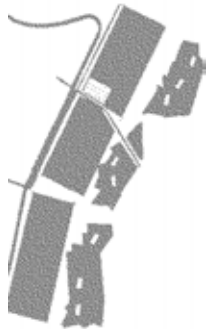


Hinweise zur Realisierung des
Niedrigenergie-Standards

-Heiztechnisches Konzept-



Herausgeber:

Landeshauptstadt Hannover
Der Oberbürgermeister

Autoren:

Prof. Dr.-Ing. Dieter Wolff
Dipl.-Ing. (FH) Jochen Vorländer
Dipl.-Ing. (FH) Stephanie Hahn

Redaktion:

Amt für Umweltschutz

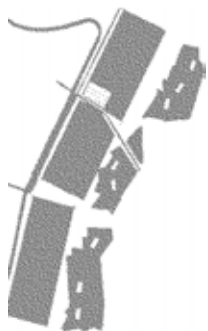
Leitstelle für Energie und Klimaschutz
Irmgard Hoffmann
AG Umweltplanung Weltausstellung
Angelika Ott

Februar 1998



Inhaltsverzeichnis

	Seite
<u>1 Einleitung</u>	6
<u>2 Einführung in die Problemstellung</u>	6
<u>3 Hinweise zur Heizlastberechnung</u>	10
3.1 Problematik der Aufheizung	10
3.2 Innentemperaturen	16
3.3 Raumbezogene Heizlastberechnung	16
3.4 Bestimmung der raumbezogenen Auslegungsheizlast	16
3.4.1 Berechnung des Transmissionswärmeverlustes	17
3.4.2 Berechnung des Lüftungswärmeverlustes	18
3.4.3 Heizlastberechnung für Aufheizfall	19
3.5 Gebäudebezogene Heizlastberechnung für Raumheizung	20
<u>4 Hinweise zur Auslegung der Heizflächen bzw. Heizkörpern</u>	21
4.1 Heizsysteme	22
4.1.1 Heizkörper-Standardsystem-Empfehlung	22
4.1.2 Fußbodenheizung	23
4.1.3 Konvektoren und Heizkörper mit Konvektionsunterstützung	23
4.1.4 Luftheizsysteme	23
4.2 Auslegungstemperaturen	24
4.3 Charakteristika von Heizkörpern	26
4.3.1 Leistungsregelung eines Heizkörpers	26
4.3.2 Regelung der Heizkörperleistung durch Veränderung der Vorlauftemperatur	26
4.3.3 Regelung der Heizkörperleistung durch Veränderung der Heizflächengröße	27
4.3.4 Regelung der Heizkörperleistung durch Veränderung des Massenstromes	27
4.3.5 Wärmeübertragerkennwert	28
4.3.6 Heizkörperexponent	30
4.4 Hinweise zur Anordnung von Heizflächen	30
4.5 Hydraulischer Anschluß der Heizkörper	32
4.6 Dimensionierung der Heizkörper - Normheizkörperleistung	32
4.6.1 Minderleistungs-Korrekturfaktor f_2	32
4.6.2 Auslegungstemperatur-Korrekturfaktor f_3	33



5 Hinweise zur Auslegung von Thermostatventilen	33
5.1 Begriffe und Grundlagen - Einflüsse auf das Regelverhalten	35
5.1.1 Proportionalbereich, Proportionalabweichung, Auslegungsproportionalbereich.....	35
5.1.2 Durchflußkennwert (k_V -Wert)	36
5.1.3 Voreinstellung.....	37
5.1.4 Hysterese	37
5.1.5 Wassertemperatureinfluß, Vorlauftemperatureinfluß.....	38
5.1.6 Ventilautorität	38
5.1.7 Kennlinien.....	40
5.2 Dimensionierung der Thermostatventile	40
5.2.1 Auslegungsempfehlungen.....	40
5.2.2 Einsatzgrenzen eines Thermostatventiles	41
5.2.3 Auslegungsbeispiel - Vergleich: Anpassung des Durchflußkennwertes mit gestuften Ventileinsätzen oder mit starker Voreinstellung	42
5.3 Bestimmung des Auslegungsvolumenstromes.....	46
6 Hinweise zur Auslegung des Wärmeverteilsystems	47
6.1 Dämmung des Rohrnetzes	47
6.2 Aufbau des Rohrnetzes	48
6.3 Dimensionierung des Rohrnetzes.....	49
6.3.1 Hydraulische Entkopplung.....	49
6.3.1.1 Hydraulische Entkopplung mit Differenzdruckreglern.....	50
6.3.1.2 Hydraulische Entkopplung mit einer elektronisch geregelten Umwälzpumpe.....	50
6.3.1.3 Hydraulische Entkopplung mit einer elektronisch geregelten Umwälzpumpe - Empfehlung an Hersteller.....	51
6.3.2 Rohrnetzberechnung.....	51
6.4 Hinweise zum Hydraulischen Abgleich, Schreibtischmethode	52
6.5 Pumpenauslegung	54
6.6 Inbetriebnahme.....	56
7 Hinweise zur Auslegung des Trinkwasserverteilsystems	57
7.1 Kaltwasserleitungen.....	57
7.2 Warmwasser- und Zirkulationsleitungen	57
8 Hausübergabestationen	58
8.1 Sicherheitstechnische Ausrüstung.....	59
8.2 Gleitend paralleler Betrieb von Brauchwassererwärmung und Raumheizung.....	59
9 Verbrauchserfassung	62



9.1 Heizkostenerfassung	62
9.2 Wasserverbrauchskostenerfassung	64
9.3 Ausnahmemöglichkeit von der Pflicht zur verbrauchsabhängigen Heizkostenabrechnung.....	64
10 Weitere Empfehlungen - weiterführende Arbeiten	65

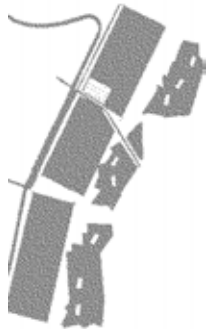
11 Literaturverzeichnis **67**

12 Anhang **70**

A1	Satzung über die Nahwärmeversorgung im Baugebiet Kronsberg der Landeshauptstadt Hannover	69
A2	Auswahl der Hausübergabestationen	73
A3	Erläuterungen zu Bild 3-1	74
A4	Schema zur Heizkörperauslegung.....	75
A5	Schema zur Thermostatventilauslegung	76

Abbildungsverzeichnis

	Seite	
3-1	Aufheizzuschläge für verschiedene Raumseitenverhältnisse.....	14
4-1	Regelung der Wärmeabgabe durch Veränderung der Vorlauftemperatur	26
4-3	Regelung der Wärmeabgabe durch Veränderung der Heizfläche.....	27
4-3	Regelung der Wärmeabgabe durch Veränderung des Massenstromes	28
4-4	Definition des Wärmeübertragerkennwertes für Heizkörper	29
4-5	Wärmeübertragerkennlinien	29
4-6	Auslegungstemperatur-Korrekturfaktor	30
5-1	Druckverluste in der Hausanlage zur Berechnung der Ventilautorität	39
5-2	Optimierung der Druckverluste über dem Thermostatventil ohne Einschränkung der Ventilautorität.....	39
5-3	Auswahldiagramm für ein Thermostatventil mit unterschiedlichen Ventileinsätzen, Beispiel	43
5-4	Auswahldiagramm für ein Thermostatventil mit integrierter Voreinstellmöglichkeit, Beispiel	43
5-5	Leistungsabgabe überdimensionierter Heizkörper bei unterschiedlichen Auslegungstemperaturspreizungen	46
8-1	Exemplarischer Volumenstrombedarf für die Brauchwassererwärmung einer Hausübergabestation zur Realisierung einer Bedarfskennzahl.....	60
A-2	Tabelle: Leistungsdaten der Hausübergabestationen	74



1 Einleitung

Die "Hinweise zur Realisierung des Niedrigenergiehaus-Standards / Heiztechnisches Konzept" richten sich als Leitfaden vorrangig an die Heizungsfachplaner, aber auch an interessierte Bauherren, Investoren, Architekten und Ausführende.

Die Entwicklung des neuen Stadtteils "Kronsberg", unmittelbar neben dem Weltausstellungsgelände mit später ca. 6.000 Wohnungen, soll in städtebaulicher, ökologischer und sozialplanerischer Hinsicht zukunftsweisend erfolgen. Für die in dieser Broschüre vorrangig betrachtete ökologische Zielsetzung strebt die Stadt Hannover eine 60%ige CO₂-Reduzierung gegenüber Normalstandard nach der Wärmeschutzverordnung von 1995 mit Gaszentralheizung an. Zur Verwirklichung hat die Stadt unter anderem eine Nahwärmeersatzung erlassen - wobei die Wärme überwiegend in Kraft-Wärme-Kopplung bereitzustellen ist - (siehe Anlage A1) sowie einen Niedrigenergiehaus-Standard verbindlich vorgegeben. Dabei gilt eine **Heizenergiekennzahl** von 50kWh / (m² · a) nach dem Kronsberg-Berechnungsverfahren als Zielwert für alle Gebäude am Kronsberg (55kWh / (m² · a) als Grenzwert). Das entspricht 40 bis 45kWh / (m² · a) nach dem Berechnungsverfahren der Wärmeschutzverordnung von 1995.

Zur Realisierung des Niedrigenergiehaus-Standards (NEH-Standard) liegen Broschüren zum Wärmedämm- und Dichtheitskonzept [1 Dämm.-Konz.] und zum Lüftungskonzept [2 Lüft.-Konz.] bereits vor. Aus diesen ergibt sich eine hochwärmegeämmte, dichte Außenhülle der Gebäude und die Notwendigkeit einer bedarfsgerechten, kontrollierten Lüftung.

Die Verringerung des Heizwärmebedarfes durch eine Verbesserung der Gebäudehülle führt nur mit einer abgestimmten Heizungsanlagentechnik zu einem insgesamt verringerten Energiebedarf. Durch die relativ kleinen Wärmeverbräuche steigt die Bedeutung von anlagentechnischen Energieverlusten, die durch bauphysikalische Verbesserungen nur gering beeinflusst wird. Mit dieser Broschüre sollen Wege zur Realisierung des Niedrigenergiehaus-Standards durch angepaßte Heizungstechnik aufgezeigt werden.

2 Einführung in die Problemstellung

Wie wird die Heizenergiekennzahl von der Anlagentechnik beeinflusst bzw. mit ihr realisiert?

Der Nachweis der Heizenergiekennzahl nach dem Kronsberg-Berechnungsverfahren ist auf einem gesonderten Formblatt [3 Berech.-Verf.] nachzuweisen. Sowohl Nachweisverfahren, als auch die Heizenergiekennzahl gehen deutlich über die Anforderungen der gültigen Wärmeschutzverordnung 1995 (WärmeschutzV. häufig aber auch WSVO abgekürzt) hinaus. Insbesondere die Unabhängigkeit der Heizenergiekennzahl von der Gebäudegröße und -geometrie¹, wie auch die rechnerisch niedriger zu berücksichtigenden

¹ Die Wärmeschutzverordnung legt den maximalen Jahres-Heizwärmebedarf in Abhängigkeit vom Verhältnis A/V (Wärmeübertragende Umfassungsfläche/ davon eingeschlossenes Bauwerksvolumen) fest und bezieht damit die niedrigeren Energieverbräuche bei kompakter Bauweise ein.



solaren und internen Wärmegewinne erfordern z.T. wesentlich größere Anstrengungen beim baulichen Wärmeschutz.

Die Berücksichtigung der heizungs- und lüftungstechnischen Anlagenkomponenten erfolgt im Nachweisverfahren lediglich über unterschiedlich anzusetzende Luftwechselraten (vgl. [3 Berech.-Verf.]), je nach Auswahl der Lüftungsstrategie. Es erfolgt keine weitere Bewertung oder Bilanzierung der anlagentechnisch bedingten Wärmeverteilverluste und Hilfsenergieeinsätze. Die in Vorbereitung stehende Energiesparverordnung führt den an der Gebäudehülle vereinfacht bilanzierten **Heizwärmebedarf** (entspricht der Heizenergiekennzahl von $50\text{kWh} / (\text{m}^2 \cdot \text{a})$) mit den **anlagentechnisch bedingten Energieverlusten** (im einfachsten Fall:) vom Eintrittspunkt der Energie ins Gebäude bis zum Abgabepunkt im Raum (bei einer Normtemperatur) zu einem **Heizenergiebedarf** bzw. einer spezifischen **Heizenergiekennzahl** zusammen:

$$\text{Heizenergiebedarf} = \text{Heizwärmebedarf} + \text{Verluste der Anlagentechnik}$$

entspricht der Heizenergiekenn-
zahl $50\text{kWh} / (\text{m}^2 \cdot \text{a})$

Dieser Hinweis und Unterschied zum Kronsberg-Nachweisverfahren ist bedeutsam für die Zielsetzung der Kronsbergbebauung:

Mit einer Reduzierung des Heizwärmebedarfes durch neue Verordnungen bzw. durch die Einführung eines NEH-Standards am Kronsberg gewinnt der Energieaufwand zur Deckung von Verlusten der Anlagentechnik an Stellenwert. Dies gilt insbesondere bei primärenergetischer Betrachtung der Nutz- und Verlustenergien. Stellt man zwei Gebäude unterschiedlicher Dämmklasse aber mit gleichem Heizsystem gegenüber, verringert sich der Energieverlust der Anlagentechnik nicht im Verhältnis der Wärmebedarfe beider Varianten, sondern bleibt annähernd konstant. D.h., daß sich der Nutzungsgrad bei einer Verbesserung des Wärmeschutzes gegebenenfalls verschlechtern wird.

Diese Verschlechterung der Nutzungsgrade bzw. die anteilige Erhöhung der Verlustenergien geht soweit, daß bekannte Werte (z.B. aus [4 VDI 2067]) nicht mehr pauschal berücksichtigt werden können. Es ist vielmehr eine anlagenspezifische Betrachtung notwendig. In [5 Wolff] wird daher eine "Abkehr von prozentualen Wirkungs- und Nutzungsgraden" durch eine explizite auf physikalischen Gesetzmäßigkeiten beruhende Berechnung gefordert. Dazu laufen auf deutscher und auf europäischer Ebene entsprechende Normungsvorhaben.

Als Kontrolle der Heizenergiekennzahl dient am Kronsberg in erster Instanz der Wärmemengenzähler der Nahwärmeübergabestation, welcher natürlich auch die Bereitschafts-, Regelungs- und Verteilverluste der nachfolgenden Übergabestation und Hausanlage mitzählt, die nicht ganzjährig und auch nicht in vollem Umfang der Nutzung des Gebäudes zugute kommen. Für eine Heizenergiekennzahl nach der geplanten Energiesparverordnung müßte dann noch der Hilfsenergieeinsatz der Hausübergabestation und der Hausanlage hinzugezählt werden, nach unterschiedlicher Expertenauffassung und Bilanzierungsgrenze auch anteilige Verluste aus dem Nahwärmenetz. Am Kronsberg kann dieser Ansatz ein zukunftsweisendes Energiekonzept belegen.



Um das eigentliche Ziel, einen insgesamt niedrigen Gesamtenergieeinsatz zu realisieren, sind die Anlagenverluste bei unterschiedlichen Ausführungsmöglichkeiten stets zu bewerten.

Der Energiebedarf für die Brauchwassererwärmung ist nicht in der Heizenergiekennzahl enthalten.

Welche gebäudetechnischen Voraussetzungen sind zu einer optimalen Integration dieser Anlagen notwendig?

Rohrleitungsverluste ergeben sich zum einen aus der verwendeten Rohrdämmung, welche in wirtschaftlichen Grenzen und mit marktverfügbaren Dämmstärken allerdings nicht beliebig steigerbar ist, zum anderen aus dem Jahresmittel der Temperaturdifferenz zwischen dem transportierten Heizmedium und der Umgebung. Besonderen Einfluß, zu welchen Teilen die Wärmeabgabe des Verteilnetzes für das Gebäude nutzbar bleibt, nehmen die Verlegeart (innerhalb der gedämmten Hülle oder außerhalb bzw. in der Hüllkonstruktion), die Art der Verteilung und die Länge des Verteilungssystems.

Das erschließbare Potential bei der Optimierung der Wärmeverteilung liegt also nicht primär in der Fähigkeit des Fachplaners, sondern wird bereits in der sehr frühen Phase des Gebäudeentwurfes vom Architekten fixiert.

Weiterhin existiert eine ausgeprägte Wechselwirkung zwischen der Wahl des Lüftungskonzeptes und der geographischen Ausrichtung der Wohnräume. Bei einer Aufteilung der Wohnung in Zu- und Abluftzonen ergeben sich für den Heizwärmebedarf die günstigsten Verhältnisse, wenn die Zulufräume hinter den sonnenbestrahlten Fassaden angeordnet werden. Diese Aufteilung ist auch auf den sommerlichen Wärmeschutz hin zu überprüfen.

Die richtige Anordnung und Auslegung der Heizflächen, sowie die hydraulische Bemessung und Gestaltung des Rohrnetzes, die gezielte Auslegung und Auswahl der Thermostatventile und maßgeblich ein sorgfältiger hydraulischer Abgleich garantieren den rationalen Energieeinsatz mit einer Pumpenwarmwasserheizung, auch im Niedrigenergiehaus.

Welche Konsequenzen ergeben sich aus einer hochgedämmten Bauweise mit angepaßter Lüftungstechnik für die Auslegung und Gestaltung der Heizungsanlage, Brauchwassererwärmung und -verteilung?

Die gewandelten Anforderungen für Niedrigenergiehäuser werden in der Fachwelt sehr kontrovers diskutiert. Ebenso variieren die Meinungen über Baukosten von unwirtschaftlich bis zur kostenneutralen oder sogar kostenmindernden², logischen Fortführung der gültigen Wärmeschutzverordnung. Dieses breite Meinungsspektrum liegt zum einen sicherlich an der nicht exakt festgelegten Anforderung an Niedrigenergiehäuser³ (NEH),

² [7 Feist] "Das Niedrigenergiehaus erwies sich nach langjähriger Erfahrung in Skandinavien und Kanada als einfacher, kostengünstiger und rasch einführbarer Standard. [...] Mitte der neunziger Jahre ist der Standard in Deutschland bereits so weit entwickelt, daß gute Niedrigenergiehäuser zu gleichen oder sogar geringeren Baukosten am Markt angeboten werden wie gewöhnliche Wohnbauten."

³ Als Niedrigenergiehäuser gelten nach verschiedener Literatur Gebäude mit einem Energiekennwert für Heizwärme zwischen 30 und 70 kWh/m²a, nach [8 Recknagel, Seite 969] 25 bis 60 kWh/m²a. Ein spezielles, genormtes Berechnungsverfahren existiert nicht. Die Gebäude nach der künftigen Energiesparverordnung werden als Niedrigenergiehäuser eingestuft. Nach [9 Schrode, Seite 13] "... hat es sich eingebürgert, von Niedrigenergiehausbauweise dann zu sprechen, wenn die Vorgaben für den "Heizwärmebedarf" nach dieser Verordnung (gemeint ist: Wärmeschutzverordnung '95) um 30% unterschritten sind."



zum anderen aber auch an Ängsten oder Perspektiven einzelner Branchen. Als Beispiel sei die Überdimensionierung von Heizflächen angeführt, wo die einzubauenden Auslegungsreserven in einer Größenordnung von 0-200% über einer Auslegung nach [6 DIN 4701] propagiert werden. Untersuchungen an Gebäuden mit unterschiedlichem Baujahr zeigen, daß aufgrund von Unkenntnis oder Gleichgültigkeit sowie einer oft nur geringfügig verbrauchsorientierten Heizkostenabrechnung ein Leistungsüberangebot der Heizungsanlage zum großen Teil auch abgenommen wird und zu Mehrverbräuchen führt. Ein Leistungsüberangebot muß daher soweit wie möglich beschränkt werden. Unstrittig ist in diesem Zusammenhang, daß sich eine Heizlastberechnung im NEH auch den dynamischen Anforderungen einer Schnellaufheizung stellen muß.

Weiterhin kann die raumweise Heizlastberechnung nur mit einem festgelegten Lüftungskonzept erfolgen, da je nach Lüftungsstrategie die Lüftungsheizlast ggf. für die gesamte Wohnung nur in bestimmten Räumen gedeckt werden muß (Querdurchströmung mit Zuluft- und Abluftzonen, eventuell mit verbindenden Überströmräumen). Wenn das Lüftungssystem eine Begrenzung des Außenluftvolumenstromes über eine entsprechende Regelung für solche Fälle ermöglicht, sollte diese bei der Berechnung angesetzt werden.

Eine bedeutende und weiterhin zunehmende Rolle spielt das systemgerechte Verhalten der Nutzer im NEH. Aufgrund der vorliegenden Erfahrungen ist nicht sofort zu erwarten, daß die Nutzer eingeschränkte Behaglichkeitskriterien oder Nutzungsansprüche gegenüber den gewohnten Anforderungen akzeptieren. Hier muß für das Verständnis geworben werden, daß z.B. die kontinuierliche Fensterlüftung auch nur einzelner Räume den Energieverbrauch stark beeinflusst, wenn nicht sogar die behagliche Temperierung der Wohnung in Frage stellt. Ebenso läßt sich die Schnellaufheizung einer Wohnung oder eines Wohnraumes nur während eines kurzen (täglichen) Aufenthaltes nicht mit einem für NEH angepaßten Heizsystem realisieren. Die Potentiale des NEH können also grundsätzlich nur in Verbindung mit einer Nutzereinweisung und -sensibilisierung sowie der Übergabe einer Gebrauchsanweisung optimal ausgeschöpft werden.

Die "automatische Regulierung" des Nutzerverhaltens durch deutlich höhere Verbrauchskosten (z.B. bei kontinuierlicher Fensterlüftung) funktioniert im Niedrigenergiehaus nur eingeschränkt. Bei Heizsystemen mit hohem Anteil an festen, also durch sparsame Beheizung nicht beeinflussbare Kosten, steht die prozentuale Abweichung von einer Heizenergiekennzahl in keinem Verhältnis zu den Kostendifferenzen einer entsprechenden Heizkostenabrechnung. Der "Sparer" erhält damit keinen wirksamen und entsprechenden finanziellen Anreiz. Der bekannte positive psychologische Effekt beim Einsatz von Heizkostenverbrauchserfassungsgeräten wird sich somit langfristig kaum behaupten und ohne zusätzliche Motivierung für einen sparsamen Umgang mit der Heizenergie sorgen können.

Zusammenfassend ist festzuhalten:

Die nach dem Kronsberg-Berechnungsverfahren vorgegebene Heizenergiekennzahl wird nicht den tatsächlichen Energieverbräuchen für die Beheizung (inkl. Lüftung) entsprechen. Der strengere Rechenansatz des Kronsberg-Berechnungsverfahrens gegenüber der WSVO darf nicht dazu verleiten, eine sorgfältige Planung, Ausführung und fehlerresistente Bedienbarkeit der heiz- und lüftungstechnischen Anlagen zu vernachlässigen. Diese



entscheiden aufgrund der ausgeprägten gegenseitigen Beeinflussung einzelner Anlagenkomponenten den spezifischen Heizenergiebedarf der Gebäude mit.

Die Verringerung des Heizwärmebedarfes bedeutet nicht zwangsläufig eine Verringerung der Auslegungsheizlast.

Die nachstehenden Ausführungen können natürlich nicht alle möglichen Variationen einer Beheizung am Kronsberg beleuchten. Vielmehr schlagen die konkreten Auslegungsempfehlungen ebenfalls einen Standard vor, der auf die vorgegebene Nutzung von Nahwärme aus Kraftwärmekopplung und bewährte, kostengünstige Heizungsanlagentechnik für Pumpenwarmwasserheizungen abzielt.

3 Hinweise zur Heizlastberechnung

Für die Berechnung der Norm-Heizlast gilt derzeit DIN 4701 (Ausgabe März 1983)⁴ "Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfes von Gebäuden", Teil 1 "Grundlagen der Berechnung" und Teil 2 "Tabellen, Bilder, Algorithmen", welche in Kürze von der Europäischen Norm EN 12831 "Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast" abgelöst wird. Beide Normen (EN12831 im Entwurf August 1997) beruhen auf den gleichen physikalischen Grundlagen, so daß eine Übertragbarkeit weitgehend gewährleistet ist.

Die Berechnungsverfahren nach DIN 4701 und dem Entwurf der EN12831 geben keine besonderen Hinweise für die Auslegung von Heizsystemen in Niedrigenergiehäusern. Erwiesenermaßen ergeben sich jedoch nach dem Verfahren der DIN 4701 Probleme bei der Auslegung von Heizflächen im NEH.

Der stationäre Heizfall, als bislang übliches Auslegungskriterium, bei dem der Energieverlust des Raumes mit den tatsächlichen Temperaturdifferenzen zwischen Raum- und Außenluft sowie den daraus resultierenden Oberflächentemperaturen der Umschließungsflächen übereinstimmt, ist weiterhin unkritisch, aber zur Auslegung des Heizsystemes, speziell der Heizfläche des einzelnen Raumes bei bestimmten Nutzungsansprüchen unzureichend.

Während der Nutzung treten grundsätzlich innere Lasten durch Personen, elektrische Geräte und tagsüber durch Sonneneinstrahlung auf. Das heißt, in diesen Zeiträumen ist lediglich ein Teil der Wärmeverluste des Raumes nach außen durch das Heizsystem zu decken. Die meisten Fremdwärmequellen sind unabhängig von der Außentemperatur, so daß die relativen Anteile an der Heizlast mit steigender Außentemperatur zunehmen und eine vollständige Deckung des Heizwärmebedarfes durch einen verbesserten Wärmedämmstandard schon bei einer niedrigen Heizgrenze⁵ gegeben ist.

3.1 Problematik der Aufheizung

⁴ Zusätzlich existiert ein Entwurf der DIN 4701-1 als Ausgabe 8/1995, die weiteren Verweisungen beziehen sich jedoch auf die derzeit angewendete DIN 4701 Ausgabe 3/1983.

⁵ Die Heizgrenze als Außentemperatur, bis zu der geheizt werden muß, um eine bestimmte Raumtemperatur einzuhalten, sinkt im NEH von den festgelegten 15°C mittlerer Tageslufttemperatur nach VDI 2067-1 (12/1983) auf praktische Werte zwischen 9 und 12°C ab. Damit ist gleichzeitig eine Verringerung der Heiztage und eine Verringerung der mittleren Außentemperatur der Heizperiode verbunden.



Als problematisch gilt die Schnellaufheizung (zentral oder dezentral durch den einzelnen Nutzer am Thermostatventil) nach einer Heizunterbrechung durch Nachtabenkung oder Abschaltung der Raumheizkörper während einer täglichen oder längeren Abwesenheit. Bei der im NEH bevorzugten äußeren Wärmedämmung wird die Raumauskühlung maßgeblich von der Dauer der Heizunterbrechung und dem dabei vorliegenden Luftwechsel bestimmt. Zur Bewertung der Auskühlung wird die "empfundene Temperatur" als arithmetisches Mittel aus der Raumlufttemperatur und der mittleren Strahlungstemperatur (Mittelwert der Oberflächentemperatur der Raumumschließungsflächen) herangezogen:

$$t_e = \frac{t_U + t_L}{2} \quad \text{Gl-3.1}$$

t_e	empfundene Temperatur ⁶ in Wohnräumen mit niedrigen Luftgeschwindigkeiten ohne große Oberflächen mit stark abweichenden Temperaturen
t_U	mittlere Strahlungstemperatur, flächengewichteter Mittelwert der Oberflächentemperaturen
t_L	Raumlufttemperatur

Ohne Luftwechsel wäre die empfundene Temperatur im NEH auch nach einer mehrstündigen Heizunterbrechung bei mittelschwerer und schwerer Bauart vernachlässigbar gering; der Transmissionswärmeverlust erfolgt dabei fast unvermindert aus der gespeicherten Wärme der äußeren Randschichten des Wandaufbaus und wirkt sich erst mit erheblicher Zeitverzögerung auf den Raum aus. Bei Fenstern liegen diese Zeitunterschiede nicht vor, der Wärmeverlust führt fast unmittelbar zur Auskühlung. Dieser "Temperaturverlust" ist nur bei großem Fensteranteil von Bedeutung. Der Einsatz von gedämmten Rolläden kann den ansonsten unvermindert auftretenden Energieverlust in den Nachtstunden reduzieren.

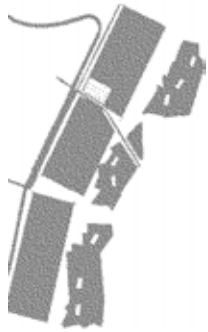
Liegt jedoch ein Luftwechsel oder sogar ein erhöhter Luftwechsel durch Fensterlüftung vor, erfolgt ein zusätzlicher Wärmeentzug auf den inneren Raumbooberflächen und den Oberflächen der Raumausstattung. Die Temperaturabsenkung dieser Oberflächen führt neben der geringeren Raumlufttemperatur zur Verringerung der empfundenen Temperatur. Im NEH ist eine Verringerung der empfundenen Temperatur nach einer achtstündigen Heizunterbrechung von 0,5...3 K als Richtwert realistisch, bei Fensterlüftung auch bis 5 K. Genauere Werte können für spezielle Ausführungen mit einer Simulationsrechnung abgeschätzt werden.

