

Leitfaden Nahwärme

Autoren: Christian Dötsch
Jan Taschenberger
Ingo Schönberg

Kontaktadresse: Fraunhofer UMSICHT
Osterfelder Str. 3
D-46047 Oberhausen
Telefon: +49 208 8598-0
Telefax: +49 208 8598-290
URL: www.umsicht.fraunhofer.de

DOI: 10.24406/UMSICHT-PX-52182

Jahr: 1998

Gedruckt erschienen: Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 1998, 68, 74, XI S.
UMSICHT-Schriftenreihe, 6
ISBN: 3-8167-5186-5
ISBN: 978-3-8167-5186-1

LEITFADEN NAHWÄRME

EINFÜHRUNG

Ziel

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 Umfanges - keine fachlich qualifizierte Planung ersetzen; er soll jedoch eine Hilfe sein, um die "richtigen Fragen" zu stellen und so die Planung konstruktiv zu beeinflussen.

Aufbau

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 durchzuführen 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, d. h. vor allem der Anschlusswert 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. Varietenauswahl belastbare Daten zu erhalten.

Beim Anschluss von vorhandenen Energieabnehmern müssen darüber hinaus Energieeinsparmaßnahmen geprüft werden, um etwaige Bedarfsreduktionen frühzeitig in die Konzeptfindung zu integrieren.

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	32
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 Nahwärmerversorgung 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 durchzuführenden 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 ⇒ 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 (⇒ 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 Trinkwasserwärmebedarf 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.

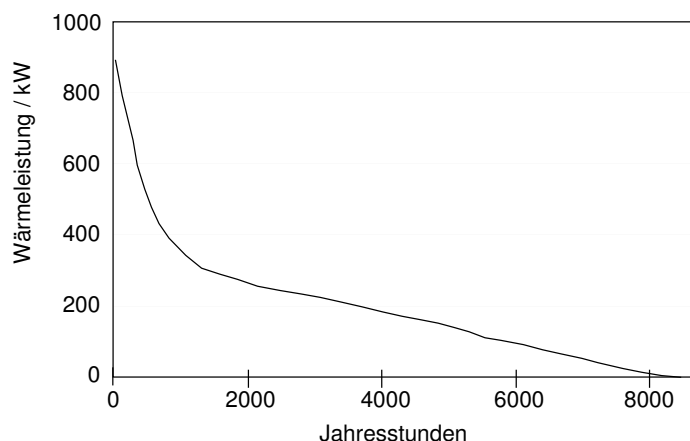


Bild 2.1:
Beispiel einer Jahres-
dauerlinie
(Bürogebäude)

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. Takthäufigkeit des BHKW) und ggf. für die Auslegung des Speichers notwendigen Informationen einbezogen werden können. Im Rahmen einer Vorplanung der technisch-ökonomischen

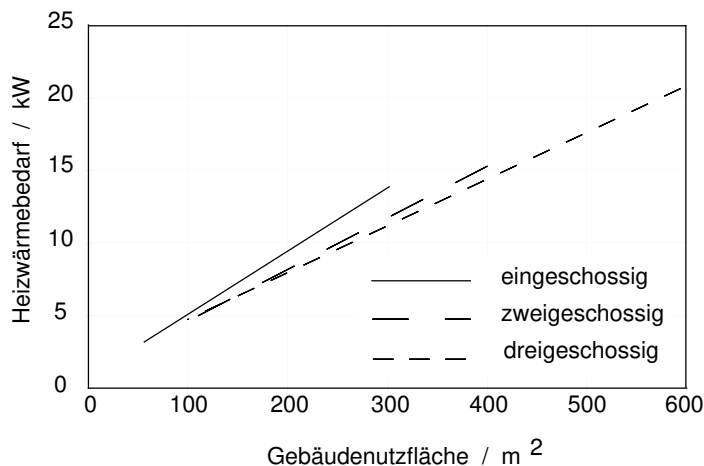
⁴ Da die Reduktion des Jahres-Heizwärmebedarfs im wesentlichen auf verbesserte Wärmedämmung zurückzuführen ist, erhöht sich die Bedeutung des Lüftungswärmebedarfs und der Warmwasserbereitung. Diese Werte sind stark vom jeweiligen Nutzerverhalten abhängig, wie in einer Untersuchung fernwärmeversorgter 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

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

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
[FZ95].

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

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 $(35-10) \cdot 0,276,75 \text{ kW}$, 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.

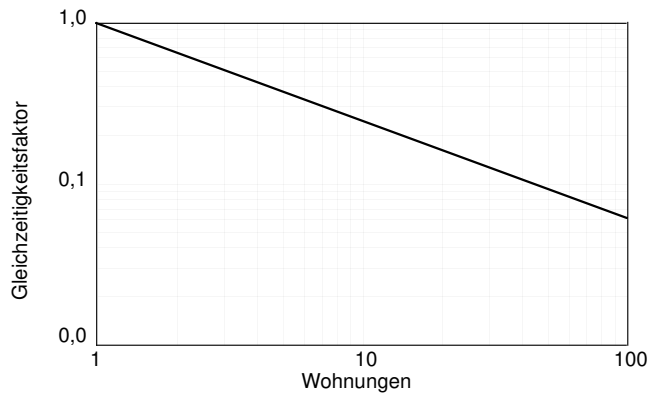


Bild 2.3:
Gleichzeitigkeits-
faktor für Durchfluß-
TWE in Abhängigkeit
der
Wohnungsanzahl
[Zsche97]

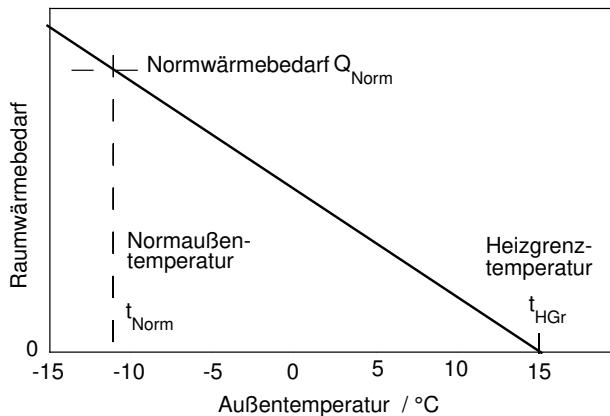
In der Industrie und im Gewerbe kann produktionsbedingt von definierten Zeiten und bekannten Zeiträumen (z.B. Betriebsbeginn/-schluß) mit festen, maximalen Entnahmemengen ausgegangen werden (Tabelle 2.3).

Bedarfsfall	Bedarfs- menge l/ BE	Brauch- wasser- temperatur	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
Flischereien ohne Produktion	150-200	45 °C	6 - 8	Tag und Beschäftigten
Flischereien 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 Duschanlagen	5-15	45 °C	0,2 - 0,6	Tag und Schüler
Schulen mit Duschanlagen	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-Jahres-
dauerlinie einer
Wohnsiedlung (die
untere Kurve kenn-
zeichnet die Grund-
last infolge der
Warmwasserberei-
tung)

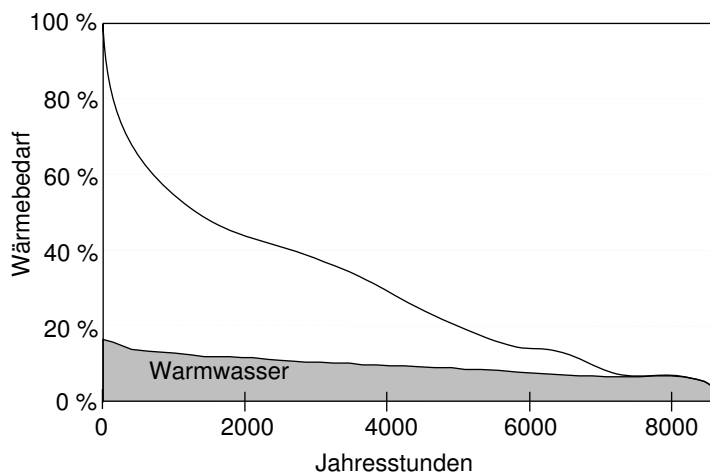


Bild 2.5 zeigt die Wärme-Jahresdauerlinie für eine Wohnsiedlung. Deutlich erkennbar ist die ausgeprägte Spitzenlast und die Grundlast. Der Jahresverbrauch entspricht der Fläche unter der Dauerlinie. Charakteristisch für Wohnsiedlungen ist der annähernd konstante¹⁰ Warmwasserbedarf und der

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 Vollbenutzungsstunden der Anschlußwerte betragen 1500 h/a bzw. 1700 h/a (mit Brauchwasser).

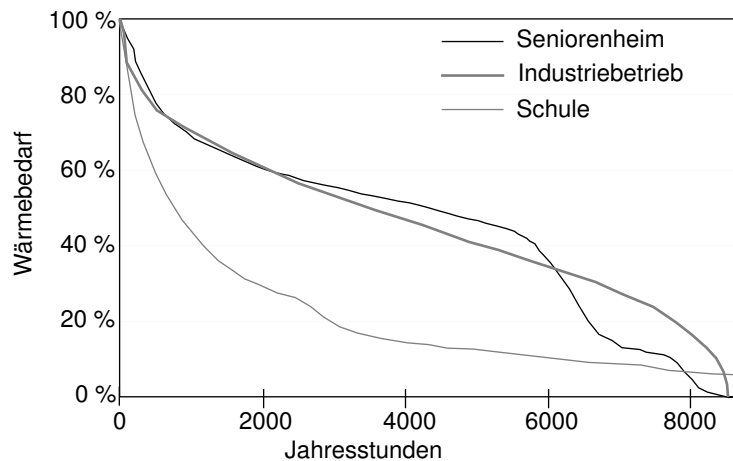


Bild 2.6
Charakteristische
Wärme-Jahresdauer-
linien

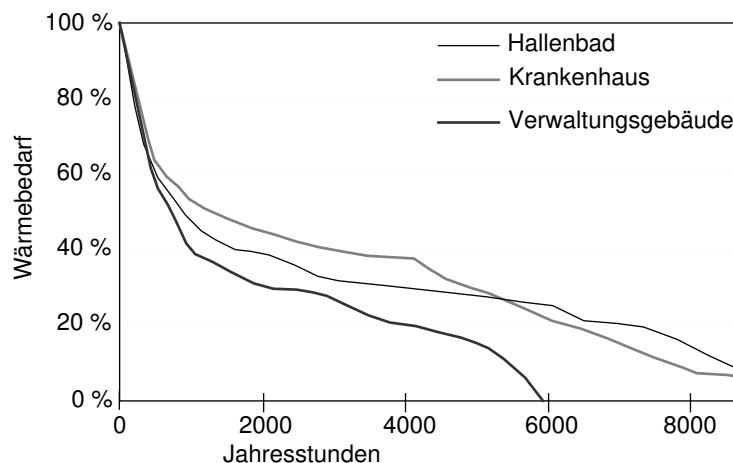


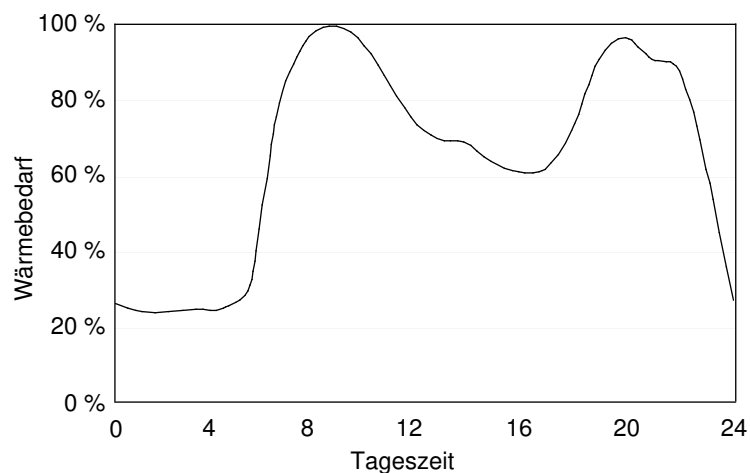
Bild 2.7:
Charakteristische
Wärme-Jahres-
dauerlinien

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.

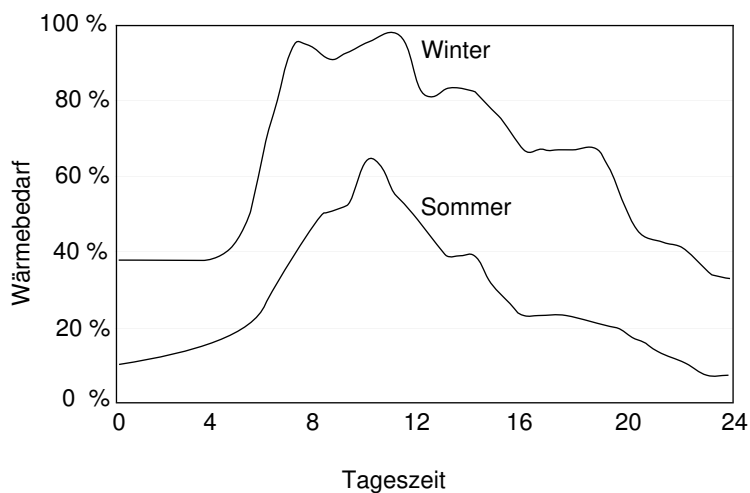
Eine Jahresdauerlinie gibt keine Auskunft über die tägliche bzw. wöchentliche Bedarfsstruktur, die z.B. von Öffnungszeiten, Benutzerverhalten und Produktionsabläufen bestimmt wird (Bild 2.8). Speichersysteme oder Takthäufigkeiten können ohne diese Charakteristik nicht definiert werden.

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 überschlägigen 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.

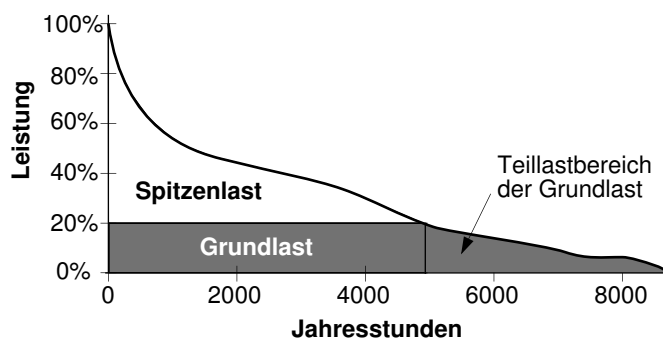


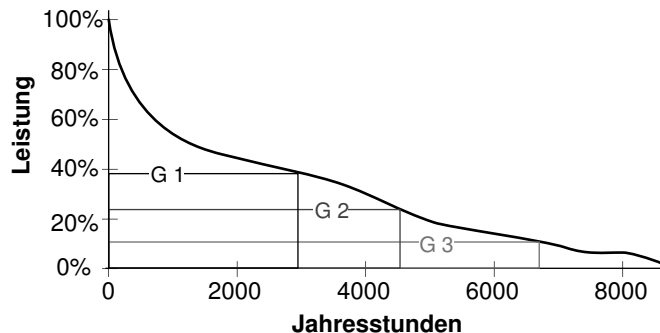
Bild 3.1:
Aufteilung der
Jahresdauerlinie in
Grund- und
Spitzenlast

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.

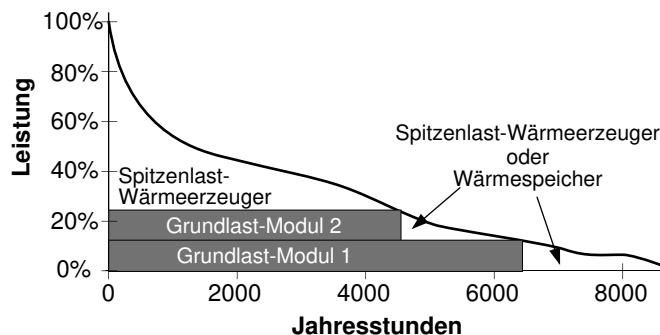
3. Wärmerzeugung

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 (heißgeköhlte 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% [Pck96].

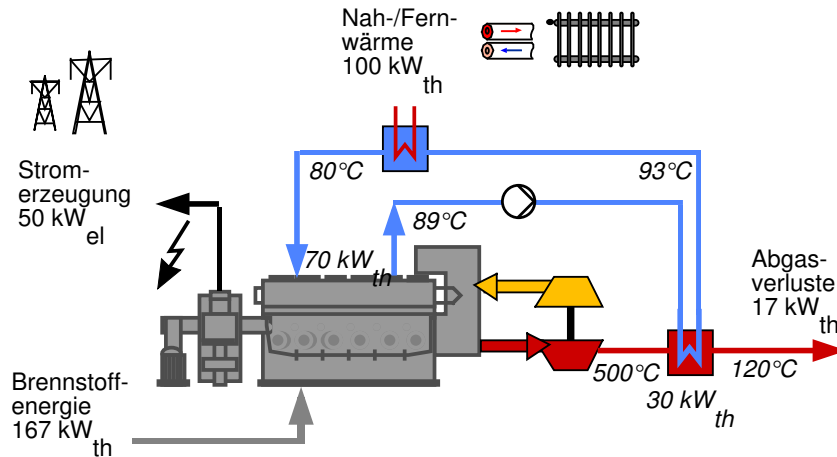
Funktion

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 kWh/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 DM/kW angeboten¹⁴ [AK97], dagegen sind $50 \text{ kW}_{\text{el}}$ -Anlagen mit mehr als 3.000 DM/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 $1-1,5 \text{ Pf/kWh}_{\text{el}}$ und bei $50 \text{ kW}_{\text{el}}$ -Modulen mit $3-5 \text{ Pf/kWh}_{\text{el}}$ 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).

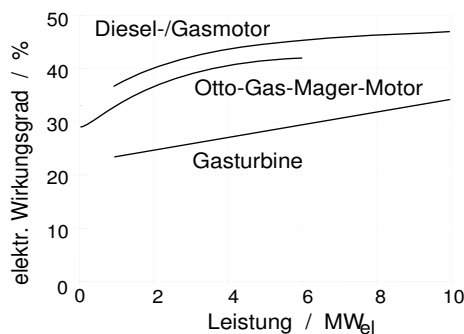


Bild 3.5:
Maximale effektive Wirkungsgrade¹⁵ in Abhängigkeit der BHKW-Modulleistung [Mohr97]

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 Hochtemperaturauskopplung 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)

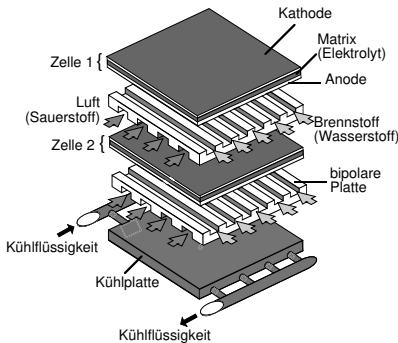


Bild 3.6:
Aufbau eines Brennstoffzellenstapels (Stack)

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 Zellentypen 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 Hackschnitzelf Feuerungen 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.

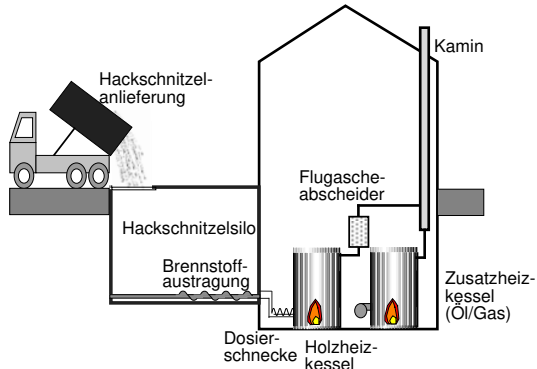


Bild 3.7:
Aufbau eines
Hackschnitzel-
Heizwerks

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 Lager Räume 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 Rücklauftemperatur 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 $\Rightarrow$ Stirling-
motoren entwickelt [SPJ97].

3.3.3 Geothermie

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

Oberflächennahe Geothermie

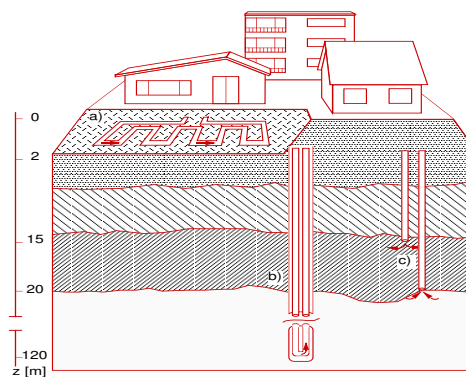


Bild 3.8:
Möglichkeiten der
Oberflächennahen
Geothermie [Clau97]

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 Wärmege-stehungs-kosten 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)

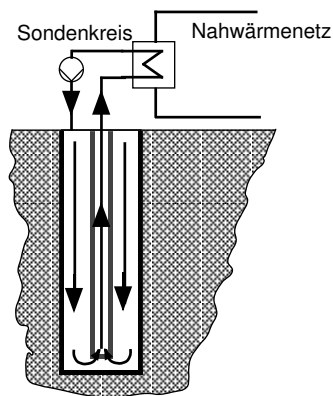


Bild 3.9:
Wärmeversorgung
mit einer Tiefen
Erdsonde

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 tiefen-geothermischen Systemen keine geologische Anforderungen an den Einsatzort. Ein wirtschaftlicher Einsatz ist jedoch wegen der hohen Bohrungskosten 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 $\Rightarrow$ 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 Kollektorstufigungsgrad 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 verbraucherunabhängig die Wärme in einen $\Rightarrow$ 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.

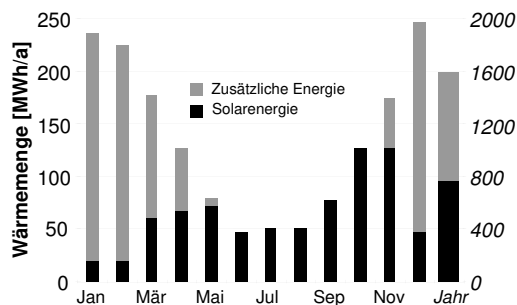


Bild 3.10:
Energiebilanz des
Konzeptes mit
saisonalem
Wärmespeicher

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 (saisonaler Wärmespeicher oder Kurzzeitspeicher) wird ein gutes Teillastverhalten der Solaranlage erreicht.

Effizienz

Die Investitionskosten für $\Rightarrow$ Flachkollektoren (die effizienteren $\Rightarrow$ Vakuumröhrenkollektoren werden wegen der deutlich höheren 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 Netzkreislauf, 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 Wärmegestehungskosten von 10-18 Pf/kWh darstellbar sind.

Wirtschaftlichkeit

Da der Wirkungsgrad einer Wärmepumpe näherungsweise proportional zur Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle und Netzkreislauf 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 Bereiche variiert und ein Totalenergieverbund (Strom/Wärme/Kälte) realisiert werden.

Zukunft

3.3.6 Heizkessel

Anlagentyp	Spitzenlast, Grundlast Wärmeerzeuger
Leistungsbereich	0,1 - 2 MW _{th}
Temperaturbereich	bis 130°C
Wärmegestehungskosten	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).

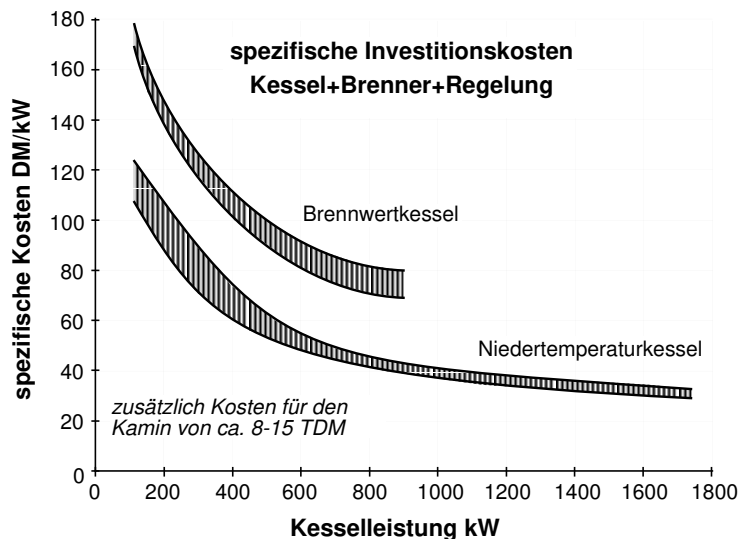
⁴⁰ Daher sind die auch die entgegengesetzten Verläufe von Wärmequellentemperatur und Wärmebedarf recht ungünstig, da im Winter mit sinkender Außentemperaturen ein steigender Wärmebedarf entsteht bei gleichzeitig abnehmenden Wirkungsgrad

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/m³, daraus folgt eine Energiedichte von 8 MWh/m³.

43 Die Lagerdichte von Heizöl beträgt ca. 800 kg/m³, daraus folgt eine Energiedichte von 10 MWh/m³.

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 (max 120 °C)	2-8 Pf/kWh	1500-2500 DM pro kW _{el}	Ersatz von Strom aus Kondensationskraftwerken
Brennstoffzelle	Grundlast (Teillast) KWK	= 215 kW _{th} (200 kW _{el})	bis 90 °C (max 120 °C)	15-25 Pf/kWh	7200 DM pro kW _{el}	Ersatz von Strom aus Kondensationskraftwerken
Abwärmenutzung	Grundlast (Teillast)	0,1 - 2 MW _{th}	bis 130 °C	1-3 Pf/kWh	gering	emissionsfreie Wärmeerzeugung
Hackschnitzelfeuerung	Grundlast (Teillast)	0,1 - 2 MW _{th}	bis 130 °C	8-11 Pf/kWh	120-200 DM pro kW _{th}	CO ₂ -neutrale Wärmeerzeugung
Grundwasserwärmepumpen	Grundlast (Teillast)	0,1 - 2 MW _{th}	bis 70 °C	7-9 Pf/kWh		verringert die CO ₂ -Emissionen
Tiefe Erdwärmesonden	Grundlast (Teillast)	0,1 - 2 MW _{th}	60-100 °C	6-8 Pf/kWh		nur rentabel, wenn Altbohrung 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).

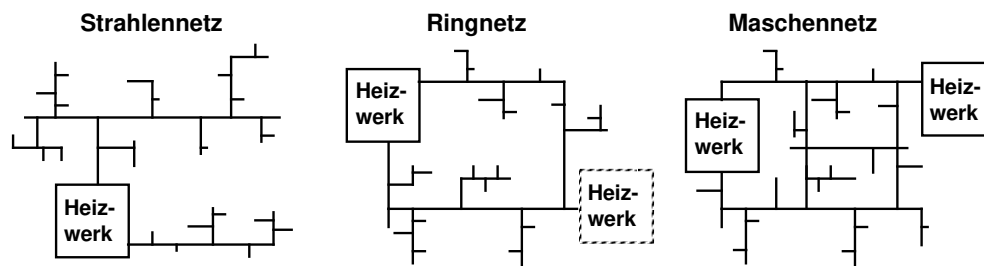


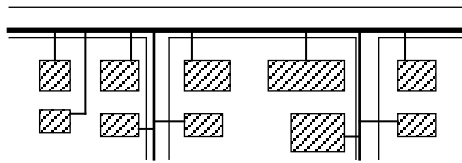
Bild 4.1:
Übersicht über die
verschiedenen
Netzformen

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

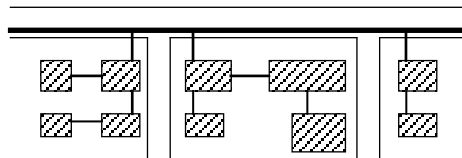
Der Trassenverlauf richtet sich nach geographischen bzw. städtebaulichen Gegebenheiten (Straßenführung, fremde Medienleitungen etc.) und den verwendeten Rohr- bzw. Verlegesystemen.

Bild 4.2:
"Standard" -
Trassenführung



Die häufig eingesetzte $\Rightarrow$ "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.

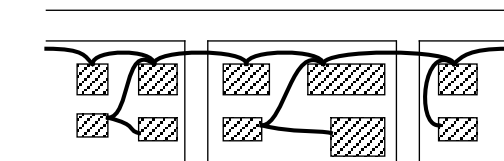
Bild 4.3:
"Haus-zu-Haus" -
Trassenführung



Bei der $\Rightarrow$ "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 $\Rightarrow$ „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 $\Rightarrow$ Kunststoffverbundmantelrohr mit Stahlmediumrohr (KMR) ist aufgrund der Standardisierung, der Robustheit und des geringen Materialpreises das meistverlegte Rohrsystem.

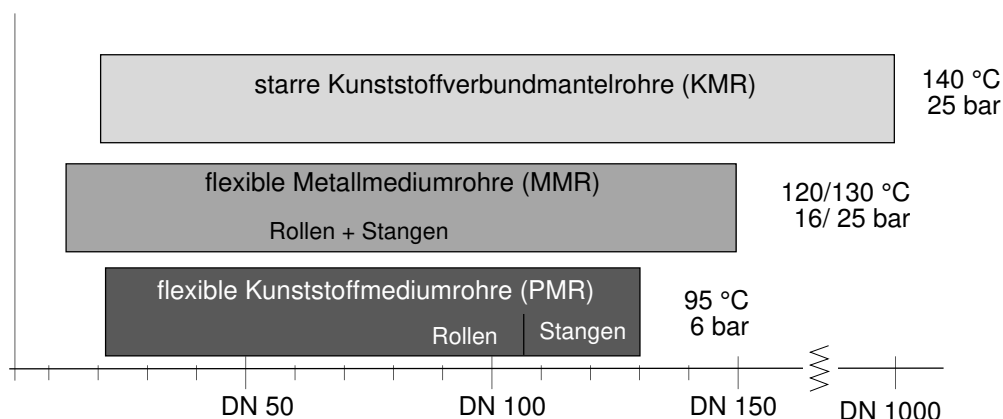


Bild 4.5:
Charakterisierung
der verschiedenen
Rohrsysteme für
Nahwärmenetze

Flexible Rohrsysteme ($\Rightarrow$ Flexible Kunststoffmediumrohre PMR, $\Rightarrow$ 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 $\Rightarrow$ Fachverlegung, ohne definiertes Gefälle, ohne Ent-

⁴⁶ Im Anhang ist ein $\Rightarrow$ 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 ~~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 Rohr-
 systeme 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 Kunststoff-
 mediumrohre 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 Verteilungen werden nicht nur Rohre mit größerem Durchmesser sondern auch mehr Formstücke und Abzweige benötigt. Die dadurch erforderliche höhere Anzahl erdverlegter Verbindungen (Preßkupplung, Lötmutte), 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]. [Lög95] [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 Reihenhausbauung, mit den anderen vorgestellten Verlegungsmethoden 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 Pipelintechneik 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 Verteilung.

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 "Enschleif"-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 Verteilung 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 Wandrauhigkeit, 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 Vorlauftemperatur 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 PM R-Rohr		
Leistung bei			Leistung bei		
DN	?T = 40 K	?T = 60 K	DN	?T = 40 K	?T = 60 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]

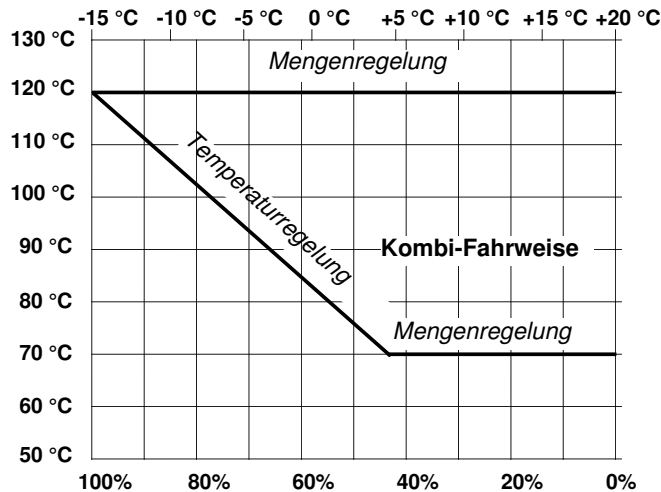
4.5.2 Betriebsregime

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 Druckhalteanlagen werden nach DIN 4751 und DIN 4752 ausgelegt.

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 % ($\Rightarrow$ Rohrnetzskosten). Sofern hierauf wenigstens teilweise verzichtet werden kann, wie beispielsweise in Neubaugebieten, sind auch noch deutlich niedrigere Kosten möglich.

