geologische Anforderungen an den Einsatzort. Ein wirtschaftlicher Einsatz ist jedoch wegen der hohen Bohrkosten nur bei nachnutzungsfähigen Bohrungen in Verbrauchernähe möglich. Um eine hohe Auslastung der Geothermie-Anlage zu erreichen, ist der Anschluß von Objekten mit hoher Grundlast (Krankenhaus, Altersheim) anzustreben.

Einsatzbereich

Läßt man die geringen Stromaufnahmen und die Verluste im Wärmetauscher unberücksichtigt, wird die Wärme praktisch verlustfrei gewonnen. Bei der Nutzung von Altbohrungen sind Wärmegestehungskosten von 6-8 Pf/kWh_{th} erreichbar [Popp95]. Zur Absenkung der Sondereintrittstemperatur (Rücklauftemperaturauskühlung) bietet sich bei günstigen Strompreisen eine dem Wärmetauscher nachgeschaltete Wärmepumpe an.

Effizienz und Wirtschaftlichkeit

35 Der zwischengeschaltete Wärmetauscher verhindert ein Verschmutzen des extrem sauber aufbereiteten Sondenkreis-Wassers.

Auslegung Die Auslegung hängt von den örtlichen Gegebenheiten ab (z.B. Wärmeleitfähigkeit des Gesteins, Temperatur am Steigrohreintritt, Tiefe der vorhandenen Bohrung) und muß individuell erfolgen. Im Normalfall wird eine Grundlastversorgung angestrebt, um hohe Betriebsstunden zu erreichen, obwohl diese Anlagen auch bei Teillast betrieben werden können.

Zukunft Das System Tiefe Erdwärmesonde wird auch zukünftig nur in Sonderfällen (Nachnutzung von Altbohrungen in Verbrauchernähe) angewendet werden, da die Bohrkosten sich nicht amortisieren.

3.3.4 Solarthermie

Anlagentyp	Grundlast (Teillast) Wärmerzeuger
Leistungsbereich	0,1 - 2 MW _{th}
Temperaturbereich	60-70°C (max 95°C)
Wärmegestehungskosten	18-40 Pf/kWh

Funktion Die Solarthermie nutzt die solare Strahlung, die in Westeuropa unter guten Bedingungen ca. 1000 W/m² beträgt, um Wärme für Warmwasser bzw. Heizzwecke zur Verfügung zu stellen. In einem ⇒ Solarkollektor wird die Wärme absorbiert und mittels einer frostsicheren Sole an einen zentralen Wärmespeicher übertragen. Hierbei können Temperaturen von maximal 95 °C erreicht werden; optimale Temperaturen liegen zwischen 60 und 70 °C, da mit steigender Temperatur die Wärmeverluste steigen und damit den Kollektorwirkungsgrad verschlechtern. Durch die Zusammenschaltung mehrerer Module kann die Leistung den Erfordernissen angepaßt werden. Die Erzeugung von solarthermischer Wärme kann als CO₂-neutral eingestuft werden, da nur geringe Mengen Hilfsenergie benötigt werden.

Einsatzbereich Beim Einsatz der Solarthermie in Nahwärmenetzen können zwei verschiedene Konzepte verfolgt werden.

- Solar unterstütztes Nahwärmenetz mit Kurzzeitspeicher: Hierbei versorgt der Solarkollektor über einen Kurzzeitspeicher die angeschlossenen Verbraucher. Da die Energie nicht längerfristig gespeichert wird, muß ein weiterer Wärmeerzeuger während eines Großteils des Jahres zusätzlich Energie liefern; die solare Deckungsrate³⁶ beträgt nur 5 - 12 %.
- Solar unterstütztes Nahwärmenetz mit saisonalem Wärmespeicher: Bei diesem Konzept speist der Solarkollektor verbrauchunabhängig die Wärme in einen ⇒ saisonalen Wärmespeicher ein. Die Verbraucher werden direkt aus dem Langzeitwärmespeicher versorgt, wobei zumeist ein zwischengeschalteter Spitzenlastkessel die notwendige Vorlauftemperatur sicherstellt. Da im Sommer Überschußwärme gewonnen und gespeichert

³⁶ Die solare Deckungsrate ist das Verhältnis von solar erzeugter Energie zum Gesamtenergieverbrauch.

wird, kann eine insgesamt höhere solare Deckungsrate von 40 - 60 % erreicht werden.

Aufgrund der gleichmäßigen Globalstrahlung³⁷ in Deutschland können beide Anlagenkonzepte bundesweit realisiert werden.

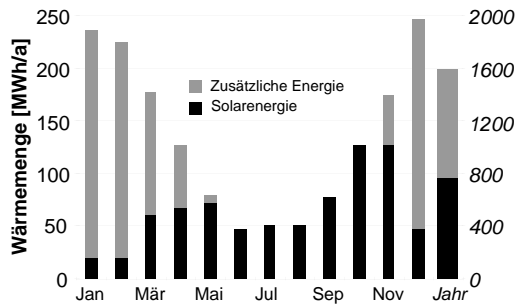


Bild 3.10:
Energiebilanz des
Konzeptes mit
saisonalen
Wärmespeicher

Der Anlagenwirkungsgrad liegt zwischen 30 und 60 %. Bei einer durchschnittlichen Globalstrahlung von $1000 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$ können bei optimaler Ausrichtung des Solarkollektors (Süd-Richtung in einem Anstellwinkel von 45°) und einer mittleren Kollektortemperatur von 40°C bis zu $524 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$, bei 60°C nur $360 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$ genutzt werden [Schü94]. Durch den Wärmespeicher (saisonalen Wärmespeicher oder Kurzzeitspeicher) wird ein gutes Teillastverhalten der Solaranlage erreicht.

Effizienz

Die Investitionskosten für \Rightarrow Flachkollektoren (die effizienteren \Rightarrow Vakuumröhrenkollektoren werden wegen der deutlich höhere Kosten nur selten eingesetzt) belaufen sich auf etwa $400\text{-}550 \text{ DM/m}^2$ zzgl. ca. 25 % Verrohrungskosten; ein saisonaler Warmwasserspeicher kostet ca. 260 DM/m^3 [Küb96]. Daraus resultiert ein solarer Wärmepreis von $18\text{-}38 \text{ Pf/kWh}$ beim Konzept A) bzw. von ca. $20\text{-}40 \text{ Pf/kWh}$ beim Konzept B) [BINE16] [Stan96]. Dies zeigt, daß ein wirtschaftlicher Betrieb bisher nicht möglich ist. Ein weiterer Nachteil ist, daß der zusätzliche Wärmeerzeuger für den Spitzenlastbedarf im Januar/Februar ausgelegt werden muß, da zu diesem Zeitpunkt nahezu keine solare Energie mehr gespeichert ist; d.h. die Solarthermie kann nur Brennstoff- aber keine Investitionskosten reduzieren.

Wirtschaftlichkeit

Zur überschlägigen Auslegung kann beim Konzept A) von einer Kollektorfläche von $0,9\text{-}1,2 \text{ m}^2/\text{Person}$ bei einem Kurzzeitspeichervolumen von $40\text{-}60 \text{ l/m}^2$ Kollektorfläche ausgegangen werden [BINE16]. Beim Konzept B) werden $3\text{-}4 \text{ m}^2$ Kollektorfläche³⁸ pro solar erzeugter MWh/a und $2\text{-}3 \text{ m}^3$ Speichervolumen pro m^2 Kollektorfläche benötigt. Anstatt eines Wasserspeichers kann auch ein Aquifer ($2\text{-}6 \text{ m}^3$ pro m^2 Kollektorfläche) bzw. ein \Rightarrow Erdsondenspeicher (10-

Auslegung

37 Innerhalb Deutschlands variiert die jährliche Globalstrahlung nur unwesentlich. In München ($1170 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$) werden nur um 20% höhere Werte als in Hamburg ($980 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$) gemessen [Schü94].

38 Diese Angaben basieren auf neueren Daten von [Gui97] und weichen von [BINE16] ab.

15 m³ pro m² Kollektorfläche) genutzt werden. Kostenoptimale Temperaturen liegen bei 60-70 °C im Vorlauf und 30-40 °C im Rücklauf. [Küb96]. [Gui97].

Zukunft

Obwohl in Zukunft Kostensenkungen bei der Kollektorproduktion von bis zu 30 % möglich scheinen und auch Einsparungspotentiale beim Speicherbau bestehen, liegt ein wirtschaftlicher Betrieb noch in weiter Ferne [Küb96]. Erst wenn die Systemkosten um den Faktor 10 sinken bzw. die Energiepreise um den Faktor 10 ansteigen, ist der Betrieb einer solarthermischen Anlage aus betriebswirtschaftlicher Sicht interessant [Stan96]. Das maximale Potential der Solarthermie beträgt ca. 29 GW [HS95]. Aktuelle Referenzprojekte befinden sich innerhalb Deutschlands in Friedrichshafen-Wiggenhausen und Hamburg-Bramfeld (⇒ Realisierte Projekte Solarthermie); weitere im Ausland [Dal93].

3.3.5 Wärmepumpe

Bei größeren Leistungen werden meist gasmotorische Kompressionswärmepumpen (KWP) für die Nahwärmeversorgung (ab 300 kW_{th}) eingesetzt. Elektromotorisch angetriebene KWP sind nur für Kleinanwendungen (i.a. 20 kW_{th}) interessant, Absorptionswärmepumpen sind aufgrund ihrer niedrigen Heizzahl derzeit und voraussichtlich auch zukünftig ohne Bedeutung.

Gasmotorwärmepumpe

Anlagentyp	Grundlast (Teillast) Wärmerzeuger
Leistungsbereich	0,3 - 2 MW _{th}
Temperaturbereich	bis 75°C
Wärmegestehungskosten	10-18 Pf/kWh

Funktion

Gasmotorwärmepumpen nutzen - wie alle Wärmepumpen - die im Erdreich, Grundwasser oder der Außenluft gespeicherte Sonnenenergie (Umgebungs-wärme). Sie entziehen diesen Wärmequellen mit niedriger Temperatur Energie und erzeugen Wärme auf höherem Temperaturniveau. Bei der Gasmotorwärmepumpe wird der Kältemittelverdichter durch den Gasmotor angetrieben, dessen Motorabwärme zusätzliche Wärme liefert. Abhängig vom Wirkungsgrad der Wärmepumpe kann eine CO₂-Reduzierung von bis zu 70 % erreicht werden.

Einsatzbereich

Geeignete Einsatzbereiche liegen vor, wenn Raumwärme, Warmwasser oder Prozeßwärme mit Temperaturen von rund 35 °C bis 75 °C benötigt werden und eine günstige Wärmequelle zur Nutzung bereit steht. Als Wärmequellen können oberflächennahe Geothermie, Abwärme Umgebungsluft etc. genutzt werden, deren Temperaturniveau eine direkte Einkopplung in das Nahwärmenetz nicht erlauben.

Effizienz

Die Effizienz von Wärmepumpen wird durch die Heizzahl³⁹ beschrieben, wobei Gasmotorwärmepumpen je nach Betriebsbedingungen Werte zwischen 1,5 und 3 erreichen. Wichtig hierbei ist die Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle und Netzvorlauf, da diese näherungsweise proportional zum Wirkungsgrad ist. Daher verschlechtert sich die Effizienz einer Außenluftanlage mit sinkender Außenlufttemperatur. Der eigentliche Teillastbetrieb der Wärmepumpen führt jedoch zu keinem Wirkungsgradverlust.

Die Investitionskosten bei Gasmotorwärmepumpen betragen zwischen 1000 DM/kW_{th} und 1300 DM/kW_{th}, so daß Wärmegegestehungskosten von 10-18 Pf/kWh darstellbar sind.

Wirtschaftlichkeit

Da der Wirkungsgrad einer Wärmepumpe näherungsweise proportional zur Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle und Netzvorlauf ist, sollte diese Differenz möglichst gering⁴⁰ sein. Falls, wie bei Außenluftanlagen, die Wärmequellentemperatur bis auf -15 °C absinken kann, muß entweder die Wärmepumpe bivalent⁴¹ betrieben oder bei monovalentem Betrieb der schlechtere Wirkungsgrad akzeptiert werden. Bei monovalentem Betrieb kann eine Gasmotorwärmepumpe einen Anteil von 70-90 % der Jahreswärmemenge decken.

Auslegung

Neue Einsatzgebiete können durch die Hinzuschaltung eines Generators oder die Kombination einer Gasmotorwärmepumpe mit einem BHKW geschaffen werden. Dadurch kann das ansonsten starre Strom/Wärme-Verhältnis normaler BHKW-Lösungen über weite Bereich variiert und ein Totalenergieverbund (Strom/Wärme/Kälte) realisiert werden.

Zukunft

3.3.6 Heizkessel

Anlagentyp	Spitzenlast, Grundlast Wärmerzeuger
Leistungsbereich	0,1 - 2 MW _{th}
Temperaturbereich	bis 130°C
Wärmegegestehungskosten	5-7 Pf/kWh

Ein zentraler Heizkessel kann als Niedertemperatur- oder Brennwertkessel ausgeführt werden. Beim Brennwertkessel wird ein Teil der Kondensationswärme des Rauchgases genutzt und so der Wirkungsgrad erhöht. Aus ökologischer Sicht ist daher der Brennwertkessel dem Niedertemperaturkessel

Funktion

³⁹ Die Heizzahl ist das Verhältnis von abgegebener Wärme- zu eingesetzter Primärenergie (Erdgas).

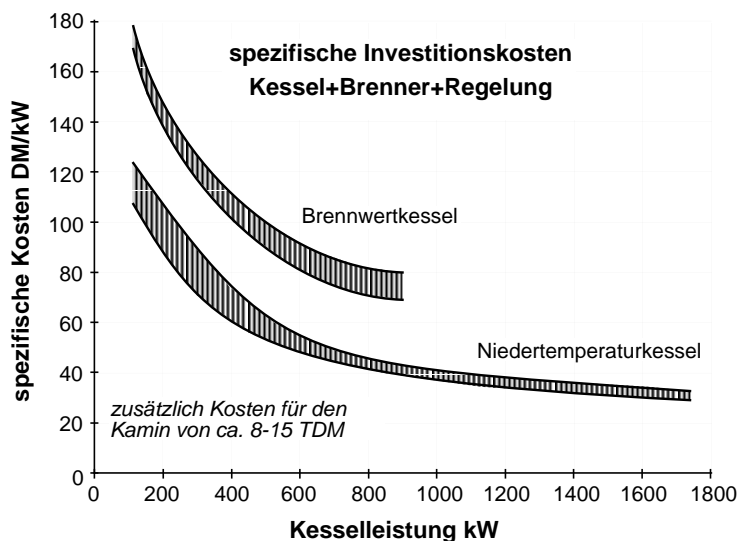
⁴⁰ Daher sind die auch die entgegengesetzten Verläufe von Wärmequellentemperatur und Wärmebedarf recht ungünstig, da im Winter mit sinkender Außentemperaturen ein steigender Wärmebedarf entsteht bei gleichzeitig abnehmenden Wirkungsgrad

⁴¹ Bei monovalentem Betrieb deckt die Wärmepumpe alleine den gesamten Wärmebedarf; bei bivalentem Betrieb ersetzt ein zweiter Wärmeerzeuger (z.B. Heizkessel) die Wärmepumpe, sobald die Wärmequellentemperatur (z.B. Außenluft) zu niedrig ist.

vorzuziehen, da der Brennstoff effizienter genutzt wird. Als Brennstoffe können Erdgas (unterer Heizwert $H_u \sim 10 \text{ kWh/m}^3$), Flüssiggas⁴² (12-13 kWh/kg) oder Heizöl⁴³ (11-12 kWh/kg) eingesetzt werden. Die Wärmebereitstellung ist im gesamten betrachteten Leistungs- (100 kW bis 2 MW) und Temperaturbereich (bis 130 °C) möglich.