Während der Aufheizung könnte die empfundene Temperatur entsprechend GL-3.1 durch eine Überhöhung der Raumlufttemperatur auf den Sollwert (der Empfindungstemperatur) kompensiert werden. Da die Raumluft aber gleichzeitig konvektiv Wärme an die Oberflächen im Raum abgibt, ist dieses nur mit einer deutlichen Steigerung der Heizleistung gegenüber dem stationären Heizlastfall möglich.

Aus diesen Überlegungen läßt sich folgern:

⁶ Die genannte Gleichung gilt für die praktische Anwendung.

[8 Recknagel, Seite 427] beschreibt: "Die Empfindungstemperatur in dem beheizten Raum (Mittelwert aus Luft- und mittlerer Wandtemperatur) soll in vertikaler und horizontaler Richtung sowie zeitlich möglichst gleichmäßig sein, etwa 20°C bis 22°C. Dabei stellt sich ein dauerndes Gleichgewicht ein zwischen der durch Verbrennung der Nahrung und durch Muskeltätigkeit entstehenden körperlichen Wärme und der Wärmeabgabe an die Umgebung."



- Während der üblichen Zeitdauer einer täglichen Heizunterbrechung sinkt die Raumtemperatur und damit der Wärmeverlust nur geringfügig ab, die Wärmeverluste werden in unverminderter Höhe aus der Speichermasse gedeckt. Die Energie- bzw. Heizkosteneinsparung erreicht dadurch nicht die prozentuale Größenordnung herkömmlicher Bauweise, zudem sind die absoluten Werte bereits niedriger.
Ein großer Teil der aus der Speichermasse abgegebenen Wärme muß in der Aufheizphase zum Erlangen einer behaglichen Raumtemperatur wieder aufgewendet werden.
- Trotz der relativ geringen Abkühlung kann eine nach stationärer Heizlast dimensionierte Pumpenwarmwasserheizung den Anforderungen einer Schnellaufheizung nicht folgen. Der Wärmestrom an die Wandoberflächen und an die speicherfähigen Oberflächen der Raumausstattung steigert sich gegenüber dem stationären Heizfall deutlich.
- Die Absenkung der Raumtemperatur erfolgt im wesentlichen durch längerfristige Lüftung.

Im klassischen Niedrigenergiehausbereich mit Gas- oder Ölkesseln ergibt sich die Kesselleistung durch die (verbundene) Warmwasserbereitung, so daß die Wärmeerzeugungsanlage eine gewisse Aufheizreserve bereits enthält⁷. Hier kann in kleinen Wohngebäuden das Leistungsangebot für eine Aufheizung durch eine steilere, nachträgliche (dauerhafte) Einstellung der Heizkurve relativ einfach bereitgestellt werden; dabei entstehen erhöhte Verteil- und Regelverluste, oftmals wird auch eine Brennwertnutzung negativ beeinflußt.

Am Kronsberg besteht eine derartige Kompensationsmöglichkeit aufgrund der Nahwärmeversorgung nicht bzw. ist durch eine nur begrenzt mögliche Erhöhung der Vorlauftemperatur im Nahwärmenetz stark eingeschränkt.

Nach Untersuchungen in [18 Böhm] wird die Heizleistung einer konventionellen Wärmeerzeugungsanlage bis zu einer Anschlußgröße von ca. 20 Wohneinheiten (gebaut nach WSVO '95) durch die Heizlast der Brauchwassererwärmung bestimmt. Bei verbessertem Wärmedämmstandard verschiebt sich diese Grenze nach oben. Bei fern- oder nahwärmeversorgten Heizsystemen wird die Heizleistung der Hausübergabestation durch eine Volumenstrombegrenzung des Heizwassers beschränkt, und ist damit von der primären Vorlauftemperatur, der sekundären Rücklauftemperatur und dem eingesetzten Wärmeübertrager abhängig. Bei einem entsprechenden Aufbau der Brauchwassererwärmung, z.B. einer Speicherladeschaltung, ist durch die optimale Nutzung der Temperaturniveaus eine höhere Ladeleistung als die Nennleistung für Raumwärme erzielbar. Die Grenze, bis zu welcher Anschlußgröße die Brauchwassererwärmung für die Dimensionierung bestimmend ist, sinkt damit ab.

Weiterhin ist die Unterbrechung bzw. Einschränkung der Leistungsbereitstellung für Raumwärme während der Brauchwassererwärmung zu beachten. Durch die Zusammenfassung mehrerer Gebäude oder Verbrauchseinheiten lassen sich aufgrund der Gleichzeitigkeit des Brauchwarmwasserbedarfes Lastspitzen reduzieren.

⁷ Beim Niedrigenergiehaus in Geschosswohnungsbauweise werden diese Reserven nicht mehr vorhanden sein.



Die vorgesehenen Nahwärme-Hausübergabestationen zielen auf eine Dimensionierung für Raumwärme ab (vgl. Anhang A2), so daß sich keine "natürlichen Reserven" ergeben werden. Die Option einer Leistungserhöhung durch eine steilere Heizkurve müßte also bereits beim Errichten der Anlage mit einer größeren Hausübergabestation vorgesehen werden. Weiterhin ist zu beachten, daß die Technischen Anschlußrichtlinien bzw. Anschlußbedingungen der Nahwärmeversorgungsunternehmen keine Erhöhung der primären Rücklauftemperaturen zulassen.

Die Problematik, eine Schnellaufheizung über die Anlagentechnik zu ermöglichen, kann durch eine angepaßte Nutzung umgangen werden. Da dieses nicht "nachträglich" auf den Mieter abwälzbar ist, müssen bereits im Mietvertrag diesbezügliche Hinweise gegeben oder Regelungen getroffen werden. Dann kann eine Festlegung der Auslegungsheizlast zur Dimensionierung des Heizsystems ohne besondere Aufheizzuschläge erfolgen. Diese Nutzungsmöglichkeiten sind auch in den Vertragsverhältnissen zwischen Bauherr und Planer sowie Bauherr und Installationsfirma zu regeln. Werden keine Regelungen getroffen, müßte gemäß der geltenden Rechtsprechung ausgelegt werden. Dazu hat das Amtsgericht Hamburg im Urteil vom 8. März 1996 - Aktenzeichen 41 a C 1371193- zur Raumtemperatur in Mieträumen folgende Ausführungen gemacht [10 Info-Recht]:

"Der Vermieter ist gemäß § 536 BGB dazu verpflichtet, die Mietsache während der Mietzeit in einem zum vertragsgemäßen Gebrauch geeigneten Zustand zu überlassen und sie während der Mietzeit in diesem Zustand zu erhalten. Hierzu gehört auch im Rahmen der Instandhaltungs- und Instandsetzungspflicht, dafür Sorge zu tragen, daß eine ausreichende Beheizbarkeit der Räume gewährleistet ist [..].

Entsprechend den heutigen Wohnbedürfnissen muß eine Heizungsanlage so ausgerichtet sein, daß eine Temperatur von mindestens 20° Celsius jedenfalls in der Zeit von 6.00 Uhr bis 24.00 Uhr in den Mieträumen erreicht werden kann, und zwar auch bei Außentemperaturen unter 0°C Celsius und auch dann, wenn die Raumtemperatur beispielsweise in den Nachtstunden auf 16 bis 17° Celsius abgesenkt wird.

Zu einer ordnungsgemäßen Beheizung gehört auch, daß eine Erwärmung der Räume auf mindestens 20° Celsius nach einem Absenken der Temperatur auf nicht weniger als 16 oder 17° Celsius oder nach einem Lüften der Räume innerhalb angemessener Zeit erfolgen kann. Die Erwärmung der Räume darf nicht mehrere Stunden dauern, vielmehr muß tagsüber die Temperatur schon bereits nach kürzerer Zeit erreicht werden können. Das Gericht sieht als angemessen einen Zeitraum von einer halben bis längstens einer Stunde an, abhängig jeweils von der Außentemperatur."

Zur Einschätzung, wie realistisch diese Aufheizung in so kurzen Zeiträumen ist, bzw. wie dazu ein Heizsystem auszulegen ist, zeigt Bild 3-1⁸. Letztendlich muß jedem Mieter klar sein, daß die Kosten für ein derartiges Heizsystem in den laufenden Kosten der Kaltmiete verrechnet sind.

⁸ vgl. Anhang A2

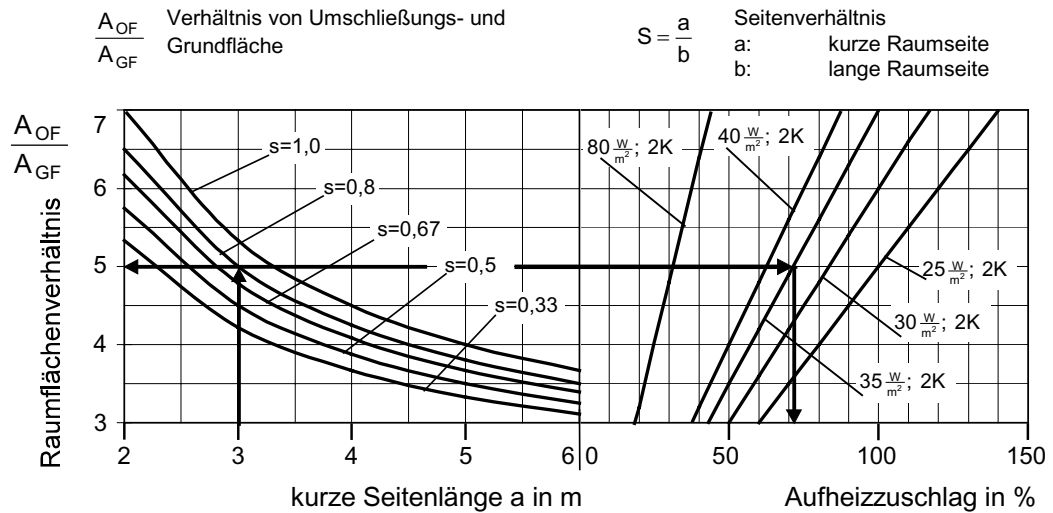
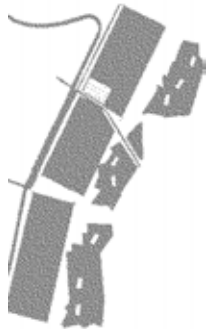


Bild 3-1: Aufheizzuschläge für verschiedene Raumseitenverhältnisse bei einer lichten Raumhöhe von 2,5m und verschiedenen spezifischen stationären Heizleistungen (gleichmäßige Beheizung) nach [11 EN 12831]. Die angenommene Raumtemperaturabsenkung beträgt 2K, die Aufheizdauer beträgt eine Stunde. Die Aufheizzuschläge gelten gleichermaßen für 3K und zweistündige Aufheizung bzw. 4K und vierstündige Aufheizung. Bei 2K und zweistündiger Aufheizung halbieren sich die Zuschläge. Nach [11 EN 12831, Anhang D] sollte auch die wärmespeichernde Oberfläche der Möblierung pauschal berücksichtigt werden. Dieses führt zu größeren Aufheizzuschlägen. Da die zusätzlichen Oberflächen die Auskühlung reduzieren, blieben diese hier unberücksichtigt. Fenster- und andere nicht wärmespeichernde Oberflächen wurden als Kompensation nicht abgezogen. (siehe auch Anlage A3)

Ablesebeispiel für Bild 3-1

Gegeben: - Raum mit Grundfläche 3m x 3,75m
 - spezifische stationäre Heizlast 35W/m²
 - angenommene Raumtemperaturabsenkung 2K
 - Aufheizdauer⁹ 1h

Lösung: Vom Schnittpunkt a = 3m und dem Seitenverhältnis $S=3/3,8=0,8$ nach rechts bis zur Linie 35W/m²; 2K und senkrecht nach unten ergibt einen Aufheizzuschlag von 72%

Anmerkung: Nach [8 Recknagel, Seite 1041 Bild 2.6.6-10, Verminderung des Wärmeverbrauches durch Einzelraumregelung] kann die Verminderung des Energieverbrauches bei einer täglichen achtstündigen Heizunterbrechung und der gewählten Heizlast von 35W/m² auf weniger als 3-4% vom Gesamtwärmeverbrauch (einschließlich Brauchwarmwasser) abgeschätzt werden; demgegenüber steht ein Mehrverbrauch durch die Ausnutzung eines überhöhten Leistungsangebotes (hier Zuschlag von 72%) und eine

⁹ Erfolgt die Brauchwassererwärmung im Vorrangbetrieb, können sich sehr lange Verzugszeiten ergeben, die zu der Aufheizzeit zu addieren sind.



Verschlechterung der Regelbarkeit des Heizsystems.

Die Verbrauchsreduzierungen durch gezielte Heizunterbrechungen sind im NEH insgesamt als sehr gering einzuschätzen. Im Zusammenhang mit einer Verbrauchskostenerfassung erreicht der Wärmeaustausch zwischen einzelnen Wohnungen mit zeitlich versetzter Heizunterbrechung im Hinblick auf eine gerechte Abrechnung bedenkliche Größenordnungen ("Wärmeklau"). Der Wärmeverbrauch einzelner Wohneinheiten wird auch deutlich durch das Fremdwärmeangebot, aufgrund der Lage im Gebäude und der Himmelsrichtung beeinflusst.

Weiterhin ist aus Bild 3-1 die Relation zu herkömmlicher Bauweise mit z.B. 80W/m² spezifischer Heizleistung erkennbar; hier beträgt für den gleichen Raum der Aufheizzuschlag lediglich 32%. Die absoluten Aufheizzuschläge sind gleich.

Heizkörperüberdimensionierung¹⁰ - Folgen und Vermeidung

Eine Auslegung nach dem Aufheizfall führt zu überdimensionierten Heizkörpern und dadurch zu erhöhten Heizkosten. Eine übliche Heizunterbrechung trägt kaum zur Verringerung des Jahresheizwärmebedarfes bei. Dagegen kann sich dieser erhöhen, wenn aufgrund der geringen Energieverbräuche die verbrauchsgebundenen Kosten niedrig liegen und diese Tatsache den gleichgültigen oder nicht aufgeklärten Mieter zu einem Heiz- und Lüftungsverhalten verführt, das die Zielsetzung der Energieeinsparung im Stadtteil Kronsberg in Frage stellt.

Zielsetzung der folgenden Maßnahmen und Vorschläge ist es, eine ausreichende energiesparende Beheizung unter üblichen, aber niedrigenergiehausangepaßten Betriebsbedingungen zu gewährleisten:

- Im Mietvertrag wird ausdrücklich festgehalten, daß eine zentral geregelte Nachtabsenkung nur bis zu einer bestimmten Außentemperatur vorgenommen wird. Unterhalb dieser Außentemperatur kann der Mieter durch Drosselung der Heizkörperthermostatventile eine eigenverantwortliche Absenkung der Raumtemperatur vornehmen.
Im allgemeinen regeln die Mietverträge eine Mindesttemperatur in den Wohnungen, die durch den Mieter sicherzustellen ist, so daß eine Heraufsetzung dieser Grenztemperatur zu überlegen wäre.
- Der Nutzer muß in die Problematik eingewiesen werden. Es muß ihm bewußt sein, daß nach einer bei herkömmlicher Bauart üblichen Temperaturabsenkung eine Schnellaufheizung im NEH nicht gewährleistet ist.
- Unvermeidbare Aufheizzuschlägen sollten nur in Räumen, in denen durch ihre Nutzung oder Nutzungsänderung regelmäßige Aufheizungen zu erwarten sind berücksichtigt werden.
- Die Heizungsanlage muß so ausgelegt und ausgewählt bzw. ausgerüstet werden, daß auf einfachste Weise die erforderliche Mehrleistung während unvermeidbarer

¹⁰ Der Begriff Überdimensionierung ist insofern gerechtfertigt, als alle bislang angewendeten Heizlastberechnungsverfahren nur vom stationären, gleichmäßig beheizten Fall ausgehen.



Aufheizungen bereitgestellt werden kann. Dieses kann vom Nutzer unterstützt werden durch in der ganzen Wohnung geschlossene Fenster oder bei maschinellen Abluftanlagen durch eine Verringerung des Luftwechsels während der Aufheizung.

- Um ein hydraulisches Ungleichgewicht zwischen einzelnen Verbrauchern zu vermeiden, muß ein Hydraulischer Abgleich vorgenommen werden. Dieser ist zu dokumentieren.

3.2 Innentemperaturen

DIN 4701 schlägt Norm-Innentemperaturen zur Auslegung vor. Eine Erhöhung dieser Auslegungswerte sollte nur in begründeten Fällen vorgenommen werden, da fast während der gesamten Heizperiode ohnehin durch Fremdwärmenutzung wesentlich höhere Temperaturen erreichbar sind.

3.3 Raumbezogene Heizlastberechnung

Die stationäre Heizlast eines Raumes setzt sich zusammen aus:

- Transmissionswärmeverlust nach außen
- Transmissionswärmeverlust an umliegende Räume mit unterschiedlicher Temperatur
- Lüftungswärmeverlust
- gegebenenfalls Zuschläge für eine Aufheizung

Im Rahmen dieser Broschüre werden 3 Lastfälle unterschieden:

$\dot{Q}_{\text{Heizl.1}}$	Gleichmäßige Beheizung im stationären Zustand nach [6 DIN 4701], alle Räume mit Norminnentemperatur
$\dot{Q}_{\text{Heizl.2}}$	Eingeschränkte Beheizung einer festgelegten Klasse von Nachbarräumen im stationären Zustand nach [6 DIN 4701]
$\dot{Q}_{\text{Heizl.3}}$	Instationärer Aufheizvorgang durch rechnergestützte Simulation.

Die rechnergestützte Simulation eines instationären Aufheizvorganges soll hier lediglich der Vollständigkeit halber erwähnt werden. Im Wohnungsbau wird sie im Einzelfall angewendet um Temperaturabsenkungen und erforderliche Aufheizzuschläge abzuschätzen, so in [11 EN 12831]. Im gewerblichen Bereich oder bei Gebäuden mit starken Lastschwankungen können Heizsysteme mit einer Simulation optimal (minimal) ausgelegt werden. Zur Berechnung von Kühllasten findet die Simulation bereits breite Anwendung.

3.4 Bestimmung der raumbezogenen Auslegungsheizlast

Bei der Bestimmung der Auslegungsheizlast wird davon ausgegangen, daß sich unterschiedliche Lastfälle zeitlich bzw. qualitativ nicht so stark überschneiden, daß unzumutbare Einschränkungen entstehen.

Der Maximalwert der einzelnen Heizlasten, zuzüglich dem Auslegungszuschlag von 15% nach DIN 4701 Teil 3 ergibt die Auslegungsheizlast:



$$\dot{Q}_{\text{Heizl.A}} = \text{Max} \begin{pmatrix} \dot{Q}_{\text{Heizl.1}} \cdot f_1 \\ \dot{Q}_{\text{Heizl.2}} \\ \dot{Q}_{\text{Heizl.3}} \end{pmatrix} \cdot 1,15 \quad \text{Gl 3.2}$$

Die Auslegungsheizlast ist gleichermaßen Eingangsgröße für die Heizkörper- und Thermostatventilauswahl.

Bei Räumen, deren Wärmebedarf (oder einzelne Anteile des Wärmebedarfes) keine lineare Abhängigkeit zu der Außentemperatur aufweist, ist die Auslegungsheizlast zu vergrößern, da durch die außentemperaturabhängige Vorlauftemperaturregelung in solchen Räumen im Teillastfall keine ausreichende Wärmeversorgung gewährleistet ist. Dieses sind insbesondere Räume mit Flächen, die an das Erdreich grenzen, ebenso Räume mit Flächen zu unbeheizten Kellerräumen. [25 Sollar, Seite 171] gibt dafür eine Größenordnung von 25-50% bei Gebäuden nach Wärmeschutzverordnung '95 an. Die rechnerische Prüfung erfolgt durch das Verhältnis der tatsächlichen Wärmeverluste bei einer Außentemperatur von ca. 10°C und den linear interpolierten Wärmeverlusten bei der gleichen Außentemperatur.

3.4.1 Berechnung des Transmissionswärmeverlustes

Zur Ermittlung des Norm-Gebäudewärmebedarfes ist die Berechnung des Transmissionswärmeverlustes bei einer gleichmäßigen (bestimmungsgemäßen) Beheizung¹¹ ($\dot{Q}_{\text{Heizl.1}}$) notwendig.

Zur Auslegung der Hausanlage, speziell für die Heizflächen, ist zusätzlich raumweise der Transmissionswärmeverlust an angrenzende Räume bei deren eingeschränkter Beheizung¹² zu berücksichtigen, wenn von einer eingeschränkten Beheizung ($\dot{Q}_{\text{Heizl.2}}$) ausgegangen werden muß (z.B. Schlafzimmer, Schlafzimmer in der Nachbarwohnung, etc.). Eine mietvertragliche Vorschrift einer gleichmäßigen Beheizung wäre hier aber nicht nur unpassend, sondern würde dem Nachbarn nicht helfen, seine Wohnung ausreichend zu beheizen. Es muß auch im NEH als legitim gelten, z.B. in ausschließlich als Schlafzimmer genutzten Räumen eine dauerhafte Absenkung der Raumtemperatur vorzunehmen.

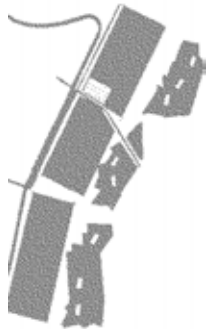
Die nach DIN 4701 Teil 1 Abschnitt 5.2.1 vorzunehmende Korrektur der Außentemperatur zur Norm-Außentemperatur in Abhängigkeit der bauphysikalischen Zuordnung leichte, schwere und sehr schwere Bauart kann auch im NEH für die Berechnung des Transmissionswärmeverlustes vorgenommen werden.

Bei hochgedämmten Häusern steigt die Bedeutung von Wärmebrücken für die Heizlastberechnung. Dieses wird bereits im Entwurf der EN 12831 berücksichtigt. Für die Heizlastberechnung sollten diese Daten durch den Architekten zur Verfügung gestellt werden¹³. Vorrangiges Ziel muß bei der Gebäudeplanung und Bauausführung die Vermeidung

¹¹ vgl. [6 DIN 4701, Teil 1, Abschnitt 4.3.2]

¹² Die in DIN 4701/Teil 2 Tabellen 5,6 und 7 angegebenen Berechnungstemperaturen sind allerdings aufgrund der stark differierenden Wärmedämmung zwischen Außen- und Innenwänden grundsätzlich in Frage zu stellen. Genauere Werte ergeben sich aus einer Wärmebilanz z.B. nach Gleichung (49) aus DIN 4701 / Teil 1, Seite 24

¹³ Die längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten können anhand von Wärmebrückenkatalogen z.B.



derung von Wärmebrücken sein. Eine Übersicht über die Klassifizierung und Wirkung von unterschiedlichen Wärmebrücken gibt [1 Dämm.-Konz.]. Niedrige Luftwechsel ohne das Risiko von Bauschäden können nur mit wärmebrückenfreien Konstruktionen erzielt werden.

3.4.2 Berechnung des Lüftungswärmeverlustes

Die nach DIN 4701 Teile 1, Abschnitt 5.2.1 vorzunehmende Korrektur der Außentemperatur zur Norm-Außentemperatur in Abhängigkeit der bauphysikalischen Zuordnung leichte, schwere und sehr schwere Bauart zur Berechnung des Lüftungswärmeverlustes ist auch bei herkömmlicher Bauweise fragwürdig.

Im NEH mit einer stark gestiegenen Bedeutung des Lüftungswärmeverlustes sollte die Korrektur nicht vorgenommen werden, wenn der Luftwechsel nicht angepaßt werden kann, bzw. wenn diese Anpassung bereits für die Schnellaufheizung zum Ansatz gebracht wurde. Ansonsten ist während der Nutzungszeit bei reduziertem Luftwechsel und/oder Fremdwärmequellen die nach DIN 4701 als tragbar angesehene Absenkung der Innentemperatur um 1K bei längerer Andauer der Normaußentemperatur nicht zu erwarten.

Die notwendige Größe eines Luftwechsels ist durch den Einfluß auf den Jahresheizwärmebedarf umstritten, wobei die Diskussion nicht um Auslegungswerte für eine Heizlastberechnung, sondern um ein zeitliches Mittel des Luftwechsels geführt wird. Zur Auslegung des Heizsystems muß zunächst unterschieden werden, wie gelüftet wird. Aufgrund der qualitätssichernden Luftdichtigkeitsüberprüfung ist von einer "dichten" Gebäudehülle auszugehen, so daß eine Lüftung über die ausführungsbedingten Luftdurchlässigkeiten der Gebäudehülle nicht zu einem ausreichenden Feuchtigkeitsaustrag und behaglichen, hygienischen Luftwechsel führt. Nach DIN 4701, Abschnitt 5.4.1.8 wird der Mindestluftwechsel für Daueraufenthaltsräume zur Berechnung auf einen 0,5fachen stündlichen Wechsel ($0,5h^{-1}$) festgelegt. Dieser Ansatz ist bei einer Fensterlüftung zur Dimensionierung des Heizsystems völlig ausreichend. EN 12831 gibt einen Mindestluftwechsel von $0,3h^{-1}$ an.

In Anlehnung an [12 Heizlast SHK] und [11 EN 12831] sollte für andere Räume angesetzt werden:

- innenliegende Bäder und WCs	4facher Luftwechsel
- Bäder und WCs mit Fenstern	< 10m ² 2facher Luftwechsel ≥ 10m ² 1facher Luftwechsel
- Flure und Dielen geschlossen	0,5facher Luftwechsel
- Flure und Dielen mit Außentüren bzw. Außenfenstern	2facher Luftwechsel
Küchen	1facher Luftwechsel

Bei maschineller Lüftung, insbesondere bei Abluftanlagen kann der zur Heizlastberechnung benutzte Volumenstrom gegenüber dem Nennvolumenstrom des einzelnen Raumes reduziert werden, wenn die Anlage eine derartige Anpassung durch den Nutzer oder automatisch ermöglicht. In [2 Lüft.-Konz, Seite 27] wird hierfür eine untere Grenze von $0,3h^{-1}$ (wohnungsweise) genannt. Die eventuell vorhandenen Spitzenlastschaltungen zur Entlüf-

prEN ISO 14683 "Wärmebrücken im Hochbau - Lineare Wärmebrücken. Vereinfachtes Verfahren und Normwerte" oder Hauser und Stiegel: Wärmebrücken-Atlas für den Mauerwerksbau. Wiesbaden/ Berlin 1990



tung von Küchen- und Sanitärräumen (Stoßlüftung) führen in dem Zusammenhang durch das kurzzeitige Auftreten nicht zu Problemen. Durch den Tagesgang der Außentemperatur sowie den Lastverlauf der Fremdwärme kann nach einer morgendlichen Phase mit reduzierten Volumenströmen sehr schnell wieder im Normalbetrieb gelüftet werden. In den einzelnen Räumen weichen die Lüftungswärmebedarfe sehr stark voneinander und von den Luftwechselraten nach DIN 4701 ab. Zur Heizlastberechnung ist daher eine Festlegung der Zu- und Abluftvolumenströme im Nennbetrieb und ggf. im reduzierten Lastfall erforderlich. Aus dem Beispiel in [2, Lüft.-Konz., Seite 47] ergeben sich z.B. Luftwechsel von $0,5$ bis $1,2\text{h}^{-1}$ in den Zulufräumen (Außenluft!) und von $2,3$ bis $4,7\text{h}^{-1}$ (vorgewärmte Luft aus den Nachbarräumen). Die Luftwechselzahlen wurden hier nur zum Vergleich der Werte nach DIN 4701 aufgeführt, die aus einer bedarfsgerechten Auslegung mit Luftvolumenströmen stammen.

Die Kriterien für die Regelung von Wohnungslüftungsanlagen [2 Lüft.-Konz, Seite 29] können hier um folgende Punkte erweitert werden:

- Neben der Möglichkeit einer erhöhten Lüftungsstufe (Stoßlüftung), sollte auch die Möglichkeit einer verringerten Lüftungsstufe (Schwachlüftung) mit automatischer Rückstellung in den (gewählten) Nennbetrieb vorgesehen werden. Die Stoßlüftung sollte über dezentrale Schalter erfolgen und nur in begründeten Fällen mit Lichtschaltern gekoppelt werden. Der Schalter für die Schwachlüftung sollte zentral angeordnet werden.
- Als Komfortausführung könnte diese Schwachlüftung auch mit einer Zeitschaltuhr versehen werden oder in Abhängigkeit der Außentemperatur und Uhrzeit vorgenommen werden.

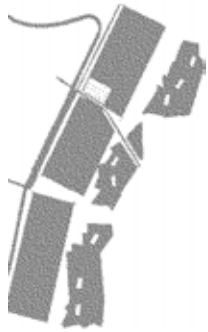
Probleme kann der bereits in Kap. 3.3.1 beschriebene, dauerhaft temperaturabgesenkte Schlafraum als Zulufräum verursachen, da in die Flure kalte Luft aus dem Schlafzimmer nachströmt. Die übliche Überströmung durch ein verkürztes Türblatt kann dann zu Zugscheinungen führen.