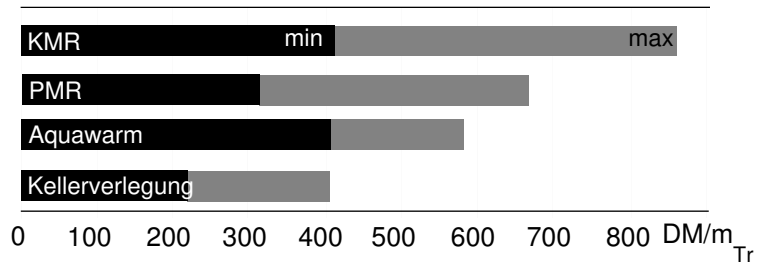


Bild 4.7:
Rohrnetzkosten für
Rohrleitungen
DN 50

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

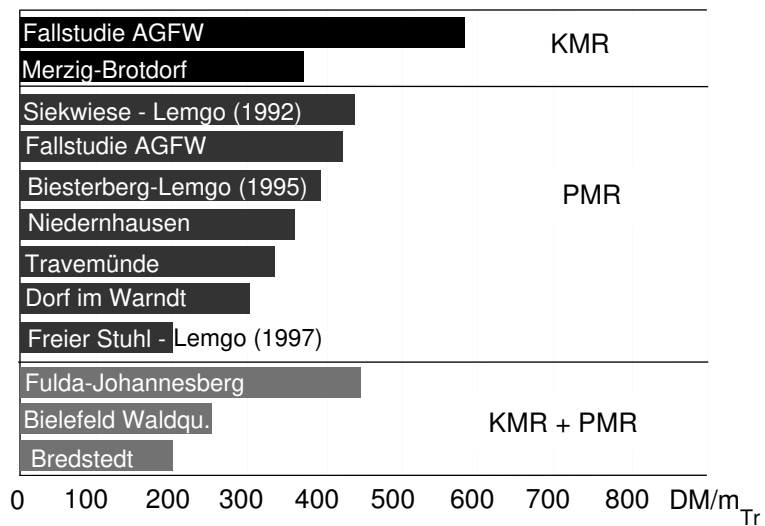


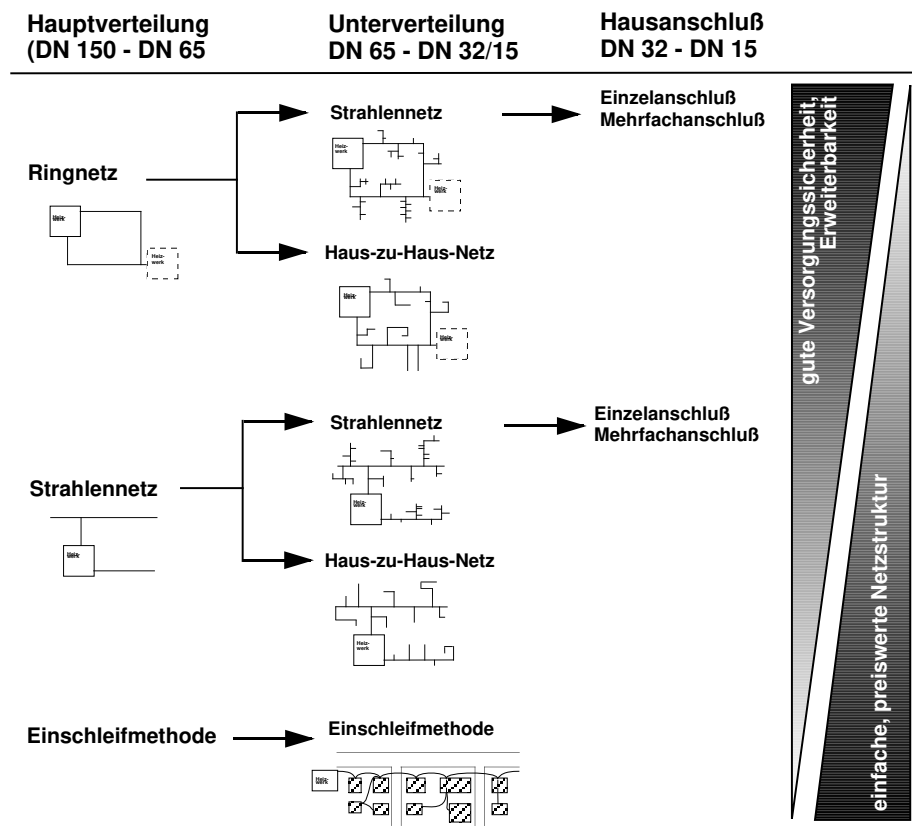
Bild 4.8:
Rohrnetzkosten
realisierter Projekte

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		Unterverteilung	Hausanschlußleitung
			150-100	100-65	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)			(✓)	✓	✓

1) auch als Doppelrohr in einem Mantelrohr

2) nur System Flexwell

3) als Rollenware, sonst Rohrstangen

Tabelle 4.3:
Einsatzbereiche der
betrachteten
Rohrsysteme

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

¹ Bei kompliziertem Trassenverlauf und kleiner Nennweite (Ausnahme !)

² Bei wenig Abzweigen

Tabelle 4.4:
Eignung der
Rohrsysteme für
verschiedene
Anwendungsbereiche

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 Hauptverteilungen 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

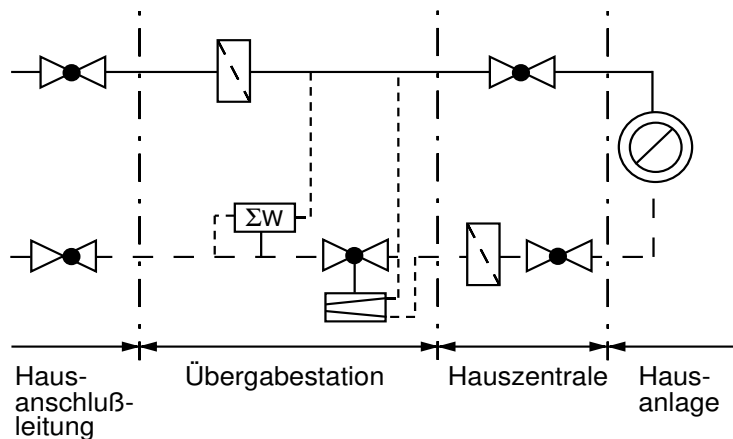


Bild 5.1:
Hausanschluß (direkt
ohne Beimischung)

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.

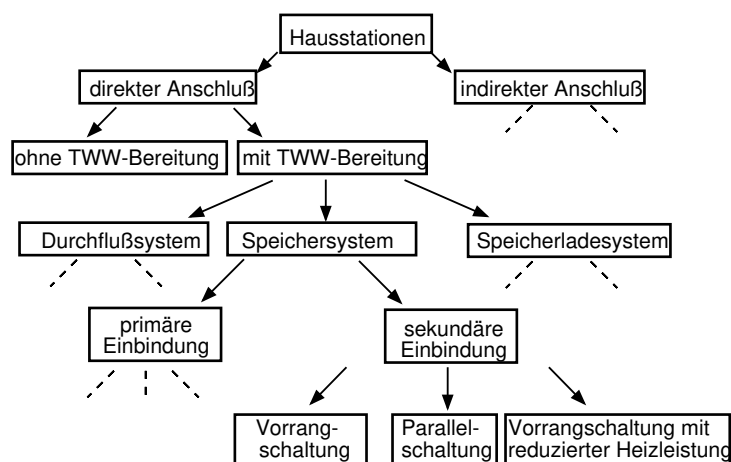


Bild 5.2:
Übersicht ver-
schiedener Aus-
führungsmöglich-
keiten von
Hausstationen

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 Verletechnik 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 .

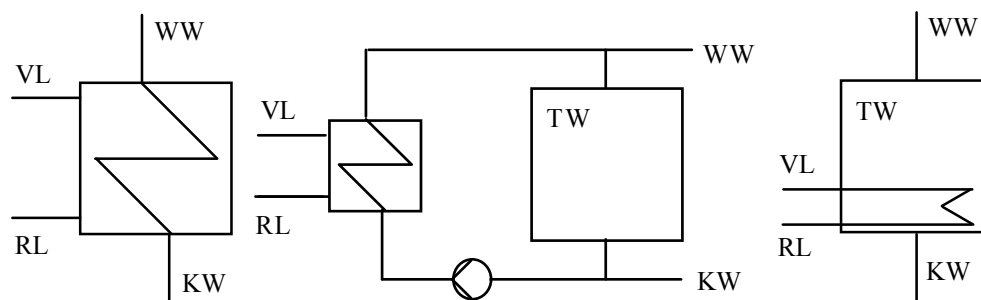


Bild 5.3:
Schaltungsvarianten
der TWE:
• Durchfluß-
• Speicherlade-
• Speichersystem

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 $W_b = 5,82 \text{ kWh}$ (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 Vorlauftemperatur 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-/Mehr-
leistung eines Heiz-
körpers in Abhängig-
keit von der Tem-
peraturspreizung
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-/Rücklauftemperatur 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,

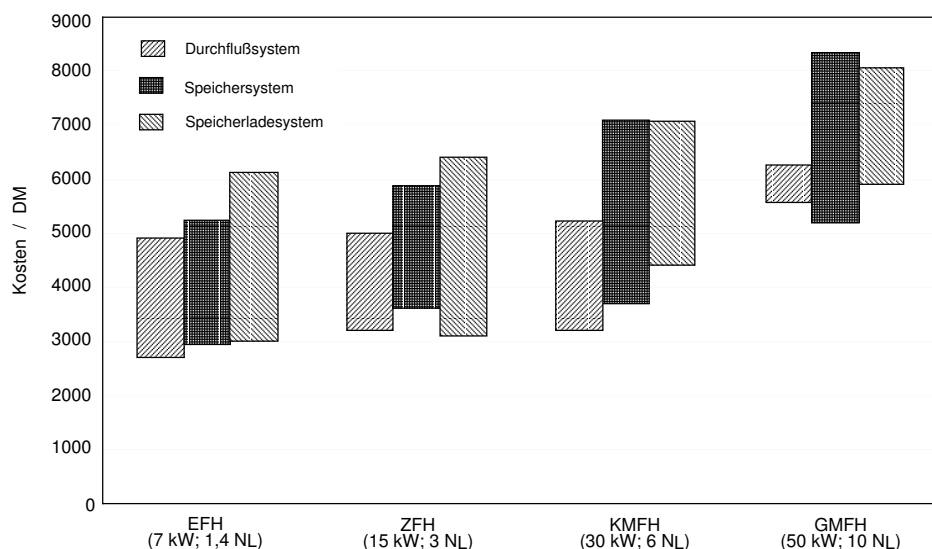
⁷⁰ Die Grundlage der sicherheitstechnischen Ausführung und Abnahme von Hausstationen stellt die [DIN4747] Teil1 dar. Bei der indirekten Hausstation sind zudem die Vorschriften der [DIN4751] Teil 1-4, die [DIN4752] sowie die Druckbehälterverordnung zu beachten.

wogegen bei der TWE schon ab Heizmitteltemperaturen⁷¹ von 100 °C typgeprüfte Temperaturregler (Mehrkosten ca. 130,- bis 180,- DM [AGFW96b]) und ab 110 °C Sicherheitstemperturbegrenzer (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 $\Rightarrow$ Sicherheitsvorschriften, $\Rightarrow$ Warmwasserbereitung, Hygiene).

5.5 Kosten der Hausstation

Die folgenden Kostenangaben⁷² basieren auf einer Umfrage⁷³ unter verschiedenen $\Rightarrow$ 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 Netzevorlauftemperatur und bei indirekter der sekundären Vorlauftemperatur entspricht

⁷² Im Anhang sind weitere Untersuchungen zu den Kosten von Hausstationen enthalten ($\Rightarrow$ Kosten von Hausstationen)

⁷³ Folgende Vorgaben wurden getroffen: maximale Netzevorlauftemperatur < 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°C0,

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

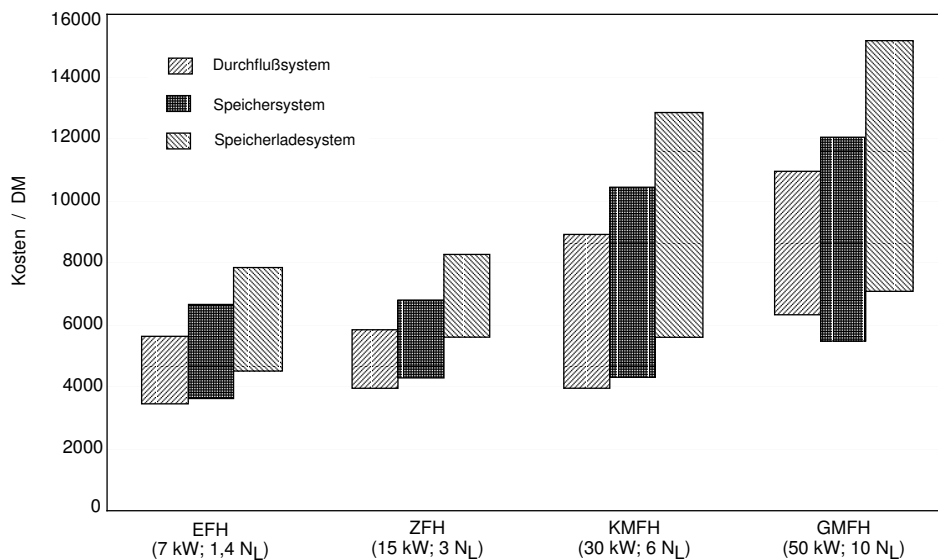


Bild 5.5:
Hausstationskosten⁷³
bei einer indirekten
Anbindung mit
verschiedenen TWE-
Systemen

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 Nachtabenkung (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 genauso viel Energie eingespart werden kann, wie bei einer 90/70 °C-Auslegung und dezentraler außentemperaturabhängiger Regelung mit Nachtabenkung (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

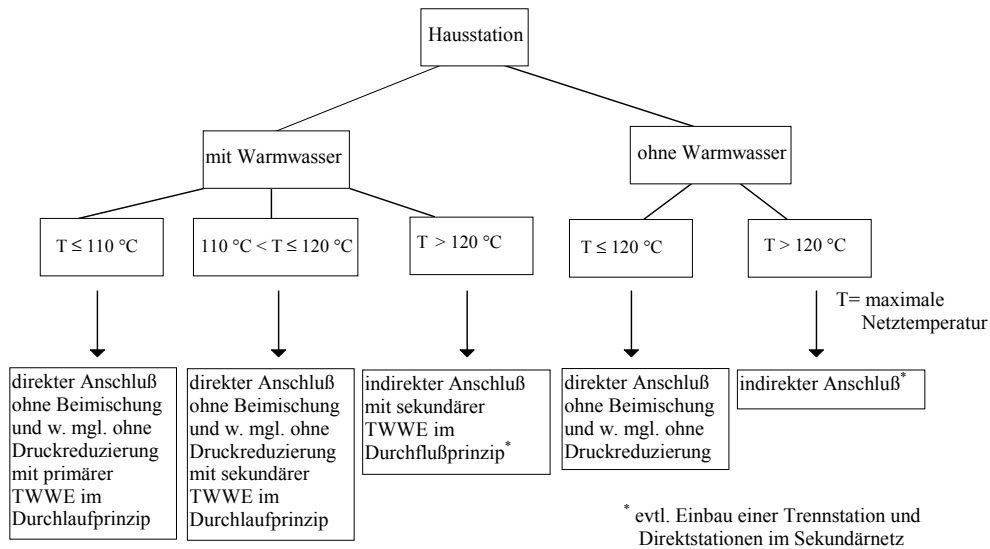
Niedrige Netztemperaturen eröffnen durch den Wegfall von Temperatur- oder Druckabsicherungen Einsparpotentiale bei den Hausanschlüssen. Deshalb kann, solange die Netztemperatur nicht höher als 120 °C bzw.⁷⁷ 110 °C ist, der kostengünstige Direktanschluß gewählt werden. Nur oberhalb dieser Temperaturen 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



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

**Wärme-
erzeugung**

Dagegen hat die Rücklauftemperatur zumeist einen wesentlich größeren Einfluß auf die Wärmegestehungskosten. 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 $\sim$ Halbierung der Wärmegestehungskosten). Wärmeerzeuger, die Primärenergieträger "verbrennen" (Biomasse, Heizkessel, BHKW und Brennstoffzelle), können durch eine abgesenkte Rücklauftemperatur die Rauchgaswärme bzw. die latente Wärme des Wasserdampfes besser nutzen. Durch Absenkung der Rücklauftemperatur auf ca. 50 °C bei konventioneller Technik bzw. auf 30 °C bei

78 Im Bedarfsfall kann die Vorlauftemperatur 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 Biomassenutzung (Hackschnitzelfeuerung) ist der Wirkungsgrad von der Vorlauftemperatur unabhängig. Beim BHKW und bei der Brennstoffzelle liegt die Wärmeabgabetemperatur aufgrund eines internen Kühlkreislaufes fest, so daß durch Variation der Vorlauftemperatur die Wärmeleistung nicht geändert wird. Bei der Solarthermie, die zumeist durch einen Heizkessel unterstützt wird, der die Vorlauftemperatur anhebt, führt eine Absenkung der Vorlauftemperatur 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 Rücklauftemperatur von untergeordneter Bedeutung.

Wärme- verteilung

Bei der Wärmeverteilung ist die maximale Vorlauftemperatur und die Temperaturdifferenz von großer Bedeutung:

Durch niedrigere Vorlauftemperaturen (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 Netztemperaturen ($\approx 90\text{ °C}$) erst möglich. Der nutzbare Kostenvorteil hängt jedoch maßgeblich von den individuellen Rahmenbedingungen ab.

Eine geringere Temperaturdifferenz (niedrigere Vor- bzw. höhere Rücklauftemperatur) 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
Rohrnetzkosten bei
Halbierung bzw.
Verdoppelung der
Temperaturdifferenz

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

Wärme- nachfrage

Bei der Wärmenachfrage muß zwischen Hausstation und Hausanlage⁸² unterschieden werden.

Bei Hausstationen sinken die technischen Sicherheitsanforderungen, sofern die Vorlauftemperatur die Grenzen von 120 bzw. 110 °C unterschreitet. Abhängig vom Typ der Hausstation können mehrere tausend DM eingespart werden (Tabelle 6.2). Die Rücklauftemperatur 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.

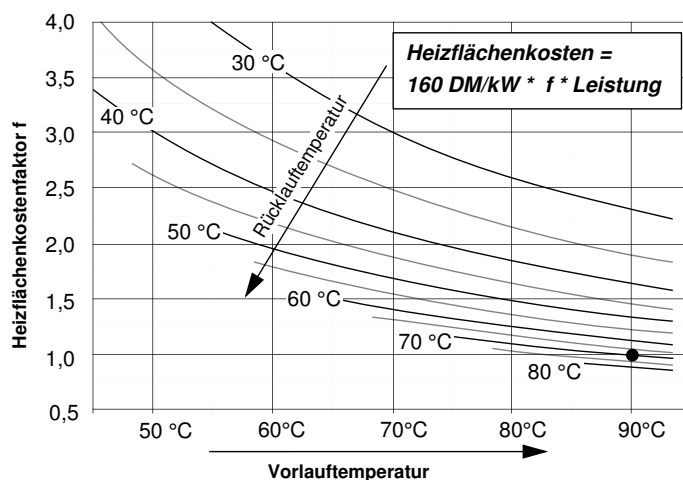
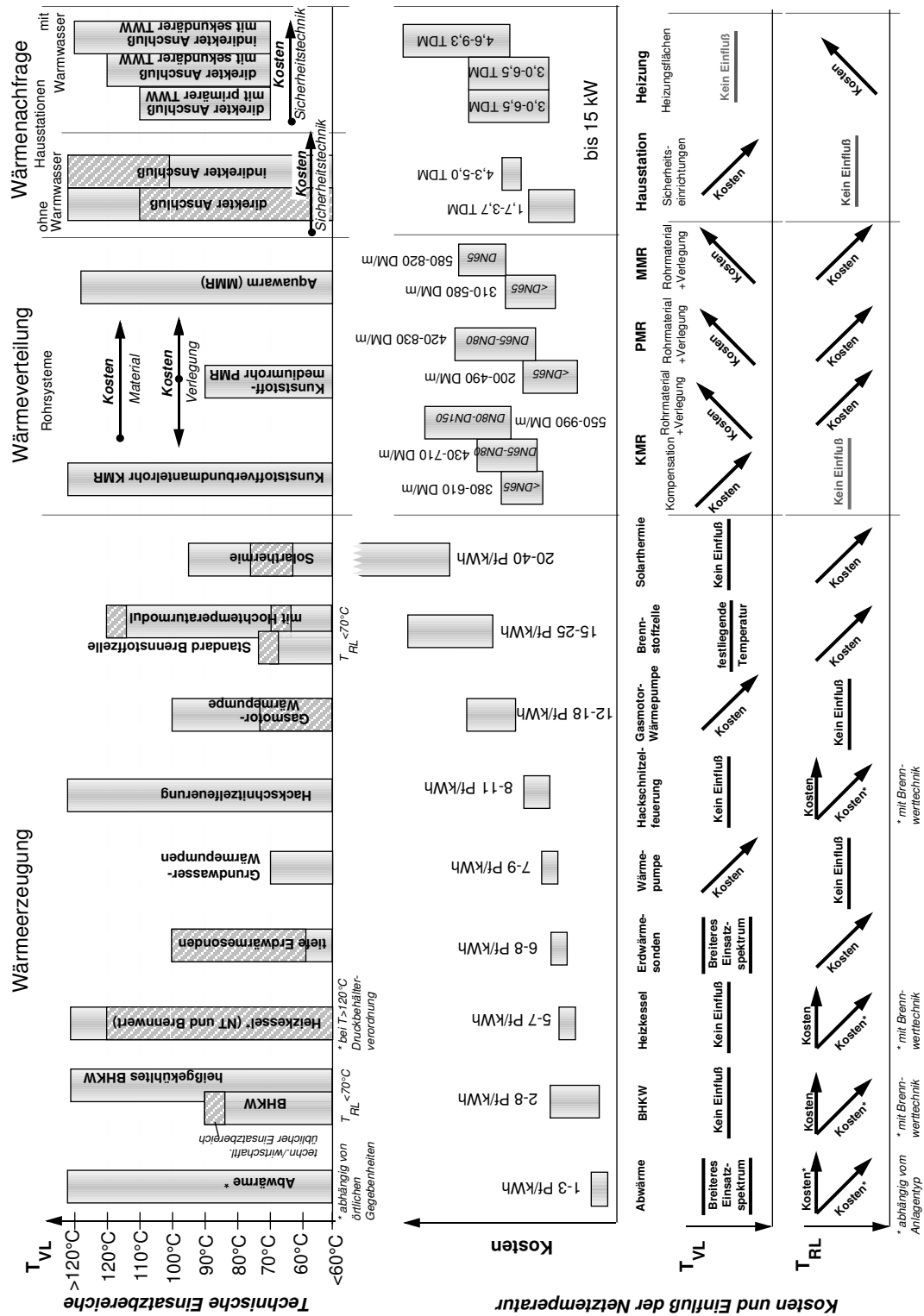


Bild 6.1:
Abhängigkeit des
Heizflächen-
kostenfaktor von der
Vor- und
Rücklauftemperatur

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



ANHANG

1 Allgemeines

Anschluß- und Benutzungszwang

Unter bestimmten Bedingungen kann für Fernwärme ein Anschluß- und Benutzungszwang eingeführt werden. Entscheidend ist dabei das jeweilige Landesrecht, da sich die gesetzliche Ermächtigung in der Regel in den Gemeindeordnungen (GO) der Bundesländer befindet. Darin wird den Gemeinden das Recht eingeräumt, einen Anschluß- und Benutzungszwang einzuführen. Bei Neubaugebieten wird diese Einführung überwiegend für rechtmäßig gehalten, so daß i.a. schon beim Grundstückskauf die notwendigen Formalitäten geklärt werden. Aber auch bestehende Siedlungen können einem Anschluß- und Benutzungszwang unterworfen werden, wenn es sich um Gebiete in Ballungsräumen oder in Großstädten handelt bzw. diese eine hohe Besiedlungsdichte aufweisen (Übergangsfristen sind vorzusehen). Dabei sollten die gesetzlich verankerten Ziele des Immissionsschutzes als Voraussetzung für den Anschluß- und Benutzungszwang verwendet werden. Auch auf anderen Gebieten (Frischwasser, Abwasser usw.) wird ein Anschluß- und Benutzungszwang durch die Rechtsprechung des Bundesverwaltungsgerichtes durchweg zugelassen. Im Rahmen des Zumutbaren und des öffentlichen Interesses sollte daher auch für die Fern-/Nahwärme diese Option genutzt werden. Vorab sollte ein Gutachten eingeholt werden, das die Vorteile der örtlichen Immissionsentlastung belegt. Eine Mustersatzung ist im folgenden dargestellt:

Satzung

über die öffentliche Nah- und Fernwärmeversorgung der Stadt ...

§ 1 Allgemeines

(1) Die Stadt ... betreibt aus Gründen des öffentlichen Wohls, insbesondere zum Zweck der Reinhaltung der Luft und zur Verbesserung der Infrastruktur, durch die Stadtwerke ... mehrere Nah- und Fernwärmenetze.

(2) Die Nah- und Fernwärmenetze dienen zur Versorgung mit Wärme zu Heizzwecken, der Aufbereitung von Warmwasser, der Wärme für Kühlanlagen und allen sonstigen geeigneten Verwendungszwecken¹.

(3) Das Versorgungsgebiet der Nah- und Fernwärmenetze ergibt sich aus dieser Satzung als Bestandteil der beigefügten Anlage.

§ 2 Anschluß- und Benutzungsrecht

(1) Jeder Eigentümer eines im Versorgungsgebiet liegenden bebauten oder bebaubaren Grundstücks, das unmittelbar an eine Straße (Weg oder Platz usw.) grenzt, in der sich eine betriebsfertige Fernwärmeleitung befindet, ist, vorbehaltlich der Einschränkungen in §3, berechtigt, zu verlangen, daß sein Grundstück an die Fernwärmeversorgungsanlagen angeschlossen wird (Anschlußrecht). Dies gilt auch für die Eigentümer von Grundstücken, die nicht unmittelbar an einer Straße (Weg, Platz) mit betriebsfertiger Fernheizleitung liegen, aber mit dieser Straße durch einen privaten oder öffentlichen Weg verbunden sind.

(2) Nach dem betriebsfertigen Anschluß des Grundstückes an die Fernwärmeversorgungsanlagen hat jeder Anschlußnehmer das Recht, die benötigten Wärmemengen bis zu der für jeden Anschlußnehmer besonders festgelegten Wärmeleistung zu entnehmen (Benutzungsrecht)

§ 3 Begrenzung des Anschlußrechts

(1) Ist der Anschluß wegen der besonderen Lage des Grundstückes oder aus sonstigen technischen oder wirtschaftlichen Gründen mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden oder sind dafür besondere Maßnahmen und Aufwendungen erforderlich, so kann der Anschluß versagt werden. Dies gilt nicht, wenn der Antragsteller sich bereiterklärt, neben dem Anschlußpreis auch die entstehenden Mehrkosten für den Bau und gegebenenfalls für den Betrieb zu tragen.

In diesem Fall hat er auf Verlangen des Unternehmens (§1 Abs.1) angemessene Sicherheit zu leisten.

(2) Sind die Gründe, die zur Versagung des Anschlusses geführt haben, fortgefallen, so ist nach den Vorschriften dieser Satzung zu verfahren.

¹ Sonstige Verwendungszwecke = Erzeugung von technologischem Dampf, Betrieb von Klimaanlage

§ 4 Anschlußzwang

(1) Jeder Eigentümer eines im Versorgungsgebiet liegenden Grundstücks, auf dem Wärme für Raumheizung, Warmwasser oder sonstige Niedertemperaturzwecke verbraucht wird, ist verpflichtet, sein Grundstück an die Fernwärmeversorgungsanlagen anzuschließen.

(Anschlußzwang)

Sind auf dem Grundstück weitere Gebäude geplant, in denen Wärme benötigt wird, so ist jedes dieser Gebäude anzuschließen.

(2) Die Errichtung von Wärmeerzeugungsanlagen für die in §1 Abs.2 genannten Zwecke ist nicht gestattet.

(3) Die Grundstückseigentümer sind verpflichtet, die Verlegung und Unterhaltung von Fernwärmeleitungen, die zur Versorgung ihres Grundstücks dienen, zu dulden.

Diese Duldung gilt auch für den Fall, wenn zur Versorgung anderer Grundstücke mit Fernwärme die Inanspruchnahme des eigenen Grundstücks nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand zu vermeiden wäre.

Eine entsprechende Dienstbarkeit ist mit dem Eigentümer gegen ortsübliches Entgelt zu vereinbaren.

(4) Ist das Grundstück mit einem Erbbaurecht belastet, so tritt der Erbbauberechtigte an die Stelle des Eigentümers nach Maßgabe dieser Satzung.

§ 5 Benutzungszwang

(1) Der Eigentümer und die obligatorischen Nutzungsberechtigten der angeschlossenen Grundstücke sind verpflichtet, ihren gesamten Wärmebedarf für Heizzwecke im Sinne der in §1 Abs.2 genannten Zwecke ausschließlich aus dem Wärmeversorgungsnetz zu decken (Benutzungszwang).

Diese Verpflichtung obliegt Grundstückseigentümern, den diesen gleichstehenden Berechtigten sowie sämtlichen Bewohnern der Gebäude und sonstigen Wärmeverbrauchern.

(2) Der Betrieb von Wärmeerzeugungsanlagen für die in §1 Abs.2 genannten Zwecke ist nicht gestattet.

§ 6 Befreiung von Anschluß und Benutzungszwang

(1) Die Befreiung vom Anschluß- und Benutzungszwang wird auf Antrag erteilt, soweit am Tag des Inkrafttretens dieser Satzung bereits fertiggestellte Bauwerke mit immissionsfreien Heizungsanlagen ausgestattet sind oder soweit für am Tage des Inkrafttretens dieser Satzung im Bau befindliche Bauwerke die Ausstattung mit einer immissionsfreien Anlage eingeplant ist.

(2) Als nicht immissionsfrei sind anzusehen: Kohle-, Koks-, Holz- Gas- und Ölheizungen. Der Betrieb von Kaminen und Kachelöfen, die in erster Linie nicht der Raumheizung dienen, bleibt von diesen Vorschriften unberührt.

(3) Für Bauwerke, die am Tage des Inkrafttretens dieser Satzung
a) bereits hergestellt sind und keine immissionsfreie Heizungsanlage haben,
b) im Bau befindlich sind und für die keine immissionsfreie Heizungsanlage eingeplant ist, wird bis zur notwendigen Erneuerung der eingebauten oder eingeplanten Heizungsanlage, jedoch höchstens für einen Zeitraum von fünf Jahren bei Kohle-, Koks- und Holzfeuerungen seit Inkrafttreten dieser Satzung Befreiung vom Anschluß- und Benutzungszwang erteilt.

(4) Die Befreiung vom Anschluß- und Benutzungszwang ist innerhalb eines Monats nach Aufforderung zum Anschluß schriftlich beim Versorgungsunternehmen (§1 Abs.1) zu beantragen und unter Beifügung der erforderlichen Unterlagen zu begründen.

(5) Eine Befreiung vom Anschluß- und Benutzungszwang wird widerruflich oder befristet erteilt.

§ 7 Kreis der Verpflichteten

Die sich aus dieser Satzung für die Eigentümer ergebenden Rechte und Pflichten gelten entsprechend auch für die dringlich Nutzungsberechtigten. Mehrere Verpflichtete sind Gesamtschuldner.

§ 8 Begriff des Grundstücks

(1) Grundstück im Sinne dieser Satzung ist unabhängig von der Eintragung im Liegenschaftskataster und im Grundbuch jeder zusammenhängende Grundbesitz, der eine selbständige wirtschaftliche Einheit bildet.

(2) Befinden sich auf einem Grundstück mehrere Gebäude, so können für jedes dieser Gebäude die für Grundstücke maßgeblichen Vorschriften dieser Satzung angewendet werden; die Entscheidung hierüber trifft die Stadt.

§ 9 Anschluß an die Fernwärmeversorgungsanlagen und Rechtsgrundlage für die Fernwärmeversorgung

(1) Der Anschluß an die Fernwärmeversorgungsanlagen ist vom Verpflichteten bei dem Unternehmen (§1 Abs.1) zu beantragen.

Bei Neubauten wird eine Baugenehmigung im Falle des §6 Abs.1 nur erteilt, wenn mit dem Baugenehmigungsantrag nachgewiesen wurde, daß der Anschluß an das Fernwärmeversorgungsnetz erfolgt ist oder ein Liefervertrag abgeschlossen ist oder eine Ausnahmegenehmigung entsprechend §6 Abs.1 vorliegt.

(2) Mit dem Antrag hat der Verpflichtete alle zur Ermittlung des künftigen Wärmebedarfs notwendigen Angaben, insbesondere zum Heizenergieverbrauch von auf dem Grundstück befindlichen Gebäuden, Wohnungen oder sonstigen Räumen zu machen. Der Verpflichtete hat, auf Verlangen des Unternehmens (§1 Abs.1), dazu eine Wärmebedarfsberechnung für alle anzuschließenden Gebäude, Wohnungen oder sonstigen Räume durch ein vom Unternehmen anerkanntes Ingenieurbüro vorzulegen (geregelt in den Allgemeinen Bedingungen für die Versorgung mit Fernwärme nach der AVBFernwärmeV sowie den jeweils gültigen Technischen Anschlußbedingungen nach der TAB Fernwärme der Stadtwerke)

(3) Mit dem Antrag sind alle für die Bearbeitung des Antrages erforderlichen Unterlagen einzureichen. Werden vom Unternehmen (§1 Abs.1) Vordrucke verwandt, ist der Antrag unter Verwendung dieser Vordrucke einzureichen.

(4) Die Fernwärmeversorgung erfolgt auf privatrechtlicher Grundlage. Hierfür sind die Allgemeinen Bedingungen für die Versorgung mit Fernwärme nach ABVFernwärmeV und die Allgemeinen Versorgungsbedingungen des Unternehmens (§1 Abs.1) in der jeweils gültigen Fassung maßgebend.

§ 10 Inkrafttreten

Die Satzung tritt am Tage nach ihrer Bekanntmachung in Kraft.

Betreiber-/Finanzierungsmodelle

Neben einer technisch-wirtschaftlich tragfähigen Konzeption sind Organisation und Finanzierung der jeweiligen Vorhaben von gleichrangiger Bedeutung. Hierbei stellen sich oft folgende Probleme:

- zu geringe Eigenkapitaldecke bzw. zu enge Finanzierungsgrenzen
- fehlende Kompetenz oder Flexibilität für neue Lösungen
- keine Risikobereitschaft bei der Energieversorgung.

Abhilfe können hier neuartige Organisations- und Finanzierungsformen bringen. Neben der traditionellen Versorgung durch ein Energieversorgungsunternehmen (EVU) oder einer Eigenversorgung (finanziert aus Eigen- und Fremdkapital) gibt es die Möglichkeiten einer Gemeinschaftslösung mehrerer Beteiligter oder die Einbeziehung von Dritten (Performance-Contracting, Third-Party-Financing).

Übernehmen Dritte Teilaufgaben der Finanzierung, des Baus oder des Betriebs, so ist zu klären, wer im rechtlichen Sinn Betreiber der Anlage ist. Sobald dabei eine Belieferung Dritter vorliegt, wird eine Betriebsaufnahmegenehmigung fällig. Dies ist zum Beispiel der Fall, wenn eine für den Anlagenbau gegründete Objektgesellschaft oder eine Ingenieur-Gesellschaft Betreiber der Anlage ist und einen Energieliefervertrag mit dem Abnehmer schließt, auch wenn die Anlage auf dessen Grund und Boden steht. Wird hingegen kein Energieliefer- sondern ein Betriebsführungs- und/oder Gebrauchsüberlassungsvertrag vereinbart, ist eine Eigenerzeugung und keine Belieferung Dritter gegeben. Je nach Vertragskonstruktion des Gebrauchsüberlassungsvertrages ergeben sich unterschiedlichste steuer- und handelsrechtliche Konsequenzen, wobei entscheidend ist, wem das wirtschaftliche Eigentum zuzurechnen ist [Eimann97].