Einsatzbereich: Niedertemperatur- und Brennwertkessel können als alleiniger Wärmeerzeuger, als Spitzenlastkessel oder als Reservekessel eingesetzt werden. Die Rücklauftemperatur sollte bei Niedertemperaturkesseln 50 °C nicht unterschreiten; die Brennwerttechnik dagegen benötigt systembedingt niedrigere Rücklauftemperaturen (optimal 30 °C).

Bild 3.11:
Spezifische Kosten
des Heizkessels mit
Zubehör [Viess97]
[Kenn96]



42 Die Lagerdichte von Flüssiggas beträgt ca. 630 kg/m^3 , daraus folgt eine Energiedichte von 8 MWh/m^3 .

43 Die Lagerdichte von Heizöl beträgt ca. 800 kg/m^3 , daraus folgt eine Energiedichte von 10 MWh/m^3

Der Wirkungsgrad, der bei Teillast nur unwesentlich sinkt, liegt bei Niedertemperaturkesseln zwischen 88 und 92 %, bei Brennwertkesseln zwischen 95 und 103 %⁴⁴. Bezogen auf 1 m³ Erdgas (10 kWh/m³) kann dementsprechend 9-10 kWh Wärme erzeugt werden.

Effizienz

Die Investitionskosten betragen je nach Anlagengröße 35-120 DM/kW bei Niedertemperatur- und 70-180 DM/kW bei Brennwertkesseln; daraus resultieren durchschnittliche Wärmegestehungskosten von 5-7 Pf/kWh.

Wirtschaftlichkeit

Im Regelfall werden aus Kostengründen Niedertemperaturkessel eingesetzt. Die Mehrkosten für Brennwertkessel amortisieren sich nur, wenn hohe Vollbenutzungsstunden erreicht werden. Abgesehen von industriellem Wärmebedarf, ist dies bei Nahwärmenetzen nur in Ausnahmefällen möglich; beispielsweise kann aus Redundanzgründen gefordert werden, zwei Heizkessel einzusetzen. In diesem Falle deckt der Brennwertkessel die Grundlast und der Niedertemperaturkessel die Spitzenlast (⇒ Heizkessel-Hersteller-Verzeichnis).

Auslegung

3.4 Entscheidungsmatrix Wärmeerzeugung

Unter den gegebenen wirtschaftlichen Randbedingungen ist eine kostengünstige Wärmeerzeugung mit einem Niedertemperatur-(NT)-Kessel oder bei Kraft-Wärme-Kopplung mit einer Kombination aus BHKW und NT-Kessel möglich. Sofern Abwärme kostengünstig zur Verfügung steht, kann sie in Kombination mit einem NT-Kessel wirtschaftlich eingesetzt werden. Die anderen Wärmeerzeuger verursachen höhere Wärmegestehungskosten, bieten dafür aber ökologische Vorteile. Die Abwägung zwischen Kosten und Umweltschutz kann nur individuell erfolgen.

Wenn ein ökologisch vorteilhafter Grundlastwärmeerzeuger eingesetzt werden soll, bietet sich im allgemeinen eine Kombination mit einem NT-Kessel an. Die hohe Jahresarbeit des Grundlastwärmeerzeugers ermöglicht, einen Großteil der Wärme umweltfreundlicher zu erzeugen. Der NT-Kessel, der bei geringer Jahresarbeit für eine hohe Spitzenlast ausgelegt werden muß, gewährleistet durch seinen geringen leistungsspezifischen Kosten die "Bezahlbarkeit" des Gesamtsystems.

⁴⁴ Der Kesselwirkungsgrad bezieht sie auf den unteren Heizwert H_u , der die Kondensationswärme nicht berücksichtigt, so daß bei Brennwerttechnik Wirkungsgrade über 100 % möglich sind.

Wärme-erzeuger	Anlagentyp	Leistungsbereich	Temperaturbereich	Wärmegestehungskosten	spez. Investitionskosten	Sonstiges
Blockheizkraftwerk	Grundlast KWK	= 7 kW _{th} (5 kW _{el})	bis 90 °C (max120°C)	2-8 Pf/kWh	1500-2500 DM pro kW _{el}	Ersatz von Strom aus Kondensations- kraftwerken
Brennstoffzelle	Grundlast (Teillast) KWK	= 215 kW _{th} (200 kW _{el})	bis 90 °C (max120°C)	15-25 Pf/kWh	~200 DM pro kW _{el}	Ersatz von Strom aus Kondensations- kraftwerken
Abwärme- nutzung	Grundlast (Teillast)	0,1- 2 MW _{th}	bis 130 °C	1-3 Pf/kWh	gering	emissionsfreie Wärmeerzeugung
Hackschnitzel- feuerung	Grundlast (Teillast)	0,1- 2 MW _{th}	bis 130 °C	8-11 Pf/kWh	120-200 DM pro kW _{th}	CO ₂ -neutrale Wärmeerzeugung
Grundwasser- wärmepumpen	Grundlast (Teillast)	0,1- 2 MW _{th}	bis 70 °C	7-9 Pf/kWh		verringert die CO ₂ - Emissionen
Tiefe Erd- wärmesonden	Grundlast (Teillast)	0,1- 2 MW _{th}	60-100 °C	6-8 Pf/kWh		nur rentabel, wenn Alt- bohrung vorhanden
Solarthermie mit Speicher	Grundlast (Teillast)	0,1- 2 MW _{th}	60-70 °C (max. 95°C)	20-40 Pf/kWh	3500-5500 DM pro MWh/a	emissionsfreie Wärmeerzeugung
Gasmotor- Wärmepumpe	Grundlast Spitzenlast	0,1- 2 MW _{th}	bis 75 °C	12-18 Pf/kWh		verringert die CO ₂ - Emissionen
Niedertemp.- Heizkessel	Grundlast Spitzenlast	0,1- 2 MW _{th}	bis 130 °C	5-7 Pf/kWh	35-120 DM/kW	
Brennwert- Heizkessel	Grundlast Spitzenlast	0,1- 2 MW _{th}	bis 130 °C	5-7 Pf/kWh	70-180 DM/kW	bessere Energieausnutzung

Gültig für den Nahwärmebereich bei Netzvorlauftemperaturen bis 130 °C und Leistungen zwischen 0,1 und 2 MW_{th}. Die Wärmegestehungskosten beziehen sich auf einen Grundlastbetrieb

3.5 Beispiele realisierter Wärmeerzeuger-Kombinationen

BHKW und NT-Heizkessel

Die Stadtwerke Lemgo versorgen die Wohnsiedlung Biesterberg (126 WE) mit einem BHKW (1,26 MW_{th}, 0,97 MW_{el}) und einem Niedertemperaturheizkessel (1,25 MW). Ein Speicher mit 75 m³ Wasserinhalt puffert die Leistungsanforderung, so daß das BHKW bei Schwachlast bis zu 2 Stunden mit 100 % Leistung betrieben werden kann. Die Wärmerestkosten betragen 5,9 Pf/kWh [Lemgo].

Hackschnitzelfeuerung und NT-Heizkessel

In Eresing bei Landsberg/Lech wird der Wärmebedarf der etwa 22 Abnehmer von 850 kW durch eine Biomasseheizwerk mit 650 kW_{th} und einen Ölkessel mit 500 kW_{th} sichergestellt. Der Gesamtwärmebedarf von rund 1.880 MWh/a wird zu 85 % durch den Einsatz von Biomasse, die restlichen 15 % durch den Kessel gedeckt. Inclusive des Nahwärmenetzes und der Hausanschlüsse ergaben sich

Investitionskosten von 1,6 Mio DM. Ohne Berücksichtigung der Zuschüsse ergeben sich Wärmegestehungskosten von ca. 110 DM/MWh_{th} [Eres] .

In Hamburg-Bramfeld wird der Wärmebedarf für 123 WE durch 3000 m² Solar Kollektorfläche und einen saisonalen Wärmespeicher von 4500 m³ gedeckt. Als Spitzenlast-/Reservekessel dient ein 700 kW Niedertemperaturheizkessel. Damit entstehen bei der Pilotanlage in Hamburg Wärmegestehungskosten von 650 DM/MWh_{th} bei einer solaren Deckungsrate von 50 % [BINE16].

**Solarthermie
mit saisonalem
Speicher und
NT-Kessel**

4 Wärmeverteilung

4.1 Netzaufbau

Moderne Nahwärmeversorgungssysteme werden nahezu ausschließlich als Zweileiter-System (Vor-/Rücklauf) mit Heizwasser als Wärmeträgermedium betrieben [Buder94][Glü85][Crem95a][Hakan86]. Die Sonderfälle \Rightarrow Dreileiter-Systeme und \Rightarrow Vierleiter-Systeme werden im Anhang erläutert [Küb96] [Fisch96]; Dampf- bzw. Kaltwassernetze [Weh97] finden in diesem Leitfaden keine Berücksichtigung.

4.1.1 Hauptverteilung

Die Struktur (Netzform) von Wärmeverteilungsnetzen wird vor allem durch städtebauliche Gegebenheiten (Straßenführung, räumliche Anordnung der Häuser), die Netzgröße und die Einbindung der Wärmeerzeuger bestimmt (Bild 4.1).

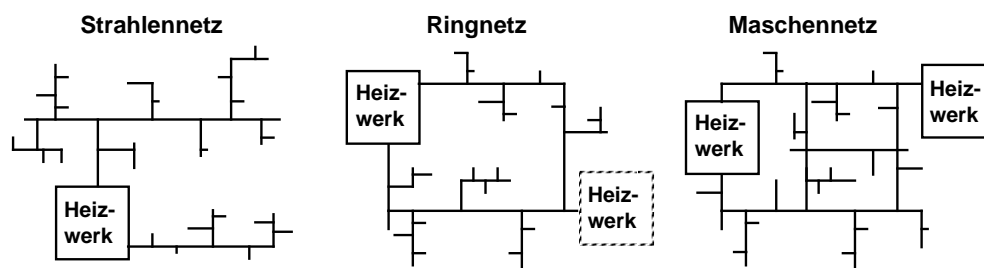


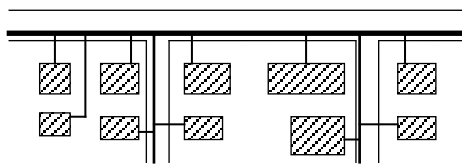
Bild 4.1:
Übersicht über die
verschiedenen
Netzformen

Bei kleinen und mittleren Fernwärmenetzen sind \Rightarrow Strahlennetze vorzuziehen, da diese die geringste Trassenlänge haben. \Rightarrow Ringnetze ermöglichen die Einbindung mehrerer Erzeuger an unterschiedlichen Standorten; sie sind jedoch teurer, da die Trassenlänge und der Nenndurchmesser der Ringleitungen größer sind. Diesem Nachteil steht der Vorteil der höheren Versorgungssicherheit und einfacheren Erweiterbarkeit gegenüber. Maschennetze, die optimale Versorgungssicherheit und bessere Erweiterungsmöglichkeiten bieten, werden wegen hoher Investitionskosten nur für große Wärmeverteilungsnetze eingesetzt.

4.1.2 Unterverteilung und Hausanschlüsse

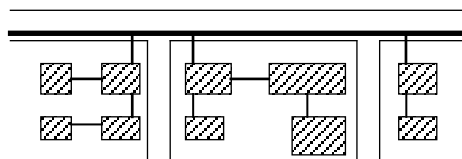
Der Trassenverlauf richtet sich nach geographischen bzw. städtebaulichen Gegebenheiten (Straßenführung, fremde Medienleitungen etc.) und den verwendeten Rohr- bzw. Verlegesystemen.

Bild 4.2:
"Standard"-
Trassenführung



Die häufig eingesetzte ⇒ "Standard-Trassenführung" in öffentlichen Wegen bietet die größte Flexibilität bzgl. des Anschlusses weiterer Kunden, da jeder Kunde separat an die Verteilleitung angeschlossen wird⁴⁵. Bei dichter Bebauung ergeben sich jedoch aufgrund der vielen Abzweige und Formstücke hohe Investitionskosten.

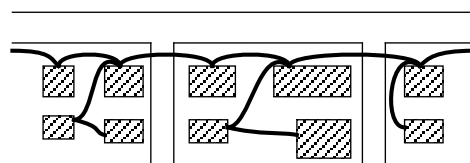
Bild 4.3:
"Haus-zu-Haus"-
Trassenführung



Bei der ⇒ "Haus-zu-Haus"-Trassenführung werden Häuser zu Gruppen zusammengefaßt und nur ein Haus an die Verteilleitung angeschlossen. Von diesem aus werden die anderen Häuser angebunden, so daß insgesamt weniger Abzweige von der Verteilleitung notwendig sind. Da die Rohrleitungen durch Privatgrundstücke und Gebäude verlaufen, sind von den Eigentümern Genehmigungen bzw. "Wegerechte" einzuholen.

Bei einer Reihenhausbauung geht die "Haus-zu-Haus"-Trassenführung in den Sonderfall der Kellerverlegung (siehe Kapitel Kellerverlegung, Seite 42) über. Kostengünstig ist häufig eine Mischform aus "Standard-" und "Haus-zu-Haus-Trassenführung", die die Vorteile beider Systeme kombiniert.

Bild 4.4:
"Einschleif"-
Trassenführung



⁴⁵ Bei Doppelhaushälften können beide Teilgebäude mit nur einem Abzweig von der Hauptleitung versorgt werden, indem entweder von der Hausanschlußleitung (HAL) ein weiterer Abzweig gelegt wird oder die Gebäude durch eine hausinterne Leitung verbunden werden.