Nebenbei würde eine dauerhafte Fensterlüftung in diesem Schlafzimmer zu einer Verminderung des Luftwechsels in den anderen Zulufräumen führen, da die Luft fast widerstandslos über ein geöffnete Fenster einströmt. Definierte, einregulierte Volumenströme stellen sich nur bei dichter Gebäudehülle ein. Führt die Verminderung des Luftwechsels in den anderen Zulufräumen zu Behaglichkeitsverlusten, wird der Nutzer auch hier zusätzlich über die Fenster lüften. Der Nutzer kann derartige Auswirkungen nicht ohne weiteres selbständig erkennen und muß deshalb durch Einweisungen, Gebrauchsanleitungen und Erinnerungen zu Beginn der Heizperiode sensibilisiert werden.

3.4.3 Heizlastberechnung für Aufheizfall

Sind die zum Thema "Heizkörperüberdimensionierung - Folgen und Vermeidung" von Seite 15 vorgeschlagenen Voraussetzungen für eine knappe Auslegung der Heizungsanlage nicht umsetzbar, muß der Aufheizfall berücksichtigt werden.

für viele Fälle ausreichend genau abgeschätzt werden.



Dazu kann Bild 3-1 näherungsweise¹⁴ nach Festlegung einer Raumtemperaturabsenkung und einer Aufheizdauer benutzt werden. Der Auslegungszuschlag bezieht sich dann auf den Lastfall der gleichmäßigen Beheizung.

Bei der gebäudeweisen Aufheizung (z.B. Schulen, Büros und öffentliche Gebäude ohne Wochenendnutzung¹⁵) kann eine Vermischung der Volumenströme aller Verbraucher zu einer bestimmungsgemäßen Rücklauftemperatur nicht vorausgesetzt werden; das Heizsystem ist dann unter Beachtung der maximalen Rücklauftemperatur (alle Thermostatventile bei maximaler Öffnung) für den Aufheizfall auszulegen.

Der Auslegungszuschlag nach DIN 4701 Teil 3 von 15% sollte nicht zusätzlich berücksichtigt werden. Ein Grenzwert für die Auslegungsheizlast von 60 W/m^2 sollte nicht überschritten werden.

Das Verhältnis von Aufheizleistung und stationärer Heizlast, vermindert um den Auslegungszuschlag nach DIN 4701 Teil 3 ergibt den Aufheizzuschlagsfaktor f_1 :

$$f_1 = \frac{\dot{Q}_{\text{Aufheiz}}}{\dot{Q}_{\text{Heizl.1}} \cdot 1,15} \quad \text{Gl 3-3}$$

Aus Bild 3-1 ergibt sich der Aufheizzuschlagsfaktor zu:

$$f_1 = \frac{1 + \text{Aufheizzuschlag}}{1,15} \quad \text{Gl 3-4}$$

Ohne Berücksichtigung von Aufheizvorgängen ist $f_1 = 1,0$.

Anmerkung: Gegenüber der Vorabinformation 11/97 zum Heiztechnischen Konzept ergibt sich eine formale Änderung. Zunächst wurde davon ausgegangen, daß die Berücksichtigung der Aufheizung als Standardfall anzunehmen ist. Die aufgezeigten Nachteile einer Überdimensionierung und die Möglichkeit, diese durch entsprechende Vereinbarungen zu minimieren, machen eine Anpassung notwendig, wobei die Auslegungsempfehlung in der Vorabinformation mit $f_1 = 1,3$ bereits bewußt sehr niedrig angesetzt wurde.

Der 15%ige Normauslegungszuschlag wird nunmehr nach der Maximalauswahl der unterschiedlichen Heizlasten berücksichtigt.

3.5 Gebäudebezogene Heizlastberechnung für Raumheizung

Zur Auslegung/ Auswahl der Hausübergabestation dürfen Zuschläge, die bei der raumweisen Heizlastberechnung auf die stationären Heizlasten gemacht wurden nach dem Wirtschaftlichkeitsgebot nicht vollständig angesetzt werden.

Zuschläge aus einer eingeschränkten Beheizung von Nachbarräumen dürfen nicht eingerechnet werden, da die Heizlast in den angrenzenden Räumen entsprechend reduziert ist.

¹⁴ Eine genauere Ermittlung der speicherfähigen Oberfläche ist nach [11 EN 12831, Anhang D] möglich.

¹⁵ Gerade bei diesen Gebäuden mit eingegrenztem Nutzungsprofil, sollte die Wirtschaftlichkeit einer Temperaturabsenkung in die Dimensionierung des Heizsystems einbezogen werden.



Aufheizzuschläge, die für eine dezentrale, nutzergesteuerte Aufheizung angesetzt werden, müssen mindestens einer Gleichzeitigkeitsbetrachtung unterzogen werden. Bei ausreichend großen Gebäuden ist auch aufgrund der zeitlichen Überlagerung von inneren Lasten kein Zuschlag erforderlich, wenn während der parallelen Brauchwassererwärmung nur geringe Einschränkungen für die Raumheizung erfolgen, vgl. Kapitel 8.

Bei einer zentral vorgenommenen Nachtabsenkung und morgendlicher Aufheizung ist nicht damit zu rechnen, daß der gewichtete Mittelwert aller Temperaturabsenkungen mit der Berechnungsannahme übereinstimmt, sondern daß die mittlere Temperaturabsenkung wesentlich niedriger ausfällt. Gleichzeitig wird auch diese Betriebsweise von dem dezentralen Nutzereingriff (Abstellen einzelner Thermostatventile) und inneren Lasten überlagert. Der Aufheizzuschlag kann abhängig von der Größe und Gleichzeitigkeit der zusammengefaßten Wohneinheiten auf praktische Werte bis zu 50% der Zuschläge aus der raumweisen Betrachtung reduziert werden.

Der Aufheizzuschlag nach DIN 4701 Teil 3 gilt nur für die Heizflächenauslegung, nicht für die Heizlast des Gebäudes.

Selbst im Einfamilienhaus ist eine morgendliche Aufheizung aller Räume gleichzeitig i.a. nicht notwendig.

Nach DIN 4701 berechnet sich der Norm-Gebäudewärmebedarf (Heizlast)

$$\dot{Q}_{N,Geb} = \sum \dot{Q}_T + \zeta \cdot \sum \dot{Q}_L \quad \text{[Gleichung (32) aus [6 DIN 4701,T2]]}$$

Gl. 3.5

als Summe der Norm-Transmissionswärmebedarfe aller Räume zuzüglich der Summe der Norm-Lüftungswärmebedarfe aller Räume, vermindert um den gleichzeitig wirksamen Lüftungswärmeanteil ζ . Dieser ist für Gebäude über 10m Bauhöhe in windschwacher Gegend 0,7, für alle anderen Fälle 0,5. Setzt man Anlagentechnik nach DIN 4701 ein (hier: Fensterlüftung), sollte von dieser Berechnung nicht abgewichen werden.

Bei der Verwendung von Lüftungsanlagen liegen der Auslegung Volumenströme an der Behaglichkeitsgrenze¹⁶ zugrunde, eine kurzzeitige Absenkung ist jedoch akzeptabel.

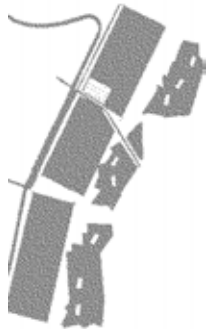
Ist die Reduzierung abhängig vom Nutzerverhalten, müßte anstelle des gleichzeitig wirksamen Lüftungswärmeanteils eine "Erfolgsquote" eingeführt werden. ζ ist dann auf Werte zwischen 0,8 und 1,0 je nach Gebäudegröße und Nutzerstruktur abzuschätzen.

4 Hinweise zur Auslegung der Heizflächen

Ein Heizkörper kann nicht ohne sein Regelsystem umfassend betrachtet werden. Im einfachsten aber verbreitetsten Fall ist das Regelsystem ein thermostatisches Heizkörperventil.

Faßt man Heizkörper und Thermostatventil zum Wärmeabgabesystem zusammen, sind die Anforderungen vielfältig. Das Thermostatventil wird in Kapitel 5 behandelt.

¹⁶ In [8 Recknagel, Seite 77] wird nach einer Untersuchung von Fanger die personenbezogene Außenluftfrate von 30m³/h mit ca. 20% unzufriedener Personen angegeben. Dieser Grenzwert gilt als tolerierbar.



Anforderungen an das Wärmeabgabesystem

- Regelung der Raumtemperatur auf einen konstanten, einstellbaren Sollwert (dieser Sollwert kann im gleichen Raum zwischen einer großen Spannweite schwanken, z.B. bei gleichzeitiger Nutzung als Wohn- und Schlafraum 16-20°C)
- sparsamer Energieverbrauch, optimale Ausnutzung von Fremdwärme
- Ausgleich von erhöhten Heizlasten, z.B. nach Stoßlüftung oder aufgrund einer eingeschränkten Beheizung der Nachbarräume bzw. -wohnungen
- Schnellaufheizung eines Raumes, z.B. nach einer Nachtabsenkung durch eine zentrale Regelung oder durch den Nutzer; Schnellaufheizung in Wohnungen, die nur zu bestimmten Zeiten genutzt werden
- keine oder nur geringe Beeinflussung der Wärmeabgabe in Nachbarräumen (der gleichen Verteilleitung)
- hohe Regelgeschwindigkeit zur optimale Ausnutzung von Fremdwärme
- niedrige Investitions- und Betriebskosten
- Nebenforderung am Kronsberg: Es ist unter allen Betriebszuständen eine Rücklauf-temperatur von maximal 40°C hinter der Hausübergabestation als Bestandteil des Wärmeliefervertrages mit dem NahwärmeverSORGER einzuhalten. Die maximale Vorlauf-temperatur im sekundären Heiznetz beträgt je nach Auslegung bis zu 75°C.

4.1 Heizsysteme

Für die Wohngebäude am Kronsberg werden für die Beheizung Heizkörper empfohlen. Trotzdem sollen die spezifischen Vor- und Nachteile einiger ausgewählter Pumpenwärmewasserheizsysteme kurz vorgestellt werden. Zum Teil werden diese Heizsysteme auch in Niedrigenergiehausprojekten eingesetzt.

Der Einsatz anderer Wärmeabgabesysteme muß sich grundsätzlich den speziellen Anforderungen von NEH und der NahwärmeverSORGUNG vor Ort stellen.

4.1.1 Heizkörper-Standardssystem-Empfehlung

Im Wohnungsbau haben sich seit mehreren Jahrzehnten Heizkörper, auch als statische Heizflächen bezeichnet, bewährt. Die Heizkörper sollten grundsätzlich so gewählt werden, daß das Verhältnis der Wärmekapazität des Heizkörpers zur Heizkörperleistung möglichst klein ist, um eine schnelle Aufheizung und schnelle Regelung zu gewährleisten. Dieses ist i.a. gegeben bei den Plattenheizkörper-typen 11 und 22 bei denen die Heizplatten jeweils zusätzliche Konvektionsschächte aufweisen; bei Gliederheizkörpern (Stahl, Guß und Röhren) ist dieses Verhältnis wesentlich größer und die Leistungsanpassung bei dynamischen Lastverläufen wesentlich schlechter.

Plattenheizkörper in unterschiedlichsten Ausführungen und Typen (einlagig, mehrlagig, mit oder ohne Konvektorbleche, mit glatter oder profilierter Oberfläche, mit oder ohne Ventilintegration) bestimmen den derzeit üblichen Standard. Neben dem weitverbreiteten Stahlplattenheizkörper steigt der Anteil an Heizkörpern aus Aluminiumlegierungen. Vorteilhaft sind hier kleine Wärmekapazitäten und ein korrosionsunempfindliches Material, die Kosten liegen über denen üblicher Plattenheizkörper. Aluminium ist am Kronsberg nur für Kleinteile und besonders beanspruchte Bauteile zugelassen, vgl. [21 Baumaterial].



Im Vergleich zu anderen Pumpenwarmwasserheizsystemen sind die spezifischen Preise für die Beheizung mit Heizkörpern am niedrigsten. Die Wärmeabgabe erfolgt mit einem großen Strahlungsanteil. Je nach Ausführung sind Plattenheizkörper sehr gut zu reinigen.

4.1.2 Fußbodenheizung

Der Fußbodenheizung werden im NEH deutlich höhere Energieverbräuche zugesprochen (vgl. z.B. [9 Schrode] Seite 94). Diese Aussage kann sicherlich nicht pauschalisiert werden. Problematisch ist, daß einer relativ großen Trägheit des Heizsystems dynamische Lastverläufe gegenüberstehen. Die Effizienz kann durch geeignete Regelstrategien gesteigert werden, insbesondere bei bekannten Störgrößenverläufen (Fremdwärme-anfall, Aufheizung). Zu beachten ist, daß eingeleitete Außenluft nicht wie bei Heizkörpern in eine Konvektionswalze eingemischt und erwärmt werden kann.

Fußbodenheizungen sind ungefähr 20-40% teurer als eine Heizung mit Plattenheizkörpern. Hinsichtlich der Fußbodenbeläge gibt es Beschränkungen (Wärmedämmeffekt, Temperaturbeständigkeit, erhöhte Ausgasung von Inhaltsstoffen).

Um eine gleichmäßige Temperaturverteilung über der Fußbodenfläche zu erzielen, sind große Wasservolumenströme bei hohem Hilfsenergieeinsatz für die Umwälzpumpe notwendig.

Vorteile ergeben sich aus einer geringeren Temperaturschichtung im Raum, zusätzlichem Stellplatz, nur geringer konvektiver Staubverwirbelung und niedrigen Vor- und Rücklauftemperaturen.

4.1.3 Konvektoren und Heizkörper mit Konvektionsunterstützung

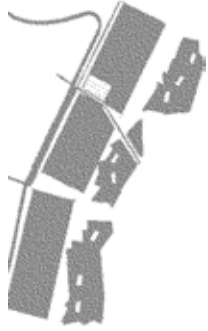
Konvektoren bestehen aus wasserdurchströmten Rippenrohren. Die Regelung erfolgt meistens wasserseitig, seltener luftseitig durch Regulierklappen. Für eine optimale Wärmeleistung werden die Konvektoren zur Vergrößerung der Auftriebsdruckes in Mauernischen mit vorderer Abdeckung oder mit eng anliegenden Blechgehäusen angeordnet.

Wegen der geringen Wasserinhalte und der hohen spezifischen Wärmeleistungen ist eine schnelle Regelung möglich. Nachteile ergeben sich aus ggf. zusätzlichen Kosten für eine Verkleidung und wärmeschutzgerechter Integration in eine Mauernische, durch größere Raumlufttemperaturschichtungen, nicht vorhandenen Strahlungsausgleich zu kalten Oberflächen und der problematischen Reinigung durch die engen Lamellenabstände sowie unter Umständen eine Staubaufwirbelung.

Mit zusätzlichen Gebläsen oder Primärluftzuführung kann die Leistungsabgabe erheblich gesteigert und die Regelung beschleunigt werden. Die Möglichkeiten der gezielten Heizungsunterbrechung durch Fensteröffnungskontakte kann realisiert werden. Durch die dann verfügbaren Druckdifferenzen können auch Luftfilter eingebaut werden, Nachteile ergeben sich aus höheren Kosten sowie einem nicht unbeträchtlichen Hilfsenergieaufwand und Geräuschen.

4.1.4 Luftheizsysteme

Die Luftheizung faßt die Lüftung und Raumwärmeabgabe in einer Anlage zusammen. Luftheizsysteme zeichnen sich durch eine schnelle Regelbarkeit aus. Die automatische



Einzelraumregelung durch Drosselung des Luftvolumenstromes ist aber nur mit vergleichsweise hohem technischem Aufwand möglich.

Zur Realisierung einer ausreichenden Behaglichkeit sollte die Temperaturdifferenz zwischen Raum- und Zuluft je nach Luftauslaßsystem nicht größer als 10-20K sein. Mit den spezifischen Wärmeleistungen im NEH ergeben sich daraus höhere Volumenströme als zur Wohnungslüftung notwendig. Die Lüftungsanlage muß daher energetisch sinnvoll mit einem Umluftanteil betrieben werden.

Für die Luftheizung ist mindestens ein Zuluftkanalnetz notwendig, welches die zentral erwärmte Luft zu den einzelnen Räumen transportiert. Der Umluftanteil kann z.B. im Flur angesaugt, die Abluft in den Räumen mit hohen Feuchte- oder Geruchslasten abgesaugt werden. Die Außenluft wird zentral (Außenluftdurchlaß) angesaugt, da sich auch bei gedrosseltem Zuluftvolumenstrom (Regelung der Raumtemperatur) eine ausreichende Lufterneuerung in den einzelnen Räumen ergibt. Beim Einsatz einer Wärmerückgewinnung, werden zusätzliche Abluftkanäle erforderlich.

Neben dem hohen Investitionsbedarf ergeben sich weitere Nachteile:

- relativ große Kanalquerschnitte, deren Integration im Wohnungsbau oft nur mit Kompromissen möglich ist (die Verteilleitungen der Zuluftkanäle müssen gut gedämmt werden, um die Verteilverluste gering zu halten und eine Überheizung oder Beheizung anderer Räume auszuschließen).
- Durch die hohen Volumenströme ist der Hilfsenergieeinsatz deutlich höher als bei einer Pumpenwarmwasserheizung.
- Lüftungsanlagen benötigen eine regelmäßige Wartung, um eine hygienisch Lüftung zu ermöglichen (Luftfilter für Außenluft und ggf. zum Schutz des Wärmeübertragers zur Wärmerückgewinnung auch in der Abluft); Probleme ergeben sich durch den Umluftanteil in Wohnungen, in denen geraucht wird.
- Im Geschosswohnungsbau sind brandschutztechnische Auflagen zu beachten und zu erfüllen (Zentralschächte, Außenwanddurchlässe).
- Bei nicht ausreichendem Schallschutz können erhebliche Geräuschbelästigungen auftreten, zusätzlich ist die schalltechnische Kopplung einzelner Räume untereinander durch die Lüftungskanäle zu untersuchen und ggf. mit Schalldämpfern zu verhindern
- Grundsätzliche Regelungsaufgaben bei den Lüftungsanlagen wie Frostschutz, Abtauschaltungen für die Wärmerückgewinnung und Anfahrerschaltungen sind zusätzlich zu beachten.

Aufgrund der vielfältigen Nachteile ist die Luftheizung im NEH abzulehnen. Nach [7 Feist] kann bei weiter reduzierten Heizlasten, z.B. im Passivhaus eine Zuluftheizung dann interessant werden, wenn ein Zuluftkanalnetz aufgrund einer eingeplanten Wärmerückgewinnung ohnehin zur Verfügung steht.

4.2 Auslegungstemperaturen

Der Wärmeübertrager in der Hausübergabestation eignet sich im Nennlastbereich zur Auslegung der Heizkörper mit den Temperaturen:

$$t_{VL,sek} = 65^{\circ}C$$

Auslegungsvorlauftemperatur



$$t_{RL,sek} = 39^{\circ}C$$

Auslegungsrücklaufftemperatur

Verglichen mit den vertraglich festgelegten Auslegungstemperaturen 75/35°C, die eventuell schon bei einigen Ausschreibungsverfahren berücksichtigt wurden, ändern sich die Heizkörpergrößen nur unwesentlich, zudem kann die Hausanlage auch mit diesen Auslegungswerten erstellt werden(vgl. Kapitel 5).

Zur Orientierung: Die Heizkörper fallen geringfügig kleiner aus, als Heizkörper die mit 55/45°C ausgelegt werden. Zur Abschätzung können entsprechende Herstellerunterlagen bei dieser Temperaturpaarung benutzt werden.

Die genannten Auslegungstemperaturen stellen einen Kompromiß aus den aufgeführten Anforderungen an das Wärmeabgabesystem und den Randbedingungen der Kronsberg-Bebauung dar. Dabei waren zusätzlich zu berücksichtigen:

- die Verfügbarkeit von Thermostatventilen zu gewährleisten und den Einsatz rationaler Heizkörpersysteme zu ermöglichen (z.B. ventilintegrierte Heizkörper)
- kleine Temperaturspreizungen, um die Wasserdurchlaufzeit durch einen Heizkörper zur Verminderung der Regelträgheit zu verkleinern
- niedrige Rücklaufftemperaturen durch den Einsatz von Brennwertechnik und ggf. den späteren Einsatz einer Brennstoffzelle

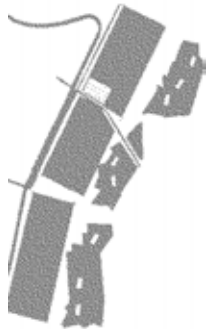
Durch die optimale Gestaltung des Wärmeübertragers in der Hausübergabestation mit lediglich 1K Auslegungstemperaturdifferenz bei 0,1 bar Druckverlust können noch weitere Temperaturpaarungen gewählt werden, z.B. 67/38°C. Die Festlegung auf eine Temperaturpaarung und die sich daraus ergebende Temperaturspreizung sollte aber nur in Verbindung mit der Auswahl der Thermostatventile erfolgen.

Im Rahmen dieser Broschüre werden z.T. die beiden Extrema 75/35°C und 65/39°C parallel behandelt, nach Meinung der Autoren sollte aufgrund der Thermostatventilproblematik der kleineren Spreizung der Vorzug gegeben werden.

Aus wirtschaftlichen Gründen können auch andere Temperaturpaarungen interessant sein, z.B. wenn die Nennleistung einer Hausübergabestation geringfügig überschritten wird. Mit etwas größer ausgelegten Heizkörpern kann dann die kleinere Hausübergabestation gewählt werden (Brauchwassererwärmung beachten), um leistungsabhängige Kosten einzusparen. Für solche oder ähnliche Grenzfälle gibt es ein Beratungsangebot der Wärmeversorger.

In den Technischen Anschlußrichtlinien der Stadtwerke Hannover AG [19 TAR-SWH] und den Technischen Anschlußbedingungen der GETEC, Gesellschaft für Wärmeversorgung und Energiemanagement GmbH [20 TAB-GETEC] werden für die maximale sekundäre Rücklaufftemperatur 35°C genannt. Eine Erhöhung der sekundären Rücklaufftemperatur auf die oben genannten Werte bis zu 39°C wird von den Wärmeversorgern zugelassen, jedoch darf die primäre Rücklaufftemperatur 40°C dabei nicht überschreiten. Dieses wird durch die Auslegung des Wärmeübertragers im Nennlastbetrieb erreicht.

Eine Erhöhung der Rücklaufftemperatur im Teillastfall mit kleineren Sekundärstromen ist nur durch unangepaßte Volumenströme der Heizflächen möglich. Einzelne "Ausreißer" würden ihren Volumenstrom mit denen der anderen Heizflächen ausreichend



heruntermischen. Unangepaßte Volumenströme lassen sich durch einen Hydraulischen Abgleich und eine richtige Dimensionierung der Hausanlage verhindern.

4.3 Charakteristika von Heizkörpern

4.3.1 Leistungsregelung eines Heizkörpers

Es gibt mehrere Möglichkeiten die Leistung eines Heizkörpers zu regeln:

- Veränderung der Vorlauftemperatur
- Veränderung der Heizfläche
- Veränderung des Massenstromes
- Veränderung des Konvektionsvolumenstromes (wird hier nicht untersucht)

4.3.2 Regelung der Heizkörperleistung durch Veränderung der Vorlauftemperatur

Die Anhebung der Vorlauftemperatur zur Leistungssteigerung ist am Kronsberg nur sehr begrenzt möglich. Die Auslegung der Heizflächen mit einer geringeren Vorlauftemperatur (als "stille Reserve") ist mit einem höheren Investitionsaufwand verbunden und muß auch auf die Hausübergabestation abgestimmt sein.

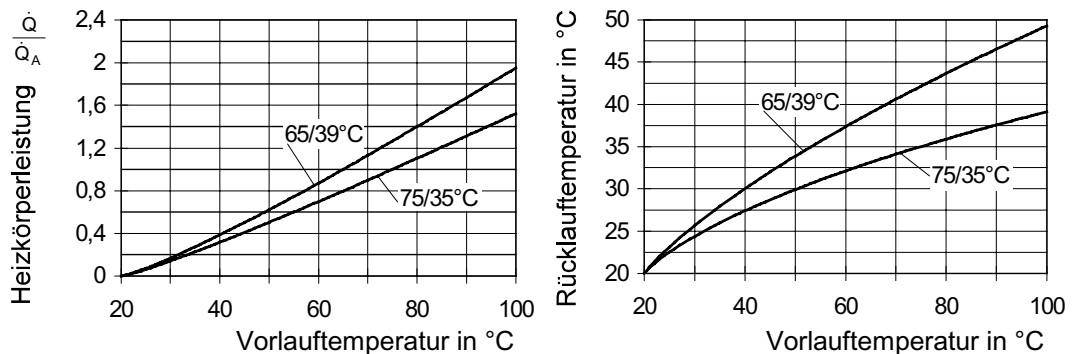


Bild 4-1: Regelung der Wärmeabgabe durch Veränderung der Vorlauftemperatur bei konstantem Massenstrom und konstanter Raumtemperatur und Darstellung der korrespondierenden Rücklauftemperatur

Bezug: 75/35/20/-14°C/n=1,3 und 65/39/20/-14°C/n=1,3

Soll eine Spitzenlast-Vorlauftemperatur nur zu bestimmten Zeiten zur Verfügung stehen, ist es schwierig, ein Kriterium für die Anhebung der Vorlauftemperatur zu erhalten. Lediglich bekannte Aufheizphasen könnten hier benutzt werden.

In der Schweiz wird mit Miniaturstrahlpumpen experimentiert, die an jedem Heizkörper in bestimmten Grenzen eine Zumischung von Rücklaufwasser und somit eine Verminderung der Leistung vornehmen.

Wesentliche Bedeutung kommt der Vorlauftemperaturregelung zur außentemperatur- oder witterungsgeführten Vorregelung und Anpassung des Leistungsangebotes an den



Wärmebedarf zu (vgl. Bild 4-1), um überhaupt den Einsatz kostengünstiger Einzelraumregler (Thermostatventile) zu ermöglichen.

4.3.3 Regelung der Heizkörperleistung durch Veränderung der Heizflächengröße

Eine geregelte Veränderung der Heizfläche ist nur möglich, wenn in einem Raum mehrere Heizflächen angeordnet sind. Unter diesen Umständen ist die Leistungssteigerung eine Addition der Auslegungsleistungen, weil durch jeden Heizkörper der Auslegungsvolumenstrom fließt.

Bei Flächenheizungen kann diese Stufung wesentlich feiner sein, z.B. bei einer Fußbodenheizung mit mehreren Heizkreisen pro Raum.

Die stetige Flächenanpassung für Heizkörper wie in Bild 4-2 dargestellt ist der Auswahl der Heizkörper vorbehalten, der Auslegungsmassenstrom wird als konstant angenommen.

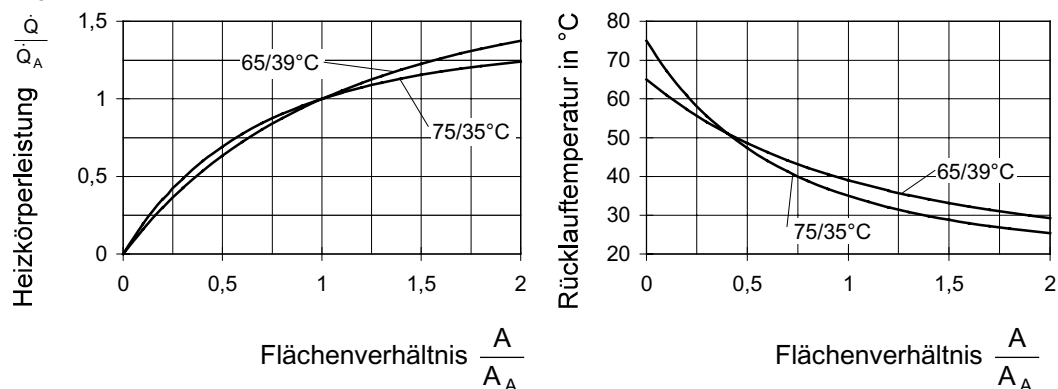


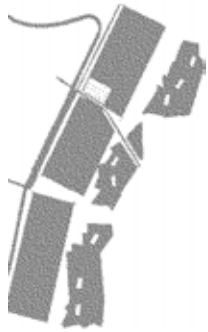
Bild 4-2: Regelung der Wärmeabgabe durch Veränderung der Heizfläche bei konstanter Vorlauftemperatur, konstantem Massenstrom und konstanter Raumtemperatur und Darstellung der korrespondierenden Rücklauftemperatur

Bezug: 75/35/20/-14°C/n=1,3 und 65/39/20/-14°C/n=1,3

4.3.4 Regelung der Heizkörperleistung durch Veränderung des Massenstromes

Die Veränderung des Massenstromes ist die verbreitetste Art der lokalen Regelung. Sie ist in einem Bereich von 0% bis zu einem Mehrfachen des Auslegungsmassenstromes denkbar. In der Praxis ist es jedoch nur bedingt möglich, insbesondere bei P-Reglern ohne Hilfsenergie, hier: Thermostatventile mit bleibender Regelabweichung, den Massenstrom an die erforderliche Heizleistung anzupassen. Bei konstanter Vorlauftemperatur bewirkt die Massenstromveränderung eine Veränderung der mittleren Heizkörpertemperatur, die maßgebend für die Wärmeabgabe ist. Die Rücklauftemperatur steigt bei einer Massenstromanhebung an. (vgl. Bild 4-3)

Nachteilig ist bei dieser Regelung, daß sich die hydraulischen Verhältnisse in einem Rohrnetz ständig verändern, wodurch es zu Rückkopplungen an den anderen Heizflächen



kommt. Diese können durch geeignete Komponenten und einen Hydraulischen Abgleich minimiert werden.