Genehmigung nach 4. Bundes-Immissionsschutzverordnung (BImSchV)

Größere Wärmeerzeugungsanlagen sind nach der 4. BImSchV genehmigungsbedürftig, wobei die eingesetzten Brennstoffe entscheidend sind. So sind gasbefeuerte Anlagen ab einer Feuerungswärmeleistung von $10 \text{ MW}_{\text{th}}$ genehmigungspflichtig, mit Heizöl EL betriebene Anlagen ab 5 MW_{th} . Anlagen die mit sonstigen Heizölen, Koks, naturbelassenem bzw. nicht halogenorganisch- oder holzschutzmittelbelastetem Holz bzw. deren Reste, Torf sowie Ethanol/Methanol betrieben werden sind ab 1 MW_{th} genehmigungspflichtig. Erzeugungsanlagen mit anderen Brennstoffen (wie z.B. Stroh, Landschaftspflegematerial, Getreidepflanzen etc.) schon bei einer Heizleistung von $100 \text{ kW}_{\text{th}}$. In jedem Fall sollte frühzeitig

Kontakt mit der zuständigen Behörde aufgenommen werden, um etwaige Auflagen oder Hemmnisse frühzeitig in der Planung zu berücksichtigen.

Wärmeabrechnung

Bei der Wärmeabrechnung bzw. -messung werden je nach Anforderungsprofil und Anteil der Meßkosten sehr unterschiedliche Methoden angewandt. Die Datenfernübertragung per Telefonanschluß oder über Meldedrähte gewinnt hierbei zunehmend an Bedeutung. So werden beispielsweise vorhandene Leckortungsdrähte zur Datenfernübertragung genutzt oder in gehobenen Wohn- und Bürobauten dezentrale Abrechnungssysteme installiert, die teilweise per Funk- oder Bussystem vernetzt sind. Zu prüfen ist hierbei, ob beim Kunden die notwendige Fernmeldetechnik bzw. Elektrotechnik vorhanden ist und preiswert angebunden werden kann.

Ein besonders bei Neubausiedlungen zu prüfender Ansatz ist die Pauschalabrechnung. Obwohl der Gesetzgeber nach AVB FernwärmeV § 18 Abs.1 vorschreibt, daß die gelieferte Wärmemenge durch Messung festzustellen ist, gibt es Möglichkeiten, diese kostenintensive Verbrauchserfassung zu vereinfachen. So ist es z.B. bei selbstgenutzten Häusern (kein Mieter/ Vermieter-Verhältnis) gestattet die Verbrauchsrechnung mittels pauschaler Entgelte durchzuführen. Diese Abrechnungsform wurde z.B. von der Veba Kraftwerke Ruhr (VKR) ihren Fernwärmekunden angeboten, wobei die Verrechnungsbeträge bei bestehenden Gebäuden nach dem durchschnittlichen Verbrauch der letzten Jahre und bei Neubauten auf der Basis der Wärmebedarfswerte festgelegt werden. Durch dieses Verfahren können jährlich ca. 20% der Kosten durch die vermiedenen Verbrauchsablesungen und den reduzierten verwaltungstechnischen Aufwand eingespart werden. Abweichend von der Selbstnutzungs-Bedingung ist eine pauschale Verrechnung auch dann erlaubt, wenn mit den jeweiligen Nutzern einer Immobilie Direktlieferverträge abgeschlossen werden. Der Vermieter müßte diesem Vertrag Rechnung tragen, indem er die Wohnung nur "kalt", also ohne Pflicht zur Beheizung, vermietet. Für eine Pauschalabrechnung bei bestehenden Mietverhältnissen, wäre eine nachträgliche Abspaltung der Wärmelieferung vom abgeschlossenen Warmmietvertrag notwendig. Da dies rechtlich unzulässig ist, kann eine Pauschalabrechnung derzeit nur bei selbstgenutzten oder neuerbauten Objekten in Betracht gezogen werden.

Eine weitere Variante ist die Wärmemessung an einer zentralen Trennstation und die Verbrauchsermittlung der angeschlossenen Kunden über eine Heizkostenverteilung. Dazu müssen jedoch die Hauseigentümer ihre Hausanlagen in Form einer Eigentümergemeinschaft betreiben. Durch den Ersatz der Wärme-

mengenzähler können Einsparungen in Höhe von 10% der Jahreswärmekosten erreicht werden.

Dieser Wert entspricht einer Wärmebedarfsdichte, in diesem Fall der Flächendichte (MW/km^2), die eine erste Wirtschaftlichkeitsabschätzung⁴ ermöglicht.

-
- 2 Die hier beschriebene Gebäudetypologie basiert auf einer Studie des Instituts Wohnen und Umwelt (IWU) in Darmstadt, während die beschriebenen Siedlungstypen auf einer von Roth durchgeführten Untersuchung der bundesdeutschen Bebauungsstruktur fußen. Die IWU-Gebäudetopologie enthält repräsentative Haustypen verschiedener Baualtersklassen und -größen (Einfamilienhaus EFH, Zweifamilienhaus ZFH, kleines und großes (mehr als 4 Geschosse) Mehrfamilienhaus KMFH bzw. GMFH).
 - 3 Das dazu notwendige Umfassungsfläche/Bauwerksvolumen-Verhältnis kann entweder berechnet oder mit den Angaben im Diagramm abgeschätzt werden.
 - 4 Für diese Abschätzung ist in der Literatur häufig eine untere Grenze von ca. $30 \text{ MW}/\text{km}^2$ angegeben. In der Praxis finden sich aber auch Beispiele für wirtschaftliche Anschlüsse bei Wärmedichten von $11\text{-}20 \text{ MW}/\text{km}^2$

Berücksichtigt man, daß in der Praxis nie alle Abnehmer 100% der berechneten Wärmemengen gleichzeitig benötigen, ergeben sich Differenzen zwischen der Summe der Wärmebedarfswerte und der realen Wärmehöchstlast. Im Fernheizbetrieb wird i.a. ein Wert von 0,8 angenommen [Hakan86]. Damit ergibt sich für die Wärmehöchstlast $\dot{Q}_H$ des Siedlungsgebietes:

$$\dot{Q}_H = 0,8 \cdot \dot{Q}_S \quad (2.2)$$

Tabelle 2.1 :
Wohnfläche (m²) in
Abhängigkeit von
Baualter und
Gebäudetyp [IWU92]

Baujahr	Haustyp	EFH m ²	RH m ²	KMFH m ²	GMFH m ²
vor 1918		129	87	284	754
1919-1949		220	103	349	1349
1949-1957		101	136	593	1457
1958-1968		242	72	2845	3534
1969-1978		158	97	1500	3020
1979-1983		161	97	595	10408
1984-1987		136	81	1263	18012
nach 1987		168	105	1307	k. A.

Tabelle 2.2:
wichtige Kennzahlen
der Siedlungstypen
[Roth80]

Siedlungstyp	Beschreibung	Gebäudedichte
1	Ein- und Mehrfamilienhaussiedlung niedriger Dichte	400-800 pro km ²
2	Dorfkern und Einfamilienhaussiedlung hoher Dichte	900-1600 pro km ²
3	Reihenhaussiedlung	1000-2000 pro km ²
4	Zeilenbebauung mittlerer Dichte (Zwei-, Drei- u. Vierspänner mit 3-5 Geschossen)	500-1000 pro km ²
5	Zeilenbebauung hoher Dichte und Hochhäuser	360-690 pro km ²
6	Blockbebauung (Städtische Mehrfamilienhäuser, die ganze Straßenblöcke bilden)	800-1600 pro km ²
7	Citybebauung ab Mitte 19. Jahrhundert	1000-2000 pro km ²
8	Mittelalterliche Altstadt	2000-4000 pro km ²

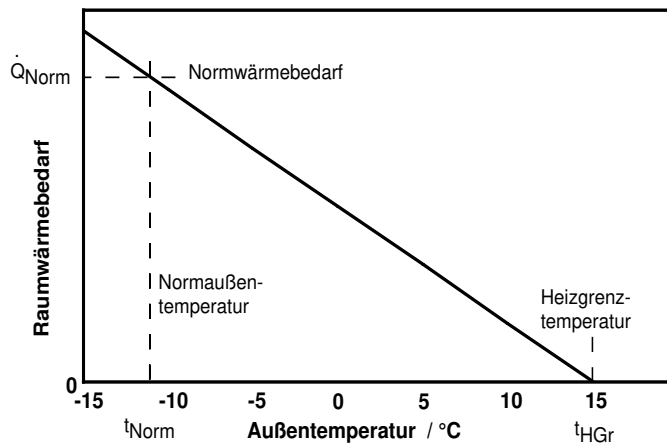
Der Jahres-Heizwärmeverbrauch kann mit Hilfe den jeweils gültigen Wärmeschutzverordnungen (WSchVO) abgeschätzt werden. Für Gebäude die vor 1984 errichtet worden sind, werden die Werte der 1. WSchVO verwendet, neuere Gebäude entsprechend ihres Erbauungszeitpunktes (vor oder nach 1995) der 1. oder 2. Novellierung der WSchVO zugeordnet (Bild 2.2).

(siehe G.Kurz *Nachrüsten von Fernwärme-Zentralheizungen in mit Einzelöfen beheizten Gebäuden* Fernwärme International 1992 Heft 2 S.30-33)

Jahresdauerlinien

Unter Berücksichtigung einer näherungsweise linearen Abhängigkeit zwischen Außentemperatur und Wärmebedarf und der Gleichsetzung des Normwärmebedarfes $\dot{Q}_{\text{Norm}}$ mit der maximal nachgefragten Wärme läßt sich aus der Jahresdauerlinie der Außentemperatur die Wärme-Jahresdauerlinie ableiten [ST97]. Die dem Normwärmebedarf zugehörige Normaußentemperatur t_{Norm} und die Häufigkeit der verschiedenen Außentemperaturen können entweder bekannten Regelwerken ([DIN4710]) entnommen oder von Wetterdiensten bezogen werden. Der lineare Zusammenhang zwischen Außentemperatur und Heizwärmebedarf ist grafisch anschaulich darzustellen (Bild 2.3).

Bild 2.3:
Abhängigkeit des
Raumheizwärme-
bedarfs von der
Außentemperatur



Zur Konstruktion wird neben dem bekannten Wertepaar (Normaußentemperatur/ Normwärmebedarf), eine Heizgrenztemperatur t_{HGr} von 15 °C angesetzt, ab der keine Raumheizwärme abgenommen wird.

$$\dot{Q} = \dot{Q}_{\text{Norm}} \cdot \frac{t_{\text{HGr}} - t}{t_{\text{HGr}} - t_{\text{Norm}}} \quad (2.4)$$

Mit dieser funktionellen Abhängigkeit und den oben angesprochenen Temperaturverteilungen lassen sich die entsprechenden Jahresdauerlinien konstruieren, indem jeder Außentemperatur ein Wärmebedarfswert zugeordnet wird. Mit den Daten der [DIN4710] ergibt sich für die Stadt Essen folgende mittlere jährliche Temperaturverteilung:

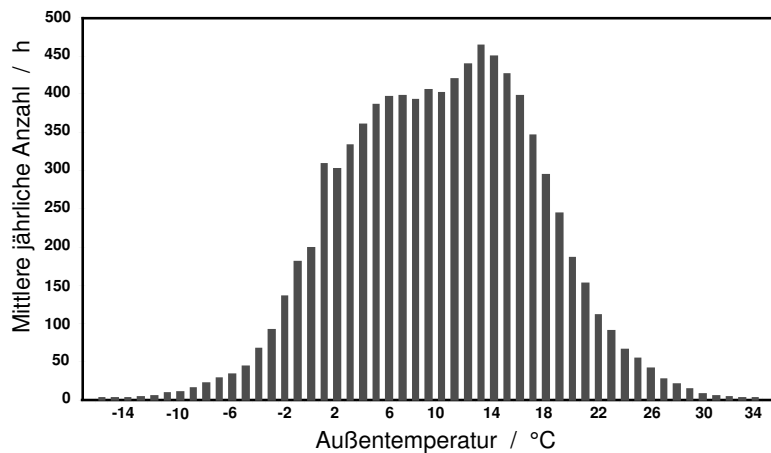


Bild 2.4:
Mittlere jährliche
Außentemperatur-
verteilung für die
Stadt Essen
[DIN4710]

Bei einem Versorgungsobjekt mit einem Normwärmebedarf von 500 kW und mit Hilfe der Normaußentemperatur (nach DIN 4701 für Essen -10°C) ergibt sich folgende Jahresdauerlinie:

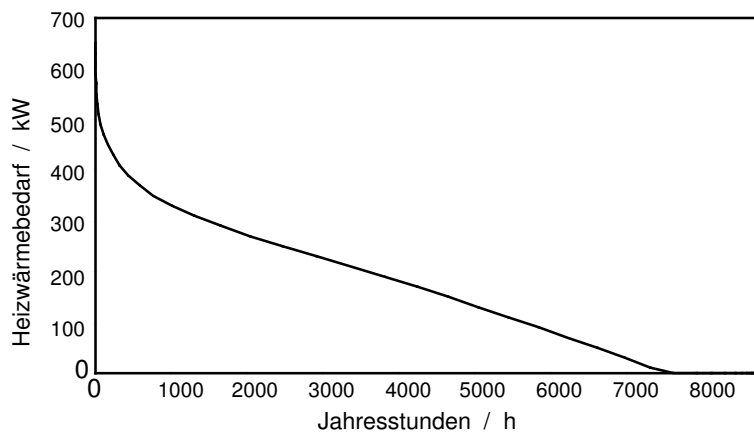


Bild 2.5:
Jahresdauerlinie des
Heizwärmebedarfs

Da die Normaußentemperatur für einige Stunden im Jahr unterschritten wird, liegt der Spitzenheizwärmebedarf in Bild 2.5 etwas höher als der Normwärmebedarf. Für die Auslegung des Wärmeerzeugers ist dies jedoch von untergeordneter Bedeutung.

Zu dem außentemperaturabhängigen Wärmebedarf muß noch ein je nach Objekt unterschiedlich hoher Grundlastanteil (bei Wohnobjekten durch die Warmwasser-

bereitung, bei gewerblichen oder industriellen Gebäude nutzungsabhängige Grundlasten) hinzuaddiert⁵ werden.

Mit den in der DIN 4710 angegebenen stündlichen Mittelwerte für die verschiedenen Monate könnten in gleicher Weise charakteristische Tagesganglinien ermittelt werden. Da aber diese Werte Mittelwerte über alle Tage eines Monats sind und somit einzelne Spitzenwerte stark abgeschwächt werden, sollte für eine Tagesgang-Berechnung nicht auf die DIN-Werte sondern auf andere Quellen zurückgegriffen werden.

⁵ Da der Grundlastanteil in der Realität von dem oben beschriebenen konstanten Verlauf abweicht, sollte man bei bestehenden Objekten eine Tagesgangaufnahme an der Heizgrenze zur Grundlastbestimmung vorziehen.

3 Wärmeerzeugung

BHKW

BHKW-Marktentwicklung

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 ungefähr einem Anteil von 5% an der deutschen Stromerzeugung. Dieser Anteil könnte in Zukunft auf bis zu 10% ansteigen [Pic96].

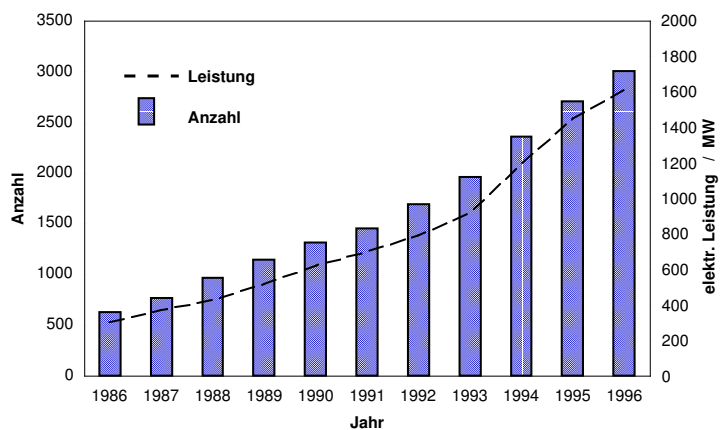


Bild 3.1:
Marktentwicklung
der BHKW-
Motorenanlagen

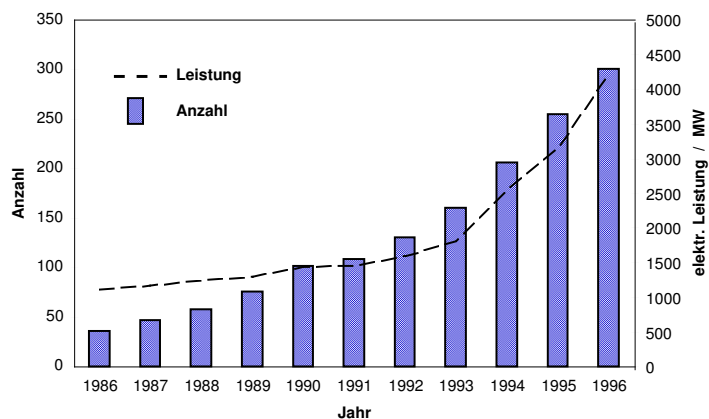
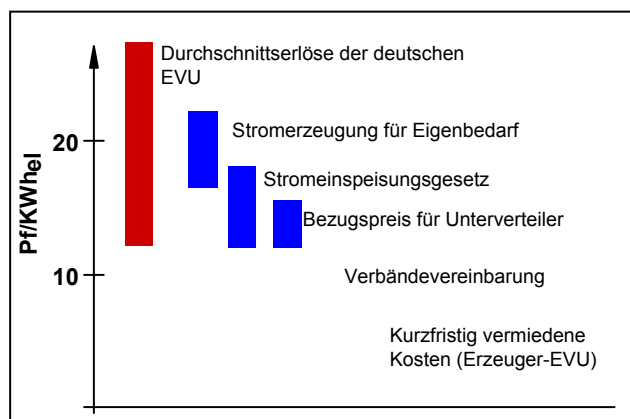


Bild 3.2:
Marktentwicklung
der BHKW-
Gasturbinenanlagen

Stromvergütung

Wird der Strom vom Betreiber selbst verbraucht, so wird der Strombezug in entsprechender Höhe vermieden und die Bewertung des erzeugten Stromes ist am höchsten (je nach Kunde 12 bis 23 Pf/kWh). Wesentlich geringer fällt die Bewertung bei Einspeisung ins öffentliche Netz aus: auf Basis der derzeit gültigen Verbändevereinbarung maximal 11 Pf/kWh. Bei einer 100%igen Stromeinspeisung können BHKW-Anlagen im Regelfall nicht wirtschaftlich betrieben werden.

Bild 3.3:
Spektrum der
Strombewertung in
Deutschland [DSA97]



Die nationalen Streitigkeiten über den Wert des in das öffentliche Stromnetz eingespeisten KWK-Stromes (Bild 3.3) wurden mit einem BGH-Urteil vom 2.7.96

zwar nicht beseitigt, jedoch der Grundsatz einer Vergütung nach den individuell vermiedenen Kosten des stromaufnehmenden EVU festgeschrieben. Die niedrigen Vergütungen gemäß Verbändevereinbarung sind laut BGH eine kartellrechtlich unbillige Behinderung. Der resultierende Beseitigungsanspruch für KWK-Betreiber und die einklagbare Offenlegung der vermiedenen Kosten werden in vielen Fällen zu einer Verbesserung der Erlössituation für die KWK führen. Letztlich werden für weiterverteilende EVU die Bezugsbedingungen bzw. für eigenerzeugende EVU die Konditionen zu denen Verteiler beliefert werden, als Bemessungsgröße heranzuziehen sein. Lediglich ein 5% iger Abschlag auf den Arbeits-/Leistungspreis ist laut BGH für Zusatzkosten zulässig. Der Zusatzbezug eines KWK-Betreibers bzw. die Reservevorhaltung ist bisher nicht geregelt. Im Sinne des Urteils dürften jedoch auch hier real verursachte Kosten anzusetzen sein. Dem Prinzip der vermiedenen Kosten folgt der City-Gate-Ansatz [Att97], bei dem auf der Basis eines Mittelwertes verschiedener Stromunternehmen mit vergleichbaren Versorgungsstrukturen eine Vergütungsregelung für Stromeinspeisung definiert wird.

BHKW: Hemmnisse in der Gesetzgebung

Aufgrund der im Mineralölsteuergesetz (MinöStG) vorgeschriebenen ortsfesten Aufstellung können derzeit⁶ innovative Konzepte, die im Sommer und Winter zwei unterschiedliche Einsatzorte vorsehen [Hidd96], nicht wirtschaftlich betrieben werden (Kosten für den Erdgaseinsatz würden sich durch Besteuerung verdoppeln). Seit April 1997 benötigen BHKW-Anlagen eine Einzelgenehmigung anstelle der bisherigen weitaus unbürokratischeren Anzeigepflicht. Weitere Probleme könnte die im MinöStG verankerte Bedingung bereiten, daß die erzeugte Wärme und elektrische Energie mindestens 60% der eingesetzte Brennstoffenergie nutzen müssen. Das Problem hierbei ist der ggf. geforderte meßtechnische Nachweis, wobei die Installation einer geeigneten Meßtechnik bei kleinen Anlagen erhebliche Mehrkosten verursachen würde.

Brennstoffzelle

Funktionsweise einer Brennstoffzelle

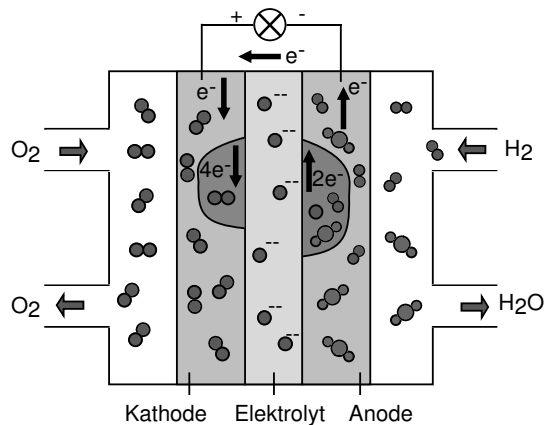
Am Beispiel der oxidkeramischen Brennstoffzelle wird die Funktion der Brennstoffzelle deutlich (Bild 3.4): In dieser Zelle wird eine Zirkondioxid-Keramik als fester Elektrolyt verwendet, die bei Temperaturen oberhalb von 650 °C Sauerstoffionen leitet. Diese Ionen werden unter Elektronenaufnahme an der Kathode gebildet und wandern durch das Elektrolyt zur Anode. Hier reagieren sie mit den

⁶ Da sich die Wirtschaftsministerkonferenz auf ihrer Sitzung im Oktober in Gotha für eine Änderung des Ortsfestigkeits-Kriteriums aussprachen, sind hier für 1998 positive Entwicklungen zu erwarten.

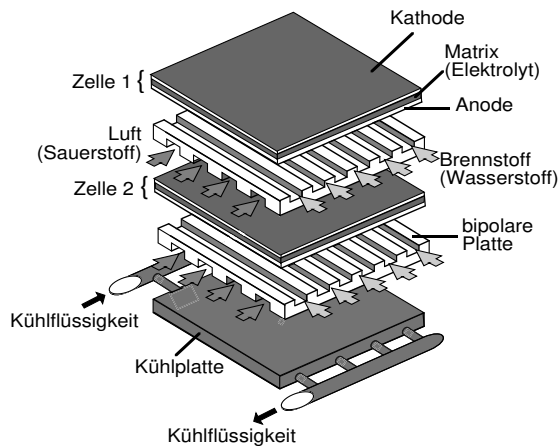
Wasserstoffionen, die unter Elektronenabgabe aus dem zugeführten Wasserstoff entstanden sind, zu Wasser. Durch die Verbindung der beiden Elektroden über einen äußeren Leiterkreis kommt es zu einem Stromfluß. Die Reaktionen sind stark exotherm, so daß neben der elektrischen Energie auch Wärme entsteht, die genutzt werden kann.

Die von einer Zelle gelieferte Spannung beträgt ungefähr 1 V. Deshalb werden die Zellen in einem Brennstoffzellenstapel (Bild 3.5), dem sogenannten Stack, in Reihe zusammengeschaltet, um eine höhere Gesamtspannung zu erreichen. Neben den eigentlichen Zellen beinhaltet der Stack auch eine Kühleinheit, die nach jeweils 4 bis 5 Einzelzellen die Überschusswärme abführt und die bipolare Platte, die sowohl für die elektrische Verbindung benachbarter Zellen, als auch für eine Trennung der zugeführten Luft- und Brennstoffströme sorgt.

Bild 3.4:
Prinzip einer SOFC-
Brennstoffzelle



3.5:
bau eines
nstoffzellen-
els



Typ	Temperaturbereich	Elektrolyt	Brennstoff	Oxidant	Wirkungsgrad
Niedertemperatur-BZ					
AFC	60-90 °C	30% Kalilauge	H ₂	O ₂	35 - 40 %
PEMFC	50-80 °C	protonenleitende Membran	H ₂	O ₂ , Luft	40%
Mitteltemperatur-BZ					
PAFC	160-220 °C	konzentrierte Phosphorsäure	Erdgas, Biogas, H ₂	O ₂ , Luft	40 - 42 %
Hochtemperatur-BZ					
MCFC	620-660 °C	Alkalikarbonat-schmelzen	Erdgas, Kohlegas, Biogas, H ₂	O ₂ , Luft	55 - 60 %
SOFC	800-1000 °C	Zirkondioxid-keramik	Erdgas, Kohlegas, Biogas, H ₂	O ₂ , Luft	55 - 60 %

Tabelle 3.3:
Charakteristische
Eigenschaften der
verschiedenen
Brennstoffzellen-
typen [Led95]
[WK96]

Biomasse

Biomasseaufbereitung für feste Brennstoffe

Die aus der Durchforstung der Wälder, Ufer- und Straßenbegrünung sowie den Windschutz- und Feldrandanpflanzungen stammenden Resthölzer werden zu Scheitholz oder Hackschnitzeln für die energetische Verwertung aufbereitet. Die Strohreststoffe dagegen werden zuerst einer Verdichtung zugeführt (Hochdruck-, Rund-, kubische Großballen, Compactrollen), um die Transport- und Lagerkosten zu reduzieren, und in Abhängigkeit von der Feuerungstechnik anschließend

komplett als Ballen, aufgespalten, gehäckselt oder als nachverdichtete Pellets thermisch verwertet. Um die Reststoffe der Möbel-, Baustoff-, Spanplatten-, Papier- und Spielwarenindustrie energetisch verwerten zu können, darf ihre vorhergehende Verarbeitung oder Nutzung nicht zu einer Anreicherung von Stoffen geführt haben, die bei der Verbrennung emissionssteigernde Wirkung besitzen.

Im Gegensatz zu den oben beschriebenen Reststoffen wird als Energiegetreide jede Getreidekultur bezeichnet, bei der der gesamte Aufwuchs als Brennstoff verwertet wird. Im Vergleich zum konventionellen Anbau unterscheidet sich die Produktionstechnik kaum; Unterschiede ergeben sich erst bei der Ernte. Dabei wird das Energiegetreide entweder getrennt in Korn und Stroh oder zusammen geerntet. Bei letztgenannter Variante werden die Pflanzen vor Ort oder nach Abtransport an einer zentralen Stelle zu Ballen oder Pellets gepreßt. Als Energiepflanzen werden auch schnellwachsende Baumarten, vor allem Pappeln und Weiden, verwendet. Hierbei ergibt sich jedoch keine jährliche Ernte, sondern sogenannte Rotationszeiten von 4-6 Jahren. Bei der Ernte wird das Holz zu Häckselgut verarbeitet, die Entwicklung entsprechend gut geeigneter Technik ist Bestandteil verschiedener aktueller Forschungs- und Entwicklungsprojekte. Hohe Erwartungen werden derzeit an die Energiepflanze Miscanthus geknüpft, vor allem aufgrund großer Ertragsprognosen. Derzeit bestehen aber noch Probleme bei der Erntetechnik und der optimalen Anbaustrategie.

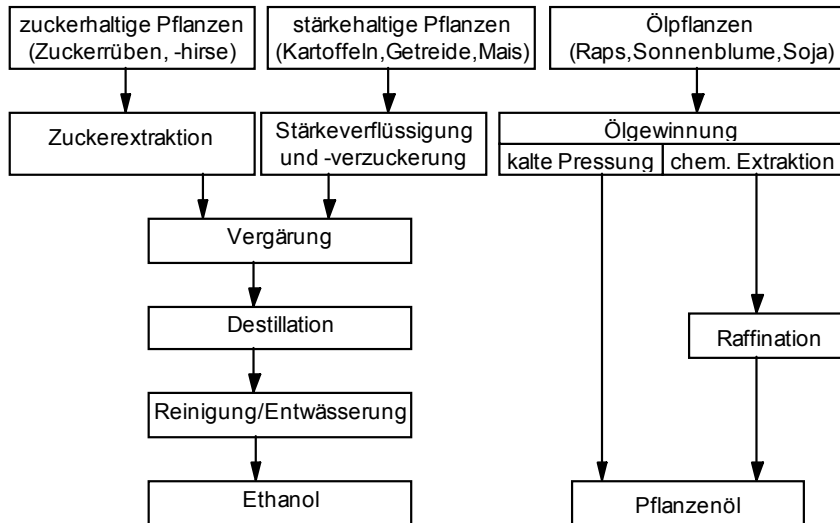
Biomassekonversion in flüssige Brennstoffe

Hierbei kommen vor allem öl-, kohlenhydrat- und cellulosehaltige Pflanzen zum Einsatz. Einen Überblick der üblichen Verfahren zeigt Bild 3.6. Die zur Ölgewinnung verwendeten Rapssorten haben einen durchschnittlichen Ölgehalt von 42% und bei der Ölausbeute sind maximal 99% erreichbar. Für eine energetische Verwertung in einem konventionellen Dieselmotor ist die sogenannte Umesterung notwendig, da das Öl sonst nur in Spezialmotoren⁷ verwertbar ist.

Bei der Bio-Ethanolherstellung werden hauptsächlich zuckerhaltige Rohstoffpflanzen verarbeitet. Als Einsatzgebiete für die energetische Verwertung kommen die Verwendung als Additiv für die Oktanzahlerhöhung in Kraftstoffen sowie die Beimischung zu fossilen Brennstoffen in Betracht.

⁷ Praktische Erfahrungen zeigen, daß diese Spezialmotoren bislang nur geringe Standzeiten aufweisen.

3.6:
versionsver-
en für flüssige
nstoffe



Biomassekonversion in gasförmige Brennstoffe

Biogas entsteht beim biochemischen Abbau organischer Stoffe unter Luftabschluß. Hauptbestandteilen sind Methan (55-70%), Kohlendioxid (29-43%) und geringe Mengen Schwefelwasserstoff. Neben den in der Abfall- und Abwasserwirtschaft üblichen Anlagen wird Biogas auch in der Landwirtschaft (Biogas aus Gülle) erzeugt. Die üblichen Anlagentypen werden nach Durchfluß- und Speicher-/Durchflußanlagen unterschieden. Bei der erstgenannten Anlage wird täglich kontinuierlich Gülle zu- und abgeführt, während bei der anderen Variante der Güllagerbehälter durch Isolierung und Einbau von Heizung und Rührwerk selbst zum Fermenter wird. Diese Anlagen besitzen längere Verweildauer und meist niedrigere Prozeßtemperaturen. Das erzeugte Biogas wird in Nieder- bzw. Hochdruckspeichern⁸ bevorratet, um Produktionsschwankungen auszugleichen.

Feuerungstechniken für feste biogene Brennstoffe

Der hohe Gehalt an flüchtigen Bestandteilen (bis 80 Gew.%) führt bei einer direkten Verbrennung zu groß dimensionierten Feuerräumen, da die austretenden Brenngase mit langer Flamme verbrennen. Damit diese Umsetzung möglichst vollständig abläuft, sollte im Feuerraum eine weitere Sauerstoffzugabe durch Sekundärluft erfolgen. Aufgrund der niedrigen Ascheerweichungstemperaturen

⁸ Dabei muß aus Korrosionsschutzgründen eine gründliche Entschwefelung und teilweise eine Verringerung des Wassergehaltes vorgesehen werden.

kann es besonders bei der Verbrennung von Stroh, Heu oder Miscanthus zu Verschlackungsproblemen kommen.

Bei den Feuerungsanlagen kommen die Rost-, die Unterschub-, die Wirbelschicht-, die Staubfeuerung oder speziell für Strohballen das sogenannte Zigarrenabbrandverfahren zum Einsatz. Hierbei werden die kompletten Strohballen dem Feuerraum zugeführt und an den Stirnseiten zigarrenartig abgebrannt. Dem geringen Aufbereitungsaufwand und dem einfachen Anlagenaufbau stehen das konstruktionsbedingt recht enge Brennstoffband (nur Großballen mit bestimmten Abmaßen) und die relativ träge Reaktion bei Änderung der Lastverhältnisse gegenüber.

Die klassischen Rostfeuerungen (Tabelle 3.4) können ein wesentlich breiteres Brennstoffband nutzen, wobei besonders im oberen Leistungsbereich ($>1 \text{ MW}_{\text{th}}$) die Vorschubrostfeuerungen überwiegen. Es können Brennstoffe mit hohem Wassergehalten, mit variierenden Korngrößen und mit hohem Aschegehalten eingesetzt werden, jedoch keine Mischungen aus holz- und halmgutartiger Biomasse [Ober97].

Tabelle 3.4:
Rostfeuerungen

Vorschubrostfeuerung	Schrägrostfeuerung	Schneckenrostfeuerung
unzerkleinerte Rinde, großstückig feuchte Brennstoffe mit hohem Aschegehalt	unzerkleinerte Rinde, Stückholz und feuchte Brennstoffe	trockene, feuchte, zerkleinerte Brennstoffe mit hohem Aschegehalt

Unterschubfeuerungen werden bis zu einer Feuerungsnennleistung von ca. 6 MW_{th} gebaut und sind für Brennstoffe mit niedrigen Aschegehalten geeignet (trockene und feuchte Holzspäne/Hackschnitzel). Aschereiche Brennstoffe führen zu Problemen bei der Ascheaustragung.