Eine weitere, seltener angewandte Trassenführung ist die ⇒ „Einschleif-Trassenführung“, die auf keiner Netzstruktur (Strahlen-/Ringnetz) basiert, sondern alle Gebäude mittels der „Haus-zu-Haus-Trassenführung“ (zumeist über Privatgrundstücke) erschließt. Dies ermöglicht es, auf erdverlegte Rohrverbindungen und Abzweige weitestgehend zu verzichten; eine nachträgliche, nicht vorher eingeplante Netzerweiterung, ist jedoch nahezu unmöglich. Daher ist die Einschleifmethode nur bei kleinen, geschlossenen Nahwärmenetzen mit flexiblen Rohrsystemen vorteilhaft [Witt95][Brugg95].

4.2 Rohr-/Verlege-Systeme

Zur Fernwärmeversorgung stehen - je nach Anwendungsgebiet - verschiedene Verlegesysteme⁴⁶ zur Verfügung:

Das ⇒ Kunststoffverbundmantelrohr mit Stahlmediumrohr (KMR) ist aufgrund der Standardisierung, der Robustheit und des geringen Materialpreises das meistverlegte Rohrsystem.

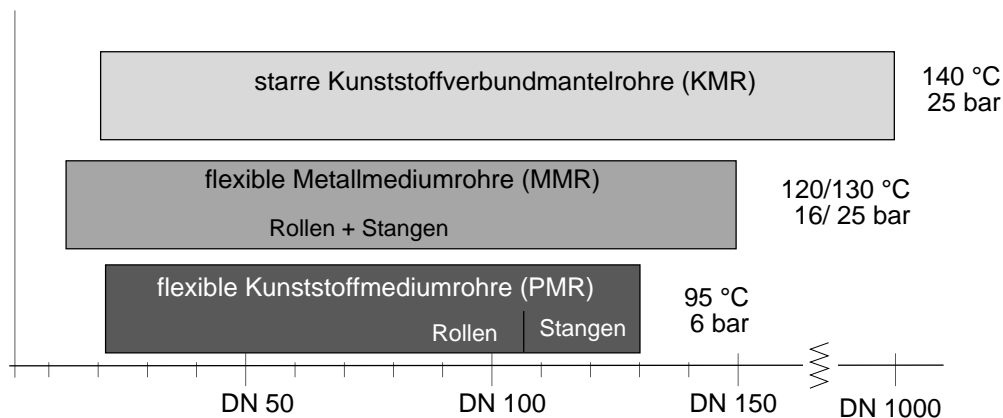


Bild 4.5:
Charakterisierung
der verschiedenen
Rohrsysteme für
Nahwärmenetze

Flexible Rohrsysteme (⇒ Flexible Kunststoffmediumrohre PMR, ⇒ Flexible Metallmediumrohre MMR)⁴⁷ konkurrieren hauptsächlich im Bereich der Unterverteilung/Hausanschlußleitung bei entsprechenden Einsatzparametern (Druck/Temperatur) mit dem KMR. Von Vorteil ist hierbei die Verlegung von der Rolle⁴⁸ (hohe Verlegegeschwindigkeit, wenige Verbindungen), die flexible Leitungsführung und die Selbstkompensation.

Die Verlegung der hier vorgestellten Rohrsysteme erfolgt aus Kostengründen als sogenannte ⇒ Flachverlegung ohne definiertes Gefälle, ohne Ent-

⁴⁶ Im Anhang ist ein ⇒ Fernwärmerohr-Hersteller-Verzeichnis enthalten.

⁴⁷ Bei den flexiblen Rohrsystemen muß zwischen Metall- und Kunststoff-Mediumrohren unterscheiden werden, die verschiedene Druck- und Temperaturgrenzen aufweisen.

⁴⁸ Die Verlegung von der Rolle ist bei flexiblen Kunststoffmediumrohre bis maximal DN 100 möglich, bei flexiblen Metallmediumrohren - je nach Typ und Hersteller - bis DN 50 bzw. DN 150 (siehe auch Bild 4.5)

lüftungsarmaturen an Hochpunkten und ohne Schachtbauwerke. Auf die früher übliche Gefälleverlegung wird bei diesen Rohrsystemen verzichtet. Grundsätzlich wird angestrebt die Rohrleitung möglichst im \Rightarrow Tagestakt zu verlegen, um die Kosten für die Baustellenabsicherung zu reduzieren und die Störungen des Verkehrs und der Anwohner so gering wie möglich zu halten.

Im Gegensatz zu den bisher aufgeführten erdverlegten Rohrsystemen, gibt es noch Freileitungen, Kanalverlegung und die Kellerverlegung:

Die Kanalverlegung, die lange Zeit von großer Bedeutung war, wird aufgrund der hohen Kosten heute nur noch in wenigen Fällen und nur bei großen Nennweiten eingesetzt. Freileitungen, die einfach und kostengünstig zu verlegen sind, haben zukünftig eine geringe Bedeutung und werden aus städtebaulichen Erwägungen bei Nahwärmenetzen nicht genehmigt. Daher finden diese Verlegeformen keine Berücksichtigung in diesem Leitfaden.

Die mit Abstand kostengünstigste Verletechnik ist die Kellerverlegung, da sie den Tiefbau drastisch reduziert und nur einfache, nachisolierte Heizwasserrohre, anstelle spezieller, vorisolierter Fernwärmerohre benötigt.

Ein weiteres Verlegeverfahren, das nicht an spezielle Rohrleitungen gebunden ist, ist die grabenlose Verlegung (siehe Kapitel 4.2.5). Diese wird nur eingesetzt, um Bahnlinien, Autobahnen, Gebäude oder große Straßenkreuzungen, die nicht gesperrt werden können, zu queren bzw. bei entsprechenden Auflagen des Umweltamtes bzgl. offener Bauweise in geschützten Grünbereichen.

4.2.1 Kunststoffverbundmantelrohre

Temperatur/Druck:	130-140°C / 16-25 bar
Durchmesser:	DN 20-1000
lieferbare Längen:	6-12-16 m Rohrstangen
Besonderheit:	auch als Doppelrohr bis DN 150

Kunststoffverbundmantelrohre (KMR) sind die am häufigsten eingesetzten Fernwärmeleitungen beim Neubau. Aufgrund ihrer hohen Druck- und Temperaturbeständigkeit können sie in jedem Nahwärmenetz eingesetzt werden. Da es sich um ein nicht selbstkompensierendes Rohrsystem handelt, treten Spannungen und Dehnungen auf, die eine aufwendige Rohrnetzstatik⁴⁹ und ggf. Kompensationsmaßnahmen notwendig machen. Zur Verbindung der Rohrstangen (Schweißen, Muffenmontage) sowie zur Verlegung und Einrichtung sollten fachlich versierte Unternehmen eingeschaltet werden. Dem günstigen Materialpreises stehen aufwendige Verlegemaßnahmen gegenüber.

⁴⁹ Eine Vereinfachung der Rohrnetzstatik-Planung ist durch das AGFW-Arbeitsblatt FW401 zu erwarten, das den detaillierten rechnerischen Nachweis auf wenige Spezialfälle reduziert. [FW401] [Reu97]

Die langjährigen Erfahrung mit diesem System haben -abweichend von der ⇒Standard-Tiefbautechnik - viele innovative Ansätze hervorgebracht, die zur Kostenreduktion (⇒Doppelrohr, ⇒Pipelineverlegung, ⇒Übereinanderverlegung, ⇒Stabilisierte Sandmischung etc.) beitragen und preiswerte Möglichkeiten zur Netzerweiterung während des Betriebs (⇒Anbohrtechnik) eröffnen.

Gegenüber diesem System sind die Vor- und Nachteile der folgenden Rohrsysteme bzw. Systemlösungen abzuwägen.

4.2.2 Flexible Kunststoffmediumrohre

Temperatur/Druck:	85-95 °C / 6-10 bar	
Durchmesser:	DN 22 - DN 100	Rollen
	DN 63 - DN 110	Stangen
lieferbare Längen:	bis 50 / 100 m	Rollen
	12 m	Stangen
Besonderheit:	Doppelrohrrollen bis DN 40	

Flexible Kunststoffmediumrohre (PMR) sind im Gegensatz zu den flexiblen Metallmediumrohren (MMR) preiswerter, leichter und einfacher zu biegen (kleinere Radien). Aufgrund dieser Vorteile werden Kunststoffmediumrohre den Metallmediumrohren vorgezogen, sofern die niedrigere Druck- und Temperaturbeständigkeit ausreicht. Gegenüber dem KMR von Vorteil ist die variable, einfache Trassenführung, so daß der Rohrverlauf den lokalen Gegebenheiten (Fremdleitungen, Topographie) angepaßt werden kann.

Die Anforderungen an den Tiefbau und die Verlegung sind gering, so daß sich diese Rohre schnell und kostengünstig verlegen lassen. Da flexible Kunststoffmediumrohre in fast allen Nennweiten auch als Rollen angeboten werden, reduziert sich die Anzahl der erdverlegten Verbindungen auf das Notwendige (T-Stücke etc.). Von Nachteil gegenüber dem KMR ist der höhere Preis für Rohre und Formstücke, der für größere Rohre überproportional ansteigt. Die niedrigeren Verlegekosten kompensieren erfahrungsgemäß bei Rohrleitungen bis etwa DN 65 den höheren Materialpreis.

Flexible Kunststoffmediumrohre lassen sich aufgrund der Nennweiten (bis DN 110) und der Einsatzgrenzen (95 °C, 6 bar) als Hausanschlußleitung, aber auch als Verteilleitung in Nahwärmenetzen mit niedrigen Netztemperaturen nutzen. Hierbei muß beachtet werden, daß ein nachträglicher Anschluß an das im Betrieb befindliche Netz möglich, aber aufwendig ist. Ein Anbohren wie beim KMR ist nicht möglich; man muß sich mit dem Einfrieren bzw. Abquetschen der Leitung behelfen. [Giet96] [Klöp96]

4.2.3 Flexible Metallmediumrohre:

Temperatur/Druck:	120-130 °C / 16-25 bar	
Durchmesser:	DN 15 - DN 50	Rollen
	DN 32 - DN 100	Stangen
	DN 25 - DN 150	Rollen Flexwell
lieferbare Längen:	20-800 m Rollen	
	9-10-12 m Stangen	
Besonderheit:	Doppelrohrstangen bis DN 50	

Um die Metallmediumrohrleitungen (MMR) flexibel zu gestalten, bestehen diese aus einem gewelltem Metallrohr (Kupfer oder Edelstahl) oder bei kleineren Nenndurchmessern auch aus weichgeglühten, geraden Kupferrohren. Die Wellrohrsysteme sind, da sie ähnlich einem Kompensator geformt sind, vollständig selbstkompensierend und werden bis DN 150 als Rollen angeboten. Die Geradrohrsysteme sind eingeschränkt selbstkompensierend⁵⁰ und werden nur für kleine Nennweiten (bis DN 28) als Rollenware produziert, da bei größeren Durchmessern bzw. Wandstärken das Rohr zu stark plastisch verformt wird. Bei beiden Systemen bedeutet dies für den Anwender, daß er keine Maßnahmen zur Kompensation, wie z.B. U-Bögen beim KMR, vorsehen muß und in seiner Trassenwahl flexibel ist (minimaler Biegeradius 0,6 bis 9 m, je nach Durchmesser). MMR werden daher bevorzugt für Hausanschlußleitungen (HAL) eingesetzt, da dort die Flexibilität von besonderem Nutzen ist und keine Formstücke oder Abzweige benötigt werden.

Für Verteilleitungen werden nicht nur Rohre mit größerem Durchmesser sondern auch mehr Formstücke und Abzweige benötigt. Die dadurch erforderliche höhere Anzahl erdverlegter Verbindungen (Preßkupplung, Lötstufe), aber auch die - im Vergleich zum KMR - höheren Materialkosten für Formteile, lassen diesen Anwendungsbereich in den Hintergrund treten. Von Vorteil ist jedoch weiterhin die einfache Verlegung und das geringe Tiefbauvolumen. [Brugg95]. [Løg95] [ABB92] [Aqua97]

Da die flexiblen Metallmediumrohre höhere Kosten als die flexiblen Kunststoffmediumrohre verursachen, werden sie nur dort eingesetzt, wo die höhere Temperatur- bzw. Druckbeständigkeit erforderlich ist.

4.2.4 Kellerverlegung

Die Kellerverlegung gehört zu den preiswertesten Verlegungsmöglichkeiten. Bei reiner Kellerverlegung sind weder Tiefbauarbeiten notwendig noch müssen spezielle Fernwärmerohre verlegt werden; einfache Heizwasserrohre, die mit Steinwolle o.ä. nachisoliert werden, sind ausreichend. Evtl. Leckagen werden

⁵⁰ Eingeschränkt selbstkompensierend heißt, daß die Kompensation entweder durch das Mediumrohr (Geradrohrsystem) oder durch Ausdehnung quer zur Trassenrichtung (Schlangensystem) aufgenommen wird.

innerhalb kürzester Zeit entdeckt und können genau lokalisiert werden; die Schadensbeseitigung erfolgt ohne Tiefbauarbeiten.

Voraussetzung für die Kellerverlegung ist, daß die Häuser (Reihenhäuser) oder Tiefgaragen aneinandergrenzen und daß eine einfache, möglichst kurze Leitungsverbindung zwischen den einzelnen Hausstationen möglich ist. Von Nachteil ist die aufwendigere Koordinierung der einzelnen Bauabschnitte und die ggf. problematische Abstimmungen mit einzelnen Hauseigentümern.

Der Anschluß der Häuser an die Wärmeversorgung ist erst möglich, wenn alle verbindenden Keller gebaut sind; ansonsten müssen provisorische Leitungen die Baulücke schließen. Bei nicht aneinandergrenzenden Gebäuden ist eine Mischform aus "Haus-zu-Haus-" und Kellerverlegung möglich. Dabei wird die Leitung abwechselnd durch den Keller (nachisolierte Heizwasserrohre) und den die Häuser trennenden Grünbereich (vorisolierte Fernwärmerohre) geführt.

Ein Problem können jedoch die Durchleitungsrechte sein. Die Nutzung kann entweder vertraglich, z.B. durch eine Eintragung einer Grunddienstbarkeit in das Grundbuch, oder über eine einfache, nicht bindende Absprache zwischen Fernwärmeversorger und Hausbesitzer erfolgen. Im ersten Fall befindet sich der Fernwärmeversorger auf der rechtlich sicheren Seite, jedoch wird dies von den Hauseigentümern selten akzeptiert, da es i.a. als eine Wertminderung angesehen wird. Im Gegensatz dazu stellt die einfache Absprache rechtlich keine Sicherheit für den Fernwärmeversorger dar, dafür ist das Einverständnis des Hausbesitzers vergleichsweise einfach zu erlangen. Da jedoch die Kellerverlegung sehr preisgünstig ist, erscheint dieses Risiko tragbar. [Witt95] [Knopf97] [Schmi96a]

4.2.5 Grabenlose Verlegung

Grabenlose Verlegeverfahren werden aufgrund der relativ hohen Kosten nur dort eingesetzt, wo ein offener Graben nicht möglich (Bahngleise, Autobahn etc.) oder nicht erlaubt ist (z.B. Tiefbauamt verbietet offene Straßenquerung, Auflagen des Umweltamtes bei Verlegung im Grünbereich) bzw. wo ansonsten große Umwege in Kauf zu nehmen sind. Bei der Verlegung werden flexible, selbstkompensierende Rohrsysteme benötigt.