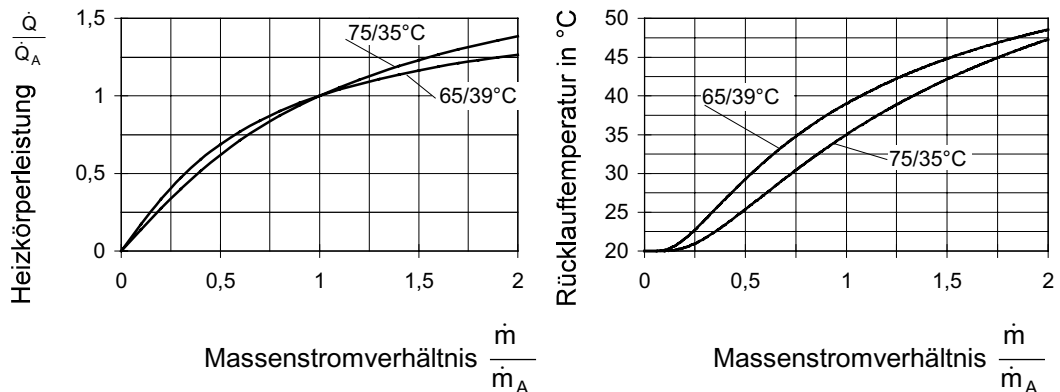


Bild 4-3: Regelung der Wärmeabgabe durch Veränderung des Massenstromes bei konstanter Vorlauftemperatur und konstanter Raumtemperatur und Darstellung der korrespondierenden Rücklauftemperatur

Bezug: 75/35/20/-14°C/n=1, 3 und 65/39/20/-14°C/n=1,3

Die Kurvenverläufe zeigen das Teillastverhalten (Fremdwärme bei Außentemperatur -14°C) eines idealen Heizungsreglers, die Raumtemperatur verändert sich auch bei Störungen nicht. Der Ausgangspunkt ist die 100%ige Belastung, also der Schnittpunkt: Heizleistungs- und Massenstromverhältnis gleich 1. Als 100%-Belastung gilt der Auslegungsfall.

4.3.5 Wärmeübertragerkennwert

Der Wärmeübertragerkennwert beschreibt, wie sich ein Wärmeübertrager bei veränderten Massenströmen verhält. Ein Wärmeübertragerkennwert von 1 hat einen linearen Zusammenhang zwischen Massen- und Wärmestrom. Dieser lineare Zusammenhang liegt vor, wenn Rücklauf- und Raumlufttemperatur gleich groß sind, also bei unendlicher Heizflächengröße.

Wärmeübertragerkennwerte kleiner als 1 kennzeichnen die Entartung der linearen Kennlinie. Die Regelqualität beim Einsatz von Thermostatventilen ist bei einer starken Entartung schlecht.

Aus Bild 4-5 ist ersichtlich, daß z.B. bei Normauslegungsbedingungen nach [16 EN 442] eine Verringerung des Massenstromes nur eine geringfügige Leistungsreduzierung bewirkt. Eine Leistungssteigerung durch eine Massenstromerhöhung ist ebenfalls nur sehr begrenzt möglich. Diese Eigenart, die auch für die frühere Standard-Auslegung 90/70°C und heutige Auslegungstemperaturpaarungen wie 70/55°C und 55/45°C gilt, wird auch als "Wunder der Warmwasserheizung"¹⁷ bezeichnet. Die Massenstromunabhängigkeit in einem weiten Bereich um den Auslegungspunkt ist der Grund, warum Anlagen mit Feh-

¹⁷ vgl.: Esdorn, Horst in "Erfordern hochgedämmte Gebäude neue Auslegungsmethoden für Heizsysteme?", HLH 6/97



lern bei der Rohrnetzauslegung und mangelhaften hydraulischen Einregulierungen trotzdem funktionieren.

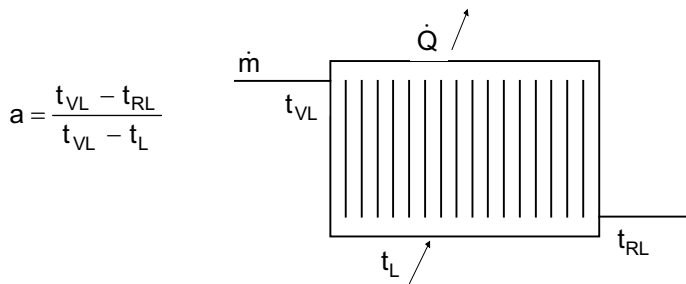


Bild 4-4: Definition des Wärmeübertragerkennwertes für Heizkörper

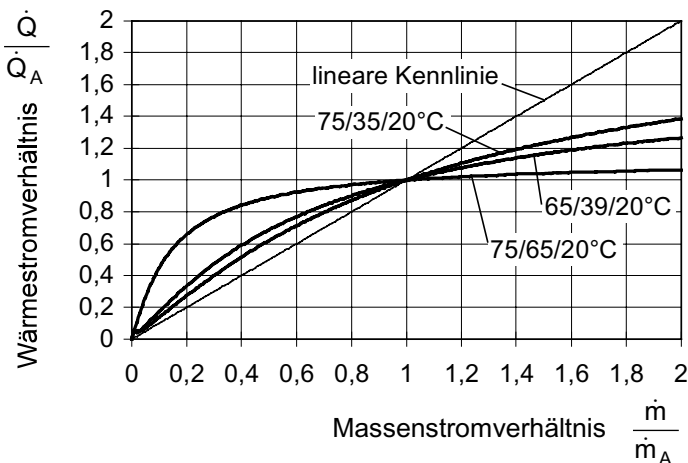


Bild 4-5: Wärmeübertragerkennlinien bei unterschiedlichen Wärmeübertragerkennwerten

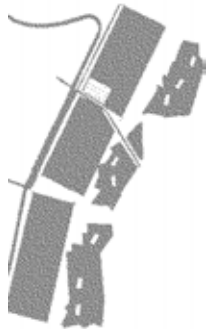
$$a = \frac{75^\circ\text{C} - 65^\circ\text{C}}{75^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}} = 0,18$$

$$a = \frac{65^\circ\text{C} - 39^\circ\text{C}}{65^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}} = 0,58$$

$$a = \frac{75^\circ\text{C} - 35^\circ\text{C}}{75^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}} = 0,73$$

Wärmeübertragerkennwert für Auslegungsbedingungen 75/65/20°C nach [16 EN 442]
 Wärmeübertragerkennwert für Auslegungsbedingungen 65/39/20°C am Kronsberg
 Wärmeübertragerkennwert für Auslegungsbedingungen 75/35/20°C am Kronsberg

Eine optimale Fremdwärmeausnutzung ist mit kleinen Wärmeübertragerkennwerten nicht möglich. Die Wärmeübertragerkurven unter Kronsberg-Bedingungen weisen eine geringe Entartung auf. Massenstromreduzierungen und -erhöhungen erzielen bei zusätzlich richtig ausgewählten Thermostatventilen die gewünschten Leistungsveränderungen.



4.3.6 Heizkörperexponent

Jeder Heizkörpertyp hat einen spezifischen Heizkörperexponenten, der sich aus dem konstruktiven Aufbau ergibt und im Rahmen der Leistungsmessung nach DIN 4704 oder EN 442 experimentell ermittelt und in den Herstellerunterlagen angegeben wird.

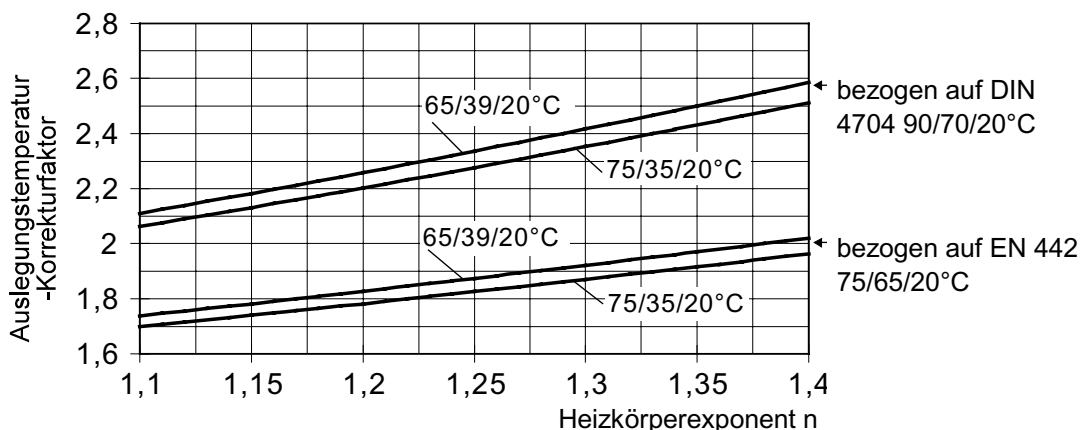


Bild 4-6: Auslegungstemperatur-Korrekturfaktor

Auslegungsvorteile haben Heizflächen mit kleinen Heizkörperexponenten (hoher Strahlungsanteil), da der Korrekturfaktor bei Auslegungstemperaturen, die von den Normauslegungstemperaturen abweichen, niedriger ist. Bild 4-6 gibt einen Überblick, wie sich der Korrekturfaktor über der Spannweite der Heizkörperexponenten am Markt befindlicher Heizkörper verhält. Es ist zu beachten, daß die Abweichungen bereits in einem schmalen Band von $n=1,25..1,32$ üblicher Plattenheizkörper ca. 5% betragen. Weitere deutliche Abweichungen ergeben sich bei anderen Raumtemperaturen, z.B. für Bäder.

4.4 Hinweise zur Anordnung von Heizflächen

Die Anordnung der Heizkörper, der Außenluftdurchlässe und der späteren Inneneinrichtungen muß sorgfältig durchdacht und aufeinander abgestimmt sein, um auszuschließen, daß unbehagliche Zugscheinungen, Fußkälte aufgrund von Kaltluftseen oder Kaltluftfallströmungen durch erhöhte Raumlufttemperaturen (vgl. empfundene Temperatur, Seite 11) ausgeglichen werden müssen:

- Auch im NEH wird der zu bevorzugende Aufstellort unterhalb von Fensterflächen sein. Trotz niedriger spezifischer stationärer Heizlasten und verbesserter Bauteilkonstruktionen sind bei gängigen Zweischeiben-Wärmeschutzverglasungen die inneren Oberflächentemperaturen so niedrig, daß eine Kaltluftfallströmung am Fenster nicht auszuschließen ist. Diese wird in geeigneter Weise durch die Konvektion eines darunter angebrachten Heizkörpers verhindert. Zudem gleicht die warme Oberfläche eines Heizkörpers den Strahlungsentzug durch kalte Oberflächen am besten aus, wenn diese in einer Ebene möglichst dicht zusammenliegen. Nach [7 Feist] spielt die Anordnung von Heizkörpern keine Rolle, wenn der Wärmedurchgangskoeffizient (k-Wert) des ungünstigsten Bauteils (i.d.R. Fenster)



eine Grenze von $0,8\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ bei einer Raumhöhe von 2,5m nicht überschreitet und die Temperatur der Zuluft $15\text{-}17^\circ\text{C}$ nicht unterschreitet. Diese Anforderungen werden nur mit optimalen Fenstern und einer Luftvorwärmung (z.B. durch eine hocheffiziente Wärmerückgewinnung) erreicht, die i.A. in NEH und am Kronsberg nicht vorliegen wird.

- Bei kontrollierter Lüftung (ohne Wärmerückgewinnung) muß die kalte Außenluft in den Zulufräumen zur Vermeidung von Zugscheinungen oder Kaltluftseen in die Konvektionswalze eines Heizkörpers eingebunden werden.
- Die Behaglichkeit stellt sich bei einer Aufheizung am schnellsten ein, wenn sich der Heizkörper an der kältesten Stelle im Raum befindet.
- "Werden Heizkörper unter Fenstern angeordnet, sollte entweder auf Vorhänge verzichtet oder das Fensterbrett über den Heizkörper geführt werden, so daß die Vorhänge darüber enden können und auf keinen Fall warme Heizungsluft in den Luftraum zwischen Vorhang und Verglasung eindringen kann." [9 Schrode]
- Bei mehreren Heizkörpern in einem Raum ist die gegenseitige Beeinflussung der Konvektionswalzen auf die Thermostatventile zu beachten und ggf. durch geeignete Maßnahmen zu verhindern (z.B. Fernfühler).
- Bei der Anordnung auf Innenwänden können meistens die Zuleitungen kurz gehalten werden, nachteilig ist der Flächenverbrauch für Möblierungen.
- Die Auslegungsregel der Praxis, daß der Heizkörper die gleiche Länge wie die Fensterbreite aufweisen müsse, ist aus Behaglichkeitsgründen nicht pauschal zu rechtfertigen. Hier treten eher optische Gründe in den Vordergrund, die aber nicht zu deutlichen Überdimensionierungen führen sollten.
- Die Wahl der Aufstellung bzw. des Einbaus von Heizkörpern sollte in Kenntnis und unter Berücksichtigung etwaiger Minderleistungen erfolgen, vgl. Kapitel 4.6.1. Solche Einbausituationen haben neben den vergrößerten Heizflächen weitere Nachteile und sollten unbedingt vermieden werden.
- Zur Begrenzung des Energiedurchgangs bei Heizkörpern vor Glasflächen, schreibt die Wärmeschutzverordnung '95 einen maximalen Wärmedurchgangskoeffizienten von $k_F = 1,5\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ vor. Dieser Wärmedurchgangskoeffizient wird nach DIN 4108 Teil 4¹⁸ bei einer Rahmenmaterialgruppe 2.1 und einer Zweifach-Verglasung nur mit einem Wärmedurchgangskoeffizienten der Verglasung von $k_V = 1,0\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ erreichbar. Bei Rahmenmaterialgruppe 1 darf der k_V -Wert höchstens $k_V = 1,4\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ betragen. Diese Fensterqualität kann im NEH vorausgesetzt werden. Demzufolge könnte auf Strahlungsschutzschirme zwischen Heizkörper und Glasfläche verzichtet werden. Gegenüber dem Wärmedurchgangskoeffizienten nichttransparenter Außenwandflächen im NEH entspricht das aber einem mehr als 6fachen Energiedurchgang. Es sollte daher auf Heizkörper vor Glasflächen verzichtet werden oder zumindest Strahlungsschutzschirme mit sehr kleinem Wärmedurchgangskoeffizienten verwendet werden.

¹⁸ DIN -Reihe 4108: Wärmeschutz im Hochbau



4.5 Hydraulischer Anschluß der Heizkörper

Heizkörper in Anlagen mit einzuhaltender Rücklauf­temperatur sind mit Vorlauf oben und Rücklauf unten anzuschließen. Die Verwendung von Lanz­enventilen führt zu einer ungewollten Rücklauf­temperatur­anhebung, ebenso Steigrohrventile, die zusätzlich auch oft auch über einen Bypass verfügen.

Günstigste Strömungsbedingungen und eine gleichmäßige Temperaturverteilung ergeben sich bei einem wechselseitigen Anschluß durch die Tichelmannverteilung innerhalb der Heizfläche. Der wechselseitige Anschluß sollte bei langen Heizkörpern immer erfolgen und bei Heizkörpern mit geringer Bauhöhe bevorzugt werden. Bei Heizkörpern mit integrierten Ventilen wird der wechselseitige Anschluß nur von einigen Herstellern realisiert, über die Qualität der Rücklauf­temperatur sollte daher Rücksprache mit den Herstellern genommen werden.

Ventilintegration entspricht einer Vorfertigung sowie einer Leitungslängenreduzierung beim Rohrleitungsanschluß. Von daher stellen die Heizkörper mit integrierten Ventileinsätzen aufgrund der Anforderungen durch Architekten und Bauherren und nicht zuletzt durch die Kostenreduzierung am Bau eine vorteilhafte Lösung dar.

4.6 Dimensionierung der Heizkörper - Normheizkörperleistung

Für die Dimensionierung der Heizkörper ist zunächst eine Auslegungsheizlast, z.B. nach Kapitel 3.3 dieser Broschüre zu bestimmen.

Zur Auswahl der Heizkörper aus Herstellerunterlagen ist diese Auslegungsheizlast auf Normbedingungen umzurechnen. Dabei werden die Anschlußart, von der Norm abweichende Einbauverhältnisse und von der Norm-Leistungsmessung abweichende Vor- und Rücklauf­temperaturen sowie die Norm-Innentemperatur berücksichtigt.

Hinweis: Seit dem 01.10.1997 gilt die EN 442 verbindlich zur Bestimmung der Heizkörpernormleistung. Aufgrund der unterschiedlichen Auslegungstemperaturen zur bislang gültigen DIN 4704 sollten in Ausschreibungsunterlagen und in Zeichnungen die Prüfrichtlinie und die entsprechenden Auslegungstemperaturen angegeben werden, da bislang weder Hersteller, noch Planer und ausführende Firmen die Umstellung vollständig vollzogen haben.

Die Normheizkörperleistung berechnet sich wie folgt; die Korrekturfaktoren f_2 und f_3 werden in den anschließenden Kapiteln erläutert.

$$\dot{Q}_{\text{HK,Norm}} = \dot{Q}_{\text{Heizl,A}} \cdot f_2 \cdot f_3 \quad \text{Gl 4-1} \quad \dot{Q}_{\text{HK,Norm}} : \begin{array}{l} \text{Normheizkörperleistung zur} \\ \text{Heizkörperauswahl aus} \\ \text{Herstellerunterlagen} \end{array}$$

Anmerkung: Der Heizflächenzuschlag nach DIN 4701 Teil 3 wurde bereits in Kapitel 2.3 berücksichtigt. Ein Auslegungsschema A3 befindet sich im Anhang.

4.6.1 Minderleistungs-Korrekturfaktor f_2

Der Minderleistungskorrekturfaktor f_2 korrigiert die Normheizkörperleistung, die aufgrund einer abweichenden Anschlußart und/oder Einbaulage gemindert wird. Hierzu können Herstellerunterlagen und/oder Literaturwerte benutzt werden. Eine Minderleistung tritt



bereits dann auf, wenn durch Vorhänge, Gardinen oder Fensterbänke die Luftkonvektion behindert wird. Grundsätzlich sollte die Gebäude- und Anlagenplanung so erfolgen, daß derartige Korrekturen nicht notwendig sind, der Minderleistungskorrekturfaktor ist dann mit $f_2=1$ einzusetzen.

Eine übersichtliche Darstellung von Minderleistungen aufgrund unterschiedlichster Parameter enthält [8 Recknagel, Seiten 938 - 947].

Bei Heizkörpern mit langer Zuleitung und kleinen Strömungsgeschwindigkeiten in den Verteilungen kann sich die Vorlauftemperatur durch Rohrwärmeverluste bereits merklich erniedrigen und die Leistungsabgabe verringern (vgl. Bild 4-1). Ob eine entsprechende Minderleistungskorrektur zu berücksichtigen ist, muß anhand der gewählten Vorlauftemperatur und der Verlegetlänge, sowie der verwendeten Rohrwärmedämmung abgeschätzt werden. Zum Vergleich: Warmwasserzirkulationssysteme werden mit Temperaturdifferenz von 3-5 K ausgelegt. Das entspricht einer Minderleistung des Heizkörpers bei 65/39°-Auslegung von 8-13 %.

4.6.2 Auslegungstemperatur-Korrekturfaktor f_3

Der Auslegungstemperatur-Korrektur- oder Umrechnungsfaktor f_3 korrigiert die Differenz der Heizkörperleistung zwischen Norm- und Auslegungstemperaturen. Er kann gemäß untenstehender Gleichung errechnet werden. Dabei ist der Heizkörperexponent n abhängig vom konstruktiven Aufbau des Heizkörpers und den Herstellerunterlagen zu entnehmen (vgl. Kapitel 4.3.6).

$$f_3 = \left(\frac{\Delta t_{m,\ln,N}}{\Delta t_{m,\ln,A}} \right)^n = \left(\frac{\Delta t_{m,\ln,N}}{\frac{t_{VL,A} - t_{RL,A}}{\ln \left(\frac{t_{VL,A} - t_{i,A}}{t_{RL,A} - t_{i,A}} \right)}} \right)^n$$

Gl. 4.2

$\Delta t_{m,\ln,N}$: mittlere, logarithmische Heizflächenübertemperatur im Normzustand

DIN 4704: $\Delta t_{m,\ln,N} = 59,44\text{K}$

EN 442: $\Delta t_{m,\ln,N} = 49,83\text{K}$

$\Delta t_{m,\ln,A}$: mittlere, logarithmische Heizflächenübertemperatur im Auslegungszustand

$t_{VL,A}$: Auslegungsvorlauftemperatur

$t_{RL,A}$: Auslegungsrücklauftemperatur

$t_{i,A}$: Auslegungsraumtemperatur

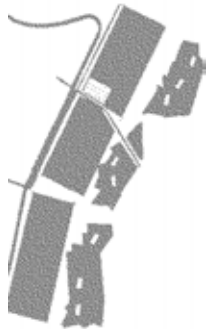
n : Heizkörperexponent

5 Hinweise zur Auslegung von Thermostatventilen

Thermostatventile sind die kostengünstigste Lösung für die nach der Heizungsanlagenverordnung geforderte selbsttätige Einrichtung zur raumweisen Temperaturregelung.

Die richtige Planung und Auswahl von Thermostatventilen legt die Grundlage für

- eine gleichmäßige Versorgung aller Verbraucher (Heizkörper) und die damit eng in Verbindung stehende Einhaltung einer maximalen Rücklauftemperatur,



- die Ausnutzung von Fremdwärme und damit verbunden einen niedrigen Jahresheizwärmebedarf,
- die Einhaltung einer geforderten Solltemperatur unter üblichen Betriebsbedingungen in den beheizten Räumen.

Dazu sind zwei Auslegungsphilosophien zu differenzieren:

- Auswahl von Thermostatventilen mit angepaßtem Durchflußkennwert (Ventilkegel) unter Beachtung einer angemessenen Ventilautorität und eines ausreichenden Regelbereiches (Proportionalbereich); Hydraulischer Abgleich über eine interne oder zusätzliche Drosselstelle
- Auswahl von voreinstellbaren Thermostatventilen mit relativ überdimensioniertem Regelkegel und Anpassung des Gesamtdurchflußkennwertes über eine interne oder zusätzliche Drosselstelle bei gleichzeitigem Hydraulischen Abgleich, meistens bei nur geringer Ventilautorität und/oder kleinsten Regelbereichen (Proportionalbereichen)

Maßgebend für die Prüfung und Qualitätssicherung der Thermostatventile ist die DIN EN 215 Thermostatische Heizkörperventile.

Mit der DIN EN 215 - Prüfung verpflichten sich die Hersteller, technische Angaben zu machen. Bedeutend für den Planer sind zur Auswahl der Thermostatventile:

- Diagramm Differenzdruck in Abhängigkeit des Durchflusses mit mindestens 2 Kurven für $X_p = 1 K$ und $X_p = 2 K$, bei voreinstellbaren Thermostatventilen für jede definierte Voreinstellung
- Autorität des Regelquerschnittes beim Nenndurchfluß, bei voreinstellbaren Ventilen für alle definierten Voreinstellungen
- Hysterese und Wassertemperatureinfluß (vgl. Kapitel 5.1.4 und 5.1.5) müssen nicht angegeben werden, sollten aber grundsätzlich in die Auswahl einfließen.

Nach den Anschlußbestimmungen der Nahwärmeversorger sind Thermostatventile nach den Anforderungen des AGFW¹⁹-Merkblattes Nr. 5/7 zu verwenden.

Das Merkblatt soll die EN 215 um fernwärmespezifische Belange erweitern, z.B. um zulässige Durchflußtoleranzen für eine Voreinstellung.

Dazu schreibt die AGFW: "Die Einhaltung der Durchflußtoleranzen geht allerdings zu lasten der [...] Ventilautorität, d.h. sie entspricht bei allen 4 Fabrikaten nicht den Forderungen des Abschnitts 7 der DIN EN 215. Das Regelverhalten ändert sich bei kleineren Durchflüssen in Richtung einer reinen Zweipunktregelung. Dies kann allerdings toleriert werden, da dadurch ein stabiler hydraulischer Abgleich stattfindet."²⁰

Im AGFW-Merkblatt Nr. 5/7 heißt es unter dem Punkt "Allgemeines" hingegen: "Der Aufbau und die verwendeten Werkstoffe müssen gewährleisten, daß das Ventil geräuscharm

¹⁹ AGFW: Arbeitsgemeinschaft Fernwärme e.V.

²⁰ Abschnitt 7 der EN 215 umfaßt "Technische Angaben des Herstellers für Einbau und Bedienung". In dem Hinweis der AGFW dürfte aus Abschnitt 5 der Unterpunkt 5.2.1 gemeint sein: "Der bei S-1 K ermittelte Durchfluß darf nicht mehr als 70% des Nenndurchflusses betragen." Sprich: die Vorkrümmung aufgrund einer unregelmäßigen Kennlinie oder einer zusätzlichen Drossel (im nicht eingestellten Zustand) darf einen gewissen Wert nicht überschreiten.



und zuverlässig arbeitet und, richtige Auslegung vorausgesetzt, in seinem Regelverhalten stabil ist und nicht zu Schwingungen neigt."

Dieser Satz entspricht dem Tenor einschlägiger Literatur zu thermostatischen Heizkörperventilen. Es ist jedoch seit längerer Zeit erkennbar, daß weiter verminderte Heizlasten angepaßte Thermostatventile bedingen.

Die ausdrückliche Forderung an die Hersteller, geeignete Thermostatventile mit kleiner gestuften Kegeln anzubieten, kann in der Fachpresse über mehrere Jahre zurückverfolgt werden. Tatsache ist eine am Markt zu beobachtende Umkehrung dieser Forderung, hin zu einigen wenigen Thermostatventilen (meistens nur ein oder zwei Ventile). Fein abgestufte Ventileinsätze werden fast gar nicht mehr angeboten.

Auf der anderen Seite gibt es keine gesicherten Untersuchungen über mögliche Folgen (erhöhten Verschleiß, Wirkung auf andere Komponenten des Rohrnetzes) und Auswirkungen auf den Energieverbrauch bei der Abkehr von traditionellen Auslegungsregeln durch den Einsatz von Thermostatventilen bei zusätzlicher starker Voreinstellung.

Es sei jedoch ausdrücklich betont, daß die Autoren Thermostatventile mit Voreinstellung befürworten. Zu fordern ist eine Produkterweiterung um Ventileinsätze mit kleineren Durchflußkennwerten. Anlagen mit kleinsten Volumenströmen können dann mit den Vorteilen einer integrierten, reproduzierbaren Voreinstellung bei sauberem Regelverhalten ausgerüstet werden.

Eine aktuelle Marktübersicht "Thermostatventile '98" ist in der Zeitschrift Wärmetechnik [24 WT] enthalten.

5.1 Begriffe und Grundlagen - Einflüsse auf das Regelverhalten

5.1.1 Proportionalbereich, Proportionalabweichung, Auslegungsproportionalbereich

Der gesamte Stellbereich eines Ventils wird Proportionalbereich genannt. Bei Thermostatventilen gibt er an, um wieviel Kelvin sich die Raumlufttemperatur ändern muß, um den gesamten Ventilhub zu überwinden.

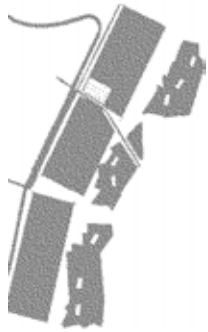
Die Proportionalabweichung X_P ist die Differenz zwischen Ist- und Sollwert. Bei einer Temperaturregelung ist z.B.:

$$X_P = t_{Ist} - t_{Soll}$$

Proportionalabweichung bei einer Temperaturregelung
 t_{Ist} ist die Fühlertemperatur

Bei der Dimensionierung von Thermostatventilen ist ein Auslegungsproportionalbereich $X_{P,A}$ zu wählen. Dieser gibt die Temperaturerhöhung des Thermostaten an, die notwendig ist, um das Ventil (aus der projektierten Zwischenstellung) vollständig zu schließen.

Das VDMA-Merkblatt [22-VDMA] gibt zur Auslegung von Thermostatventilen einen Bereich von $X_{P,A} = 1$ bis 2 K an.



Das AGFW-Arbeitsblatt Nr. 5/7 gibt zwar Dimensionierungsregeln an, die Auslegungsgröße "Proportionalabweichung" wird hier allerdings nicht behandelt, ähnliches findet man auch in Herstellerunterlagen vor.