Verbrennungsanlagen mit Leistungen $> 10 \text{ MW}_{\text{th}}$ werden vorwiegend in der Wirbelschichttechnik ausgeführt, die eine gute Verträglichkeit gegenüber Schwankungen der Brennstoffeigenschaften aufweist und im Vergleich zu den anderen Verfahren einen geringeren leistungsspezifischen Raumbedarf hat.

Die aufwendige Brennstoffkonditionierung für die Staubfeuerungsanlagen läßt einen wirtschaftlichen Betrieb nur bei Großanlagen zu. Da auch hinsichtlich der Partikelgröße und der Brennstoffqualität bestimmte Mindestanforderungen eingehalten werden müssen, ist hier nur ein enger Brennstoffbereich verwertbar.

Prinzipien der Biomassevergasung

Für die Kraft-Wärme-Kopplung ist eine Verwertung fester, biogener Brennstoffe über den "Umweg" der Vergasung vorteilhaft. Der Heizwert des entstehenden Schwachgases wird durch den Gehalt an Wasserstoff (10-15%), Kohlenmonoxid (20-30%) und Methan (0-4%) bestimmt. Man unterscheidet drei wesentliche Vergasungsprinzipien: Gleichstrom-, Gegenstrom- und Wirbelschichtvergasung. Beim Gleichstromverfahren wird das Gas unter dem Rost abgezogen, wobei sich die Durchströmung des heißen Glutbettes positiv auf die Spaltung der problematischen Teere auswirkt. Vorwiegend kommt stückiges Holz mit einer Maximalfeuchte von rund 20% zum Einsatz. Höhere Wirkungsgrade liefert der Gegenstromvergaser, jedoch enthält das Gas meist kondensierbare Substanzen (Teere, Essigsäure, Wasser u.a.), deren Behandlung bzw. Entsorgung noch nicht befriedigend gelöst werden konnte.

Wie bei der Verbrennung eignet sich die Wirbelschichttechnik aufgrund der aufwendigeren Anlagentechnik und Prozeßsteuerung für größere Anlagenleistungen ab 5 MW_{th}. Die intensive Durchmischung von Gas und Brennstoff wirkt sich hierbei günstig auf die Vergasung aus. Außerdem ist diese Vergasungsvariante im Gegensatz zu den anderen Verfahren nicht auf stückige Biomasse beschränkt, sondern ermöglicht auch den Einsatz von z.B. Sägemehl, Klärschlamm, Grünschnitt etc. Durch Zugabe von Additiven in die Wirbelschicht ist auch eine Beeinflussung der Rohgaszusammensetzung (z.B. Entschwefelung) möglich. Der niedrige Schmelzpunkt mancher Aschen kann zu unerwünschten Verbackungen mit Substratteilchen oder mit dem Inertstoff führen.

Das gewonnene Gas muß intensiv gereinigt (Teergehalt⁹ < 50 ppm) werden, um in Schwachgasmotoren verwendet zu werden. Um eine Selbstzündung zu ermöglichen, wird oft ein Zweistoffbetrieb (mit 8-10% Diesel) gefahren.

9 Die Teergehalte betragen bei Gleichstrom 100-500 ppm, bei Gegenstrom- 2000-10000 ppm und bei Wirbelschichtvergaser 500-3000 ppm.

Biomasse-Nahwärmenetze, ausgeführte Beispiele

Ort	Art, Leistung und Brennstoffe Biomasseanlage	Verbraucherstruktur	Verlegesystem Vorlauf- temperatur	Hausstation	Gesamtkosten
Altershausen	Vorofen mit schamottierter Nachbrennkammer, Mischbetrieb mit Hackschnitzeln und Stroh, 450 kW	44 Wohnhäuser, 2 größere kommunale Bauten	PMR 85°C	indirekt; TWE mit Speicher	1,47 Mio. DM
Hauzenberg	2 Hackschnitzelkessel; vor allem Durchforstungsholz; gesamt 1.800 kW _{th}	nur kommunale Einrichtungen	KMR 90°C	indirekter Anschluß	2,69 Mio. DM
Vaterstetten	Hackschnitzelkessel, vor allem Durchforstungsholz, 500 kW	200 WE; Kindergarten; Bürogebäude	KMR 90°C	indirekt; TWE mit Speicher	1,6 Mio. DM
Buchenberg	Hackschnitzelkessel (70% Sägerestholt, 30% Durchforstungsholz), 900 kW	90 Wohneinheiten, komm. Einrichtungen	KMR 85°C	indirekt; TWE mit Speicher	3,46 Mio. DM
Eresing	Hackschnitzelkessel (50% Durchforstungsholz, 50% Säge-/Landschaftspflegeholz), 900 kW	22 Abnehmer in einem Gewerbegebiet	KMR 90°C	indirekt; TWE mit Speicher	1,60 Mio. DM
Immenstadt	Vorschubrostfeuerung; eingesetzt werden Durchforstungsholz, Mähgut, Sägewerksrestholz; 1.200 kW	Tagesheim, 2 Schulen, Hallenbad, Sporthalle, Krankenhaus	KMR (bestehendes Netz) 95 °C	indirekt	2,6 Mio. DM / nur Biomasseheizwerk
Ascha	2 Hackschnitzelkessel; Landschaftspflegeholz, Durchforstungsholz; 1.400 kW	6 Gewerbebetriebe, 40 Wohngebäude, 3 öffentl. Gebäude, Kirche	KMR 75°C	indirekt; TWE mit Speicher	3,5 Mio. DM
Wolpertshausen	Biogasanlage; Gülle u. organ. Reststoffe; 2 BHKW-Module mit insg. 350 kW _{th} /260 kW _{el} ;	26 Wohneinheiten, mehrere Gewerbebetriebe	KMR+PMR 80°C (in Planung)	indirekt; TWE mit Speicher	3,0 Mio. DM (Biogasanlage) 0,45 Mio. (Wärmenetz)
Bad Säckingen	Unterschubfeuerung mit Sägespänen; 2 Kessel mit gesamt 2.200 kW _{th}	250 Wohneinheiten u. Industriebetrieb	KMR 100°C	direkt; TWE mit Speicher	2,8 Mio. DM
Oberwolfach	Rostfeuerung (Treppenrost); Hackschnitzel aus Wald- u. Sägerestholt; 380 kW _{th}	43 Ein- und Zweifamilienhäuser; 2 Gewerbebetriebe	KMR+PMR/ 80°C	indirekt; TWE mit Speicher	1,7 Mio. DM
Sulzbach-Rosenberg	2 Biomassefeuerungen mit nachgeschaltetem Abhitze-kessel; land- u. forstwirtschaftl. erzeugte Biomasse / Reststoffe der Holzind.; gesamt: 22 MW _{th} 4,2 Mw _{el} (bei Kond.betrieb)	Versorgung der Stadt (gem. Struktur aus Privathäusern und Gewerbebetrieben)	(bestehendes Netz)/ 90°C	indirekt; TWE mit Speicher	35 Mio. DM (nur das Biomasseheizkraftwerk)

Freihung	Vorofen mit Nachbrennkammer; Holzschnittel; 1,1 MW _{th}	15 private Gebäude+mehrere öffentl.Gebäude	PMR/ 90°C	indirekt; TWE mit Speicher	1,2 Mio. DM
----------	--	--	-----------	----------------------------	-------------

Tabelle 3.5: Nahwärmenetze auf der Basis von Biomasseverwertung

Die Vorlauftemperaturen liegen in allen Netzen deutlich unterhalb von 100 °C. Trotz der bei diesen Bedingungen vorteilhaften direkten Anbindung, wurden überwiegend indirekte Verbraucheranschlüsse vorgesehen. Bei den Planern war der Sicherheitsgedanke und die Abgrenzung der Systeme Wärmenetz-Hausanlage entscheidend. Die Warmwasserbereitung wurde stets mittels Speichersystemen in die Wärmeversorgung integriert.

Der Großteil der geförderten Projekte erhält Zuwendungen aus den Land- und Forstwirtschaftsministerien, die eine positive Auswirkungen auf die Land- und Forstwirtschaft erhoffen. Daher wird in den meisten Förderrichtlinien der Einsatz sogenannter Billigmacher (Sägerestholz, Sägespäne etc.) limitiert (z.B. in Bayern auf maximal 50%).

Die Vergütung bezogener Biomassebrennstoffe erfolgt teilweise nicht anhand der gelieferten Menge, sondern in Abhängigkeit von der effektiven Nutzwärme, die mit diesen Lieferungen erzielt wird. Des weiteren haben z.B. die Stadtwerke Immenstadt in ihrem Vertrag mit der Forstgemeinschaft eine Abnahme der Verbrennungsrückstände vorgeschrieben. Durch diese Regelungen sind die Landwirte angehalten, trockenes, unbelastetes Holz bzw. Hackschnittel zu liefern.

Geothermie

Hydrothermale Geothermie

Unter hydrothermaler Geothermie wird die direkte Nutzung des energetischen Potentials der Tiefenwässer oder heißer Quellen zusammengefaßt. Der Großteil der Anlagen und Projekte ist im Nordostdeutschen Becken bzw. im süddeutschen Molassebecken sowie im Oberrheingraben (Bild 3.7) zu finden. Die nordostdeutschen Thermalwässer sind ebenso wie die im Oberrheingraben stark mineralisiert und können daher nicht in den Vorfluter abgelassen, sondern müssen verpreßt werden. Ferner sind die hochkorrosiven Thermalwässer bei der Auslegung zu beachten (ggf. Titanausführung). Auf die zweite Bohrung¹⁰, Dublette genannt, kann im Molassebecken oft verzichtet werden, da hier hauptsächlich Süßwasser

¹⁰ Die Entfernung der beiden Bohrungen muß dabei so gewählt werden, daß die Abkühlungsfront des injizierten Wassers frühestens nach 30 Jahren die Förderbohrung erreicht .

gefordert wird¹¹. Aufgrund der guten Wasserqualität kann dieses Wasser meist noch zu Trinkwasserzwecken bzw. für Bäder verwendet werden.



Bild 3.7:
Gebiete mit hydro-
thermalen Wärme-
vorkommen in
Deutschland

Derzeit existieren ca. 16 Anlagen mit Leistungen größer $100 \text{ kW}_{\text{th}}$, deren rein geothermische Leistung ungefähr $24 \text{ MW}_{\text{th}}$ beträgt, wobei die Wasser- bzw. Soletemperatur meist deutlich unter 100°C liegt [Clau97]. Den Hauptteil der Investitionskosten hydrothermalen Anlagen nehmen die Bohrungen ein¹² (50-75% bzw. im Bereich von 1.000 bis 3.000 m Kosten zwischen 2 und 6 Mio. DM pro Bohrung). Bei hoher Vollaststundenzahl in der Grundlast ergeben sich Wärmegestehungskosten zwischen 4,4 und 10 Pf/kWh. Die Wirtschaftlichkeit von geothermischen Anlagen kann durch Mehrfach- bzw. Kaskadennutzung erhöht werden. Deshalb wird das Thermalwasser oft nach der Abkühlung für therapeutische Zwecke verwendet. Bei der kaskadenweisen Nutzung des Wassers werden die Kunden gemäß Temperaturanforderung bedient.

¹¹ Natürlich geht dies nur solange, wie die entnommene Menge kleiner als die Neubildungsrate des Thermalwasserreservoirs ist.

¹² Deshalb wird das hohe wirtschaftliche Risiko einer Fehlbohrung in Bayern durch Übernahme von Fündigkeitsrisiken und in Brandenburg durch Übernahme von Bohrkosten begrenzt.

Hydrothermie-Projekte

Ort	Inst. Leistung	Nutzung ¹³	Temperatur
Neustadt-Glewe	10,7 MW _{th}	H	95 °C
Neubrandenburg	10 MW _{th}	H	54 °C
Waren (Müritz)	5,2 MW _{th}	H	60 °C
Wiesbaden	1,76 MW _{th}	H,S	69 °C
Staffelstein	1,70 MW _{th}	H,S	54 °C
Birnbach	1,4 MW _{th}	H,S	70 °C
Biberach	1,17 MW _{th}	G,S	49 °C
Buchau	1,13 MW _{th}	H,S	48 °C
Urach	1,00 MW _{th}	H,S	58 °C
Aachen	0.82 MW _{th}	H,S	68 °C
Waldsee	0.44 MW _{th}	H,S	30 °C
Baden-Baden	0.44 MW _{th}	H,S	70 °C
Füssing	0.41 MW _{th}	H,S	56 °C
Griesbach	0.20 MW _{th}	G,H,S	60 °C
Weiden	0.20 MW _{th}	H,S	26 °C
Ems	0.16 MW _{th}	H,S	43 °C

Tabelle 3.6:
Realisierte Projekte
[Clau97]

Ort	Jahr	Leistung	Nutzung ¹³	Tiefe / m	Temperatur
Erding	1997	20 MW _{th}	H,S,W	2350	65 °C
Simbach am Inn	2000	20 MW _{th}	H,S	2300-2400	90-100 °C
Altötting	2000	16 MW _{th}	H,S	2200-2300	90-100 °C
Neufarn	2000	10-15 MW _{th}	H	1600-1800	80-85 °C
Marktschwaben	1999	12 MW _{th}	H	2500-2600	80-85 °C
Straubing	2000	12 MW _{th}	H,W	850	38 °C
Bayreuth	1998	6 MW _{th}	H,S,W	1100	31 °C
Endorf	1997	6 MW _{th}	H	2500	65-70 °C
Krumbach	2000	6 MW _{th}	H,S	1500-1600	55 °C
Lobenstein	1998	2-3 MW _{th}	H,S,W	1600	50 °C
Meppen	2000	2.5 MW _{th}	H,S	1500	60 °C
Ehrenfriedersdorf	1996	0.4-1.2 MW _{th}	H	50, 143	11-14 °C

Tabelle 3.7:
In Realisierung
begriffene Projekte

Hot-Dry-Rock-(HDR)-Verfahren

Beim HDR-Verfahren wird die Erdwärme im trockenen, heißen Gestein genutzt, indem über eine Injektionsbohrung Wasser in die meist einige Kilometer tief liegenden Gesteinsschichten gepreßt wird. Dabei werden vorhandene Risse aufgeweitet und teilweise neue geschaffen. Durch dieses System von Rissen und Brüchen zirkuliert das Wasser, wobei es sich aufheizt, und anschließend über eine

¹³ H = hydrothermale Gebäudeheizung, G = Gewächshaus, S = Thermalbad

zweite Bohrung (Produktionsbohrung) an die Oberfläche gefördert wird. Das Heißwasser kann zur Nahwärmeversorgung oder Erzeugung von elektrischem Strom (mittels einer ORC-Anlage¹⁴) genutzt werden.

Das HDR-Verfahren ist überall dort interessant, wo die geothermischen Gradienten (Anstieg der Temperatur im Gestein mit zunehmender Tiefe) höher als 50 °C/km sind. Wegen der höheren Temperaturen besitzt eine HDR-Anlage einen besseren Wirkungsgrad als andere geothermische Verfahren.

Die Wirtschaftlichkeit einer solchen Anlage hängt sehr stark von der Durchlässigkeit des Gesteins für die Flüssigkeitszirkulation ab. Je nach Poren- und Rißgröße des Gesteins ergeben sich unterschiedliche Fließwiderstände, die durch Pumpen überwunden werden müssen. Desweiteren ist die Wärmeleitfähigkeit des Gesteins entscheidend, wobei z.B. Granit oder Gneis mit ihren hohen Werten sehr günstige Eigenschaften besitzen.

Für eine sinnvoll nutzbare Bohrung müssen Fließraten von 50-100 l/s erreicht werden [BINE91]. Beispielrechnungen zeigen, daß es für die Erzeugung elektrischer Energie optimale Tiefen und Zirkulationsraten für eine HDR-Anlage gibt. Für eine HDR-Anlage, bestehend aus drei Wärmetauschern á 1 km² in einer Tiefe von 5,5 km, wurden bei 250°C Gesteinstemperatur und Fließraten von dreimal 25 l/s Stromgestehungskosten von 20 Pf/kWh ermittelt [BINE91].

Erdwärmekollektoren

Erdwärmekollektoren stellen i.d.R. die kostengünstigste Variante oberflächennaher Geothermie dar. Voraussetzung ist jedoch eine ausreichende Fläche. Die Verlegung der Rohre¹⁵ erfolgt i.a. in 80-160 cm Tiefe¹⁶, schlangenförmig¹⁷ mit einem Verlegeabstand von mindestens 1 m.

Die Wärmeleistung des Erdbodens liegt zwischen 20 und 40 W/m² [Wie96]. Für 1 kW installierte Heizleistung ist in [SH96] ein Mittelwert von 53 m Rohr auf 39 m² Fläche angegeben. Ebenso kann die Auslegung nach einem Nomogramm (Bild 3.8)

14 Beim ORC (Organic-Rankine-Cycle)-Prozeß handelt es sich um einen dem Dampfturbinenprozeß vergleichbaren Kreiprozeß, dessen Kreislaufmedium jedoch nicht Wasser, sondern ein Stoff mit niedrigem Siedepunkt ist.

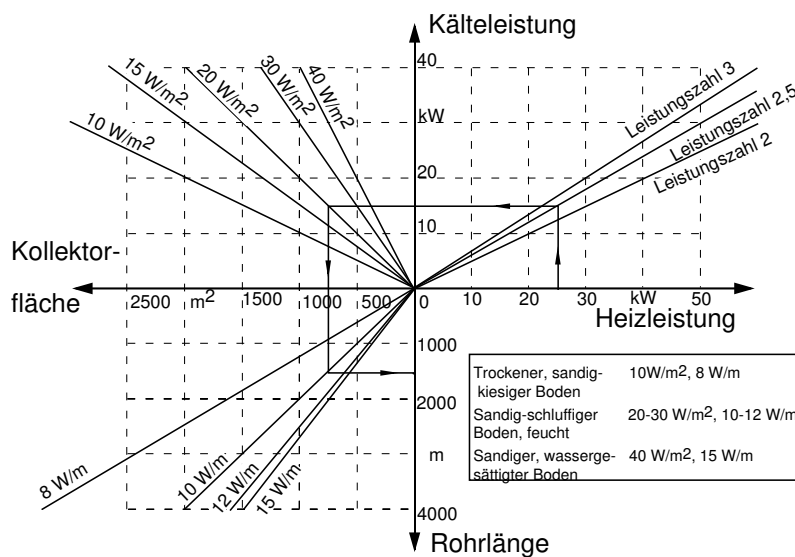
15 Als Rohrmaterial kommt vorrangig HD-Polyethylen zum Einsatz. Dagegen werden bei sogenannten Direktverdampfungsanlagen (statt des Wärmeträgermediums zirkuliert das Arbeitsmittel der Wärmepumpe in den Rohren) Edelstahl- oder Kupferrohre verwendet.

16 Bei geringer Tiefe sinken einerseits die winterlichen Tiefstwerte, andererseits wird die frühjährliche Regeneration eher erreicht.

17 Bei Platzmangel sollten kompakte Sonderformen eingesetzt werden (Spiral- und Grabenkollektor).

erfolgen. Ausgehend von der benötigten Heizleistung und der Leistungszahl der Wärmepumpe wird mit Hilfe der entsprechenden bodenspezifischen Kennwerte die notwendige Rohrlänge des Kollektors ermittelt.

3.8:
Diagramm zur
Berechnung von
Wärmepumpen-
Leistungszahlen [SIA88]



Erdwärmesonden

Bei den Erdwärmesonden werden Wärmetauscherrohre¹⁸ in Bohrungen eingebracht oder direkt eingerammt bzw. eingespült (bei Lockergesteinen). Da für Bohrungen von mehr als 100 m Tiefe nach §127 des Bundesberggesetzes ein bergrechtlicher Betriebsplan zwingend vorgeschrieben ist, sollte diese Grenze nicht überschritten werden. Als Sonden werden heute nur noch Doppel-U-Sonden eingesetzt, wobei der Abstand zwischen den Sonden mindestens 5 m betragen soll [Ram95]. Die möglichen Leistungen betragen 50-60 W/m. Es ist zu beachten, daß für diese Anlagen eine wasserrechtliche Genehmigung notwendig ist [Ram95].

Erdwärmesonden können nach einem Nomogramm (Bild 3.9) ausgelegt werden, das in der Schweiz entwickelt wurde und in dem die Klimaeinflüsse durch die Höhe über dem Meeresspiegel eingehen. Dabei wird ausgehend von der benötigten Wärmeleistung und -menge mit Hilfe der geographischen Höhe und der Wärmepumpenleistungszahl sowie den Wärmeleitfähigkeiten des Gesteins die

¹⁸ Überwiegend werden HDPE-Rohre verwendet (bei gerammten Sonden ist jedoch Stahl notwendig, der einen kathodischen Korrosionsschutz benötigt).

Sondenlänge bestimmt (wobei hier nochmals unterschieden wird zwischen einer oder zwei Sonden).

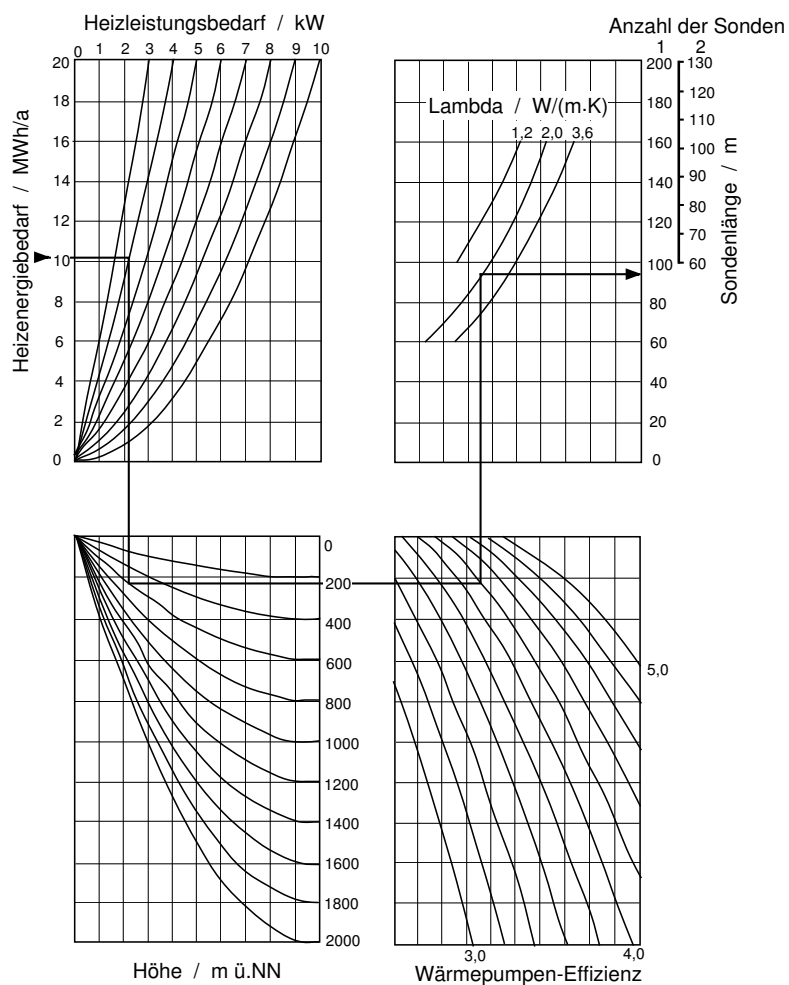


Bild 3.9:
Nomogramm zur
Auslegung von 1-2
Erdwärmesonden
[SHH95].

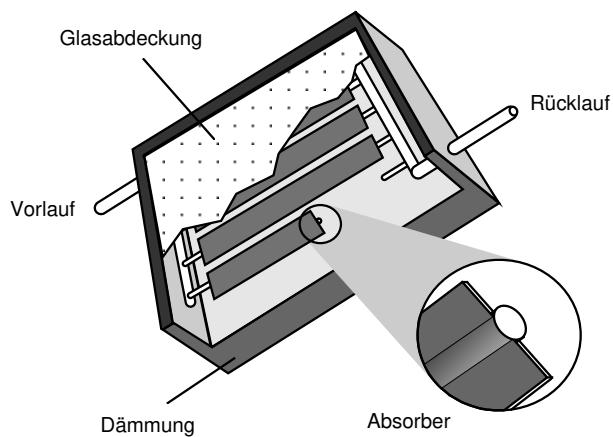
Realisierungsbeispiele Oberflächennaher Geothermie

Tabelle 3.8:
Beispiele realisierter
Anlagen

Objekt	Ort	inst.Leistung	Anlagencharakteristik
Grundwassernutzung			
Grundschule	Verl	326 kW _{th}	2/2; 13,9 l/s
Erdsonden			
Wohnanlage	Kochel am See	209 kW _{th}	21 à 98 m PE
Büro-Komplex	Gladbeck	280 kW _{th}	32 à 60 m (sowie Kollektor)
Büro-Komplex	Düsseldorf	120 kW _{th}	73 à 35 m
Wohn- u. Bürogebäude	Frankfurt-Höchst	450 kW _{th}	31 à 50 m

Solarthermie

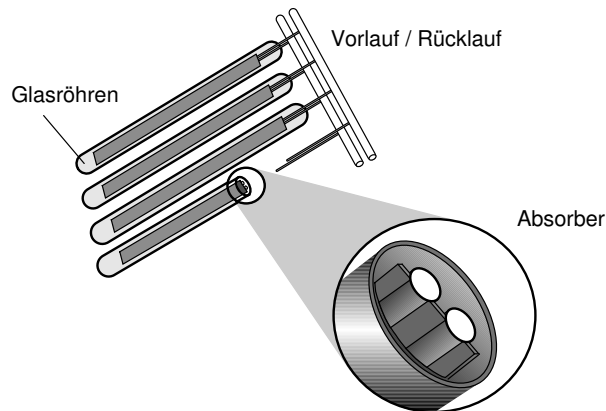
Flachkollektor



Der Flachkollektor besteht aus einem Absorber, der die Sonnenstrahlung in Wärme umwandelt und an das Wärmeträgerfluid überträgt, und einem isoliertem Gehäuse zur Reduzierung der Wärmeverluste. Da das Gehäuse nicht evakuiert ist, entstehen durch die Wärmeabstrahlung und die vergleichsweise gute Wärmeleitung höhere Wärmeverluste als bei Vakuumröhrenkollektoren. Eine Verbesserung der Isolierung durch eine Doppelverglasung könnte zwar die Wärmeverluste verringern, zugleich würde jedoch ein größerer Anteil des einfallenden Lichtes reflektiert, so daß der Kollektorwirkungsgrad konstant bliebe [Schül94].

Vakuumröhrenkollektor

Bild 3.11:
Vakuumröhren-
kollektor [Schül94]



Der Vakuumröhrenkollektor besteht aus einem Absorber, der in einer evakuierten Glasröhre die Sonnenstrahlung in Wärme umwandelt und an das Wärmeträgerfluid überträgt. Die Wärmeverluste sind im Vergleich zu einem Flachkollektor geringer, so daß höhere Kollektorwirkungsgrade und höhere Temperaturen erzielt werden können. Die aufwendigere Konstruktion führt jedoch zu höheren Kosten, so daß im Bereich der Brauchwassererwärmung und der Nahwärme Flachkollektoren vorgezogen werden [Schül94].

Solarkollektoren - Aufbau und Ausrichtung

Die Montage der Solarkollektoren kann entweder zentral oder dezentral auf entsprechend ausgerichteten Dachflächen erfolgen. Die dezentrale Variante wird aufgrund des großen Flächenbedarfs bei großen und mittleren Versorgungsgebieten vorrangig eingesetzt. Hierzu ist ein Solarleitungsnetz zusätzlich zum Fernwärmenetz erforderlich. Um die Kosten zu verringern, kann anstelle des Vier-Leiter-Netzes ein modifiziertes Drei-Leiter-System (Fernwärme- und Solarrücklauf werden zusammengelegt) eingesetzt werden. [Küb96]. Bei zentral angeordneten Kollektoren ist kein Solarleitungsnetz notwendig, aber es werden an zentraler Stelle sehr große Flächen zur Aufstellung der Solarkollektoren benötigt. Die Ausrichtung des Solarkollektors sollte in Süd-Richtung unter einem Winkel von 45° erfolgen. Eine Abweichung nach Süd-West bzw. Süd-Ost oder ein Anstellwinkel von 30° bzw. 60° führen jeweils zu einer Leistungsminderung von ca. 10 % [Schül94].

Saisonale Wärmespeicher

Als saisonale Wärmespeicher können Wasserspeicher, Erdsondenspeicher und Aquifere dienen. Wasserspeicher sind zumeist Betonbehälter, die sich größtenteils unter der Erde befinden und ein Volumen von mehreren Tausend Kubikmetern haben. Die Innenseite des Betons muß wasserdicht ausgeführt werden; nach außen ist zur Minimierung der Wärmeverluste eine Isolierung vorzusehen. Da es sich um einen Schichtenspeicher handelt - d.h. das warme Wasser bleibt aufgrund der geringeren Dichte im oberen Bereich und das kältere Wasser am Boden des Behälters - kann auf eine Isolierung des Bodens verzichtet werden [Stan96] [Gui96].

Aquifer

Ein Aquifer ist ein stehender unterirdischer Wassersee bzw. eine mit geringer Geschwindigkeit fließende Grundwasserader, bei der über einen Brunnen heißes Wasser ein- und ausgespeichert wird. Evtl. kann eine Betonbarriere in Form eines großen, oben und unten offenen Zylinders den Energieverlust durch fließendes Grundwasser verringern. Ein Aquifer verhält sich aufgrund von Konvektion wie ein Schichtenspeicher, d.h. das heiße Wasser ist in geringerer Tiefe als das kalte. Näherungsweise kann davon ausgegangen werden, daß ein Aquifer um den Faktor 1-2 größer als ein isolierter, abgeschlossener Wasserspeicher aus Beton sein muß. Genauere Berechnungen sind jedoch nur bei exakter Kenntnis der geologischen Gegebenheiten möglich [Küb96] [Hüb96].

Erdsondenspeicher

In geeignetem Untergrund, der möglichst dicht und wassergesättigt sein sollte, kann der Erdboden mit dem gespeicherten Wasser selbst als Wärmespeicher verwendet werden. Dazu werden senkrechte Bohrungen eingebracht, über die die Wärme ein- und ausgespeichert werden kann. Da es sich hierbei aufgrund der fehlenden Konvektion um keinen Schichtenspeicher handelt und die Wärme schlechter weitergeleitet wird, ist im Vergleich zum Wasserspeicher ein insgesamt ca. 5 mal so großes Volumen als Speicher notwendig [Küb96]. Weiterhin ergeben sich größere Wärmeverluste, so daß eine größere Kollektorfläche geplant oder eine geringere solare Deckungsrate hingenommen werden muß [Gui97] [BINE16].

Realisierte Projekte Solarthermie

Tabelle 3.9:
Realisierte
Solarthermie
Projekte

Ort	Hamburg-Bramfeld	Friedrichshafen-Wiggenhausen	Neckarsulm-Amorbach
Wohnsiedlung	123 WE	570 WE	560 WE
Wohnfläche	14.800 m ²	39.500 m ²	
Heizwärmemenge	1.045 MWh/a	2.736 MWh/a	
spez. Heizmenge	71 kWh/m ² a	69 kWh/m ² a	
Warmwassermenge	396 MWh/a	1177 MWh/a	
Gaskessel	700 kW	1650 kW	
Trassenlänge	1.000 m	400 m	
Gesamtwärmemenge	1.610 MWh/a	4.106 MWh/a	
Solarenergiegewinn	800 MWh/a	1.915 MWh/a	
Kollektorfläche	3.000 m ²	5.600 m ²	5.500 m ²
spez. Solargewinn	268 kWh/m ² a	342 kWh/m ² a	
Speichergröße	4.500 m ³	5.600 m ³	65.000 m ³
Speicherart	Wasserspeicher	Wasserspeicher	Erdsondenspeicher
Speicherkosten	370 DM/m ³	240 DM/m ³	
Solare Wärmekosten	65 Pf/kWh	40 Pf/kWh	
Solare Deckung	50 %	47 %	Ziel 50 %
Literaturquelle	[BINE16]	[BINE16]	[Fisch96]

Stirlingmotor

Stirlingmotor

Obwohl bereits 1816 von dem gleichnamigen schottischen Pfarrer erfunden, fristet die Stirlingmaschine derzeit eher ein Schattendasein, da sie nur in sehr speziellen Technikbereichen angewendet wird (zur Gasverflüssigung, als Miniaturkühler). Aufgrund ihrer Unabhängigkeit vom eingesetzten Brennstoff und der günstigen Trennung von Wärmeerzeugung und Wärme-nutzung mit KWK wird die Technik des Stirlingmotors heute wieder aufgegriffen und weiterentwickelt.

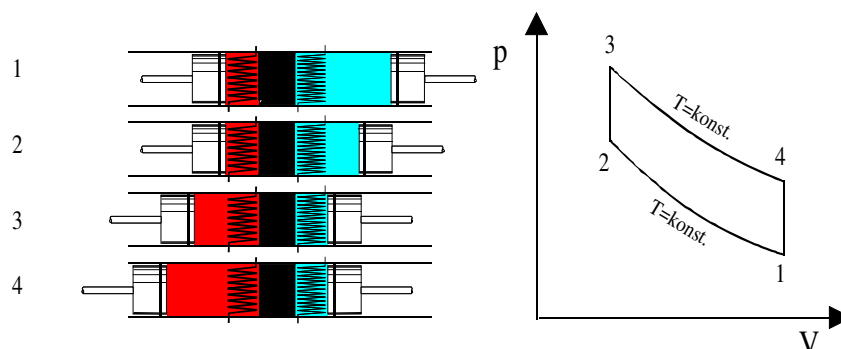


Bild 3.12:
Idealer Stirlingprozeß

Die Stirlingmaschine ist gekennzeichnet durch eine zyklische Kompression und Expansion einer konstanten Gasmenge auf jeweils unterschiedlichem Temperaturniveau. Bild 3.12 zeigt eine Darstellung des idealen Stirlingprozesses: In einem Zylinder (Kompressionsraum) wird das Arbeitsgas bei niedriger Temperatur isotherm verdichtet (die entstehende Wärme wird über einen Kühler abgegeben) [1-2]. Anschließend wird das Arbeitsgas isochor erwärmt, indem es über den Regenerator in den Expansionsraum geschoben wird [2-3]. Durch die Erwärmung bei konstantem Volumen nimmt der Druck weiter zu. Bei dieser hohen Temperatur findet eine isotherme Expansion statt (die notwendige Wärme wird über einen Erhitzer zugeführt) [3-4]. Der Kreisprozeß¹⁹ schließt sich, indem das Arbeitsgas zurück in den Kompressionsraum strömt und dabei im Regenerator Wärme abgibt.