Mit grabenlosen Verlegeverfahren können Rohre mit dem in Nahwärmenetzen üblichen Nenndurchmessern (=DN 150) verlegt werden. Die Verlegetiefe beträgt 4-10 m, die Verlegelänge maximal 60-150 m, wobei, je nach Verfahren, das Rohr 40-120 m pro Tag vorgetrieben werden kann [Thom93] [Hey91] [Scheu94].

4.3 Typisierte Verlegesituationen

Da es nicht "die typische Verlegesituation" gibt, werden unterschiedliche, typisierte Verlegegebiete beschrieben, anhand derer sich die Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Verlegesysteme darstellen lassen. Die grabenlose Verlegung bleibt dabei unberücksichtigt, da sie aufgrund der hohen Kosten nur bei schwierigsten räumlichen Situationen eingesetzt wird. Die Kellerverlegung kann unabhängig vom Verlegegebiet immer realisiert werden und wird daher nicht explizit aufgeführt. Sie muß aber immer, außer bei Reihenhausbebauung, mit den anderen vorgestellten Verlegemethoden zur "Haus-zu-Haus-Verlegung" kombiniert werden.

Für alle Verlegesituationen gilt allgemein, daß viele Rohrabzweige die Kosten bei flexiblen Systemen stärker als bei KMR erhöhen, da Formstücke aus Stahl preiswerter sind. D.h. bei Verlegestrecken mit vielen Abzweigen kann das KMR auch bei ungünstigen Randbedingungen kostengünstiger als die flexiblen Systeme sein [Gold97].

Weiterhin muß bei den nachfolgend beschriebenen Verlegesituationen beachtet werden, daß je nach Druck/Temperatur und Rohrdurchmesser nicht alle Rohrsysteme zur Verfügung stehen [GEF95b] [Schmi96b].

4.3.1 Verlegung im Straßenbereich ohne kreuzende Leitungen

Ohne kreuzende Leitungen (oder ähnliche Hindernisse) ist die Trassenfindung für starre wie für flexible Verlegesysteme einfach. Beim KMR können die Rohre vorab zusammengeschweißt (üblicherweise bis zu $4 \times 12 \text{ m} = 48 \text{ m}$) und als Pipeline verlegt werden. Da nur wenige Formteile zur Richtungsänderung benötigt werden, ist die Verlegung von KMR einfach und kostengünstig. Für die flexiblen Systeme spricht nur die Verlegung von der Rolle und die Selbstkompensation, da die Flexibilität bei geradlinigem Trassenverlauf keine Bedeutung hat.

Die Einrichtung einer Tagesbaustelle und die Verlegung übereinander (sofern eine teure Straßenoberfläche dies sinnvoll erscheinen läßt) ist für alle vorgestellten Rohrsysteme möglich.

4.3.2 Verlegung im Straßenbereich mit kreuzenden Leitungen

Bei vielen kreuzenden Leitungen ist die Trassenfindung mit starren Systemen deutlich erschwert; eine Pipelineverlegung sogar unmöglich. KMR-Leitungen benötigen daher vermehrt Formstücke (z.B. 90° Bögen), sofern die kreuzenden Leitungen nicht umgelegt werden (können) und an jedem Rohrende muß ein Kopfloch ausgehoben werden (\Rightarrow Standard-Tiefbautechnik). Diese Probleme können durch flexible Rohrsysteme, die die kreuzenden Leitungen umgehen,

oder durch eine andere Trassenführung (Haus-zu-Haus- bzw. Kellerverlegung) gelöst werden.

4.3.3 Verlegung im Grünbereich

Bei der Verlegung im Grünbereich⁵¹ (Park o.ä.) kann der Trassenverlauf - in Grenzen - dem Rohrsystem angepaßt werden, d.h. es werden bei den starren Systemen relativ wenig Formteile benötigt⁵². Die Verlegekosten sind bei allen Verlegesystemen geringer, da die Baustellenabsicherung einfacher (keine Brücken, evtl. geböschter Graben etc.) und die Oberflächenwiederherstellung preiswerter ist; daher ist auch die Übereinanderverlegung ohne Bedeutung. Das KMR kann bei längeren Rohrstrecken in Pipelinetchnik verlegt und weitestgehend auf Dehnpolster verzichtet werden.

4.3.4 Verlegung in Neubaugebieten

Da bei der Verlegung in Neubaugebieten die anzuschließenden Wohnungen zumeist noch nicht gebaut sind, können noch keine Hausanschlußleitungen (HAL) verlegt werden. Um spätere Tiefbauarbeiten im Straßenbereich zu vermeiden, können die HAL bis in den Vorgarten/Gehwegbereich vorgezogen und mit einem verlorenen Bedarfskugelhahn bzw. mit einem Stahlendstück mit Anbohrmöglichkeit verschlossen werden⁵³.

Der Leitungsbau erfolgt möglichst im Stufengraben⁵⁴ zusammen mit der Trinkwasserleitung und anderen Versorgungsleitungen. Bei der Verlegung muß auf eine ausreichende Überdeckung auch während der Bauphase geachtet werden, da die Straßendecke noch nicht erstellt ist und so der Baustellenverkehr punktuell sehr hohe Belastungen auf das Fernwärmerohr ausübt; dies führt meist zu einer insgesamt größeren Verlegetiefe der Fernwärmerohre. Aufgrund des geradlinigen Trassenverlaufs ergeben sich für die flexiblen Systeme keine speziellen Vorteile im Bereich der Verteilleitung.

4.3.5 Verlegung zwischen Gebäuden

Die Verlegung von Rohrleitungen zwischen Gebäuden, also die Umgehung des Straßenraums, wird bei der "Haus-zu-Haus" und der "Einschleif"-Verlegungsmethode angewandt. Die Leitungsverlegung zwischen den Häusern erfolgt erst,

51 Sofern die Verlegung im offenen Graben (z.B. Auflage des Umweltamtes) untersagt wird, muß der Bereich entweder umgangen oder die Rohre grabenlos verlegt werden.

52 Ausnahme: Falls sehr viele Hindernisse (Bäume etc.) umgangen werden müssen, können flexible Rohrsysteme günstiger sein.

53 Ein nachträglicher - also nicht geplanter - Anschluß kann beim KMR durch Anbohren der Verteilleitung während des Betriebs bzw. durch Einsetzen eines T-Stücks (Außerbetriebnahme erforderlich) erfolgen. Bei Kunststoffmediumrohren kann ein T-Stück durch Einfrieren, Abquetschen oder Außerbetriebnahme der Leitung nachträglich eingesetzt werden.

54 Daher sind alle Maßnahmen die die wiederherzustellende Oberfläche verringern (Übereinanderverlegung, Pipelineverlegung, Doppelrohre etc.) von geringer Bedeutung.

wenn zumindest die Kellergeschosse fertiggestellt sind. Hierbei wird die Verlegung zwischen den Häusern als Verlegung im Grünbereich und durch das Haus als Kellerverlegung ausgeführt, sofern diese kostengünstige Variante nicht an rechtlichen Bedenken scheitert (siehe Kellerverlegung). Die Ein- und Austrittsstellen der Rohrleitungen im Haus sollten so gewählt werden, daß ein möglichst kurzer Trassenverlauf zwischen den Gebäuden eingehalten wird; bei der Verlegung von starren Rohrsystemen (z.B. KMR) sollte der Trassenverlauf möglichst geradlinig sein (= wenig Formstücke). Die flexiblen Rohrsysteme sind bei komplizierterem Trassenverlauf und größeren Hausabständen vorteilhaft, da diese ohne Formteile und evtl. ohne erdverlegte Verbindungen von Haus zu Haus verlegt werden können. Maßnahmen zur Verringerung des Tiefbauvolumens (z.B. Übereinanderverlegung) sind wie bei der Verlegung im Grünbereich meist ohne Bedeutung.

4.4 Netzdimensionierung

Der optimale Rohrdurchmesser wird von zwei gegenläufigen Einflüssen bestimmt. Zum einen sind die Material- und Tiefbaukosten bei kleinerem Rohrdurchmesser geringer, zum anderen sind der Druckverlust (Druckstufung der Rohrsysteme beachten !) und damit die Pumpstromkosten höher. Im Bereich der Hausanschlüsse sind auch die durch die Fließgeschwindigkeit verursachten Geräuschemissionen zu beachten. Um die Kosten zu minimieren, ist im Einzelfall eine im wesentlichen von der Netzstruktur, den Vor- und Rücklauftemperaturen, den Gleichzeitigkeitsfaktoren, den geodätischen Höhen und den Stromkosten bestimmte Analyse notwendig. Weiterhin ist der Druckverlust abhängig von der Wandrauigkeit, die bei Kunststoff- und Kupfermediumrohren ($k=0,01$ mm) geringer ist als bei Stahlrohren ($k=0,1$ mm). Zur Dimensionierung der Rohrdurchmesser muß außer dem Druckverlust, der für eine erste Grobprojektierung mit 100 Pa/m angenommen wird, auch bei jedem Trassenabschnitt die maximal zu übertragene Wärmeleistung (zzgl. des Netzverlustes) bekannt sein. Anschließend erfolgt die Optimierung der Nennweitenwahl, die mit modernen Auslegungsprogrammen automatisiert erfolgt.

Die maximal zu übertragende Wärmeleistung jeder Rohrleitung ergibt sich aus der Aufsummierung⁵⁵ der von dieser Rohrleitung versorgten Anschlußleistungen (nur Raumwärme!) der einzelnen Gebäude; hierbei ist darauf zu achten, daß auf "Angstzuschläge" verzichtet wird. Sofern auch die Warmwasserbereitung mittels Fernwärme erfolgt, müssen die Anschlußwerte der Warmwasserbereiter⁵⁶ getrennt vom Heizungsanschlußwert aufsummiert

⁵⁵ Bei reinem Heizungsbetrieb bzw. kombiniert mit Speicher-Systemen (Vorrangschaltung) addieren sich die benötigten Leistungen näherungsweise, da der Gleichzeitigkeitsfaktor zwischen 0,8 und 1,0 liegt.

⁵⁶ Die Warmwasserbereitung erfolgt zumeist als Vorrangschaltung, d.h. während der Erwärmung des Wassers wird die Heizungsanlage nicht versorgt.

werden, da hierbei andere Gleichzeitigkeitsfaktoren⁵⁷ gelten. Hierbei ist der Einfluß der Vorrangschaltungen zu beachten.

Für Durchflußwassererwärmer sind vor allem im Bereich der Hausanschlüsse kurzfristig hohe Volumenströme zu beachten. Speichersysteme weisen die geringsten und Speicherladesysteme eine mittlere Leistung auf. Durchflußwassererwärmer führen im Bereich der Hausanschluß- und ggf. auch bei Unterverteilungen zu größeren Nennweiten. Bei einer größeren Anzahl versorgter Gebäude (> 20 WE) ist der Gleichzeitigkeitsfaktor jedoch so gering, daß sich die Netzbelastung bei Durchflußsystemen denen der Speichersysteme angleicht. Daher wird der Rohrdurchmesser im Bereich der Verteil- bzw. Hauptverteilung im Regelfall nicht durch den Typ der Warmwasserbereitung beeinflusst. [Schmi97] [Schmi96a]

Zu der Wärmeleistung der einzelnen Rohrabschnitte muß noch der \Rightarrow Netzverlust bei Spitzenlast zugeschlagen werden. Dieser ist hauptsächlich von der spezifischen Netzlänge und damit der Siedlungsstruktur abhängig; die Vorlauf-temperatur spielt eine untergeordnete Rolle (siehe Tabelle 4.1).

Wärmeverlust	bei Spitzenlast	Jahresmittel	spez. Netzlänge
Einfamilienhausbebauung	4-5 %	12-17 %	(14 - 25 m/WE)
Reihenhausbebauung	3-4 %	8-12 %	(6 - 14 m/WE)
Mehrfamilienhausbebauung	2-3 %	5-9 %	(2 - 6 m/WE)
AGFW-Statistik über 843 Netze		11 %	

Tabelle 4.1:
Netz-Wärmeverlust
und spez. Netzlänge
in Abhängigkeit von
der Siedlungsstruktur
[Nast96] [Glü85]

Zur Ermittlung der Betriebskosten ist der relative Netzverlust im Jahresmittel von Bedeutung. Dieser ist höher als der relative Netzverlust bei Spitzenlast (im Winter), da im Sommer wegen der geringeren Wärmeleistung die prozentualen Netzverluste steigen.

Tabelle 4.2:
Übertragbare
Wärmeeistung in
Abhängigkeit von
Temperatur-
spreizung, Nenn-
durchmesser und
Rohrsystem⁵⁸

57 Der Gleichzeitigkeitsfaktor ist das Verhältnis zwischen maximaler Gesamtleistung und der Summe der Einzelleistungen. Bei kurzen Lastspitzen einzelner Verbraucher ist die Wahrscheinlichkeit gering, daß alle bzw. viele Lastspitzen zeitgleich auftreten (siehe auch Kapitel 2.2, Seite 7).

58 Die Leistungsunterschiede, die in Tabelle 4.2 zwischen KMR und PMR-Rohren zu sehen sind, beruhen auf verschiedenen Wandrauhigkeiten und auf unterschiedlichen Definitionen des Nenndurchmessers (DN).

Kunststoffverbundmantelrohr			flexibles PMR-Rohr		
Leistung bei			Leistung bei		
DN	$\Delta T = 40 \text{ K}$	$\Delta T = 60 \text{ K}$	DN	$\Delta T = 40 \text{ K}$	$\Delta T = 60 \text{ K}$
15	9 kW	14 kW	22	10 kW	16 kW
20	21 kW	32 kW	28	19 kW	29 kW
25	39 kW	59 kW	32	39 kW	58 kW
32	89 kW	134 kW	40	71 kW	107 kW
40	132 kW	198 kW	50	130 kW	195 kW
50	246 kW	370 kW	63	241 kW	362 kW
65	484 kW	726 kW	75	385 kW	577 kW
80	739 kW	1108 kW	90	628 kW	943 kW
100	1472 kW	2208 kW	110	1073 kW	1609 kW
125	2579 kW	3869 kW			

Mittels des vorgegebenen Druckverlustes (100 Pa/m) und der Wärmeleistung jedes Rohrabschnittes zuzüglich des Netzverlustes bei Spitzenlast kann der Nenndurchmesser der Rohrleitungen anhand von Tabellen der Rohrhersteller (z.B. Tabelle 4.2) festgelegt werden. Ringstrukturen im Netz können nach diesem vereinfachten Verfahren nicht überschlägig ausgelegt werden.