Die Empfehlung des Heiztechnischen Konzeptes ist eine Auslegung mit einem Auslegungsproportionalbereich von $X_{P,A} = 1\text{ K}$ bei stationärer Heizlast nach DIN 4701. Aufgrund der Zuschläge für ungleichmäßige Beheizung oder Aufheizung wird daraus ein praktischer Bereich von $X_{P,A} = 1$ bis $1,5\text{ K}$.

Beim Einsatz von Fernfühlern vergrößert sich bei einigen Fabrikaten der Proportionalbereich z.T. sehr deutlich, der Randmaßstab von Auslegungsdiagrammen ist dann entsprechend abzuändern

5.1.2 Durchflußkennwert (k_V -Wert)

Die Druckverluste von Regelventilen und in anderen Rohrleitungseinbauten mit einer quadratischen Abhängigkeit vom durchfließenden Volumenstrom werden bei der Kenntnis eines bekannten Wertepaares quadratisch interpoliert:

$$\Delta p_2 = \Delta p_1 \cdot \frac{\rho_2}{\rho_1} \cdot \left(\frac{\dot{V}_2}{\dot{V}_1} \right)^2 \quad \text{Gl. 5-1}$$

Für Regelventile und andere Armaturen werden vom Hersteller Durchflußkennwerte gemessen und als k_V -Werte angegeben. Dieser Durchflußkennwert ergibt durch seine Definition ein bekanntes Wertepaar:

Der Durchflußkennwert ist der Volumenstrom in m^3/h von Wasser mit einer Temperatur von $5\text{-}30^\circ\text{C}$, der eine Druckdifferenz von 1 bar über der Armatur erzeugt. (Die Einheit m^3/h wird oftmals nicht angegeben.)

Somit ist:

$\Delta p_1 = \Delta p_N = 10^5\text{ Pa}$	Normdruckverlust für die Messung des Durchflußkennwertes
$\rho_1 = \rho_N = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	Dichte von Wasser im Normzustand für die Messung des Durchflußkennwertes
$\dot{V}_1 = k_V$	Durchflußkennwert in $\frac{\text{m}^3}{\text{h}}$

$$\Delta p_2 = \Delta p_N \cdot \frac{\rho_2}{\rho_N} \cdot \left(\frac{\dot{V}_2}{k_V} \right)^2 \quad \text{Gl. 5-2}$$

Der statistische Mittelwert einer Serie bei vollständig geöffnetem Ventil wird als k_{VS} -Wert bezeichnet. Bei Standardarmaturen ist nur diese Angabe verfügbar.

Bei Regelventilen ist der k_V -Wert abhängig vom Hub, bzw. mit der praktischeren Angabe der Proportionalabweichung: $k_V = k_V(X_P)$.



Der Auslegungs-Wert $k_{V,A}$ - wird mit dem verfügbaren Druckverlust und dem notwendigen Volumenstrom ermittelt.

Der Gesamt-Durchflußkennwert von Armaturen in Reihenschaltung berechnet sich zu:

$$k_{V,ges,1-n} = \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{1}{k_{V1}}\right)^2 + \left(\frac{1}{k_{V2}}\right)^2 + \dots + \left(\frac{1}{k_{Vn}}\right)^2}} \quad \text{Gl. 5-3}$$

5.1.3 Voreinstellung

Unter Voreinstellung versteht man das Einregulieren von Nennvolumenströmen an dezentral oder zentral angeordneten Drosselvorrichtungen. Im Teillastfall mit verminderten Volumenströmen sind diese Drosselvorrichtungen unwirksam. Durch den quadratischen Zusammenhang zwischen Durchfluß und Druckverlust wirken diese als Volumenstrombegrenzer.

Die Voreinstellung ist bei kleinen Anlagen mit dem hydraulischen Abgleich gleichzusetzen, günstigste Bedingungen ergeben sich, wenn die Voreinstellung direkt in der Anschlußleitung des Verbrauchers erfolgt.

Voreinstellbare Thermostatventile integrieren eine von außen zugängliche Einstellvorrichtung. Diese kann zum hydraulischen Abgleich benutzt werden, eine Veränderung/ Anpassung des Regelkegels erfolgt nicht.

Eine überzogene Voreinstellung mit dem Ziel einer Mengenbegrenzung verringert die Ventilautorität und beeinflusst das Regelverhalten nachteilig.

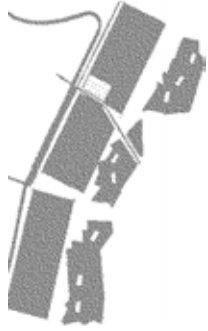
Eine Voreinstellung am Verbraucher ist vorzunehmen, wenn der k_{VS} -Wert den doppelten Wert des $k_{V,A}$ -Wertes (Auslegungs-Durchflußkennwert) übersteigt. Sie dient dazu, ein hydraulisches Ungleichgewicht zwischen einzelnen Verbrauchern zu verhindern, insbesondere beim morgendlichen Aufheizvorgang nach einer Absenkephase.

5.1.4 Hysterese

Hysterese ist "Die Temperaturdifferenz, die sich bei gleichem Durchfluß zwischen der Öffnungs- und der Schließkennlinie ablesen läßt [..]" [23 EN 215, Abschnitt 3.4.4]

An den mechanischen Berührungsflächen im Thermostatventil entstehen Reibungskräfte. Diese bewirken, daß sich je nachdem, ob sich das Ventil in Öffnungs- oder Schließrichtung bewegt, ein unterschiedlicher Hub einer gleichen Fühlertemperatur zugeordnet wird.

Zur Auswahl der Thermostatventile ist die Hysterese zu beachten, diese sollte nicht über den Werten hochwertiger Ventile mit 0,2 bis 0,3K liegen. EN 215 legt einen Grenzwert von 1K fest.



5.1.5 Wassertemperatureinfluß, Vorlauftemperatureinfluß

Durch Wärmeleitung im Ventilkörper wird im Fühler eine höhere Temperatur erzeugt als die tatsächliche Raumlufttemperatur. Dieser Einfluß der Wassertemperatur ist ein wichtiges Qualitätsmerkmal und beeinflusst das Regelverhalten eines Thermostatventiles.

Bei hohen Vorlauftemperaturen wird eine höhere Raumtemperatur vorgetäuscht, das Ventil schließt. Der Nutzer wird bei sinkender Raumtemperatur die Sollwerteinstellung korrigieren, ggf. einen "Merker" oder "Sparclip" entsprechend umsetzen. Sinkt die Vorlauftemperatur aufgrund der witterungsgeführten Vorlauftemperaturregelung, öffnet das Ventil, die Raumtemperatur steigt, wenn die Sollwerteinstellung vom Nutzer nicht erneut korrigiert wird. Ein Temperaturanstieg wird vom Nutzer wesentlich später als unbehaglich registriert, so daß eine Sollwertkorrektur nicht zuverlässig erfolgt. Davon abgesehen ist sie auch unzumutbar.

Weiterhin kann der Wassertemperatureinfluß bei der Auslegung mit kleinen Proportionalbereichen und hohem Fremdwärmeanteil Regelschwingungen verstärken bzw. zum Zweipunktverhalten führen: Beim Schließen des Thermostatventiles kühlt sich das Ventilgehäuse ab, die Fühlertemperatur sinkt. Obwohl die Raumtemperatur durchaus oberhalb des gewünschten Sollwertes liegen kann, öffnet das Thermostatventil, bis die Fühlertemperatur durch die Wärmeleitung wieder ansteigt und das Ventil wieder schließt usw.

Es ist davon auszugehen, daß der Nutzer die Einstellung so vornehmen wird, daß die Raumtemperatur nie merklich unter den Sollwert absinkt und somit phasenweise eine Überheizung mit erhöhtem Energieverbrauch auftritt. Teilweise kann dieses vom Speicherverhalten der Gebäude gepuffert werden, jedoch nicht, wenn "notgelüftet" wird.

Der Wassertemperatureinfluß ist bei der Auswahl der Thermostatventile gezielt zu beachten. Er wird maßgeblich durch die Konstruktion des Thermostatkopfes geprägt.

EN 215 läßt einen größten Einfluß der Wassertemperatur von 1,5 K pro 30 K Wassertemperaturerhöhung zu. Nach dieser Qualität würde ein Thermostatventil eine jahreszeitlich stark abweichende Sollwerteinstellung benötigen. Die Thermostatköpfe von hochwertigen Thermostatventilen weisen einen Einfluß von 0,5 bis 0,8 K pro 30 K Wassertemperaturerhöhung auf.

5.1.6 Ventilautorität

Die Ventilautorität gibt an, mit welcher Qualität eine Hubänderung am Ventil eine Veränderung des Massenstromes bewirkt.

Sie ist definiert als Verhältnis der Druckverluste über einem Regelorgan im Auslegungszustand zum Gesamtdruckverlust.

Für das Thermostatventil gilt der Druckverlust im Regelorgan bei gewähltem Auslegungsproportionalbereich ohne den Druckverlust einer Voreinstellung. Der für den Gesamtdruckverlust maßgebliche Teil des Netzes erfaßt den hydraulisch nicht entkoppelten Rohrnetzabschnitt, in dem die Hubverstellung des Regelorganes eine Veränderung des Volumenstromes und damit des Druckverlustes bewirkt. Er wird auch volumenvariabler Kreis genannt. Ohne dezentrale Differenzdruckregler oder hydraulische Entkopplung, z.B. durch differenzdruckarme Verteiler wird bei kleinen Anlagen für den volumenvariablen Kreis das gesamte Rohrnetz, bei größeren Anlagen nur der Netzteil zwischen zwei Punk-



ten in der Unterverteilung angenommen. Bei einer hydraulischen Entkopplung wird der entkoppelte Netzbereich, bei dezentraler Differenzdruckregelung der hierdurch auf nahezu konstanten Differenzdruck geregelte Netzabschnitt als volumenvariabler Kreis angenommen. Bei einer Mengenregelung durch Drosselung gehören zum volumenvariablen Kreis grundsätzlich auch das Stellventil und der Verbraucher sowie eine Voreinstellung. Die erforderliche Ventilautorität wird mit folgender Gleichung geprüft:

$$a_v = \frac{\Delta p_{\text{THKV,A}}}{\Delta p_{\text{THKV,A}} + \Delta p_{\text{VE,A}} + \Delta p_{\text{Netz,A}} + \Delta p_{\text{WT,A}}} = \frac{\Delta p_{\text{THKV,A}}}{\Delta p_{\text{Strang}}} \quad \text{Gl. 5-4}$$

Ventilautorität nach Bild 5-1

- $\Delta p_{\text{THKV,A}}$ Druckverlust über dem Heizkörperthermostatventil ohne Voreinstellung im Auslegungszustand
- $\Delta p_{\text{VE,A}}$ Druckverlust durch Voreinstellung am Thermostatventil oder in einer Rücklaufverschraubung
- $\Delta p_{\text{Netz,A}}$ Druckverlust im Rohrnetz durch Rohrleitungen, Einbauten und dezentrale Armaturen
- $\Delta p_{\text{WT,A}}$ Druckverlust im Wärmeübertrager der Hausübergabestation
- Δp_{Strang} Druckverlust des volumenvariablen Kreises

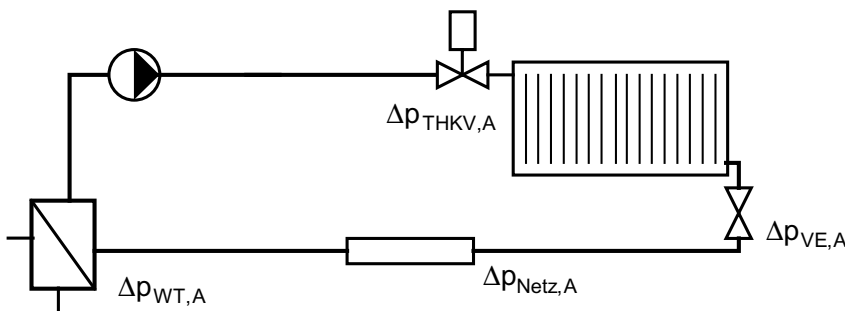


Bild 5-1: Druckverluste in der Hausanlage zur Berechnung der Ventilautorität

Durch eine zentrale oder dezentrale Differenzdruckregelung kann der Druckverlust im Thermostatventil bei gleicher Ventilautorität verringert werden. Dadurch lassen sich geringe Auslegungsvolumenströme realisieren.

Die in Bild 5-2 gezeigte Variante führt durch die hydraulische Entkopplung (vgl. Kapitel

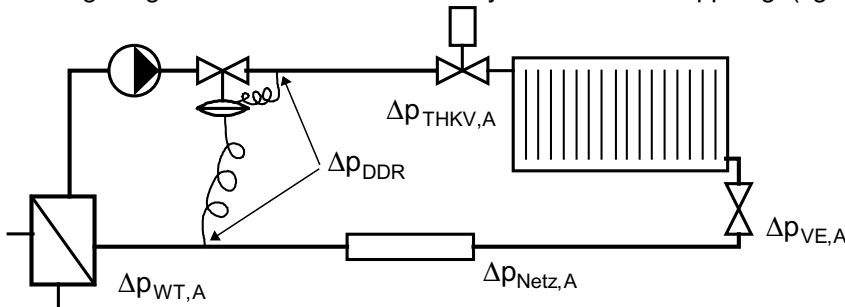


Bild 5-2: Optimierung der Druckverluste über dem Thermostatventil ohne Einschränkung der Ventilautorität



6.3) zu wesentlich geringeren Druckverlusten im Thermostatventil, da die Wärmeübertrager der Hausübergabestationen im Nennlastfall mit 26 K Temperaturspreizung und 10 kPa Druckverlust ausgelegt werden. Dadurch können Ventile mit größeren k_{VS} -Werten eingesetzt werden.

$$a_v = \frac{\Delta p_{\text{THKV,A}}}{\Delta p_{\text{THKV,A}} + \Delta p_{\text{VE,A}} + \Delta p_{\text{Netz,A}}} = \frac{\Delta p_{\text{THKV,A}}}{\Delta p_{\text{Strang}}} \quad \text{Gl. 5-5}$$

Ventilautorität nach Bild 5-2

Für die Ventilautorität wird in der Literatur zumeist ein Auslegungsbereich von 0,3 bis 0,7 genannt, z.B. in [22 VDMA]. Die Anschlußbestimmungen der Nahwärmeversorger fordern einen Mindestwert von 0,5. Das entspricht den Empfehlungen des Heiztechnischen Konzeptes.

Das Merkblatt [24 AGFW 5/7] empfiehlt als fernwärmespezifische Anforderung eine Ventilautorität von mindestens 0,67.

Ein erforderlicher Mindestdruckabfall am Regelquerschnitt (z.B. 1 bis 5 kPa) ist vom Ventilhersteller zu erfragen.

5.1.7 Kennlinien

Die Ventileinsätze thermostatischer Heizkörperventile weisen i.d.R. eine lineare Grundkennlinie auf. Diese wird verfälscht durch Gehäuseeinflüsse (hydraulischer Widerstand), zusätzliche Drosseln oder Blenden (Voreinstellmöglichkeiten, Mengenbegrenzungen).

Vereinfacht gilt für das Regelorgan:

$$k_{V1} = k_{V2} \cdot \frac{X_{P1}}{X_{P2}} \quad \text{Gl. 5-6}$$

Marktübliche Modelle erreichen den Durchflußkennwert k_{VS} bei ca. 3-4 K Proportionalabweichung mit einer bereits deutlichen Abweichung von der linearen Grundkennlinie. Aufgrund der geringen Abweichung kann mit ausreichender Genauigkeit die Ventilkennlinie als Extrapolation des Durchflußkennwertes $k_V(X_P) = 1 \text{ K}$ vorgenommen werden, um Zwischenwerte zu ermitteln.

Der senkrechte Abstand zwischen der linearen Kennlinie und einer entarteten Kennlinie ist ein Maß für die Verringerung der Ventilautorität. (Siehe Bilder 5-3 und 5-4.)

5.2 Dimensionierung der Thermostatventile

5.2.1 Auslegungsempfehlungen

Auslegungsproportionalbereich	$X_{P,A} = 1 \text{ bis } 1,5 \text{ K}$	
Ventilautorität	$a_v = 0,5$	Zielwert
	$a_v = 0,3 \text{ bis } 0,7$	Grenzwerte



Die Erweiterung der Bandbreite der Ventilautorität ist notwendig, um auf dem Markt verfügbare Thermostatventile den zu erwartenden Volumenströmen überhaupt zuordnen zu können.

5.2.2 Einsatzgrenzen eines Thermostatventiles

Der Einsatz eines Thermostatventiles kann mit folgender Gleichung abgesteckt werden, wenn der Wert $k_V(X_P) = 1 \text{ K}$ (ohne Voreinstellung) bekannt ist.

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{\text{HK}} &= f(a_V, \Delta p_{\text{Strang}}, X_P) \\ &= \rho_{\text{HK}} \cdot c_P \cdot \Delta t_{\text{HK}} \cdot \sqrt{\frac{\rho_N}{\rho_{\text{THKV}}}} \cdot \sqrt{\frac{\Delta p_{\text{Strang}}}{\Delta p_N}} \cdot \frac{X_{P,A}}{\text{K}} \cdot k_V(X_P = 1\text{K}) \cdot \sqrt{a_V} \end{aligned}$$

Gl. 5-7

Beispiel:

Gegeben:

X_P in K	1	2	3	max
k_V in $\frac{\text{m}^3}{\text{h}}$	0,125	0,245	0,33	0,435

$$\Delta p_{\text{Strang}} = 50 \text{ mbar}$$

$$X_{P,A} = 1,15 \text{ K}$$

$$a_V = 0,3 \text{ bis } 0,7$$

$$\text{Heizkörperauslegung } 65/39^\circ\text{C} \quad (\Delta t = 26 \text{ K})$$

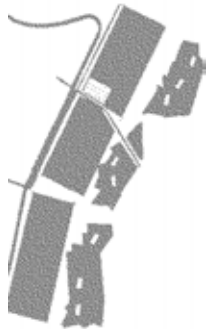
Lösung:

Der minimale Druckverlust über dem Regelquerschnitt wird vom Hersteller mit 1,5 kPa angegeben. Dieser Wert wird bei einer Ventilautorität von 0,3 gerade erreicht; so daß die Bandbreite von $a_V = 0,3$ bis 0,7 voll ausgenutzt werden kann.

$$\dot{Q}_{\text{HK}} = 460..1060 \text{ W}$$

Tendenzen:

- Reduziert man die Ventilautorität weiter, wird die Gesamtkennlinie (Streckenkenlinie) stärker entartet. Die Wirkung der Drosselung beschränkt sich dann auf einen sehr schmalen Temperaturbereich, was zum Zweipunktverhalten führen kann. Das Thermostatventil wird dann praktisch zum Temperaturbegrenzer, wohlbermerkt nicht der Raumlufttemperatur, sondern der Fühlertemperatur. Des weiteren ist es für den Nutzer sehr schwer, den richtigen Sollwert am Thermostatventil einzustellen.
- Reduziert man den Auslegungsproportionalbereich, ist ebenfalls mit einem Zweipunktverhalten zu rechnen.



Bei zu kleinem Proportionalbereich steigt die Ventilautorität, was zum hydraulischen Ungleichgewicht führen kann, weil eine Mengengbegrenzung (durch die Voreinstellung) fehlt.

- Eine weitere Reduzierung des Strangdruckverlustes ist mit marktüblichen Differenzdruckreglern nicht durchführbar. Elektronische Varianten dürften deutlich teurer sein.
- Einer Reduzierung der Temperaturspreizung sind höhere Investitionskosten entgegenzuhalten. Die Rahmenbedingungen erlauben nur eine Verringerung der Vorlauftemperatur. Dadurch wird die Wärmeübertragerkennlinie stärker entartet, was tendenziell auch zu einer Temperaturbegrenzungsfunktion führt. Die physikalischen Gesetzmäßigkeiten der entarteten Heizkörperkennlinie bewirken, daß sich eine Leistungsreduzierung erst bei starker Massenstromdrosselung durchsetzt. Eine Reduzierung der Temperaturspreizung wirkt sich auf die Größe aller Heizkörper aus.

Verringert man z.B. die Vorlauftemperatur auf 55°C bei einer Rücklauftemperatur von 39°C ergeben sich ca. 20% größere Heizflächen, der Einsatzbereich verschiebt sich dann auf:

$$\dot{Q}_{HK} = 280.650 \text{ W}$$

5.2.3 Auslegungsbeispiel - Vergleich: Anpassung des Durchflußkennwertes mit gestuften Ventileinsätzen oder mit starker Voreinstellung

Beispiel:

Heizkörperauslegung auf 65/39°C

$$\dot{Q}_{HK} = 500 \text{ W} \quad (\text{entspricht ca. } 15\text{m}^2 \text{ eines Zulufrumes})$$

der Druckverlust des volumenvariablen Kreises beträgt 50mbar, die Ventilautorität soll 0,5 betragen, der Auslegungsproportionalbereich wird zunächst mit 1 K angenommen

Beide Thermostatventile können nach Herstellerangabe mit einem minimalen Druckverlust von 1,5 kPa über dem Regelquerschnitt ausgelegt werden.

Lösung:

$$\dot{V}_{HK} = \frac{\dot{Q}_{HK}}{\rho_{HK} \cdot c_p \cdot \Delta t_{HK}} = \frac{0,5\text{kW}}{987 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 4,182 \frac{\text{kWs}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 26\text{K}} \cdot \frac{3600\text{s}}{1\text{h}} = 0,0168 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Mit Gl. 5-4 folgt:

$$\Delta p_{THKV,A} = a_v \cdot \Delta p_{Starrng} = 0,5 \cdot 50\text{mbar} = 25\text{mbar}$$

Mit Gl. 5.2 folgt:

$$k_{V,A} = 0,0168 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \sqrt{\frac{1000\text{mbar}}{25\text{mbar}}} \cdot \sqrt{\frac{977,7}{1000}} = 0,105 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$



Der Auslegungs-Durchflußkennwert wurde in die Bilder 5-3 und 5-4 eingetragen, um die Unterschiede aufzuzeigen.

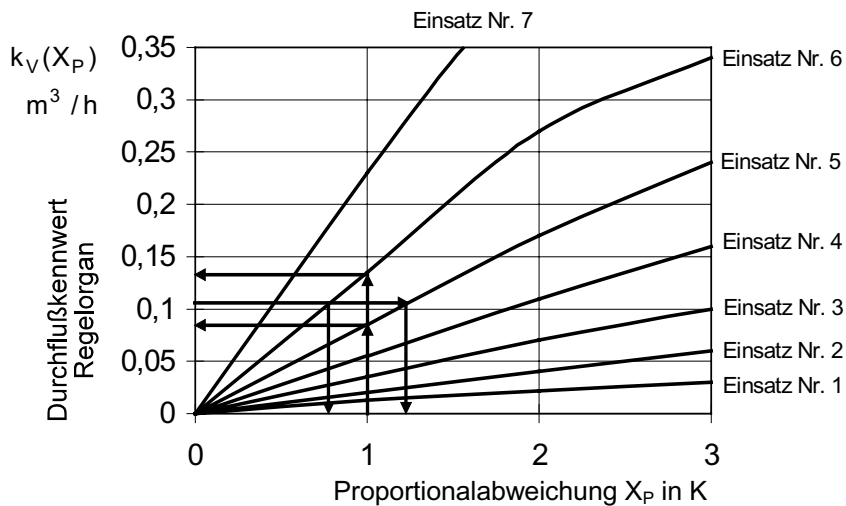


Bild 5-3: Auswahldiagramm für ein Thermostatventil mit unterschiedlichen Ventileinsätzen²¹, Beispiel

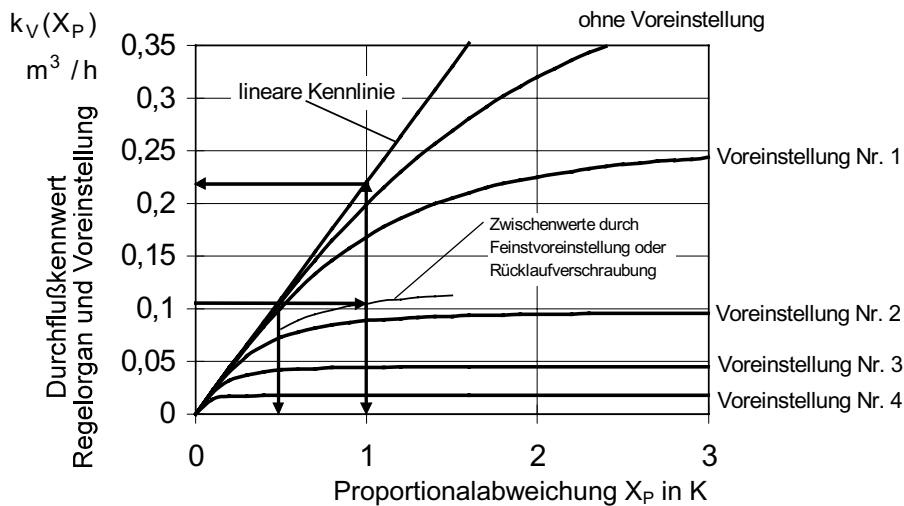
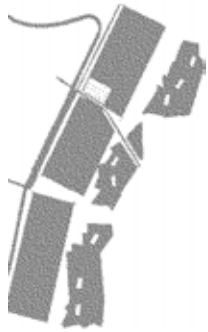


Bild 5-4: Auswahldiagramm für ein Thermostatventil mit integrierter Voreinstellmöglichkeit, Beispiel

Auswertung:

Thermostatventil mit unterschiedlichen Ventileinsätzen

Aufgrund der vorhandenen Stufung muß zwischen den Ventileinsätzen Nr. 6 und Nr. 5 gewählt werden.



Ventileinsatz Nr. 5 sollte eingesetzt werden, wenn noch ausreichend Druck (ca. 20-25% vom Gesamtdruckverlust) zur Voreinstellung einer regulierbaren Rücklaufverschraubung zur Verfügung steht. Diese Voreinstellung unmittelbar am Verbraucher wirkt sich mengenbegrenzend bei großen Sollwertabweichungen, z.B. nach einer Temperaturabsenkung oder einer Sollwerterhöhung aus. Die Erhöhung des Auslegungsproportionalbereiches auf 1,25 K ist akzeptabel. Eine Auslegung auf $X_p = 1$ K ist nicht sinnvoll: Der abgelesene Durchflußkennwert beträgt:

$$k_{V,A} = 0,08 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Der Druckverlust über dem Regelorgan beträgt dann

$$\Delta p_{\text{THKV,A}} = 1000 \text{mbar} \cdot \frac{977,7}{1000} \cdot \left(\frac{0,0168}{0,08} \right)^2 = 43 \text{mbar}$$

bei einer Ventilautorität von:

$$a_v = \frac{43}{50} = 0,86$$

Diese Ventilautorität (diese Druckdifferenz) ist nur bei "pumpennahen" Heizkörpern erreichbar. Da dann einer Sollwerterhöhung eine deutliche Massenstromerhöhung gegenübersteht, sollte im Interesse eines hydraulischen Gleichgewichtes und einer stabilen Rücklauftemperatur auf diese Auslegung verzichtet werden.

Wird Ventileinsatz Nr. 6 gewählt, verschlechtert sich die Ventilautorität, was aber zur Stabilisierung des hydraulischen Gleichgewichtes zu tolerieren ist. Die tatsächliche Ventilautorität ergibt sich bei einer Proportionalabweichung von $X_p = 1$ K aus dem Ablesewert

$$k_{V,A} = 0,13 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

und dem zugehörigen Druckverlust:

$$\Delta p_{\text{THKV,A}} = 1000 \text{mbar} \cdot \frac{977,7}{1000} \cdot \left(\frac{0,0168}{0,13} \right)^2 = 16,3 \text{mbar}$$

Die vorliegende Ventilautorität

$$a_v = \frac{16,3 \text{mbar}}{50 \text{mbar}} = 0,33$$

²¹ Die Ventileinsätze wurden einer überholten Herstellerunterlage entnommen.



liegt im Empfehlungsspielraum des Heiztechnischen Konzeptes, **allerdings unter der Forderung der Nahwärmeversorger.**

Thermostatventil mit Voreinstellung

Es besteht nur die Möglichkeit, die Voreinstellung zu variieren, da lediglich größere Ventileinsätze zur Verfügung stehen.

Um $X_p = 1 \text{ K}$ zu realisieren, ist eine starke Voreinstellung bei entsprechender Entartung der Kennlinie notwendig. Die Voreinstellung muß aus der Voreinstellung Nr. 1 und der Drosselung einer zusätzlichen Rücklaufverschraubung erfolgen, bzw. bei Thermostatventilen mit Feinstvoreinstellung direkt über die Voreinstelldrossel.