Im Unterschied zum Otto- und Dieselmotor besitzt der Stirlingmotor geschlossene Arbeitsräume und die Wärmezufuhr erfolgt von außen. Somit können Verbrennungsrückstände nicht in das Motorinnere dringen, was die Wartung und den Verschleiß reduziert. Aufgrund der äußeren Verbrennung fehlen Ventile, Steuerorgane oder Einspritzanlage, so daß die bei normalen BHKW's üblichen Wartungsintervalle (etwa alle 1.500 Stunden Öl-, Zündkerzenwechsel oder Ventilspeleinstellung) deutlich verlängert werden können (Servicearbeiten erst nach 5.000-10.000 Stunden nötig). Weiterhin ermöglicht diese Konstruktion einen vom Verbrennungsverfahren und Brennstoffen unabhängigen Betrieb. So können als Wärmequellen auch Rauchgase aus Biomassefeuerungen, Solarwärme oder Hochtemperaturabwärme verwendet werden.

Als Arbeitsgas wird vorwiegend Helium verwendet. Luft ist aufgrund der Strömungsverluste nicht geeignet. Wasserstoff wäre eigentlich am günstigsten, da es eine hohe Wärmekapazität mit einem sehr geringen Strömungswiderstand verbindet, aber bei den hohen Arbeitsdrücken (150-190 bar) kommt es zu erheblichen Dichtigkeitsproblemen und damit zu Explosionsgefahren. Die aus den Arbeitsdrücken und -temperaturen resultierenden Material- und Fertigungsanforderungen beeinflussen natürlich die Fertigungskosten. Zur Zeit existiert noch keine Serienfertigung dieser Module, so daß hohe Kosten den Einsatz der Stirlingmaschinen hemmen. Darüber hinaus sind sie leistungsspezifisch 3-5mal so schwer wie konventionelle Verbrennungsmotoren. Weiterhin bestehen noch Defizite in der Herstellung von Pheripheriekomponenten, wie z.B. dem Erhitzerkopf. Inwiefern aggressive Gase hier zur Korrosion oder Feststoffverbrennung zu

¹⁹ Wird der Kreisprozeß entgegengesetzt (Verdichtung [4-3] usw.) durchlaufen, ergibt sich eine Stirling-Kältemaschine, deren Expansion nun auf einem sehr niedrigen Temperaturniveau (beispielsweise -50°C) erfolgt; die dabei aufgenommene Wärme führt zu einer Abkühlung der Umgebung. Liegt das untere Temperaturniveau in der Nähe der Umgebungstemperatur, erfolgt dementsprechend die Wärmeabgabe auf höherem Temperaturniveau (z.B. 70°C), weshalb man hier von einer Stirling-Wärmepumpe spricht.

Ablagerungen führen können, bedarf noch weiterer Entwicklungs- und Forschungsarbeit.

Da die konventionellen Motoren mit innerer Verbrennung im unteren Leistungsbereich (i.a. < 50 kW) relativ hohe Schadstoffemissionen besitzen und geringere Betriebsstunden erreichen, wird in diesem Bereich der Mini-BHKW's der Markteinstieg des Stirlingmotors angestrebt. Aktuelle Projekte laufen derzeit in Deutschland bei der Solo Kleinmotoren GmbH²⁰, der Magnet-Motor GmbH²¹ und der Saarberg Hydraulik GmbH. Im Jahre 1995 erprobte die erstgenannte Firma die Kombination von Biomasseverbrennung und Stirlingmotor, indem die gereinigten Rauchgase einer Wirbelschichtfeuerung (eingesetzt wurden Holzschnitzel aus Pinien u.a. Durchforstungsholz) als Wärmequelle genutzt wurden. Ein Hauptproblem bei diesem Projekt war die Haftung verbliebener Rauchgaspartikel am Erhitzerkopf. Derzeit führt das Unternehmen mit Unterstützung der Deutschen Bundesstiftung Umwelt eine Felderprobung der Nullserie ihres *Stirlingmotors 161* durch. Bei 20 dieser Stirling-BHKW (Leistung 10 kW_{el}) soll die Zuverlässigkeit, Wirtschaftlichkeit sowie ökologische Aspekte untersucht werden. Auch die Firma Magnet-Motor untersuchte die technische Eignung von Biomasse, wobei Biogas verwendet wurde. Nach einem 8-wöchigen Test konnten keine Korrosionsspuren am Wärmetauscher festgestellt werden. Nach langjährigem innerbetrieblichen Einsatz ihres Stirling-BHKW's *HM TEK 40* (Leistung 40 kW_{el}) werden im Laufe des Jahres 1997 weitere 2 Demonstrationsprojekte in München begonnen. Ebenfalls in diesem Jahr will die Firma Saarberg²² ihren Stirlingmotor *ST20/1* (Leistung 20 kW_{el}) in einem Demonstrationsprojekt einsetzen, in dem Grubengas als Brennstoff genutzt wird.

20 Anschrift: Postfach 60 01 52; 71050 Sindelfingen

21 Anschrift: Petersburger Str.2; 82319 Starnberg

22 Anschrift: Leistungszentrum Technik; In den Rodhecken; 66280 Sulzbach

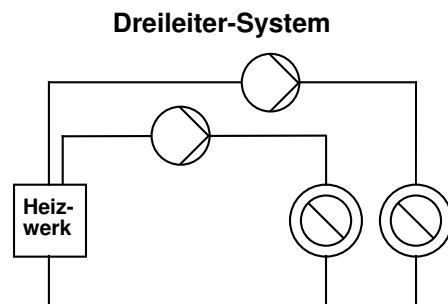
4 Wärmeverteilung

Netzaufbau

Dreileiter-System

Das "klassische" Dreileiter-System, das nur noch in Sonderfällen eingesetzt wird, besteht aus zwei Heizwasser-Vorläufen und einem Rücklauf. Ein Vorlauf versorgt die Heizungsanlage der Kunden und wird abhängig von der Außentemperatur gleitend gefahren. Der zweite Vorlauf, der eine konstante Temperatur aufweist, dient zumeist zur Bereitstellung von Warmwasser.

4.1:
"klassisches"
Dreileiter-System



Von Vorteil sind die bessere verbrauchsabhängige Regelmöglichkeit und der geringere Wärmeverlust durch den gleitend gefahrenen Vorlauf. Durch die dritte Rohrleitung ist die Verlegung jedoch kostenaufwendiger als ein Zweileiter-System. Zudem kann aufgrund diskontinuierlicher Entnahme aus der zweiten Vorlaufleitung der Massenstrom in der Rücklaufleitung schwanken, so daß sich der Betriebspunkt der Anlage verschiebt und die Kundenanlagen nicht mit gleichbleibenden Massenströmen versorgt werden. Ein weiterer Nachteil ist, daß in der Übergangszeit die gemeinsame Rücklauftemperatur über der Temperatur des gleitenden Vorlaufs liegen kann, so daß es zu einer unerwünschten Überheizung der Räume beim Kunden kommt. Das Dreileiter-System wird daher nur selten eingesetzt. [Glü85] [Crem95a] [Hak81]

Ein anderes Dreileiter-System wird bei dezentraler solarthermischer Energiegewinnung mit zentralem saisonalem Speicher eingesetzt. Dabei wird das Fernwärme-Zweileiter-System um einen Leiter erweitert, der als Solarvorlauf für den

zentralen Speicher dient. Die dezentralen Solarkollektoren werden aus dem Fernwärme-Rücklauf gespeist. [Küb96] [Fisch96]

Vierleiter-System

Das Vierleiter-System besteht aus zwei getrennten Zweileiter-Systemen, wovon eines mit konstanter Temperatur und eines gleitend gefahren wird. Hierdurch ergeben sich bessere verbrauchsabhängige Regelmöglichkeiten und geringere Wärmeverluste. Da das Vierleiter-System sehr kostenaufwendig ist, wird es nur eingesetzt, wenn die beiden Netze unterschiedliche Drücke, Temperaturen oder ggf. unterschiedliche Heizmedien haben. [Glü85] [Crem95a] [Hak81]

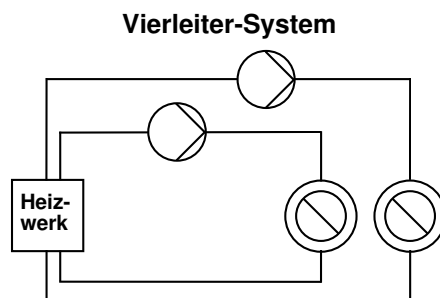


Bild 4.2: Vierleiter-System

Bei dezentraler solarthermischer Energiegewinnung und zentralem saisonalen Speicher gibt es ebenfalls ein Vierleiter-System, wobei hier ein Zweileiter-System zur Fernwärmeversorgung und das andere als Vor- und Rücklauf des Solarsystems dient. [Küb96] [Fisch96]

Strahlennetz

Strahlennetze werden aufgrund ihrer einfachen Struktur meist bei kleineren Nahwärmenetzen eingesetzt. Durch die kurzen Rohrleitungswege und die geringen Durchmesser ergeben sich geringe Baukosten und Wärmeverluste. Nachteilig ist, daß nachträgliche Erweiterungen hydraulisch problematisch sind und daß die Versorgungssicherheit geringer ist, da bei einer Netzstörung der gesamte Strang abgeschaltet werden muß.

Strahlennetze können einsträngig oder mehrsträngig (mehrere Abzweige direkt vom Heizwerk) sein, abhängig von der städtebaulichen Lage. Mehrsträngige Anlagen können wie zwei getrennte Netze betrachtet werden, wenn sie getrennt

geregelt werden. Die größere Unabhängigkeit (z.B. bei Reparatur) wird jedoch durch die höheren Investitionen erkaufte. [Glü85] [Crem95a] [Hak81]

Ringnetz

Bei größeren Versorgungsgebieten mit mehreren Heizwerken bietet sich die Ringnetzform an, wobei vom Hauptringnetz zumeist kleine Strahlennetze abgehen. Durch die Ringform können nicht nur mehrere Erzeugungsanlagen eingebunden werden, es ergibt sich auch eine höhere Versorgungssicherheit, da die meisten Kunden über zwei Leitungswege zu erreichen sind; außerdem sind Erweiterungen leicht möglich. Da jedoch die Trasse länger und die Durchmesser größer als bei einem Strahlennetz sind, ergeben sich höhere Investitionskosten und Wärmeverluste. [Glü85] [Crem95a] [Hak81]

Standard-Trassenführung:

Bei der "Standard"-Trassenführung wird jeder Kundenanschluß durch einen Abzweig von der Verteilleitung realisiert, der einfach abzusperren bzw. zu erweitern ist. Bei geringer Anschlußdichte oder langen Hausanschlußleitungen ergeben sich jedoch im Vergleich zu anderen Trassenführungen relativ lange Rohrwege. Dies und die große Anzahl an Abzweigen kann zu höheren Investitionskosten führen.

Haus-zu-Haus-Trassenführung:

Bei der "Haus-zu-Haus"-Trassenführung werden mehrere Kunden über einen Anschluß bzw. einen Abzweig versorgt. Dies ermöglicht kürzere Leitungslängen - vor allem bei flexiblen Systemen - und Nutzung der Kellerverlegung. Da privater Grund bzw. bei der Kellerverlegung private Gebäude genutzt werden, muß vom Eigentümer eine Genehmigung eingeholt werden (siehe auch Kellerverlegung). Nachträgliche Erweiterungen sind nur in sehr begrenztem Umfang möglich; daher sollten potentielle Erweiterungen schon bei der Netzplanung berücksichtigt werden.

Einschleif-Trassenführung

Die Einschleif-Trassenführung verzichtet vollständig auf ein im Straßenraum liegendes Verteilnetz mit Abzweigen. Statt dessen wird vom Heizwerk ausgehend jeweils das nächstliegende Gebäude angeschlossen. Von diesem wiederum wird wie bei der "Haus-zu-Haus-Trassenführung" das nächstgelegene Gebäude

versorgt. Dadurch entfallen erdverlegte Verbindungen und Abzweige und es ist keine Montage im Graben erforderlich. Sofern die Rohre innerhalb der Gebäudeausschachtung bei Neubauten verlegt werden können, reduzieren sich auch die Tiefbauarbeiten drastisch. Nachteilig ist, daß nachträgliche Erweiterungen fast unmöglich sind und daß Genehmigungen zur Nutzung privater Grundstücke und Gebäude eingeholt werden müssen. Kostensteigernd wirkt sich aus, daß doppelt so viele bzw. doppelt so große Mauerdurchbrüche wie bei der "Standard-Trassenführung" notwendig sind und die Investitionskosten bei flexiblen Systemen überproportional mit der Nennweite ansteigen. Aufgrund dieser Vor- und Nachteile wird die Einschleif-Trassenführung vorrangig bei kleinen, geschlossenen Netzen mit flexiblen Rohrsystemen evtl. kombiniert mit der Kellerverlegung eingesetzt. [Witt95] [Brugg95]

Rohr-/Verlegesysteme

Kunststoffverbundmantelrohr KMR

Hersteller	Handelsname	Nennweite	Besonderheiten
ABB	Fernwärmerohre	DN 20 - 600	
AQUATEC	Ecotwin	DN 25 - 150	Doppelrohr
BRUGG	Premant	DN 20 - 600	
ISOPLUS	Fernleitungsrohr	DN 20 - 600	
LØGSTØR RØR - PAN-ISOVIT	Verbundsystem	DN 15 - 800	
STAR PIPE	Star Pipe	DN 20 - 600	
TARCO	Tarco-Standardsystem	DN 20 - 1000	

Kunststoffverbundmantelrohre (KMR) bestehen aus einem Stahlmediumrohr, das mit der Dämmschicht aus Polyurethan (PUR) und dem Mantel aus Polyethylen (PE) kraftschlüssig verbunden ist, so daß die Wärmedehnung auf das Gesamtrohrsystem übertragen wird. Die maximale Dauerbelastung bei einer Lebensdauer von 30 Jahren beträgt 140 °C und 16 bar (Sonderausführung 25 bar) .

Die Verbindung der einzelnen Rohrstangen werden geschweißt; für die Verbindung der Mantelrohre stehen spezielle Muffenverbindungen zur Verfügung. Der Anschluß von Hauanschlußleitungen (HAL) erfolgt entweder durch eingeschweißte T-Stücke oder mittels Anbohrtechnik, die auch einen Anschluß während des Betriebs ermöglicht. Bei kompliziertem Trassenverlauf (viele Versprünge) werden viele erdverlegte Verbindungen und Formstücke benötigt, die die Verlegung verteuern. Da die Materialkosten jedoch niedrig sind und das KMR eine hohe Betriebssicherheit aufweist, hat es sich als Standardsystem durchgesetzt.

Die Verlegung der KMR erfolgt je nach Anforderungsprofil mit Kompensation, mit Vorwärmung, mit Einmalkompensatoren, mit Dauerkompensatoren (beim System 4 sind die Kompensatoren fest in das Rohr eingeschäumt) und zunehmend auch als Kaltverlegung.

Verlegeverfahren	Vorteile	Nachteile
Kaltverlegung	Einfache Verlegung Keine Kosten für Vorheizung oder Dehnungsaufnehmer Lange Haftbereiche	Hohe axiale Spannung Starke erste Dehnung Nicht für hohe Temperaturen bei großen Nennweiten geeignet Vorsicht bei Parallelaufgrabung => Ausknick-/Aufbäum-Gefahr
Verlegung mit Vorwärmung	Reduzierte axiale Spannung im Haftbereich Einfache Verlegung Keine Kosten für Dehnungsaufnehmer Lange Haftbereiche	Verfüllung des Grabens erst nach der Vorwärmung
Verlegung mit Einmal-kompensatoren	Reduzierte axiale Spannung Einfache Verlegung Der Graben kann zum Teil direkt verfüllt werden Lange Haftbereiche	Zusätzliche Kosten für Kompensatoren
Verlegung mit Kompensation	Reduzierte axiale Spannung	Zusätzliche Kosten für Dehnungsaufnehmer
Verlegung mit System 4	Reduzierte axiale Spannung Einfache Verlegung Keine Haftbereiche	Zusätzliche Kosten für System 4 Rohrleitungen

Tabelle 4.10:
Vor-, Nachteile und Einsatzgebiete verschiedener Verlegungsmethoden für KMR [Rand97]

Ziel aller Verlegungsmethoden ist es, die Wärmedehnung der Stahlleitungen aufzunehmen bzw. die maximal zulässige axiale Druckspannung im Stahlrohr nicht zu überschreiten. Welches dieser Verfahren im Einzelfall geeignet ist, kann nicht allgemeingültig beantwortet werden, sondern muß im Zusammenhang mit der Auslegung bzw. Trassierung und Berechnung der Rohrnetzstatik erfolgen. Da diese Berechnungen aufwendig sind, muß von erhöhten Kosten bei der Planung ausgegangen werden. Aufgrund der jahrzehntelangen Erfahrung und der geringen Materialkosten für Formstücke/Rohre ist das KMR das meistverlegte Rohrsystem und bei größeren Nennweiten (>DN 100) und höheren Temperaturen (bis 140 °C) praktisch konkurrenzlos.

Eine Vereinfachung der Rohrnetzstatik-Planung ist durch das AGFW-Arbeitsblatt FW401 zu erwarten, das die korrekte Auslegung mittels Diagrammen ermöglicht und den detaillierten rechnerischen Nachweis auf wenige Spezialfälle reduziert. Zugleich wird die Kaltverlegung der Rohrleitungen bis DN 400 statisch zugelassen. [FW401] [Reu97]

Flexible Kunststoffmediumrohre PMR

Hersteller	Handelsname	Nennweite	Besonderheiten
ABB	Pexflex-Biegerohr	22 - 32 mm	Rollen
ABB	Aluflex-Biegerohr	20 - 32 mm	Rollen (Mediumrohr Alu beschichtet)
BRUGG	Calpex	DN 20 - 100	Rollen (bis DN 40 auch Doppelrohr)
FLEXALEN Österreich	Flexalen-System 1000	DN 20 - 150	Rollen/Stangen (bis DN 40 auch Doppelrohr)
FLEXALEN Österreich	Flexalen-VS 500	DN 25 - 63	Rollen
LØGSTØR RØR - PAN ISOVIT	LR-Pex	22 - 110 mm	Rollen/Stangen
LØGSTØR RØR - PAN ISOVIT	Flexopan-Pex	DN 20 - 80	Rollen (bis DN 40 auch Doppelrohr)
STAR PIPE	Star Pipe Flex	20 - 32 mm	Rollen
TARCO	PEX/FLEX	22 - 50 mm	Rollen
UPONOR	Ecoflex	DN 20 - 90	Rollen (bis DN 50 auch Doppelrohr)

Flexible Kunststoffmediumrohre (PMR) bestehen aus einem Mediumrohr aus vernetztem Polyethylen (PEX) oder Polybuten (PB). Das Mediumrohr ist meist mit einer Dämmschicht aus semiflexiblem Polyurethan (PUR) und diese mit dem Mantel aus Polyethylen (PE) kraftschlüssig verbunden. Mediumrohre aus PEX müssen mit einer Sauerstoffdiffusionssperre ausgestattet werden, die entweder aus EVAL (Ethen-Vinylalkohol-Copolymer, auch EVOH genannt) oder für eine 100-prozentige Diffusionsdichtigkeit aus Aluminium besteht.

Die Temperatur- und Druckgrenze liegt bei 95 °C und 6 bar bzw. bei kleinen Nennweiten als Sonderausführung auch bei 10 bar. Falls die Temperaturobergrenze als Dauerbetriebsparameter gewählt wird, führt dies zu einer kürzeren Lebenserwartung der Rohrleitung. Dauerbetriebsparameter bei 30 Jahren Laufzeit sind 90 °C und 6 bar. Die theoretischen Standzeit erhöht sich auf 50 Jahre, wenn nur 85 °C und 5,1 bar als Betriebsparameter gewählt werden.

Die technisch und wirtschaftlich beste Verbindungstechnik für PEX- und PB-Mediumrohre ist die Preßkupplung, die mittels eines Spezialwerkzeugs sicher und einfach zu montieren ist. Für PB-Rohre besteht alternativ die Möglichkeit des Schweißens. Hausabzweige lassen sich mittels T-Stücken aus PB, PEX, GFK bzw.

Stahl realisieren; Stahl- oder GFK-T-Stücke werden z.T. bei PEX-Rohren eingesetzt, da PEX-T-Stücke nicht geschweißt werden können und daher teurer in der Produktion sind. Bei der Verlegung werden T-Abzweige möglichst direkt für alle, auch nachträglich anzuschließenden Gebäude eingesetzt, da ein späterer Anschluß, nicht durch eine einfache Anbohrtechnik verwirklicht werden kann. Nachträglich lassen sich T-Abzweige nur einbinden, wenn die Rohrleitung außer Betrieb genommen, eingefroren bzw. abgequetscht wird.

Bei der Verlegung der flexiblen Kunststoffmediumrohre muß auf eine Überdeckung von mindestens 40 cm geachtet werden, um das Rohr nicht durch Grabarbeiten im Garten oder durch Verkehrslasten zu beschädigen. Die Rohre werden in ein Sandbett gelegt und mit ca. 5 bis 10 cm Sand umgeben; der Rest des Grabens kann mit dem Aushubmaterial verfüllt werden. Eine Übereinanderverlegung ist wirtschaftlich nur bei extrem aufwendig wiederherzustellenden Oberflächen oder sehr beengten Verhältnissen im innerstädtischen Bereich sinnvoll.

Aufgrund der Nennweiten (bis DN 110) und der Einsatzgrenzen (95°C, 6 bar) ist ein Einsatz für kleinere bis mittlere Nahwärmenetze mit niedrigen Netztemperaturen möglich. Ein Vorteil gegenüber dem KMR in diesem Einsatzbereich ist die variable, einfache Trassenführung und die Anpaßbarkeit des Rohrverlaufs an die lokalen Gegebenheiten (z.B. querende Leitung). Ein weiterer Vorteil sind die geringen Anforderungen an das Bau- und Montagepersonal, das in die Technik kurzfristig eingewiesen werden kann und die Verlegung von "der Rolle", die die Anzahl der Verbindungen und damit ebenfalls die Kosten senkt. Von Nachteil sind die vergleichsweise teuren Formstücke, die aufwendige Technik des nachträglichen Anschlusses von Gebäuden und die höheren, mit dem Durchmesser überproportional ansteigenden Materialkosten. [Brugg95] [Giet96] [Klop96]

Flexible Metallmediumrohre MMR

Hersteller	Handelsname	Nennweite	Besonderheiten
ABB	Kupferflex-Biegerohr	18 - 28 mm	Rollen
ABB	Stahlflex-Biegerohr	20 - 28 mm	Rollen
AQUATEC	Aquawarm	DN 10 - 100	Stangen/ Rollen (auch Doppelrohr)
BRUGG	Casaflex	DN 20 - 50	Rollen /Trommel
BRUGG	Preflex	DN 25 - 50	Rollen /Trommel
BRUGG	Flexwell	DN 25 - 150	Rollen /Trommel
LOEFFLER	Euroflex	15 - 90 mm	Stangen
LØGSTØR RØR	Cu-FLEX	15 - 28 mm	Rollen
LØGSTØR RØR	Cu-FLEX	18 - 89 mm	Stangen (auch Doppelrohr)
TARCO	Cu/FLEX	20 - 26 mm	Rollen

Flexible Metallmediumrohre (MMR) bestehen im Regelfall aus einem geraden Kupfermediumrohr (Cu-Flex, Aquawarm, Euroflex, Cu/Flex, Kupferflex-Biegerohr) oder einem gewellten Metallmediumrohr aus Kupfer (Preflex) oder Edelstahl (Casaflex, Flexwell); weichgeglühter Stahl hat nur eine untergeordnete Bedeutung (Stahlflex).

Das Mediumrohr ist mit semiflexiblen Polyurethan (PUR) oder komprimierter Glaswolle (Aquawarm) als Dämmschicht und einem Polyethylen (PE) Rohr ummantelt. Es kann bis 130 °C (Aquawarm, Preflex, Casaflex, Flexwell) bzw. 120 °C (andere Systeme) und 16 - 25 bar eingesetzt werden. Die Verbindung erfolgt entweder durch Hartlöten, Presskupplungen oder Verbindungsformstücke.

Bei flexiblen Metallmediumrohren lassen sich T-Stücke nachträglich nur bei Außerbetriebnahme des Netzes oder evtl. mittels Einfrieren der Rohrleitung einbinden. Daher sollten nach Möglichkeit alle Verbraucher direkt bei der Verlegung angeschlossen bzw. blinde Abgänge vorgesehen werden.

An den Tiefbau werden die gleichen Anforderungen wie bei der Verlegung von Kunststoffmediumrohren gestellt. Durch den erhöhten Kraftaufwand beim Biegen von Radien und das höhere Eigengewicht ist die Verlegung jedoch aufwendiger als beim Kunststoffmediumrohr. [Brugg95] [Lög95] [ABB92] [Aqua97]

GFK-Rohrsysteme

Hersteller	Handelsname	Nennweite	Besonderheiten
KUSIMEX	Epogard Fernheizsystem	DN 25 - 400	

Starre Kunststoffmediumrohre mit einem glasfaserverstärkten Epoxidharz-Rohr, das mit einer Dämmschicht aus Polyurethan (PUR) und einem Polyethylen (PE) Mantel versehen ist, sind leicht, korrosionsfest und aufgrund der Endkappen an den Rohrstangenenden lt. Hersteller längswasserdicht, d.h. im Schadensfall wird nur in einer Rohrstange die Dämmschicht durchnäßt. Die Belastungsgrenze liegt bei 10 bar und 110-130 °C. [Kusi93]

Die Verbindung der Rohre und Formteile, wie z.B. T-Stücke für Abzweige und Hausanschlußleitungen (HAL), erfolgt durch Verkleben. Nachträglich können HAL nur bei vollständig entleerter Leitung eingebunden werden, indem entweder ein T-Stück eingeklebt oder das Hauptrohr durch eine Manschette verstärkt und dann angebohrt wird.

Im Vergleich zum KMR ist die Rohrnetzstatik etwas einfacher, da aufgrund der geringeren Dehnung keine kompensierenden Elemente, wie z.B. Dehnbögen,

Dehnpolster, etc., benötigt werden. Bei Richtungswechseln müssen jedoch, je nach Rohrlänge, Widerlager aus Beton gegossen werden. Die Ausführung der Tiefbaus und die Abmessungen des Rohrgrabens sind identisch mit denen des KMR. Aufgrund des hohen Materialpreises werden sie jedoch nur sehr selten (z.B. Stadtwerke Hameln) und für Sonderanwendungen (z.B. Transport von korrosivem, geothermischen Quellwasser) eingesetzt.

Doppelrohrsysteme

Bei Kunststoffmantelrohr-Doppelrohrsystemen (KMR: System Ecotwin) sind Vor- und Rücklauf in einem gemeinsamen PE-Mantelrohr eingeschäumt. Die beiden konventionellen Stahlrohre sind mit Stahlstegen verbunden und werden durch eine Schicht aus PUR gedämmt. Die Längsdehnung ist durch die Querstege und die größere Längsreibungskraft (größeres Mantelrohr) geringer als beim einfachen KMR; auf Dehnpolster und Kompensationsmaßnahmen kann vollständig verzichtet werden. Der Rohrgraben wird - wie bei der Übereinanderverlegung - schmaler, so daß das Aushubvolumen und die wiederherzustellende Oberfläche geringer wird. Außerdem ist der Wärmeverlust geringer als bei einem normal gedämmten KMR und entspricht damit einer höheren Dämmklasse. Diese Vorteile stehen den höheren Materialkosten gegenüber; das Doppelrohr ist teurer als zwei Einzelrohre. Bei einer stärkeren Verbreitung dieses Systems ist jedoch eine Kostensenkung zu erwarten. [Aqua97] [GEF95b] [GEF95a]

Bei flexiblen Kunststoffmediumrohren (PMR: System Calpex, Flexopan-Pex, Ecoflex, Flexalen) und flexiblen Metallmediumrohren (MMR: System Aquawarm, Cu-Flex) werden bei kleinen Nennweiten häufig Doppelrohrsysteme angeboten. Diese sind bis DN50 zumeist kostengünstiger als zwei Einzelrohre. Aufgrund der geringen Dämmung zwischen Vor- und Rücklauf kann sich die erhöhte Wärmeabgabe des Vorlaufs an den Rücklauf als problematisch erweisen, wenn der Wärmeerzeuger auf eine niedrige Rücklauftemperatur angewiesen ist (Brennwerttechnik).

Standard Tiefbautechnik

Längs der Trasse (Straße, Bürgersteig, Grünbereich etc.) wird die Oberfläche aufgerissen, ein Rohrgraben mit ca. 0,9 m Breite und 0,9 m Tiefe (oder tiefer, abhängig von den Vorgaben des Tiefbauamtes) maschinell ausgeschachtet und durch seitlichen Verbau, der durch Querspindel gehalten wird, abgestützt. An den Stellen des Rohrgrabens, wo Rohre bzw. Formstücke verschweißt werden müssen, werden Kopflöcher von 1,5-2 m Länge, und den aus Bild 4.3 ersichtlichen Abmessungen hergestellt.

Die Rohrgrabensohle wird mit einer 10 cm Sandschicht aufgefüllt und nivelliert. Die Rohre werden auf die vorbereitete Sohle gelegt - wobei die Querspindeln evtl. kurzfristig zu entfernen sind - und ausgerichtet. Die einzelnen Rohrstangen bzw. Formstücke werden miteinander verschweißt und mit Muffen nachisoliert. Je nach Verlegungsmethode (Kaltverlegung, Vorwärmung etc.) werden die Rohre thermisch/mechanisch vorgespannt, ggf. mit Dehnpolstern versehen und anschließend bis 20 cm über Rohrscheitel eingesandet und per Hand verdichtet. Der Rest des Grabens wird mit verdichtungsfähigem Material verfüllt und verdichtet; anschließend wird die Oberfläche wiederhergestellt. [Köhl97] [Busse96] [Løg95] [GEF95a]

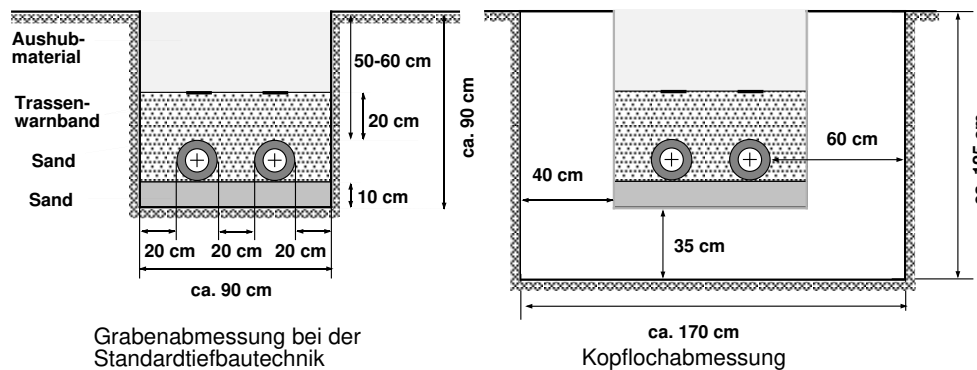


Bild 4.3: Rohrgraben- und Kopflochabmessungen bei der Standardtiefbau-technik

Flachverlegung

Bei der herkömmlichen Verlegung, der sogenannten Gefälleverlegung, werden die Rohrleitungen mit definierten Hoch- und Tiefpunkten, jeweils mit Entlüftungsarmaturen, verlegt. Bei der Flachverlegung hingegen folgen die Rohrleitungen der Geländeform ohne geplante Hoch- und Tiefpunkte. Von Vorteil ist der Verzicht auf Entlüftungs- und Entleerungsarmaturen bzw. -schächte (ca. 15 TDM pro Schacht und ca. 1 Schacht pro 100 m) [Wüst95] und die geringeren Tiefbaukosten. Außerdem können andere Leitungen einfacher gekreuzt werden, was die Trassenfindung vereinfacht. Die Reparaturarbeiten werden jedoch u.U. schwieriger, da die Entleerung/Entlüftung ohne Schachtbauwerke aufwendiger ist.

Bei zu geringer Überdeckung besteht bei Stichleitungen, die nicht immer durchströmt werden im Winter die Gefahr des Einfrierens. Daher sollte ein Mindestdurchfluß (Bypass), abhängig von Verlegetiefe, Rohrdurchmesser, Netztemperatur, Isolierstärke etc. durch die Hausstation gewährleistet werden [GEF95a].

Dehnpolster

Dehnpolster werden bei KMR in der Dehnungszone, d.h. an L- oder Z-Bögen, benötigt, da dort die Längsdehnung des Rohres aufgenommen wird. Ansonsten würde der isolierende PUR-Schaum zusammengepreßt und das Mantelrohr aufgrund der erhöhten Temperatur verspröden.