4.5 Netzbetrieb

4.5.1 Netzparameter

Für den Netzbetrieb entscheidend sind die Parameter Druck und Temperatur: Der Wärmeerzeuger gibt den Rahmen für die Netztemperatur (Vor- und Rücklauf) vor. Eine Erhöhung der Vorlauftemperatur ist z.B. durch einen zwischengeschalteten Spitzenlastkessel und eine Rücklauftemperaturabsenkung z.B. durch eine Wärmepumpe möglich. Die Netztemperaturen müssen bei der Auslegung der Hausstationen (direkt, indirekt bzw. mit oder ohne Warmwasser) und des Netzes (Stahl oder Kunststoff als Mediumrohr) beachtet werden. Die Vorlauftemperatur variiert dabei zumeist zwischen 70 und 130 °C, die Rücklauftemperatur zwischen 30 - 60 °C. Aufgrund wirtschaftlicher Vorteile wird eine Netzvorlauftemperatur unter 90 °C für Nahwärmesysteme gewählt [Dau94].

Der Netzdruck⁵⁹ ist im Gegensatz zur Netztemperatur vorrangig von der Netzstruktur und der Topographie abhängig. Der Netzdruck muß ausreichend hoch sein, um den kritischen Verbraucher⁶⁰ zu versorgen und zugleich sicherstellen,

59 Der Druckunterschied zwischen Vor- und Rücklauf ist in der Nähe der Umwälzpumpe am größten und beim kritischen Verbraucher am geringsten (ohne Druckerhöhungsstation).

60 Der kritische Verbraucher ist derjenige, zu dem der größte Druckverlust auftritt. Dies ist bei ebener Netzstruktur der weitest entfernte Verbraucher bzw. bei geodätischen Höhenunterschieden der höchste Wärmetauscher (Hausstation bei indirekter Anbindung bzw. Heizkörper bei direkter Einbindung).

daß bei diesem der Druck mit ausreichendem Sicherheitsabstand oberhalb des Dampfdruckes des Wärmeträgers liegt. Dies gilt ebenfalls für den Ruhedruck⁶¹, der bei Stillstand des Systems durch eine Druckhalteeinrichtung aufrechterhalten wird. Die Kundenanlagen, d.h. die Wärmetauscher bei indirektem bzw. die Heizkörper bei direktem Anschluß, müssen für diesen Druck ausgelegt werden. [Crem95b] .

Druckerhöhungsstationen, die bei hohen Druckverlusten zur Vermeidung unzulässiger Netzdrücke eingesetzt werden, sind bei kleinen und mittleren Wärmeverteilungsnetzen im Regelfall nicht notwendig.

Für die \Rightarrow Strömungsgeschwindigkeit in den Rohren muß die Mindest- (ansonsten Gefahr des Einfrierens bei Flachverlegung) und Maximalgeschwindigkeit (Geräuschentwicklung, Druck) eingehalten werden. Im Regelfall werden Strömungsgeschwindigkeiten von 1-2 m/s erreicht. [Crem95b] [Pan91]

4.5.2 Betriebsregime

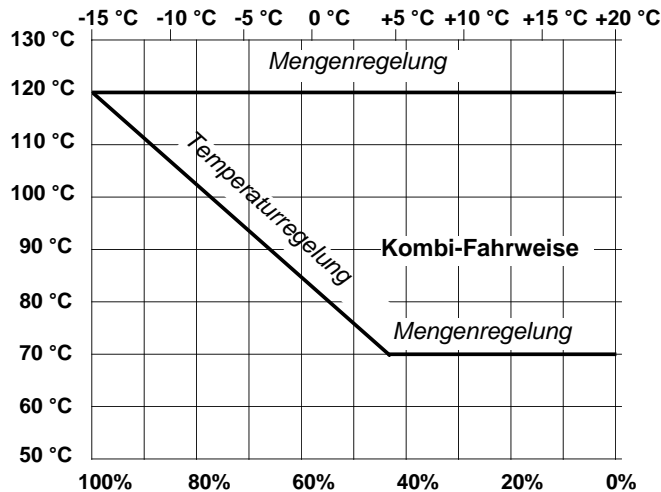
Ziel der Netzregelung ist es, den schwankenden Kundenbedarf an Energie mit möglichst geringen Kosten (Pumpstromkosten, Wärmebereitstellungskosten etc.) zu decken. Die Regelung kann als \Rightarrow Mengenregelung oder \Rightarrow Temperaturregelung erfolgen (Bild 4.6): Bei der Mengenregelung wird der Massenstrom des Wärmeträgers dem Bedarf angepaßt. Dies führt zu höheren Druckverlusten und Pumpleistungen.

Bei der Temperaturregelung wird der schwankende Leistungsbedarf durch Anhebung bzw. Absenkung der Heizwassertemperatur gedeckt. Dies ist nur in begrenztem Umfang möglich: Zum einen ist der Umfang der sicherheitstechnischen Einrichtungen in der Hausstation von der maximalen Netztemperatur abhängig und zum anderen ist die maximale Vorlauftemperatur durch den Wärmeerzeuger begrenzt. Für die gleitende Fahrweise spricht, daß bei Regelung der Netztemperatur in Abhängigkeit von der Außentemperatur und der Zeit (Nachtabenkung) auf eine individuelle Regelung der Hausanlagen-vorlauftemperatur (§7 HeizAnIV) verzichtet werden kann und so die Kosten für die Hausstation geringer sind (siehe auch Kapitel 5, Seite 55).

⁶¹ Die Druckhaltung erfolgt zumeist im Vor- oder Rücklauf und nur bei großen Netzen als Mitteldruckhaltung; die Druckhalteinrichtungen werden nach DIN 4751 und DIN 4752 ausgelegt.

4. Wärmeverteilung

Bild 4.6:
Vorlauftemperatur in
Abhängigkeit von
der Belastung
(Temperatur)
[AGFW92]



Für die Festlegung des Betriebsregimes ist weiterhin entscheidend, ob nur der Heizwärmebedarf oder auch der Warmwasserbedarf durch Fernwärme gedeckt werden soll. Im Regelfall wird eine Kombifahrweise, bestehend aus Temperatur- und Mengenregelung gewählt. Bei dieser werden kurzfristige Lastspitzen durch einen erhöhten Mengenstrom und langfristige Änderungen des Wärmebedarfs (saisonale Schwankungen) durch Temperaturänderung ausgeglichen. Sofern keine Warmwasserversorgung vorgesehen ist, kann die Netztemperatur in Schwachlastzeiten bis unter 60 °C abgesenkt bzw. außerhalb der Heizperiode die Fernwärmeversorgung vollständig eingestellt werden. Bei der Warmwasserbereitung hingegen muß eine Mindesttemperatur (meist 70-75 °C, abhängig von der Kundenanlage) gewährleistet sein, so daß in Schwachlastzeiten (Sommer) bei konstanter Temperatur nur der Mengenstrom geregelt wird.

4.6 Kosten der verschiedenen Verlegesysteme

Die Verlegekosten sind abhängig vom gewählten Rohrsystem, dem Rohrdurchmesser, dem Verlegeverfahren, den lokalen Randbedingungen und im besonderen von der Planung, Ausschreibung und Vergabepraxis [Eisen95]. Daher können keine expliziten Kosten angegeben werden, sondern nur Kostenbereiche (Bild 4.7). Die Kostendaten basieren auf theoretischen Berechnungen [Schmi96a] bzw. realisierten Projekten.

Die Kosten für die Oberflächenwiederherstellung betragen 23-28 %, die Baunebenkosten (Baustellenabsicherung etc.) 18 bis 21 % (⇒ Rohrnetz kosten). Sofern hierauf wenigstens teilweise verzichtet werden kann, wie beispielsweise in Neubaugebieten, sind auch noch deutlich niedrigere Kosten möglich.

4. Wärmeverteilung

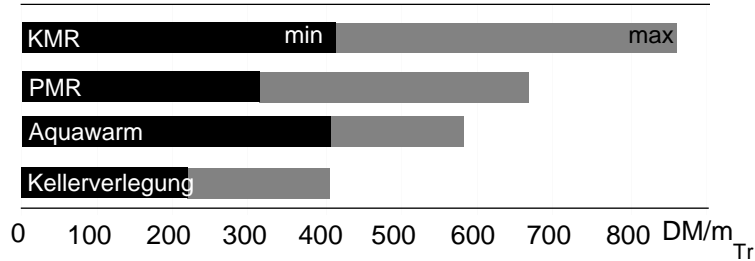


Bild 4.7:
Rohrnetzkosten für
Rohrleitungen
DN 50

Die Kosten einiger Nahwärmenetze sind in Bild 4.8 wiedergegeben. Detaillierte Kosten der einzelnen Projekte sind im Anhang dargestellt (⇒ Beispiele realisierter Nahwärmenetze).

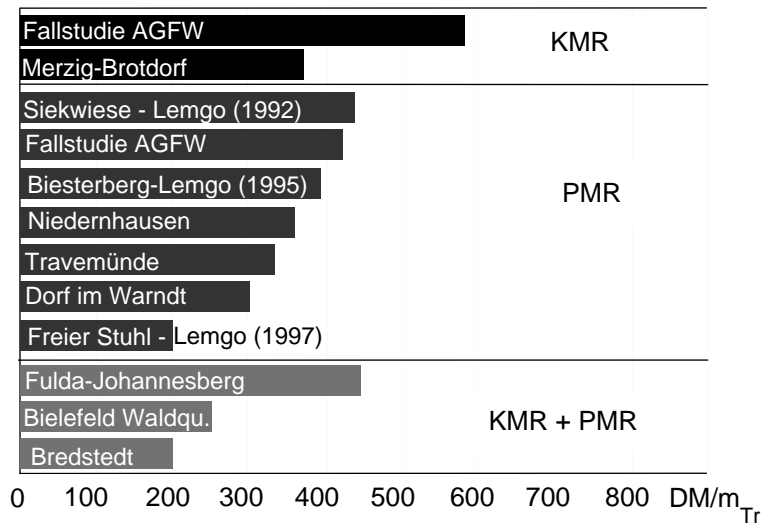


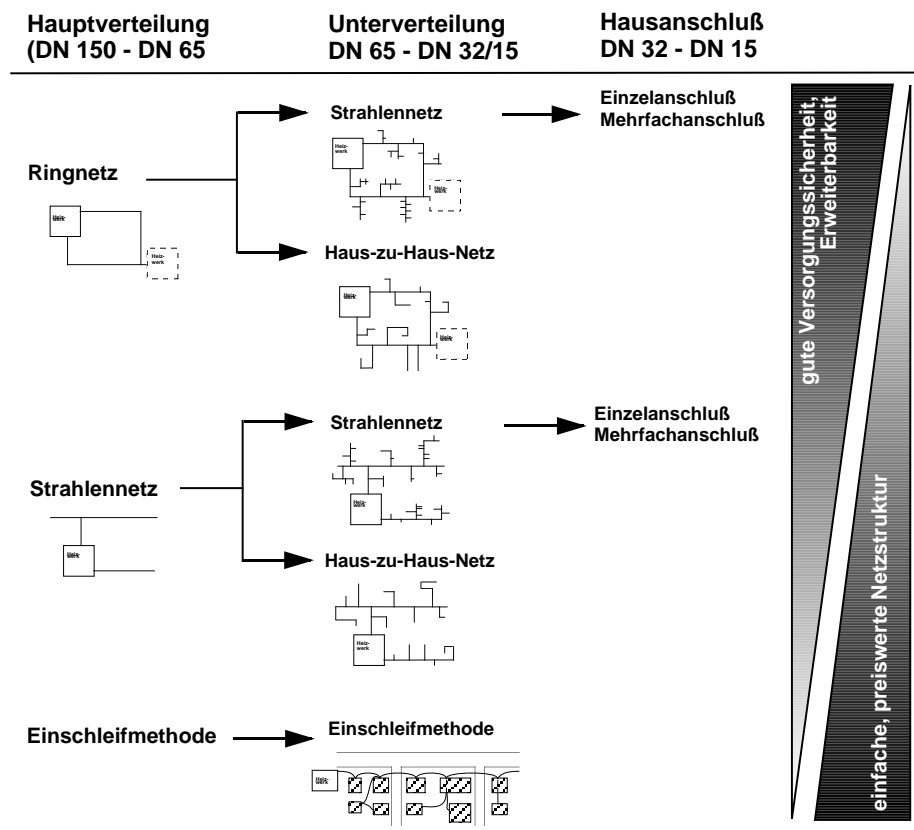
Bild 4.8:
Rohrnetzkosten
realisierter Projekte

4.7 Entscheidungsmatrix Wärmeverteilung

Im ersten Schritt der Entscheidungsfindung muß die Netzform festgelegt werden. Die Hauptentscheidungskriterien sind die Kosten, die Versorgungssicherheit und die Erweiterbarkeit. Wie aus Bild 4.9 ersichtlich, sind die Kosten und die Versorgungssicherheit/ Erweiterbarkeit gegenläufig; d.h. es muß für die gegebenen Rahmenbedingungen ein Optimum gefunden werden. Bei kleineren Nahwärmenetzen ist das zumeist das Strahlennetz bzw. die Einschleifmethode und nur bei größeren Netzen auch das Ringnetz.

Die Vorauswahl des Rohrsystems kann zunächst nach der erwarteten maximalen Netztemperatur (siehe Kap. 3 Wärmeerzeuger und Kapitel 4.5, Betriebsregime) und den geforderten Nennweiten (Kapitel 4.4) erfolgen.

Bild 4.9:
Entscheidungsgrafik
Wärme-
verteilungsnetz



Einsatzbereich	Rohrtyp	DN	Hauptverteilung		Unterverteil	Hausanschluß-
			150-100	100-65	leitung	leitung
					65 - 32	32 - 20/15
bis 130°C	KMR ¹⁾		✓	✓	✓	✓
	MMR Rollen (Flexwell, Preflex, Casaflex)		✓ ²⁾	✓ ²⁾	✓	✓
	MMR (Aquawarm)			✓	✓	✓ ³⁾
bis 120°C	MMR (Cu-Flex, Euroflex etc.)			✓	✓	✓ ³⁾
bis 90°C	PMR Rohrstangen (LR-PEX, Flexalen)			✓		
	PMR Rolle (LR-PEX, Calpex, Flexopan, Flexalen, Pex-Flex, Ecoflex)			(✓)	✓	✓

Tabelle 4.3: Einsatzbereiche der betrachteten Rohrsysteme

- 1) auch als Doppelrohr in einem Mantelrohr
- 2) nur System Flexwell
- 3) als Rollenware, sonst Rohrstangen

Aus den technisch einsetzbaren Rohrsystemen (Tabelle 4.3) müssen die für den Einsatzfall geeigneten ausgesucht werden. Dies kann anhand ihrer individuellen Eignung (Tabelle 4.4) erfolgen.