Der Druckverlust über dem Regelorgan beträgt dann bei einem Ablesewert an der linearen Kennlinie

$$k_{V,A} = 0,22 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$\Delta p_{\text{THKV,A}} = 1000 \text{mbar} \cdot \frac{977,7}{1000} \cdot \left(\frac{0,0168}{0,22} \right)^2 = 5,7 \text{mbar}$$

Mit der geringen Ventilautorität von

$$a_v = \frac{16,3 \text{mbar}}{50 \text{mbar}} = 0,11$$

erfolgt eine wirksame Drosselung des Volumenstromes erst, wenn das Ventil fast geschlossen ist. Durch die minimale Ventilautorität verkleinert sich der effektiv nutzbare Proportionalbereich erheblich, was zu einer instabilen Regelung führen kann. Weiterhin liegt der Druckverlust über dem Regelquerschnitt deutlich unterhalb der Einsatzgrenze, so daß mit einer weiteren Verschlechterung der Regelqualität zu rechnen ist.

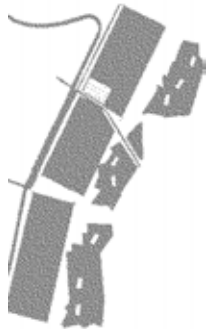
Hält man die Ventilautorität von $a_v = 0,5$ ein, ergibt sich ein Auslegungsproportionalbereich von $0,5 \text{ K}$, ebenfalls mit der Gefahr einer instabilen Regelung.

Bei einer Ventilautorität von $a_v = 0,3$ vergrößert sich der Auslegungsproportionalbereich lediglich auf $0,6 \text{ K}$.

Das führt insgesamt zu dem Schluß, daß das Thermostatventil für das gewählte Beispiel ungeeignet ist.

Um die Empfehlungen des Heiztechnischen Konzeptes einzuhalten, wäre folgende Temperaturspreizung notwendig:

Bei einer minimalen Auslegungsproportionalabweichung von 1 K ergibt sich ein



$$k_{V,A} = 0,22 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

mit der minimalen Ventilautorität $a_V = 0,3$ ein Volumenstrom nach Gl. 5-2:

$$\begin{aligned} \dot{V} &= k_{V,A} \cdot \sqrt{\frac{\rho_N}{\rho}} \cdot \sqrt{\frac{a_V \cdot \Delta p_{\text{Strang}}}{\Delta p_N}} \\ &= 0,22 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \cdot \sqrt{\frac{1000}{977,7}} \cdot \sqrt{\frac{0,3 \cdot 50 \text{mbar}}{1000 \text{mbar}}} = 0,0273 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \end{aligned}$$

Die Temperaturspreizung ergibt sich aus dem Verhältnis:

$$\Delta t_{\text{neu}} = \Delta t_{\text{alt}} \cdot \frac{\dot{V}_{\text{alt}}}{\dot{V}_{\text{neu}}} = 26 \text{ K} \cdot \frac{0,0168}{0,0273} = 16 \text{ K}$$

Daraus folgt eine Vorlauftemperatur von 55°C, unter Ausnutzung der maximalen Rücklauftemperatur von 39°C. Mit dieser Auslegung ergeben sich ca. 20% größere Heizkörper.

5.3 Bestimmung des Auslegungsvolumenstromes

Die raumbezogene Auslegungsheizlast wird nach Kapitel 3.3, Gleichung 3.1, bestimmt. Sie umfaßt bereits Zuschläge für Aufheizungen oder eingeschränkte Beheizung sowie den Auslegungszuschlag nach DIN 4701 Teil 3 von 15%.

Geht man bei einer herkömmlichen Standard-Temperaturauslegung z.B. 90/70°C, 70/55°C oder 55/45°C davon aus, daß die Zuschläge für eingeschränkte Beheizung und der Auslegungszuschlag nicht beim Auslegungsvolumenstrom berücksichtigt werden (vgl. [25 Soller, Abschnitt 11.3]), begründet sich dieses aus der Wärmeübertragerkennlinie. Bei höheren Temperaturspreizungen (sprich höheren Wärmeübertragerkennwerten) muß eine gleichzeitige Erhöhung des Massenstromes vorgenommen werden, um die installierte Leistung auch ausnutzen zu können, vgl. Bild 5-5.

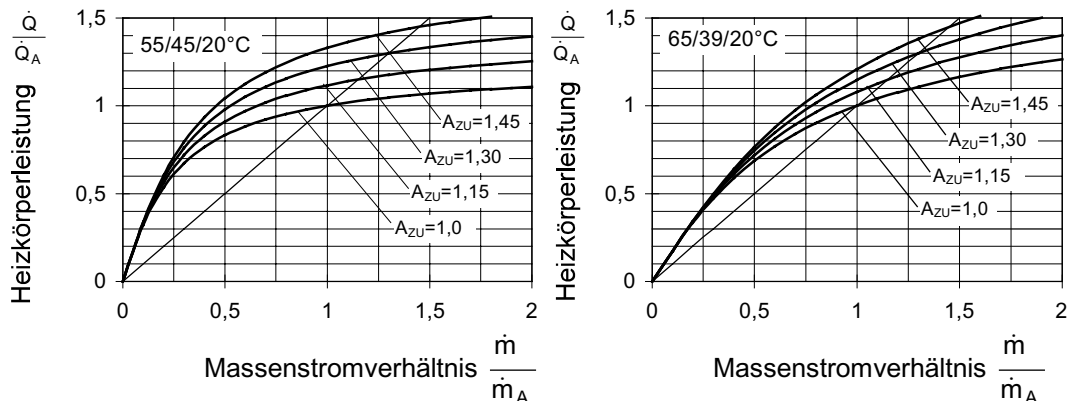


Bild 5-5: Leistungsabgabe überdimensionierter Heizkörper bei unterschiedlichen Auslegungstemperaturen



Bei einem Massenstromverhältnis von 1 (\dot{m}_A steht hier für den Massenstrom des Heizkörpers ohne Flächenvergrößerung bei gleichmäßiger Beheizung) ist aus Bild 5-5 erkennbar, daß die Flächenzuschläge bei der 55/45°C-Auslegung (kleiner Wärmeübertragereckwert) bereits ohne Massenstromerhöhung eine fast gleichwertige Leistungssteigerung erbringen. Bei der 65/39°C-Auslegung bleibt die Leistungssteigerung deutlich hinter der Größe des Flächenzuschlages zurück.

Zur Einhaltung der Auslegungsrücklauftemperatur darf der Volumenstrom am einzelnen Heizkörper nur kurzzeitig über den Auslegungsvolumenstrom ansteigen. Es wird daher zur Absicherung der maximal zulässigen Auslegungsrücklauftemperatur empfohlen, den Volumenstrom zunächst entsprechend der Auslegungsheizlast zu berechnen und dann um einen empirischen Erfahrungswert abzumindern. Geht man von einer Ventilautorität $a_v = 0,3$ und einem Auslegungsproportionalbereich von 1 K aus, ergeben sich im Mittel ca. 20-25% höhere Volumenströme bei einer maximalen Öffnung des Thermostatventiles. (Bei einer starken Voreinstellung ist der mengenbegrenzende Einfluß der Drossel größer, so daß eine Volumenstromerhöhung wesentlich geringer ausfällt.)

Auslegungsvolumenstrom zur Thermostatventildimensionierung:

$$\dot{V}_{HK} = \dot{V}_{THKV,A} = \frac{Q_{Heizl,A}}{1,2 \cdot \rho \cdot c_p \cdot (t_{VL} - t_{RL})} \quad \text{Gl. 5-8}$$

Kann auf eine starke Voreinstellung nicht verzichtet werden, sollte der Auslegungsvolumenstrom nicht abgemindert werden:

$$\left[\dot{V}_{HK} = \dot{V}_{THKV,A} = \frac{Q_{Heizl,A}}{1,0 \cdot \rho \cdot c_p \cdot (t_{VL} - t_{RL})} \right] \quad \begin{array}{l} \text{Gl. 5-8a} \\ \text{bei starker} \\ \text{Voreinstellung} \end{array}$$

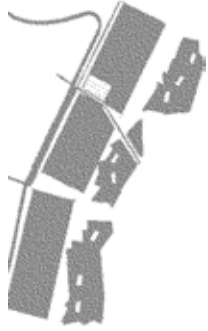
Über die erreichbare Genauigkeit einer Voreinstellung zum Hydraulischen Abgleich werden in Kapitel 6 Hinweise gegeben.

6 Hinweise zur Auslegung des Wärmeverteilsystems

Rohrleitungen, Armaturen und die Dämmung dieser sind nach den Druck- und Temperaturverhältnissen sowie unter Beachtung der Broschüre "Umweltverträgliche Baumaterialien" [21 Baumaterialien] auszuwählen.

6.1 Dämmung des Rohrnetzes

Bei der Verlegung des Rohrnetzes ist konsequent darauf zu achten, daß dieses in der gedämmten Hülle verlegt wird. Hierdurch kann ein Großteil der Wärmeverteilverluste als nutzbare Wärme den Räumen zukommen. Dieses gilt insbesondere dann, wenn die Gebäude ohne tägliche Temperaturabsenkungen beheizt werden. Die Dämmdicke sollte sich an den Forderungen der Heizungsanlagenverordnung orientieren, wobei aufgrund des



niedrigen Temperaturniveaus der Vor- und Rücklaufleitungen erhöhte Anforderungen an die Dämmdicke nicht wirtschaftlich zu vertreten sind. In bisherigen technischen Regeln nicht vorgesehen ist die unterschiedliche Dämmung der Vor- und Rücklaufleitungen, die sich bei dem vorliegenden System jedoch anbietet. So wird bei planmäßigem Betrieb das Temperaturniveau des Rücklaufes immer in Nähe der Raumtemperatur liegen, so daß ggf. auch eine minimale Dämmung von Rücklaufleitungen in Erwägung gezogen werden kann.

Die Verluste des Wärmeverteilnetzes können in Anlehnung an [13 LEG] vorgenommen werden. Die spezifischen gebäudevolumenbezogenen Wärmeverteilverluste sollten Werte in der Größenordnung von 1 bis $2 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3 \cdot \text{a}}$ nicht überschreiten.

6.2 Aufbau des Rohrnetzes

An den Aufbau eines Rohrnetzes werden vielfältige Anforderungen gestellt. Diese schließen sich z.T. gegenseitig aus, so daß der Heizungsfachplaner jeweils einen objektspezifischen Kompromiß finden muß.

- Zunächst sind einmal die Wärmeverluste nach außen zu minimieren, vgl. Kapitel 6.1. Die Wärmeverluste nach innen kommen dem Gebäude zwar zu gute, sind aber trotzdem nicht unbedingt erwünscht. Zum einen läßt sich die vorhandene Fremdwärme durch ein Thermostatventil nicht vollständig ausnutzen, zum anderen treten die Wärmegewinne von Rohrleitungsverlusten oft mit erheblichen zeitlichen Verzögerungen auf (Estrichverlegung, Verlegung im Fußboden unter Möbeln oder dicken Teppichen), so daß sie dann eventuell gar nicht mehr nutzbar sind. Weiterhin führt der Wärmeverlust über Rohrleitungen zur Minderleistung an den Heizkörpern, was besonders während einer Aufheizung problematisch ist und im Mittel zu überhöhten Volumenströmen führt.
- Sollen Wärmemengenzähler eingesetzt werden, ist eine wohnungsweise Verteilung vorzunehmen. Zusätzlich ist die Ables- und Austauschmöglichkeit der Wärmemengenzähler zu beachten, vgl. auch Kapitel 9.
- Die früher im Wohnungsbau oft ausgeführte strangweise Verteilung dürfte am Kronsberg wegen der Problematik erhöhter Wärmeverluste von Rohrleitungen in Außenwänden und wegen einer schwierigen akustischen Entkopplung ausscheiden.
- Wohnungsweise Unterverteilungen mit Heizkreisverteilern, von denen sternförmig alle Heizkörper mit Endlosrohrleitungen einzeln angeschlossen werden, setzen sich immer mehr durch.

Obwohl diese Verlegetechnik oftmals einen wesentlich höheren Materialeinsatz erfordert, wird dieser durch die rationelle Verlegung und Einsparung von Verbindungsstellen wirtschaftlich. Dabei ist zu beachten, daß sämtliche Anschlußleitungen möglichst nur durch den zu versorgenden Raum geführt werden, es ist also ein geeigneter Standort für die Unterverteilung auszuwählen. Die des öfteren ausgeführte Verteilung ausgehend von einem Verteilerschrank in Nähe der Woh-



nungstür mit 10-16 Rohrleitungen parallel über einen Wohnungsflur mit minimaler Heizlast führt auch bei 100% Rohrdämmung zu einer deutlichen Überheizung des Flures ist und damit unbedingt zu verhindern. Weiterhin ist auf eine gute Wärmedämmung im Verteilerschrank zu achten, da dieser bereits seinen vollständigen Wärmeverlust erreicht, wenn ein einzelner Heizkörper in der Wohnung benutzt wird.

- Um eine reaktionsschnelle Regelung zu erhalten, sollten die Verteilwege möglichst kurz und die Rohrquerschnitte möglichst klein gehalten werden. Bedingt durch die kleinen Volumenströme dauert die "Durchspülung" einer Anschlußleitung und eines Heizkörpers durchaus eine halbe Stunde, wobei der Volumenstrom durch den Nutzer systembedingt auch durch eine Verstellung des Thermostatventiles nur um ca. 20 bis 25% gesteigert werden kann, selbst wenn alle anderen Heizkörper abgesperrt sind.
- Hydraulisch ergeben sich für stetig regelnde Thermostatventile die günstigsten Bedingungen, wenn die Rohrleitungen möglichst druckverlustarm ausgelegt werden, die gegenseitige Beeinflussung einzelner Heizkörper ist dann vernachlässigbar.

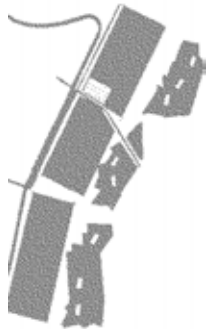
Empfehlung des Heiztechnischen Konzeptes ist eine wohnungsweise Verteilung, ausgehend von einem möglichst zentralen Punkt. Die weitere Verteilung kann sternförmig oder verästelt erfolgen, mit dem Ziel minimaler Rohrleitungslängen und einer Verlegung der Anschlußleitungen ausschließlich in dem zu versorgenden Raum. Diese Empfehlung entbindet natürlich nicht von einer objektbezogenen Überprüfung und Optimierung. Für die Auswahl der Rohrquerschnitte ist Kapitel 6.3.2 zu beachten.

6.3 Dimensionierung des Rohrnetzes

6.3.1 Hydraulische Entkopplung

In Kapitel 5.1.6 "Ventilautorität" wurde bereits die maßgebliche Begründung für eine hydraulische Entkopplung geliefert. Der bereits optimierte Wärmeübertrager der Hausübergabestationen wird für den Nennlastfall auf einen maximalen Druckverlust von $\Delta p_{WT,A} = 0,1$ bar bei einer Temperaturspreizung von 26K (65/39°C) ausgelegt. Aus der geforderten Ventilautorität würden sich ohne hydraulische Entkopplung utopisch kleine Thermostatventile ergeben. Die bereits mehrfach angedeutete Möglichkeit der Verkleinerung der Temperaturspreizung zur Einsatzverbesserung der Thermostatventile schafft ebenfalls keine Abhilfe, da der Druckverlust im Wärmeübertrager mit einer Volumenstromerhöhung quadratisch ansteigt. Zusätzlich wären dann noch Geräuschprobleme im Teillastfall, der fast kontinuierlich auftritt zu berücksichtigen.

Die Teillastproblematik gibt die zweite Begründung für den Einsatz einer hydraulischen Entkopplung, denn der Druckverlust in den Verteilleitungen und vor allem in der Hausübergabestation sinkt bei verringerten Volumenströmen deutlich ab und müßte allein vom Thermostatventil weggedrosselt werden.



Nur bei den kleinsten Hausübergabestationen ist damit zu rechnen, daß der Auslegungsdruckverlust von 0,1 bar deutlich unterschritten wird und auf eine hydraulische Entkopplung verzichtet werden kann. Genaue Angaben zu den tatsächlichen Auslegungsdruckverlusten sind bei den Nahwärmeversorgern zu erfragen.

Insgesamt führt jeder zentral angeordnete, nicht entkoppelte Festwiderstand (z.B. Wärmeübertrager, Strangreguliertile, Schmutzfänger und Absperrventile) zu einer Verschlechterung des Teillastverhaltens, vgl. auch Kapitel 6.4.

6.3.1.1 Hydraulische Entkopplung mit Differenzdruckreglern

Die hydraulische Entkopplung mit Differenzdruckreglern (DDR, in Drosselschaltung, kein Einbau als Überströmventil) ist in Verbindung mit Thermostatventilen die verbreitetste. Sie kann je nach Anlagengröße zentral oder strangweise dezentral vorgenommen werden. Differenzdruckregler als Regler ohne Hilfsenergie entnehmen (Druck-) Energie für ihre Regelaufgabe aus der Regelstrecke. Der Regelsinn gibt eine steigende bleibende Regelabweichung bei schließendem Ventil (Anlage in Teillast) vor. Die Druckdifferenz zwischen zwei Meßpunkten wird über eine Membran auf einen Regelkegel übertragen und mit einer Sollwertfeder im Gleichgewicht gehalten.

Marktübliche Ausführungen erlauben eine minimale SollwertEinstellung der Differenzdruckregler von 50 mbar.

Dabei kann der Proportionalbereich (vgl. Kapitel 5.1.1) dann bereits bis zu 20 mbar betragen. Die Auswahl der Differenzdruckregler muß darum auf eine minimale Auslegungsproportionalabweichung, z.B. 10mbar abzielen.

Die bislang übliche Sollwertauslegung auf 100 mbar würde Thermostatventile mit sehr kleinen k_{VS} – Werten bzw. eine Auslegung bei minimaler Temperaturspreizung erfordern.

6.3.1.2 Hydraulische Entkopplung mit einer elektronisch geregelten Umwälzpumpe

Die zentrale hydraulische Entkopplung von Hausübergabestation und Hausanlage kann auch über die Umwälzpumpe mit einer sogenannten Schlechtpunktregelung erfolgen. Elektronisch geregelte Umwälzpumpen mit integrierter Regelung und förderhöhenkonstanter oder linearer, förderhöhenvariabler Kennlinienauswahl eignen sich ohne zusätzliche Regelgeräte nicht, diese haben einen definierten "Schlechtpunkt" zwischen den Pumpenanschlußstutzen.

Die Schlechtpunktregelung hält den Differenzdruck durch Drehzahlveränderung der Umwälzpumpe zwischen zwei beliebigen Meßpunkten konstant auf einem momentanen Sollwert. Die Meßpunkte werden am Anfang der Unterverteilung gesetzt. Die meisten elektronischen Regelpumpen verfügen über einen analogen Eingang, so daß der vorhandene Frequenzumformer über ein beliebiges Regelgerät angesteuert werden kann. Die minimale Drehzahl der Pumpe ist dabei zu beachten, einige Pumpen verfügen bereits über eine Sollwertunterdrückung an diesem analogen Eingang. Diese Art der hydraulischen Entkopplung ist für kleinere Anlagen weitgehend unbekannt, aber mit einfachen Druckauf-



nehmern und Reglern relativ kostengünstig und ohne bleibende Regelabweichung zu realisieren.

6.3.1.3 Hydraulische Entkopplung mit einer elektronisch geregelten Umwälzpumpe - Empfehlung an Hersteller

Die im vorherigen Kapitel beschriebene Schlechtpunktregelung benötigt zusätzliche Regelgeräte und Druckaufnehmer, die durch einen relativ einfachen programmtechnischen Eingriff an einer elektronischen Umwälzpumpe zu lösen sind.

Idee der zentralen hydraulischen Entkopplung ist es, mit dem Auslegungsdruckverlust eines großen Festwiderstandes, z.B. des Plattenwärmeübertragers einer Hausübergabestation oder eines gasbeheizten Wandgerätes, die Thermostatventile im Teillastfall nicht zu belasten, bzw. bereits bei der Auswahl der Thermostatventile diesen Druckverlust unberücksichtigt zu lassen. Der Druckverlust des Festwiderstandes wird von dem Volumenstrom bestimmt, der durch die Umwälzpumpe fließt. Daher liegt es nahe, durch einen zusätzlichen Parameter der Elektronik einen solchen Festwiderstand mitzuteilen und die Pumpenkennlinie mit der Kennlinie des Festwiderstandes so zu verknüpfen, daß sich für die Hausanlage ein konstanter Differenzdruck ergibt. Dies führt automatisch zu einer weitergehenden Leistungsreduzierung im Teillastfall, sowie zu der hydraulischen Entkopplung.

Hierbei wird davon ausgegangen, daß sich der Festwiderstand nicht oder nur wenig mit der Zeit, z.B. durch Verschmutzung oder ähnliches ändert, siehe auch Kapitel 6.6.

6.3.2 Rohrnetzberechnung

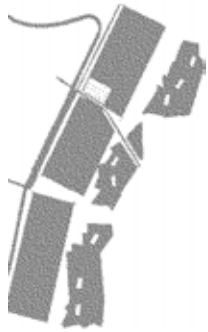
Aufgrund der verkleinerten Auslegungsspielräume durch verfügbare Anlagenkomponenten, wie Thermostatventile, Differenzdruckregler, Abgleichdrosseln muß sich das Rechenverfahren zur Rohrnetzdimensionierung den daraus resultierenden Erfordernissen anpassen. Legte man früher zunächst das Rohrnetz anhand des mittleres Druckverlustgefälles aus, führt dieses u.U. heute nicht mehr zu befriedigenden Ergebnissen. In der Rohrnetzdimensionierung werden daher folgende Schritte vorgeschlagen:

1. Festlegung einer minimalen Druckdifferenz, die sich durch Pumpenauslegung bzw. -regelung oder den Einsatz von Differenzdruckreglern realisieren läßt. Dabei ist unter Beachtung der Ventilautorität ein herstellerabhängiger Mindestdruckverlust über dem Regelquerschnitt des Thermostatventiles z.B. 1,5 bis 2,5 kPa einzuhalten.

Unter diesen Voraussetzungen ist eine Festlegung auf 50 mbar für die konstant zu haltende Druckdifferenz realistisch.

2. Berechnung der Auslegungsvolumenströme nach Gleichung 5-8 und Zuordnung zu den einzelnen Teilstrecken.
3. Auswahl der Thermostatventile für sämtliche Heizkörper nach den Empfehlungen aus Kapitel 5.2.1, bzw. nach dem Auslegungsschema A4 im Anhang.

Können die Auslegungsempfehlungen durchweg oder in der Mehrzahl der Fälle nicht eingehalten werden, ist eine Verringerung der Auslegungstemperatursprei-



zung abzuwägen.

Aus dem Restdruckverlust und der abgeschätzten Rohrleitungslänge ergibt sich der ungünstigste Heizkörper, für den mit der Rohrnetzberechnung begonnen wird. Anhand einer Vorüberlegung können i.a. bei wohnungsweiser Verteilung sämtliche Anschlußleitungen mit dem kleinsten, konstruktiv sinnvollen Rohrlängendurchmesser dimensioniert werden.

4. Reservierung eines ca. 20%igen Anteils am Gesamtdruckverlust zur Voreinstellung an jedem Verbraucher, inkl. dem Druckverlust in der Anschlußleitung und der nicht voreingestellten Einstelldrossel einer Rücklaufverschraubung und/ oder einer minimalen Voreinstellung des Thermostatventiles.
5. Dimensionierung der senkrechten Verteilleitungen entsprechend des verfügbaren Schwerkraftumtriebdruckes, um die abgehenden Verbraucher in etwa gleichzustellen. Bei einer 65/39°C-Auslegung ergibt sich pro Meter Höhendifferenz eine verfügbare Druckdifferenz von 120 Pa. Rechnet man pauschal 20% davon für Einzelwiderstände, ergibt sich ein Auslegungswert von 50 Pa/m, wobei dieser eher über- als unterschritten werden sollte.
6. Berechnung des verfügbaren Restdruckverlustes in den ungünstigsten Strängen, Ermittlung eines mittleren Druckverlustgefälles.

In neueren Fachartikeln werden Druckverlustgefälle von 20-50 Pa/m empfohlen. Je nach Anlagengröße sind diese Werte auch für den Kronsberg realistisch. Aufgrund der verringerten Heizleistung und der erhöhten Temperaturspreizung ergeben sich keine ungewöhnlich großen Rohrleitungsquerschnitte, die Rohrdimensionen aus dem Gebäudebestand mit einer typischen Heizlast von 100 W/m² werden eher unterschritten.

Als Orientierung kann daher auch ein Wert von 20-50 Pa/m dienen, unnötig große Durchmesser sollten aber bei verfügbarem Differenzdruck vermieden werden, um eine schnelle Wasserverteilung und minimale Verlustoberflächen zu realisieren. Werden die waagerechten Verteilleitungen bis zu den senkrechten Verteilungen druckverlustarm ausgeführt, ist i.a. eine zentrale Differenzdruckreglung ausreichend.

7. Nach der Festlegung der einzelnen Rohrleitungsquerschnitte muß noch die nicht verbrauchte Druckdifferenz für jeden Heizkörper ermittelt werden, um den Einstellwert der Voreinstellung zu ermitteln.

Hinweis: Das vorgestellte Rechenschema läßt sich in viele Auslegungsprogramme gar nicht oder nur auf Umwegen integrieren. Unter Umständen sind die Programme aber trotzdem in der Lage die Grundsätze umzusetzen. Im Zweifelsfall sollte dies an einem handgerechneten Beispiel geprüft werden.

6.4 Hinweise zum Hydraulischen Abgleich, Schreibtischmethode

Der Hydraulische Abgleich wurde bereits mehrfach als Grundvoraussetzung für eine funktionierende Heizungsanlage und eine niedrige Rücklauftemperatur genannt. Die Grundla-



ge ergibt sich aus Punkt 7 des Rechenschemas. Die tatsächliche Umsetzung ist dann vom Installationsbetrieb durchzuführen. Eine Erklärung darüber sollte bereits im Leistungsverzeichnis als pflichtgemäße Forderung gestellt werden und vom Fachplaner zumindest stichprobenartig vor Ort abgenommen werden.

Die eigentliche Aufgabe des hydraulischen Abgleiches ist das Einregulieren aller Verbraucher untereinander bei Nennbelastung. Das bedeutet, daß durch alle Thermostatventile bei der projektierten Ventilöffnung die Auslegungsvolumenströme fließen.

Am Kronsberg ist die meßtechnische Einregulierung einzelner Verbraucher oder Stränge bei Einhaltung der Auslegungsempfehlungen i.a. nicht erforderlich, insbesondere wenn dezentrale Differenzdruckregler eingesetzt werden. Zudem benötigen handelsübliche Meßventile einen Eigendruckverlust von ca. 30mbar, könnten also nur vor einer hydraulischen Entkopplung eingebaut werden.

"Strangreguliertventile" wirken als zentrale Festwiderstände und verschlechtern das hydraulische Gleichgewicht im Teillastfall. Als reine Absperrorgane können sie prinzipiell vorgesehen werden, sollten aber durch strömungstechnisch günstigere Hähne ersetzt werden.

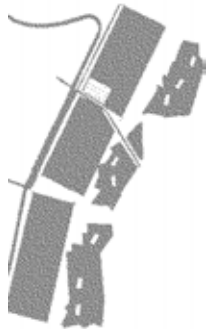
Die Einregulierung erfolgt ausschließlich an den einzelnen Heizkörpern, anhand der bei der Rohrnetzberechnung ggf. Rohrnetznachrechnung ermittelten Einstellwerte.

Die erweiterte Aufgabe des hydraulischen Abgleiches ergibt sich aus den Forderungen der VOB/DIN 18 380 Abschnitt 3.5.2:

"...Die Anlagenteile sind so einzustellen, daß die geforderten Funktionen und Leistungen erbracht und die gesetzlichen Bestimmungen erfüllt werden. Der hydraulische Abgleich ist so vorzunehmen, daß bei bestimmungsgemäßem Betrieb, also z.B. auch nach Raumtemperaturabsenkung oder Betriebspausen der Heizungsanlage, alle Wärmeverbraucher entsprechend ihrem Wärmebedarf mit Heizwasser versorgt werden."

Bei der Umstellung größerer Heizungsanlagen auf Thermostatventile hegte man die Hoffnung, daß sich ein automatischer hydraulischer Abgleich durch die Thermostatventile einstellen würde. Während einer Absenkphase geschieht allerdings genau das Gegenteil, die Thermostatventile öffnen entsprechend der Temperaturabsenkung immer weiter. Frühere Thermostatventile wurden mit einem Proportionalbereich von 6 K ausgeführt, so daß sich der Widerstand an den Heizkörpern soweit verringerte, daß es zur krassen Unterversorgung in anderen Netzbereichen kam. Aufgrund der Heizkörperkennlinie bei herkömmlichen Auslegungstemperaturen schloß das Thermostatventil mitunter gar nicht, da als erste Abhilfe alle Heizkörper voll geöffnet wurden und dem, um ein vielfaches gesteigerten Volumenstrom keine Leistungserhöhung gegenüber stand.