Bei unbefestigter Oberfläche ("Grünbereich") kann auf Dehnpolster verzichtet werden, da dort der Widerstand des Erdbodens gegen die Dehnung geringer ist. Nur bei größerer Rohrdehnung im Innenstadtbereich sollte der Einsatz von Dehnpolstern geprüft werden. Ein Ersatz für Dehnpolster ist der Druck-Bogen, der die Kräfte in einem Spezial-Mantel und einem verstärktem Stahlmediumrohr aufnimmt. Da mit dem Druck-Bogen beliebige Winkel (30, 45, 60, 90°) realisiert werden können, wird mehr Trassierungsfreiheit gewonnen. [Rand97] [GEF95a]

Übereinanderverlegung

Bei der Übereinanderverlegung werden, unabhängig vom Rohrsystem, die Rohre mit Abstandshaltern übereinander in den Rohrgraben gelegt. Der Rohrgraben wird dazu zwar etwas tiefer, jedoch zugleich deutlich schmaler ausgehoben, so daß das Tiefbauvolumen geringer und die Trassenfindung erleichtert wird. Wirtschaftlich sinnvoll ist die Übereinanderverlegung bei sehr beengten (innerstädtischen) Verhältnissen oder kostenaufwendig wiederherzustellender Straßenoberfläche. Bei schwierigen Bodenverhältnissen kann jedoch der tiefere Rohrgraben einen Verbau notwendig machen, der den Verlegeaufwand erhöht und so die Übereinanderverlegung trotz der anderen Vorteile unwirtschaftlich macht. Zumeist wird der Vorlauf über dem Rücklauf verlegt, da dieser schadensanfälliger ist. [GEF95b] [Hoff94b]

Stabilisierte Sandmischung

Die stabilisierte Sandmischung wird bei der Verlegung von KMR eingesetzt, um die mechanische Verdichtung des Rohrgrabens zu vermeiden und so die Verlegung zu beschleunigen (Tagesbaustelle). Die Erfahrungen mit diesem Material sind sehr unterschiedlich, da die langjährige Erfahrung in Graz auf einem nicht spezifiziertem Sand beruhen, der aus einer Kiesgrube in der Nähe gewonnen wird. Bei anderer Spezifikation des Sandes ist die Gefahr groß, eine zu stark aushärtende Mischung - ähnlich dem Magerbeton - zu verbauen, die keinen ausreichenden Kontakt zum Rohraußenmantel herstellen kann (Tunneleffekt). Aufgrund des relativ hohen Preises (90 DM/m³) und der unterschiedlichen Erfahrung mit der stabilisierten Sandmischung kann dieses System nicht vorbehaltlos empfohlen werden. Für

andere Rohrsysteme ist die Verfüllung mit einer stabilisierten Sandmischung ohne Bedeutung. [Neu97] [GEF95a]

Pipelineverlegung

Bei der Pipelineverlegung werden zeitgleich mit Aushub des Grabens mehrere Rohrstangen (KMR) zusammengeschweißt, geprüft und nachgedämmt. Diese werden dann als Pipeline komplett in den schmaleren, weil nicht zu betretenden und nicht verbauten, Rohrgraben gelegt. Dort wo zwei Pipelines zusammentreffen wird ein Kopfloch ausgehoben und beide Rohre miteinander verschweißt. Die Vorteile dieses Verfahrens sind der beschleunigte Verlegeablauf (Tagesbaustelle), der Verzicht auf den seitlichen Verbau und das geringere Tiefbauvolumen durch den schmaleren Graben. Besonders vorteilhaft ist dieses Verfahren, wenn es mit der Übereinanderverlegung kombiniert werden kann. Voraussetzung für die Pipelineverlegung ist jedoch, daß neben dem Graben ausreichend Platz zur Vormontage vorhanden ist, daß möglichst keine Fremdleitungen kreuzen und daß der Boden so standfest ist, daß er ohne Verbau einen Tag steht. Ist der Boden jedoch sogar so standfest, daß er mehrere Tage nicht einbricht und ein Verbau aus arbeitsschutzrechtlichen Gründen nicht notwendig, dann entfällt dieser Vorteil. [Knie97] [GEF95a]

Anbohrtechnik

Die Anbohrtechnik ermöglicht den Anschluß von Hausanschluß- bzw. Unterverteilleitungen an in Betrieb befindlichen Verteilleitungen. Dazu wird die anzubohrende Leitung abisoliert und das Spezial-T-Stück evtl. mit Verstärkungsring aufgeschweißt. Nachdem die Verbindung zur Abgangsleitung hergestellt ist, kann die Verbindung zum Hauptrohr entweder durch eine vorgesehene Öffnung angebohrt oder auch mittels eines kleinen Explosionszünders abgeschert werden. Dadurch wird die Abgangsleitung ohne Unterbrechung des Fernwärmebetriebs in das Netz hydraulisch eingebunden. Späne oder Luftblasen können im Schmutzfänger bzw. in der Hausstation entfernt werden. Dieses Verfahren zum nachträglichen Anschluß ist für den gesamten relevanten Nennweitenbereich einsetzbar. [Schind91] [GEF95a]

Tagestakt / Tagesbaustelle

Bei der sogenannten Tagesbaustelle, die sich vorrangig auf das Kunststoffverbundmantelrohr (KMR) bezieht, werden die entscheidenden Schritte der Verlegung (Straßenaufbruch, Graben incl. Kopflöcher ausheben, Verbau des Kopfloches, Rohre verlegen, einsanden, verdichten und Graben verfüllen) innerhalb

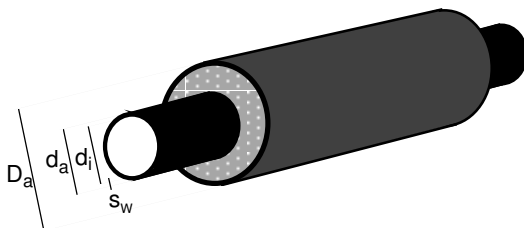
eines Arbeitstages durchgeführt. Dadurch entfallen aufwendige, langfristige Verkehrssicherungsmaßnahmen. Auf viele Behelfsbrücken kann verzichtet werden. Die Akzeptanz bei der Bevölkerung ist aufgrund der nur kurzfristigen Behinderung größer und auf den Verbau des Grabens kann zumeist verzichtet werden. Voraussetzung hierfür ist, daß die Verlegetiefe 1,25 m nicht überschritten wird, der Graben einen Tag ohne Verbau steht und größere Rohrlängen (siehe Pipelineverlegung) in einem Schritt verlegt werden können, d.h. es sollten keine kreuzenden Leitungen in diesem Bereich liegen. Außerdem muß das KMR kalt verlegt werden, da der Graben sofort verfüllt wird. Die gesamte Baumaßnahme, beginnend beim Markieren des Trassenverlaufs bis zum Erstellen der Verschleißdecke, dauert ca. 7 Arbeitstage, im Gegensatz zu den bisher benötigten 18-20 Tagen. [Hoff94a] [Wern96]

Bei flexiblen Rohrsystemen ist die Verlegung im Tagestakt alleine durch termingerechte Planung möglich, da geringere Anforderungen an den Tiefbau gestellt werden und die Verlege-/Verbindungstechnik einfacher ist. Sofern die Rohrleitungen "von der Rolle" verlegt werden, ist eine weitere Beschleunigung der Verlegung möglich. Dies kommt besonders bei der Verlegung im Grünbereich zum Tragen, da dort der zeitaufwendige Aufbruch und die Wiederherstellung des Straßenoberbaus entfällt.

Netzdimensionierung

Dimensionierung von Fernwärmerohren

4.4:
Definition der
verschiedenen
Durchmesser D_a, d_a, d_i
und der Wanddicke



Die Dimensionierung des KMR - wie auch der anderen Rohrsysteme - erfolgt überschlägig anhand des Druckverlustes von 100 Pa/m. Zugleich müssen minimale und maximale Geschwindigkeiten (siehe auch Verweis Strömungsgeschwindigkeit, Seite 53) eingehalten werden. Die optimale Strömungsgeschwindigkeit / der optimale Druckverlust muß im Einzelfall ermittelt werden. Die folgenden Angaben sind daher nur als Anhaltspunkt zu verstehen und beruhen auf Herstellerangaben.

Dimensionierung des Kunststoffmantelrohres

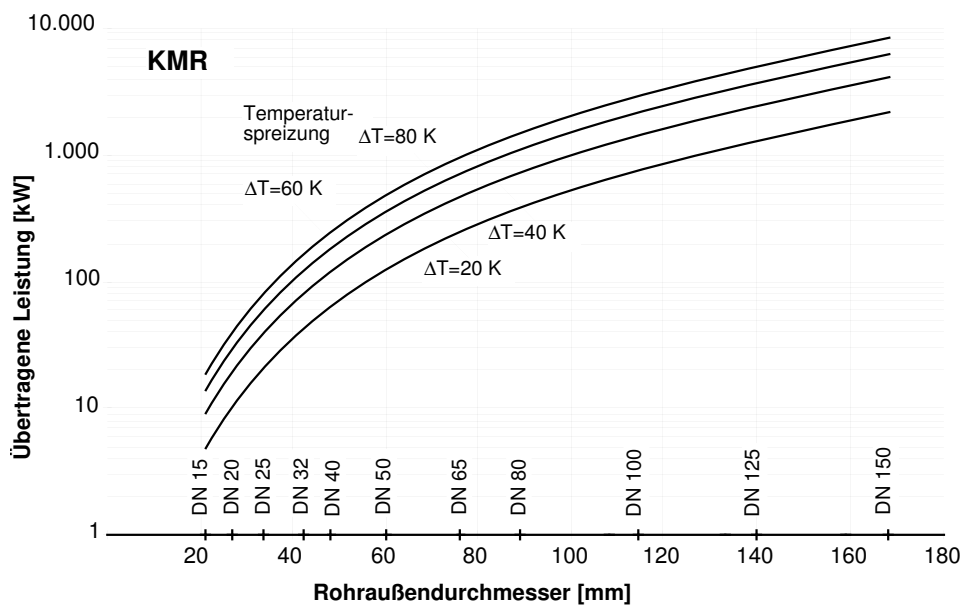


Bild 4.5:
 Stahlmediumrohr,
 z.B. KMR bei 100
 Pa/m Druckverlust
 [Log95]

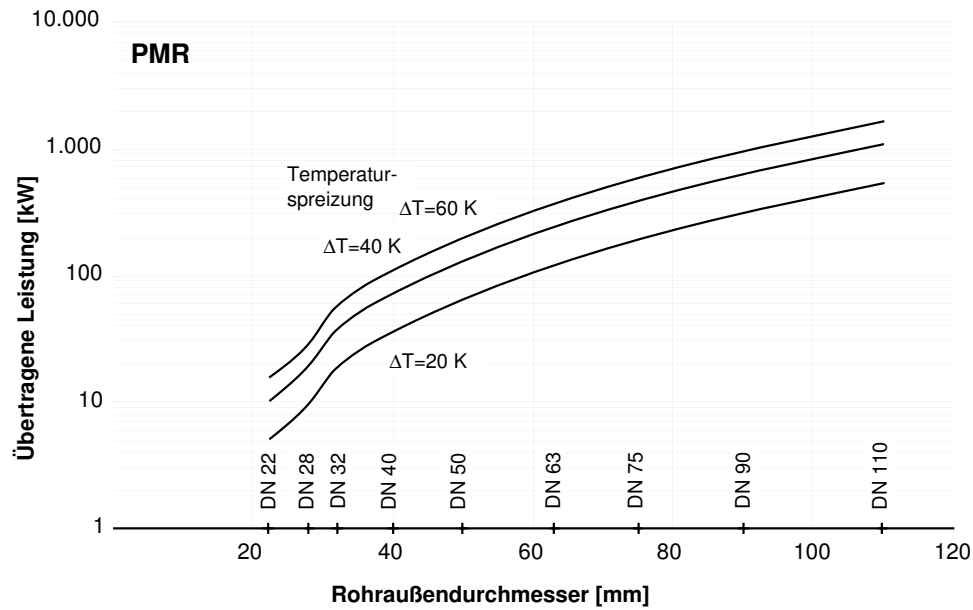
Tabelle 4.11:
 Stahlmediumrohr,
 z.B. KMR bei 100
 Pa/m Druckverlust
 [Log95]

DN	d_{an} [mm]	S_w [mm]	** D_a [mm]	Wasser- geschw. [m/s]	Wasser- strom [m ³ /h]	Leistung ? $T=20\text{ K}$ [kW]	Leistung ? $T=40\text{ K}$ [kW]	Leistung ? $T=60\text{ K}$ [kW]	Leistung ? $T=80\text{ K}$ [kW]
15	21,3	* 2,6	90	0,28	0,206	5	9	14	19
20	26,9	* 2,6	90	0,35	0,464	11	21	32	42
25	33,7	3,2	90	0,41	0,858	20	39	59	78
32	42,4	* 2,6	110	0,50	1,959	45	89	130	180
40	48,3	* 2,6	110	0,56	2,902	66	130	200	260
50	60,3	* 2,9	125	0,65	5,413	120	250	370	490
65	76,1	* 2,9	140	0,77	10,634	240	480	730	970
80	88,9	3,2	160	0,85	16,238	370	740	1110	1480
100	114,3	3,6	180	1,00	32,340	740	1470	2210	2940
125	139,7	3,6	200	1,15	56,668	1290	2580	3870	5160
150	168,3	4	250	1,29	93,489	2130	4260	6380	8510

* Die Mindestnennwanddicke beträgt 2,0-2,9 mm (DIN EN 253), die neue Standard-Nennwanddicke beträgt 3,2 mm (1998, AGFW FW401)

** Dämmklasse 1

Dimensionierung des Kunststoffmediumrohres



DN	d_{an} [mm]	S_w [mm]	D_a [mm]	Wasser- geschw. [m/s]	Wasser- strom [m ³ /h]	Leistung $\Delta T=20\text{ K}$ [kW]	Leistung $\Delta T=40\text{ K}$ [kW]	Leistung $\Delta T=60\text{ K}$ [kW]	Leistung $\Delta T=80\text{ K}$ [kW]
22	22	3,0	66	0,31	0,228	5	10	16	-
28	28	4,0	77	0,37	0,420	10	19	29	-
32	32	2,9	77	0,44	0,851	20	39	58	-
40	40	3,7	90	0,52	1,565	36	71	110	-
50	50	4,6	110	0,61	2,857	65	130	200	-
63	63	5,8	125	0,71	5,299	120	240	360	-
75	75	6,9	140	0,8	8,447	190	380	580	-
90	90	8,2	160	0,9	13,804	310	630	940	-
110	110	10,0	180	1,03	23,562	540	1070	1610	-

Tabelle 4.12:
Flexibles Kunststoff-
mediumrohr PEX bei
100 Pa/m Druck-
verlust [Log95]

Dimensionierung des flexiblen Metallmediumrohres

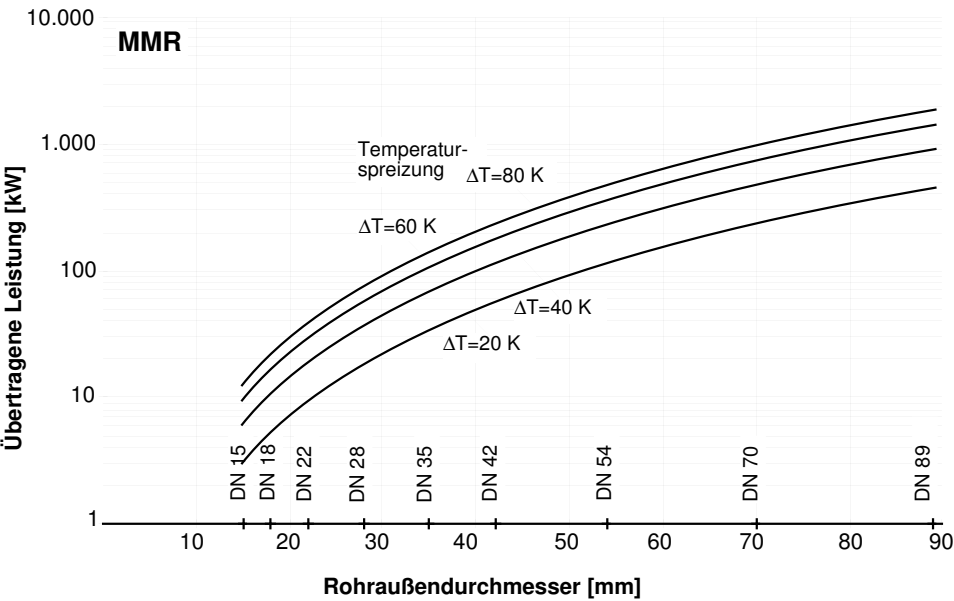


Bild 4.7:
Flexibles Kupfer-
mediumrohr bei 100
Pa/m Druckverlust
[Log95]

Tabelle 4.13:
Flexibles Kupfer-
mediumrohr bei 100
Pa/m Druckverlust
[Log95]

DN	d _{an} [mm]	S _w [mm]	D _a [mm]	Wasser- geschw. [m/s]	Wasser- strom [m3/h]	Leistung ?T= 20 K [kW]	Leistung ?T= 40 K [kW]	Leistung ?T= 60 K [kW]	Leistung ?T= 80 K [kW]
15	15	1,0	66	0,28	0,133	3	6	9	12
18	18	1,0	66	0,32	0,232	5	11	16	21
22	22	1,0	66	0,38	0,423	10	19	29	39
28	28	1,2	77	0,45	0,825	19	38	56	75
35	35	1,5	90	0,52	1,506	34	69	100	140
42	42	1,5	110	0,60	2,559	58	120	180	230
54	54	1,5	125	0,72	5,240	120	240	360	480
70	70	2,0	140	0,85	10,413	240	470	710	950
88,9	88,9	2,5	160	1,00	19,762	450	900	1350	1800

Netzverluste

Der Netzverlust ist vorrangig abhängig von der Siedlungsstruktur, d.h. bei einer Einfamilienhausbebauung ist die Netzlänge und damit der Netzverlust bezogen auf die übertragene Leistung größer als bei Reihen- oder Mehrfamilienhausbebauung. Der Einfluß der Auslegungs-Vorlauftemperatur ist dagegen sekundär. Bei niedrigerer Auslegungs-Vorlauftemperatur ist die Temperaturdifferenz zur Umgebung geringer, zugleich jedoch müssen Rohre mit größerem Querschnitt eingesetzt werden, um bei gleicher Wärmeleistung den Druckverlust konstant zu halten; d.h. während die treibende Temperaturdifferenz sinkt, steigt die Wärmeübertragungsfläche (=Rohroberfläche) .

Bei Nahwärmenetzen mit abgesenkter Vorlauftemperatur, ist der Temperaturunterschied zwischen Sommer und Winter nur gering, so daß der absolute Wärmeverlust über das ganze Jahr näherungsweise konstant ist. Dagegen ist der relative Wärmeverlust (=absoluter Wärmeverlust / Wärmeabgabe) im Winter deutlich niedriger als im Sommer, da im Winter der Wärmeverbrauch deutlich höher ist.

Netzbetrieb

Strömungsgeschwindigkeit

Höhere Strömungsgeschwindigkeiten erhöhen den Druckverlust und die übertragbare Wärmeleistung bzw. verringern die Verlegekosten, wenn bei gleicher Wärmeleistung ein Rohr kleinerer Nennweite verlegt wird. Die Strömungsgeschwindigkeit ist jedoch keine frei wählbare Größe, sondern ergibt sich aus dem zulässigen Druckverlust und der Rohrnennweite.

Desweiteren sind zwei Randbedingungen zu berücksichtigen: Erstens muß eine minimale Geschwindigkeit von ca. 0,8 m/s eingehalten werden, um eine Mindestumwälzung sicherzustellen und ein zu starkes Auskühlen zu verhindern. Zweitens ist die maximale Geschwindigkeit begrenzt, da sonst unerwünschte Geräuschentwicklungen auftreten können. [Glü85] [Hak81] [Crem95b] [Pan91]

Rohrleitung	Nenndurchmesser	Maximale Strömungsgeschwindigkeit	Optimale Strömungsgeschwindigkeit
Transportleitung	= DN 500	4 m/s	< 3 m/s
Hauptverteilungsleitung	< DN 500 = DN 150	3 m/s	1 - 2 m/s
Unterverteilungsleitung	< DN 150	1,5 - 2 m/s	~ 1 m/s

Tabelle 4.14:
Maximale und optimale Geschwindigkeiten in Fernwärmeleitungen

Mengenregelung

Bei der Mengenregelung bleibt die Vorlauftemperatur konstant, nur der Mengenstrom wird dem Bedarf angepaßt. Dadurch kann ein schnelles Regelverhalten erreicht werden, das zur Kompensation kurzfristiger Lastspitzen dient. Mit steigendem (sinkendem) Mengenstrom steigen (sinken) auch die Druckverluste und damit die Pumpstromkosten. Als Randbedingungen müssen zum einen die minimale umzuwälzende Heizwassermenge eingehalten werden um eine Auskühlung zu verhindern; zum anderen ist die maximale umzuwälzende Heizwassermenge durch die Leistung der Pumpen und die Druckfestigkeit des Netzes und der Hausanlagen beschränkt.

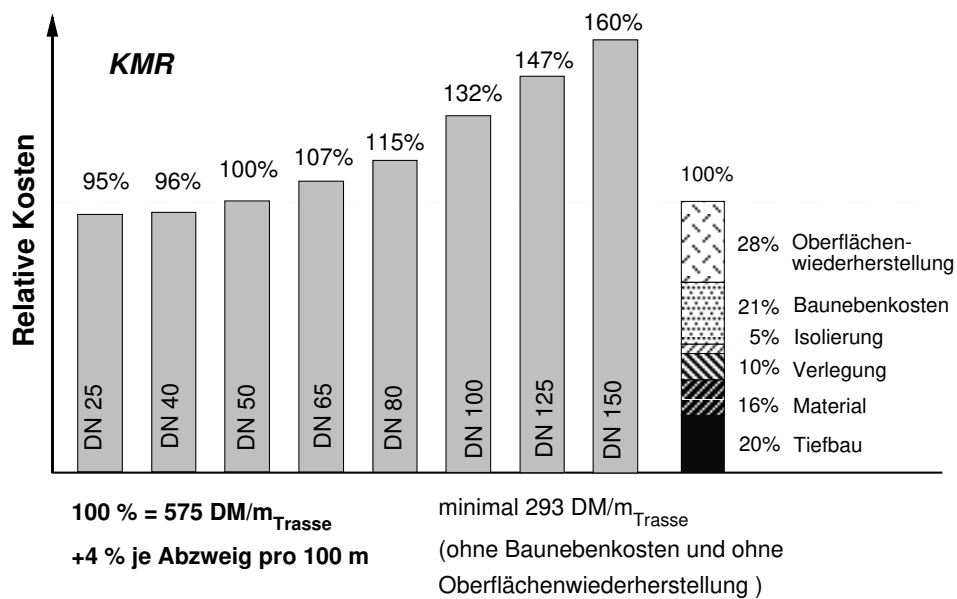
Temperaturregelung

Bei der Temperaturregelung bleibt der Mengenstrom konstant, nur die Vorlauftemperatur wird dem Bedarf angepaßt. Aufgrund des trägen Regelverhaltens dient die Temperaturregelung nur zur Kompensation vorhersehbarer Laständerungen. Einzuhaltende Randbedingungen sind die maximale Vorlauftemperatur des Wärmeerzeugers, des Netzes und der Hausstationen sowie die minimale Temperatur zur Warmwasserbereitung (wenn vorhanden).

Kosten

Rohrnetzkosten

4.8:
RKosten ohne
Abzweig und ohne
Richtungsänderung
[Knopf97]



DN	Tief- bau	Mat- erial	Verle- gung	Isolie- rung	Summe Verleg.	Bauneben- kosten	Gesamt ohne Oberfläche	Oberflächen- wiederherst.	Gesamt mit Oberfläche
25	109	67	55	28	259	126	385	162	547 DM
40	115	72	50	18	255	129	384	168	552 DM
50	120	76	55	19	270	131	401	174	575 DM
65	126	85	65	20	296	139	435	181	616 DM
80	133	100	75	21	329	144	473	188	661 DM
100	150	132	85	23	390	158	548	205	753 DM
125	166	161	95	25	447	165	612	224	836 DM
150	178	200	110	21	509	165	674	235	909 DM

Tabelle 4.15:
KMR Kosten ohne
Abzweig und Rich-
tungsänderung.
Zusätzlich die
Bauneben- und
Oberflächenwieder-
herstellungskosten
[Knopf97]

Tabelle 4.16:
KMR Kosten mit Ab-
zweig und Rich-
tungsänderung alle
50 m. Zusätzlich die
Bauneben- und
Oberflächenwieder-
herstellungskosten
[Knopf97]

DN	Tief- bau	Mate- rial	Verle- gung	Isolie- rung	Summe Verleg.	Bauneben- -kosten	Gesamt ohne Oberfläche	Oberflächen- wiederherst.	Gesamt mit Oberfläche
25	109	86	63	39	297	126	423	162	585 DM
40	115	92	58	29	294	129	423	167	590 DM
50	120	97	64	30	311	132	443	173	616 DM
65	126	108	77	32	343	138	481	181	662 DM
80	133	125	89	34	381	144	525	188	713 DM
100	150	164	102	37	453	157	610	205	815 DM
125	166	200	115	40	521	165	686	224	910 DM
150	178	246	134	38	596	165	761	235	996 DM

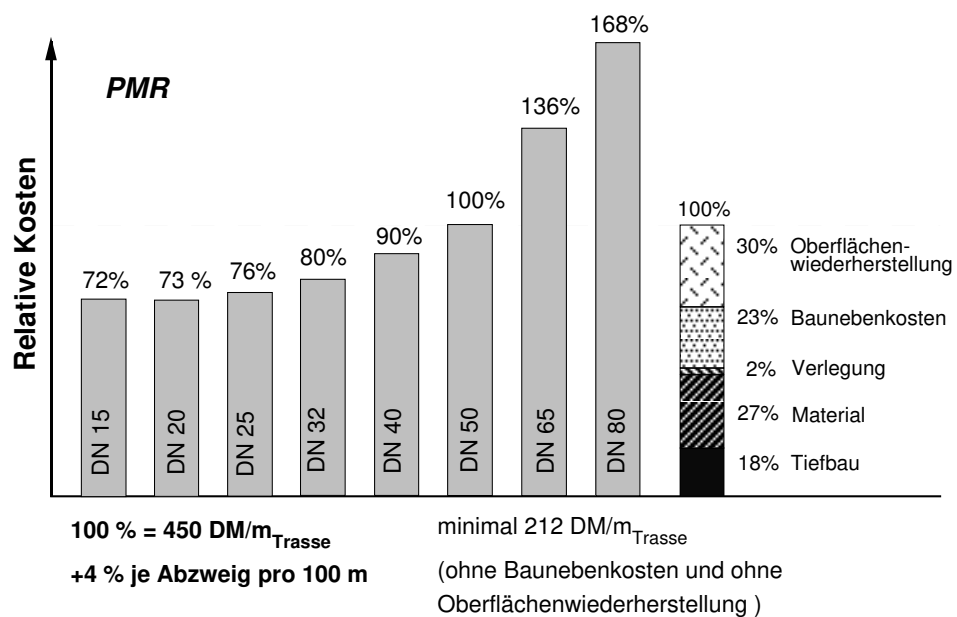
Bild 4.9:
PMR Kosten

Tabelle 4.17:
PMR Kosten ohne
Abzweig und Rich-
tungsänderung
[Løg95]. Zusätzlich
die Bauneben- und
Oberflächenwieder-
herstellungskosten
[Knopf97]

	DN Tief- bau	Mate- rial	Verle- gung	Isolie- rung	Summe Verleg.	Bauneben- kosten	Gesamt ohne Oberfläche	Oberflächen- wiederherst.	Gesamt mit Oberfläche
15	75	37	5	0	116	88	204	123	327 DM
20	75	41	5	0	121	88	209	123	332 DM
25	75	51	5	0	131	88	219	123	342 DM
32	75	62	7	0	144	91	235	128	363 DM
40	80	93	7	0	180	94	274	132	406 DM
50	80	123	9	0	213	103	316	136	452 DM
65	85	192	14	0	291	132	423	190	613 DM
80	85	250	19	0	354	161	515	244	759 DM

	DN Tief- bau	Mate- rial	Verle- gung	Isolie- rung	Summe Verleg.	Bauneben- kosten	Gesamt ohne Oberfläche	Oberflächen- wiederherst.	Gesamt mit Oberfläche
15	75	44	6	9	134	88	222	123	345 DM
20	75	50	6	10	140	88	228	123	351 DM
25	75	62	6	10	152	88	240	123	363 DM
32	75	74	8	11	168	91	259	128	387 DM
40	80	111	8	13	212	94	306	132	438 DM
50	80	147	11	15	253	103	356	136	492 DM
65	85	232	16	16	350	132	482	190	672 DM
80	85	303	21	18	428	161	589	244	833 DM

Tabelle 4.18:
PMR Kosten mit
Abzweig und Rich-
tungsänderung alle
50 m [Lög95].
Zusätzlich die
Bauneben- und
Oberflächenwieder-
herstellungskosten
[Knopf97]

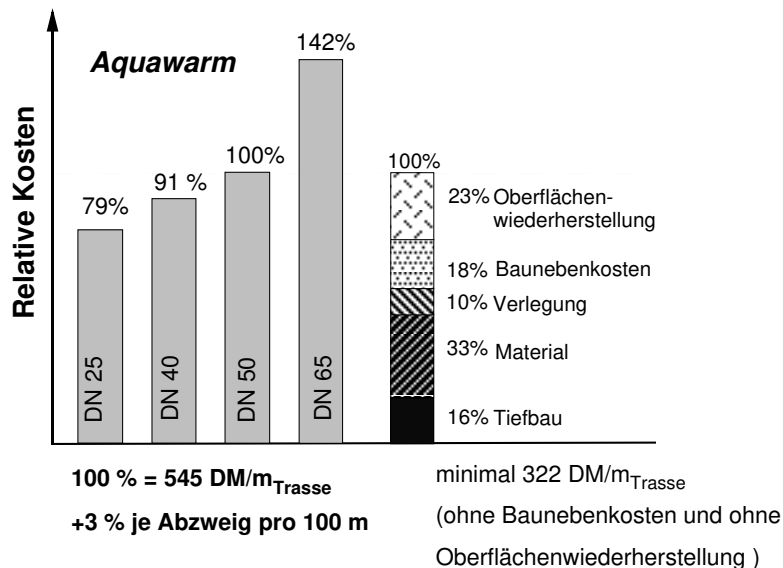


Tabelle 4.19:
Aquawarm Kosten
ohne Abzweig und
Richtungsänderung.
Zusätzlich die
Bauneben- und
Oberflächenwieder-
herstellungskosten
[Knopf97]

DN	Tief- bau	Mate- rial	Verle- gung	Isolie- rung	Summe Verleg.	Bauneben- kosten	Gesamt ohne Oberfläche	Oberflächen- wiederherst.	Gesamt mit Oberfläche
25	77	105	40	0	222	88	310	123	433 DM
40	82	145	45	0	272	94	366	128	494 DM
50	90	165	50	0	305	103	408	136	544 DM
65	120	270	60	0	450	132	582	190	772 DM

Tabelle 4.20:
Aquawarm Kosten
mit Abzweig und
Richtungsänderung
alle 50 m Zusätzlich
die Bauneben- und
Oberflächenwieder-
herstellungskosten
[Knopf97]

DN	Tief- bau	Mate- rial	Verle- gung	Isolie- rung	Summe Verleg.	Bauneben- kosten	Gesamt ohne Oberfläche	Oberflächen- wiederherst.	Gesamt mit Oberfläche
25	77	121	48	0	246	88	334	123	457 DM
40	82	167	54	0	303	94	397	128	525 DM
50	90	190	60	0	340	103	443	136	579 DM
65	120	311	72	0	503	131	634	190	824 DM

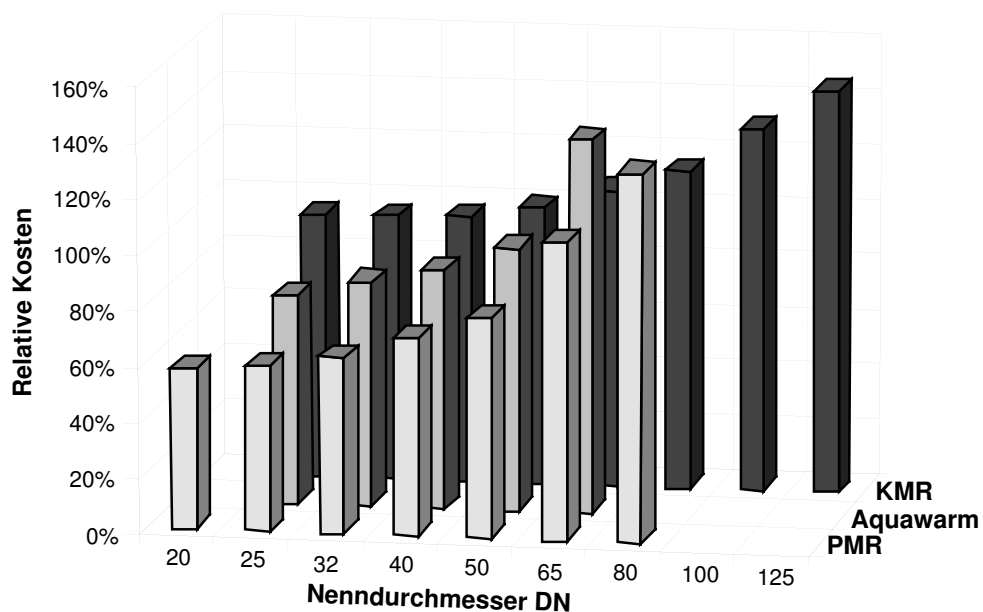


Bild 4.11:
Vergleich der nor-
mierten Rohrnetz-
kosten
KMR DN50=100%

Kostenvergleich für DN 50

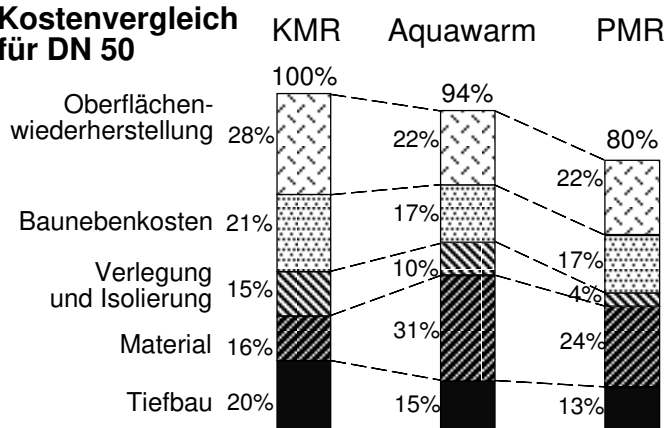


Bild 4.12:
Kostenvergleich der
Netzbaukosten
(DN 50)

Beispiele realisierter Nahwärmenetze

Ort	Alters- hausen [Alters]	Johannes- berg Fulda [Fulda]	Gänswein- berg, Remshalden [Rems]	Wild II Merzig- Brottdorf [Brot]	Bredstedt [Bred]
Verbraucher- Struktur	44 Altbauten 2 komm. Gebäude	40 EFH	ca. 150 WE (geplant) 28 ZFH 5 MFH	76 WE	100 Gebäude 130 WE 1 Altenheim 1 Supermarkt 1 Krankenh.
Verlegesystem	PMR	PMR + KMR Haupt-leitung	KMR + PMR		KMR PMR für HAL
Trassenlänge	3000 m (bis DN100)	1610 m	950 m Trasse 1000 m HAL	530 m + 680 m HAL	4400 m
VL/RL Temp.	90 / 70 °C		75/45 °C		80 / 50 °C
Jahresarbeit	1149 MWh/a			1828 MWh/a	3500 MWh/a
Leistung	400 kW Biomasse- kessel 500 kW Spitzenkessel	2x470 kW Brennwert- kessel	720 kW Spitzenkessel, BHKW geplant		632 kW BHKW 1790 kW Spitzenkessel
Netzkosten ^{1, 2}	766 TDM 255 DM/m _{Tr} 60 DM/MWh	728 TDM 452 DM/m _{Tr}	490 TDM 251 DM/m _{Tr}	200 TDM 375 DM/m _{Tr} 23 DM/MWh	200 DM/m _{Tr} (geschätzt)

¹ Die Investitionskosten umfassen Rohrmaterial und Tiefbau, jedoch keine Hausstationen.