Rohrtyp: Eignung für ...	KMR	MMR	PMR
Transportleitungen	gut geeignet	ungeeignet	evtl. geeignet ¹
Hauptverteilungen	gut geeignet	ungeeignet	ungeeignet
Verteilungen	geeignet	geeignet ²	geeignet
Unterverteilungen	geeignet	(gut) geeignet ²	(gut) geeignet ²
Hausanschlußleitungen	evtl. geeignet	gut geeignet	gut geeignet

Tabelle 4.4: Eignung der Rohrsysteme für verschiedene Anwendungsbereiche

- ¹ Bei kompliziertem Trassenverlauf und kleiner Nennweite (Ausnahme !)
- ² Bei wenig Abzweigen

Welches Rohrsystem bzw. welche Rohrsystemkombination bei welchen Randbedingungen erfolgreich eingesetzt werden können, zeigen beispielhafte, realisierte Nahwärmenetze. (⇒ Projektbeispiele Nahwärmenetze)

4.8 Beispiele realisierter Nahwärmenetze

Im folgenden werden drei verschiedene Nahwärmenetze und ein Fernwärmenetz vorgestellt, bei denen verschiedene Rohr- und Verlegesystemkombinationen zu einer kostengünstigen Auslegung geführt haben.

Nahwärmenetz Bredstedt

Das Nahwärmenetz Bredstedt versorgt ca. 100 Wohngebäude (130 WE) und drei gewerbliche Abnehmer mit Wärme (80 / 50 °C); die Einbindung der Hausstationen erfolgt zumeist indirekt. Die Hauptverteilleitungen des Strahlennetzes sind als KMR, die Unterverteil- und Hausanschlußleitungen - je nach Trassenverlauf - als KMR oder PMR-Rohr ausgeführt. Durch die Kombination beider Rohrsysteme wurde die Gesamtinvestition minimiert.

Nahwärmenetz Niedernhausen-Distelweg

Das Nahwärmenetz Niedernhausen-Distelweg versorgt 41 Einfamilien- bzw. Reihenhäuser mit Wärme (70 / 40 °C). Bei der Erschließung der Einfamilienhäuser wurde die Einschleiftechnik, bei den Reihenhäusern die Kellerverlegung realisiert. Sämtliche erdverlegte Leitungen (500 m) sind PMR-Rohre (DN 20 - DN 40). In diesem Beispiel führte diese Kombination aufgrund der geringen Größe des Netzes und seines geschlossenen Aufbaus zu einem Kostenminimum.

Nahwärmenetz Bielefeld-Waldquelle

Im Neubaugebiet Bielefeld-Waldquelle werden 100 Wohneinheiten (vorwiegend Einfamilienhäuser) direkt mit Nahwärme (70 °C / 50 °C) versorgt. Bei der Planung des Nahwärmenetzes wurde versucht einen Großteil des Netzes als Kellerverlegung auszuführen. Dabei wurde darauf geachtet, daß die erdverlegten Leitungen zwischen den Gebäuden ohne Knicke und Formstücke auskommen und mögliche Restdehnungen innerhalb des Gebäudes aufgenommen werden können. Dadurch können die kostengünstigen KMR ohne Formstücke und Dehnungsaufnehmer zwischen den Häusern verlegt werden; die Formstücke innerhalb der Keller verteuern dagegen die Kellerverlegung nur unwesentlich.

Fernwärmenetz Wolfsburg

Das Fernwärmenetz Wolfsburg besteht aus Kunststoffverbundmantelrohren, die im Straßenraum liegend die Hauptstraßen erschließen; Nebenstraßen werden durch Keller- und Haus-zu-Haus-Verlegung erschlossen. Für die Kellerverlegung wird kein rechtsverbindlicher Vertrag (Grunddienstbarkeit) geschlossen, sondern es erfolgt nur eine Absprache zwischen dem Eigentümer und den Stadtwerken. Die erdverlegten Verbindungsleitungen zwischen den Gebäuden bestehen zumeist aus flexiblen Kupfermediumrohren (Aquawarm). Diese Kombination von KMR, Kellerverlegung und flexiblen Kupfermediumrohr bietet sich vor allem bei höheren Temperaturen und mittleren bis großen Nahwärmenetzen an.

5 Hausstationen

Die Hausstation (Bild 5.1) ist das Bindeglied zwischen dem Fern/Nahwärmenetz und der Hausanlage (Heizungsanlage). Sie besteht aus der Übergabestation, die zum Eigentum des Wärmelieferanten zählt, und der Hauszentrale, welche sich im Eigentum des Kunden befindet. Während die

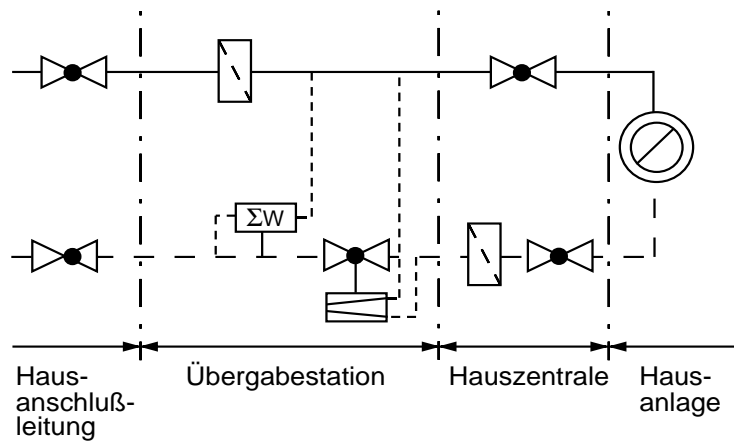


Bild 5.1:
Hausanschluß (direkt
ohne Beimischung)

Übergabestation der vertragsgemäßen Wärmeübergabe hinsichtlich Druck und Temperatur dient, wird in der Hauszentrale die Wärmelieferung an die thermischen und hydraulischen Gegebenheiten der Hausanlage angepaßt. Übergabestation und Hauszentrale können baulich getrennt oder in einer Einheit zusammengefaßt sein.

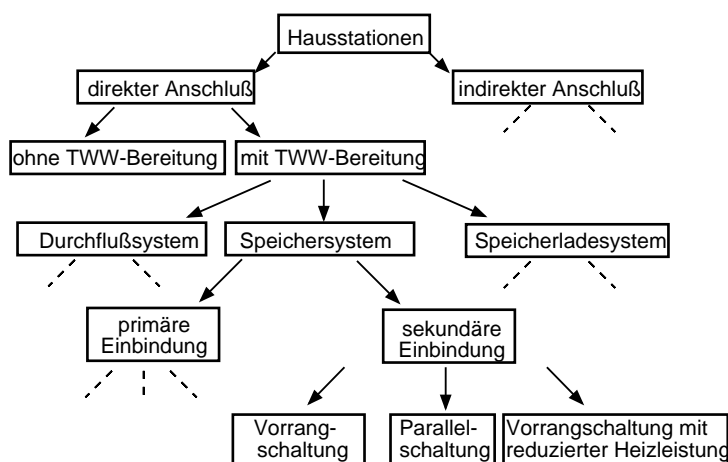


Bild 5.2:
Übersicht ver-
schiedener Aus-
führungsmöglich-
keiten von
Hausstationen

Im Gegensatz zu der früher praktizierten individuellen Fertigung und Installation werden heute vorgefertigte, standardisierte Hausstationen (sogenannte Kompaktstationen) eingesetzt. Diese Stationen enthalten alle Anlagenkomponenten und werden montagefertig beim Kunden angeliefert, um mit der Hausanlage verbunden zu werden. Damit reduzierte sich die durchschnittliche Installationszeit einer Station von 2-3 Tagen auf ca. 0,5 Tage.

Trotz der erreichten Rationalisierungen wird derzeit eine kostengünstige Produktion in hohen Stückzahlen durch die vielfältigen Anbindungsmöglichkeiten von Hausanlagen (Bild 5.2) an ein Wärmenetz verhindert⁶² [BZ96]. Zu beachten ist, daß bei kleinen Anschlußleistungen und preiswerter Verlegetechnik die Kosten der Hausstationen bis zu 50 % der Gesamtinvestitionen eines Wärmenetzes betragen können [AGFW97] [AGFW96a].

5.1 Anbindungsvarianten

Während bei der direkten Anbindung das Fernheizwasser auch die Anlagenteile der Hausanlage durchströmt, wird beim indirekten Anschluß ein Wärmetauscher zwischen Fernwärmenetz und Hausanlage geschaltet. Bei zu hohen Netztemperaturen kann bei der direkten Variante über eine Beimischung aus dem Hausanlagenrücklauf die Hausanlagenvorlauftemperatur angepaßt werden. Für die indirekte Anbindung sprechen vor allem die Unabhängigkeit von den Druckverhältnissen im Netz und der Fernheizwasserbeschaffenheit, die direkte Anbindung stellt meist die kostengünstigere Lösung dar⁶³. Aufgrund der erhöhten Sicherheit, der Preisvorteile bei hohen Netzdrücken und "betrieblicher Philosophien" wird von vielen Unternehmen jedoch der Indirektanschluß bevorzugt. Bei geeigneten Betriebsparametern sollten die Einsparungspotentiale und die möglichen abgesenkten Netzparameter durch die direkte Variante genutzt werden. Hierbei sollte jedoch nach Möglichkeit eine zentrale Filterstation vorgesehen werden, damit evtl. Verschmutzungen, die beispielsweise durch Reparaturen an Kundenanlagen eingetragen werden, nicht zu Schäden (Verstopfung der Thermostatventile, Ablagerung oder Abrasion bei Kunststoffmediumrohren etc.) führen.

5.2 Möglichkeiten der Trinkwassererwärmung (TWE)

Wie bei der Wärmebedarfsermittlung beschrieben, wird in Zukunft eine wirtschaftliche Wärmeversorgung im Neubau nur bei kombinierter Raum- und Trinkwassererwärmung möglich sein. Trotzdem beinhalten derzeit nur 50 % der neuen Hausstationen eine TWE [AGFW96b]. Als Gründe werden u.a. die

62 Da die reduzierten Wärmebedarfswerte aufgrund der aktuellen WSchV nur zu einem Drittel durch Einsparungen der Fernwärmegestehungskosten kompensiert werden können, wächst der Druck auf die Hausstationenanbieter einfachere und damit kostengünstigere Lösungen zu entwickeln.

63 Ausnahme: bei notwendiger Druckabsicherung der Hausanlage (z.B. bei einem Netz mit 130 °C Vorlauftemperatur) können die Mehrkosten für die Sicherheitsarmaturen größer ausfallen als die Wärmetauscherkosten der indirekten Anbindung (bis ungefähr 200 kW Anschlußleistung)

hohen Investitionskosten einer zentralen TWE und der hausinternen Verteilung angegeben sowie der damit verbundene Abrechnungsaufwand des Vermieters im Vergleich zu dezentralen Elektrogeräten. Durch den verstärkten Einsatz der kostengünstigeren Erwärmung im Durchflußprinzip könnten sich die derzeitigen Verhältnisse zukünftig verändern.

Für die TWE werden drei verschiedene Techniken eingesetzt: das Durchflußsystem, das Speichersystem und das Speicher-Lade-System (Bild 5.3). Derzeit wird bei kleinen Leistungen (bis $6 N_L$ ⁶⁴) vorwiegend das Speichersystem und bei größeren Leistungen das Speicher-Lade-System eingesetzt. Das Durchflußsystem besitzt zur Zeit nur eine untergeordnete Bedeutung bei kleinen Leistungen bis $3 N_L$.

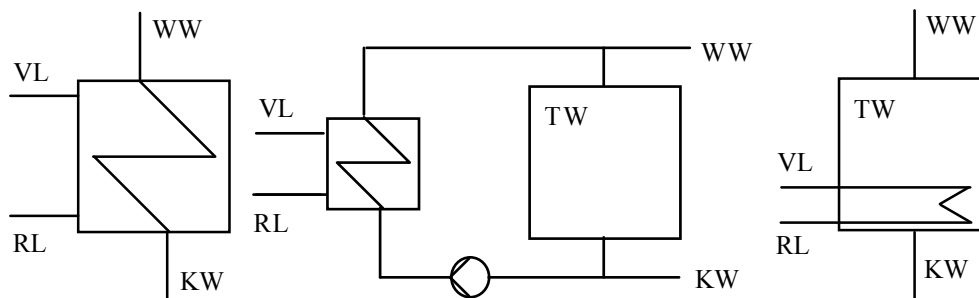


Bild 5.3:
Schaltungsvarianten
der TWE:
• Durchfluß-
• Speicherlade-
• Speichersystem

Beim Durchflußsystem wird das Trinkwasser direkt zum Bedarfszeitpunkt durch einen Plattenwärmetauscher erwärmt. Daher werden relativ hohe Leistungen benötigt, die sich jedoch bei Anschluß mehrerer Verbraucher durch die zu berücksichtigende Gleichzeitigkeit (Bild 2.3) verringern. Diese TWE kann auch zweistufig ausgeführt werden, wobei in der ersten Stufe der Heizungsrücklauf zur Vorwärmung genutzt wird. Im primär eingebundenen Nachwärmetauscher erfolgt dann die restliche Aufwärmung. Bei der Durchflußtechnik muß auf eine gute Regelung geachtet werden⁶⁵. Vorteile des Durchflußprinzips sind die hygienisch einwandfreie Trinkwasserbereitung⁶⁶, die gute Auskühlung des Fernheizwassers, der geringe Platzbedarf sowie die geringen Investitionskosten.

⁶⁴ Die Leistungszahl N_L gibt nach DIN 4708 an, für wieviele Einheitswohnungen mit dem Standardwärmebedarf $W_b=5,82$ kWh (d.h. eine Badewannenfüllung á 140 l in 10 min) ein Wassererwärmer geeignet ist. (siehe auch DIN 4708 Teil 1-3)

⁶⁵ In Netzen mit geringen jahreszeitlichen Unterschieden zwischen maximaler und minimaler Vorlauf-temperatur sorgen druckgesteuerte Proportionalregler für eine optimale Lösung dieses Problems. Diese Regler vermeiden die Nachteile rein thermostatisch geregelter Durchflußsysteme, wie z.B. die unterschiedlichen Brauchwassertemperaturen bei kleinen und großen Zapfmengen oder bei wiederholten, kurzen Zapfintervallen und sind im Gegensatz zu den thermohydraulischen Reglern kostengünstig.