Diesem Problem wirkte man folgendermaßen entgegen: Zunächst wurde der Proportionalbereich auf ca. 3 K reduziert. Die weitere Maßnahme ist die Reihenschaltung von Festwiderstand (Voreinstellung) und Regelwiderstand (Thermostatventil) direkt am Verbraucher. Eine weitere, aber umstrittene Möglichkeit, ist die Hubbegrenzung, so daß der Regelquerschnitt auch bei großen Sollwertabweichungen nur bis zur Hubbegrenze frei-



gegeben wird. Die Einstellung erfolgt am speziellen Thermostatkopf, kann aber bei verschmutzten Anlagen durch den kleinen Querschnitt zu Problemen führen. Weiterhin trägt zum Hydraulischen Abgleich die Reduzierung des Auslegungsvolumenstromes bei, weil das Ereignis eines hydraulischen Ungleichgewichtes bereits bei der Planung berücksichtigt wird. Der Hydraulische Abgleich erfolgt also bereits am Schreibtisch des Anlagenplaners, indem er die Einstellwerte ermittelt und in den Ausführungsunterlagen dokumentiert.

Dazu wird oft angemerkt, daß ein Rohrnetz nicht so ausgeführt wird, wie es geplant wurde, so daß während der Ausführungsplanung keine exakten Werte angegeben werden können. Dieses Argument stimmt nur bedingt. Wesentlich größer sind i.a. die natürlichen Unsicherheiten einer Rohrnetzberechnung, die Fertigungstoleranzen einer Einstellarmatur und die vor Ort erreichbare Einstellgenauigkeit. Trotzdem kann mit diesen Werten gearbeitet werden; ggf. müssen einzelne Heizkörper nachgerechnet oder auch während der Funktionsprobe nachreguliert werden. Die Unsicherheit einer Druckverlustberechnung wird auf 20% angegeben. Aufgrund des quadratischen Zusammenhangs zwischen Druckverlust und Volumenstrom variieren die Volumenströme dann nur um ca. 10%. In der Literatur geht man davon aus, daß Rohrnetze geringere Druckverluste als berechnet aufweisen.

6.5 Pumpenauslegung

Heizungsumwälzpumpen sind aufgrund ihrer hohen jährlichen Betriebsdauer mit etwa 5 bis 10% am Gesamtstromverbrauch von Wohn- und Verwaltungsgebäuden beteiligt. Im Rahmen der gesetzlichen Maßnahmen zur Energieeinsparung und CO₂-Reduzierung trifft die Heizungsanlagenverordnung [26 HeizAnIV] folgende Festlegung:

§ 7 Einrichtungen zur Steuerung und Regelung

(1) Zentralheizungen sind mit zentralen selbsttätig wirkenden Einrichtungen zur Verringerung und Abschaltung der Wärmezufuhr sowie zur Ein- und Ausschaltung der elektrischen Antriebe in Abhängigkeit von

1. der Außentemperatur oder einer anderen geeigneten Führungsgröße und

2. der Zeit auszustatten.

[..]

(4) Umwälzpumpen in Zentralheizungsanlagen sind nach den technischen Regeln zu dimensionieren. Nach dem 1. Januar 1996 eingebaute Umwälzpumpen müssen bei Kesselleistungen ab 50 kW so ausgestattet oder beschaffen sein, daß die elektrische Leistungsaufnahme dem betriebsbedingten Förderbedarf selbsttätig in mindestens drei Stufen angepaßt wird, soweit sicherheitstechnische Belange des Wärmeerzeugers dem nicht entgegenstehen.

Absatz 1 wird durch die Regelung der Hausübergabestation erfüllt. Diese stellt auch eine Ansteuerung der Umwälzpumpe zur Verfügung. Aufgrund der hydraulischen Trennung



und der Möglichkeit den Heizvolumenstrom vollständig abzuschalten sollte auf Rückschlagklappen oder "Schwerkraftbremsen" in Reihe zur Umwälzpumpe zur Vermeidung unnötiger Strömungswiderstände unbedingt verzichtet werden.

Absatz 2 ist für die Speicherladepumpe von den Nahwärmeversorgern zu erfüllen; für die Umwälzpumpe der Hausanlage zur Raumheizung ist der Heizungsfachplaner zuständig. Der in der HeizAnIV nicht definierte Begriff "Kesselleistung" ist nicht unmittelbar auf Hausübergabestationen übertragbar, hier kann die abgegebene Leistung die Nennleistung (begrifflich bestimmt in der HeizAnIV) auch deutlich überschreiten. Eine klare Trennung, ab welcher Heizleistung (besser: Volumenstrom) geregelte Umwälzpumpen den Energieverbrauch reduzieren ist pauschal nicht möglich. Die Empfehlung des Heiztechnischen Konzeptes ist daher, sich an Absatz (2), Satz 1 zu orientieren und nach den technischen Regeln zu dimensionieren. Dazu setzt es sich immer mehr durch, eine parallele Betrachtung von Auslegungs- und Teillastzustand zur Pumpenauswahl vorzunehmen.

Die Speicherladepumpe unterliegt keinen zeitlichen Schwankungen des "betriebsbedingten Förderbedarfes" (volumenstromkonstantes System), so daß eine selbsttätige Anpassung nicht erforderlich ist. Die Auswahl der Ladepumpe muß anhand der bestellten N_L -Zahl und der zugehörigen Ladeleistung durch die Nahwärmeversorger individuell vorgenommen werden. Kann der Betriebspunkt von mehreren Pumpen erfüllt werden, so ist die Ladepumpe mit der geringsten elektrischen Leistungsaufnahme auszuwählen.

Die Umwälzpumpe der Hausanlage für Raumheizung fördert in einem stark volumenvariablen System; die örtliche Leistungsanpassung über die Thermostatventile erfolgt durch Drosselung des Massenstromes.

Die Entscheidung für eine geregelte Umwälzpumpe oder eine Umwälzpumpe mit konstanter Drehzahl sollte nicht von einer Heizleistung abhängig gemacht werden, sondern von einem Variantenvergleich. Dieser sollte auch zwischen einzelnen Herstellern vorgenommen werden, da sich deren Leistungsbereiche überschneiden.

Empfehlung des Heiztechnischen Konzeptes ist die Auswahl aufgrund einer minimalen mittleren elektrischen Leistungsaufnahme nach folgender Gleichung vorzunehmen:

$$P_{\text{Pumpe,el,m}} = 0,9 \cdot P_{\text{Pumpe,el,0,3}} (0,3 \cdot \dot{V}_A) + 0,1 \cdot P_{\text{Pumpe,el,1,0}} (\dot{V}_A) \quad \text{Gl. 6-1}^{22}$$

$$P_{\text{Pumpe,el,0,3}} (0,3 \cdot \dot{V}_A) \quad \text{elektrische Leistungsaufnahme beim } 0,3\text{fachen Auslegungsvolumenstrom}$$

$$P_{\text{Pumpe,el,1,0}} (\dot{V}_A) \quad \text{elektrische Leistungsaufnahme beim Auslegungsvolumenstrom}$$

Der Auslegungsvolumenstrom als Summe der einzelnen Auslegungsvolumenströme nach Gl. 5-8 sollte aufgrund einer Gleichzeitigkeitsbetrachtung, je nach Anzahl der zusammengefaßten Wohneinheiten um den Faktor 0,85 bis 0,95 reduziert werden, wenn eine Umwälzpumpe gewählt werden kann, die den Betriebspunkt nicht ganz erreicht.

Besondere Bedeutung kommt der richtigen Einstellung der Umwälzpumpe zu, insbesondere wenn Differenzdruckregler in Reihe zur Umwälzpumpe eingebaut werden, da diese überschüssigen Druck fast unbemerkt wegdrosseln. Die Einstellung erfolgt je nach gewähltem System für eine Förderhöhe (elektronisch geregelte Umwälzpumpen) oder eine

²² Gl. 6-1 läßt sich bei einigen EDV-Programmen zur Pumpenauswahl direkt parametrieren.



konstante Drehzahl (ungeregelte Umwälzpumpe) und sollte zusätzlich unmittelbar an der Umwälzpumpe dokumentiert werden.

Bei elektronischen Umwälzpumpen kann i.a. zusätzlich zwischen einer förderhöhenkonstanten und einer förderhöhenvariablen Kennlinie gewählt werden. Die Reduzierung der elektrischen Leistungsaufnahme der förderhöhenvariablen Kennlinie kann immer ausgenutzt werden, wenn der Druckverlust der Hausübergabestation im Auslegungsfall mehr als 30% des Gesamtdruckverlustes beträgt, darunter sollte die Einstellung ebenfalls zunächst erprobt werden.

Mehrere Hersteller bieten Wärmedämmungen für ihre Pumpen an, um den Wärmeverteilverlust zu verringern.

6.6 Inbetriebnahme

Eine gestiegene Bedeutung kommt der Sauberkeit des Anlagensystems zu. Die kleinen Volumenströme bedingen an den Regel- und Einstellorganen minimale Querschnitte. Eine Spülung vor der Durchführung des Hydraulischen Abgleiches ist daher unerlässlich und sollte von den Beteiligten ausdrücklich gefordert werden. Wegen des notwendigen Aufwandes sollte diese Leistung mit ausführlicher Beschreibung auch im Leistungsverzeichnis aufgenommen werden.

Ab einer gewissen Anlagengröße ist es notwendig, den Spülvorgang auf einzelne Abschnitte einzugrenzen, ideal wäre jeden Heizkörper einzeln zu spülen. Dabei ist darauf zu achten und ggf. durch einen Druckminderer abzusichern, daß der maximal zulässige Druck nicht überschritten wird. Beim Spülvorgang ist sicherzustellen, daß die Hausübergabestation nicht durchströmt wird. Da sich während der Spülung auch größere Fremdstoffe vor den Ventilen ablagern können, sollte ein Spülvorgang auch zusätzlich rückwärts erfolgen. Ab welchem Durchfluß rückwärts durchströmte Thermostatventile "zuschlagen", muß beim jeweiligen Hersteller erfragt werden.

Differenzdruckregler versuchen während des Spülvorganges den Volumenstrom entsprechend dem eingestellten Differenzdruck einzudrosseln. Dadurch wird nur ein kleiner Querschnitt freigegeben vor dem sich Fremdstoffe ablagern; zudem werden die notwendigen Volumenströme nicht erreicht. Gegebenenfalls sind deshalb die Differenzdruckregler während des Spülvorganges auszubauen.

Bereits bei der Installation ist darauf zu achten, daß möglichst kein Schmutz und keine Trennspäne in den Rohrleitungen verbleiben.

Das Füllwasser für die Heizungsanlagen kann im Netzbereich der Stadtwerke Hannover AG (Bereiche B-E) nach schriftlicher Bestätigung aus dem Wärmenetz entnommen werden²³.

Im Bereich A besteht diese Möglichkeit nicht, für die Qualität des Füllwassers ist die VDI 2035 zu beachten.

²³ vgl. Technische Anschlußrichtlinie für die Versorgung mit Wärme der Stadtwerke Hannover AG, Abschnitt 8



7 Hinweise zur Auslegung des Trinkwasserverteilsystems

Trinkwasserleitungen, Armaturen und die Dämmung dieser sind nach den gesundheitlichen Erfordernissen, der Wasserqualität, den Druck- und Temperaturverhältnissen sowie unter Beachtung der Broschüre "Umweltverträgliche Baumaterialien" [21 Baumat.] auszuwählen.

7.1 Kaltwasserleitungen

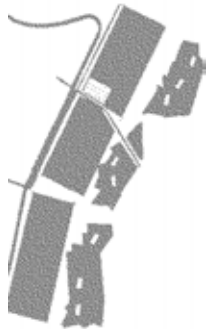
Aus den gültigen Verordnungen ergibt sich keine grundsätzliche Dämmpflicht für Kaltwasserleitungen. Indirekt läßt sich aber aus mehreren Verordnungen, Normen und Zusammenhängen eine dringend empfohlene Dämmung bzw. Schwitzwasserisolierung ableiten.

- Trinkwasser ist ein Lebensmittel. Aus hygienischen Gründen ist eine Erwärmung zu verhindern. Bei parallel verlegten warmgehenden Leitungen kann der Grenzwert von 25°C ohne Wärmedämmung wesentlicher schneller überschritten werden, wenn kein ständiger Wasserfluß gegeben ist. Die ideale Vermehrungstemperatur für Legionellen liegt im Bereich von 32-42°C.
- Um Feuchteschäden an Rohren und Bausubstanz durch Tauwasser vorzubeugen, sollten alle Kaltwasserleitungen schwitzwasserisoliert werden.
- Ähnlich wie bei den Wärmeverlusten einer Warmwasserleitung wird von der Kaltwasserleitung bei einem vorhandenen Temperaturgefälle Wärme aufgenommen; dies führt damit zum Wärmeentzug im Raum. Eine entsprechende Dämmung verhindert diesen Effekt. Dieses gilt auch bei schlecht wärmegeämmten Toilettenspülkästen.
- Ohne Dämmung ist eine Übertragung von Schall kaum vermeidbar.
- Je nach System kann die Dämmung auch gegen mechanische Beschädigung schützen.
- Gedämmte Leitungen sind besser gegen Außenkorrosion bzw. bei Kunststoffleitungen gegen schädliche Umwelteinflüsse geschützt.
- "Vorgewärmtes" Kaltwasser läßt der Nutzer je nach Verwendungszweck ggf. ungenutzt ablaufen, wodurch der Wasserverbrauch steigt.

7.2 Warmwasser- und Zirkulationsleitungen

Die Verlegung und Dämmung der Warmwasser- und Zirkulationsleitungen ist mit erhöhter Aufmerksamkeit durchzuführen, weil die Wärmeverluste nur während der Heizperiode sinnvoll genutzt werden können. Der Wärmefluß von Brauchwasserleitungen dient somit nach Heizungsanlagenverordnung nicht der bestimmungsgemäßen Nutzung des Gebäudes und gilt als Verlust, Brauchwasserleitungen sind daher grundsätzlich und unabhängig von ihrer Verlegung im Gebäude zu dämmen. Dämmschichtdicke 100% sollte als Standard-Dämmung eingehalten werden.

Auch bei guter Wärmedämmung summieren sich die Wärmeverluste einer Warmwasser- oder Zirkulationsleitung. Als unterer Mittelwert kann eine spezifische Verlustleistung von



$$\dot{q}_{\text{ZIRK}} = 6 \frac{\text{W}}{\text{m}_{\text{Rohr}}}$$

angenommen werden. Die jährliche spezifische Wärmeabgabe bei kontinuierlichem Betrieb beträgt:

$$q_{\text{ZIRK}} = 6 \frac{\text{W}}{\text{m}_{\text{Rohr}}} \cdot 8760 \frac{\text{h}}{\text{a}} = 52,6 \frac{\text{kWh}}{\text{a} \cdot \text{m}_{\text{Rohr}}}$$

Davon fallen ca. 40 bis 50% außerhalb der Heizperiode an, sind also als Verlust zu werten.

Weiterhin ist auch auf eine angepaßte Dimensionierung der Zirkulationsleitungen zu achten, um den Hilfsenergieeinsatz der Zirkulationspumpe zu minimieren. Zur Auslegung der Zirkulationsleitung wird die Veröffentlichung eines neuen Arbeitsblattes²⁴ durch den DVGW²⁵ erwartet. In [14 WICU, Seite 63ff.] wird die Berechnung der Zirkulationsleitungen nach dem Wärmeverlust behandelt.

Durch den Zirkulationsbetrieb und eine Temperaturhaltung auf 55°C im Zirkulationsrücklauf steigt die Rücklauftemperatur im Primärnetz gleichfalls auf Werte um 55°C an. Dieser Temperaturanstieg ist zulässig, die Auslegung und Betriebsweise der Zirkulationsanlagen sollte aber auf minimale Verluste abzielen. Die Auslegung der Hausstationen basiert auf einem Zirkulationsvolumenstrom, der maximal 30% vom Nenn-Ladevolumenstrom beträgt²⁶. Die kontinuierliche Zirkulationsverlustleistung wird bei der Volumenstrombegrenzung so berücksichtigt, daß die volle Raumheizleistung parallel zur Verfügung steht.

Nach Heizungsanlagenverordnung sind die Zirkulationspumpen mit einer selbsttätig wirkenden Einrichtung zum Ein- und Ausschalten in Abhängigkeit von der Zeit auszustatten, eine Mindestausschaltdauer wird nicht vorgeschrieben. Eine Zeitschaltung kann über die Regelung der Hausübergabestation erfolgen.

8 Hausübergabestationen

Die wesentlichsten Merkmale der Hausübergabestationen werden in den Technischen Anschlußrichtlinien bzw. Anschlußbedingungen der Nahwärmeversorger genannt. Die Auswahl der Hausübergabestationen erfolgt aus der Maximalheizlast für Brauchwassererwärmung (Ermittlung über N_L -Kennzahl nach [17 DIN 4708]) oder für Raumheizung.

Obwohl die technische Realisierung und Funktionsgewähr der Hausübergabestationen bei den Nahwärmeversorgern verbleibt, soll im Rahmen des Heiztechnischen Konzeptes zumindest exemplarisch und prinzipiell die gleitend parallele Betriebsweise von Brauchwassererwärmung und Raumheizung dargestellt werden. Bei Redaktionsschluß dieser Broschüre lagen noch keine endgültigen Detailinformationen zu den Hausübergabestationen vor. Die Ausführungen in Kapitel 8.2 beschreiben also kein konkretes System.

²⁴ DVGW-Arbeitsblatt W553, Bemessung von Zirkulationsleitungen in zentralen Trinkwassererwärmungsanlagen

²⁵ DVGW: Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.

²⁶ Gültig im Netzbereich der Stadtwerke Hannover AG



Für spezielle Anschlußdetails muß und will das Heiztechnische Konzept auf die Nahwärmerversorger verweisen.

8.1 Sicherheitstechnische Ausrüstung

Die thermostatische Absicherung der Hausübergabestation erfolgt im Lieferumfang der Hausübergabestation.

Nach [15 DIN 4751, Abschnitt 7.2.1, letzter Satz] sind Sicherheitstemperaturwächter entbehrlich, "...wenn die Heizmitteltemperatur eines indirekt beheizten Wärmeerzeugers entsprechend den Regeln der Technik so abgesichert ist, daß diese die zulässige Vorlauf-temperatur auf der Sekundärseite nicht erreicht." Als Maximalwert müssen dann 90°C, ggf. mit einer Schaltdifferenz von ca. 5K, im Primärnetz angesetzt werden. Beim Verzicht auf den Temperaturwächter, ist das bei der Auswahl von Rohrleitungen und Armaturen der Hausanlage zu berücksichtigen.

Die Druckabsicherung mit Sicherheitsventil nach TRD 721²⁷ und eine Einrichtung zum Ausgleich der Wasservolumenänderung erfolgt über einen rücklaufseitigen Anschluß. Diese Anordnung des Sicherheitsventiles ist unter den vorliegenden Bedingungen möglich, vgl. [15 DIN4751, Abschnitt 8.1].

8.2 Gleitend paralleler Betrieb von Brauchwassererwärmung und Raumheizung

Der regelungstechnische Aufbau der Hausübergabestationen gestattet einen gleitenden bzw. quasigleitenden Betrieb von Raumheizung und Brauchwassererwärmung. Der "Leistungsüberschuß" (besser: Überschuß an Heizmittelvolumenstrom) ergibt sich aus den unterschiedlichen Auslegungsbedingungen für Brauchwassererwärmung und Raumheizung. Vorrang hat immer die Brauchwassererwärmung.

Bei einer Speicherladeschaltung mit externem Wärmeübertrager wird der Ladevolumenstrom in Abhängigkeit von der Speichergröße auf eine berechnete N_L -Zahl eingestellt. Der eingestellte Ladevolumenstrom bewirkt unter der vereinfachten Annahme einer ganzjährig konstanten Kaltwassertemperatur von 10°C²⁸ sowie der konstant zu regelnden Warmwassertemperatur von 60°C eine konstante Ladeleistung. Der Ausschaltkontakt wird aus hygienischen Gründen meistens direkt am Kaltwasserzulauf angeordnet. Dadurch wird der Speicher am effektivsten ausgenutzt. Die Einleitung des Ladevorgangs erfolgt über den oberen Speicherladefühler.

Die Trinkwasserkomponenten werden für die witterungsbedingte minimale Vorlaufnetztemperatur, die Komponenten für Raumheizung aber nach der maximalen Vorlauf-temperatur im Winter ausgelegt. Wird die Netzvorlauf-temperatur bei niedrigen Außentemperaturen angehoben, sinkt der notwendige Heizmittelvolumenstrom für die Brauchwarmwassererwärmung. Der verbleibende Heizmittelvolumenstrom kann zur Beheizung der Räume verwendet werden, Bild 8-1 zeigt dieses exemplarisch für eine 100 kW Hausübergabestation.

²⁷ TRD 721 Sicherheitseinrichtungen gegen Drucküberschreitung; Sicherheitsventile für Dampfkessel der Gruppe II

²⁸ Tatsächlich schwankt die Kaltwassertemperatur jahreszeitlich bedingt zwischen ca. 5°C und 15°C.

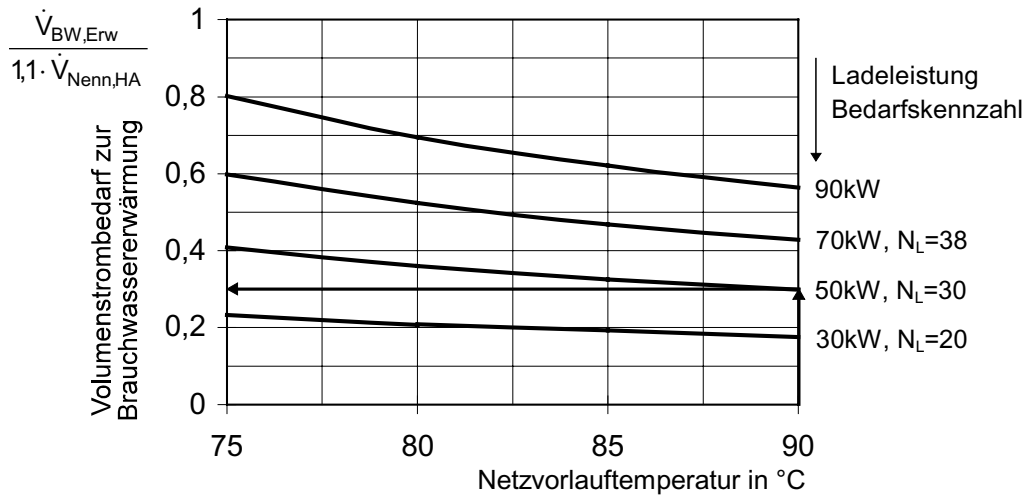
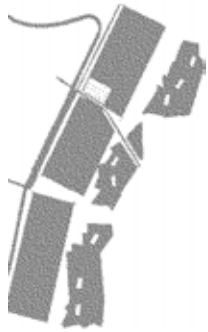


Bild 8-1: Exemplarischer Volumenstrombedarf für die Brauchwassererwärmung einer Hausübergabestation zur Realisierung einer Bedarfskennzahl

$\dot{V}_{BW,Erw}$: Heizmittelvolumenstrom zur Brauchwassererwärmung
 $1,1 \cdot \dot{V}_{Nenn,HA}$: entspricht dem Einstellwert des Volumenstrombegrenzers $\dot{V}_{Einstell,HA}$, der Faktor 1,1 resultiert aus der pauschalen Erhöhung der Leistung um 10% zum Ausgleich des Zirkulationsverlustes

Voraussetzungen: Kaltwassertemperatur $t_{KW} = 10^\circ C$
 Warmwassertemperatur $t_{WW} = 60^\circ C$ ²⁹
 Speichergröße 800l, Schaltvolumen $\leq 0,3 \cdot 800l$
 Schaltdifferenz ≤ 5 min

Die eingetragenen Kurven wurden unter folgenden Randbedingungen ausgewählt:

Die maximale Kurve 90kW entspricht der halbstündigen Ladung eines vollständig entleerten Speichers, die Kurve für $N_L=38$ resultiert aus der Garantieleistung der Hausübergabestationen³⁰.

Die Kurven für $N_L=30$ und $N_L=20$ wurden nach Einschätzungen der Sanitärausstattung vorgenommen:

Aus einer geschätzten beheizten Grundfläche pro Wohneinheit (mit 3 Räumen nach [17 DIN 4708] von 70m²/WE und einer durchschnittlichen Heizleistung von 2,5kW/WE ergeben sich bei voller Auslastung einer 100kW-Hausübergabestation 40 WE. Die statistische Belegungszahl wird mit 2,7Pers/WE

²⁹ Bei einer reduzierten Speichertemperatur von 55°C, z.B. aufgrund einer Regelungenauigkeit, vermindert sich die N_L -Zahl bereits deutlich, auf ca. 75% gegenüber 60°C Speichertemperatur.

³⁰ Im Netzbereich der Stadtwerke weisen die Hausübergabestationen eine N_L -Zahl von 38, im Netzbereich der Getec von 36 auf.



angenommen (nach [17 DIN 4708]).

Variante 1:

40 WE mit der Normalausstattung einer Badewanne NB1 140 l

$$N_L = \frac{40 \cdot 2,7 \cdot 1,0 \cdot 5820}{3,5 \cdot 5820} = 30,8 \approx 30 \quad [\text{Gleichung (1) aus [17 DIN 4708, T2]}]$$

Variante 2:

20 WE mit der Normalausstattung einer Badewanne NB1 140 l

20 WE mit der Normalausstattung einer Brausekabine BRN 40 l

$$N_L = \frac{20 \cdot 2,7 \cdot 1,0 \cdot 5820 + 20 \cdot 2,7 \cdot 1,0 \cdot 1630}{3,5 \cdot 5820} = 19,7 \approx 20$$

Ablesebeispiel für Bild 8-1

Gegeben: - Bedarfskennzahl: $N_L=30$ (vgl. oben)

- Heizlast für Raumwärme: 100kW

Gesucht: Heizmittelvolumenstrom, der während der Brauchwassererwärmung im Auslegungsfall parallel für die Beheizung der Wohnungen zur Verfügung steht.

Lösung: Auslegungsfall ist eine Außenlufttemperatur von -14°C für das Heizsystem; dann wird die Vorlauftemperatur des Nahwärmenetzes auf 90°C geregelt.

Wie im Ablesebeispiel eingetragen, ergibt sich ein Volumenstrombedarf von 0,3.

Der Nennvolumenstrom der Hausübergabestation ist:

$$\dot{V}_{\text{Nenn,HA}} = \frac{\dot{Q}_{\text{Nenn,HA}}}{\rho \cdot c_p \cdot \Delta t} = \frac{100 \text{ kW}}{980 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 4,187 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (90 - 40) \text{ K}} = 0,487 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

Der Einstellwert des Volumenstrombegrenzers:

$$\dot{V}_{\text{Einstell,HA}} = 1,1 \cdot 0,487 \frac{\text{l}}{\text{s}} = 0,536 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

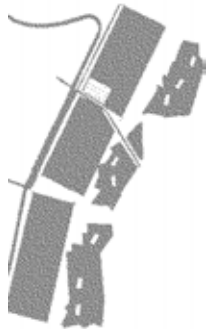
Der eingeschränkte Volumenstrom für die Beheizung der Wohnungen beträgt:

$$\dot{V}_{\text{RH,parallel}} = (1 - 0,3) \cdot 0,536 \frac{\text{l}}{\text{s}} = 0,375 \frac{\text{l}}{\text{s}} \quad \text{bzw.}$$

$$\dot{V}_{\text{RH,parallel}} = 0,7 \cdot \dot{V}_{\text{Einstell,HA}} = 0,77 \cdot \dot{V}_{\text{RH,Nenn}}$$

Die tatsächliche Leistung, die parallel für die Raumwärme zur Verfügung steht, ist manuell nur aufwendig unter Einbeziehung der Heizkörpercharakteristik zu ermitteln. Sie ist jedoch stets größer als das Volumenstromverhältnis:

$$\frac{\dot{Q}_{\text{RH,parallel}}}{\dot{Q}_{\text{RH,Nenn}}} \geq \frac{\dot{V}_{\text{RH,parallel}}}{\dot{V}_{\text{RH,Nenn}}}$$



Die genaue Berechnung ergibt unter Berücksichtigung der zeitlichen Differenzen des umlaufenden Heizungswassers:

$$\frac{\dot{Q}_{RH,parallel}}{\dot{Q}_{RH,Nenn}} = 0,78 \text{ zu Beginn der Speicherladung}$$

$$\frac{\dot{Q}_{RH,parallel}}{\dot{Q}_{RH,Nenn}} = 0,83 \text{ nach dem Erreichen eines stationären Zustandes.}$$

Bei diesem Beispiel wird die Einschränkung kaum zu merklichen Komforteinbußen führen. Bei den kleineren Stationsgrößen, die vornehmlich auch in Gebäuden mit Komfortausstattung (z.B. Reihenhäuser) zum Einsatz kommen können, sind ähnliche Betrachtungen bei bekannten Nutzungsdaten anzustellen.

Eine Ausstattung nur mit Duschen würde für dieses Beispiel eine N_L -Zahl von $N_L=9$ ergeben. Die notwendige Ladeleistung beträgt ca. 10kW, bei einer Speicherladezeit von ca. 5h und vollständig entleertem Speicher. Eine weitergehende Reduzierung der Ladeleistung als 30kW ergibt jedoch bei diesem Beispiel keinen erkennbaren Vorteil, der verfügbare Heizmittelvolumenstrom beträgt dann nach Bild 8-1:

$$\dot{V}_{RH,parallel} \geq 0,82 \cdot \dot{V}_{Einstell,HA} = 0,9 \cdot \dot{V}_{RH,Nenn}$$

Die in Bild 8-1 angegebenen Ladeleistungen geben minimale Richtwerte an und zielen auf eine minimale Leistungseinschränkung. Grundsätzlich könnte auch der maximale, eingestellte Volumenstrom zur Brauchwassererwärmung benutzt werden, um eine möglichst kleine Zeitdauer der Einschränkung zu realisieren.