² Der Umrechnung liegt eine 25-jährige Nutzung und ein Zinssatz von 7,5 % zugrunde.

Ort	Fallstudie AGFW [AGFW]	Dorf im Warndt [Saar]	Travemünde [Saar]	Niedern- hausen Distelweg [Niedern]	Freier Stuhl Lemgo [Lemgo]
Verbraucher- Struktur	276 WE 24 MFH 92 EFH			41 EFH	EFH und ZFH
Verlegesystem	PMR	PMR	PMR	PMR	PMR Duo-Rohr
Trassenlänge	1200 m			500 m	ca. 700 m
VL/RL Temp.	90-75 / 40 °C			70 / 40 °C	< 90°C
Jahresarbeit	2866 MWh/a			470 MWh/a	
Leistung	1000 kW			2x170 kW Kessel	800 kW Sekund. Netz
Netzkosten ^{1,2}	512 TDM 427 DM/m _{Tr} 16 DM/MWh	300 DM/m _{Tr}	330 DM/m _{Tr}	182 TDM 364 DM/m _{Tr} 35 DM/MWh	~ 200 DM/m _{Tr}

¹ Die Investitionskosten umfassen Rohrmaterial und Tiefbau, jedoch keine Hausstationen.

² Der Umrechnung liegt eine 25-jährige Nutzung und ein Zinssatz von 7,5 % zugrunde.

Ort	Solarpark Karlshöhe, Hamburg- Bramfeld [Hamb]	Biesterberg Lemgo [Lemgo]	Siekwiese Lemgo [Lemgo]	Bielefeld Waldquelle [Biele]	Fallstudie AGFW [AGFW]
Verbraucher- Struktur	90 RH weitere 124 RH geplant	126 WE (MFH, Altbauten)		105 WE ökologische Misch- bebauung	276 WE (24 MFH 92 EFH)
Verlegesystem	KMR PMR zumeist für HAL	PMR	PMR	KMR mit max. Keller- verlegung	KMR
Trassenlänge	1500 m (Heizung) 650 m (Solar)	500 m	486 m (nur Haupt- leitung)	1136	1200 m
VL/RL Temp.	60 / 30 °C	85-40 / 30°C		90 / 70 °C 70 / 50 °C	110-75 / 40 °C
Jahresarbeit	1610 MWh/a	1433 MWh/a		1210 MWh/a	2866 MWh/a
Leistung	700 kW Spitzenkessel 49 % solarer Deckungs- anteil	1263 kW _{th} BHKW 1250 kW (Reserve)		32 kW _{th} BHKW 460 kW Spitzenkessel	1000 kW
Netzkosten ^{1, 2}		200 TDM 400 DM/m _{Tr} 13 DM/MWh	213 TDM 438 DM/m _{Tr}	285 TDM 251 DM/m _{Tr} 21 DM/MWh	704 TDM 587 DM/m _{Tr} 22 DM/MWh

¹ Die Investitionskosten umfassen Rohrmaterial und Tiefbau, jedoch keine Hausstationen.

² Der Umrechnung liegt eine 25-jährige Nutzung und ein Zinssatz von 7,5 % zugrunde.

5 Hausstationen

Zentrale Filterstation

Der Einsatz eines kombinierten mechanischen-magnetischen Filters im Nebenstrom ermöglicht ein betriebsbegleitendes Herausfiltern der Schwebstoffe (Magnetit, Cu-Späne, usw.), um etwaigen Störungen im Wärmenetz vorzubeugen (Erosion/Korrosion, abrasive Wirkung von Cu-Spänen in Kunststoffrohren, zusätzliche mechanische Beanspruchung der Pumpen, Magnetitablagerung in Wärmetauschern, Verstopfung von Ventilen). Diese Fremdstoffe können vor allem bei direkten Hausstationen durch unsachgemäße Reparaturen in das Nahwärmenetzwasser gelangen. Während bei großen Wärmenetzen nur 5-15% des gesamten Zirkulationswassers im Nebenstrom gereinigt wird, kann bei kleinen Kreislaufsystemen auch eine 100% ige Filtration rentabel sein. Hierbei ist jedoch darauf zu achten, daß mit Hilfe einer automatische Umleitung auch bei zugesetztem, vollem Filter ein Anlagenbetrieb möglich ist. [Busse98]

Dezentrale Trinkwassererwärmung

Mit sogenannten Wohnungsstationen mit dezentraler TWE und individueller Heizungsversorgung läßt sich der Wärmeverbrauch für Heizung und Warmwasser mit Hilfe eines Wärmezählers individuell messen und es müssen keine Hilfsverfahren zur Wärmekostenverteilung angewendet werden. Dies entspricht einerseits dem Wunsch der Vermieter durchlaufende Kosten berechnen zu können, für die sie ursächlich nicht verantwortlich sind und ermöglicht andererseits mit Hilfe einer automatisierten Zählerauslegung (Funkmodule oder Bus-Systeme) eine Verbrauchserfassung ohne Störung der Individualsphäre des Mieters. Derartige automatisierte Systeme kommen jedoch aus Kostengründen nur für den gehobenen Wohnungs- und Verwaltungsbau in Frage. Vorteile der dezentralen Installation sind das eingesparte Zirkulationssystem, die kurzen Wege von der TWE-Anlage zu den Zapfstellen und die oben angesprochene wohnungsweise Abrechnung. Dem gegenüber stehen die hohen Investitionskosten im Vergleich zu zentralen Systemen, der höhere Wartungsaufwand, die schwierigere Wärmemessung aufgrund der geringen Volumenströme und die hohen Wärmeverluste durch die Betriebsbereitschaft des gesamten Systems im Sommer und in der Übergangszeit mit überhöhten Heizmitteltemperaturen. Außerdem erfordert eine wohnungsweise Versorgung und Abrechnung eine horizontale Verlegung der Versorgungsleitungen, d.h. jede Wohnung wird über einen eigenen Strang

versorgt. Dies führt gegenüber der konventionellen vertikalen Verlegungsmethode zu Mehrkosten von ca. 10% [AGFW96b].

Zirkulation

Nach DVGW-Arbeitsblattes [DVGW551] ist für Großanlagen (i.a. größer als ein Zweifamilienhaus) eine Zirkulation vorgeschrieben, deren Einbindung in die TWE sehr oft zu Problemen führt. Durch falsch eingebundene Zirkulationsleitungen kann es zu starken Beeinträchtigungen des gesamten Anlagenbetriebs kommen. Die ständige Rückführung schwach ausgekühlten Trinkwassers stellt vor allem für die Speichersysteme einen potentiellen Störfaktor dar. Allgemein läßt sich sagen, daß die Zirkulationsleitung so zu installieren ist, daß die im Speicher vorhandene Temperaturschichtung nur wenig gestört wird (Einsatz von Prallblechen um einen möglichst waagerechten Zufluß zu erreichen). Außerdem kommt der Anordnung der Temperaturfühler eine große Bedeutung zu. Dessen Platzierung ist jedoch abhängig von den jeweiligen Gegebenheiten der TWE-Anlage, so daß keine Standardlösung definierbar ist. Am unproblematischsten ist die Einbindung mittels eines separaten Wärmetauschers, der die Zirkulationsverluste kontinuierlich ausgleicht. Bei eingebundenen Speicherlade- und Durchlaufsystemen wird dafür der vorhandene Trinkwassererwärmer genutzt. Bei einer Aufteilung der Wärmetauscher in Vor- und Nachwärmer wird die Zirkulation dem meist primärseitig eingebundenen Nachwärmetauscher zugeführt. So erhält man eine bessere Leistungsanpassung an die Zirkulationsverluste und vermeidet durch die ständige Durchströmung etwaige Kalkablagerungen.

Sicherheitsvorschriften für Hausstationen

Wie im Hauptteil ausgeführt, sind die sicherheitstechnischen Vorschriften der DIN 4747 und bei indirekten Hausstationen die DIN 4751 sowie die DIN 4752 zu beachten [DIN4747] [DIN4751] [DIN4752] .

Bei der direkten Anbindung ist eine Druckabsicherung nur dann notwendig, wenn der maximale Netzdruck höher als der zulässige Hausanlagendruck ist. Die Absicherung erfolgt dann über ein Sicherheits- (SV) oder Sicherheitsüberströmventil (SÜV) vorzugsweise kombiniert mit einem Sicherheitsabsperrventil (SAV)²³. Bei indirektem Anschluß ist zwar in jedem Fall ein Sicherheitsventil vorgeschrieben, welches jedoch bei entsprechender Berücksichtigung der DIN 4747 auf einen geringen Volumenstrom (1 l/h je kW Nennwärmeleistung) ausgelegt werden kann.

²³ Bei Kombination mit einem SAV muß die SV/SÜV-Auslegung nur für mindestens 1% des kVS-Wertes des SAV erfolgen, wodurch die kombinierte Absicherung kostengünstiger wird als die alleinige SV/SÜV-Absicherung.

Aufwendiger ist die Temperaturabsicherung (Tabelle 5.21), die dann nötig wird, wenn die Netzvorlauftemperatur höher als die zulässige Hausanlagentemperatur ist. Bei der Absicherung ist zwischen der Raumwärmerversorgung und der TWE zu unterscheiden. Während bei erstgenannter entsprechende Sicherheitseinrichtungen erst ab Netzvorlauftemperaturen von 120 °C notwendig werden, müssen bei der TWE schon ab Heizmitteltemperaturen²⁴ von 100 °C sogenannte typgeprüfte Temperaturregler und ab 110 °C Sicherheitstemperaturbegrenzer installiert werden.

Anlage	Netzvorlauf-temperatur (Heizmittel-temperatur)	zulässige Temperatur in der Hausanlage	Vorlauf-temperatur- regelung	Sicherheitstechnische Ausrüstung			Sicherheits- funktion nach DIN 32 730 (früher Notstell- funktion)
				TR ²⁰⁾	STW ²⁰⁾	STB ²⁰⁾	
				typgeprüft			
				mit und ohne Hilfsenergie			
Raum- heizung/ Lüftung/ Klima	≤ 120	≥ Netzvorlauf-temperatur	erforderlich ²¹⁾	nicht erforderlich	nicht erforderlich	nicht erforderlich	nicht erforderlich
		< Netzvorlauf-temperatur	erforderlich	nicht erforderlich	erforderlich	nicht erforderlich	erforderlich
	> 120	> Netzvorlauf-temperatur	erforderlich	erforderlich	erforderlich max ²³⁾ ϑ_{Hzul}	nicht erforderlich	erforderlich
Wasser- erwär- mung	≤ 110	_____	_____	erforderlich ²⁴⁾	nicht erforderlich	nicht erforderlich	nicht erforderlich
	> 110	_____	_____	erforderlich	nicht erforderlich	erforderlich max. 95°C ²²⁾ ²³⁾	erforderlich

²⁰⁾ Definition nach DIN 3440

²¹⁾ Bei gleitender Netzfahrweise ist eine dezentrale Temperaturregung mit thermostatischen Heizkörperventilen ausreichend.

²²⁾ Nicht erforderlich bei Wassererwärmungsanlagen mit Speicher-Wassererwärmern und Wasserspeichern, bei denen das Produkt aus dem zulässigen Betriebsdruck p in bar und dem Nenninhalt V der Wasserseite in Liter den Wert $p \cdot V = 300$ und zugleich die zugeführte Wärmeleistung P den Wert 10 kW nicht übersteigen, sowie Wassererwärmungsanlagen mit Durchflußwassererwärmern, bei denen der Nenninhalt V der Wasserseite den Wert 15 Liter und die zugeführte Wärmeleistung P den Wert 50 kW nicht übersteigen.

²³⁾ Eigensicherheit im Sinne von DIN 3440 bzw. DIN VDE 0631 und DIN VDE 0631 Teil 1 ist nicht erforderlich bei Anlagen mit einem Speicherinhalt < 5000 l und einer Wärmeleistung von < 250 kW.

²⁴⁾ Nicht erforderlich bei Heizmitteltemperatur < 100°C

Tabelle 5.21:
Sicherheitstechnische Ausrüstung zur Temperaturabsicherung von Fernwärmehausstationen

²⁴⁾ Bei der TWE ist die Heizmitteltemperatur entscheidend, welche bei direkter Einbindung der Netzvorlauftemperatur und bei indirekter der sekundären Vorlauftemperatur entspricht.

Hygienische Vorschriften für die Warmwasserbereitung

Die DVGW-Arbeitsblätter zielen auf eine Verhinderung der Legionellenvermehrung in Neu- ([DVGW551]) und in Altanlagen ([DVGW552]) ab. Legionellen (Stäbchenbakterien) kommen in der Natur in jedem Süßwasser vor. So gelangen sie auch mit dem kalten Trinkwasser in die Hausinstallation, jedoch in geringer, ungefährlicher Konzentration (ca. eine Legionelle pro Liter). Hier können sie sich bei Temperaturen zwischen 25 °C und 42 °C stark vermehren, so daß z.B. in stehendem Wasser bei Temperaturen von 40°C in wenigen Tagen Konzentrationen von 10^8 Legionellen pro Liter Wasser erreicht werden. Gesundheitlich gefährlich werden die Bakterien für den Menschen durch Einatmung über sogenannte Aerosole. Die in die Lunge gelangenden Legionellen können sich in körpereigenen Zellen (Makrophagen) vermehren, weshalb auch die Sterblichkeitsrate sehr hoch sein kann (bis 30%).

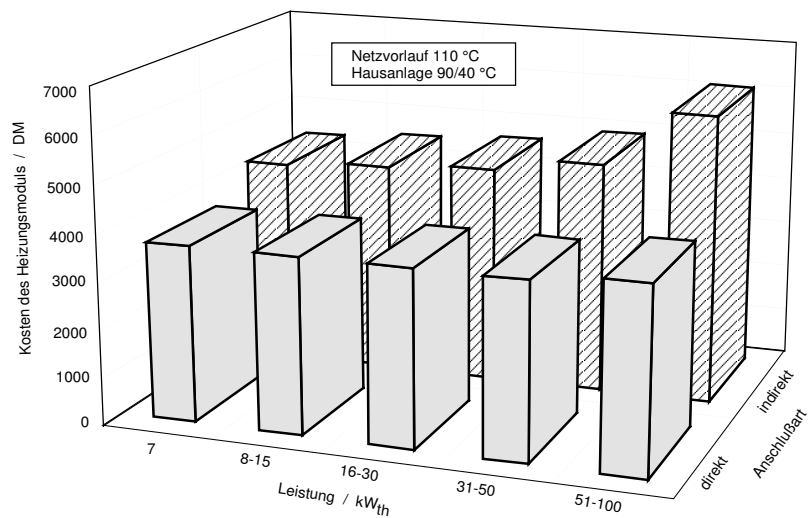
Durch Temperaturerhöhung auf 60-65 °C können die Legionellen abgetötet werden so daß in Warmwasserspeichern die Temperatur wenigstens kurzzeitig erhöht werden sollte. Aus diesem Grund werden die Vorlauftemperaturen bei Nahwärmenetzen im Sommer auf minimal 70°C abgesenkt. Ferner sollte eine regelmäßige Entschlammung der Behälter durchgeführt werden, da Schlamm einen guten Nährboden bietet. Darüber hinaus ist anzumerken, daß die meisten Elastomere (Gummidichtungen, -duschschläuche) ebenfalls gute Nährböden darstellen und Eisenionen im Gegensatz zu den Kupferionen ein Legionellenwachstum fördern, was für die Auswahl des Leitungsmaterials bedeutend ist. Neben der erwähnten thermischen Desinfektion können auch chemische Verfahren zur Desinfektion (Chlorierung, Ozonierung) und UV-Bestrahlung zur Abtötung der Bakterien eingesetzt werden.

Kosten von Hausstationen

a) Heizungsmodul

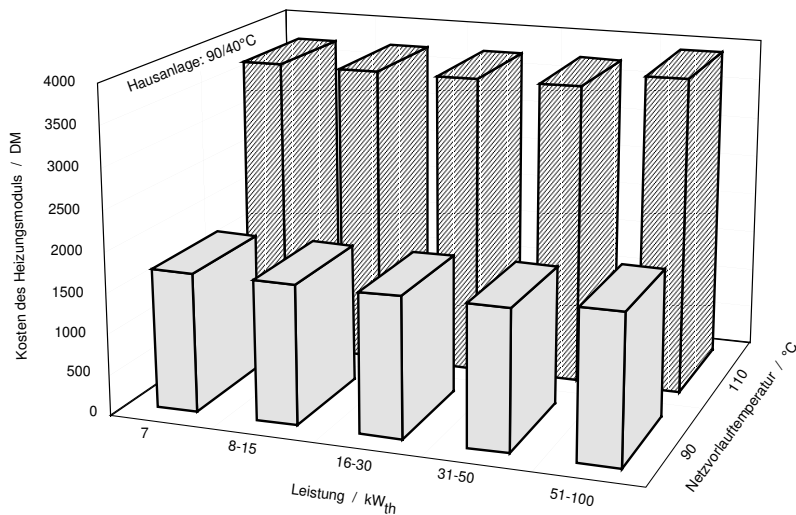
Bei Temperaturen unter 120 °C sind Kostenvorteile für den direkten Anschluß festzustellen, die mit zunehmender Leistung steigen. Am Beispiel eines 110°C-Netzes sind diese Zusammenhänge in Bild 5.1 dargestellt.

Bild 5.1:
Kosten des
Heizungsmoduls in
Abhängigkeit der
Anschlußart
[AGFW96b]



Die Vorteile des direkten Anschlusses steigen bei weiterer Temperaturabsenkung, wie am Beispiel eines Netzes mit 90 °C Vorlauftemperatur gegenüber einem 110 °C Netz deutlich wird (Bild 5.2).

5.2:
 sstationskosten
 e TWE) in
 ängigkeit der
 ung und der
 vorlaufttempe-
 r [AGFW96b]



Der Einfluß des Sekundärkreislauftes auf die Hausstationskosten ist gegenläufig. Bei einem Netz mit 90°C Netzvorlauftemperatur und direkten Anschlüssen sind die Kosten für die Hausstationen bei niedrigen Hausanlagenvorlauftemperaturen deutlich höher. (Bild 5.3).

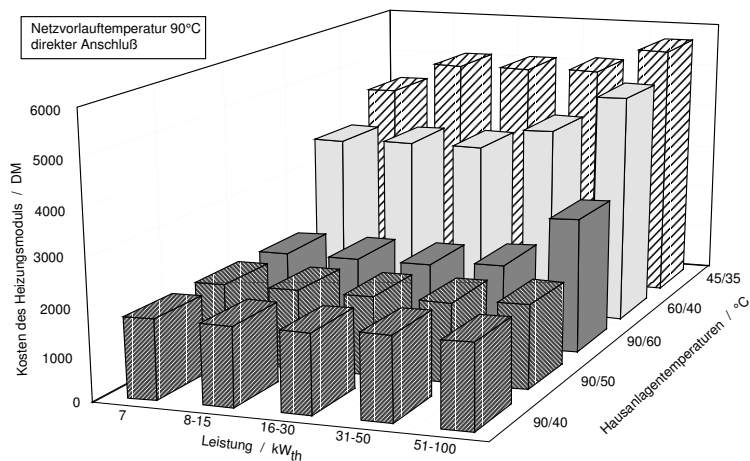


Bild 5.3:
 Kosten einer Haus-
 station (ohne TWE)
 in Abhängigkeit von
 der Leistung und den
 Betriebs-
 temperaturen der
 Hausanlage
 [AGFW96b]

b) Trinkwasser-Erwärmungssysteme (TWE-Systeme)

Im relevanten Temperaturbereich stellt das Durchflußsystem das preiswerteste TWE-System dar. Zwischen Speicher- und Speicherladesystemen existieren kaum

Kostenunterschiede bei kleinen N_L -Zahlen²⁵. Mit steigender Leistung ergeben sich jedoch Vorteile für das Speicherladesystem (Bild 5.4).

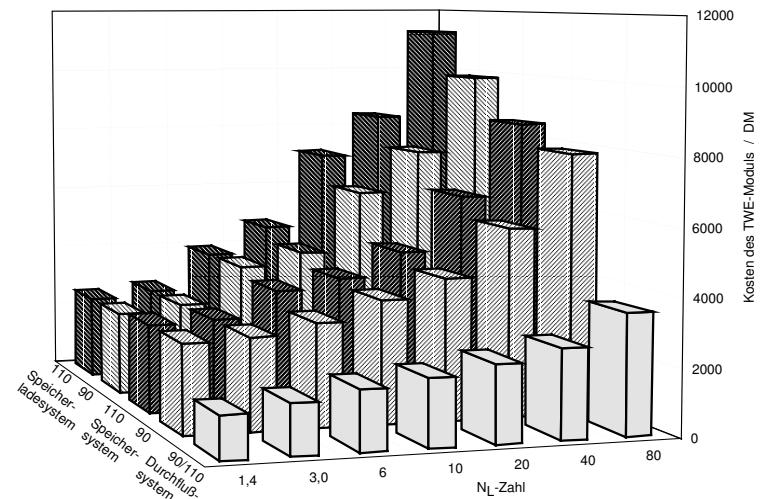


Bild 5.4:
Kosten des TWE-
Systems bei primärer
Einbindung in
Abhängigkeit der
Leistung und der
TWE-Art [AGFW96b]

6 Herstellerverzeichnis

BHKW-Hersteller-Verzeichnis

Firma [Förder97]	Telefon Fax	Leistung elektrisch	Leistung thermisch	Abgasreinigung
ABL Lemkers Griesstraße 18 85567 Grafing	08092/84000 08092/84050	15-450 kW	21-675 kW	Rußfilter
AMS Antriebs- u. Maschinen- technik Barbarastr. 9 39202 Schönebeck/Elbe	03928/454912 03928/454613	125-210 kW		keine
AN Maschinenbau & Umweltschutzanlagen GmbH Waterbergstraße 11f	0421/694580 0421/642283			

²⁵ Die Leistungszahl N_L gibt nach DIN 4708 an, für wieviele Einheitswohnungen mit dem Standardwärmebedarf $W_E=5,82$ kWh (d.h. eine Badewannenfüllung á 140 l in 10 min) ein Wassererwärmer geeignet ist. (siehe auch DIN 4708 Teil 1-3)

Firma [Förder97]	Telefon Fax	Leistung elektrisch	Leistung thermisch	Abgasreinigung
28237 Bremen				
August-Storm GmbH & Co. August Storm Straße 6 48480 Spelle	05977/730 05977/7338	36-1135 kW	43-1204 kW	Rußfilter
Bitop Energietechnik Max Geisberger Hassenham 4 84419 Schwindegg	08082/8738 08082/5184	10 kW		auf Anfrage
Blohm+Voss AG Motorheizkraftwerke / ME51 Hermann-Blohm-Straße 3 20457 Hamburg	040/3119-0 040/3119-3339			SCR-Reinigung
BTB Blockheizkraftwerks-Träger- u. Betreiberges. mbH Bln. Reuchlinstraße 10 - 11 10553 Berlin	030/349907-0 030/34427-20			
Centec Energiesysteme Johannisbergstr. 35 97993 Creglingen	07933/990023 07993/990025	15-1000 kW		mit u. ohne Abgasreinigung
COMUNA METALL Blockheizkraftwerke Uhlandstraße 17 32051 Herford	05221/9151-0 05221/9151-48			
Continental Industrie Deutschland GmbH Hardenbergerstr. 6 41539 Dormagen	02133/4700-33			
DEBA Wärme-Kraft GmbH Töpferstraße 9 99734 Nordhausen	03631/2102 03631/40071	15-400 kW		mit u. ohne Abgasreinigung
Deutz MWM Diesel- und Gastechneik GmbH Rudolf-Diesel-Str. 50 38820 Halberstadt	03941/320 03941/32543			
Dieselmotoren und Gerätebau GmbH Barbarastr. 9 39218 Schönebeck/Elbe	03928/454912 03928/454613			
DIMAG Dieselmotoren AG Bachmatten 5 4435 Niederdorf (Schweiz)	0041/ /619512424 /619512458			
DML	0341/4493-0	15-500 kW		SCR-Reinigung

Firma [Förder97]	Telefon Fax	Leistung elektrisch	Leistung thermisch	Abgasreinigung
Dieelmotorenwerk Leipzig GmbH Heinrich-Heine-Str. 35 4426 Böhlitz-Ehrenberg	0341/4493-100			Rußfilter
Ebitec-Possehl GmbH Weslaer Str.112 2400 Lübeck 16	0451/148-225			
Edel GmbH Simoniusstr. 26 A 88239 Wangen im Allgäu	07522/80073 07522/80076	515 bis 800 kW		
EES Erdgas Energie Syteme GmbH Wolfsbankring 38 45355 Essen	0201/685990 0201/6859922			
Econ-Energietechnik GmbH Hauptstr. 66 25899 Klixbüll	04662/77414 04662/77418	30-90 kW	43-122 kW	
ENERCON Ges. für Energieanlagen mbH & Co KG Dreekamp 5 26605 Aurich	04941/927-173 04941/927-199	65 kW	85 kW	
EnerGenius GmbH Dr.-Kurt-Steim-Str. 7 78713 Schramberg	07422/51646 07422/51612	50-130 kW	73-187 kW auf Anfrage	
Energietechnik Kuntschar + Schlüter GmbH Berghofstraße 11 34466 Wolfhagen	05692/4142 05692/4540	25-225 kW	3 -305 kW keine	
Energietechnik Petauer Am Eisenhammer 5 92548 Schwarzbach	09675/1501	ab 4 kW		
Energietechnik Stüber Koppelweide 1 51674 Wiehl	02262/97121 02262/91437			
energiewerkstatt Ges. f. rat. Energieverwen- dung Limmerstr. 81 30451 Hannover	0511/2109123 0511/2110923			
energiewerkstatt/ GLIZIE GmbH Brunnenstraße 4 35510 Butzbach	06033/16837 06033/1244			

Firma [Förder97]	Telefon Fax	Leistung elektrisch	Leistung thermisch	Abgasreinigung
Fichtel & Sachs AG Postfach 1240 97419 Schweinfurt	09721/98-0 09721/98-2081			
FIMAG Finsterwalder Maschinen- & Anlagenbau GmbH Postfach 68 3231 Finsterwalde	03531/508-0 03531/508-109			
Ford Werke AG Bereich Motoren PF 712222 50735 Köln	0221/900 0221/9032721			
Frichs A/S Satellitvej 3 8700 Horsens/Dänemark	0045/ /45/75647244 /45/75647433			
Früh-Herbst Anlagentechnik Berlin GmbH Lankwitzer Str. 23-25 12107 Berlin	030/76181-0 030/76181-133	200-300 kW		keine
G.A.S. Energietechnik GmbH Hessenstr. 57 47809 Krefeld (Linn)	02151/5255-0 02151/5255-55			
GASPOWER Coenergy Systems GmbH Wernerstraße 35 29227 Celle	05141/9871-0 05141/9878-77	30-120 kW	39-150 kW	keine
GFK Profitor Gesellschaft für KWK mbH Industriestraße 20 28199 Bremen	0421/518402 0421/518481			
Haase Energietechnik Gadelanderstr. 172 24531 Neumünster	04321/878-0 04321/878-29			
Haats Blockheizkraftwerke Lichtstr. 50 50825 Köln	0221/9542900 0221/546-2809	6- 87 kW	11-224 kW	SCR-Reinigung Oxi-Kat
HaweKa GmbH Südlichener Straße 11 59379 Selm	02592/3091 02592/3036			
Helios Öko-Energieanlagen GmbH Kapellenweg 1 9120 Chemnitz	0371/9152-0			
Herwi-Solar-GmbH	09372/1554			Rauchgaswäsche

Firma [Förder97]	Telefon Fax	Leistung elektrisch	Leistung thermisch	Abgasreinigung
Röllfelder Str. 17-18 63934 Röllbach	09372/1695			
Höcker & Partner Energiesysteme GmbH Oberes Tor 106 98631 Westenfeld	036948/84132 036948/84152	6-246 kW	10-344 kW	2-Wege-Kat
Höfler Blockheizkraftwerke GmbH Ladestraße 26 88131 Lindau	08382/25057 08382/23773			
Icemaster / Panda Generatoren und Kälte- technik Otto-Hahn-Str. 40 33104 Paderborn	05254/4098 05254/85724	3-50 kW		Rußfilter
IFA Motorenwerke Nordhausen GmbH Freiherr-vom-Stein-Str. 30c 99734 Nordhausen	03631/6580 03631/658922			
Interschalt GmbH Osterbrooksweg 42 22869 Schenefeld	040/83033-0 040/8302617			
Iveco Magirus AG Dieselmotorenvertrieb Heiner Fleischmann Str. 9 74172 Neckarsulm	07132/9769-0 07132/9769-35			
JES Jenbacher Energiesysteme GmbH Amselstr.28 68307 Mannheim	0621/77094-0 0621/77094-70			
KBA Immer GmbH & Co. KG Boschstrasse 2 89079 Ulm	0731/45096 0731/481160			
Kirsch GmbH Biewerer Str. 231 54293 Trier	0651/9660-116 0651/9660-400	100-300 kW	133-400 kW	abgasreinigender Wärmetauscher
KKW Färber GmbH Südstr. 1 77767 Appenweiler-Urloffen	07805/3011- 301 07805/3014	30-800 kW		keine
Köhler & Ziegler GmbH Anlagentechnik Postfach 1133 35457 Lollar	06406/91030 06406/910330			
KRAMB	06761/94000	100-400 kW		SCR-Reinigung

Firma [Förder97]	Telefon Fax	Leistung elektrisch	Leistung thermisch	Abgasreinigung
Mothermik GmbH & Co. Altes Bahnbetriebswerk 55469 Simmern/Hunsrück	06761/9400-13			Oxi-Kat
H. Krantz-TKT GmbH Uersfeld 24 52072 Aachen	0241/434-1 0241/172612	30-2300 kW	75-2225 kW	keine Angaben
KSW Energie- u. Umwelttechnik GmbH Justus-von-Liebig-str. 22 53121 Bonn	0228/661091 0228/664543	25-1400 kW	36-1540 kW	SCR-Reinigung, Rußfilter und Oxi-Kat
Kuntschar+Schlüter Energietechnik GmbH Berghofstraße 11 34466 Wolfhagen-Ipping- hausen	05692-4142 05692/4540	25-225 kW	38-305 kW	SCR-Reinigung, Rußfilter und Oxi-Kat
MAN Dezentrale Energiesysteme GmbH Stadtachstraße 1 86153 Augsburg	0821/503703 0821/5037140			
MBH Maschinenbau Halberstadt GmbH Rudolf-Diesel-Str.50 38820 Halberstadt	03941/32-470 03941/32543	2500- 5000kW		SCR-Reinigung, Oxi-Kat
MWB Motoren & Anlagen GmbH & Co Barkhausenstr. 27568 Bremerhaven	0471/9450231 0471/49450230	35-650 kW	48-813 kW	SCR-Reinigung Oxi-Kat, Rußfilter auf Anfrage
MWM Motorenwerke Mannheim AG Carl-Benz-Straße 5 68140 Mannheim	0621/3840 0621/384328	620 bis 1650 kW		SCR-Reinigung, Oxi-Kat
Nedalo BV Redementsweg 4 3641 SK Mijdrecht	02979/93200 02979/85930			
OET Ochtruper Energietechnik GmbH Deipenbrook 31 48607 Ochtrup	02553/80907 02553/5890	4-700 kW	6-1050 kW	SCR, Rußfilter, Oxi-Kat
Öko-Energieanlagen GmbH Postfach 380 37242 Bad-Sooden-Allen- dorf	05652/4977			
Öko-Energiesysteme Hauptstr. 8	036076/51313 036076/51307	25-150 kW	30-185 kW	

Firma [Förder97]	Telefon Fax	Leistung elektrisch	Leistung thermisch	Abgasreinigung
37355 Deuna				
ONSI Corporation 195 Governors Highway South Windsor, Conneticut,USA	P.O.Box 1148			
pro solar Energietechnik GmbH Deisenfangstr. 47-51 88212 Ravensburg	0751/3610-0 0751/3610-10			
REGA Energiesysteme GmbH Nenndorfer Str. 45 3007 Gehrden 4	05108/4021			
Robert Bosch GmbH Ludwigsburger Str. 81 71696 Möglingen	07141/489-0 07141/489-318			
ROM, Rudolf Otto Meyer Tilsiter Str. 162 22047 Hamburg	040/69492319			
Sauter Wärme+Kraft GmbH Mühlstr. 90 72461 Albstadt	07432/13404 07432/8282	5-700 kW	6-840 kW	Oxi-Kat Mager
SEAB GmbH & Co. Anlagenbau Augsburger Str. 704 70329 Stuttgart	0711/322079 0711/329609			
SKL Motoren- und Systemtechnik GmbH Alt Salbke 6-10 39122 Magdeburg	0391/40320 0391/432-4015			
Senertec, Sachs HKA Carl-Zeiß-Str. 18 97424 Schweinfurt	09721/651-0 09721/651-203	5,5 kW	12 kW	
Siemens AG Bereich Energieversorgung Freyesleben 1 91058 Erlangen	09131/180	190 bis 2800 kW	1400 bis 6400 kW	SCR-Reinigung
SOKRATHERM GmbH Energie- und Wärmetechnik Milchstraße 12 32120 Hiddenhausen	05221/96210 05221/66063	43-117 kW	66-150 kW	Oxi-Kat
SOWAR BHKW Engineering GmbH Berlin Remtalerstr. 26 13465 Berlin	030/4063-2746	92kW bis 4,5MW		SCR, Oxi-Kat