⁶⁶ Im Gegensatz zur literaturüblichen und auch in der DVGW-Richtlinie anzutreffenden Aussage über die Unbedenklichkeit von dezentralen Durchflußsystemen zeigt Egger, daß sich auch beim Durchflußsystem aufgrund der geringeren Temperaturen im anschließenden Warmwassernetz hohe Legionellenkonzentrationen ausbilden können, die wiederum bei diesen Temperaturen kaum abgetötet

Der Vorteil des Speicherwassererwärmers liegt in der geringen Anschlußleistung, da das Trinkwasser vor der Entnahme mit relativ kleinen Heizleistungen in einem Speicher-TWE aufgeheizt wird. Dadurch stehen kurzfristig große Mengen erwärmten Trinkwassers zur Verfügung, dessen Temperatur auch bei schwankender Abnahme relativ konstant ist. Nachteilig ist der große Platzbedarf und die sich verschlechternde Auskühlung des Fernheizwassers im Laufe des Ladevorganges, an dessen Ende die Fernwärmerücklauftemperatur sogar bis an die Speichertemperatur angehoben wird. Außerdem sind die Investitionen für das Speichersystem höher als beim Durchflußsystem, da die Mehrkosten des größeren Wärmetauschers wesentlich geringer als die des Speichers sind. Da sich in Bereichen mit mittleren Temperaturgradienten, die konstruktionsbedingt im unteren Teil des Speichers auftreten können, Legionellen gut vermehren, kann es zu Problemen bei der Trinkwasserhygiene⁶⁶ (⇒ Warmwasserbereitung, Hygiene) kommen.

Das Speicher-Ladesystem stellt eine Kombination zweier Systeme dar. Es besteht aus einer Zusammenschaltung eines Durchfluß-TWE und eines Speichers über eine Regelschaltung und eine Speicherladepumpe. Der Wärmeübertrager deckt nur den durchschnittlichen Trinkwarmwasserbedarf. Die Verbrauchsspitzen werden zusätzlich durch den Speicher gedeckt, der wiederum in Zeiten geringen Verbrauches vom Wärmetauscher geladen wird. Dieses Zusammenspiel erfordert eine optimale Auslegung von Wärmeübertrager und Speicher und einen im Vergleich zum Durchflußsystem regelungstechnischen Mehraufwand.

Die Einbindung kann bei allen drei Systemen über das Fernheizwasser (primärer Anschluß) oder das Netz der Hausanlage (sekundärer Anschluß⁶⁷) erfolgen. Letzterer kommt dann zum Einsatz, wenn aufgrund hoher Betriebsdrücke und -temperaturen ein direkter Anschluß unmöglich oder nicht gewünscht ist. Desweiteren ist der Anschluß mit oder ohne Beimischung möglich, wobei letzteres i.a. zur Vermeidung von Verkalkung des direkt angeschlossenen Wärmeübertragers bei hartem Wasser erfolgt⁶⁸. Die TWE erfolgt zumeist im Vorrangbetrieb, d.h. die Heizung wird während des Lastvorganges nicht versorgt, wobei die Ladezeiten aus Komfortgründen nicht länger als 0,5-1 Stunde sein sollten.⁶⁹ Die bei Großanlagen vorgeschriebene ⇒ Zirkulation und die

werden. Dagegen lag bei diesen Untersuchungen die Legionellenkonzentration der parallel installierten Speichersystemen unter der Nachweisgrenze. Es ist also stets darauf zu achten, daß im anschließenden Warmwassernetz keine Nährböden für ein Legionellenwachstum existieren. (siehe R. Egger *Legionellenfreie zentrale Warmwasserbereitung* HLH 41 -1990- Nr.2 S.139-146)

67 Die sekundäre Einbindung von Durchflußerwärmern ist aufgrund der hohen Leistungsanforderung regelungstechnisch sehr problematisch

68 Außerdem verbessert die Beimischung die Regelungsqualität und die Betriebsweise des Wärmeübertragers

69 Beim Parallelbetrieb wird der Wärmebedarf für die Raumheizung und die TWE gleichzeitig bereitgestellt, wohingegen der Vorrangbetrieb mit reduzierter Heizleistung eine 100%ige Versorgung der TWE-Anlage sicherstellt und die darüber hinaus angebotene Heizleistung für die Raumwärmeversorgung nutzt.

⇒ dezentrale Trinkwassererwärmung mittels sogenannter Wohnungsstationen wird im Anhang näher erläutert.

5.3 Umrüstung bestehender Heizungsanlagen

VL/RL-Temperatur der Hausanlage	Mehr-/Minderleistung gegenüber 90/70°C
110/60 °C	+4 %
110/50 °C	-12 %
110/40 °C	-29 %
90/70 °C	±0 %
90/60 °C	-14 %
90/50 °C	-27 %
90/40 °C	-42 %
60/40 °C	-62 %

Tabelle 5.1 : Minder-/Mehrleistung eines Heizkörpers in Abhängigkeit von der Temperaturspreizung gegenüber einer 90/70°C - Auslegung

Die Wärmeleistung eines Heizkörpers ist von der mittleren Heizkörpertemperatur abhängig. Im Gegensatz zu der bei Heizungsanlagen üblichen Auslegung auf 90/70 °C für die Vorlauf-/Rücklauftemperaturen müssen bei der Fernwärmeversorgung wesentlich größere Spreizungen erreicht werden. Dadurch reduziert sich wiederum die mittlere Heizkörpertemperatur. Um diese Reduzierung auszugleichen, müßten die Heizkörper vergrößert werden, um weiterhin die erforderliche Raumwärme bereitzustellen. Je geringer die Vorlauftemperatur und je größer die Spreizung desto stärker wird die Heizkörperleistung gemindert (Tabelle 5.1).

In der Praxis läßt sich jedoch eine Heizflächenvergrößerung meist vermeiden, da ein Großteil der Anlagen über Heizflächenreserven verfügt, die durch Überdimensionierung entstanden sind. So ergaben mehrere Analysen bestehender Heizsysteme im Vergleich zu der Berechnung nach DIN 4701 durchschnittliche Überdimensionierungsfaktoren von 1,3 bis 1,6. Zur Erfassung dieses Potentials ist aber eine genaue Bestandsuntersuchung notwendig, da in diesen Untersuchungen auch einige Heizkörper ermittelt werden konnten, die bis zu 50% unterdimensioniert waren [AGFW96b].

5.4 Vorschriften

Der Schwerpunkt der sicherheitstechnischen Normen⁷⁰ liegt in der Absicherung gegen Überschreiten der zulässigen Temperatur und des zulässigen Druckes. Zu beachten ist, daß bei der Raumwärmeversorgung entsprechende Sicherheits-einrichtungen ab Netzvorlauftemperaturen von 120 °C notwendig werden,

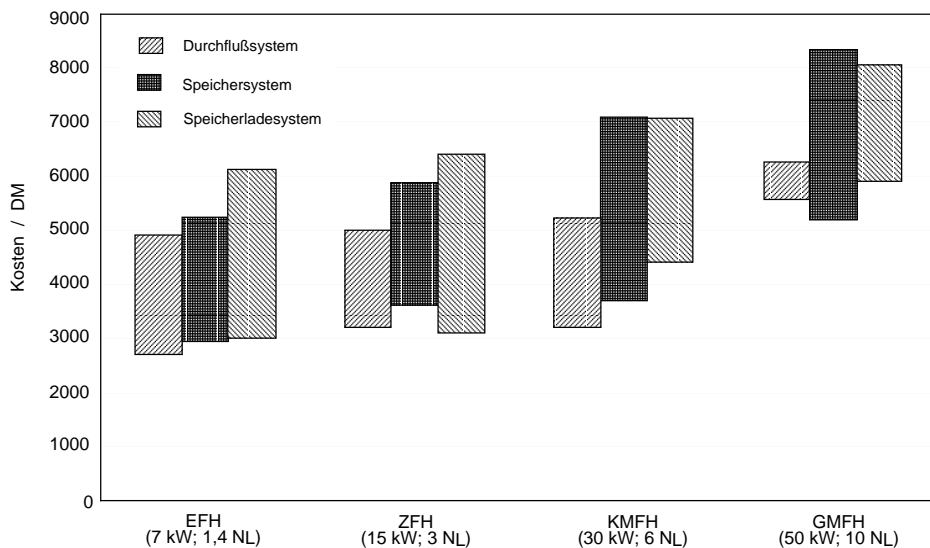
⁷⁰ Die Grundlage der sicherheitstechnischen Ausführung und Abnahme von Hausstationen stellt die [DIN4747] Teil1 dar. Bei der indirekten Hausstation sind zudem die Vorschriften der [DIN4751] Teil 1-4, die [DIN4752] sowie die Druckbehälterverordnung zu beachten.

wogegen bei der TWE schon ab Heizmitteltemperaturen⁷¹ von 100 °C typgeprüfte Temperaturregler (Mehrkosten ca. 130,- bis 180,- DM [AGFW96b]) und ab 110 °C Sicherheitstemperaturbegrenzer (Aufwand bei kleinen Stationen von 500 bis 700 DM [AGFW96b]) installiert werden müssen. (Ausführliche Beschreibungen sowie eine Betrachtung der hygienischen Vorschriften befinden sich im Anhang ⇒ Sicherheitsvorschriften, ⇒ Warmwasserbereitung, Hygiene).

5.5 Kosten der Hausstation

Die folgenden Kostenangaben⁷² basieren auf einer Umfrage⁷³ unter verschiedenen ⇒ Hausstations-Herstellern.

Bild 5.4:
Hausstationskosten⁷³
bei einer direkten
Anbindung mit
verschiedenen TWE-
Systemen



Weitere Kostenreduzierungen lassen sich durch eine konsequente Minimierung der Stationsbestückung verzeichnen. So können mit preiswerteren Armaturen, einfacheren Regelungssystemen sowie dem Wegfall von Thermometer und Manometer Einsparungen von 15-25% gegenüber einer komfortabel ausgestatteten Station erzielt werden [AGFW96b].

In kleinen Hausstationen (Ein- und Zweifamilienhäuser) ist z.B. der Einsatz einfacher Differenzdruckregler mit fest eingestelltem Differenzdruck und einer Arbeitsmembran (ca. 500 DM) als Alternative zu herkömmlichen Reglern mit

71 Bei der TWE ist die Heizmitteltemperatur entscheidend, welche bei direkter Einbindung der Netzvorlauftemperatur und bei indirekter der sekundären Vorlauftemperatur entspricht
 72 Im Anhang sind weitere Untersuchungen zu den Kosten von Hausstationen enthalten (⇒ Kosten von Hausstationen)
 73 Folgende Vorgaben wurden getroffen: maximale Netzvorlauftemperatur < 100°C (im Sommer 70°C), primär eingebundenes TWE-System, minimale Stationsbestückung, keine individuelle Regelung (da gleitende Netzfahrweise und zentrale Nachtabsenkung), Differenzdruck von 0,5 bar und Hausanlagenspreizung 70/50°C/0,

einstellbarem Sollwert und zwei Membranen (ca. 1000 DM) [AGFW96b] sinnvoll.

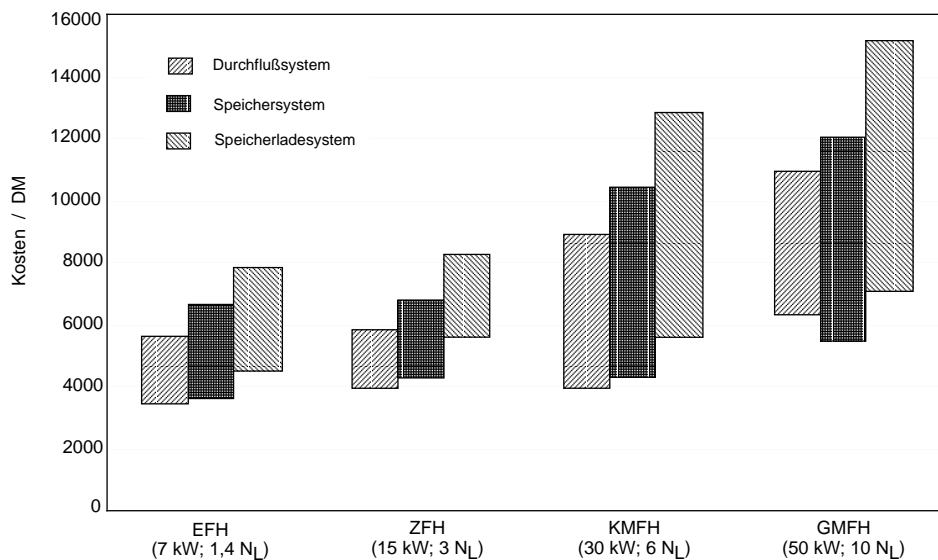


Bild 5.5: Hausstationskosten⁷³ bei einer indirekten Anbindung mit verschiedenen TWE-Systemen

Ist eine witterungsgeführte Regelung notwendig, lassen sich weitere Kosten senken, indem man diese Regelung und den Differenzdruck-/Volumenstromregler in eine Armatur, den sogenannten Kombinationsregler, integriert. Auf diese Regelung kann aber auch trotz des §7 der Heizungsanlagenverordnung [HeizAnlV94], der *eine selbsttätig wirkende Einrichtung zur Verringerung und zur Abschaltung der Wärmezufuhr in Abhängigkeit von der Außentemperatur oder einer anderen geeigneten Führungsgröße und der Zeit* vorschreibt, die z.B. bei kleinen Anlagen (Kosten ca. 1500 DM) eine Verdopplung der Herstellungskosten verursacht, verzichtet werden. Die erste Forderung läßt sich durch eine gleitende Netzfahrweise erfüllen, der anderen Forderung kann entweder durch eine zentrale Nachtabsenkung (z.B. in einer Fernwärmeunterstation) oder durch Zeitschaltungen direkt an den dezentralen Thermostatventilen der Heizkörper entsprochen werden.⁷⁴

⁷⁴ In der Literatur findet sich auch eine Darstellung, daß auf letzteres verzichtet werden konnte, da in einem Antrag an das zuständige Ministerium nachgewiesen wurde, daß bei entsprechender Auslegung der Kundenanlage und konstant gleitender Fahrweise zentral durch den Wärmelieferanten genausoviel Energie eingespart werden kann, wie bei einer 90/70 °C-Auslegung und dezentraler außentemperaturabhängiger Regelung mit Nachtabsenkung (siehe KURZ, G.: Nachrüsten von Fernwärme-Zentralheizungen in mit Einzelöfen beheizten Gebäuden. FWI Jg. 21, 1992, Heft 1/2 S.30-33).

Bei den TWE-Modulen ist das Durchflußsystem das mit Abstand preiswerteste System. Es ist aber stets zu prüfen, ob die Rahmenbedingungen (Karbonathärte des Trinkwassers, Wärmeleistung⁷⁵) eine solche Schaltung zulassen.