Aus den unterschiedlichen Variationen des Beispiels ist der starke Einfluß der Sanitär- ausstattung durch die Berechnungsmethodik der DIN 4708 Teil 2 auf die Leistungsbestimmung zu erkennen, die Kurven $N_L=30$ und $N_L=20$ stehen für realistische Auslegungen in Gebäuden mit gleicher Personzahl, die sich nur in der Objekt- ausstattung der Badezimmer unterscheiden. Über den tatsächlichen Wasserverbrauch macht die N_L -Zahl nur indirekt eine Aussage, es läßt sich aber eine Abhängigkeit zwischen dem spezifischen Wasserverbrauch und der Bäderausstattung folgern. Kommen hauptsächlich Duschen zum Einsatz, besteht auch eine direkte Abhängigkeit zu der Qualität der Armaturen, hier schwanken die Volumenströme ohne Komforteinbußen zwischen 6..12 l / min .

9 Verbrauchserfassung

Die Pflicht zur Verbrauchserfassung ergibt sich aus der Heizkostenverordnung vom 19.01.1989. Sie gilt für die Verteilung der Kosten für Heizwärme- und Warmwasserlieferung. Grundlage der Kostenverteilung sind Messungen des absoluten bzw. relativen Wärmeverbrauches mit sogenannten Heizkostenerfassungsgeräten.

9.1 Heizkostenerfassung

Wärmemengenzähler



Wärmemengenzähler sind die einzigen Erfassungsgeräte zur verbrauchsabhängigen Heizkostenverteilung, die eichfähig sind. Es wird die tatsächlich verbrauchte Wärmemenge gemessen und angezeigt. Wärmemengenzähler bestehen aus einem hydraulischen Geber (Volumenmeßteil), einer Temperaturdifferenzmeßeinrichtung sowie einem Rechenwerk. Das Rohrnetz muß speziell für den Einsatz von Wärmemengenzählern als wohnungsweise Verteilung ausgebildet werden. Das kann u.U. bedeuten, daß sich das Rohrsystem entsprechend verlängert und verteuert. Dem Vorteil einer Ablesefreundlichkeit für den Nutzer und den Meßdienst bei der Unterbringung von Wärmemengenzählern in Verteilerschränken auf Hausfluren, ist der Nachteil höherer Wärmeverteilverluste entgegenzuhalten.

Für die Auswahl eines Wärmemengenzählers (Flügelradzähler) soll dieser nach Herstellerangaben beim Nennvolumenstrom einen Druckverlust von 0,1 bar aufweisen. Zusätzlich werden Schmutzfänger vor den Volumenmeßteilen gefordert. Aufgrund dieser hohen Strömungswiderstände müßten wohnungsweise Differenzdruckregler vorgesehen werden, um die Einsatzbedingungen für Thermostatventile zu erfüllen. Der geforderte Druckverlust von 0,1bar über dem Wärmemengenzähler ist für durchschnittliche Wohnungen am Kronsberg allerdings nur erreichbar, wenn mit sehr kleinen Temperaturspreizungen (höhere Volumenströme, höhere Heizkörperkosten) ausgelegt wird. Realistisch sind bei den empfohlenen Auslegungstemperaturen Differenzdrücke von ca. 0,01bar. Der Einsatz von Wärmemengenzählern ist daher sorgfältig zu prüfen.

Heizkostenverteiler

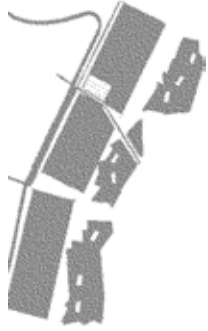
Heizkostenverteiler erfassen den Wärmeverbrauch anteilig, es handelt sich um ein Meßhilfsverfahren. Der anteilige Verbrauch wird nicht in physikalischen Einheiten (kWh) angezeigt. Heizkostenverteiler sind nicht eichfähig.

Heizkostenverteiler werden direkt auf dem Heizkörper befestigt, besondere Rohrverlegungen sind bei Zweirohrheizungen nicht vorzusehen. Heizkostenverteiler können nicht bei Flächenheizungen oder Luftheizung sowie bei Heizkörpern mit maschineller Konvektionsunterstützung eingesetzt werden.

Heizkostenverteiler erfassen mindestens die Oberflächentemperatur des Heizkörpers. Dadurch ist bei einem bekannten Heizkörper ein Zusammenhang zur Wärmeabgabe bei einer angenommenen Raumtemperatur hergestellt. Mit mehreren Bewertungsfaktoren werden unterschiedliche Korrekturen vorgenommen.

Heizkostenverteiler nach dem Verdunstungsprinzip

Durch den Kontakt mit der warmen Heizkörperoberfläche verdunstet während der Heizperiode eine Flüssigkeit. Anhand einer Skala kann die abgesenkte Flüssigkeitshöhe abgelesen werden. Nach einer Bewertung ergibt sich aus der Gesamtverdunstungsmenge und dem jeweiligen Anteil einer Wohnung, der relative Verbrauchsanteil des Energiebezuges. Die Verdunstungsampullen müssen jährlich ausgewechselt werden. Außerhalb der Heizperiode tritt bereits bei normaler Raumtemperatur eine sogenannte Kaltverdunstung auf, der mit einer Ampullenüberfüllung entgegengewirkt wird. Bei sehr warmen (Dach-) Räumen kann diese Überfüllung nicht ausreichen und einen Verbrauch vortäuschen.



Verdunstungsgeräte sind bis zu einer minimalen mittleren logarithmischen Auslegungs-Heizmediumtemperatur am Heizkörper, von 55-60°C je nach Hersteller geeignet. Diese Temperaturen lassen sich am Kronsberg nicht realisieren.

Verdunster sind die kostengünstigsten Heizkostenverteiler. Bis zu einer gewissen Anzahl von Heizkörpern (8-10) stellen sie auch insgesamt die wirtschaftlichste Methode der Heizkostenverbrauchserfassung dar. Die Verdunsterröhrchen müssen bei jeder Ablesung ausgewechselt werden.

Elektronische Heizkostenverteiler

Elektronische Heizkostenverteiler zeichnen sich zunächst durch eine höhere Ablesegenauigkeit aufgrund der digitalen Anzeige aus. Im Sommer erfolgt eine Meßwertunterdrückung (keine "Kaltverdunstung"). Einfühlergeräte, die nur die Heizkörperoberflächentemperatur erfassen, sind ebenfalls nicht für die am Kronsberg möglichen Temperatursauslegungen einsetzbar. Das gilt auch für Einfühlergeräte mit Startfühler. Zweifühlergeräte erfassen zusätzlich die Raumlufttemperatur auf der Vorderseite des Verteilers und erreichen somit eine größere Genauigkeit. Die Temperatureinsatzgrenzen sind herstellerabhängig aber i.a. am Kronsberg zu realisieren.

Elektronische Zweifühlergeräte sind deutlich (z.T. über 100%) teurer als Verdunster. Sie müssen ca. alle 5-10 Jahre nach Verbrauch der Langzeitbatterie ausgetauscht werden.

Einzelraumregelsysteme

Einzelraumregelsysteme können die Raumtemperaturregelung mit einer Verbrauchserfassung kombinieren. Die Verbrauchserfassung erfolgt durch die kontinuierliche Messung von Vor- und Rücklauftemperatur sowie der Raumlufttemperatur.

Durch die Programmierbarkeit des Systems ergeben sich weitere Vorteile, z.B. Heizungsanlagenoptimierung und Zentralauslesung der Verbräuche. Derzeit sind die Kosten für solche Systeme noch so hoch, daß im Wohnungsbau bei weiter sinkenden Energieverbräuchen keine Wirtschaftlichkeit gegeben ist.

9.2 Wasserverbrauchskostenerfassung

Die Verbrauchserfassung für Kaltwasser ist nicht in der Heizkostenverordnung geregelt, sie begründet sich aus den jeweiligen Länderneubauordnungen. Bei Brauchwarmwasser gilt die Heizkostenverordnung.

Es dürfen ausschließlich geeichte (Eichfrist 5 Jahre) Wasserzähler eingesetzt werden.

Für eine wirtschaftliche Erfassung der Wasserverbräuche im Geschloßwohnungsbau ist darauf zu achten, daß sämtliche Zapfstellen einer Wohnung von einer einzelnen Meßstelle erfaßt werden können.

Die Sanitär- und Küchenräume sind möglichst dicht an einem Steigestrang anzuordnen, weil die Zirkulation vor dem Warmwasserzähler angeschlossen werden muß.

9.3 Ausnahmemöglichkeit von der Pflicht zur verbrauchsabhängigen Heizkostenabrechnung



Das Umweltamt Hannover hat mit der Bezirksregierung Hannover und auch mit dem Niedersächsischen Sozialministerium die Möglichkeiten einer Ausnahme von der Pflicht zur verbrauchsabhängigen Heizkostenabrechnung mit folgender Stellungnahme erörtert:

Nach § 11 Abs. 1 Ziffer 1 Buchstabe a) der Heizkostenverordnung (HeizKVO) kann eine verbrauchsabhängige Abrechnung u.a. unterbleiben, wenn "die Erfassung oder Verteilung der Kosten des Wärmeverbrauchs ... nur mit unverhältnismäßig hohen Kosten möglich ist." Einer behördlichen Ausnahmegenehmigung bedarf es in diesem Fall nicht. Es ist vom Gebäudeeigentümer eigenverantwortlich zu entscheiden, ob unverhältnismäßig hohe Kosten für die Heizkostenerfassung und -verteilung anfallen.

Aufgrund der technischen Gegebenheiten der Nahwärmeversorgung am Kronsberg (geringe Temperaturen im Sekundärnetz) sind nach Sachverständigenmeinung keine kostengünstigen Verdunstungsgeräte zur Heizkostenerfassung einsetzbar, sondern günstigstenfalls elektronische Heizkostenverteiler mit zwei Fühlern. Damit dürften die Kosten der Heizkostenabrechnung für Raumwärme (anteilige jährliche Kosten für Gerätemiete, Erstinstallation, Ablesung und Abrechnung, Entsorgung) in einer Größenordnung von 40% der mutmaßlichen verbrauchsbezogenen Wärmekosten (Verbrauch x Arbeitspreis) liegen. Dem ist eine vom Ordnungsgeber angenommene Einsparmöglichkeit von etwa 15 % durch verbrauchsabhängige Heizkostenverteilung gem. HeizKVO gegenüberzustellen. Da die voraussichtlichen Kosten der Heizkostenerfassung und -verteilung die möglichen Einsparungen erheblich übersteigen, kann nach unserer Auffassung von unverhältnismäßig hohen Kosten für die Erfassung und Verteilung des Wärmeverbrauchs im Sinne von 11 Abs. 1 Ziff. 1 Buchst. a) HeizKVO ausgegangen werden.

Wenn ein Mieter anderer Auffassung sein sollte, kann er die Rechtmäßigkeit eines einseitigen Verzichts auf verbrauchsabhängige Heizkostenabrechnung gerichtlich überprüfen lassen (ordentlicher Rechtsweg, kein Verwaltungsgerichtsverfahren). Es empfiehlt sich deshalb aus unserer Sicht, eine vertragliche Regelung über den Verzicht auf Heizkostenabrechnung mit den Mietern oder Wohnungseigentümern herbeizuführen.

10 Weitere Empfehlungen - weiterführende Arbeiten

Die Broschüren Wärmedämm- und Dichtheitskonzept, Lüftungskonzept und das Heiztechnische Konzept zeigen auf, daß in vielen Bereichen am Kronsberg neue Lösungen erarbeitet und neue Wege gegangen werden müssen.

Neben den Empfehlungen des Heiztechnischen Konzeptes an die Planung der Heizungsanlage sollte in Zusammenarbeit von Planer und Ausführendem ein ausführlicher Anlagenpaß mit Dokumentation der wichtigsten Anlagendaten, wie Auslegungsheizlast, N_L -Zahl, Hausübergabestationsdaten, eingestellte Regelparameter, Daten des hydraulischen Abgleichs (Pumpendifferenzdruck, Voreinstellung der Thermostatventile und/oder Rück-



laufverschraubungen und der Differenzdruckregler) obligatorisch und möglichst in einer Fachunternehmererklärung festgehalten werden.

Ebenfalls wird aufgezeigt, daß die verfügbaren Anlagenkomponenten an der technischen Grenze liegen. Hier sind die Hersteller gefordert neue, angepaßte Komponenten zu entwickeln und anzubieten. Insbesondere sehen die Autoren Bedarf bei Thermostatventilen, Differenzdruckreglern und Pumpen sowie für einfache zeitprogrammierbare Regler von mechanischen Lüftungsanlagen und kostengünstige Einzelraumregelsysteme mit integrierter Heizkostenerfassung.

Dem gestiegenen Einfluß des Nutzerverhaltens auf den Gesamtenergieverbrauch ist neben einer angepaßten Anlagentechnik mit teilweiser Begrenzung der möglichen Wärmeabgabe durch Information und Beratung Rechnung zu tragen. Aus der Erfahrung an vergleichbaren Objekten variieren die Energieverbräuche einzelner, identischer Wohnungen um das fünffache, ohne das den Nutzern eine besondere Verschwendung oder Sparsamkeit bewußt wird.

Aus dem Heiztechnischen Konzept ergeben sich für Qualifizierungskonzepte bzw. Qualitätskontrollen folgende Aufgaben:

1. Einrichtung eines runden Tisches aller am Planungsprozeß Beteiligten.
2. Kontinuierliche Überprüfung der für die Architektur, Statik und Haustechnik getroffenen Entscheidungen mit Hilfe eines an der Fachhochschule Braunschweig/ Wolfenbüttel entwickelten EDV-Programmes, das bereits für die Analyse und Optimierung der Nahwärmeversorgung Kronsberg erfolgreich eingesetzt wurde und für die Aufgaben des beantragten Projektes weiter auszubauen ist.
3. Kontinuierliche Begleitung und Erfassung von Kostendaten zur Ableitung von Kostenkennziffern.
4. Kontinuierliche Dokumentation der Planungsergebnisse als Grundlage für die Verallgemeinerung von Planungsregeln.
5. Analyse und Bewertung des Einsatzes von EDV-gestützten Planungswerkzeugen (CAD, CAE) mit dem Schwerpunkt des praktischen Datenaustausches zwischen Architektur- und Haustechnik-Programmen.
6. Entwicklung und Durchführung von Qualifizierungs- und Schulungsmaßnahmen für Architekten und Planer.
7. Erstellung eines Planungshandbuches.
8. Kontinuierliche Gegenprüfung der Planungsergebnisse mit den Anforderungen der zukünftigen Energiesparverordnung, der begleitenden Normen: DIN 4701, Teil 10: "Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen" und der DIN 4108, Teil 6: "Wärmeschutz im Hochbau" und der europäischen Norm EN 832: "Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden".

Zur Validierung der Heizenergiekennzahl ist eine Meßwertaufnahme notwendig. Die dazu notwendigen Meßsysteme, z.B. elektronische Heizkostenverteiler könnten dazu als Eigenleistung an den Qualitätskontrollen gewertet werden.

9. Qualitätskontrolle für besonders "empfindliche" Maßnahmen in der Haustechnik, wie z.B. für den hydraulischen Abgleich, die Einregulierung von Luftmengen und zur Prüfung der Reglereinstellung sowie der Aufnahmeleistung elektrischer Förderag-

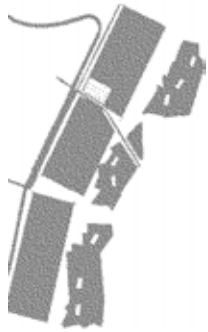


gregate.

10. Begleitung der Ausführung und teilweise des Betriebes sowie der anschließenden Nutzung.
11. Einbeziehung der Belange der Versorgungsunternehmen (Bereitstellung von Leistung und Energie) als Bestandteil eines integralen Haustechnik-Konzeptes. Eine Beteiligung der Versorgungsunternehmen an oben genannten Konzepten ist deshalb erwünscht.

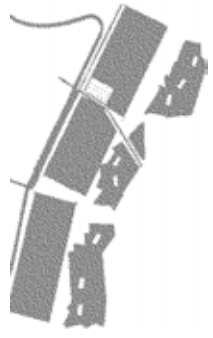
11 Literaturverzeichnis

- [1 Dämm.-Konz.] Landeshauptstadt Hannover, Amt für Umweltschutz, AG Umweltplanung Weltausstellung (Hrsg.): Bauen am Kronsberg. Hinweise zur Realisierung des Anforderungsprofils Niedrigenergiehaus-Standard. Wärmedämm- und Dichtheitskonzept. Hannover, Mai 1995
- [2 Lüft.-Konz.] Landeshauptstadt Hannover, Amt für Umweltschutz, AG Umweltplanung Weltausstellung (Hrsg.): Bauen am Kronsberg. Hinweise zur Realisierung des Niedrigenergie-Standards. Lüftungskonzept. Hannover, September 1996
- [3 Berech.-Verf.] Landeshauptstadt Hannover, Amt für Umweltschutz, AG Umweltplanung Weltausstellung (Hrsg.): Bauen am Kronsberg. Erläuterungen zum Kronsberg-Berechnungsverfahren. Hannover, Mai 1997
- [4 VDI 2067] VDI 2067 Berechnung der Kosten von Wärmeenergieanlagen. VDI-Gesellschaft Technische Gebäudeausrüstung. Dezember 1983
- [5 Wolff] Wolff, Dieter: Heiztechnik für das Niedrigenergiehaus. HLH Bd. 48 (1997) Nr. 11, Wolfenbüttel, 1997
- [6 DIN 4701] DIN 4701 Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfes von Gebäuden.
Teil 1 Grundlagen der Berechnung, März 1983.
Teil 2 Tabellen, Bilder, Algorithmen, März 1983.
Berlin. Beuth Verlag GmbH, 1983
- [7 Feist] Feist, Wolfgang: Vom Niedrigenergiehaus zum Passivhaus. Tagungsband. Fachtagung Versorgungstechnik 1997 "ESV 2000 Novellierung von Wärmeschutz- und Heizungsanlagenverordnung zur Energiesparverordnung". Wolfenbüttel, 21. November 1997
- [8 Recknagel] Recknagel Sprenger Schramek: Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik 97/98 68. Auflage. München, Wien, 1997
- [9 Schrode] Schrode, Ansgar: Niedrigenergiehäuser: fehlerfrei planen, kostengünstig bauen. Köln, 1996
- [10 Info-Recht] Quelle: Info-Recht 8 v. 8/97. Fachverband Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik. Bayern, 1997
- [11 EN 12831] DIN EN 12831 Entwurf August 1997 Verfahren zur Berechnung der



- Norm-Heizlast. Deutsche Fassung prEN 12831 : 1997. Berlin. Beuth Verlag GmbH, 1997
- [12 Heizlast. SHK] Fachverband Heizung Sanitär Klima: Vereinfachtes Heizlastberechnungsverfahren des Fachverbandes Sanitär Heizung Klima Nordrhein-Westfalen. o.J.
- [13 LEG] Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit (Hrsg.): Heizenergie im Hochbau. Leitfaden Energiebewußte Gebäudeplanung. Wiesbaden, Mai 1996
- [14 WICU] KM-kabelmetal AG, Osnabrück (Hrsg.): WICU-Arbeitsbroschüre Teil III. 1992
- [15 DIN 4751] DIN 4751-2 Wasserheizungsanlagen. Geschlossene, thermostatisch abgesicherte Wärmeerzeugungsanlagen mit Vorlauftemperaturen bis 120°C, sicherheitstechnische Ausrüstung. Berlin. Beuth Verlag GmbH, Oktober 1994
- [16 EN 442] DIN EN442 Radiatoren und Konvektoren. Berlin, Mai 1996
- [17 DIN 4708] DIN 4708 Zentrale Wassererwärmungsanlagen.
Teil 1 Begriffe und Berechnungsgrundlagen, Oktober 1979.
Teil 2 Regeln zur Ermittlung des Wärmebedarfes zur Erwärmung von Trinkwasser in Wohnbauten, Oktober 1979.
Teil 3 Regeln zur Leistungsprüfung von Wassererwärmern für Wohngebäude, April 1994.
Berlin. Beuth Verlag GmbH, 1979 und 1994
- [18 Böhm] Böhm, Gerd: Auswahl und Einsatz von Heizkesseln und Warmwasserspeichern. Stuttgart, 1997
- [19 TAR-SWH] Stadtwerke Hannover AG (Hrsg.): Technische Anschlußrichtlinie für die Versorgung mit Wärme. -Wohnbebauung Kronsberg-. Hannover, 1998
- [20 TAB-GETEC] GETEC Gesellschaft für Wärmeversorgung und Energiemanagement mbH (Hrsg.): Technische Anschlußbedingungen. Anschluß an die Wärmeversorgung der GETEC. Hannover, August 1997
- [21 BAUMAT.] Landeshauptstadt Hannover (Hrsg.): Bauen am Kronsberg. Nachhaltige Stadtentwicklung. Umweltverträgliche Baumaterialien. Hannover, Dezember 1997
- [22 VDMA] VDMA Fachgemeinschaft Armaturen (Hrsg.): Merkblatt über Planung und hydraulischen Abgleich von Heizungsanlagen mit thermostatischen Heizkörperventilen
- [23 EN 215] DIN EN 215 Teil 1 Thermostatische Heizkörperventile. Anforderungen und Prüfung. Berlin, März 1988
- [24 WT] Wärmetechnik in der Versorgungstechnik. Stuttgart, Januar 1998
- [25 Soller] Soller, Ulrich: Der Heizungsbauer: Planung und Berechnung von Warmwasserheizungsanlagen. Stuttgart, 1990
- [26 HeizAnIV] Bunderegierung: Verordnung über energiesparende Anforderungen an heizungstechnische Anlagen und Brauchwasseranlagen (Heizungsanlagen-Verordnung - HeizAnIV). Bonn, März 1994



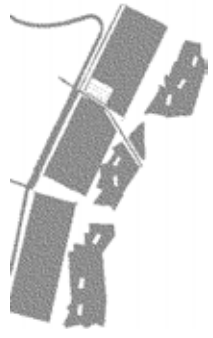


Seite 70

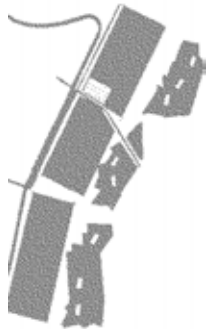
NEH-Stadtteil Kronsberg: Heiztechnisches Konzept

12 Anhang









A2 Auswahl der Hausübergabestationen

Die Auswahl einer Hausübergabestation erfolgt für den ungünstigeren Lastfall von Raumwärme oder Brauchwasser. D.h. die Leistung zur Brauchwassererwärmung ist bei den gleichen Auslegungstemperaturdifferenzen von 50K maximal gleich der Leistung für Raumwärme (Brauchwasser 75/25°C, Raumwärme 90/40°C).

Die N_L -Zahl (nach [17 DIN 4708]) reduziert mit einer Gleichzeitigkeitsbetrachtung und einer Zusammenstellung von Verbrauchsannahmen einzelner individueller Wohnungen ein reales Wohnobjekt auf eine Anzahl von Einheitswohnungen mit einer normierten Personenbelegung von 3,5Pers/WE und dem maßgeblichen Wärmebedarf einer Normbadewanne (NB1 140l).

Der Kennwert $\frac{\dot{Q}_{HA,RH}}{\dot{Q}_{RH,WE} \cdot N_{L,HA}}$ verknüpft Heizleistung und N_L -Zahl. Im weiteren

liegen folgende, Kronsbergsspezifische Berechnungsannahmen zugrunde:

durchschnittliche Größe der Wohneinheiten: $A_{WE} = 70 \frac{m^2}{WE}$

durchschnittliche spezifische Heizlast: $\frac{2,5kW}{WE} \cdot \frac{WE}{70m^2} = 35,71 \frac{W}{m^2}$

Nimmt man an, daß der repräsentative Durchschnitt aller Wohnungen eines Objektes maximal der Verbrauchsstruktur einer Einheitswohnung entspricht, ergibt sich:

$$N_{L,max} = \frac{\dot{Q}_{HA,RH}}{\frac{2,5kW}{WE}}$$

Bei $N_{L,HA}$ größer als $N_{L,max}$ ist nach dem Ansatz die Raumwärmeleistung Auslegungskriterium, bei $N_{L,HA}$ kleiner als $N_{L,max}$ ist die Brauchwasserleistung ausschlaggebend, bzw mit dem Kennwert ausgedrückt:

$$\frac{N_{L,max}}{N_{L,HA}} = \frac{\dot{Q}_{HA,RH}}{2,5kW \cdot N_{L,HA}} \rightarrow \begin{cases} > 1 \text{ Brauchwasserauslegung} \\ < 1 \text{ Raumheizungsauslegung} \end{cases}$$

Da dieser Ansatz bei der geplanten Bebauungsart enorme Reserven enthält, wird hier deutlich, daß die N_L -Zahl i.a. nicht als Bestellgröße heranzuziehen ist, sondern lediglich als Einstellwert der HA-Station.

**Tabelle A-2 Leistungsdaten der Hausübergabestationen³¹**

Heizleistung $\dot{Q}_{HA,RH}$ in kW	Bedarfs- kennzahl $N_{L,HA}$		$\frac{\dot{Q}_{HA,RH}}{2,5kW \cdot N_{L,HA}}$	
	SWH	GETEC	SWH	GETEC
5	3 (1)	2 (1)	0,67	1
10	5 (2)	4 (2)	0,8	1
20	8 (5)	7 (4)	1,0	1,14
30	12	11	1,0	1,09
40	20	14	0,8	1,14
50	24	18	0,83	1,11
100	38	36	1,05	1,11
150	54	54	1,11	1,11
200	85	71	0,94	1,13

A3 Erläuterungen zu Bild 3-1

Das Bild 3-1 wurde aus den Hinweisen im informativen Anhang D von [11 EN 12831] entwickelt.

Die Berechnungsgleichung für das Verhältnis von Umschließungsfläche und Grundfläche lautet:

$$\frac{A_{OF}}{A_{GF}} = 2 + \frac{R_H \cdot 2 \cdot (1+S)}{a}$$

A_{OF} Grundfläche

A_{GF} Umschließungsfläche

R_H Raumhöhe

$S = \frac{a}{b}$ Seitenverhältnis kurze Raumseite a / Raumseite b

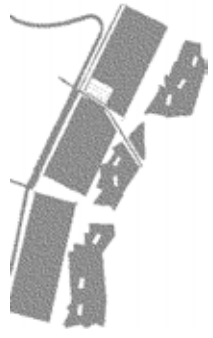
Herleitung:

$$A_{GF} = a \cdot b = \frac{a^2}{S}$$

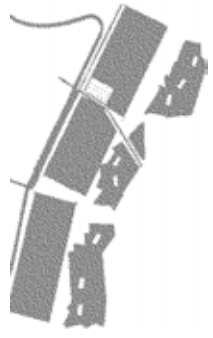
$$A_{OF} = 2 \cdot A_{GF} + 2 \cdot R_H \cdot \left(a + \frac{a}{S} \right)$$

$$\frac{A_{OF}}{A_{GF}} = \frac{2 \cdot A_{GF}}{A_{GF}} + \frac{2 \cdot a \cdot S \cdot R_H \cdot \left(1 + \frac{1}{S} \right)}{a^2} = 2 + \frac{R_H \cdot 2 \cdot (1+S)}{a}$$

³¹ Streubreite der einzelnen Anbieter (GETEC - Stadtwerke Hannover)









Veröffentlichungen zum Thema "Energetische Optimierung Kronsberg":

für Bauräger, Planer und Architekten

- Berichtsband zur 1. und 2. NEH-Werkstatt
Themenschwerpunkte: Lüftung, VVärmedämmstoffe
Oktober / November 1995
- Berichtsband zur 3. NEH-Werkstatt
Kostengünstige Niedrigenergiehäuser
Juni 1996
- Berichtsband zur 4. NEH-Werkstatt
Berechnungsverfahren zum Nachweis der Niedrigenergiebauweise
August 1996

speziell für Architekten bzw. Fachplaner

- Hinweise zur Realisierung der Anforderungsprofils NEH-Standard
- Wärmedämm- und Dichtheitskonzept -
Mai 1995
- Hinweise zur Realisierung des NEH-Standards
- Lüftungskonzept -
September 1996
- Erläuterungen zum Berechnungsverfahren
Mai 1997
- Formblatt zum Nachweis der NEH-Bauweise als Excel-Datei
Datenträger zum Preis von DM 16,50
Juni 1996
- Hinweise zur Realisierung des NEH-Standards
- Heiztechnisches Konzept -
Februar 1998

Die Veröffentlichungen sind zu erhalten beim:

Amt für Umweltschutz
AG Umweitplanung Weltausstellung (K/2000)
Prinzenstr.4
30159 Hannover