Firma [Förder97]	Telefon Fax	Leistung elektrisch	Leistung thermisch	Abgasreinigung
Steinecke Wärme-Kraft-Kopplung Lessingstr. 71 39108 Magdeburg	0391/7313892 0391/7313893	8 kW	20 kW	
STR Energietechnik Gamenerkamp 132 44532 Lünen	02306/205049 02306/25577	5-100 kW		
Stromerzeugung GmbH & Co Anlagenbau KG Filsweg 13 73207 Polchingen	07153-82760 07153/827660	50-2000 kW		Rußfilter
Stüber Energietechnik Koppelweide 1 51674 Wiehl	02262/97121 02262/91437	6-600 kW	11-1200 kW	Rußfilter
Tippkötter GmbH Velsen 49 48231 Warendorf	02584/9302-0 02584/9302-50	6-32 kW 40-400 kW 0,3-5 MW		
TMW Thüringer Motorenwerke GmbH Motorenstr. 1 99734 Nordhausen	03631/60630 03631/658243	46-110 kW	80-150 kW	
TTG Tuma Turbomach GmbH Im Leuschnerpark 1 64347 Griesheim	06155/8749-0 06155/8749-99			
Ulstein Deutschland GmbH Parallelweg 30 28219 Bremen	0421/3806313 0421/3863144	600 bis 4000 kW		
Valmet Automation GmbH Nissan-Str. 2 41468 Neuss-Uedersheim	02131/93350 02131/933533			
Wärme- und Umwelttechnik WTU InterEnergio GmbH Kurze Str. 5-6 13158 Berlin	030/9164796 030/9165858			
WÄRTSILÄ Diesel GmbH Lederstraße 15 22525 Hamburg	040/540098-0 040/540098-11	775 kW bis 15,8 MW		SRC-Reinigung, Rußfilter
Waukesha / USA Generalvertretung EES Wolfsbankring 38 45355 Essen	0201/68599-0 0201/68599-22			

Anhang

Firma [Förder97]	Telefon Fax	Leistung elektrisch	Leistung thermisch	Abgasreinigung
York International Gottlieb-Daimler-Str. 6 68165 Mannheim	0621/468-0 0621/468-654			
ZANDER Wärmetechnik Kulmbach GmbH Am-Goldenen Feld 23 95326 Kulmbach	09221/602-0 09221/602-49			
Zantingh GmbH Pablo-Picasso-Straße 45 13057 Berlin	030/9242187 030/9242187			
Zeise Elektromaschinenbau GmbH An der Tongrube 2 40789 Monheim	02173/52081 02173/52683	ab 2 kW		
Zeppelin Bau- maschinenGmbH Zeppelinstraße 2 28832 Achom	04202/9146-0 04202/9146-33	200 kW bis 270-4000 kW 3800 kW		SCR-Reinigung, Rußfilter und Oxi-Kat

Heizkessel-Hersteller-Verzeichnis

Hersteller	Straße	Ort	Telefon / Fax
ABIG Werke	Abigstraße 1	88662 Überlingen	07551/8004-21 07551/8004-50
Benraad Heiz- und Haustechnik GmbH	Konrad-Adenauer- Straße 27	35745 Herborn	02772/9889-0 02772/51320
Robert Bosch GmbH Geschäftsbereich Junkers	Junkersstraße 20-24	73249 Wernau	07153/306-0 07153/306-560
Brötje GmbH & Co.	August-Brötje- Straße 17	26180 Rastede	04402/80-0 04402/80-583
Gebr. Bruns GmbH	Hauptstr. 200	26683 Saterland	04492/464 04492/7141
Buderus Heiztechnik GmbH	Sophienstraße 30-32	35576 Wetzlar	06441/418-0 06441/45602
CTC Heizkessel-Wärmetechnik	Friedhofsweg 8	36381 Schlüchtern- Wallroth	06661/4697 06661/71114
De Dietrich Heiztechnik GmbH	Kinzigstraße 12	77694 Kehl	07851/797-233 07851/797-298
Deutsche Hoval GmbH	Gartenstraße 93	72108 Rottenburg / Neckar	07472/163-0 07472/163-49
Eco Klöckner Heiztechnik GmbH	Haigerlocher Str. 42	72379 Hechingen	07471/187-0 07471/187-111
EWFE Heiztechnik GmbH	Haferwende 23	28357 Bremen	0421/2079-0 0421/2079-997
Fröling GmbH & Co.	Hoffnungsthaler Str.	51491 Overath	02204/720-0 02204/720-204
GEA DWS Wärmesysteme GmbH	Südstraße 48	44625 Herne	02325/468-00 02325/468222
Hydrotherm GmbH	Dr.-Stiebel-Straße	37601 Holzminden	05531/702-0 05531/702-716
Justus GmbH	Weidenhäuser Str. 1- 7	35075 Gladenbach	06462/923-0 06462/923-354
Körting Hannover AG	Badenstedter Str.56	30453 Hannover	0511/2129-0 0511/2129-223
Oertli Rohleder Wärmetechnik GmbH	Raiffeisenstraße 3	71696 Möglingen	07141/2454-0 07141/2454-88
Paradigma Ritter Energie und Umwelt- technik	Ettlinger Str. 30	76307 Karlsbad	07202/922-0 07202/922-100
Rapido Wärmetechnik GmbH	Rahserfeld 12	41748 Viersen	02162/3709-0 02162/3709-67
Remeha Heizgeräte GmbH	Bischofstraße 96	47809 Krefeld	02151/5587-0 02151/557798

Riello GmbH	Waldstraße 68a	63128	Dietzenbach	06074/82110 06074/44535
SBS Schmidt GmbH + Co.	Carl-Benz-Str. 17-21	48286	Greven	02575/308-0 02575/308-29
Schäfer Heiztechnik GmbH	Pfannenbergsstraße	57290	Neunkirchen	02735/787-03 02735/787-249
Sieger Heizkessel GmbH	Alter Fuhrweg 10	57223	Kreuztal	02732/795-0 02732/795-157
Strebel	Mundenheimer Str. 61	68219	Mannheim	0621/8793-0 0621/8793-199
Joh. Vaillant GmbH u. Co.	Berghauser Str. 40	42859	Remscheid	02191/18-0 02191/18-2810
Viessmann Werke GmbH & Co.	Industriestraße	35107	Allendorf/ Eder	06452/70-0 06452/70-2780
Max Weishaupt GmbH	Max-Weishaupt-Straße	88475	Schwendi	07353/83-0 07353/83-358
Wolf GmbH	Industriestr. 1	84048	Mainburg	08751/74-0 08751/74-1600
Ygnis-Pyrotherm Vertriebsges. GmbH & Co.	Siegstraße 74	57076	Siegen	0271/77224-0 0271/77224-22

Fernwärmerohr-Hersteller-Verzeichnis

Hersteller	Straße	Ort	Telefon/ Fax
ABB Isolrohr GmbH	Karrystr. 15	36041 Fulda	0661/1093-0 0661/1093-40
Aquatec GmbH	Max-Nonne-Str. 47	22419 Hamburg	040/5311041 040/5311044
Brugg Rohrsysteme GmbH	Adolf-Oesterheld-Str. 31	31515 Wunstorf	05031/170-0 05031/170-170
FLEXALEN -Fernwärme-systeme GmbH & Co		Wien/Österreich	
isoplus Fernwärmetechnik Vertriebsgesellschaft mbH	Aisinger Str. 12	83026 Rosenheim	08031/650-0 08031/650-110
Kusimex Fortschrittliche Rohrleitungssysteme GmbH	Wipperfürther Str. 29-31	51074 Köln	0221/854071 0221/854011
Løgstør Rør-Pan-Isovit	Heinrichstr. 55	36037 Fulda	0661/9763-0 0661/9763-22
Star Pipe A/S Dansk Rørindustri, LIGO	Quickbornerstr. 40	13439 Berlin	030/40777-124 030/4151075
Tarco Energi GmbH	Strickerstr. 28	45329 Essen	0201/83449-0 0201/83449-55
Uponor Anger GmbH	Brassertstr. 251	45768 Marl	02365/696-0 02365/696-102

Hausstationen-Hersteller-Verzeichnis

Hersteller	Straße	Ort	Telefon/ Fax
ambra Fernwärme- Kompaktstationen GmbH	Kraftwerksstraße	39126 Magdeburg	0391/50592-0 0391/50592-20
Archi-Form Nemi GmbH	Gerlingweg 13	25335 Elmshorn	04121/50-171 04121/50-489
ewers-Heizungstechnik GmbH	Postfach 1168	33748 Schloß Holte- Stukenbrock	05207/9190-0 05207/9190-48
LIMAX Öl-Gas-Fern- wärmetechnik GmbH	Finsterwalder Str.	01979 Lauchhammer- West	03574/8701-0 03574/8701-45
MVV Mannheimer Versorgungs- und Ver- kehrsgesellschaft mbH	Luisenring 49Max-	68159 Mannheim	0621/290-2956 0621/290-2089
Redan A/S	Sindalsvej 33-35	DK-8240 Risskov	+45 86212211 +45 86214212

Abkürzungsverzeichnis:

AGFW	Arbeitsgemeinschaft Fernwärme
BHKW	Blockheizkraftwerk
BZ	Brennstoffzelle
EVAL	Ethen-Vinylalkohol-Copolymer, auch EVOH genannt
GFK	Glasfaserkunststoff
GMFH	großes Mehrfamilienhaus
HAL	Hausanschlußleitung
HKW	Heizkraftwerk
KMFH	kleines Mehrfamilienhaus
KMR	Kunststoffverbundmantelrohr
KW	Kaltwasser
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
KWP	Kompressions-Wärmepumpe
MCFC	Carbonatschmelzen-Brennstoffzelle
MFH	Mehrfamilienhaus
MMR	Flexible Metallmediumrohre
NEH	Niedrigenergiehaus
NT-Kessel	Niedertemperatur-Kessel
PAFC	Phosphorsäure-Brennstoffzelle
PB	Polybuten
PE	Polyethylen
PEMFC	Polymermembran-Brennstoffzelle
PEX	vernetztes Polyethylen
PMR	Flexible Kunststoffmediumrohre
PUR	Polyurethan
RH	Reihenhaus
RL	Rücklauf
SAV	Sicherheitsabsperrentil
STB	Sicherheitstemperaturbegrenzer
STW	Sicherheitstemperaturwächter

Abkürzungsverzeichnis

SÜV	Sicherheitsüberströmventil
SV	Sicherheitsventil
TAB	Technische Anschlußbedingungen
TR	Temperaturregeleinrichtung
TWE	Trinkwassererwärmung
TWW	Trinkwarmwasser
VL	Vorlauf
WE	Wohneinheiten
WSchV	Wärmeschutzverordnung
WW	Warmwasser
ZFH	Zweifamilienhaus

Index-Verzeichnis Anhang:

A

Anbohrtechnik	45
Anschluß-/Benutzungszwang	1
Aquifer	29

B

Betreiber-/Finanzierungsmodelle	5
BHKW-Hemmnisse	15
BHKW-Hersteller-Verzeichnis	64
BHKW-Marktentwicklung	13
Biogene Brennstoffe, Feuerungstechnik	19
Biomasseaufbereitung für feste Brennstoffe	17
Biomassekonversion in flüssige Brennstoffe	17
Biomassekonversion in gasförmige Brennstoffe	18
Biomasse-Nahwärmenetze	21
Biomassevergasung, Prinzipien	20
Brennstoffzelle, Funktionsweise	15
Bundes-Immissionsschutzverordnung	6

D

Dehnpolster	43
Dimensionierung KMR	47
Dimensionierung MMR	49
Dimensionierung PMR	48
Dimensionierung von Fernwärmerohren	46
Doppelrohrsysteme	42
Dreileiter-System	34

E

Einschleif-Trassenführung	36
Erdsondenspeicher	30
Erdwärmekollektoren	25
Erdwärmesonden	26

F

Fernwärmerohr-Hersteller-Verzeichnis	74
Filterstation, zentrale	58
Flachkollektor	28
Flachverlegung	43
Flexible Kunststoffmediumrohre	39
Flexible Metallmediumrohre	40

G

GFK-Rohrssysteme	41
------------------	----

H

Hausstation, Sicherheitsvorschriften	59
Hausstationen, Kosten	62
Hausstationen-Hersteller-Verzeichnis	74
Haus-zu-Haus-Trassenführung	36
HDR-Verfahren	24
Heizkessel-Hersteller-Verzeichnis	72
Hydrothermale Geothermie	22
Hydrothermie-Projekte	24

J

Jahresdauerlinien	10
-------------------	----

K

Kunststoffverbundmantelrohr	37
-----------------------------	----

M

Mengenregelung	51
----------------	----

N

Nahwärmenetze-Projektbeispiele	56
Netzverluste	50

O

Oberflächennahe Geothermie, Projekte	27
--------------------------------------	----

P

Pipelineverlegung	44
-------------------	----

R

Ringnetz	36
Rohrnetzkosten	52

S

Saisonale Wärmespeicher	29
Sandmischung, stabilisierte	44
Siedlungstypenverfahren	8
Solarkollektoren	29
Solarthermie, realisierte Projekte	30
Standard-Trassenführung	36
Stirlingmotor	31
Strahlennetz	35

Strömungsgeschwindigkeit	50
Stromvergütung	14
T	
Tagestakt / Tagesbaustelle	45
Temperaturregelung	51
Tiefbautechnik, standard	42
Trinkwassererwärmung, dezentrale	58
Ü	
Übereinanderverlegung	44
V	
Vakuumröhrenkollektor	28
Vierleiter-System	35
W	
Wärmeabrechnung	6
Warmwasserbereitung, Hygiene-Vorschriften	61
Z	
Zirkulation	59

Literaturverzeichnis:

- [ABB92] ABB Isolrohr: Handbuch ABB Fernwärme, 12. Ausgabe, 1992
- [AGFW92] AGFW e.V.: Einfluß der Temperatur- und Mengengleitung in Heizwassernetzen auf die Betriebskosten, AGFW-Mitgliederinformation 4.1.18, 12/1992
- [AGFW96a] AGFW e.V.: Verbundprojekt Neuartige Wärmeverteilung, B 1.3: Optimierung der funktionellen Abgrenzung zwischen Übergabestation und Übernahmestation unter Nutzung neuartiger Verlegetechnik, angefertigt durch die Mannheimer Versorgungs- und Verkehrsgesellschaft
- [AGFW96b] AGFW e.V.: Verbundprojekt Neuartige Wärmeverteilung, A 1.3: Entwicklung neuer Übernahme- und Übergabetechniken, angefertigt durch die Mannheimer Versorgungs- und Verkehrsgesellschaft
- [AGFW97] AGFW e.V.: Fallstudie Nutzung der Brennwerttechnik für die Fernwärme, Kurzfassung, Frankfurt/Main 1997
- [AGFW] Ingenieurbüro Prof. Dr. Loose GmbH, Berlin im Auftrage der Arbeitsgemeinschaft Fernwärme e.V. (AGFW), Frankfurt/Main
- [AK97] Attig, D. und Kracht, C.: KWK von der Stange, Energie Spektrum 6/1997, S. 12-14
- [Alters] Biomasse-Heizanlage Altershausen GbR mbH, Königsberg/Bayern
- [Aqua97] Aquatec GmbH: Firmeninformation Rohrsysteme Ecotwin, Aquawarm 1997
- [ASUE96] ASUE Tätigkeitsbericht 1996
- [Biele] Planungsbüro Graw, Georgsmarienhütte
- [BINE16] BINE Informationsdienst: Solare Nahwärmekonzepte, Projekt Info 16/96
- [BINE91] BINE Europäisches Erdwärmeprojekt Pechelbronn-Soultz sous Forêts April 1991
- [Bred] Stadtwerke Bredstedt, Bredstedt
- [Brot] Nahwärme Merzig GmbH, Merzig/Saar
- [Brugg95] Brugg-Rohrsysteme: Prospekt, BRUGG-Rohrsysteme, FLEXWELL-Fernheizkabel, 410.1, Hannover, 1995
- [Buder94] Buderus Heiztechnik GmbH: Handbuch der Heizungstechnik, Beuth Verlag GmbH Berlin 1994

- [Busse96] Busse, W.; Schleyer, A.: Kostensenkung bei der KMR-Verlegung durch konsequente Umsetzung von F&E-Ergebnissen in Lemgo, Fernwärme International, 4-5/1996, S. 254-266
- [Busse98] persönliche Mitteilung Herr Busse, Stadtwerke Lemgo
- [BZ96] Braunig, K.-U. und Zschernig, J.: Sanierung der Fernwärme in den neuen Bundesländern - Chancen für die Weiterentwicklung von Hausstationen, Fernwärme International 9/1996, S. 506-518
- [Crem95a] Cremer, H.; Schmidt, P.: Fernwärmenetze, Vortrag auf dem Lehrgang für Betriebspersonal 1995/1996, AGFW-Lehrgang
- [Crem95b] Cremer, H.; Schmidt, P.: Anlagenteile und deren Funktion, Vortrag auf dem Lehrgang für Betriebspersonal 1995/1996, AGFW-Lehrgang
- [Dal93] Dalenbäck, J.-O.: Solare Wärmeversorgung in Schweden, VDI-Berichte Nr. 1024, 1993, S. 21-31
- [Dau94] Dausch, H.-J.: Umsetzbare Erkenntnisse aus der F+E-Studie "Neuartige Wärmeverteilung" - Teilziel A 1.2.1 "Technische Anforderungen von der Abnehmerseite an das Versorgungsnetz", in Fernwärme Heizkraftwirtschaft '94 -Tagungsband Hannover-, AGFW, 1994
- [DIN4108] DIN 4108: Wärmeschutz im Hochbau, Teil 4, Nov. 1991
- [DIN4701] DIN 4701: Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden, Okt. 1993
- [DIN4708] DIN 4708: Zentrale Wassererwärmungsanlagen, April 1994
- [DIN4710] DIN 4710: Meteorologische Daten zur Berechnung des Energieverbrauches von heiz- und raumluftechnischen Anlagen, Nov. 1982
- [DIN4747] DIN 4747: Fernwärmeanlagen - Sicherheitstechnische Ausführung von Hausstationen zum Anschluß an Heizwasser-Fernwärmenetze, Juli 1991
- [DIN4751] DIN 4751: Wasserheizungsanlagen, Okt. 1994
- [DIN4752] DIN 4752: Heißwasserheizungsanlagen mit Vorlauftemperaturen von mehr als 110 °C, Jan. 1967
- [DSA97] Schönberg, I. und Althaus, W.: Wohin Wo geht's hin mit der Nah-/Fernwärme ?, Euroheat&Power 12/97, S. 670-675
- [DVGW551] DVGW Arbeitsblatt W 551: Trinkwassererwärmungs- und Leitungsanlagen; Technische Maßnahmen zur Verhinderung des Legionellenwachstums, Bonn Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser, März 1993

- [DVGW552] DVGW Arbeitsblatt W 552: Trinkwassererwärmungs- und Leitungsanlagen; Technische Maßnahmen zur Verminderung des Legionellenwachstums; Sanierung und Betrieb, Bonn Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser, April 1996
- [Eimann97] Eimannsberger, J.: Kostengünstige Erschließung von Neubaugebieten und neue Finanzierungsmodelle in "Seminarunterlagen - Zukunftsweisende Neubaugebiete", Institut für kommunale Wirtschaft und Planung, Gießen 1997
- [Eisen95] Eisenhauer, G.: Einfluß von Planung und Ausschreibung auf Kostenreduzierung im Fernwärmeleitungsbau, in "Rationeller Bau und Betrieb von Fernwärmeleitungen", AGFW-Aussprachetagung Wärmeverteilung 1995, S. 134-142
- [Eres] Biomasseheizwerk Eresing, veröffentlicht von C.A.R.M.E.N, Rimpar
- [ES95] Eicher, M., und Stalder, M.: Die Bedeutung der Dynamik bei der Planung und beim Betrieb von Blockheizkraftwerken, BWK Bd. 47 11-12/1995, S. 461-464
- [FfZ95] Forum für Zukunftsenergien: Kraft-Wärme-Kopplung Leitfaden für Städte und Gemeinden, Gewerbe und Industrie Bonn 1995
- [Fisch96] Fisch, M. N.: Status der "Solaren Nahwärme" in Deutschland, Vortrag auf dem Solar-Forum '96, Neckarsulm 1996
- [Förder97] Fördergemeinschaft Blockheizkraftwerke: Auflistung der BHKW-Hersteller 1997
- [Frank95] Franke, D.: Novellierte Wärmeschutzverordnung - Grenzbereiche der Wärmedurchgangskoeffizienten HLH Bd. 46, 1/1995, S. 21-25
- [Fulda] Gas- und Wasserversorgung Fulda
- [FW401] Arbeitsgemeinschaft Fernwärme - AGFW Arbeitsblatt FW401
- [GEF95a] GEF Ingenieurgesellschaft: Neuartige Verlegetechniken von Kunststoffmantelrohren, Band 1 Neuentwicklungen zur KMR-Technik, GEF Ingenieurgesellschaft für Energietechnik und Fernwärme mbH, Leimen 1995
- [GEF95b] GEF Ingenieurgesellschaft: Neuartige Verlegetechniken von Kunststoffmantelrohren, Band 2, Ermittlung und Darstellung der einfachsten und kostengünstigsten Verlegemethoden, GEF Ingenieurgesellschaft für Energietechnik und Fernwärme mbH, Leimen 1995
- [Giet96] Gietzelt, M.; Kraaz, M. et al.: Zukunftsorientierte Nahwärmenetze - Interaktion bei der Verbindung von unterschiedlichen Fernwärme

- Leitungssystemen, Forschungsbericht Fernwärme Forschungsinstitut (FFI) Hannover, Bericht Nr. 404/4265, Hemmingen 31.05.96
- [Glü85] Glück, B.: Heizwassernetze für Wohn- und Industriegebiete, Verlags- und Wirtschaftsgesellschaft der Elektrizitätswerke mbH, Frankfurt (Main) 1985
- [Gold97] Goldbach, G., Lögstör-För Deutschland, persönliche Mitteilung
- [Gui96] Guigas, M.: Solar unterstützte Wärmeversorgung - Modellprojekte aus Sicht des Planers, Vortrag auf dem Solar-Forum, Neckarsulm 1996
- [Gui97] Guigas, M.: Steinbeis Transferzentrum Rationelle Energienutzung und Solartechnik, Stuttgart persönliche Mitteilung
- [Hakan86] K. Hakansson Handbuch der Fernwärmepaxis, Vulkan-Verlag, Essen 1986
- [Hamb] Heingas - Hamburger Gaswerke GmbH und HGC - Hamburg Gas Consult, Hamburg
- [HeizAnIV94] Verordnung über energiesparende Anforderungen an heizungstechnische Anlagen und Brauchwasseranlagen (Heizungsanlagen-Verordnung-HeizAnIV), 22.03.1994
- [Hey91] Heyden, L. van; Weßing, W.: Systemübersicht grabenloser, richtungskontrollierter Rohrverlegeverfahren für Verteilungsnetze, 3R international 6-7/1991, S. 355-360
- [Hidd96] Hiddenhausener Gas- und Wasserversorgung GmbH: Transportable BHKW-Anlage für ein Freibad sowie ein Verwaltungs- und Betriebsgebäude, in "Preis der deutschen Gaswirtschaft 1996 - Dokumentation", ASUE 1996
- [Hoff94a] Hoffmann, H.-W.; Knapp, W.: Eine neuartige Verlegetechnik im Tagestakt unter eingeschränkten Raum-, Zeit und Kostenbedingungen, Fernwärme International, 1-2/1994, S. 42-48
- [Hoff94b] Hoffmann, H.-W.; Knapp, W.: Neue Wege zur kostengünstigen Verlegung von Kunststoff-Verbundmantelrohren, 3R international, 3/1994, S. 87-91
- [HS95] H. Hartmann, A. Strehler: Die Stellung der Biomasse im Vergleich zu anderen erneuerbaren Energieträgern aus ökologischer, ökonomischer und technischer Sicht, Landschaftsverlag GmbH, Münster 1995
- [Hüb96] Solarvision "Lenné-Park" in Potsdam, Vortrag auf dem Solar-Forum, Neckarsulm 1996

- [IWU92] Ebel, W. et. al.: Anlagenband zum Bericht Energieeinsparpotentiale im Gebäudebestand, Institut Wohnen und Umwelt (IWU), Darmstadt 1992
- [Kalt97] Kaltschmitt, M.: Kosten der Bioenergie - Rohstoffe und Anlagen in " Biomasse - nachwachsende Energie aus Land- und Forstwirtschaft", Hrsg.: CMA, Bonn 1997
- [Kenn96] EWU Engineering - GmbH, Kennziffernkatalog, Ausgabe 1996
- [Klöp96] Klöpsch, M.: Erfahrungen mit Kunststoff-Mediumrohren für Fernwärmenetze, Vortrag auf dem AiF-Symposium Kunststoff-Mediumrohre im Fernwärme-Forschungsinstitut in Hannover e.V., 07.11.96
- [Knie97] Knierim, R.: Neuentwicklungen zur Kunststoffmantelrohr-Verlegetechnik, GEF GmbH, Leimen, Vortrag auf der Informationsveranstaltung " Bau von Fernwärmenetzen" am 27./28. Mai 1997 in Passau
- [Knopf97] Knopf, Stadtwerke Wolfsburg AG, persönliche Mitteilung
- [Köhl97] Köhler, R.: Tiefbauarbeiten für Fernwärmeleitungen, Sonderdruck aus: bbr Ausgabe 5/1997
- [Küb96] Kübler, R.: Neue Ideen - Neue Projekte - Zukunftsperspektiven der solaren Wärmeversorgung, Vortrag auf dem Solar-Forum, Neckarsulm 1996
- [Kusi93] Kusimex / Epogard-Fernheizsysteme Firmeninformation
- [Led95] Ledjeff, K.: Brennstoffzellen - Entwicklung Technologie Anwendung, C.F. Müller Verlag GmbH, Heidelberg 1995
- [Lemgo] Stadtwerke Lemgo GmbH, Lemgo
- [Løg95] Løgstør-Rør, Firmenprospekt 1995
- [Magar96] Magar, D.: Anschluß- und Kundenanlagen, Fernwärme International, Jahrbuch 1996, S. 59-63
- [Mohr97] Mohr, H.: Technischer Stand und Potentiale von Diesel-/Gasmotoren, BWK Bd. 49, 3/1997, S. 49-52
- [Nast96] Nast, P.-M.: Die Konkurrenzfähigkeit von Nahwärmesystemen in Neubaugebieten, Fernwärme international 7-8/1996, S. 425-430
- [Neu97] Neumann, W.: Stabilisierte Rohrgrabenverfüllmaterialien, Grazer Stadtwerke AG, Graz, Vortrag auf der Informationsveranstaltung " Bau von Fernwärmenetzen" am 27./28. Mai 1997 in Passau
- [Niedern] Nahwärmegebiet Niedernhausen, Institut Wohnen und Umwelt (IWU), Darmstadt

- [NN97] N.N.: Mist als Brennstoff Energie&Management, 17/1997, S.7
- [Ober97] Obernberger, I.: Stand und Entwicklung der Verbrennungstechnik in "VDI-Berichte 1319", VDI-Verlag GmbH Düsseldorf 1997, S. 47-81
- [Pan91] Pan-Isovit Prospekt, Pan-Isovit, Fernwärme- und Industrie-Rohrsysteme, 1991
- [Pic96] Pick, H.: Blockheizkraftwerke - Option für die Energie- und Umweltpolitik, Energiewirtschaftliche Tagesfragen 46 7/1996, S. 416-419
- [Popp95] Poppei, J. et al: Gutachterliche Untersuchung zur Bewertung der technisch-wirtschaftlichen Machbarkeit der Nachnutzung von Tiefbohrungen als Energiequelle im Verfahren Tiefe Erdwärmesonde, Geothermie Neubrandenburg GmbH für Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Neubrandenburg 1995
- [Ram95] Rammig, E.: Projektierung und Installation von Wärmepumpen, in "VDI-Berichte Nr. 1177: Wärmepumpen: Energieeinsparung und Umweltschutz", VDI-Verlag, Düsseldorf 1995
- [Rand97] Randløv, P.: District Heating Handbook, European District Heating Pipe Manufacturers Association (EuHP), Miljøcentret, Dänemark 1997
- [Rems] Michel GmbH + Co., Schorndorf
- [Reu97] Reusch, B.: Sichere und wirtschaftliche Verlegung von KMR: AGFW-Arbeitsblatt FW401, Fernwärme International, 11/1997, S. 596-597
- [RKH97] Ratzesberger, R.; Kaltschmitt, M.; Huenges, E.: Geothermie vor der Breitenanwendung, BWK 49, 3/1997, S. 63-66
- [Roth80] Roth, U.: Wechselwirkungen zwischen der Siedlungsstruktur und Wärmeversorgungssystemen, Schriftenreihe Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, Bonn 1980
- [RSS97] Recknagel; Sprenger; Schramek: Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik, R.Oldenbourg Verlag, München 1997
- [Saar] Saarberg Fernwärme GmbH, Völklingen
- [Sawil95] Sawillion, M.: EDV-gestützte Dimensionierung und Einsatzanalyse von Blockheizkraftwerken VDI-Berichte Nr. 1182, 1995, S. 617-631
- [Schet94] Schettler-Köhler, H.P.: Auswirkungen der neuen Wärme-Schutz-Verordnung, Ki-Luft und Klimatechnik, 8/1994, S. 389-392
- [Scheu94] Scheuble, L.: Microtunneling - Unterirdische Verlegung nicht begehbarer Leitungen, 3R international, 1-2/1994, S. 34-40

- [Schind91] Schindler, R.; Trinkmann, R.: Herstellen von Abgängen für Hausanschlußleitungen an in Betrieb befindlichen Verteilerleitungen, Fernwärme International, 3/1991, S. 208-211
- [Schmi96a] Schmitt, Dausch et. al.: Neuartige Verlegetechnik von Kunststoffmantelrohren, Forschungs- und Entwicklungsprojekt AGFW Verbundprojekt Wärmeverteilung, Teil B 1.2, 1996
- [Schmi96b] Schmitt, Dausch et. al.: Neuartige Verlegetechnik von Kunststoffmantelrohren, Forschungs- und Entwicklungsprojekt AGFW Verbundprojekt Wärmeverteilung, Teil B 1.4, 1996
- [Schmi97] Schmitz, K.: Hauptbericht Fernwärmeversorgung 1995, Fernwärme International, 6/1997, S. 250-258
- [Schü94] Schüle, R.; Ufheil, M.: Thermische Solaranlagen, Öko-Institut e.V., Freiburg, 1994
- [SHH95] Stadler, T.; Hopkirk, R.J.; Hess, K.: Auswirkungen von Klima, Bodentyp, Standorthöhe auf die Dimensionierung von Erdwärmesonden in der Schweiz, Schlußbericht ET-FOER(93)033 BEW, Bern 1995
- [SIA88] SIA: Base de dimensionnement des systèmes exploitant la chaleur du sol à basse température, SIA/OFEN Document 025, Zürich 1988
- [SK96] Schmitz, K.W.; Koch, G.: Kraft-Wärme-Kopplung, Anlagenauswahl-Dimensionierung-Wirtschaftlichkeit-Emissionsbilanz, VDI Verlag, 2. Auflage, Düsseldorf 1996
- [SPJ97] Spitzer, J., Podesser, E.; Jungmeier, G.: Wärme-Kraft-Kopplung Verbrennungstechnik in "VDI-Berichte 1319", VDI-Verlag GmbH Düsseldorf 1977, S.109-140
- [ST94] Sawillion, M. und Thöne, E.: Dimensionierung des thermischen Speichers einer BHKW-Anlage, Fernwärme International, 9/1994, S. 484-495
- [ST97] Sawillion, M.; Thöne, E.: Auslegung von BHKW-Anlagen für die Absorptionskälteerzeugung in "VDI BERICHTE 1321 Fortschrittliche Energiewandlung und -anwendung" Bd. 2, S. 673-686
- [Stan96] Stanzel, B.; Ebner, U.: Vor der Inbetriebnahme der solaren Nahwärmeversorgung in Friedrichshafen, DGS-Vortragsveranstaltung "Aktive und passive Sonnenergienutzung im mehrgeschossigen Wohnungs-, Gewerbe- und Industriebau", UTECH 96, Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e.V., Berlin, 29.02.96, Seite VII-1 bis VII-12

- [Thom93] Thomsen, M.: Neue Technologien bei der Verlegung von Fernwärmeleitungen, Fernwärme International, 1-2/1993, S. 38-42
- [VDI2067] VDI 2067: Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen, Dez. 1993
- [Viess97] Produktinformation Heizkessel, Viessmann, 1997
- [Weh97] Wehlage, T.: Kaltwasser-Nahwärmesystem mit Wärmepumpen versorgt Neubaugebiet, Wärmepumpe, Ausgabe 1, März 1997, IZW Informationszentrum Wärmepumpen + Kältetechnik
- [Wern96] Werner, D.: Kostensenkungspotentiale im Netzbau, AGFW Broschüre Nr. 4 Ausgabe 09/1996 " Aus Forschung und Entwicklung" , S. 283-292
- [Wie96] Wiegersma, K.-H.: Planung, Errichtung und Betrieb von Wärmepumpenanlagen, S. 201-213
- [Witt95] Witt, J.: Nahwärme in Neubaugebieten, 1. Auflage, Öko-Institut e.V., Freiburg i. Br. 1995
- [WK96] Wagner, H.-J.; König, S.: Brennstoffzellen - Funktion, Entwicklungsstand, künftige Einsatzgebiete, Elektrizitätswirtschaft 96, 1-2/1997, S. 15-22
- [Wolfs] Stadtwerke Wolfsburg, Wolfsburg
- [Wüst95] Wüstner, H.: Hat sich Flachverlegung aus betrieblicher Sicht bewährt?, AGFW-Aussprachetagung '95 " Wärmeverteilung" , 3/1995, S. 112-116
- [Zsche97] Zschernig, J.: Wechselbeziehungen zwischen Preisbildung und technischen Lösungen der Trinkwassererwärmung in Fernwärmesystemen, Fernwärme International, 7/1997, S.308-314