Im einfachsten Fall enthält somit die Hausstation wärmenetz- und hausseitig Absperrarmaturen und Schmutzfänger sowie eines der oben beschriebenen Regelorgane (z.B. Differenzdruckregler). Für die Warmwasserbereitung kommt ein Plattenwärmetauscher mit entsprechender Regelung hinzu. Ohne den evtl. notwendigen Wärmemengenzähler könnte solch eine Station für 1500 DM geliefert werden⁷⁶.

5.6 Entscheidungsmatrix Hausstationen

Niedrige Netztemperaturen eröffnen durch den Wegfall von Temperatur- oder Druckabsicherungen Einsparpotentiale bei den Hausanschlüssen. Deshalb kann, solange die Netztemperatur nicht höher als 120 °C bzw.⁷⁷ 110 °C ist, der kostengünstige Direktanschluß gewählt werden. Nur oberhalb dieser Temperaturen ist der indirekte Anschluß günstiger. Aus diesen Gründen kann es durchaus wirtschaftlich sein, an Netzen mit maximalen Vorlauftemperaturen größer 120 °C eine Unterstation anzuschließen, die das nachgeschaltete Sekundärnetz mit abgesenkten Vorlauftemperaturen versorgt.

In der nachfolgenden Entscheidungsmatrix sind Empfehlungen zusammenfassend dargestellt:

75 Die Überprüfung der notwendigen Leistung sollte nicht nur für das Netz als Ganzes angestellt werden, es muß an jedem Netzabzweig kontrolliert werden, ob für die jeweils angeschlossenen Verbraucher die Anforderungen sicher befriedigt werden können.

76 Weitere Einsparungen lassen sich mit Hilfe vereinfachter Wärmeabrechnungsverfahren erzielen, bei denen auf die kostenintensiven Wärmemengenzähler verzichtet bzw. ein Ersatz mit preiswerten Heizkostenverteilern durchgeführt wird (⇒ Wärmeabrechnungsverfahren)

77 Die 120 °C Temperaturgrenze gilt für die alleinige Raumwärmeversorgung, die 110 °C für die Kombination mit primärer TWE

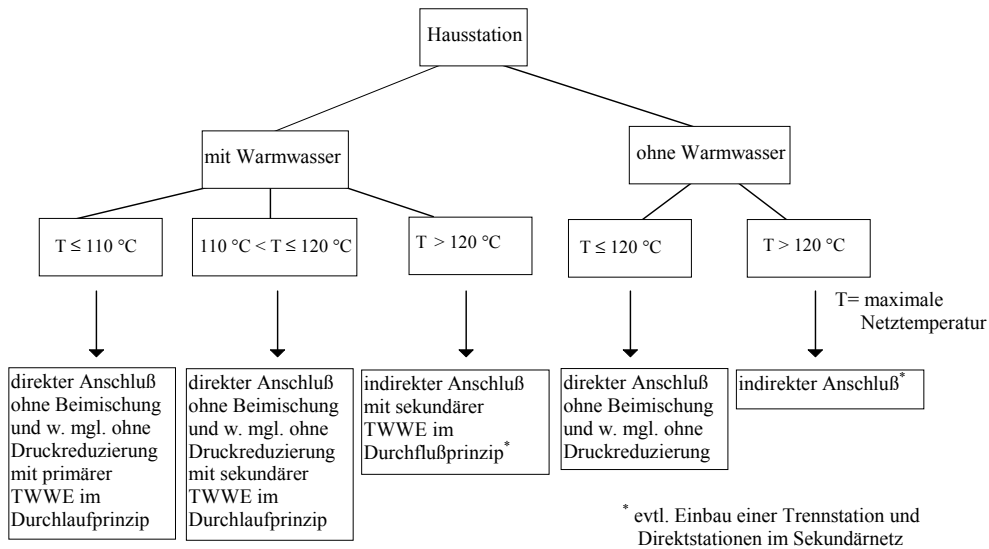


Bild 5.6:
Entscheidungsmatrix
aus Mini-
malkostensicht

5.7 Beispiele kostengünstig ausgeführter Hausstationen

Die Heizungsanlagen des Nahwärmegebiets Biesterberg in Lemgo sind direkt an das Nahwärmenetz angeschlossen. Die Warmwasserbereitung erfolgt mittels elektrischer Durchlauferhitzer. Durch die Regelung der Netzvorlauftemperatur (Außentemperatur, Nachtabsenkung) und die direkte Einbindung können sehr einfache und preiswerte Hausübergabestationen eingesetzt werden [Lemgo] .

Direkte Einbindung ohne Trinkwassererwärmung

Im Nahwärmegebiet Niedernhausen sind die Hausheizungen direkt an das Nahwärmenetz angeschlossen. Die Warmwasserbereitung erfolgt entweder über Speicherlade- oder Durchfluß-Systeme. Durch die direkte Einbindung kann bei den Hausstation auf den Wärmetauscher verzichtet werden. Die niedrigen Netztemperaturen (=70 °C) machen Sicherheitsmaßnahmen überflüssig [Niedern] .

Direkte Einbindung mit Durchfluß-/Speicherlade-System

5. Hausstationen

6 Optimierung des Gesamtsystems

Das Gesamtsystem besteht aus Wärmeerzeuger, Wärmeverteilungsnetz und Hausstationen; der verbindende, wesentliche Parameter an den Systemgrenzen ist die Vor-⁷⁸ und Rücklauf-temperatur. Um das Gesamtsystem zu optimieren, muß der qualitative und - wenn möglich - quantitative Einfluß⁷⁹ der Netztemperatur erfaßt werden. Hierzu werden im folgenden die verschiedenen, zum Teil auch gegenläufigen Einflüsse dargestellt und die Kosten abgeschätzt.

Bei der Wärmepumpennutzung bestimmt die Vorlauf-temperatur nahezu alleine den Wirkungsgrad; dieser ist näherungsweise proportional zur Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle (z.B. der Erdboden) und Wärmesenke (Netzvorlauf), so daß die Absenkung der Vorlauf-temperatur zu einer deutlichen Wirkungsgradsteigerung führt (Halbierung der Temperaturdifferenz ~ Halbierung der Energiekosten). Bei der Wärmebereitstellung mittels Abwärme oder Geothermie können bei niedrigerer Vorlauf-temperatur evtl. auch Quellen mit geringerem Temperaturniveau nutzbringend eingesetzt werden bzw. bei abgesenkter Rücklauf-temperatur die Wärme besser genutzt werden. Bei den anderen vorgestellten Wärmeerzeugern⁸⁰ hat die Vorlauf-temperatur dagegen keinen signifikanten Einfluß auf den Wirkungsgrad oder die Wärme-gestehungskosten.

Wärme- erzeugung

Dagegen hat die Rücklauf-temperatur zumeist einen wesentlich größeren Einfluß auf die Wärme-gestehungskosten. Systeme, bei denen die Wärme des Rücklaufs "verloren" ist, wie die Geothermie, die Solarthermie und die Abwärmenutzung⁸¹ profitieren von einer effektiveren Auskühlung des Rücklaufs im besonderen (Verdoppelung der Auskühlung ~ Halbierung der Wärme-gestehungskosten). Wärmeerzeuger, die Primärenergieträger "verbrennen" (Biomasse, Heizkessel, BHKW und Brennstoffzelle), können durch eine abgesenkte Rücklauf-temperatur die Rauchgaswärme bzw. die latente Wärme des Wasserdampfes besser nutzen. Durch Absenkung der Rücklauf-temperatur auf ca. 50 °C bei konventioneller Technik bzw. auf 30 °C bei

78 Im Bedarfsfall kann die Vorlauf-temperatur durch eine Beimischung des Rücklaufs hinter dem Wärmeerzeuger -für das Netz und die Hausstationen- abgesenkt werden.

79 Als wesentlicher Einfluß werden nur Änderungen des Wirkungsgrades oder bedeutender Baugruppen eingestuft; die Änderung interner Wärmetauscher wird nicht berücksichtigt.

80 Begründung: Beim Heizkessel und der Biomassennutzung (Hackschnitzelfeuerung) ist der Wirkungsgrad von der Vorlauf-temperatur unabhängig. Beim BHKW und bei der Brennstoffzelle liegt die Wärmeabgabetemperatur aufgrund eines internen Kühlkreislaufes fest, so daß durch Variation der Vorlauf-temperatur die Wärmeleistung nicht geändert wird. Bei der Solarthermie, die zumeist durch einen Heizkessel unterstützt wird, der die Vorlauf-temperatur anhebt, führt eine Absenkung der Vorlauf-temperatur nur zu einer Verschiebung der Heizkesselnutzung; die insgesamt benötigte Zusatzenergie bleibt nahezu konstant.

81 Hierbei muß überprüft werden, ob eine weitere Auskühlung vom Abwärmeerzeuger zugelassen wird.

Brennwerttechnik kann die Energieausbeute um ca. 5-10 % und bei wasserreichen Brennstoffen (Biomasse) bis zu 30 % gesteigert werden. Dagegen ist bei der Wärmebereitstellung mittels Wärmepumpen die Rücklauf-temperatur von untergeordneter Bedeutung.

**Wärme-
verteilung**

Bei der Wärmeverteilung ist die maximale Vorlauf-temperatur und die Temperaturdifferenz von großer Bedeutung:

Durch niedrigere Vorlauf-temperaturen (niedrige Wärmedehnung) kann auf Maßnahmen zur Kompensation beim Kunststoffverbundmantelrohr (KMR) ganz oder zumindest teilweise verzichtet werden. Der Einsatz von flexiblen Kunststoffmediumrohren (PMR) wird durch abgesenkte Netz-temperaturen (=90 °C) erst möglich. Der nutzbare Kostenvorteil hängt jedoch maßgeblich von den individuellen Rahmenbedingungen ab.

Eine geringere Temperaturdifferenz (niedrigere Vor- bzw. höhere Rücklauf-temperatur) erfordert bei konstanter Wärmeleistung und gleichem Pumpaufwand eine größere Querschnittsfläche der Rohre; eine Halbierung bzw. Verdoppelung der Temperaturdifferenz führt zu Nenndurchmessern, die um etwa eine Stufe (DN) höher bzw. niedriger liegen. Die durchschnittlichen Kostensteigerungen bzw. -einsparungen sind in Tabelle 6.1 dargestellt.

Tabelle 6.1:
Änderung der
Rohrnetz-kosten bei
Halbierung bzw.
Verdoppelung der
Temperaturdifferenz

	= DN 32	DN 32 - DN 50	= DN 50
KMR	± 1%	± 5%	± 8%
PMR	± 3%	± 10 %	± 26%
Aquawarm	± 6%	± 10 %	± 35 %

**Wärme-
nachfrage**

Bei der Wärmenachfrage muß zwischen Hausstation und Hausanlage⁸² unterschieden werden.

Bei Hausstationen sinken die technischen Sicherheitsanforderungen, sofern die Vorlauf-temperatur die Grenzen von 120 bzw. 110 °C unterschreitet. Abhängig vom Typ der Hausstation können mehrere tausend DM eingespart werden (Tabelle 6.2). Die Rücklauf-temperatur des Netzes ist für die Kosten der Hausstationen von geringer Bedeutung, da die internen Wärmetauscher nur in abgestuften Größen angeboten werden und erst bei unterschreiten einer bestimmten Temperatur höhere Kosten durch einen größeren Wärmetauscher entstehen.

⁸² Die Hausheizung wird hier berücksichtigt, obwohl sie nicht zum Nahwärmenetz gehört, da bei einer Gesamtbetrachtung auch die Kosten, die dem Endverbraucher entstehen, berücksichtigt werden sollten.

bis 15 kW	$T_{VL}=90^{\circ}\text{C}$	Grundpreis* $T_{VL}=110^{\circ}\text{C}$	$T_{VL}=130^{\circ}\text{C}$
direkt, ohne TWE	-2000 DM	3700 DM	+2000 DM
indirekt, ohne TWE	<i>ungebräuchlich</i>	4300 DM	+700 DM
zusätzlich TWE primär	± 0 DM	1300 - 2800 DM	+500 DM

* bei einer heizungsseitigen Temperaturspreizung von 90/60; bei 60/40 oder 45/35 liegen die Kosten deutlich höher

Tabelle 6.2:
Änderung der
Hausstationskosten
bei verschiedenen
Vorlauftemperaturen
[AGFW96b].

Für die Hausanlage (Heizkörpern) ist die Fernwärme-Vorlauftemperatur ohne Einfluß, da sie zumeist oberhalb der Hausanlagenvorlauftemperatur liegt. Eine Absenkung der Rücklauftemperatur dagegen führt zu geringeren mittleren Heizkörpertemperaturen und damit zu einer Minderleistung; d.h. es werden größere Heizkörper benötigt, um die gleiche Wärmeleistung zu übertragen: Eine Absenkung der Rücklauftemperatur um 1 K führt zu Mehrkosten für Heizkörper von ca. 3-7 DM pro kW installierter Leistung. Zu beachten ist jedoch, daß im Bestand die notwendigen Mehrkosten aufgrund der vorzusehenden Ersatzlösung deutlich höher sein können. Bei Neubau-maßnahmen sind die Mehrkosten jedoch in vielen Fällen akzeptabel.

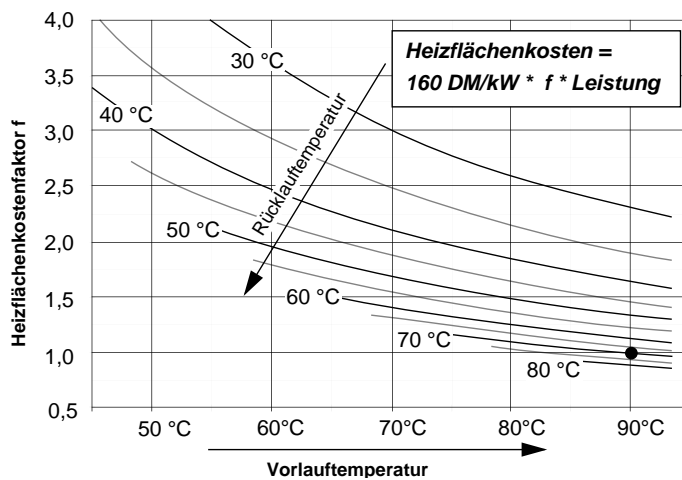


Bild 6.1:
Abhängigkeit des
Heizflächen-
kostenfaktor von der
Vor- und
Rücklauftemperatur

Abhängig von der Kombination aus Wärmeerzeuger, Netz und Hausstation muß die Netztemperatur (Vor- und Rücklauf) im Rahmen des technisch Möglichen variiert werden, um so ein Gesamtkostenminimum zu erreichen. Eine Übersicht hierzu bietet die folgende Übersicht, in der die technischen Einsatzparameter, die Kostendaten und der Einfluß der Netztemperatur zusammengefaßt sind.

Fazit

